

Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond

Eindrapport

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Dit rapport geeft weer hoe de maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen kan geëvalueerd worden. Dit rapport bestaat uit verschillende deelrapporten.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Alexandra Van Cammeren – UAntwerpen | FBE & FSW
Anne Bergmans – UAntwerpen | FSW
Hanne Lamberts-Van Assche – UAntwerpen | FBE
José Rodriguez – Belgische Geologische Dienst
Kris Piessens – Belgische Geologische Dienst
Kris Welkenhuysen – Belgische Geologische Dienst
Kyra Verbruggen – UAntwerpen | FSW
Syed Mujtaba Masroor – UAntwerpen | FBE
Tine Compernolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Compernolle T., Welkenhuysen, K., Lamberts-Van Assche, H., Masroor, S.M., Rodriguez, J., Van Cammeren, A., Verbruggen, K., Bergmans, A., Piessens, K. 2025. Maatschappelijke impact van het gebruik en het beheer van de Vlaamse diepe ondergrond. Departement Omgeving.

PARTNERS



INHOUDSTAFEL

1 Deelrapporten 4
2 Managementsamenvatting 7

D1: Energie- en klimaatuitdagingen en het gebruik van de diepe ondergrond 8
Energie- en klimaatuitdagingen 8
De diepe ondergrond 8
Beleidsontwikkelingen 9
Socio-economische ontwikkelingen 9
Ontwikkelingsscenario's 9
D2: Stakeholder mapping voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen 9
D3: Principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen 10
1. Principe van het behoud van hulpbronnen en assimilatievermogen 11
2. Principe van efficiënte allocatie 11
3. Principe van eerlijke verdeling 11
4. Principe van transparantie 11
5. Principe van inclusief bestuur 12
6. Principe van verantwoord risicobeheer 12
D4: Beleidsvisies voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen 12
D5: Benchmark studie van methodes voor bepaling van geologische, economische, milieu- en sociale impacts van het gebruik van de diepe ondergrond 13
D6: De ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen: huidige en toekomstige activiteiten 15
D7: Kwalitatieve en kwantitatieve impactmodellering: geologische, economische, milieu- en sociale impacts 17
D8: SWOT analyse voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen 19
D9: Participatietraject met stakeholders: verslagen van de Klankbordgroep 21

1 DEELRAPPORTEN

Hieronder wordt een overzicht gegeven van alle deelrapporten die deel uitmaken van deze studie.

D1	Energie- en klimaatuitdagingen en het gebruik van de diepe ondergrond
D2	Stakeholder mapping voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen
D3	Principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen
D4	Mogelijke beleidsvisies voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen
D5	Benchmark studie van methodes voor bepaling van geologische, economische, milieu- en sociale impacts van het gebruik van de diepe ondergrond
D6	De ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen: huidige en toekomstige activiteiten
D7	Kwalitatieve en kwantitatieve impactmodellering: geologische, economische, milieu- en sociale impact
D8	SWOT analyse voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen
D9	Participatietraject met stakeholders: verslagen van de Klankbordgroep

D1 richt zich op de klimaat- en energie-uitdagingen die in Vlaanderen spelen en hoe de diepe ondergrond hieraan kan bijdragen. D2 geeft een overzicht van betrokken stakeholders, hun rollen in de ondergrond en hun visie over een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Samen schetsen D1 en D2 de context van deze studie: waarom hebben we de diepe ondergrond nodig, en wie is hierbij betrokken?

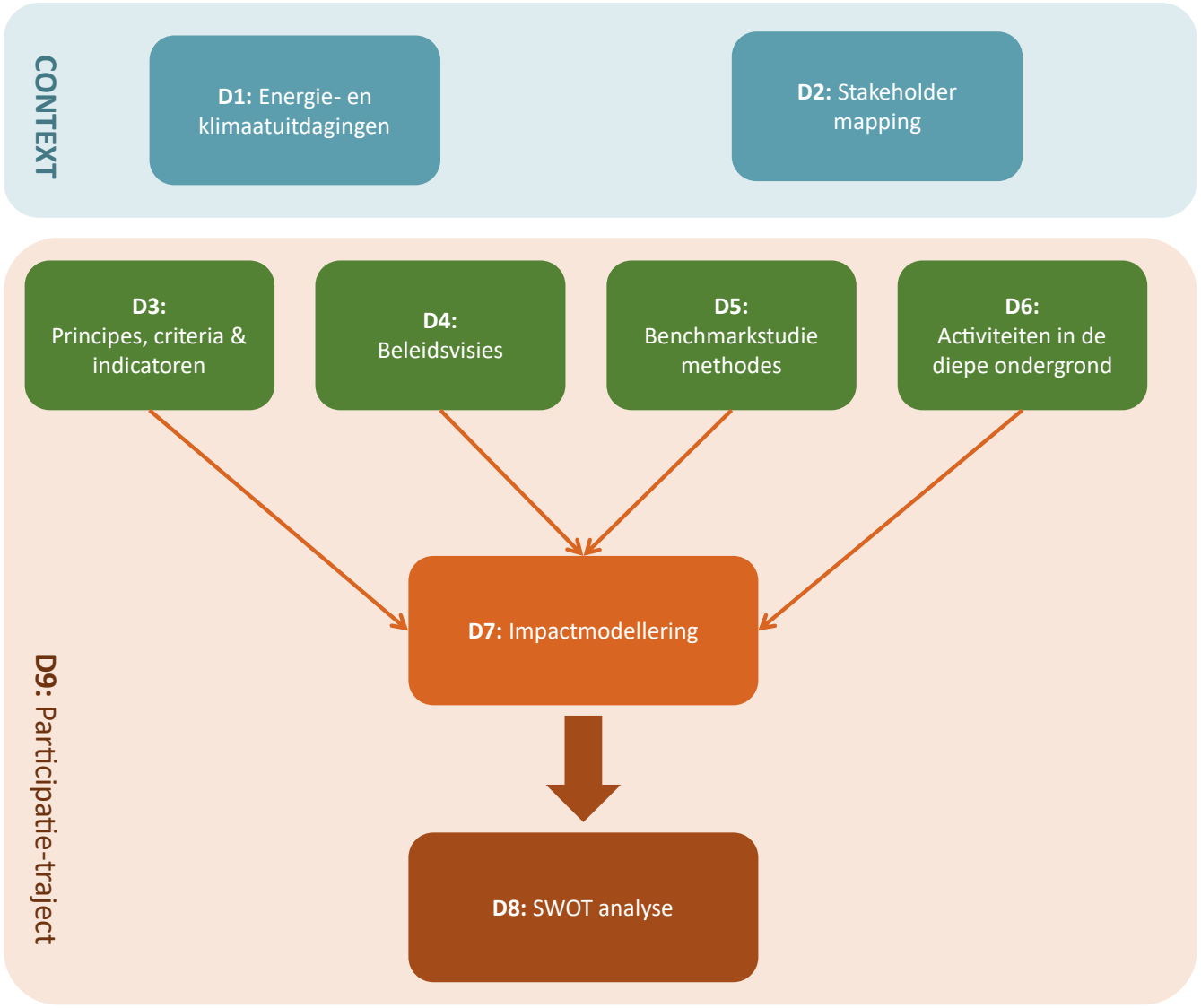
D3 definieert de principes, criteria en indicatoren die moeten worden gehanteerd om de impact van het gebruik van de diepe ondergrond te evalueren tegen een duurzaamheidskader. D4 onderzoekt mogelijke beleidsvisies voor duurzaam beheer van de diepe ondergrond, inclusief voorbeelden uit andere landen. D5 is een benchmarkstudie van methoden voor het meten van geologische, economische, ecologische, en sociale impact. D6 geeft een overzicht van alle huidige en mogelijke toekomstige activiteiten die kunnen plaatsvinden in de diepe ondergrond van Vlaanderen.

Deelrapporten 3 – 6 geven input aan D7, waarin de geologische, economische milieu- en sociale impact van het gebruik van de diepe ondergrond worden gemodelleerd. Op basis van D4 worden verschillende beleidsscenario's opgesteld, die in D7 worden geëvalueerd op basis van de criteria die werden geïdentificeerd in D3. De benchmarkstudie in D5 biedt methodologische onderbouwing voor D7, en de lijst met activiteiten uit D6 geeft aan welke activiteiten gemodelleerd worden in D7.

In D8 worden de sterke en zwakke punten, kansen en bedreigingen voor een duurzaam beheer van diepe ondergrond in Vlaanderen geëvalueerd, op basis van de inzichten uit D7.

D9 geeft het participatietraject met de stakeholders weer, en documenteert de workshops met stakeholders en hun bijdrage aan het rapport.

Een visueel overzicht van alle deelrapporten en de linken tussen de verschillende deelrapporten wordt weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Schematisch overzicht van de negen deelrapporten.

2 MANAGEMENTSAMENVATTING

De uitstoot van broeikasgassen in Vlaanderen zou tegen 2030 met 40% moeten verminderd zijn, t.o.v. 2005. Om die klimaatdoelstelling te bereiken, wordt o.a. ingezet op het gebruik van lokale en hernieuwbare energiebronnen, een flexibel energiesysteem met seizoensgebonden opslagcapaciteit, en een versnelde transitie naar een circulaire economie. Ook de diepe ondergrond in Vlaanderen (dieper dan -500 mTAW) kan een belangrijke rol spelen bij het bereiken van deze klimaatdoelstelling.

De mogelijke activiteiten in de Vlaamse diepe ondergrond zijn talrijk en kunnen op verschillende manieren een rol spelen in de energietransitie of de overgang van een lineaire naar circulaire economie. Voorbeelden zijn diepe geothermie, opslag van aardgas, opslag van CO_2 of berging van hoogradioactief, langlevend afval. Terwijl de mogelijke activiteiten talrijk zijn, zijn de geografische mogelijkheden waar de diepe ondergrond in Vlaanderen kan benut worden echter beperkt. Het Kempisch Bekken biedt het meeste potentieel om activiteiten in de diepe ondergrond te ontwikkelen. Het is de enige geschikte locatie voor de seizoensopslag van aardgas, het is de meest gegeerde zoekzone voor aardwarmteproductie, en het Kempisch Bekken zou ook een geschikte locatie kunnen zijn voor de opslag van waterstof en de berging van hoogradioactief, langlevend afval.

Ieder van deze toepassingen in de diepe ondergrond heeft natuurlijk een economische, sociale en ecologische impact, die vaak verder gaat dan de gebruikte oppervlakte. Sommige van deze effecten zijn ook niet-omkeerbaar. Daarom moet zorgvuldig nagedacht worden over een **duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen**.

In dit rapport worden verschillende methoden uit de geologie, milieueconomie en sociale wetenschappen aan elkaar gekoppeld om zo inzicht te krijgen in:

- de randvoorwaarden die moeten voldaan zijn voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond, en hoe deze gemeten kunnen worden,
- de mogelijke locaties voor bepaalde activiteiten en de geologische impact van activiteiten in de diepe ondergrond (op elkaar), en
- de milieu-, economische en sociale effecten van de activiteiten in de ondergrond, zowel bovengronds als ondergrond.

Stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen, zowel uit de publieke als private sector, worden betrokken bij dit onderzoek zodat ook hun inzichten en ervaringen worden meegenomen tijdens het ontwikkelen van een kader voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

Dit rapport bestaat uit verschillende deelrapporten. Het eerste deelrapport beschrijft wat de energie- en klimaatuitdagingen zijn waar Vlaanderen voor staat, en hoe het gebruik van de diepe ondergrond daartoe kan bijdragen. In het tweede deelrapport worden de stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen in kaart gebracht én bevraagd naar hun visie voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Het derde deelrapport lijst de principes, criteria en indicatoren die kunnen gebruikt worden om het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond te meten en evalueren. Vervolgens worden mogelijke beleidsvisies, om tot een duurzaam beheer te komen, onderzocht en

ontwikkeld in het vierde deelrapport. Hiervoor werden ook interviews afgenomen met stakeholders van de diepe ondergrond in andere Europese landen. In het vijfde deelrapport wordt een benchmark studie uitgevoerd van methodes die bestaan om de geologische, economische, milieu- en sociale impact van het gebruik van de diepe ondergrond te bepalen. Dit wordt gevolgd door een beschrijving van huidige en toekomstige activiteiten die kunnen plaatsvinden in de diepe ondergrond in Vlaanderen. De geologische, economische, milieu- en sociale impact van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen worden gemodelleerd en geëvalueerd, voor een selectie van beleidsscenario's, in het zevende deelrapport. In het achtste deelrapport wordt een SWOT-analyse uitgevoerd, op basis van de inzichten uit de impactmodellering. Tot slot worden de verslagen van alle klankbordgroepen met de stakeholders gebundeld in het negende en laatste deelrapport.

Voor ieder deelrapport volgt hieronder een bondige managementsamenvatting.

D1: ENERGIE- EN KLIMAATUITDAGINGEN EN HET GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND

Energie- en klimaatuitdagingen

Klimaatverandering, energieverbruik en materiaalbeheer zijn sterk met elkaar verweven. Het gebruik van fossiele brandstoffen is één van de grootste drijvers van de klimaatverandering. Om over te schakelen naar een koolstofarme samenleving, moeten we zowel de energievraag verminderen als hernieuwbare energiebronnen ontwikkelen. Dit vereist inspanningen van alle economische sectoren, overheden en consumenten over de hele waardeketen: van productontwerp en ontginning van grondstoffen tot productie en gebruik. Het beheer van materialen speelt een cruciale rol, aangezien meer dan de helft van de broeikasgasuitstoot afkomstig is van materiaal-gerelateerde processen. Daarom moet ook de vraag naar materialen worden beperkt.

De recente schommelingen in energie- en materiaalprijzen door COVID-19 en de oorlog in Oekraïne benadrukken de noodzaak om minder afhankelijk te zijn van buitenlandse productie. Circulaire strategieën, die materialen hergebruiken en verspilling verminderen, kunnen helpen bij de transitie naar een koolstofarme economie. Technologische oplossingen alleen zijn echter niet genoeg; gedragsveranderingen zijn ook noodzakelijk om reboundeffecten te voorkomen.

De klimaattransitie beïnvloedt niet alleen productie- en consumptiepatronen maar ook sociale structuren en ecosystemen. Ongecontroleerde opwarming kan sociale ongelijkheden verergeren en ecosystemen schaden. Het is essentieel om zowel menselijk als natuurlijk kapitaal te behouden tijdens deze transitie.

De diepe ondergrond

Hoewel ze vaak over het hoofd wordt gezien, speelt de diepe ondergrond een belangrijke rol in de waardeketen voor energie en grondstoffen. Ze is verweven met de oorzaken en gevolgen van de klimaatverandering en energietransitie, zoals de ontginning van fossiele brandstoffen, seizoensopslag van aardgas, en extractie van minerale grondstoffen. De diepe ondergrond in Vlaanderen biedt echter ook oplossingen voor een transitie naar een duurzame, koolstofarme en circulaire toekomst.

Diepe geothermie biedt een koolstofarme bron van energie, ondergrondse opslag van aardgas of waterstof kunnen helpen om het onevenwicht in vraag en aanbod van (hernieuwbare) energiebronnen te bufferen, en CO_2 kan permanent opgeslagen worden in diepe reservoirs. Kritieke

grondstoffen, die vaak noodzakelijk zijn voor duurzamere technologieën, kunnen ook uit de diepe ondergrond gewonnen worden.

Het Kempisch Bekken in Vlaanderen, historisch belangrijk voor steenkoolwinning, wordt nu onderzocht voor duurzame toepassingen. De regio is een belangrijke zoekzone voor diepe geothermische energie en biedt mogelijkheden voor CO_2-opslag en andere innovaties. Verder onderzoek en toepassing van de diepe ondergrond kunnen bijdragen aan energiezekerheid en milieudoelstellingen zonder economische ontwikkeling te belemmeren.

Beleidsontwikkelingen

Europa streeft naar een reductie van broeikasgasemissies met 55% t.o.v. 1990 tegen 2030. Europa wil het eerste klimaatneutrale continent worden, en streeft hiernaar tegen 2050. Voor België betekent dit dat zij een emissiereductie van 47% moet behalen tegen 2030, t.o.v. 2005. In het Vlaams Energie- en Klimaatplan (2023) wordt echter slechts een reductie van 40% vooropgesteld. Of dit voldoende zal zijn om de nationale doelstelling van 47% te behalen, leidt tot onenigheid tussen de verschillende regeringen in België.

De transitie naar een koolstofarme economie wordt ook gekoppeld aan een circulaire economie, energiezekerheid en vermindering van energiearmoede.

Om deze doelstellingen te behalen, wordt ook een rol voorzien voor het gebruik van de diepe ondergrond. Europese beleidsmaatregelen richten zich o.a. op Carbon Capture and Storage (CCS), waterstofopslag, en de ontwikkeling van geothermie. Vlaanderen richt zich op de ontwikkeling van CCS-netwerken, internationale samenwerkingen voor de opslag van CO_2 en groene warmteproductie via geothermie. Er is ook aandacht voor ondergrondse opslag van brandbare gassen en radioactief afval, met mogelijk een toekomstige noodzaak voor extra bergingsruimte.

Socio-economische ontwikkelingen

Binnen deze beleidskaders ontstaan er internationale clusters en netwerken van bedrijven die onderzoeken hoe ze de nodige technologieën en processen kunnen ontwikkelen voor de creatie van duurzame waardeketens, zoals CCS en waterstof. In Vlaanderen groeit de interesse voor diepe geothermie en de coproductie van lithium.

De betrokkenheid van lokale gemeenschappen kan een belangrijke rol spelen bij de acceptatie van projecten in de diepe ondergrond. Door gemeenschappen vroegtijdig en actief te betrekken bij projecten, zullen projecten vlugger aanvaard worden.

Ontwikkelingsscenario's

De ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen zal worden beïnvloed door zowel markt- als beleidsfactoren. In de andere deelrapporten wordt onderzocht hoe de ondergrond zich kan ontwikkelen zonder en met beleidsmaatregelen, en welke impact deze zullen hebben.

D2: STAKEHOLDER MAPPING VOOR HET DUURZAAM BEHEER VAN DE DIEPE ONDERGROND IN VLAANDEREN

Het tweede deelrapport beschrijft de resultaten van een stakeholder mapping voor de diepe ondergrond in Vlaanderen. Er werd gepeild naar de perceptie, visie en verwachtingen van stakeholders voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Hiervoor werden

interviews uitgevoerd met 19 stakeholders, die ieder op verschillende manier worden beïnvloed door of zelf invloed hebben op de diepe ondergrond. In dit rapport wordt een nieuw spectrum van rollen opgesteld voor de stakeholders van de diepe ondergrond, dat beschrijft hoe de stakeholder de diepe ondergrond in Vlaanderen beïnvloedt (of omgekeerd). Elf rollen werden geïdentificeerd: drager, onderzoeker, beleidsmedewerker, beleidsmaker, vergunningsbehandelaar, vergunningverlener, vergunningsadviseur, vergunninghouder, gebruiker, handhaver en observator. Minstens één stakeholder per rol werd geïnterviewd. Vijf thema's werden behandeld tijdens de interviews: de activiteiten in de diepe ondergrond, de data over de diepe ondergrond, het netwerk van stakeholders, het beleid en het duurzaam beheer van de diepe ondergrond.

Wat betreft de mogelijke **activiteiten** in de diepe ondergrond, gaf de meerderheid van de stakeholders aan dat een multifunctioneel gebruik van de ondergrond moet gefaciliteerd worden. Bij de meest noodzakelijke activiteit(en) in de diepe ondergrond, worden diepe geothermie (11) en berging van langlevend, hoogradioactief afval (5) het vaakst genoemd. De toegang tot **data** over de diepe ondergrond in Vlaanderen werd op verschillende manieren ervaren door de stakeholders. Er was één gedeelde verzuchting: de versnippering van data voor de diepe ondergrond. Er was een duidelijke vraag vanuit de stakeholders naar meer centralisatie van de data en een duidelijk(er) wettelijk kader dat aangeeft wanneer data moet gedeeld worden, en met wie. Ook het **netwerk** van de stakeholders werd in kaart gebracht. Er bestaat al een vrij uitgebreid netwerk van stakeholders. Er lijken 'clubjes' te ontstaan van stakeholders, die nauw met elkaar in contact staan en met elkaar data uitwisselen, maar waardoor andere stakeholders het gevoel krijgen niet dezelfde toegang tot data te hebben. De voorgestelde oplossing is om een (nieuw) netwerk op te zetten waar stakeholders van de ondergrond op regelmatige basis worden samen gebracht. Wat betreft het (huidige) **beleid** voor de diepe ondergrond in Vlaanderen, benoemden de stakeholders verschillende uitdagingen. De versnippering van bevoegdheden tussen de Vlaamse en federale overheden is volgens hen nefast is voor een goed en duurzaam beheer van de diepe ondergrond. De wetgeving voor verschillende activiteiten is vandaag ook gespreid over verschillende regelgevende kaders, mede door die versnippering aan bevoegdheden. De stakeholders zouden liever één uniform wettelijk kader zien voor alle activiteiten in de diepe ondergrond. Tot slot werden de stakeholders bevraagd over het **duurzaam beheer** van de diepe ondergrond. Voor de stakeholders betekent het duurzaam beheren van de diepe ondergrond, dat deze ook nog beschikbaar moet zijn voor toekomstige generaties. Dit houdt ook in dat de diepe ondergrond niet mag uitgeput worden, en dat er dus aandacht moet besteed worden aan het regeneratief karakter van de energiebronnen of grondstoffen die worden aangeboord in de diepe ondergrond.

Dit rapport geeft weer wat de stakeholders belangrijk vinden voor een (duurzaam) beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen, welke uitdagingen zij vandaag al ondervinden of verwachten in de toekomst en welke rol de stakeholders zien voor het beleid m.b.t. de diepe ondergrond.

D3: PRINCIPES, CRITERIA EN INDICATOREN VOOR EEN DUURZAAMHEIDSEVALUATIE VAN HET GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND IN VLAANDEREN

Duurzame ontwikkeling en het meten van voortgang richting duurzaamheid zijn cruciale onderwerpen in wetenschappelijk onderzoek en beleidsvorming. Duurzaamheidsbeoordelingen helpen beleidsmakers beslissen over acties om duurzaamheid te bevorderen. Omdat duurzaamheid met betrekking tot de diepe ondergrond meerdere dimensies omvat — geologisch, economisch,

milieu, en sociaal — zijn er verschillende principes, criteria en indicatoren nodig om de impact van het gebruik van de diepe ondergrond te evalueren.

Dit rapport hanteert een ecologisch-economische benadering en erkent de geologische dimensie binnen deze evaluatie. Er worden zes principes gedefinieerd voor het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond.

1. Principe van het behoud van hulpbronnen en assimilatievermogen

Dit principe werd opgedeeld in twee deelprincipes en trapsgewijs gedefinieerd.

Het eerste deelprincipe is het 'Principe van het behoud van hulpbronnen', en dit is verder trapsgewijs onderverdeeld:

- **Trap 1:** Voor hernieuwbare geologische hulpbronnen moet de extractie beperkt blijven tot het regeneratietempo.
- **Trap 2:** Voor niet-hernieuwbare hulpbronnen moet extractie gepaard gaan met de creatie van hernieuwbare equivalenten.
- **Trap 3**: Indien duurzame winning niet mogelijk is, moet deze de beschikbaarheid van hulpbronnen op de lange termijn maximaliseren.

Het tweede deelprincipe is het 'Principe van het behoud van assimilatievermogen', wat verwijst naar het behoud van het assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem voor toekomstige generaties. Ook dit principe is trapsgewijs opgedeeld:

- **Trap 1:** De schaal van de ontginning van geologische hulpbronnen moet beperkt worden, zodat de afvalstromen die ermee gepaard gaan het hernieuwbare assimilatievermogen van het ecosysteem niet overschrijden.
- **Trap 2:** Indien de assimilatieprocessen te traag zijn om hernieuwbaar beschouwd te worden, dan moet het verlies aan assimilatievermogen gepaard gaan met een actief herstel van dat vermogen
- **Trap 3:** Bij onvermijdelijke niet-duurzame afvalstromen moet het verlies aan assimilatiecapaciteit op de lange termijn geminimaliseerd worden.

2. Principe van efficiënte allocatie

De ontwikkeling van de diepe ondergrond, indien wenselijk, moet worden gepland en uitgevoerd zodat het hoogste netto voordeel voor de samenleving gecreëerd wordt.

3. Principe van eerlijke verdeling

Het gebruik van de ondergrond moet gepaard gaan met een eerlijke verdeling van kosten en baten, zowel binnen als tussen generaties.

Deze eerste drie principes zijn hoofdzakelijke inhoudelijke principes. Naast deze inhoudelijke principes worden ook drie procesmatige principes geformuleerd.

4. Principe van transparantie

De planning en ontwikkeling van de diepe ondergrond moet op een transparante manier gebeuren. Dit omvat een goede communicatie van de data en gegevensbeheer volgens het FAIR-principe (vindbaar, toegankelijk, uitwisselbaar, herbruikbaar) en het principe "zo open als mogelijk, zo gesloten als nodig".

5. Principe van inclusief bestuur

Wie mogelijk gevolgen ondervindt van het gebruik van de diepe ondergrond moet geïnformeerd, geraadpleegd en betrokken worden tijdens alle fasen van de activiteit.

6. Principe van verantwoord risicobeheer

Binnen dit principe kunnen opnieuw twee deelprincipes geformuleerd worden:

- **Voorzorgsprincipe**: Activiteiten met een onzeker potentieel voor significante schade moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer kan aantonen dat de risico's voldoende wetenschappelijk zijn gekwantificeerd.
- **Preventieprincipe**: Activiteiten die significante schade met zich meebrengen, moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer kan aantonen dat de risico's en/of schade voldoende zijn gemitigeerd.

Voor ieder van deze principes worden in het derde deelrapport bijhorende criteria en indicatoren bepaald. Deze principes, criteria en indicatoren vormen een basis voor verdere toetsing en verfijning in de praktijk. In deelrapport 7 worden deze indicatoren gedeeltelijk gebruikt om beleidsscenario's voor het gebruik van de diepe ondergrond te evalueren.

D4: BELEIDSVISIES VOOR EEN DUURZAAM GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND IN VLAANDEREN

Om de diepe ondergrond op een duurzame manier te ontwikkelen, is er een nood aan een regelgevend kader. Er wordt eerst verkend in welke mate andere Europese landen beleid uitwerken voor het meervoudig gebruik van de diepe ondergrond en hoe ze dergelijk beleid vorm geven.

Uit deze bevraging blijkt dat beleid aangaande de diepe ondergrond verschilt tussen verschillende landen. In landen waar er weinig activiteiten in de diepe ondergrond plaatsvinden (vb. Liechtenstein) of waar mogelijk gebruik van de diepe ondergrond slechts recentelijk geëxploreerd wordt (vb. Zwitserland), is huidig beleid beperkt tot regelgeving omtrent grondwaterwinning. Andere landen, zoals Nederland, Frankrijk, Duitsland, Slovenië, Noorwegen en Denemarken gebruiken de diepe ondergrond veelvuldig. Deze landen geven aan dat omwille van een toename in het (toekomstig) gebruik van de diepe ondergrond, er nood is aan een beleidskader om een meervoudig en duurzaam gebruik van de diepe ondergrond te reguleren, rekening houdend met mogelijke (grensoverschrijdende) interferenties. Hoewel de ontvangen antwoorden niet altijd even gedetailleerd waren, geeft deze studie wel een algemeen beeld van hoe deze landen meervoudig gebruik van de ondergrond beheren. Toekomstig onderzoek zal dieper ingaan op specifieke cases en uitdagingen met betrekking tot een duurzaam beheer van meervoudig gebruik van de diepe ondergrond.

Na dit overzicht worden verschillende mogelijke beleidsvisies voor Vlaanderen besproken. Op dit ogenblik wordt de diepe ondergrond veelal beheerd op basis van een *first come, first served* principe en mogelijke conflictsituaties worden op een case-by-case basis opgelost. Om te begrijpen hoe de ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen kan worden vormgegeven door beleid, zal er onderzocht worden hoe verschillende beleidsvisies effect hebben op de ontwikkeling van de diepe ondergrond, rekening houdend met de geologische, economische, milieu en sociale randvoorwaarden in Vlaanderen. Er wordt daarbij uitgelegd hoe deze beleidsvisies kaderen in de verdere impactanalyse (zie deelrapport D7) van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

Volgende beleidsvisies worden onderzocht:

BV 1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie (1-RES)
BV 2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren (2-STOR)
BV 3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu (3-CLIM)
BV 4. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond (4-BAL)
BV 5. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de grondstof (5-LONG)
BV 6. Inzetten op exploratie (6-EXPL)
BV 7. Maximaal inzetten op zelfvoorziening (7-SELF)

D5: BENCHMARK STUDIE VAN METHODES VOOR BEPALING VAN GEOLOGISCHE, ECONOMISCHE, MILIEU- EN SOCIALE IMPACT VAN HET GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND

Omdat duurzaamheid met betrekking tot de diepe ondergrond verschillende dimensies omvat – bv. geologische, economische, ecologische en sociale dimensie – en niet eenvoudig meetbaar is, bestaat er een breed scala aan methoden om de duurzaamheid van specifieke technologieën of activiteiten te evalueren.

De diepe ondergrond kan een belangrijke rol spelen in de transitie naar een koolstofarme en circulaire economie. Activiteiten in de ondergrond hebben zowel geologische als bovengrondse (economische, ecologische en sociale) impact. Deze studie biedt een overzicht van methoden om deze verschillende types impact te meten en focust op de methoden die binnen deze opdracht worden toegepast. De mogelijke methodes worden hieronder kort toegelicht, per type impact.

Geologische impact

Een geologische impact is een betekenisvolle verandering van de ondergrondse condities, zoals druk of temperatuur, door menselijke activiteiten in de ondergrond, en kan zich zwel in tijd als ruimte uitstrekken. Om deze geologische impact te meten, worden zowel kwalitatieve als kwantitatieve methoden ingezet, telkens gebaseerd op een (meer of minder) gedetailleerd geologisch model van de ondergrond.

Voor deze onderzoeksopdracht zullen geologische modellen worden gebruikt die opgemaakt worden volgens de structurele raamwerkmethode, vertrekkende van geologische kennis en daarna ruimtelijk uitgewerkt. De inhoud van dat model is thematisch gedreven, of zelfs activiteit-specifiek. Daarbij worden het Geologisch 3D-model van Vlaanderen (G3Dv3) en de subcropkaart van het Massief van Brabant als onderliggende basis gebruikt.

Activiteiten worden kwalitatief geanalyseerd via een beschrijving van processen en interacties binnen de relevante geologische context. Voor activiteiten die kwantitatief worden gemodelleerd, vormt dit een voorbereidende stap om relevante processen en onzekerheden te identificeren. Kwantitatieve modellen richten zich op reservoirsimulaties, zoals druk- en temperatuurveranderingen en fluïdumstromen.

Economische impact

In het kader van deze onderzoeksopdracht zal de economische haalbaarheid van verschillende activiteiten in de ondergrond geëvalueerd worden. Techno-economische analyses zullen worden uitgevoerd, waarbij de kapitaalkosten en operationele kosten van deze activiteiten worden ingeschat. Deze data vormt ook de input voor een reële optie analyse. De reële optie analyse wordt toegepast als een extensie op de bestaande PSS-simulator die werd ontwikkeld door de Belgische Geologische Dienst, waarbij onderzocht werd hoe activiteiten in de diepe ondergrond worden ontwikkeld doorheen de tijd, rekening houdend met verschillende onzekerheden en vormen van flexibiliteit. Deze impactanalyse kan aangeven in welke mate een ontwikkeling van de diepe ondergrond als economisch duurzaam kan beschouwd worden. Ook andere duurzaamheidsindicatoren zouden in de reële optie analyse kunnen geïntegreerd worden, zoals milieu-indicatoren.

Deze analyse beperkt zich tot private kosten en baten. Macro-economische impact, zoals jobcreatie of economische groei, worden niet meegenomen. Hoewel methoden zoals input-outputanalyses of maatschappelijke kosten-batenanalyses kort besproken worden, vallen deze buiten de scope van deze opdracht.

Milieu-impact

De milieu-impact wordt beoordeeld met behulp van levenscyclusanalyse (LCA). De LCA is een methode die prospectief kan worden gebruikt om de milieu-impact van een technologie, product of een proces te beoordelen, rekening houdend met de volledige levenscyclus ervan. Andere methodes voor de bepaling van de milieu-impact zijn: exergieanalyse; milieurisico-analyses; milieu-impactanalyse, i.e. milieu-effectenrapportage (MER); en de ecosysteemdienstbenadering. Deze methodes worden kort besproken in voorliggende studie maar maken geen deel uit van het vervolg van deze opdracht. In het kader van deze opdracht wordt LCA toegepast om de milieu-impact van de geothermische doubletsystemen en de opslag van CO_2 te kunnen bepalen.

Sociale impact

Sociale impact is moeilijker meetbaar en afhankelijk van context. Sociale impactanalyse (SIA) en sociale levenscyclusanalyse (S-LCA) zijn de meest omvattende methoden, maar worden vanwege hun complexiteit vereenvoudigd toegepast. Binnen deze opdracht worden stakeholders in kaart gebracht (zie deelrapport D2), en een model voor sociale impact wordt opgesteld met behulp van indicatoren uit het PC&I-raamwerk (zie D3).

Integratie van resultaten

Aan de hand van de hierboven beschreven methodes kan de geologische, economische, milieu- en sociale impact berekend worden. Voor deze onderzoeksopdracht wordt ook een methode ontwikkeld om deze verschillende types impact te integreren.

In het kader van deze opdracht wordt er een PC&I raamwerk uitgewerkt dat aangeeft welke principes gerespecteerd moeten worden voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond (zie deelrapport D3). Vervolgens worden er criteria bepaald die aangeven wat de geologische, economische, milieu, en sociale randvoorwaarden zijn waaraan voldaan moet worden om een ontwikkeling in de diepe ondergrond als duurzaam te beschouwen.

De resultaten van de geologische, economische, ecologische en sociale impactanalyses worden samengebracht in een multi-criteria matrix. Deze matrix wordt verder vertaald in een

spiderdiagram, waarmee trade-offs tussen de verschillende criteria (uit het PC&I raamwerk) kwalitatief besproken kunnen worden voor de verschillende ontwikkelingsscenario's (zie deelrapport D7).

Omgaan met onzekerheden en aspecten van tijd en ruimte

Bij de geselecteerde methoden wordt rekening gehouden met onzekerheden en de specifieke dimensies van tijd en ruimte in de geologische context. Ruimte wordt driedimensionaal en dynamisch benaderd, terwijl tijd een flexibeler begrip is vanwege langetermijneffecten. De gebruikte methoden zijn compatibel met deze unieke aspecten, waarbij onzekerheden expliciet worden meegenomen in de analyse.

D6: DE ONTWIKKELING VAN DE DIEPE ONDERGROND IN VLAANDEREN: HUIDIGE EN TOEKOMSTIGE ACTIVITEITEN

Het potentieel van de diepe ondergrond van Vlaanderen hangt nauw samen met de aanwezige geologische eenheden. De eigenschappen van die geologische eenheden worden op hun beurt bepaald door hun geologische geschiedenis. De oudste geologische eenheid in Vlaanderen is het Massief van Brabant. Deze eenheid vormt voor een groot deel – een driehoek tussen de kust, Antwerpen en de taalgrens – de diepe ondergrond van Vlaanderen. In het noordoosten van Vlaanderen ligt het Massief van Brabant dieper, waardoor ook jongere geologische eenheden daar deel uitmaken van de diepe ondergrond. Het Kempens Post-Brabantisch Bekken is gekend omdat de kalkstenen ervan lokaal goede reservoireigenschappen bezitten. Het nog jongere Kempens Subvoorlandbekken is gekend omwille van de steenkoolafzettingen die historisch gemijnd werden. Vandaag heeft het nog steeds potentieel voor koolwaterstofwinning. De jongste afzettingen in de diepe ondergrond van Vlaanderen behoren tot het Kempens Krijtbekken en het Zuidelijk Noordzeebekken. De informele naam Kempisch Bekken verwijst naar de opeenvolgende bekkens die in de Kempen en omgeving de sedimentaire sequentie hebben opgebouwd, beginnend bij het oudste Post-Brabantisch Bekken en eindigend bij het jongste Noordzeebekken.

Geothermie of aardwarmte – de energie die in de vorm warmte zit opgeslagen in de ondergrond – is één van de meest veelbelovende toepassingen in de (diepe) ondergrond in Vlaanderen. De Kempen werd historisch reeds verkend voor geothermie, en het voorbije decennium werden die inspanningen hervat. Vandaag zijn twee doubletsystemen actief (Balmatt in Mol en Janssen Pharmaceutica in Beerse). Eénputsgeothermieprojecten zijn minder afhankelijk van specifieke reservoireigenschappen en richten zich daarom meer op het Massief van Brabant. De hoeveelheid warmte aanwezig in reservoirs voor doubletsystemen wordt in de literatuur geschat op $19*10^9$ GJ. De geschatte hoeveelheid warmte aanwezig ligt aanzienlijk hoger voor de éénputsgeothermieprojecten. Dit is echter de totale aanwezige warmte, en slechts een fractie ervan zal winbare warmte zijn.

Warmteopslag is een andere techniek waarbij overschotten aan warmte ondergronds worden opgeslagen. Deze techniek wordt in Vlaanderen nog niet toegepast. Er zijn wel mogelijkheden voor warmteopslag in Vlaanderen, zoals de voormalige mijn van Beringen, waar naar schatting 135 GWh aan warmte zou kunnen worden opgeslagen.

De seizoensopslag van aardgas is een belangrijke activiteit in de diepe ondergrond van Vlaanderen, die momenteel al plaatsvindt. Er is één opslaglocatie vandaag in Vlaanderen (en België), in Loenhout,

waar het opgeslagen aardgas dient als strategische reserve. In totaal kan er maximaal tussen 7.6 en 9.2 TWh aan aardgas opgeslagen worden in Loenhout. Om aardgas ondergronds op te slaan is een geschikte koepelstructuur nodig, die op natuurlijke wijze het ontsnappen van aardgas verhindert. Er zijn aanwijzingen dat er in de ondergrond van de Kempen nog andere geschikte koepelstructuren bestaan, maar deze zijn onvoldoende verkend.

Ondergrondse opslag van waterstof is een belangrijke optie voor de toekomst. Vandaag wordt onderzocht of dezelfde koepelstructuur waar reeds aardgas wordt opgeslagen, ook geschikt zou zijn voor de opslag van waterstof. Omwille van de lagere dichtheid van waterstof zou de hoeveelheid opgeslagen energie te Loenhout lager zijn dan voor aardgas (3.2 TWh i.p.v. 7.6 TWh). Als de opslag van waterstof in de diepe ondergrond realiteit wordt, zal er behoefte zijn aan extra opslaglocaties.

De geologische opslag van CO_2 zou ook gebruik maken van de opslagcapaciteit van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Het doel bij opslag van CO_2 is echter permanente opslag, en van aanzienlijke grotere volumes dan van aardgas of waterstof. De ondergrond van Vlaanderen biedt mogelijkheden voor de opslag van CO_2, maar deze zijn onvoldoende verkend om definitieve uitspraken te doen.

Voor de berging van hoogradioactief, langlevend afval wordt door NIRAS een diepte van 200 tot 600 meter voorgesteld. Hiervoor zouden galerijen worden aangelegd in afzettingen met zeer lage doorlatendheid, zoals de plastische kleien van het Zuidelijke Noordzeebekken of weinig doorlatende gesteenten van het Massief van Brabant. Volgens schattingen zou er ongeveer 15000 m^3 aan hoogradioactief afval moeten geborgen worden, waarvoor 62500 meter aan galerijen nodig zou zijn.

Daarnaast wordt er nagedacht over het gebruik van de ondergrond in Vlaanderen voor de opslag van potentiële energie. Hiervoor zouden tunnels moeten geconstrueerd worden, bv. in het Massief van Brabant, waar energie kan opgeslagen worden door het samendrukken van gas (bv. lucht). Ter illustratie, om het dagelijkse energieverbruik van alle Vlaamse gezinnen (25000 MWh) te bufferen, zou een ondergronds reservoir van 20 miljoen m^3 op een diepte van 500 m nodig zijn. Dit voorbeeld toont aan dat de ruimte ondergronds beschikbaar zou zijn in Vlaanderen, en dat voornamelijk de bovengrondse implicaties de schaal van zo'n project zouden bepalen.

Hoewel Vlaanderen geen absolute drinkwatertekorten kent, zijn er wel seizoensgebonden tekorten, vooral in West-Vlaanderen. De tijdelijke ondergrondse opslag van drinkwater in een aquifer – Aquifer Storage and Recovery (ASR) – zou een mogelijke oplossing hiervoor zijn. Proefprojecten in het Massief van Vlaanderen, recent nabij Aalst, zijn momenteel aan de gang. De verkenningen zijn voorlopig in de ondiepe ondergrond, maar zouden ook succesvol kunnen toegepast worden in de diepe ondergrond.

Het Kempens Subvoorlandbekken is historisch gekend voor de ontginning van steenkool tussen 1914 en 1992. Vandaag zijn er nog steeds aanzienlijke hoeveelheden steenkool aanwezig, geschat tussen de 4 en 8.5 miljard ton steenkool. In gebieden waar de steenkool niet werd ontgonnen, bestaat nog de optie om koolbedmethaan te onttrekken. De hoeveelheid technisch winbaar koolbedmethaan wordt geschat op $53*10^9$ m^3 in de literatuur.

De internationale interesse in schaliegas piekte tussen 2011 en 2013, met mogelijkheden in het Kempens Subvoorlandbekken. De (beperkte) analyses die hier gebeurden leken echter eerder ongunstig.

Economisch interessante mineralisaties zijn (nog) niet bekend in Vlaanderen. Het Massief van Brabant is een geologische eenheid waar processen geleid zouden kunnen hebben tot ertsafzettingen, en verdient dus aandacht bij toekomstige exploratie. In het Kempens Post-Brabantisch Bekken komt lithium in verhoogde concentraties voor in het formatiewater, wat een interessante coproductie zou kunnen zijn bij geothermische doubletprojecten.

Op basis van dit overzicht zijn de meest waarschijnlijke activiteiten die ontwikkeld kunnen worden in de diepe ondergrond van Vlaanderen tegen 2050: geothermie, waterstof- en aardgasopslag, warmteopslag, CO_2-opslag, drinkwateropslag, de berging van hoogradioactief, langlevend afval (in de Kempen), en geothermische coproductie van lithium. Op langere termijn, of bij sterk gewijzigde socio-economische context, zijn activiteiten zoals zeer diepe geothermie voor elektriciteitswinning, berging van radioactief afval (in het Massief van Brabant), verdere ontginning van steenkool en schaliegas, ontginning van koolbedmethaan, en diepere mijnbouw ook nog mogelijk.

D7: KWALITATIEVE EN KWANTITATIEVE IMPACTMODELLERING: GEOLOGISCHE, ECONOMISCHE, MILIEU- EN SOCIALE IMPACT

Voor ieder van de beleidsvisies die werden vastgesteld in deelrapport D4, wordt onderzocht in welke mate activiteiten in de diepe ondergrond van Vlaanderen zich kunnen ontwikkelen en welke effecten deze activiteiten met zich meebrengen. Daarom wordt een impactanalyse uitgevoerd in deelrapport D7.

Deze impactanalyse koppelt activiteitsmodellen aan een semi-analytisch reservoirmodel en geo-techno-economische simulaties om de kans op ontwikkeling van verschillende types projecten in de diepe ondergrond onder uiteenlopende beleidsscenario's te beoordelen. Hierbij worden ook de verwachte geologische, techno-economische, milieu- en sociale effecten in kaart gebracht. De resultaten worden vervolgens afgetoetst aan de duurzaamheidsprincipes die in D3 beschreven worden.

De gemodelleerde activiteiten beperken zich tot activiteiten in de diepe ondergrond die momenteel actief zijn, en degene die realistisch voor 2050 verwacht kunnen worden. Dit zijn geothermische doubletten, éénputsgeothermie, co-winning van lithium, koude-warmteopslag in steenkoolmijnen, opslag van aardgas, opslag van waterstofgas, geologische opslag van CO_2, en in bepaalde scenario's steenkoolmethaanwinning (met co-winning van schaliegas). De berging van radioactief afval wordt geëvalueerd zonder een exacte locatie te bepalen, en zonder techno-economische modellering. De impact van activiteiten die niet voor 2050 verwacht kunnen worden (vb. geothermie dieper dan 5 km, opslag van drinkwater, opslag van potentiële energie), worden kwalitatief besproken.

De beleidsscenario's die gericht zijn op het stimuleren van diepe geothermieprojecten en mogelijk ook lithiumproductie – RES, CLIM, BAL, LONG en EXPL – vergroten de kans op winstgevendheid en ontwikkeling van geothermie. Dit draagt bij aan een vermindering van CO_2-uitstoot. Echter, de intensievere benutting van de ondergrond vereist aandacht voor mogelijke interferenties tussen activiteiten en uitputting van hulpbronnen op lokaal niveau. Deze scenario's veroorzaken geen significante negatieve maatschappelijk effecten. Sommige geothermieprojecten leveren in bepaalde gevallen ook maatschappelijke voordelen op.

Het beleidsscenario, dat diepe geothermie uitsluit in gebieden geschikt voor de opslag van aardgas, waterstof, CO_2 of hoogradioactief, langlevend afval – STOR – resulteert in een lagere benutting van de ondergrond en minder vermeden CO_2-uitstoot. Door geologische factoren is de kans op CO_2-opslag klein, maar de beperkte beschikbaarheid van locaties voor geothermie vermindert ook het risico op interferentie en uitputting. Dit scenario waarborgt flexibiliteit voor toekomstige generaties, maar eenmaal de opslaglocaties toegewezen zijn, zullen deze permanent onbeschikbaar zijn voor andere toepassingen. Daardoor kunnen sommige maatschappelijke wenselijke projecten niet worden uitgevoerd, maar tegelijkertijd blijven daardoor ook enkele onwenselijke aspecten (interferenties, uitputting, …) achterwege.

Het beleidsscenario dat meer gericht is op zelfvoorziening – SELF – staat ook de winning van steenkoolgas (CBM) toe, wat een hoge kans op winstgevendheid heeft. Dit scenario leidt tot een maximale benutting van de diepe ondergrond, maar leidt toch tot een lagere vermeden CO_2-uitstoot. Aandacht voor interferentie en uitputting is ook hier essentieel. Bovendien ligt het CBM-project in Oudsbergen in een gebied met relatief veel natuur, wat maatschappelijk onwenselijk is.

Tot slot bleek de impact van het exploratiescenario – EXPL – beperkt. Op basis van praktijkervaring wordt toch aanbevolen om dit scenario in de toekomst in meer detail te onderzoeken.

De geïntegreerde modelontwikkeling die in dit deelrapport wordt gepresenteerd, is uniek. Er zijn momenteel geen andere modellen die een vergelijkbare integratie van geologische, economische, milieu- en sociale duurzaamheidseffecten mogelijk maken. Dankzij het ontwikkelde model in D7, kunnen de economische, sociale en milieu-effecten van huidig en toekomst beleid geëvalueerd worden in één geïntegreerde analyse. Ook de lokale en regionale geologische impact van het beleid worden geanalyseerd. Verdere ontwikkelingen in methode en gegevens worden verwacht in de lopende DIAMONDS- en MASSIF FWO-projecten.

Hoewel dit model nog beperkingen kent, leveren de resultaten al verschillende beleidsrelevante inzichten op. Zo blijkt dat warmteproductie een belangrijke rol speelt in de exploitatie van de diepe ondergrond in Vlaanderen, met brede impact. Dit betekent echter niet dat andere activiteiten moeten worden uitgesloten. Hoewel CO_2-opslag bijvoorbeeld weinig waarschijnlijk lijkt, kan de impact van één dergelijk project, indien haalbaar en wenselijk, groter zijn dan die van meerdere geothermieprojecten samen. Het multidisciplinaire evaluatiekader laat zien hoe indicatoren elkaar kunnen balanceren, zoals benutting versus uitputting.

Verdere kennisontwikkeling is nodig om bijkomende duurzaamheidsindicatoren, met name voor het rechtvaardigheidsprincipe, te identificeren. Naarmate activiteitsmodellen beschikbaar komen, kunnen deze worden geïntegreerd om de nauwkeurigheid van de simulaties te verbeteren. Daarnaast is er behoefte aan geologische modellen om interferenties en uitputting beter te meten. Ook een verdere integratie van de modellen is wenselijk. Zo is bijvoorbeeld voor iedere activiteit de locatie gespecifieerd én is de warmtevraagdichtheid gekend per locatie, maar er is nog geen expliciete koppeling tussen de warmtevraag op een locatie en de (mogelijke) warmteproductie d.m.v. geothermie op die locatie.

Momenteel worden de scenario's beoordeeld op basis van verschillende duurzaamheidsindicatoren en ten opzichte van elkaar geëvalueerd. Deze *a posteriori* evaluatie geeft echter nog geen inzicht in de mate waarin een specifieke duurzaamheidsdoelstelling wordt bereikt. Daarom nagedacht worden over meetbare duurzaamheidscriteria om te bepalen of een activiteit voldoet aan deze

principes, zodat duurzaamheid ook expliciet als evaluatiecriterium kan worden meegenomen in de modellering.

D8: SWOT ANALYSE VOOR EEN DUURZAAM GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND IN VLAANDEREN

In dit deelrapport wordt een SWOT-analyse gemaakt op basis van de inzichten uit de impactanalyse (zie ook deelrapport D7) en een reflectie daarop met de stuurgroep. Sterkten en zwakten (*Strenghts & Weaknesses*) zijn aspecten intern aan de organisatie – die men zelf in de hand heeft. In dit geval werden ook de aanwezigheid van het natuurlijk kapitaal in de diepe ondergrond als intern onderdeel beschouwd van het Vlaams beleid ter zake. Opportuniteiten en bedreigingen (*Opportunities & Threats*) zijn aspecten extern aan de organisatie – die men niet zelf in de hand heeft, zoals socio-economische parameters, de vraag naar grondstoffen, evoluties in technologie en geopolitieke ontwikkelingen. Om invulling te geven aan elk van deze aspecten werd eerst gekeken naar het gebruik van de Vlaamse diepe ondergrond in het algemeen en vervolgens naar die aspecten die als cruciaal beschouwd worden voor een 'duurzaam' gebruik van de Vlaamse diepe ondergrond.

Samengevat bracht de SWOT volgende inzichten aangaande een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen:

Sterkten

De diepe ondergrond in Vlaanderen biedt mogelijkheden om activiteiten te ontwikkelen die kunnen bijdragen aan belangrijke maatschappelijke doelstellingen (o.a. met betrekking tot klimaat, energiezekerheid, het bestrijden van energiearmoede, en de voorzieningszekerheid van (kritieke) grondstoffen). Op basis van een eerste, eerder beperkte, modellering kan worden geconcludeerd dat het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen (i) kan bijdragen aan het verminderen van de CO2-uitstoot; (ii) economisch haalbaar is onder bepaalde voorwaarden; en (iii) maatschappelijk wenselijk en haalbaar kan zijn, naargelang de omstandigheden.

Waar de diepe ondergrond in Vlaanderen over een hoge doorlatendheid beschikt, heeft deze een belangrijk potentieel voor ontwikkeling van de meeste activiteiten, zoals bv. diepe geothermie of opslag van aardgas en waterstof. De modellering bevestigt dat onder bepaalde omstandigheden dit geologisch potentieel kan omgezet worden in haalbare projecten, die in de korte termijn mits goede planning andere activiteiten weinig belemmeren.

De huidige beleidscontext wordt gekenmerkt door meerdere samenwerkingsverbanden op Vlaams niveau en tussen de meest relevante Vlaamse en federale beleidsactoren. De opmaak van een structuurvisie voor een planmatig en duurzaam beheer van de diepe ondergrond is decretaal bepaald sinds 2016. Via Databank Ondergrond Vlaanderen worden alle gegevens over de (diepe) ondergrond waarover Vlaanderen vrij beschikt, alsook de ontwikkelde 3D- en voxelmodellen, publiek gedeeld. Zo wordt beoogd de drempel voor maatschappelijk en ecologisch gunstige investeringen in de diepe ondergrond te verlagen.

Het is belangrijk om op dit elan door te gaan en kennis gezamenlijk verder te ontwikkelen en te delen opdat activiteiten in de diepe ondergrond op een kostenefficiënte manier gepland en ontwikkeld kunnen worden binnen de grenzen van sociale en ecologische duurzaamheid.

Zwakten

Om te komen tot een werkelijk duurzaam gebruik van de diepe ondergrond dient met volgende elementen rekening gehouden:

Uit de modellering blijkt dat in bepaalde scenario's (m.n. bij de winning van koolwaterstoffen) het gebruik van de diepe ondergrond kan leiden tot een toename aan CO2-uitstoot. Bepaalde activiteiten zijn gevoeliger voor beïnvloeding door andere activiteiten, en interferentie is duidelijker bij een hoge doorlatendheid van de diepe ondergrond.

De beschikbare kennis over de diepe ondergrond in Vlaanderen beperkt zich in grote mate tot de Kempen. Het hoge potentieel daar houdt tevens een risico in op overbevraging. De ruimte in Vlaanderen is immers zowel bovengronds als ondergronds beperkt.

Voor heel wat potentiële activiteiten zijn op dit moment nog technische, wetenschappelijke of financiële barrières te overwinnen. Het ontplooien van activiteiten in de diepe ondergrond vergt een groot investeringsrisico. Op dit moment zijn er onvoldoende middelen om de kansen voor en impact van toekomstig gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen volledig in te schatten. Tal van waardevolle gegevens zijn nog niet publiek beschikbaar of zitten versnipperd bij andere instellingen en private eigenaars. Dit houdt risico's in voor de beleidsvoering (o.a. advisering en opvolging van vergunningen, inschatten kansen en risico's, kwaliteit ondergrondmodellen) en zet een rem op nieuwe investeringen.

Naast versnippering van middelen, stellen we versnipperde bevoegdheden en een versnipperde aandacht voor de ondergrond vast. Hoewel de diepe ondergrond in Vlaanderen één dynamisch, samenhangend geheel vormt, geldt daarvoor vandaag een verschillend bevoegdheidskader met eigen regelgeving afhankelijk van de activiteit en kijken verscheidene private en publieke actoren nog te vaak vanuit een specifieke activiteit naar de ondergrond en niet vanuit die dynamische samenhang.

Opportuniteiten

Uit de eerste modellering blijkt dat meerdere scenario's wijzen op de maatschappelijke, ecologische en ook economische meerwaarde van benutting van de diepe ondergrond. Om de kansen en risico's voor een duurzame valorisatie van de diepe ondergrond te verkennen, zou een gerichte exploratie het meest efficiënt zijn. De recente uitbouw van de Vlaamse Geotheek als referentiebibliotheek voor de ondergrond kan daarbij ondersteuning bieden, maar ook de kennis en data bij private actoren zouden nog verder ontsloten kunnen worden.

Verdere verkenning van de diepe ondergrond in de Kempen, maar zeker ook in de rest van Vlaanderen, is nodig om een nog meer realistisch beeld te krijgen van de reële mogelijkheden en om op niveau van Vlaanderen een zo evenwichtig mogelijke spreiding na te streven van activiteiten die elkaar mogelijks zouden belemmeren, zowel in ruimte als in tijd. Aanwezigheid van bestaande ondergrondse infrastructuur (bv. verlaten steenkoolmijnen) biedt kansen voor verdere exploratie en ontwikkeling.

Voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond is het belangrijk om een visie te ontwikkelen waarbij de diepe ondergrond beschouwd wordt als een publiek goed en duurzaam handelen centraal gesteld wordt. De ontwikkeling van een Structuurvisie Diepe Ondergrond in Vlaanderen, zoals decretaal voorzien, biedt daartoe een expliciete kans. Regelgeving op maat, het uitbreiden van

samenwerkingsverbanden en zo breed mogelijk ontsluiten van bestaande kennis zijn van cruciaal belang voor een geharmoniseerde aanpak van boven- en ondergrondse milieuzorg.

Bedreigingen

Een overbenutting van de diepe ondergrond kan leiden tot conflicterende situaties, uitputting en beperkingen voor toekomstige generaties. Activiteiten als diepe geothermie die we vandaag maatschappelijk en ecologisch gunstig achten, vragen hoge investeringen en zijn daardoor economisch (nog) niet interessant voor private investeerders.

Een niet-geharmoniseerde regelgeving (m.n. tussen het Vlaamse en federale niveau) alsook het ontbreken van een exploratieplan of structuurvisie belemmeren een efficiënte bundeling van interne en externe middelen. De historische ontwikkeling op vlak van ruimtelijke ordening kan een hinderpaal vormen voor bijvoorbeeld het uitrollen van warmtenetten. Het bestaan van een de facto first come first served principe bemoeilijkt een collectief bewustzijn en een duurzaam beheer van de ondergrond als publiek goed.

Indien niet tijdig een algemene visie en beleidskader wordt ontwikkeld dat benutting en beheer van de diepe ondergrond toelaat, maar binnen de grenzen van wat sociaal en ecologisch wenselijk is, bestaat het risico trends in te zetten die op termijn tot een niet-duurzaam gebruik kunnen leiden.

D9: PARTICIPATIETRAJECT MET STAKEHOLDERS: VERSLAGEN VAN DE KLANKBORDGROEP

Tijdens de onderzoeksopdracht werden drie workshops gehouden met een klankbordgroep, waar verschillende stakeholders en experten van de diepe ondergrond in Vlaanderen deel van uitmaakten. De bedoeling van de workshops met de Klankbordgroep was om de stakeholders te informeren over de resultaten van het onderzoek, en ook hun input en feedback te krijgen tijdens het traject.

In dit deelrapport wordt eerst de samenstelling van de Klankbordgroep besproken. Nadien wordt een uitgebreid verslag gegeven van iedere workshop, waarvan de eerste plaatsvond op 19 juni 2023 en de laatste workshop op 26 maart 2024.



D1 Energie- en klimaatuitdagingen en het gebruik van de diepe ondergrond

Deelrapport 1

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

D1. Energie -en klimaatuitdagingen en het gebruik van de diepe ondergrond

Dit rapport schetst hoe het gebruik van de Vlaamse diepe ondergrond zou kunnen passen binnen de huidige socio-economische ontwikkelingen en uitdagingen. In Hoofdstuk 2 worden de maatschappelijke uitdagingen met betrekking tot klimaat, energie en duurzaam materialenbeheer geschetst. Hoofdstuk 3 licht vervolgens toe hoe het Europese, nationale, en Vlaamse beleid zich momenteel ontwikkelen om aan deze uitdagingen het hoofd te bieden en de transitie naar een rechtvaardige, koolstofarme en circulaire economie verder te zetten. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op deze socio-economische ontwikkelingen en legt uit hoe verschillende economische sectoren en bedrijven zich positioneren en in welke mate technologische ontwikkelingen en nieuwe bedrijfsmodellen relevant zijn voor het gebruik van de diepe ondergrond. In Hoofdstuk 5 wordt een eerste aanzet gegeven naar mogelijke ontwikkelingsscenario's voor het gebruik van de diepe ondergrond. De verdere uitwerking van de scenario's en bepaling van de impacts zal gebeuren in het verdere verloop van deze overheidsopdracht.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Tine Compernolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Welkenhuysen – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Piessens – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Anne Bergmans – UAntwerpen | FSW

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Compernolle, T., Welkenhuysen, K., Bergmans, A., Piessens, K. (2025). D1. Energie- en klimaatuitdagingen en het gebruik van de diepe ondergrond. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond.* Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS


natural
sciences
.be


since 1896
Geological Survey
of Belgium


Universiteit
Antwerpen

MANAGEMENTSAMENVATTING

Problematieken aangaande het klimaat, energie en duurzaam materialenbeheer

Klimaat, energie, en materialengebruik zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Het gebruik van fossiele energiebronnen leidt tot klimaatverandering. Om een transitie te maken naar een koolstofarme maatschappij is het belangrijk dat er ingezet wordt op een daling van de energievraag en de productie van hernieuwbare elektriciteit en warmte, door alle economische sectoren, overheden, en consumenten en binnen alle segmenten van de waardeketen (ontwerp, grondstoffenontginning, productie, logistiek, distributie, gebruik, levenseinde). Bovendien is de manier waarop we omgaan met materialen bepalend voor de energievraag. Minstens de helft van de totale uitstoot van broeikasgassen kan gelinkt worden aan materiaal gerelateerde processen. Daarom is het belangrijk dat binnen een koolstofarme maatschappij niet alleen de vraag naar energie, maar ook de vraag naar materialen beperkt wordt.

Bijkomend hebben de grote schommelingen in de prijs van energie en materialen als gevolg van COVID-19 en de oorlog in Oekraïne recent nog eens het belang aangetoond om minder afhankelijk te zijn van buitenlandse productie. De toepassing van circulaire strategieën die materialen zo lang mogelijk in de kringloop houden en die leiden tot een vermindering in het verbruik van materialen, kan een transitie naar een koolstofarme maatschappij ondersteunen. De transitie naar een koolstofarme en circulaire economie zal echter niet gerealiseerd worden als er enkel gesteund wordt op technologische oplossingen. Het is belangrijk waakzaam te zijn voor reboundeffecten waarbij energie- (en kosten-)besparingen leiden tot een verhoogde consumptie. Daarom zullen ook gedragsveranderingen bepalend zijn om de omslag te maken.

De klimaatproblematiek en de transitie naar een koolstofarme en circulaire economie hebben niet alleen impact op productie- en consumptiepatronen maar beïnvloeden ook het sociale weefsel. Zonder maatregelen zal de opwarming van de aarde bestaande sociale ongelijkheden verder versterken. Bovendien draagt niet enkel de mens de gevolgen van de klimaatverandering, maar worden ook bestaande ecosystemen aangetast. Bij de transitie naar een koolstofarme en circulaire economie is het belangrijk waakzaam te zijn voor ongewenste neveneffecten en in te zetten op het behoud van zowel het menselijk als het natuurlijk kapitaal.

De diepe ondergrond

Hoewel de diepe ondergrond vaak buiten beeld blijft, speelt dit deel van onze natuurlijke omgeving een rol bij maatschappelijke ontwikkelingen. Als essentieel onderdeel in de waardeketen voor energie en grondstoffen is de diepe ondergrond verweven met de oorzaken en gevolgen van de klimaat-, energie- en grondstoffenproblematiek, zoals de onttrekking van fossiele brandstoffen, seizoenale opslag van aardgas, extractie van minerale grondstoffen of net het onderbenutten van zijn potentieel. De diepe ondergrond biedt echter ook oplossingen voor een transitie naar een duurzame, koolstofarme en circulaire toekomst. Diepe geothermie biedt een koolstofarme bron van energie, onevenwicht in vraag en aanbod van (hernieuwbare) energiebronnen kunnen gebufferd worden onder de vorm van ondergrondse warmteopslag of onder de vorm van waterstof in ondergrondse opslagsites, en CO_2 kan permanent opgeslagen worden in diepe reservoirs. Kritieke grondstoffen, veelal noodzakelijk voor duurzamere technologieën, kunnen ook uit de diepe ondergrond gewonnen worden.

Ook in Vlaanderen biedt de diepe ondergrond (gedefinieerd als dieper dan -500 mTAW) deze mogelijkheden. Hoewel niet exclusief, was door de specifieke geologie vooral het Bekken van de Kempen in het noordoosten van Vlaanderen een doel voor diepe toepassingen. De industriële exploitatie begon hier met de winning van steenkool (1906-1992) en momenteel is dit de enige locatie in België waar er aardgas opgeslagen wordt. De diepe afzettingen in het Bekken van de Kempen worden meer en meer in overweging genomen voor toepassingen die bijdragen aan klimaatdoelen en energiezekerheid. Zo is het Bekken van de Kempen het primaire doel voor geothermische warmteproductie in Vlaanderen. Er lopen daarnaast nog onderzoeksprojecten voor de opslag van waterstof, de geologische berging van langlevend en hoogradioactief afval, opslag van warmte, de productie van elektriciteit (via ORC-technologie) en de winning van lithium uit diepe geothermie. Andere mogelijke toepassingen omvatten de opslag van CO_2, winning van koolwaterstoffen en het hergebruik van de kolenmijnen voor koude-warmteopslag. Daarnaast is er ook in andere delen van Vlaanderen potentieel aanwezig voor bepaalde toepassingen , zoals geothermie, opslag van potentiële energie, berging van radioactief afval in gesteente, en opslag van drinkwater. Dit maakt dat de diepe ondergrond van Vlaanderen in toenemende mate zou kunnen bijdragen tot het realiseren van energiezekerheid en milieudoelstellingen, zonder economische ontwikkeling in gevaar te brengen.

Beleidsontwikkelingen voor een transitie naar een rechtvaardige, koolstofarme en circulaire economie

Om de opwarming van de aarde te beperken, wil Europa broeikasgasemissies reduceren met 55% t.o.v. 1990 tegen 2030 om zo klimaatneutraal te worden tegen 2050. Voor Emission Trading System (ETS) sectoren betekent dit voor 2030 een emissiereductie van 62% t.o.v. 2005. Voor Effort Sharing Regulation (ESR) sectoren wordt de doelstelling op niveau van de lidstaat bepaald. België moet daarvoor streven naar een reductie van 47% t.o.v. 2005. In het ontwerp van het Vlaams Energie- en Klimaatplan (2023) wordt echter een reductie van 40% t.o.v. 2005 vooropgesteld en op het moment van schrijven is er nog onenigheid tussen de verschillende regeringen in België of dit voldoende is om het nationale doel te halen. Deze klimaatdoelstellingen staan niet op zichzelf. Zowel op Europees niveau als in Vlaanderen wordt de transitie naar een koolstofarme economie gekoppeld aan de transitie naar een circulaire economie. Daarnaast wordt er gestreefd naar energiezekerheid en het verminderen van energiearmoede.

Ook het gebruik van de diepe ondergrond speelt een rol voor het behalen van deze doelen. Europese beleidsmaatregelen richten zich op de ontwikkeling van Carbon Capture and Storage (CCS), de ontwikkeling van een waterstofeconomie waarbij de ondergrond gebruikt kan worden voor tijdelijke opslag, en de ontwikkeling van diepe geothermie voor de productie van hernieuwbare warmte en elektriciteit. Vlaanderen richt zich wat betreft CCS op de ondersteuning van de ontwikkeling van CCS-netwerken en het oprichten van internationale samenwerkingen voor opslag van CO_2 in het Noordzeebekken. Wat betreft diepe geothermie streeft Vlaanderen naar een groene warmteproductie van 99 GWh tegen 2030, met een tussendoelstelling van 24 GWh in 2023. Ter ondersteuning voorziet Vlaanderen in een waarborgregeling en is er de mogelijkheid tot toekenning van financiële steun voor nuttige groene warmte installaties via de Call Groene Warmte.

Middels de “Green Deal” stelt Europa voorop het aandeel hernieuwbare energiebronnen in de energieproductiemix tegen 2030 op te trekken tot 40%. Dit betekent evenwel dat er ook na 2030 nog beroep zal moeten gedaan worden op niet hernieuwbare bronnen om aan de energiebehoefte te voldoen. Gas zal dus nog geruime tijd een onderdeel van de energiemix blijven en (tijdelijke) gasopslag een noodzakelijke maatregel om aan fluctuaties in de energievraag te voldoen. Het

bergen van radioactief afval betreft op dit moment een noodzakelijke laatste stap in een productieproces dat als eindig wordt gezien. Waar men in Nederland vandaag volop inzet op herinvestering in kernenergie, lijkt dat in België en Vlaanderen nog niet meteen aan de orde, maar bij verandering in beleid, kan daarmee ook de noodzaak aan bijkomende ondergrondse bergingsruimte voor radioactief afval zich stellen.

Socio-economische ontwikkelingen voor een transitie naar een rechtvaardige, koolstofarme en circulaire economie

Binnen deze beleidskaders ontstaan er internationale clusters en netwerken van bedrijven die onderzoeken hoe ze de nodige technologieën en processen kunnen ontwikkelen voor de creatie van duurzame waardeketens voor CCS en waterstof. Zo is Fluxys nv als beheerder van de ondergrondse gasopslagplaats in Loenhout partner in verschillende onderzoeksprojecten omtrent het transport van CO_2 en waterstof, alsook de ondergrondse opslag van waterstof. De productie van diepe geothermie is daarentegen een meer lokale aangelegenheid. In Vlaanderen is er meer en meer interesse van zowel individuele bedrijven als steden en gemeenten in diepe geothermie voor de productie van groene warmte. Bovendien wordt er onderzocht of de coproductie van lithium economisch haalbaar is en in welke mate dit kan bijdragen aan een duurzaam beheer van grondstoffen. Op technologisch vlak is er wel een internationale link. Geothermische productieschema's die minder afhankelijk zijn van de lokale geologische context of potentieel een efficiëntiewinst of kostenreductie beogen, kunnen de ontwikkeling van geothermie in Vlaanderen positief beïnvloeden of zelfs als demonstratieprojecten uitgevoerd worden. In combinatie met diepgaande renovaties, de aanleg van warmtenetwerken en de ontwikkeling van energiegemeenschappen kan de toepassing van diepe geothermie niet alleen bijdragen aan het bereiken van klimaatdoelstellingen maar ook helpen energiearmoede te verminderen.

De betrokkenheid van gemeenschappen kan een belangrijke rol spelen bij de acceptatie van toepassingen in de diepe ondergrond. Maatschappelijke acceptatie kan verder gaan dan een passieve tolerantie. Projecten zullen vlugger maatschappelijk aanvaard worden wanneer gemeenschappen actief betrokken worden door hen te informeren en hen mee zeggenschap te geven bij de ontwikkeling van het project. Daarbij is het belangrijk om gemeenschappen zo vroeg mogelijk te betrekken, zodat ze alle informatie kunnen verwerken voordat cruciale beslissingen genomen worden

Ontwikkelingsscenario's voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond binnen een rechtvaardige, koolstofarme, en circulaire economie

Activiteiten in de diepe ondergrond zullen in Vlaanderen voornamelijk uitgevoerd worden door bedrijven voor dewelke naast milieu en sociale doelstellingen, het maken van winst belangrijk is om de toepassingen te kunnen realiseren. Daarbij zullen Vlaamse en federale beleidsmaatregelen de ontwikkelingen kunnen sturen. Om te begrijpen wat de impact van deze maatregelen is op de mogelijke ontwikkeling van de diepe ondergrond, zal er in de volgende hoofdstukken onderzocht worden (i) hoe de ondergrond zich zou kunnen ontwikkelen zonder beleidsmaatregelen, (ii) met beleidsmaatregelen.

INHOUDSTAFEL

Managementsamenvatting 4

Problematieken aangaande het klimaat, energie en duurzaam materialenbeheer 4
De diepe ondergrond 4
Beleidsontwikkelingen voor een transitie naar een rechtvaardige, koolstofarme en circulaire economie 5
Socio-economische ontwikkelingen voor een transitie naar een rechtvaardige, koolstofarme en circulaire economie 6
Ontwikkelingsscenario's voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond binnen een rechtvaardige, koolstofarme, en circulaire economie 6

1 Maatschappelijke uitdagingen met betrekking tot klimaat, energie, en duurzaam materialenbeheer 8

1.1 Beschrijving van de klimaatproblematiek 8
1.1.1 Verloop van de broeikasgasemissies in Europa en Vlaanderen 8
1.1.2 Economische aspecten van klimaatverandering 10
1.1.3 Sociale aspecten van klimaatverandering 12
1.2 Beschrijving van de energieproblematiek 13
1.2.1 Economische aspecten 13
1.2.2 Milieuaspecten 16
1.2.3 Sociale aspecten 18
1.3 Beschrijving van de problematiek aangaande schaarste van grondstoffen 20
1.3.1 Schaarste aan grondstoffen 20
1.3.2 Economische aspecten 21
1.3.3 Sociale aspecten 22

2 Europees, nationaal en Vlaams beleid ter ondersteuning van een transitie naar een koolstofarme en circulaire economie, met focus op het gebruik van de diepe ondergrond 24

2.1 Huidig beleid ter ondersteuning van een transitie naar een rechtvaardige, koolstofarme economie 24
2.2 Huidig beleid in kader van de berging van langlevend en hoogradioactief afval 29
2.3 beleid ter ondersteuning van een Rechtvaardige transitie naar een circulaire economie 30

3 Overzicht van socio-economische ontwikkelingen voor een rechtvaardige transitie naar een koolstofarme en circulaire economie, met focus op het gebruik van de diepe ondergrond 33

3.1 Bedrijfsontwikkelingen en technologische innovaties voor een rechtvaardige transitie naar een koolstofarme economie 33
3.1.1 Diepe geothermie: een bron van hernieuwbare warmteproductie met mogelijks een sociaal oormerk 33
3.1.2 Opslag van CO_2 voor een transitie naar een koolstofarme economie 35
3.1.3 Opslag van aardgas en waterstof 36
3.1.4 Gerelateerd of competitief gebruik van de diepe ondergrond 37
3.2 Bedrijfsontwikkelingen en technologische innovaties met betrekking tot de berging van langlevend en hoogradioactief afval 38
3.3 Bedrijfsontwikkelingen en technologische innovaties voor een rechtvaardige transitie naar een circulaire economie 40
3.4 Ontwikkelingen binnen lokale gemeenschappen en op huishoudniveau voor een rechtvaardige transitie naar een koolstofarme en een circulaire economie 41

4 Ontwikkelingsscenario's voor het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in een koolstofarme en circulaire economie 44

4.1 Nul-ontwikkelingsscenario - zonder beleidsobjectief 44
4.2 Ontwikkelingsscenario met beleidsmaatregelen 45

5 Conclusie 46

Referenties 47

1 MAATSCHAPPELIJKE UITDAGINGEN MET BETREKKING TOT KLIMAAT, ENERGIE, EN DUURZAAM MATERIALENBEHEER

Dit hoofdstuk beschrijft en analyseert de diverse samenhangende uitdagingen zodat een objectieve basis wordt gelegd voor de verdere stappen van het onderzoek. Hieruit komt een nieuwe context naar voor die nieuwe opportuniteiten schept, met name voor het gebruik van de diepe ondergrond.

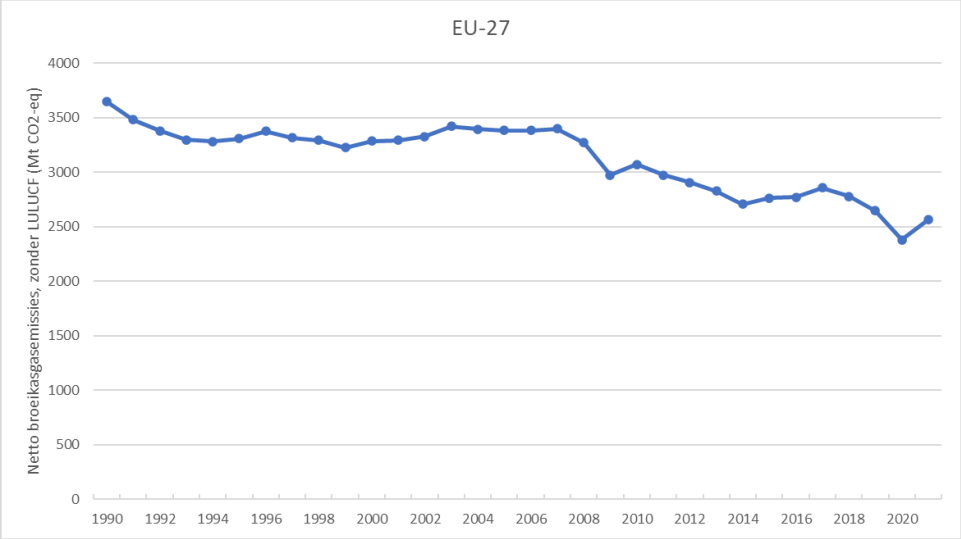
1.1 BESCHRIJVING VAN DE KLIMAATPROBLEMATIEK

Dit deel geeft een algemeen overzicht van de klimaatproblematiek en hoe deze uitdagingen zich uiten in Europa en in Vlaanderen.

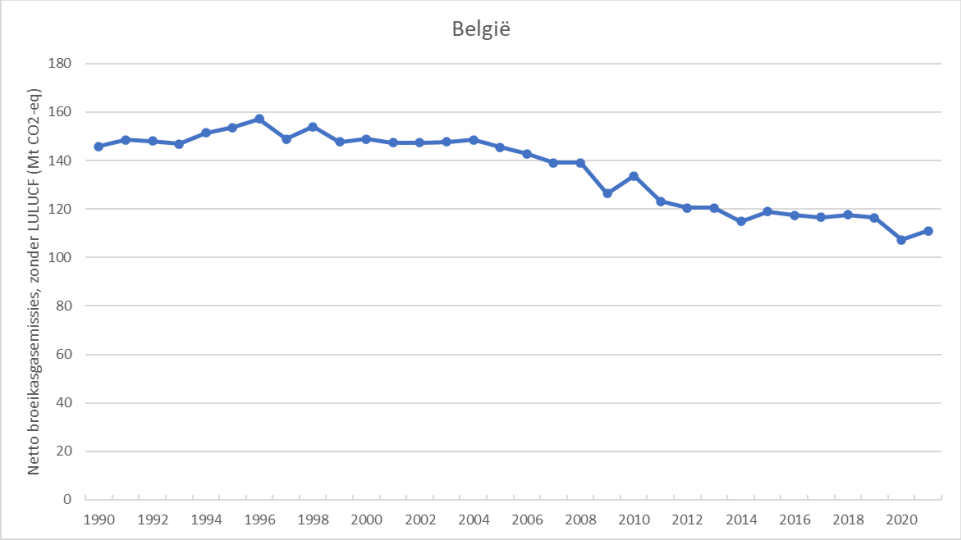
1.1.1 Verloop van de broeikasgasemissies in Europa en Vlaanderen

Er zijn verschillende gassen die in grote hoeveelheden door menselijke activiteit in de atmosfeer worden uitgestoten, en die een positieve stralingsforcering hebben. Dit wil zeggen dat deze gassen zorgen voor een opwarming van de aarde, en dus broeikasgassen zijn. De belangrijkste broeikasgassen uit menselijke activiteit zijn CO_2, CH_4, N_2O, HFK's, PFK's, SF_6 en NF_3. Hoewel de meeste andere gassen een hogere stralingsforcering hebben, levert CO_2 door het grote volume de belangrijkste bijdrage tot de opwarming van de aarde.

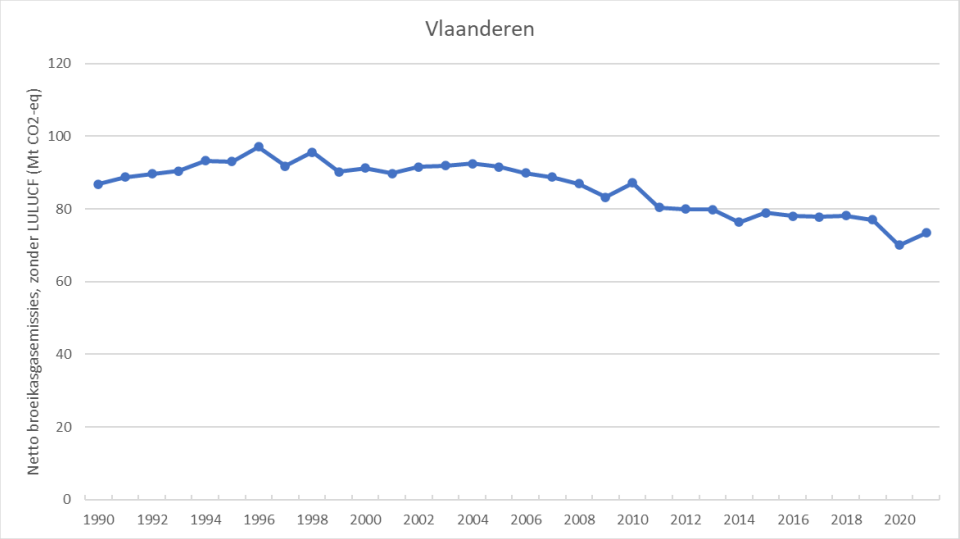
Sinds het Kyoto-Protocol in 1997 worden broeikasgasemissies vergeleken met het referentieniveau in 1990. In de Europese Unie zijn deze emissies gedaald van 4.7 Gt CO_2-eq in 1990 tot 3.2 Gt CO_2-eq in 2021, het laatst gerapporteerde jaar. Dit komt overeen met een daling van net geen 30%. De uitstoot van België is gedaald van 146 Mt CO_2-eq in 1990 naar 111 Mt CO_2-eq in 2021, een daling van 24%. Vlaanderen stootte hiervan in 1990 nog 87 Mt CO_2-eq uit, in 2021 was dit 73 Mt CO_2-eq, een daling van 15%. Hoewel de broeikasgasemissies per inwoner beperkt zijn, mede door het gebruik van CO_2-arme kernenergie, is de emissiereductie beperkt. Dit wordt veroorzaakt door o.a. de emissie-intensieve transportsector, maar ook door een grote vraag aan zowel industriële als residentiële warmte (in eindgebruik groter dan de vraag naar elektriciteit), die momenteel voornamelijk door fossiele brandstoffen wordt ingevuld. Zowel in warmteproductie als in korte-termijn en seizoenale buffering van warmte (en breder, energie) kan de Vlaamse diepe ondergrond in significante mate bijdragen.



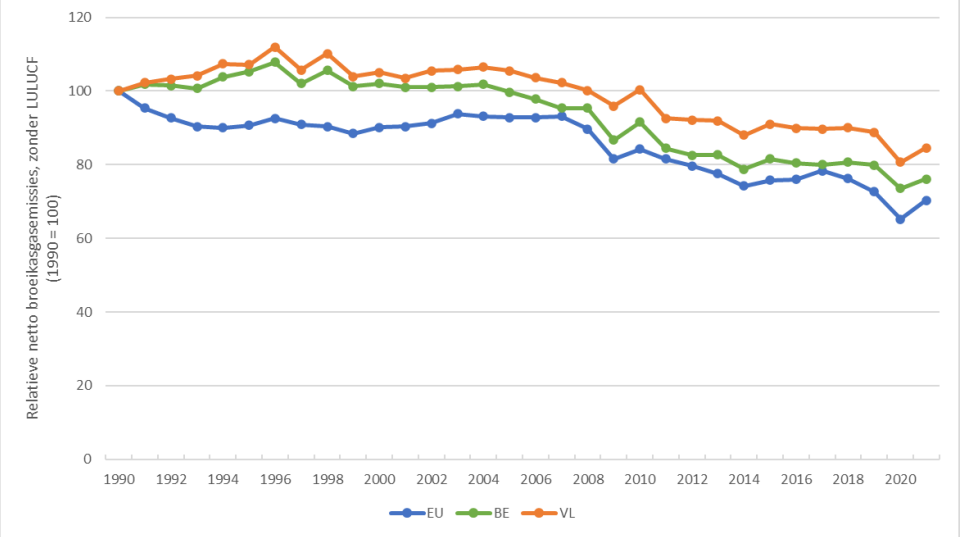
Figuur 1. Netto broeikasgasemissies in de EU-27, zonder LULUCF. Bron: EEA (2023)[1]



Figuur 2. Netto broeikasgasemissies in België, zonder LULUCF. Bron: Klimaat.be (2023)[2]



Figuur 3. Netto broeikasgasemissies in Vlaanderen, zonder LULUCF. Bron: VMM (2023)



Figuur 4. Relatieve netto broeikasgasemissies in Vlaanderen, België en de EU, ten opzichte van het niveau 1990, zonder LULUCF. Bron: VMM (2023)[3]

1.1.2 Economische aspecten van klimaatverandering

Klimaatverandering heeft een grote impact op de maatschappij. Ook in Vlaanderen zijn er belangrijke effecten die nu reeds geobserveerd kunnen worden of die voor de toekomst voorspeld worden. De belangrijkste directe effecten worden opgelijst op het Klimaatportaal Vlaanderen (2023)[4], en stemmen overeen met deze in De Ridder et al. (2020)[5] en Klimaat.be (2023)[6].

- Hitte: er is in Vlaanderen een toename van gemiddelde luchttemperatuur van 2.7°C ten opzichte van het pre-industriële tijdperk. Een toename van warme dagen zorgt voor meer hittegolven en hittestress.
- Droogte: in Vlaanderen is er reeds een lage waterbeschikbaarheid per inwoner. Klimaatverandering veroorzaakt een verandering in neerslagpatroon, met minder neerslag in de zomer en meer evapotranspiratie door hogere temperaturen, wat leidt tot lagere grondwaterstanden en minder water in waterlopen.
- Overstromingen: een veranderend neerslagpatroon in combinatie met toenemende verharding veroorzaakt een verhoging in piekdebieten in de waterlopen, met verhoogde risico's op overstromingen, en een uitbreiding van overstroombare gebieden.

- Wateroverlast: naast overstromingen van waterlopen veroorzaakt intensere neerslag ook wateroverlast door bijvoorbeeld afstromend water.
- Zeespiegelstijging: de stijging van de zeespiegel heeft als voornaamste gevolg de toename van de stormvloedniveaus, met risico's op wateroverlast in de kust- en polderregio, en een verhoogde kusterosie.

De economische invloed op de maatschappij van deze directe effecten zijn zeer divers en veroorzaken vaak een cascade-effect over de gehele samenleving. De volgende opsomming geeft daarom slechts een beperkt beeld. Toenemende hittestress zorgt voor een toename in nood aan energie voor koeling. Hieruit volgen hogere energie-uitgaven en energieschaarste, wat weer leidt tot hogere energieprijzen. Er is ook een belangrijke impact van hittestress op de gezondheid, in het bijzonder voor kwetsbare groepen, wat leidt tot een algemene toename in kosten voor de gezondheidszorg. Daarnaast zorgen hogere temperaturen voor een instroom van uitheemse fauna en flora, met bijhorende gezondheidsrisico's en schade aan bijvoorbeeld de landbouw. Droogte aan de oppervlakte en verlaagde grondwaterstanden creëren droogtestress, wat leidt tot een gebrek aan (drink)water met prijsstijgingen en kwaliteitsvermindering tot gevolg, niet enkel voor water maar voor elke activiteit die water vereist, bijvoorbeeld in de landbouw. Verder leidt een verminderde bevaarbaarheid van waterlopen tot een economische impact in de transportsector. Een toename in overstromingen en wateroverlast veroorzaken verhoogde kosten voor gebouwen en inboedel, infrastructuur, een verhoging van verzekeringspremies, en een waardevermindering van overstromingsgevoelige percelen. Gelijkaardig zijn de effecten van de versnelde zeespiegelstijging, namelijk een verhoogd risico op stormvloedschade. In het bijzonder aan de kust is het beperken van schade van belang voor de toeristische sector.

De Ridder et al. (2020)[5] geeft een uitgebreid overzicht van de economische impact in België van klimaatverandering. De netto jaarlijkse kosten aan de Belgische maatschappij worden tegen 2050 geschat op meer dan 6 miljard euro, onder het hoge emissie RCP8.5 scenario. Het RCP8.5 scenario is een worst-case scenario, waarbij wereldwijde emissies sterk blijven stijgen in de komende eeuw. Extrapolaties van internationale studies resulteren in een totale jaarlijkse kost van 5 tot 10 miljard euro voor België tegen het einde van de eeuw. Voor Vlaanderen werd een jaarlijkse kost van 3.5 miljard euro tegen 2050 berekend door Technum (2012)[7].

	Sectoral costs/gains in M€/yr			
	2050		2100	
	costs	gains	costs	gains
Health	2058 ± 682	2635 ± 875	3900 ± 1300	3900 ± 1300
Labour productivity	2565 ± 2395	149 ± 33	4805 ± 4195	298 ± 66
Infrastructure (flooding)	641 ± 299	-	4112 ± 1478	-
Infrastructure (drought/heat)	460 ± 306	9.1	-	-
Energy	242	220	-	-
Agriculture	606	45	-	-
Forestry	150	-	-	-
Ecosystem services	1108	-	-	-
Transboundary	1596 ± 604	-	-	-
TOTAL	9427 ± 4285	3058 ± 908	-	-

Figuur 5. Overzicht van economische kosten en baten per sector in België, onder het RCP8.5 scenario, voor 2050 en 2100. Lege cellen betekenen ofwel geen impact, een gebrek aan data, of de inschatting was out-of-scope. Uit De Ridder et al. (2020).

Tewerkstelling wordt ook beïnvloed door de effecten van klimaatverandering. Door negatieve effecten in bijvoorbeeld de landbouw- en toeristische sector kan hier een verlies van jobs verwacht worden. Anderzijds kunnen mitigatie- en adaptatiemaatregelen zorgen voor een verhoogde tewerkstelling (zogenaamde “groene jobs”). In de bouwsector wordt bijvoorbeeld ingezet op energiezuinig bouwen en renoveren. Maatregelen tegen droogte en overstromingen, evenals voor een duurzame omslag in industriële en energieproductie, creëren jobs in de analyse, de aanleg en het onderhoud hiervan.

1.1.3 Sociale aspecten van klimaatverandering

Er wordt met grote zekerheid verwacht dat klimaatverandering sociale ongelijkheden verder zal versterken. De meest kwetsbare bevolkingsgroepen in het Globale Zuiden zullen disproportioneel meer impact ondervinden van de gevolgen van de klimaatverandering dan bevolkingsgroepen in het globale Noorden[8]. Binnen Europa zelf zullen de effecten van klimaatverandering anders zijn tussen verschillende regio’s. Voor België wordt er verwacht dat we meer rekening moeten houden met periodes van extreme droogte en regenval[9]. De huidige synthesekaarten van het klimaatportaal Vlaanderen tonen aan dat de hitteproblematiek het eerst voelbaar zal zijn in het oosten van Vlaanderen, maar snel zal uitdeinen naar het westen. De maximale impact op de kwetsbare bevolking wordt in 2050 reeds bereikt[10]. Gedetailleerde cijfers omtrent de klimaatimpact op stedelijk en gemeentelijk niveau zijn terug te vinden via de databank provincies.incijfers.be[11]. Cijfers over de mate waarin klimaatverandering ongelijkheden versterkt binnen Europa, België en Vlaanderen zijn daarentegen beperkt. Het Europese Multidimensional Inequality Monitoring Framework (MIMF) bevat vooralsnog geen indicatoren met betrekking tot klimaatverandering. Ongelijkheidsindicatoren gerelateerd aan de natuurlijke omgeving die opgenomen zijn in het MIMF meten ongelijkheid met betrekking tot blootstelling aan lokale milieu-impacts zoals luchtverontreiniging[12]. In 2012 werd er wel een EU-wijde enquête uitgevoerd waarbij vastgesteld werd dat voor alle landen van de EU – dus ook België – de personen in de 20% laagste inkomensklasse ook de personen zijn die het meeste moeite hebben om hun huis koel te houden, en omgekeerd voor de 20% huishoudens met het hoogste inkomen[13]. Ook voor Vlaanderen zijn er beperkte gegevens beschikbaar over de mate waarin klimaatimpact (on)gelijk verdeeld zou zijn tussen bevolkingsgroepen. De Ridder et al. (2020)[5] hebben een analyse gedaan voor de stad Gent

waaruit blijkt dat de armere wijken van de stad ook de wijken zijn waar de warmte-intensiteit het hoogst is.

1.2 BESCHRIJVING VAN DE ENERGIEPROBLEMATIEK

Dit deel geeft een overzicht van de energieproblematiek waarbij ook aspecten van energiezekerheid (met een link naar de oorlog in Oekraïne) en energiearmoede belicht worden.

1.2.1 Economische aspecten

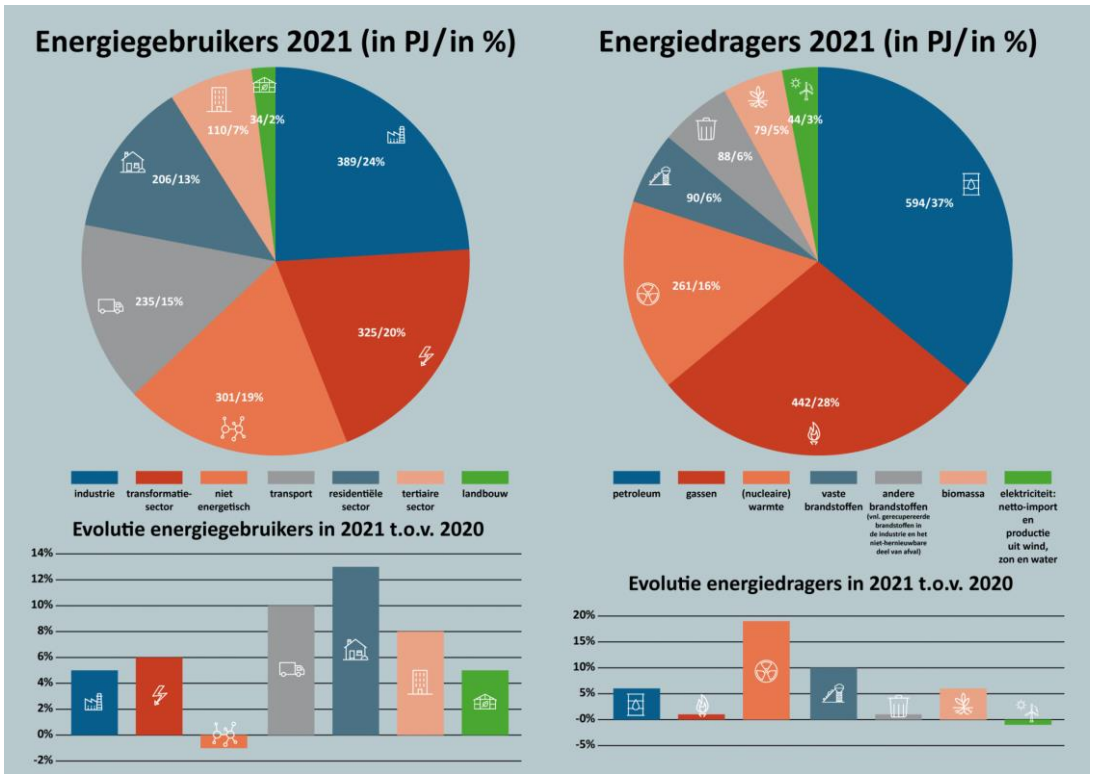
Energie is van groot belang in onze samenleving. Er zijn dan ook zeer veel economische aspecten die verbonden zijn met energievoorziening. Deze aspecten zijn daarbij in elkaar verstrengeld waardoor het bekomen van een betrouwbare en betaalbare energievoorziening geen sinecure is. In dit overzicht worden allereerst de energievraag en -productie besproken, gevolgd door een bespreking van de energieprijzen. Hierna volgt de internationale energieafhankelijkheid en het vraagstuk over kernenergie. Er wordt afgesloten met een blik op het verduurzamen van de energiesector in de toekomst.

Energievraag
De Vlaamse samenleving is vrij energie-intensief, door de hoge bevolkingsdichtheid, hoge ontwikkelingsgraad en energie-intensieve industrie. Door verschuivingen tussen sectoren en een toename in energie-efficiëntie bleef het primair energieverbruik stabiel tussen 2000 en 2020, ondanks een stijgend bruto binnenlands product. Daardoor daalde de energie-intensiteit met 27,5%. Het totaal bruto binnenlands energiegebruik in Vlaanderen bedroeg 1600 PJ in 2021 (444 TWh). Het totaal energieverbruik (eindverbruik, zonder energieconversie) in Vlaanderen bedroeg 282 TWh in 2021, tegenover een groene energieproductie van 25,8 TWh (VEKA, 2023)[14]. Figuur 6 geeft een overzicht van het energieverbruik per sector, en per energiedrager. Olie, aardgas en nucleaire energie domineren het energielandschap. In het WAM (with additional measures) scenario, wordt in het Vlaams Energie- en Klimaatplan uitgegaan van een algemene daling van de finale energievraag in 2030 in Vlaanderen voor de belangrijkste sectoren samen (residentieel, niet-residentieel, industrie, transport, landbouw). Het energiegebruik in de industrie wordt verwacht stabiel te blijven, ondanks economische groei.

Het is belangrijk onderscheid te maken tussen warmtevraag enerzijds (vaak gelinkt aan koeling), en energiebehoefte voor andere doeleinden (transport, elektrische toestellen, verlichting, etc.), aangezien de pure warmtevraag ongeveer 50% van de totale energievraag in België uitmaakt (Heat Roadmap Europe, 2015)[15]. In vergelijking met andere bronnen, zal geothermie op een efficiënte en seizoensonafhankelijke manier warmte aanleveren. Het heeft daarom een zeer groot potentieel om minstens dit deel van de energievraag te verduurzamen. In kader van de Europese rapporteringsverplichting over warmte en koude wordt er 5-jaarlijkse een warmtekaart Vlaanderen opgemaakt. Figuur 7 geeft een overzicht van de warmtevraag per sector voor het jaar 2019 zoals deze gerapporteerd werd in het rapport 2020.

Energieproductie
In de productie van energie, in het bijzonder voor elektriciteit, is niet enkel de totale capaciteit van belang. De energievraag fluctueert namelijk doorheen de dag en tussen de seizoenen. Het opslaan van grote hoeveelheden energie is zeer kostelijk, waardoor flexibiliteit in de productie moet voorzien worden. Sommige elektriciteitsproductiemethodes, zoals nucleair, kunnen niet snel aan- of uitgezet worden, maar kunnen wel een continue baseload voorzien. Andere methodes, zoals

gasgestookte centrales, kunnen wel flexibel ingezet worden. Veel hernieuwbare bronnen, zoals zonne- en windenergie, produceren enkel onder bepaalde omstandigheden. Een goede balans van energiebronnen, alsook de mogelijkheid tot (seizoenale) energiebuffering is dus belangrijk om de (variatie van de) vraag en productie te kunnen opvangen. Ook om economische redenen is een diversificatie van energiebronnen belangrijk, zodat plotse prijsstijgingen of tekorten in de aanvoerketen opgevangen kunnen worden. De samenstelling van deze energiemix, zowel primair als voor de productie van warmte en elektriciteit, heeft een wisselwerking met aspecten zoals energieprijzen, bevoorradingszekerheid en energie- en klimaatbeleid.



Figuur 6. Het totaal bruto binnenlands energiegebruik in Vlaanderen in 2021, per sector en per energiedrager. Bron: VEKA (2023)[14].

	[GWh] Finale energieconsumptie uitgezonderd zelfproducenten	[GWh] Finale energieconsumptie voor warmteproductie uitgezonderd zelfproducenten	[GWh] Nuttige warmte on-site	[GWh] Finale energieconsumptie zelfproducenten	[GWh] Nuttige warmte van Zelfproducenten	[GWh] Finale Energie Consumptie voor warmte	[GWh] Nuttige warmte
industrie	108.458	67.183	55.058	11.972	6.669	73.852	61.727
tertiair	30.406	16.524	14.840	1.750	478	17.003	15.319
huishoudens	59.348	47.709	38.219	3	3	47.712	38.222
landbouw	3.218	3.127	2.691	6.306	3.744	6.871	6.435

Figuur 7. Finale energieconsumptie voor warmtevraag en nuttige warmte-energie per sector in Vlaanderen in 2019. Bron: VEKA (2021)**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**.

Energieprijzen

Wat betreft primaire energiebronnen is België voor het overgrote deel afhankelijk van import, en dus van internationale markten. Naast andere parameters zoals het aanbod van hernieuwbare energie en mogelijke buffercapaciteit, bepaalt deze marktprijs voor een belangrijk deel de uiteindelijk prijs van energie voor de eindgebruiker.

Olie en gas, als belangrijkste primaire energiebronnen, worden verhandeld op verschillende markten, afhankelijk van de herkomst. De prijs voor Brent ruwe olie schommelt in de eerste helft van 2023 tussen 65 en 80 euro per vat. De gasprijs is sterk verstoord door het conflict tussen Oekraïne en Rusland, waardoor er een spectaculaire prijsstijging was midden 2021, met pieken op de ZTP markt in Zeebrugge tot boven 150€/MWh in 2022. In het voorjaar van 2023 stabiliseerde de prijs zich, met 24€/MWh in juni 2023 (EEX, 2023)[16]. De ruwe brandstofkost per MWh geproduceerde energie voor nucleaire energie ligt veel lager in vergelijking met fossiele brandstoffen, maar de bouwkosten en kosten voor het verwerken van radioactief afval zijn zeer hoog.

Voor de eindgebruiker zijn vooral de prijzen van geleverde energie van belang. Er zijn zeer veel brandstoffen en energiedragers voor eindgebruikers in onze maatschappij; hier bespreken we er drie die in het licht van gebruik van de diepe ondergrond van belang kunnen zijn.
De elektriciteitsprijzen worden sterk gedreven door de kostprijs van de brandstof (voornamelijk gas) en het aanbod van hernieuwbare energie. Deze energieprijs wordt verder aangevuld met een distributiekost, BTW en heffingen. Van februari tot april 2023 bedroeg de gemiddelde totale elektriciteitsprijs voor gezinnen in Vlaanderen ongeveer 41 €/MWh, voor KMO's 32 €/MWh (CREG, 2023). Deze prijzen liggen binnen dezelfde range als in de buurlanden. Grote industriële verbruikers hebben individuele energiecontracten.
De prijs van aardgas wordt vooral bepaald door de kostprijs van aardgas op de internationale markten, en de hoeveelheid gebufferd gas. Deze energieprijs wordt verder aangevuld met een distributiekost, BTW en heffingen. Van februari tot april 2023 bedroeg de gemiddelde totale aardgasprijs voor gezinnen in Vlaanderen ongeveer 0.11 €/kWh, voor KMO's 0.10 €/kWh (CREG, 2023)[17]. Deze prijzen liggen binnen dezelfde range als in de buurlanden. Grote industriële verbruikers hebben individuele energiecontracten.
Warmtenetten zijn, in vergelijking met andere energiedistributienetten, vrij klein om warmteverlies te beperken. Hierdoor is de prijs van warmte sterk afhankelijk van het warmtenetwerk en de productiemethode. Vaak wordt het niet-meer-dan-anders (NMDA) principe toegepast, waarbij de uiteindelijke prijs niet hoger mag zijn dan bij een alternatieve productiemethode, bijvoorbeeld een aardgasketel. Voor het variabele deel van een energiecontract in 2021 ligt het grootste deel tussen 20 en 30 €/MWh, met een range van <10 tot bijna 100 €/MWh (VREG, 2022)[18].

Internationale energieafhankelijkheid
Aangezien Vlaanderen, en bij uitbreiding België, arm is aan primaire energiebronnen zoals fossiele of nucleaire brandstoffen, wordt meer dan 95% van de Belgische primaire energie ingevoerd. Hierdoor is Vlaanderen sterk afhankelijk van internationale markten en geopolitieke spanningen zoals het recente conflict tussen Oekraïne en Rusland. Want hoewel de overgrote meerderheid van het aardgas in België afkomstig is uit Noorwegen, Nederland en Qatar, steeg hierdoor de gasprijs ook in België sterk, gevolgd door de elektriciteitsprijs. Om de seizoenale fluctuaties in gasvraag en bijhorende prijsschommelingen op te vangen, werkt de geologische opslag in Loenhout als buffer met zo'n 8 TWh aan opslagcapaciteit (Fluxys, 2023)[19].

Kernenergie
Een belangrijk deel van de elektriciteitsproductie (45,5% in 2022) in België komt van kernenergie (FEBEG, 2023)[20]. Door bezorgdheden rond de veiligheid van kernreactoren gezien hun ouderdom werd een uitfasering voorzien tegen 2025. Door een gebrek aan alternatieven en onder druk van het conflict tussen Oekraïne en Rusland, werd dit recent verlengd tot 2035 (Eerste Minister van België, 2022)[21]. Om diezelfde reden, en omdat kernenergie een relatief CO_2-arme energiebron is, wordt ook meer en meer gesproken over het bouwen van nieuwe kerncentrales. Daarbij wordt dan vooral gekeken naar de zogenaamde kleine, modulaire reactoren, maar de discussie daarover is nog verre

van beslecht en de eerste prototypes worden op dit moment aangekondigd tegen 2030-2035, wat allicht een te optimistische inschatting is (zie bv. Clemminck, 2021)[22]. De berging van radioactief afval blijft een pijnpunt. Diepe geologische berging is een mogelijkheid die ook in België en specifiek in de Vlaamse ondergrond onderzocht wordt. Indien kernenergie als optie wordt weerhouden, kan CO_2-arme energie geproduceerd worden, maar moet er een oplossing voor radioactief afval worden voorzien, zoals geologische berging.

Verduurzamen van de toekomst
Een verduurzaming van het energiegebruik in Vlaanderen gebeurt op meerdere vlakken. Allereerst is er een verandering in energieproductiemethodes. We stappen af van fossiele brandstoffen, de verouderde kerncentrales sluiten en er wordt meer elektriciteit decentraal opgewekt via bijvoorbeeld PV-installaties. Groene warmte wordt decentraal opgewekt met zonneboilers en warmtepompen (al dan niet gekoppeld aan een (on)diepe geothermie-installatie), of met collectieve installaties waarbij de warmte verdeeld wordt via een warmtenet (zie ook VEKA (2021)[23] voor een overzicht van het warmtegebruik en -potentieel in Vlaanderen). Verder is er een verandering in energiedragers. Er is een toename in elektrificatie, maar ook alternatieven zoals waterstof, bio- en synthetische brandstoffen als energiedragers worden ontwikkeld om verschillende redenen (mobiliteit, gridcapaciteit enz.). Finaal zorgt deze energietransitie ook voor een nood aan bijkomende opslagcapaciteit voor energie.

De (diepe) ondergrond is reeds sinds de industriële revolutie verbonden met energie door fossiele brandstoffen, eerst steenkool, dan olie en aardgas. Diezelfde ondergrond kan ook aangewend worden voor een duurzamere productie van energie, zoals met (diepe) geothermie. Daarnaast biedt de ondergrond ook mogelijkheden voor opslagcapaciteit, zoals koude-warmteopslag (ondiep), hoge temperatuuropslag (diep) en bufferopslag van aardgas of waterstofgas. Voor energie- en andere productiemethodes waar CO_2 onvermijdelijk wordt geproduceerd, kan, als oplossing in een transitie naar minder koolstof-intensieve productiemethodes, die CO_2 permanent in de ondergrond opgeslagen worden.

1.2.2 Milieuaspecten

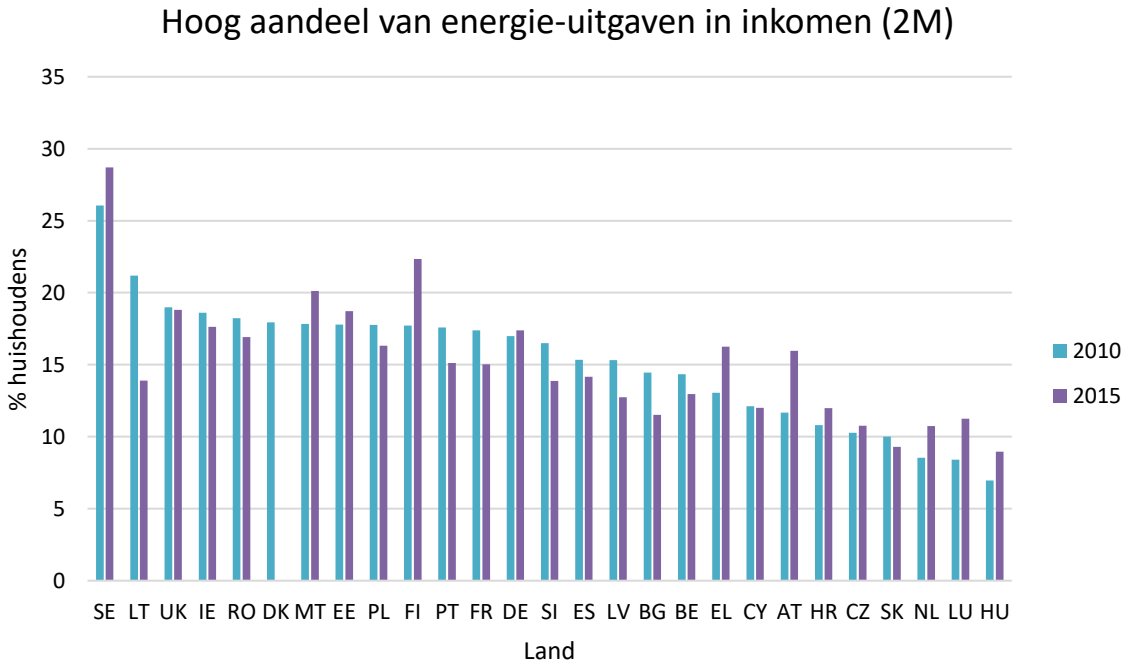
De productie van energie gaat steeds gepaard met de productie van afvalstoffen die een zekere milieu-impact hebben. De belangrijkste afvalstof is CO_2 uit de verbranding van koolwaterstoffen. De uitstoot van de energiesector in Vlaanderen bedraagt jaarlijks zo'n 15 Mt CO_2-eq. Voor verwarming wordt jaarlijks door huishoudens 10 Mt CO_2-eq uitgestoten. Daarnaast komen bij energie-gerelateerde processen ook andere vervuilende elementen en verbindingen vrij, zoals stikstof- en zwavelverbindingen, en zware metalen. Zo worden er jaarlijks enkele honderden tot tienduizenden kilo's energie-gerelateerde zware metalen uitgestoten in Vlaanderen (VMM, 2023)[24]. Over de voorbije 20 jaar is er voor alle vervuilende stoffen een daling in uitstoot. Bovendien is er een daling in algemene koolstofintensiteit (CO_2-uitstoot per eenheid bruto binnenlands product)[25]. Om een gefundeerde beoordeling te kunnen maken over de milieu-impact van een technologie, en in het bijzonder om deze met andere te vergelijken, is het van belang om met alle aspecten en de gehele levensduur van deze aspecten rekening te houden, van het ontginnen van de grondstoffen tot de afbraak en recyclage van installaties. Hiervoor wordt doorgaans een levenscyclusanalyse gebruikt (LCA)[26].
De diepe ondergrond kan een rol spelen in het terugbrengen van de milieu-impact van energie-gerelateerde processen. Hoewel deze oplossingen op zichzelf ook een zekere milieu-impact hebben, is de resulterende impact beduidend lager.
Een alternatieve, hernieuwbare energiebron is diepe geothermie. Aardwarmte wordt gewonnen op enkele kilometers diepte, en aan de oppervlakte gebruikt voor verwarming of, bij voldoende hoge

temperaturen, productie van elektriciteit. Over de gehele levensduur hebben open, diepe geothermiesystemen in Vlaanderen een beperkte milieu-impact, geschat op 4-130 $kgCO_2eq/MWh_{th}$ (Gkousis et al., 2022)[27], terwijl dit voor een gasgestookte centrale in de EU geschat wordt op 434 $kgCO_2eq/MWh$.
De diepe ondergrond kan eveneens aangewend worden voor de buffering van warmte-energie, zoals met het aquifer thermal energy storage (ATES) principe. Warmte en/of koude kunnen in de diepe ondergrond opgeslagen worden om overschotten aan hernieuwbare energie te bufferen, en zo hun efficiëntie te verhogen. Het belang hiervan wordt verwacht groter te worden door een toename in hernieuwbare energieproductie met een variabel karakter.
Koolwaterstoffen zijn momenteel de energiedragers bij uitstek, zowel voor elektriciteitsproductie, verwarming als transport. Het gebruik van waterstof als alternatieve energiedrager verwijdert koolstof uit het verbrandingsproces. Indien waterstof ook op een duurzame manier wordt geproduceerd, wordt de gehele keten koolstofarmer. Om voldoende buffer aan te leggen kunnen diepe ondergrondse reservoirs aangewend worden, vergelijkbaar met de opslag van aardgas. In eerste instantie kan aardgas gedeeltelijk aangevuld worden met waterstof.
CO_2 uit chemische processen of verbranding, dat normaal uitgestoten wordt in de atmosfeer, kan worden afgevangen en opgeslagen in diepe geologische reservoirs, waar het permanent wordt verwijderd uit de koolstofcyclus. Deze technologie zorgt meestal voor een beperkte verlaging van de productie-efficiëntie, maar bij een voldoende hoge afvang-efficiëntie wordt dit effect ruimschoots gecompenseerd.

Zoals hierboven reeds aangehaald, wordt voor het lange termijn beheer van hoogradioactief en langlevend afval ook naar de diepe ondergrond gekeken. Dit afval, in hoofdzaak afkomstig van de productie van kernenergie, dient voor minimaal 100.000 jaar afgeschermd van de biosfeer om de veiligheid van mens en milieu te verzekeren. Reeds sinds de jaren 1950 wordt daarvoor diepe geologische berging als meest geschikte oplossing naar voor geschoven (NAS, 1957)[28], zij het dat het basisconcept van isolatie en passieve veiligheid sindsdien is geëvolueerd en tot op de dag van vandaag nog niet geheel ongecontesteerd blijft. Het 'klassieke' concept van ondergrondse berging houdt de constructie in van ondergrondse galerijen waarin, na een periode van bovengrondse afkoeling (in het geval van hoogactief afval), het afval in specifieke verpakkingen of containers (de kunstmatige barrières) wordt geplaatst, met het oog op een zo lang mogelijke insluiting. Omdat geen enkel verpakkingsmateriaal die insluiting na verloop van duizenden jaren nog kan garanderen, dient de aardlaag waarin de bergingsinstallatie wordt ingebed als bijkomende natuurlijke barrière om de verspreiding van radioactieve stoffen vanuit de installatie dermate te vertragen dat deze geen gevaar meer vormen eens ze terug de biosfeer zouden bereiken (NIRAS, zd)[29]. Het type gastgesteente, de dikte van de formatie en de diepte waarop deze zich bevindt, zijn daarom belangrijke parameters bij het bepalen van een geschikte locatie. Het Internationaal Atoomenergie Agentschap (IAEA) stelt als richtlijn voor geologische berging van hoogradioactief afval stabiele geologische formaties op een diepte van "meerdere honderden meters of meer" voorop (IAEA, 2011)[30]. In haar meest recente strategische milieueffectenrapport stelt NIRAS dat de meeste geplande projecten in andere landen uitgaan van een diepte van rond de 400 à 500 meter. Naargelang de geologische context wordt ook wel dieper gegaan, maar nooit meer dan 1000 meter, omwille van de daarmee gepaard gaande technische complicaties en bijkomende operationele risico's en kosten ten opzichte van een beperkte toename op vlak van bescherming (NIRAS, 2020)[31].
De omgevingsimpact van een dergelijke installatie is aanzienlijk: omwille van het ruimtebeslag, zowel bovengronds (gedurende de periode voorafgaande aan sluiting – minimaal 100 jaar) als ondergronds (in principe eeuwigdurend), en omwille van de verstoring bij uitgraven en constructie van de ondergrondse galerijen.

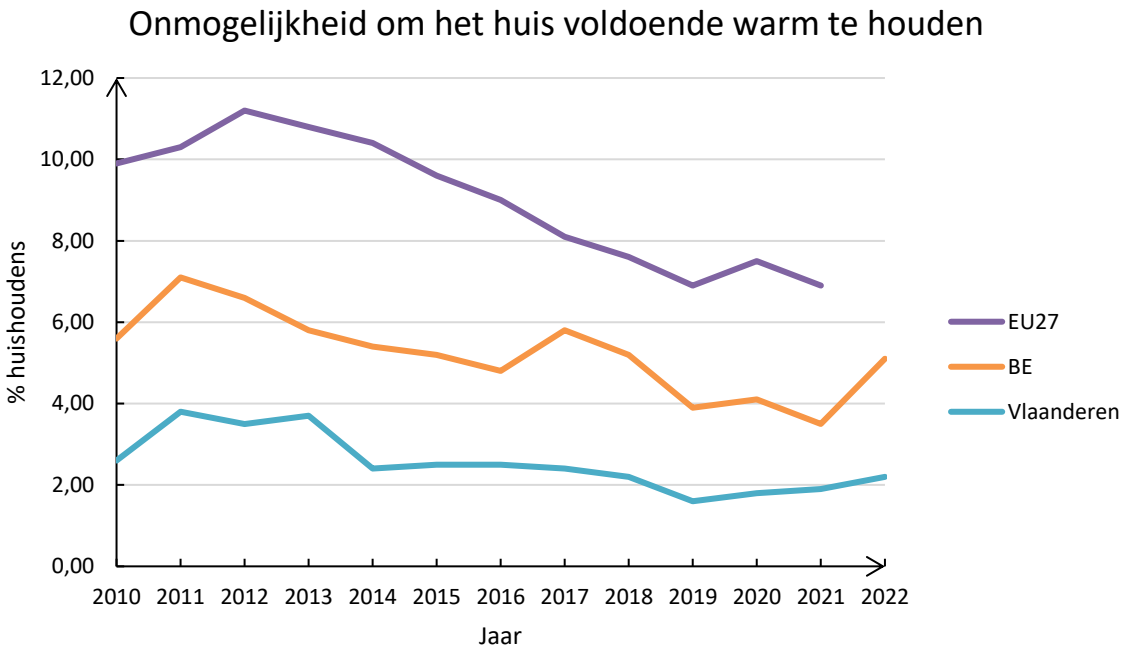
1.2.3 Sociale aspecten

Energiearmoede is een situatie waarbij huishoudens moeilijk toegang hebben tot essentiële energiediensten en -producten. Energiearmoede doet zich voor wanneer energie-uitgaven een groot aandeel hebben in het inkomen van een consument of wanneer consumenten hun andere uitgaven moeten reduceren in die mate dat er negatieve impact isop de gezondheid en het welzijn. 8% van de Europese bevolking was niet in staat om het huis voldoende te verwarmen in 2020[32]. De stijgende energieprijzen, samen met de impact van COVID-19 heeft naar alle waarschijnlijkheid de situatie nog verder verslechterd. De 2M indicator geeft het percentage huishoudens weer wiens aandeel aan energie-uitgaven groter is dan twee keer de nationale mediaan. Iets minder dan 15% van de Belgische bevolking besteedde in 2010 en 2015 een dergelijk groot aandeel van hun inkomen aan energie (zie Figuur 8). Tussen 2010 en 2015 is er voor België slechts een beperkte daling zichtbaar[33].



Figuur 8. Percentage huishoudens wiens aandeel van energie-uitgaven in het inkomen hoger ligt dan twee keer de nationale mediaan (Energy poverty advisory hub, 2023*[33]).*

Figuur 9 toont het percentage huishoudens voor wie het onmogelijk blijkt om hun huis warm te houden. België scoort daarbij beter dan het gemiddelde van de EU27 en Vlaanderen scoort relatief beter dan België. De stijgende energieprijzen hebben de dalende trend die ingezet werd in 2010 gestopt. Voor de EU27 was er nog geen data beschikbaar voor 2022[33]. Er dient opgemerkt te worden dat de EU-SILC enquête waarop de data gebaseerd zijn, vernieuwd werd in 2019 waardoor er voorzichtigheid geboden is bij de beoordeling van de gegevens.



Figuur 9. Percentage huishoudens voor wie het onmogelijk is om het huis voldoende warm te houden (Bron: energy poverty advisory hub*, 2023*[33] *en* Statistiek Vlaanderen[34]*).*

Het Platform tegen Energiearmoede publiceert een jaarlijkse Barometer Energiearmoede[35]. Die meet de energiearmoede aan de hand van drie indicatoren:

- Gezinnen in 'gemeten energiearmoede' besteden een te groot deel van hun beschikbaar inkomen aan energiekosten (2021, Vlaanderen: 10,4 %).
- Gezinnen in 'verborgen energiearmoede' bezuinigen aanzienlijk op hun energiegebruik, waardoor hun energiekosten abnormaal laag zijn in vergelijking met gezinnen die in een gelijkaardige situatie leven (2021, Vlaanderen: 3,9%).
- Gezinnen in subjectieve energiearmoede geven aan dat ze het financieel moeilijk hebben om hun woning voldoende te verwarmen (2021, Vlaanderen: 1,6%).

Rekening houdend met overlap tussen deze categorieën kampte 14,8% van de Vlaamse gezinnen in 2021 met een vorm van energiearmoede. Alleenstaanden en eenoudergezinnen zijn oververtegenwoordigd in zowel de lage middenklasse als de huishoudens met een armoederisico. Het hebben van een inkomen uit arbeid beschermt bovendien niet automatisch tegen energiearmoede. Huurders, en in het bijzonder sociale huurders, zijn oververtegenwoordigd in de energiearmoedecijfers. 20,3% van de Belgische huishoudens in energiearmoede kampt ook met ernstige materiële en sociale deprivatie.

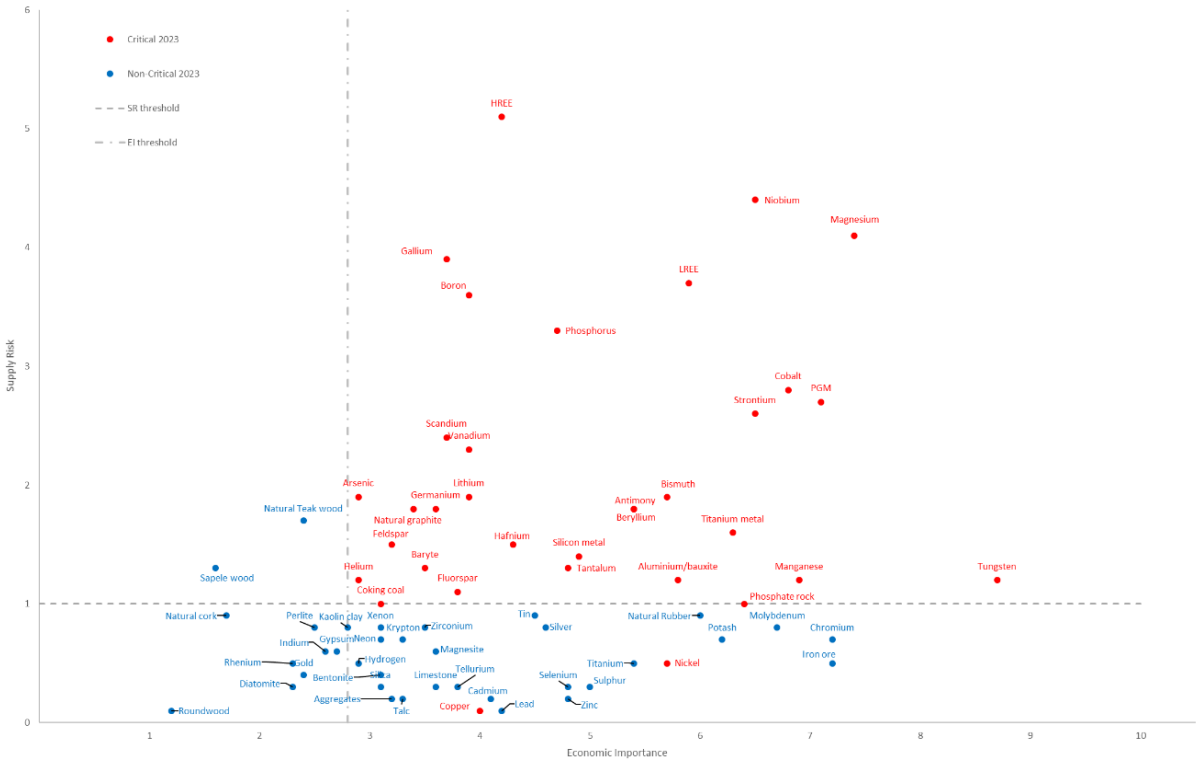
Het aandeel huishoudens dat in woningen in slechte tot zeer slechte staat woont is oververtegenwoordigd in de laagste inkomens. De energetische prestatie van een woning bepaalt in belangrijke mate het energieverbruik van een gezin. Het verbeteren van de energetische prestaties van alle Vlaamse woningen door diepgaande renovatie is niet alleen belangrijk om energiearmoede te bestrijden, maar ook van essentieel belang om de vooropgestelde klimaatdoelstellingen te halen en om beschermd te zijn tegen de gevolgen van klimaatverandering. Daarnaast zorgen deze investeringen voor een betere kwaliteit van de binnenlucht, een verhoogd wooncomfort en winst op vlak van gezondheid[36].

1.3 BESCHRIJVING VAN DE PROBLEMATIEK AANGAANDE SCHAARSTE VAN GRONDSTOFFEN

Dit deel beschrijft de problematiek aangaande schaarste van grondstoffen in Europa en in Vlaanderen.

1.3.1 Schaarste aan grondstoffen

Grondstoffen zijn van groot belang voor de productie van goederen die in onze samenleving gebruikt worden. Verschillende grondstoffen zijn echter schaars, en de landen van de Europese Unie zijn veelal afhankelijk van import door de schaarsheid in de EU en door een sterke vermindering van mijnbouwactiviteiten in EU-landen. Een lijst van kritieke grondstoffen (critical raw materials, CRM) wordt driejaarlijks samengesteld aan de hand van de criteria economische relevantie en bevoorradingsrisico. Deze lijst dient als basis voor een duurzaam beleid, en bevat momenteel 34 kritieke grondstoffen (EC, 2023a)[37]. Daarbij wordt ook gespecifieerd welke grondstoffen strategisch belangrijk zijn (strategic raw materials – SRM). Deze strategische grondstoffen zijn grondstoffen die belangrijk zijn in de groene en digitale transitie, voor defensie, of de ruimtevaart. Zo worden nikkel en koper beschouwd als strategische grondstoffen, maar niet als kritieke grondstoffen omdat hun aanbod voldoende gediversifieerd is. In 2024 heeft de Europese Commissie een pakket maatregelen ingevoerd in de vorm van de CRM Act,om de bevoorradingsketen voor de Europese maatschappij te verzekeren (EC, 2023b)[38].



Figuur 10. Analyse van kritieke grondstoffen met nikkel en koper bijkomend als “kritiek” geselecteerd (Grohol & Veeh, 2023)[39].

De ondergrond van Vlaanderen is vrij arm aan ontginbare hoeveelheden van de meeste van deze grondstoffen. Voor de diepe ondergrond bestaan er mogelijkheden voor de productie van lithium en steenkool voor cokes. Het is gekend dat lithium als spoorelement voorkomt in geofluïda, mogelijk

naast andere nog niet gedocumenteerde elementen. Bij het onttrekken van dit fluïdum voor de toepassing van diepe geothermie kan lithium gewonnen worden vóór de herinjectie.
Steenkool werd in Vlaanderen op industriële schaal ontgonnen in het Bekken van de Kempen, van 1917 tot de sluiting van de laatste mijn in 1992. Behalve steenkool die destijds niet-ontginbaar werd geacht, zijn er ook gebieden met onontgonnen reserves waar steenkool dus nog steeds ontgonnen kan worden. Het zijn meer bepaald de steenkoollagen of delen daarvan die gebruikt kunnen worden in de staalproductie (cokeskolen) die als kritiek beschouwd worden, ondanks de controversiële positie van steenkool in het klimaatdebat (Sivek & Jirasek, 2023)[40]. Ongeveer een derde van de steenkoolreserves in Vlaanderen zijn cokeskolen (Dusar, Bouckaert & Verkaeren)[41].
Verder zijn reeds kleinschalige mineralisaties gevonden in Vlaanderen waarmee kritieke grondstoffen geassocieerd zouden kunnen zijn, namelijk de (voornamelijk) sulfide-mineralisaties in het Massief van Brabant. Pb-Zn afzettingen zijn gekend in de Voerstreek en langs de zuidoostelijke rand van het Massief van Brabant net buiten de grens van Vlaanderen, maar lijken zich niet uit te strekken tot in Vlaanderen. De mineralisaties in het Massief van Brabant zijn niet economisch interessant, maar wijzen mogelijk op nog niet aangeboorde afzettingen in het meer centrale deel van dit massief (o.a. Piessens et al., 2000)[42]. Fosfaatmineralen in Onder Devoonafzettingen worden momenteel onderzocht als potentiële bron van zeldzame aardmetalen (GSEU project), maar voorlopig enkel in de ontsluitingsgebieden ten zuiden van Vlaanderen.

1.3.2 Economische aspecten

Op dit ogenblik zijn de EU-landen in het algemeen zeer afhankelijk van de import van grondstoffen, in het bijzonder de kritieke grondstoffen of CRM. In het licht van een duurzame, circulaire economie, met korte ketens, bevoorradingszekerheid en betaalbare grondstofprijzen, is het van belang om deze grondstoffen ook lokaal te kunnen produceren. Daarnaast zorgt lokale productie voor werkgelegenheid. Carrara et al. (2023)[43] maken een uitgebreide analyse van de schaarste van kritieke grondstoffen en de invloed op de bevoorradingsketen van industrieën in de EU. Ter bevordering van economisch herstel na de COVID-19 pandemie en tegen een geopolitieke en klimaatachtergrond heeft de EU een strategie voor CRM (EPRS, 2020)[44] uitgewerkt, resulterend in de CRM act[45] die momenteel van kracht is.

Energieopslag vormt een uitdaging, en met een toenemende elektrificatie wordt dit enkel groter. Elektrificatie gaat gepaard met een toename aan mobiele apparaten, elektrische voertuigen, maar ook de nood aan het balanceren van het elektriciteitsnet met opslagsystemen. Huidige batterijsystemen gebruiken doorgaans lithiumverbindingen, en naast het recycleren van bestaande systemen zal een sterke verhoging van de lithiumproductie nodig zijn. China domineert de bevoorradingsketen voor lithiumbatterijen, met slechts een marginale rol voor de EU-landen. Dit terwijl er een sterke groei wordt voorspeld voor alle toepassingen in de EU. Een recent rapport van de Europese Rekenkamer geeft aan dat er tegen 2030 een tekort dreigt aan grondstoffen die noodzakelijk zijn voor de productie van batterijen, met oplopende grondstofprijzen tot gevolg en investeerders die hun productie naar het buitenland zouden verplaatsen (ECA, 2023)[46]. Het potentieel in Vlaanderen voor lithiumextractie uit diepe geothermie wordt momenteel nog onderzocht (HITA, 2021)[47], maar gezien de bron (pekel) en productiemethode (geothermie) zal de totale opbrengst eerder beperkt zijn in vergelijking met de vraag. De economische impact op marktprijs, bevoorradingszekerheid en werkgelegenheid zal vermoedelijk ook beperkt zijn.

Cokes uit steenkool zijn een essentiële grondstof voor de productie van ijzer en staal. Het heeft verschillende functies in het productieproces, als belangrijkste is het een reductans voor ijzeroxide. IJzer en staal zijn bijzonder veelgebruikte materialen in de maatschappij. In 2020 werd in de EU 40

Mt steenkool gebruikt om cokes te produceren (Eurostat, 2022)[48]. Een verzekerde productieketen is van vitaal belang voor de Europese economie. Ook voor steenkool is China wereldwijd de grootste producent. Binnen de EU is er een sterk dalende productie, met Polen als grootste producent. Meer dan 50% van het steenkoolgebruik wordt van buiten de EU ingevoerd, voornamelijk vanuit Rusland, de VS en Australië. Vlaanderen heeft in de vorige eeuw een bloeiende steenkoolindustrie gekend, met een piek in werkgelegenheid van 44 000 personen. Een herstart van productie kan een belangrijke impact hebben, waarbij economische, sociale en milieufactoren overwogen moeten worden.

1.3.3 Sociale aspecten

De voorbije jaren is sociaalwetenschappelijk onderzoek omtrent grondstofontginning geëvolueerd van studies die onderzoek deden omtrent de 'resource curse' en 'the Dutch disease' naar studies die zich meer richten op duurzaamheidsaspecten en onderzoek doen omtrent 'a social license to operate' in de mijnbouw en het maatschappelijk verantwoord ondernemen van de betrokken bedrijven[49]. 'A social license to operate' betekent een continue goedkeuring en brede acceptatie van een ontginningsproject. Het vormt een complex fenomeen gevormd door overheden, burgergemeenschappen, de markt en hun onderlinge relaties[50]. Hoewel dit concept sociale kwesties meer op de agenda heeft gezet, lijkt het toch een manier voor bedrijven om lokale weerstand te beperken, eerder dan een manier om betrokkenheid en samenwerking te vergroten[51]. Ook rapporten die het maatschappelijk verantwoord ondernemen van bedrijven in de mijnbouwsector evalueren, worden beschouwd als Westerse constructies die gedreven zijn door milieuwetgeving, vakbonden, en consumentenorganisaties. De geloofwaardigheid van maatschappelijk verantwoorde activiteiten van transnationale organisaties in ontwikkelingslanden kan in vraag gesteld worden omdat zij in die landen opereren omwille van een gunstig belastingregime en beperkte arbeidsvoorwaarden, wat net de intentie van maatschappelijk verantwoord ondernemen ondergraaft[52].

Ook de schaarste aan kritieke grondstoffen en hun waardeketen staan meer en meer centraal in sociaalwetenschappelijk onderzoek. Daarbij wordt er gekeken naar opkomende waardeketens in de VS, Australië en Europa om de afhankelijkheid van China te beperken. Daarnaast kan ook het opnieuw verwerken van industrieel afval en de recyclage van eindproducten beschouwd worden als een nieuwe bron van dergelijke kritieke grondstoffen. Andere manieren om tekorten op te vangen zijn (i) het vinden van materialen die een substituut kunnen zijn, (ii) aanpassingen maken aan het eindproduct, of (iii) exploratie naar nieuwe mijnen[53].

Sociale impacts van ontginningen kunnen bestudeerd worden door sociale levenscyclusanalyses. Dergelijke analyses worden momenteel reeds uitgevoerd voor bijvoorbeeld de volledige waardeketen van lithiumbatterijen. Dergelijke studies tonen aan dat de hoogste sociale risico's gerelateerd zijn aan de ontginning van de grondstoffen en dat dergelijke risico's lager zijn in Europa dan in ontwikkelingslanden. Sociale risico's omvatten oneerlijke verloning, mensenhandel, het ontbreken van het recht om zich aan te sluiten bij een vakbond, en blootstelling aan milieuverontreiniging[54]. Er bestaan ook voorbeelden uit Europa waar bijvoorbeeld de Europese Commissie en de Portugese overheid druk uitvoeren op de gemeenschap in Noord-Portugal voor de opening van wat mogelijks de grootste open lithium mijn van West-Europa kan worden: de Barroso mijn. De lokale landbouwgemeenschap wordt bedreigd en lokale milieuorganisatie verwerpen het project. Een recente studie toont aan dat het betrokken bedrijf verscheidene strategieën toepast om de sociale gemeenschap te ontwrichten en kwetsbare groepen onder druk te zetten om zo tegenstemmen te beperken[55]. De transitie naar een koolstofarme economie betekent eveneens de graduale sluiting van bestaande steenkoolmijnen en ontmanteling van energiecentrales in Europa.

Om een dergelijke transitie op een rechtvaardige manier te organiseren, is het belangrijk dat deze omschakeling goed gepland en beheerd word, met een duidelijk tijdschema voor de uitfasering van de kolenproductie en dat voldoende tijd biedt voor effectieve uitvoering van het overgangsbeleid. Daarnaast moeten alle relevante belanghebbenden worden betrokken bij de planning en uitvoering van deze transitie, om een gevoel van gedeelde verantwoordelijkheid en controle te creëren. Ook moeten mijnbouwregio's voldoende financiële en technische hulp krijgen bij het opbouwen van alternatieven voor de verdwijnende steenkooleconomie. Daarnaast moeten nieuwe ontwikkelingsmodellen ijveren voor het behoud van een goede levenskwaliteit voor lokale gemeenschappen, inclusief een gezond milieu en sterke openbare diensten. Ten slotte moeten werknemers op maat gesneden omscholing en outplacementmogelijkheden aangeboden krijgen[56].

2 EUROPEES, NATIONAAL EN VLAAMS BELEID TER ONDERSTEUNING VAN EEN TRANSITIE NAAR EEN KOOLSTOFARME EN CIRCULAIRE ECONOMIE, MET FOCUS OP HET GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND

2.1 HUIDIG BELEID TER ONDERSTEUNING VAN EEN TRANSITIE NAAR EEN RECHTVAARDIGE, KOOLSTOFARME ECONOMIE

Een koolstofarme economie is een economie waarin de belangrijkste energiedragers niet meer uit (fossiele) koolwaterstofverbindingen bestaan, waardoor de uitstoot van broeikasgassen, meer bepaald CO_2 en CH_4, tot een minimum beperkt wordt. Hoewel de huidige energietransitie voornamelijk wordt ingegeven vanuit een bezorgdheid over klimaatverandering, zal deze transitie alleen succesvol zijn als zij tegelijkertijd energiezekerheid waarborgt en beschouwd wordt als rechtvaardig.

Europa
In lijn met de doelstelling van het klimaatakkoord van Parijs dat afgesloten werd in 2015, heeft de Europese Unie zich in 'the European Green Deal' tot doel gesteld klimaatneutraal te zijn tegen 2050. Dat houdt in dat er, netto beschouwd, geen broeikasgassen meer uitgestoten worden. Om ervoor te zorgen dat alle landen van de Europese Unie bijdragen tot deze doelstelling en alle sectoren betrokken worden, werd deze doelstelling vastgelegd bij wet. De Europese klimaatwet is van kracht sinds 29 juli 2021. In deze wet wordt ook een traject vastgelegd met als tussendoel de netto uitstoot van broeikasgassen tegen 2030 te reduceren met 55% ten opzicht van het niveau van 1990.

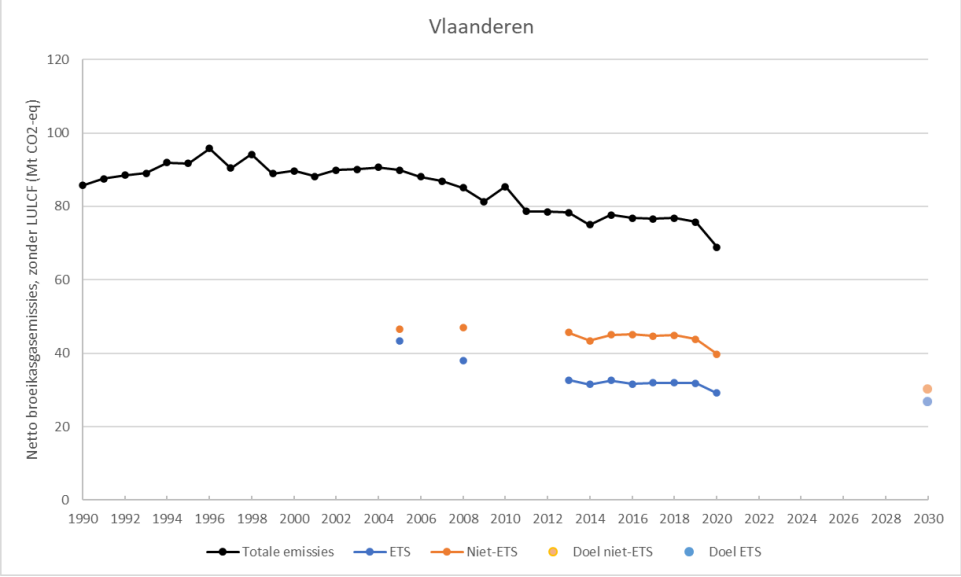
Een hoeksteen van dit beleid is het EU emissiehandelssysteem (European Union Emission Trading System; EU ETS) dat in 2005 gelanceerd werd. Het emissiehandelssysteem werkt volgens het principe van 'cap and trade'. Er wordt een plafond, meer bepaald een cap vastgesteld dat aangeeft hoeveel broeikasgassen er door een bepaalde operator uitgestoten mogen worden en dit plafond wordt geleidelijk aan verlaagd. Binnen dit plafond kunnen operatoren uitstootrecht kopen en verkopen. Hierdoor wordt er een CO_2 markt gecreëerd waarbij de CO_2-prijs de reductie van de uitstoot van broeikasgassen en de ontwikkeling van nieuwe koolstofarme technologieën stimuleert, terwijl de verhandeling van de emissierechten ervoor zorgt dat emissies gereduceerd worden tegen de laagste kosten[57].

Sinds de opstart heeft het EU ETS verschillende veranderingen ondergaan[58]. Zo werd in 2019 de Market Stability Reserve geïntroduceerd om zo het aanbod aan emissierechten op de markt te beperken en een hogere, meer stabiele CO_2-prijs te bekomen. De vernieuwde EU ETS richtlijn voorziet ook de nodige regelgeving om te vermijden dat bedrijven hun productie wegtrekken uit Europa en zet fondsen op om de ontwikkeling van nieuwe technologieën en de modernisering van bestaande installaties te ondersteunen[59]. Verder wordt de scope van het systeem uitgebreid naar scheepvaart en wordt er een nieuw emissiehandelssysteem opgericht voor gebouwen, wegtransport, en andere industriële sectoren die momenteel nog niet onder het systeem vallen. Het EU ETS is de belangrijkste stimulans voor de invoering van CCS. Volgens het EU-rechtskader wordt CO_2 die afgevangen en veilig opgeslagen wordt beschouwd als "niet uitgestoten" in het kader van het emissiehandelssysteem. CO_2 afvang-, transport- en opslaginstallaties vallen expliciet onder het emissiehandelssysteem[60]. Om kwetsbare bevolkingsgroepen te beschermen, wordt er een sociaal klimaatfonds opgericht dat door lidstaten gebruikt kan worden voor financiering van structurele

maatregelen en investeringen voor een verbeterde energie-efficiëntie, de renovatie van gebouwen, koolstofarme verwarming en koeling van gebouwen, de integratie van hernieuwbare energiesystemen, en koolstofarm transport[57].

Het EU ETS is enkel van toepassing voor bepaalde emissie-intensieve sectoren. Hierdoor zijn er twee verschillende sectoren met eigen regelgevingen en doelen rond de emissiereductie van broeikasgassen ontstaan: de ETS sectoren en de Effort Sharing Regulation (ESR)-sectoren (transport, gebouwen, landbouw, kleinere industriële installaties en afval). De ESR-broeikasgasemissies in Vlaanderen schommelen rond het doelstellingpad tot 2030 (15,7% en 35% reductie t.o.v. 2005, respectievelijk in 2020 en 2030) dat in 2019 gedefinieerd werd[61]. De ETS broeikasgasemissies in Vlaanderen liggen ruim onder de doelstellingen van 21% en 43% reductie t.o.v. 2005, respectievelijk in 2020 en 2030, hoewel deze doelstelling niet specifiek voor Vlaanderen maar voor het geheel van de EU is gesteld.

Eind 2022-begin 2023 werden de doelstellingen voor de ETS- en de ESR-sectoren geactualiseerd om de 55% reductie in 2030 ("Fit for 55") te halen. Voor de ETS-sectoren werd op Europees niveau de doelstelling aangescherpt tot een reductie van de uitstoot van broeikasgassen van 62% tegen 2030 t.o.v. 2005. Voor de ESR-sectoren wordt de doelstelling op lidstaatniveau bepaald. Voor België ligt deze op 47%[62]. In mei 2023 werd een ontwerp voor een nieuw Vlaams Energie- en Klimaatplan opgesteld. Tegen 2030 zou er een reductie in broeikasgasemissies gerealiseerd moeten worden van 40% t.o.v. 2005 voor de ESR-sectoren, een reductie die overeenstemt met 37,6% t.o.v. de reële 2005 emissies[63]. Op het moment van schrijven is er echter nog onenigheid tussen de verschillende regeringen in België of dit voldoende is om het nationale doel te halen.



Figuur 11. Netto broeikasgasemissies en geactualiseerde doelen voor de ETS (-62%) en niet-ETS (-40%) in Vlaanderen (ETS doel voor en 2030 zijn voor de gehele EU). Bron: Statistiek Vlaanderen, 2022[64].

Om deze doelstellingen te halen, zal de Europese economie een transformatie moeten ondergaan waarbij emissies gereduceerd zijn, energiearmoede aangepakt wordt, de externe afhankelijkheid van energievoorziening afgebouwd wordt, waarbij er gestreefd wordt naar economische groei, meer jobs in 'groene' sectoren en een verbetering van de gezondheid en het welzijn van de Europese burgers. Wat betreft de transportsector wordt er gestreefd naar de ontwikkeling van transportmodi die weinig tot geen broeikasgassen uitstoten, die toegankelijk en betaalbaar zijn. Voor de energiesector streeft men naar een aandeel van 40% aan hernieuwbare energiebronnen in de energieproductiemix. Bijkomend zal de primaire en finale energieconsumptie moeten dalen met 36 tot 39% via maatregelen die de energie-efficiëntie bevorderen. Daarbij wordt er specifiek gekeken

naar de renovatie van woningen en gebouwen, niet alleen om energie te besparen maar ook om burgers te beschermen tegen extreme droogte en koude, en om energiearmoede aan te pakken. Binnen deze beleidscontext kunnen verschillende industrieën deze transitie aanvatten vanuit een opportuniteit om nieuwe technologieën en producten op de markt te brengen die ingezet kunnen worden langsheen de volledige waardeketen in de energiesector, transportsector, de bouw- en renovatiesector om zo bij te dragen tot economische groei en jobcreatie. Even belangrijk is het behoud en herstel van natuur, zowel voor het versterken van de biodiversiteit als voor de natuurlijke opslag van CO_2. De Europese Unie wil op globaal niveau een voortrekkersrol spelen om zo internationale partners mee te betrekken in de transitie naar een koolstofarme economie (European Commission, 2023)[65].

Om de Europese industrieën te versterken, werd het Green Deal Industrial Plan uitgewerkt dat tot doel heeft om de productie van propere technologieën in de EU op te schalen. De Net-Zero Industry (NZI) Act vloeit daaruit voort en is een voorstel voor regulering van het Europese Parlement en de Europese Raad om een raamwerk van maatregelen op te richten zodat Europese industriële sectoren een netwerk kunnen vormen voor de productie van de nodige technologieën om de klimaatdoelstelling te bereiken[66]. Deze Net-Zero Industry Act maakt duidelijk dat ook de (diepe) ondergrond een rol zal spelen in de transitie naar een koolstofarme economie. De geologische opslag van CO_2 en geothermie worden namelijk beschouwd als sleuteltechnologieën.

Wat betreft de geologische opslag van CO_2 stelt de NZI Act dat er een gebrek is aan ontwikkelde locaties in de diepe ondergrond waar CO_2 permanent opgeslagen kan worden. De NZI Act stelt voor om tegen 2030 op EU-niveau de doelstelling aan te houden om jaarlijks 50 miljoen ton CO_2 injectiecapaciteit te bepalen. Op die manier kunnen de relevante sectoren investeringen in het transport en de opslag van CO_2 coördineren. Naar schatting zal het nodig zijn om tegen 2050 jaarlijks 550 miljoen ton CO_2 te capteren om aan de klimaatdoelstelling te voldoen. Door het creëren van voldoende opslagcapaciteit op een industriële schaal, kunnen investeringsrisico's in het afvangen van CO_2 beperkt worden. Daarbij wordt er voornamelijk gekeken naar olie- en gasvelden die (bijna) uitgeput zijn. Omdat niet elke lidstaat voldoende capaciteit heeft voor geologische opslag, en omdat CO_2 getransporteerd zal moeten worden over de grenzen van lidstaten heen, is het belangrijk dat een carbon capture and storage (CCS) waardeketen gecoördineerd wordt op het EU niveau.

Waterstof krijgt binnen Europa en wereldwijd hernieuwde aandacht. Bij het gebruik van waterstof wordt er geen CO_2 en bijna geen verontreiniging naar de lucht uitgestoten. Waterstof kan worden gebruikt als grondstof, als brandstof of als energiedrager en opslagmedium; het heeft vele mogelijke toepassingen in de industrie, het vervoer, de energiesector en de sector gebouwen. Het biedt dus een oplossing voor het koolstofvrij maken van industriële processen en economische sectoren waar de vermindering van koolstofemissies dringend maar moeilijk haalbaar is. Dit alles maakt waterstof essentieel om de EU te ondersteunen in haar streven om uiterlijk in 2050 koolstofneutraal te zijn en voor de wereldwijde inspanning om de Overeenkomst van Parijs uit te voeren[67]. In het REPowerEU-plan heeft Europa zich tot doel gesteld om 10 miljoen ton hernieuwbare waterstof te produceren en 10 miljoen ton hernieuwbare waterstof in te voeren tegen 2030[68]. De EU ondersteunt via 'the European Clean Hydrogen Alliance' 750 projecten om de productie, het transport en het gebruik van waterstof te stimuleren. Daarnaast is er een voorstel tot richtlijn voor het ontwerp van een interne waterstofmarkt en wordt er gewerkt aan een omvattende terminologie en criteria voor de certificering van hernieuwbare en koolstofarme waterstof. Daarbij wordt gesteld dat, net zoals voor de geologische opslag van CO_2, grootschalige ondergrondse opslaginstallaties voor waterstof slechts in beperkte mate beschikbaar zijn en ongelijk verdeeld zijn over de lidstaten, aangezien deze toepassing een specifieke geologie vereist die niet overal aanwezig is. Gezien de potentieel gunstige rol voor waterstoftransport en de werking van waterstofmarkten, moeten derden gereguleerde

toegang krijgen tot dergelijke grootschalige ondergrondse opslagplaatsen, teneinde een gelijk speelveld voor marktdeelnemers te waarborgen[69].
Europese doelstellingen met betrekking tot geothermische toepassingen in de diepe ondergrond zijn opgenomen in het Europese SET-plan dat recent, op 20 oktober 2023, in lijn gebracht werd met de 'European Green Deal' en het REPowerEU Plan. In het hernieuwde SET plan zal er meer aandacht zijn voor lage (minder dan 125°C) en midden (125-225°C) temperatuur toepassingen[70]. Het huidige Implementatieplan voor diepe geothermie (revisie 2020) van de 'Implementation Working Group Deep Geothermal' richt zich onder andere op het ondersteunen van onderzoeks -en innovatieactiviteiten met betrekking tot o.a. het verbeteren van reservoir prestaties (ook voor de opslag van warmte), het reduceren van investerings -en operationele kosten, demonstratieprojecten, en het ontwikkelen van stakeholder participatietrajecten[71].

Vlaanderen
Om de Vlaamse klimaatdoelstellingen te behalen, zal Vlaanderen inzetten op hernieuwbare energieproductie, op het verhogen van energie-efficiëntie, het versterken van de energiezekerheid, en de bestrijding van energiearmoede. Daarvoor zullen 22 indicatoren opgevolgd worden. Zo streeft Vlaanderen tegen 2030 naar een hernieuwbare energieproductie van 31 974 GWh (waarvan 11 574 GWh groene warmte) en een EPC-label A & B voor meer dan de helft van de residentiële gebouwen. Voor het versterken van de energiezekerheid, zal Vlaanderen naast de ondersteuning van de maatregelen in het Nationaal Energie- en Klimaatplan, zich richten op de optimalisatie van het gehele energiesysteem (en niet individuele, lokale optimalisatie) en de ontwikkeling van energieknooppunten voor de uitwisseling van energie. Daarbij wordt ingezet op het creëren en valoriseren van flexibiliteit, de digitalisering van het energiesysteem, en samenwerking tussen economische actoren via energiegemeenschappen. Wat betreft energiearmoede heeft Vlaanderen geen specifieke doelstellingen. In het Vlaams Regeerakkoord 2019 –2024 wordt wel beoogd om de komende jaren 'extra in te zetten op een daling van energiearmoede'[92]. Daartoe werd in 2021 de Visienota Energiearmoedeplan 2025 opgesteld met een lijst van maatregelen om financieel kwetsbare gezinnen te ondersteunen en te begeleiden om de klimaatdoelstellingen te behalen en het maatschappelijk draagvlak voor de transitie te behouden. De focus van het plan ligt enerzijds op preventieve maatregelen die de energie-efficiëntie van woningen verhogen om zodoende de energiefactuur te verlagen en anderzijds op curatieve acties voor huishoudens die energieschulden opbouwen[72].

Specifieke doelstellingen aangaande het gebruik van de diepe ondergrond zijn beperkt. Wat betreft diepe geothermie streeft Vlaanderen naar een groene warmteproductie van 99 GWh tegen 2030, met een tussendoelstelling van 24 GWh in 2023. Daarvoor werd de productie van groene warmte van 3 installaties met een diepteboring tussen de 500 en 3500 meter en bijhorend warmtenet in rekening gebracht. Het merendeel van groene warmteproductie zou geproduceerd moeten worden door toepassing van warmtepompen en het gebruik van biomassa[63]. Om investeringen in diepe geothermie aan te moedigen kan de Vlaamse overheid een financiële waarborg verlenen om het korte termijn geologisch risico af te dekken. Blijkt na het uitvoeren van de boring uit de puttesten dat het verwacht thermisch vermogen niet gehaald wordt, dan kunnen bepaalde kosten worden terugbetaald. De regeling dekt het geologisch risico dat samenhangt met de werkelijke waarde van de specifieke aquifer-parameters (thermisch vermogen van de waterlaag in de diepe aardbodem)[73]. Daarnaast kan ook een steunaanvraag indienen bij het Vlaams Energie- en Klimaatagentschap in het kader van de halfjaarlijkse oproep 'groene warmte, restwarmte en energie-efficiënte stadsverwarming'. Deze steunaanvraag kan betrekking hebben op zowel de geothermische installaties als de aanleg van een warmtenet[74].

Antwerpen herbergt de grootste geïntegreerde brandstof- en chemiecluster van Europa , wat beschouwd wordt als een opportuniteit om op een relatief beperkte oppervlakte, grote

hoeveelheden CO_2 op te vangen en te verzamelen, om geologisch op te slaan ofwel terug om te zetten in nuttige producten[63,75]. Vlaanderen engageert zich om netwerken van Carbon Capture and Storage (CCS) te ondersteunen en onderzoekt daarbij de oprichting van een CO_2 backbone. Omdat bijna overal de afsluitende kwaliteit van een opvangstructuur onzeker is, omdat de opslagcapaciteit per individueel doel te laag is om economisch verantwoord te zijn, en omdat er ook andere activiteiten in deze geologische structuren mogelijk zijn, focust het beleid zich op het afvangen, tijdelijke opslag en hergebruik van CO_2, i.e. Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS). Voor de permanente geologische opslag van CO_2 richt Vlaanderen zich vooralsnog op grote opslaglocaties van CO_2 in het Noordzeebekken, in samenwerking met andere landen[76]. Een recent decreet[77] voert een regelgevend kader in voor het vervoer van koolstofdioxide via pijpleidingen op het grondgebied van het Vlaamse Gewest. Dit kader moet de opkomende markt voor het transport van koolstofdioxide faciliteren met voldoende aandacht voor de noden van de toekomstige beheerders van lokale clusters, het vervoersnetwerk en terminals voor vloeibaarmaking enerzijds en de noden van producenten van koolstofdioxide die CCUS aanwenden om hun processen te decarboniseren of koolstofdioxide gebruiken in hun productieprocessen anderzijds[78].

Daarnaast heeft Vlaanderen de ambitie om Europese koploper te worden inzake waterstoftechnologie. De Vlaamse waterstofvisie en -strategie “Europese koploper via duurzame innovatie” stelt vijf strategische doelstellingen voorop:

- Versterken Vlaamse onderzoeksbasis in het domein van waterstof;
- Versterken Vlaams industrieel ecosysteem;
- Stimuleren gebruik van H_2 en toepassing van H_2-technologieën;
- Internationalisering met focus op de buurlanden;
- Flankerend beleid dat moet stimuleren en ondersteunen.

Daarbij worden zowel groene waterstof (geproduceerd op basis van hernieuwbare energie) als blauwe waterstof (waterstof geproduceerd op basis van fossiele brandstoffen waarbij CO_2 emissies vermeden worden door toepassing van CCS) beschouwd als ‘duurzame waterstof’. De waterstof industrie cluster (WIC) heeft zich tot doel gesteld een elektrolysecapaciteit te realiseren van 200 MW tegen 2025 (WaterstofNet, 2020)[79].

België

Ook de federale overheid zet in op de ontwikkeling van waterstof. De Belgische waterstofstrategie is gebaseerd op 4 pijlers[80]:

- België positioneren als draaischijf voor de invoer en doorvoer van hernieuwbare moleculen in Europa
- Het Belgisch leiderschap in waterstoftechnologieën versterken
- Een robuuste waterstofmarkt in het leven roepen
- Investeren in samenwerking voor een succesvolle uitvoering

België streeft daarbij naar een elektrolysecapaciteit van 150 MW tegen 2026, wat lager is dan de doelstelling die vooropgesteld wordt door de WIC[81]. In de Belgische waterstofstrategie wordt verder kort aangegeven dat hoewel grootschalige opslag van gasvormige waterstofmoleculen een optie is, net zoals dat nu het geval is voor aardgas, de Belgische ondergrond slechts beperkte mogelijkheden biedt. Om een toereikende opslagcapaciteit op te bouwen, is een aanpak op Europees niveau nodig. Zo is er meer aandacht in België en Vlaanderen voor import dan voor de eigen productie van waterstof. In Nederland wordt meer aandacht besteed aan eigen productie. Nederland heeft namelijk meer potentieel voor hernieuwbare energieproductie dan België en heeft ook

zoutcavernes die gebruikt kunnen worden voor de opslag van waterstof alsook veel infrastructuur (voor opslag en distributie) beschikbaar die aangepast zou kunnen worden voor waterstof, terwijl België relatief gezien meer importfaciliteiten heeft voor stoffen zoals waterstof. Dit verschil wordt bevestigd in de Vlaamse waterstofstrategie (WaterstofNet, 2020)[79]:

"*In 2019 stonden er een totaalvermogen van ongeveer 1 GW aan windturbines in de Nederlandse wateren, terwijl dat in 2030 11 GW moet zijn. Vlaanderen/België zou in 2020 2.262 MW offshore windenergie bereiken en ambieert "slechts" een verdubbeling daarvan richting 2030. … De elektrolysecapaciteit in Vlaanderen zal dus wellicht beperkt blijven omwille van het gelimiteerde aanbod aan hernieuwbare energie*."

2.2 HUIDIG BELEID IN KADER VAN DE BERGING VAN LANGLEVEND EN HOOGRADIOACTIEF AFVAL

In verhouding tot de grootte van het land, heeft België een relatief grote hoeveelheid langlevend en hoogradioactief materiaal te beheren, in hoofdzaak als resultaat van de productie van kernenergie. Alles samen raamt NIRAS dat er, bij ongewijzigd beleid, een 13.500 m³ aan dit type afval zal moeten geborgen worden (NIRAS, 2020)[82]. NIRAS, de nationale instelling voor het beheer van radioactief afval en verrijkte splijtstoffen, is een semi-gouvernementele organisatie, operationeel sinds 1982 en verantwoordelijk voor het veilig beheer van alle radioactief afval op Belgisch grondgebied.

Internationale afspraken leggen de ultieme verantwoordelijkheid voor het veilig beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen bij de nationale overheden. In 1997 werd dit gestipuleerd in de *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management* van het IAEA[83]. De Europese Unie legt, middels Richtlijn 2011/70/Euratom, hierna Afval Richtlijn, haar lidstaten bovendien op om voor dat doel nationale beleidsmaatregelen vast te leggen[84]. In de preambule van deze richtlijn wordt expliciet vermeld dat radioactief afval finaal dient geborgen te worden en dat er een brede consensus heerst op technisch gebied dat diepe geologische berging de veiligste en meest duurzame oplossing biedt voor het lange termijn beheer van hoogradioactief afval en verbruikte splijtstof.

De Afval Richtlijn werd in juni 2014 omgezet in Belgische wetgeving[85]. Daarin wordt gesteld (art.4) dat de veiligheid op lange termijn van een bergingsinstallatie onder meer moet berusten op veiligheidsmaatregelen die op lange termijn passief moeten kunnen worden. Tevens wordt NIRAS als verantwoordelijke aangewezen voor het voorstellen van een locatie voor zulk een installatie. Een eerste (en voorlopig laatste) Belgisch Nationaal Programma werd aangenomen in 2015[86]. Het beschrijft de situatie zoals ze was op 31 december 2014, met betrekking tot wet- en regelgeving, betrokken actoren en hun respectieve verantwoordelijkheden, de afvalinventaris, plannen voor lange termijn beheer en financiële provisies.

Ondanks de vele referenties naar berging en bergingsinstallaties (reeds van bij de oprichting van NIRAS in 1980 werd berging vermeld als één haar de opdrachten[87]) zou het tot eind 2022 duren vooraleer diepe berging expliciet als geprefereerd concept voor hoogradioactief en langlevend afval in regelgeving zou worden vermeld. Het Koninklijk besluit van 28 oktober 2022 tot vaststelling van het eerste deel van de Nationale Beleidsmaatregel met betrekking tot het lange termijn beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval en tot verduidelijking van het stapsgewijze proces voor de vaststelling van de andere delen van deze Nationale Beleidsmaatregel (BS 22/11/2022) stelt in art.6.§1. *"Het* ***voorontwerp van langetermijnbeheerconcept voor het radioactieve afval*** *bedoeld in*

artikel 3 ***is****, in afwachting van het resultaat van het besluitvormingsproces bedoeld in artikel 8,* ***diepe berging*** *van dit afval* ***op Belgisch grondgebied op een of meer locaties****, overeenkomstig de uitgangspunten opgenomen in artikel 179, § 6, eerste lid, van de wet van 8 augustus 1980, en beantwoordend aan de vereisten van de Bevoegde regelgevende autoriteit"*. Het betreft dus 'slechts' een voorlopige regeringsbeslissing, die nog geconfirmeerd dient te worden middels een besluitvormingsproces dat nog verder gestipuleerd moet worden. Om dat verder uit te kristalliseren gaf NIRAS de opdracht aan de Koning Boudewijnstichting om een "maatschappelijk debat" over dit onderwerp te lanceren. Begin 2023 werd hiermee een aanvang genomen.

Het KB van 28 oktober 2022 stelt verder dat NIRAS een referentiescenario moet opstellen voor dit "voorontwerp van langetermijnbeheerconcept" en dat de instelling daarbij de *"ontwikkelingen en optimaliseringen"* daarvan moet opvolgen en documenteren *"in het bijzonder met betrekking tot berging in diepe boorgaten en geavanceerde nucleaire technologieën, alsook de veilige alternatieven voor de genoemde oplossing"* (art.6.§3.). Tot slot wordt NIRAS gevraagd *"na te gaan of het mogelijk is een diepe bergingsinstallatie te ontwikkelen die met een of meer landen wordt gedeeld"* (art.7.§2.). Geologische berging blijft tot op heden in België daarom nog in vele opzichten een veeleer theoretisch concept.

2.3 BELEID TER ONDERSTEUNING VAN EEN RECHTVAARDIGE TRANSITIE NAAR EEN CIRCULAIRE ECONOMIE

Het circulair denkkader is een raamwerk voor systeemoplossingen dat wereldwijde uitdagingen zoals klimaatverandering, verlies van biodiversiteit, afval en vervuiling probeert aan te pakken. Het is gebaseerd op drie principes, gedreven vanuit een ontwerpfase: elimineer afval en vervuiling, circuleer producten en materialen (tegen hun hoogste waarde) en regenereer de natuur[88]. In een circulaire economie worden tal van strategieën toegepast om materialen en producten zo hoogwaardig mogelijk te blijven inzetten in de economie. In een circulaire economie wil men alles wat van waarde is, waardevol houden en wordt afval gebruikt als grondstof[89].

In maart 2020 werd door de Europese Commissie een nieuw actieplan voor de circulaire economie voorgesteld (the Circular Economy Action Plan – CEAP). De maatregelen die opgenomen zijn in dit plan hebben tot doel om meer duurzame producten de norm te maken in de EU, om minder afval te creëren, en om ervoor te zorgen dat een circulaire strategie werkbaar is voor de bevolking, regio's en steden. Ook wat betreft de ontwikkeling van een circulaire economie wil de EU het voortouw nemen. Daarbij worden de sectoren die het meest materiaal-intensief zijn, en waar het potentieel voor circulariteit het hoogste is, vooropgesteld. Deze sectoren zijn: elektronica en ICT, batterijen en voertuigen, verpakking, plastics, textiel, constructie en gebouwen, voeding, water, en nutriënten[90].

Gerelateerd aan het gebruik van de (diepe) ondergrond, is sinds 2024 de Critical Raw Materials Act (CRMA) van kracht. Omdat kritieke grondstoffen vaak onmisbaar zijn voor een breed scala aan strategische sectoren, waaronder hernieuwbare energie, de digitale industrie, de ruimtevaart- en defensiesector en de gezondheidssector, omdat de EU voor kritieke grondstoffen vrijwel volledig afhankelijk is van invoer, omdat voorziening van essentiële goederen tijdens de COVID-19-crisis en de energiecrisis als gevolg van de oorlog in Oekraïne in het gedrang kwamen, en omdat niet-regelgevende maatregelen onvoldoende zijn om de toegang tot een veilige en duurzame voorziening van kritieke grondstoffen te waarborgen, heeft de Europese Commissie een regelgevend kader uitgewerkt met de volgende doelstellingen[91]:

- versterking van de verschillende stadia van de Europese waardeketen van kritieke grondstoffen;
- diversifiëring van de invoer van kritieke grondstoffen naar de EU teneinde strategische afhankelijkheden te verminderen;
- verbetering van de capaciteit van de EU om de huidige en toekomstige risico's op verstoringen van de voorziening van kritieke grondstoffen te monitoren en te beperken;
- waarborging van het vrije verkeer van kritieke grondstoffen op de eengemaakte markt en van een hoog niveau van milieubescherming, door de circulariteit en duurzaamheid van kritieke grondstoffen te verbeteren.

In de eerste plaats moet de Europese Unie meer strategische grondstoffen uit eigen bodem gebruiken en capaciteit opbouwen om de materialen te winnen die nodig zijn om ten minste 10 % van haar verbruik van strategische grondstoffen te produceren. Om een volledige waardeketen op te bouwen en eventuele knelpunten in de tussenfasen te voorkomen, moet de Unie daarnaast haar verwerkingscapaciteit in de hele waardeketen vergroten en in staat zijn ten minste 40 % van haar jaarlijkse verbruik aan strategische grondstoffen te produceren. Ten derde wordt verwacht dat in de komende decennia een steeds groter aandeel van het verbruik van strategische grondstoffen in de Unie kan worden gedekt door secundaire grondstoffen, waardoor zowel de zekerheid als de duurzaamheid van de grondstoffenvoorziening van de Unie zou worden verbeterd. Met de recyclingcapaciteit van de Unie moet daarom ten minste 25% van het jaarlijks verbruik van strategische grondstoffen in de Unie kunnen worden geproduceerd. Deze benchmarks hebben betrekking op de periode tot 2030, en zijn in overeenstemming met de klimaat- en energiedoelstellingen van de Unie. Voor de voorziening van sommige grondstoffen is de Unie vrijwel volledig afhankelijk van één land. Dergelijke afhankelijkheden vormen een hoog risico op verstoring van de voorziening. Om dit risico te beperken en de economische veerkracht van de Unie te vergroten, moeten inspanningen worden geleverd om ervoor te zorgen dat de Unie tegen 2030 in geen enkel stadium van de verwerking afhankelijk is van één derde land voor meer dan 65 % van haar voorziening van een onverwerkte strategische grondstof.
Om deze doelstellingen te bekomen, legt de CRMA verschillende verplichtingen op aan de lidstaten zoals exploratie van de ondergrond (artikel 19), het potentieel delen van de gegevens hiervan (artikel 35 en verder), het versnellen en stroomlijnen van projecten door regelgeving rond Europese strategische projecten en vergunningsprocedures (artikel 6 en verder), en een verzekering van opvolging van potentiële bevoorradingsproblemen (artikel 20 en verder).

Ook Vlaanderen geeft zowel in haar regeerakkoord 2019-2024[92] als in haar Visie 2050[93] aan de transitie naar een circulaire economie te willen verderzetten. Zo streeft Vlaanderen naar een maximale circulaire economie om zo beter in de behoeften aan grondstoffen en water te kunnen voorzien en het welzijn te maximaliseren met een kleinere ecologische voetafdruk. Omdat de uitstoot van broeikasgassen ook bepaald wordt door de manier waarop we omgaan met materialen in een lineair systeem, kan de transitie naar een circulaire economie bijdragen tot een vermindering van broeikasgassen. Om haar klimaatdoelstellingen te realiseren, streeft Vlaanderen ernaar – naast de energiedoelstellingen – om de materiaalvoetafdruk van de Vlaamse consumptie te reduceren met 30% tegen 2030. Cruciaal voor het bereiken van deze doestelling zijn:

- Klimaatengagementen binnen een sociale economie (aanbod van leningen, jobcreatie)
- Ondersteuning voor nieuwe bedrijfsmodellen (product-dienstsystemen)
- Stimuleren van circulaire oplossingen via publieke en private aankoopopdrachten
- Green Deals
- Uitbouw van een symbioseplatform. Een Vlaams platform om gegevens uit te wisselen over materiaalstromen en de mogelijkheden om deze opnieuw te gebruiken als grondstof

- Opzet van een transitieprogramma. Vlaanderen Circulair is het centrale platform binnen Vlaanderen rond circulaire economie waarbinnen middelen vanuit de relevante beleidsvelden gebundeld worden.

Binnen dit beleidskader wordt er geen directe link gelegd naar het gebruik van de diepe ondergrond.

Op federaal beleidsniveau komt diepzeemijnbouw hoger op de agenda van beleidsmakers te staan. Onlangs werd op de ministerraad een voorontwerp van wet goedgekeurd om de regelgeving rond diepzeemijnbouw te moderniseren. Dit voorontwerp beoogt de regels, voorschriften en procedures van de Internationale Zeebodemautoriteit aan te vullen met ambitieuzere nationale regels, in het bijzonder wat betreft de bescherming van het mariene milieu, de bescherming van mensenlevens, het algemeen belang en de belangen van de Belgische Staat, waarbij er bijzondere aandacht besteed wordt aan duurzaamheid en transparantie[94]. Verder staan in het huidige economische federale beleid de sterke strategische afhankelijkheid, en hoe die te verminderen, hoog op de agenda, en wordt binnen federaal leefmilieu gewerkt aan de oprichting van een instituut rond duurzame ontwikkeling, dat circulariteit als belangrijkste aandachtspunt lijkt mee te krijgen.

3 OVERZICHT VAN SOCIO-ECONOMISCHE ONTWIKKELINGEN VOOR EEN RECHTVAARDIGE TRANSITIE NAAR EEN KOOLSTOFARME EN CIRCULAIRE ECONOMIE, MET FOCUS OP HET GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND

3.1 BEDRIJFSONTWIKKELINGEN EN TECHNOLOGISCHE INNOVATIES VOOR EEN RECHTVAARDIGE TRANSITIE NAAR EEN KOOLSTOFARME ECONOMIE

3.1.1 Diepe geothermie: een bron van hernieuwbare warmteproductie met mogelijks een sociaal oormerk

De toepassing van diepe geothermie voor de productie van warmte kan gekaderd worden binnen een koolstofarm en rechtvaardig energiesysteem waarbij er ingezet wordt op energiebesparing, het gebruik van hernieuwbare energiebronnen voor de productie van warmte en bedrijfsmodellen die zich richten op de inclusie van kwetsbare groepen binnen de samenleving en het verminderen van energiearmoede. Directe toepassingen van diepe geothermie zijn niet nieuw, maar de locaties in Vlaanderen waar deze mogelijk zijn, zijn eerder beperkt. Nieuwere vormen van diepe geothermie, zoals 'enhanced' geothermische systemen, diepe gesloten systemen of single-well toepassingen kunnen geothermische warmteproductie mogelijk maken op -geologisch gezien- minder evidente locaties en over een grotere diepterange. Ook hoge-temperatuur opslag in de diepe ondergrond, vaak in één of andere combinatie met geothermie of gebruikmakend van dezelfde basistechnologie en geologie, is een optie die aandacht krijgt. Dergelijke technologische innovaties kunnen bijdragen aan de transitie naar een koolstofarme economie en hebben elk hun eigenschappen, onzekerheden, mogelijkheden en beperkingen. Hun verdere evoluties en implementatie hangt niet enkel af van hun technische specificiteit of winstgevendheid, maar ook van de mate waarin de bredere maatschappelijke context (culturele, sociale, en politieke instituten) mee evolueert[95,96].

Innovaties hoeven niet per sé technologisch van aard te zijn en kunnen hand in hand gaan met sociale innovaties. Sociale innovaties omvatten nieuwe producten, processen, diensten, concepten, strategieën, of tools die erop gericht zijn maatschappelijke problemen te beantwoorden, om zo het welzijn en de levensomstandigheden van bepaalde groepen te verbeteren[97]. Zo kan de implementatie van energiebesparende maatregelen zowel klimaatverandering als energiearmoede tegengaan. Diepgaande renovatie van woningen wordt daarbij als cruciaal beschouwd. De toekenning van sociale energietarieven zou huishoudens niet uit energiearmoede halen omdat lage energieprijzen geen aanleiding zullen geven om de energie-efficiëntie van een woning te verbeteren. Een meer doeltreffende maatregel is het ondersteunen en uitvoeren van een diepgaande renovatie van de woning (volgens de huidige state-of-the-art, oftewel tot op het niveau van een passief huis) waardoor de vraag naar energie beperkt wordt. Energie-efficiënte verbeteringen kunnen evenwel gedeeltelijk teniet gedaan worden door rebound effecten. De kostenbesparing die voortvloeien uit een verbeterde energie-efficiëntie kunnen ingezet worden in comfortverbeteringen (vb. het aanhouden van een hogere binnentemperatuur) of in andere toepassingen waarbij er ook energie verbruikt wordt[98]. Diepgaande renovaties zijn echter niet altijd

mogelijk, diepe geothermie zou dan ingezet kunnen worden in gebouwen waar hogere temperatuurtoepassingen vereist blijven.

Om te komen tot een fossielvrije gebouwde omgeving wordt het gebruik van warmtenetwerken beschouwd als een maatregel die meer sociaal inclusief kan zijn, in vergelijking met het aanpassen van woningen en gebouwen opdat ze hun energiebehoefte volledig opvangen met elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen. Sociale woningcoöperaties kunnen namelijk de kritieke massa leveren die nodig is om een warmtenetwerk economisch haalbaar te maken voor een bepaald gebied. Om sociale betrokkenheid te verhogen bij de implementatie van een centraal warmtenetwerk, kunnen steden en gemeenten samenwerken met warmtecoöperatieven. In Denemarken zijn 360 van de 430 warmtenetwerken eigendom van consumenten. Zulke coöperatieven dichten de kloof tussen investeren in energieontwikkelingen, productie van energie, en consumptie omdat burgers de mogelijkheid krijgen om te reflecteren over, en betrokken te zijn bij hun eigen energieconsumptie. Om zulke transitie te realiseren zullen er ook financiële ondersteuningsinstrumenten ingezet moeten worden zoals bijvoorbeeld een warmtefonds, een batenbelasting, of leningen die gekoppeld zijn aan het gebouw (en niet aan een persoon)[99]. In het kader van een koolstofarme economie, kunnen deze warmtenetwerken gevoed worden door energie afkomstig van onder meer biomassa, restwarmte of diepe geothermie. Op deze manier kan het gebruik van de diepe ondergrond een rol spelen in een rechtvaardige transitie naar de ontwikkeling van koolstofvrije warmte op schaal van een stad of gemeente.

Er zijn drie actieve ontwikkelaars en/of uitbaters van diepe geothermie in Vlaanderen. VITO startte in 2007 met een seismische campagne voor een open systeem, in 2019 kon de geothermiecentrale van het Balmatt project als doublet voor het eerst proefdraaien. Dit is een proefproject waar op verschillende pistes onderzoek wordt verricht (ORC-elektriciteitsproductie, boortechnieken, materialen, verkenning ondergrond, seismiciteit...). De centrale is aangesloten, op het bestaande warmtenet op de site van VITO, de Atoomwijk en SCK-CEN en wanneer er tijdens testfases warmte geproduceerd wordt, wordt deze verdeeld over het net.

Op de site van Janssen Pharmaceutica in Beerse werd in 2019 gestart met het boren van een open doubletsysteem voor het leveren van warmte op de eigen site. Het project werd succesvol ontwikkeld en in oktober 2022 is de warmtecentrale in gebruik genomen. Sindsdien wordt de ontwikkeling verder op punt gesteld en draait de centrale minimaal één jaar op proef.

Daarnaast is HITA een projectontwikkelaar voor diepe geothermie, met de actieve ontwikkeling van drie projecten in de Kempen, in verschillende stadia van ontwikkeling:

- Drie tot vier geothermiecentrales in Turnhout, om een groot deel van de warmtevraag in de stad te voorzien.
- Eén tot twee geothermiecentrales op de grens tussen Herentals en Olen, met warmte voor zowel industrie als huishoudens.
- Meerdere geothermiecentrales in Lommel, met warmte voor industrie, huishoudens en recreatie.

Rekening houdend met de onzekerheid en de hoge kosten (onderzoek, boringen) die gepaard gaan met ontwikkelingen in de diepe ondergrond, vragen deze projecten een eigen strategie voor investeringen. Met publieke steunmaatregelen kunnen bovenstaande projecten reeds ontwikkeld worden vanuit verschillende standpunten: onderzoek, industrie en lokale overheid. Een risicoverlaging kan verwacht worden door het leereffect over zowel de ondergrond als de technische aspecten. Er worden ook nieuwe concepten voor diepe geothermie ontwikkeld, zoals éénputsystemen, enhanced geothermal systems en diepe gesloten systemen, om warmte te

produceren op een efficiëntere manier of op plaatsen waar dit met conventionele systemen niet mogelijk is. Ook bovengronds zijn er ontwikkelingen voor een bredere toepassing van geothermische energie, zoals lagere-temperatuurtoepassingen en hogere-generatie warmtenetten die verschillende types bronnen en afnemers integreren.

Opslag van thermische energie in de diepe ondergrond krijgt aandacht in onderzoeksprojecten, en kan toegepast worden in watervoerende lagen, restruimtes in steenkoolmijnen, of eventueel in boorgaten of gesteente. Voor zover bekend is het enige project over hoge temperatuuropslag in Vlaanderen Heatstore (heatstore.eu) voor de Balmatt site. Binnen hetzelfde project zijn meer pilootprojecten die eerder demonstratiegericht zijn, uitgewerkt met een relevant dieptebereik, bijvoorbeeld in Zwitserland. Temperatuursopslag in verlaten mijnen wordt bijvoorbeeld zowel in Wallonië (Designate project) onderzocht, en is ondieper een voldragen project in Heerlen (NL). De steenkoolmijnen in Vlaanderen zijn omwille van hun diepte en uitbatingsgeschiedenis waarschijnlijk betere kandidaten.

3.1.2 Opslag van CO_2 voor een transitie naar een koolstofarme economie

Grootschalige reducties in de uitstoot van CO_2 zullen niet gerealiseerd worden door individuele ondernemingen, maar vraagt samenwerking tussen verschillende maatschappelijke sectoren en netwerken. Daarbij is het essentieel dat kennis gedeeld wordt en dat er kostenbesparingen zijn door het bundelen van krachten. Actoren zouden moeten samengebracht worden op een manier die elke actor ten goede komt en tegelijkertijd gezamenlijke doelstellingen dient. Bovendien is het belangrijk een verscheidenheid aan visies te erkennen en te putten uit verschillende perspectieven om de gezamenlijke onderneming te versterken[100]. De toepassing van CCS en de daarbij horende opslag van CO_2 in de diepe ondergrond zal een samenwerking vragen over de grenzen van de individuele lidstaten heen. CCS maakt nog steeds onderdeel uit van Europese en nationale strategieën om CO_2 reducties te realiseren[101]. CCS kan ingezet worden in de sectoren waarbij het moeilijk is om diepgaande CO_2 emissie reducties te realiseren (zoals de cementindustrie) alsook bij de productie van waterstof op basis van koolwaterstoffen (zogenaamde blauwe waterstof, zie bijvoorbeeld het H2BE project omschreven in sectie 3.1.3)[102]. Bovendien wordt de koppeling van CCS aan bio-energieproductie beschouwd als een sleuteltechnologie om te komen tot negatieve emissies[103].

De historische ontwikkeling van CCS is echter sterk gebonden aan toepassingen van CO_2-EOR (Enhanced Oil Recovery) waarbij CO_2 injecties gekoppeld worden aan oliewinning waardoor er olie-inkomsten zijn om CCS financieel haalbaar te maken. Landen die arm zijn aan fossiele hulpbronnen – zoals België – zullen andere strategieën moeten toepassen om CCS tot ontwikkeling te laten komen. Een mogelijke piste is het ontwikkelen van CCS hubs en clusters omdat er omwille van schaalvoordelen kosten bespaard kunnen worden. CCS hubs en clusters verbinden meerdere nabij gelegen bedrijven die CO_2 uitstoten alsook mogelijke locaties waar CO_2 permanent opgeslagen kan worden om op die manier de nodige kritieke massa te bekomen voor de ontwikkeling van CCS. De verschillende activiteiten zoals planning, transport en opslag, vergunningverlening, onderhandelingen met grondeigenaars kunnen gedeeld worden over de verschillende leden van de cluster, waardoor kosten en risico's gereduceerd worden in vergelijking met CCS projecten die op zichzelf staan. Cruciaal daarbij is de uitbouw van een pijpleidingnetwerk voor het transport van CO_2. Omdat locaties voor de opslag van CO_2 en bronnen van CO_2 ongelijk verdeeld zijn tussen de verschillende EU lidstaten, zal er een transnationaal CO_2 pijpleidingnetwerk ontwikkeld moeten worden, ondersteund met de nodige wetgeving omtrent transnationaal transport en aansprakelijkheidskwesties. Belangrijk daarbij is om na te gaan in welke mate bestaande pijpleidingen voor het transport van aardgas daarvoor gebruikt kunnen worden. De "Connecting

Europe Facility for Energy" is een fonds die de ontwikkeling van transnationale pijpleidingen voor het transport van CO_2 kan ondersteunen[104].

Voor Vlaanderen is de Antwerpse haven de doellocatie voor de ontwikkeling van een CCUS hub. Antwerp@C verenigt acht bedrijven uit de energie- en chemische sector om de haalbaarheid van CCUS te onderzoeken. Antwerp@C voorziet daarbij twee pistes voor grensoverschrijdende CO_2-transportinfrastructuur. In een eerste fase wordt het CO_2 in vloeibare vorm verscheept naar lege gasvelden in het Noordzeegebied. Daarnaast verkent Antwerp@C de mogelijkheid om in een tweede fase CO_2 via een pijpleiding naar Nederland te transporteren[105]. Binnen deze cluster loopt momenteel het Kairos@C project waarbij AirLiquide en BASF samenwerken om de eerste grensoverschrijdende CCS waardeketen in Antwerpen te creëren om CO_2 af te vangen, vloeibaar te maken, te transporteren en permanent op te slaan. CO_2 zal worden afgevangen in 5 productie-installaties van BASF in Antwerpen, vloeibaar worden gemaakt via een exportterminal in de haven van Antwerpen en per schip worden getransporteerd voor een veilige en permanente opslag onder de Noordzee (Kairos@C, 2021)[106].

Een ander concreet voorbeeld is Greensand, waarvoor verschillende samenwerkingsakkoorden nodig zijn, in het bijzonder tussen de deelnemende staten Denemarken, België en Vlaanderen. In het kader van de Europese CCS richtlijn onderhoudt de Europese Commissie (DG CLIMA) een overlegcomité waarin de verschillende lidstaten op regelmatige basis verslag uitbrengen en nieuwe initiatieven worden besproken

3.1.3 Opslag van aardgas en waterstof

Ook wat betreft de ontwikkeling van waterstof ontstaan er verschillende samenwerkingsverbanden. Het Hydrogen Valley-platform is een wereldwijd samenwerkingsplatform om alle informatie over grootschalige waterstofprojecten te bundelen en uit te wisselen. Op dit platform geven de meest geavanceerde 'Hydrogen Valleys' over de hele wereld inzicht in hun projectontwikkeling. In Vlaanderen is er één 'Hydrogen Valley': H2BE. H2BE is een grootschalig koolstofarm waterstofproject in het havengebied van Gent waarbij Engie en Equinor samenwerken met Fluxys. Het project is gericht op de productie van waterstof uit Noors aardgas. Het is de bedoeling dat de in Gent afgevangen CO_2 in vloeibare vorm wordt getransporteerd vanuit het Belgische kustgebied en permanent en veilig wordt opgeslagen onder de zeebodem van de Noorse Noordzee. De partners streven ernaar om ruim voor 2030 van start te gaan.

Voor Vlaanderen en België zijn er twee bijkomende voorstellen voor een Hydrogen Valley. Ten eerste is er de Hydrogen Delta. Dit is een initiatief om een grensoverschrijdende industriële cluster in de (petro-)chemie en staalindustrie te vormen in het Vlaams-Nederlandse Deltagebied. De Vlaams-Nederlandse Deltaregio (provincies Antwerpen, Noord-Brabant, West-Vlaanderen, Oost-Vlaanderen, Zeeland en Zuid-Holland) wordt beschouwd als een strategisch gebied omwille van de havens en industriële clusters in Rotterdam, Antwerpen, Zeebrugge en Moerdijk. Bovendien wordt momenteel het grootste deel van de vraag naar waterstof in Vlaanderen en Nederland bepaald door de petrochemische clusters van Antwerpen en Rotterdam. Ten tweede is er Green Octopus. Dit is een initiatief van WaterstofNet met als doel een waterstofbackbone te creëren tussen België, Nederland en Duitsland met verbindingen naar Frankrijk en Denemarken. Green Octopus wordt ook expliciet naar voren geschoven als een belangrijk programma bij de uitbouw van de waterstofeconomie in de Benelux in zowel de Vlaamse waterstofvisie als de Vlaamse waterstofstrategie. Bovendien wordt Green Octopus ondersteund door het Europese IPCEI programma (Important Projects of Common European Interest)[107].

Van de drie historische Belgische ondergrondse opslaglocaties voor aardgas, blijft enkel deze in Vlaanderen (Loenhout) operationeel. Het beheer valt onder Fluxys Belgium, dat als onafhankelijk beheerder instaat voor het vervoer van aardgas onder hoge druk alsook opslag (zowel in Loenhout als in de terminal in Zeebrugge). De twee andere opslagsites waren de steenkoolmijnen van Anderlues en Péronnes, die voor gasopslag geconverteerd werden. Gasopslagprojecten in steenkoolmijnen zijn wereldwijd relatief unieke projecten, met het enige andere voorbeeld de Leiden steenkoolmijn in de Verenigde Staten. Deze drie sites zijn ondertussen gesloten. De voornaamste bezorgdheden voor de Belgische voorbeelden waren hun relatief geringe grootte (omdat anders dan in Loenhout onder zeer lage druk werd opgeslagen), en ook omdat de gassamenstelling gevoelig wijzigde door absorptie van de meest energierijke koolstofketens op steenkool. Hierdoor moest het gas opgewaardeerd worden vooraleer terug in het netwerk te injecteren. De geringere capaciteit en extra kosten zijn, voor zover bekend, de economische redenen om deze sites te sluiten. Omwille van de unieke geologie en uitbatingsgeschiedenis (o.a. industriële uitbating enkel onder de ondoorlatende Faille de Masse) zijn deze mijnen waarschijnlijk nog steeds relatief droog. Ze terug in gebruik nemen, of converteren voor bijvoorbeeld opslag van waterstof, lijkt echter een zeer grote technische uitdaging te zijn, zowel economisch als om de veiligheid te garanderen (wegens het veel mobielere gas). Fluxys Belgium is dus de enige speler in België wat betreft gasopslag op dit moment, met Publigas (Belgische gemeenten) als hoofdaandeelhouder. Onder Europese en gedeeltelijk Belgische impuls zet het in op energietransitie met een koolstofneutraal België als doel. Twee onderdelen hiervan zijn relevant voor de diepe ondergrond, met name het uitbouwen van een waterstofinfrastructuur, en ook een CO_2-infrastructuur voor hergebruik en geologische berging (maar zonder plannen voor berging in België).

Het uitbouwen van de waterstofinfrastructuur omvat het testen van de opvangsite in Loenhout om deze te converteren voor gemengde opslag van aardgas en H_2. Een proefproject is momenteel in uitvoering. De Geostock groep, vaste consultant voor Fluxys Belgium in verband met ondergrondse opslag, en ook het KBIN-BGD, zijn partner in het Europees gefinancierde HyStories project dat zich richt op het identificeren van mogelijke opslaglocaties voor waterstof in aquifers. Naast Loenhout werden er twee andere potentiële locaties geïdentificeerd (Poederlee en Verloren Kamp). Rond waterstof zijn er een groot aantal projecten lopend, waarvan BE-HyStore (opgestart in 2023) dat wordt uitgevoerd door UGent en Fluxys en de gecombineerde opslag van waterstof en aardgas in Loenhout onderzoekt, het meest relevant is voor de Vlaamse ondergrond[108].

3.1.4 Gerelateerd of competitief gebruik van de diepe ondergrond

Naast diepe geothermie, warmte-opslag, CO_2-opslag en opslag van energetisch gas, zijn er ook nog andere toepassingen die mogelijk zijn in de diepe ondergrond en gelinkt kunnen worden aan de klimaatproblematiek.

Grondwater wordt klassiek niet, of in het geval van het Massief van Brabant niet meer, uit de diepe ondergrond gewonnen. Een steeds scherper wordend probleem in Vlaanderen zijn echter seizoensgebonden tekorten aan drinkwater. Een oplossing die drinkwatermaatschappijen momenteel bekijken, is de injectie van grondwater in probleemgebieden tijdens periodes van verminderde vraag, om het daarna terug te winnen tijdens de zomerperiode. Het ontwikkelen van deze optie is eerder een antwoord van de sector dan een gestructureerd initiatief. De boring voor een nieuw proefproject werd uitgevoerd in het ondiepere deel van het Massief van Brabant nabij Aalst (Hofstade), maar kan indien succesvol ook dieper toegepast worden, dieper dan de dieptes van klassieke grondwaterwinning omdat het initiële zoutgehalte van grondwater een minder belangrijke parameter vormt.

De interesse voor schaliegas en eventuele koolwaterstofcondensaten lijkt in Europa vrijwel volledig voorbij. Dat ligt mogelijk anders voor schaliegas dat voorkomt in steenkoolsequenties, en gecombineerd ontgonnen kan worden met steenkoollaag methaan. Alhoewel deze bron in het verleden meer aandacht kreeg, zijn er momenteel geen concrete initiatieven.

Opslag van potentiële energie in de diepe ondergrond, meestal via aanleg van een diepe ondergrondse ruimte als deel van een waterkrachtproject, wordt regelmatig geopperd als een mogelijkheid, met concrete vragen voor zowel het Kempens Bekken als het Massief van Brabant. Deze initiatieven zijn echter nooit voorbij een verkennende fase geraakt, en enkel bekend uit persoonlijke communicatie.

3.2 BEDRIJFSONTWIKKELINGEN EN TECHNOLOGISCHE INNOVATIES MET BETREKKING TOT DE BERGING VAN LANGLEVEND EN HOOGRADIOACTIEF AFVAL

Gezien de grensoverschrijdende veiligheidsaspecten van nucleaire energie, is ook de ontwikkeling van ondergrondse berging voor hoogwaardig en langlevend radioactief afval internationaal gekaderd (vb. Euratom). Onderzoek naar de opslagmogelijkheden in België heeft zich in het verleden voornamelijk gericht op berging in plastische kleien, die zich situeren in de ondiepere ondergrond van Vlaanderen. Andere opslagmogelijkheden, inclusief deze in de diepe ondergrond, worden niet uitgesloten, maar initiatieven gaan niet verder dan verkennende studies.

Gedurende meer dan 40 jaar werd intensief onderzoek verricht en aan technologieontwikkeling gedaan gericht op één specifieke gastformatie, met name weinig verharde klei. Deze focus berust ten dele op toeval en op pragmatische overwegingen. Letterlijk onder de voeten van het nucleair onderzoekscentrum SCK CEN bevindt zich een potentieel interessant gastgesteente, met name de Boomse Klei (Formatie van Boom). Dit maakte het haast vanzelfsprekend om alvast het eerste verkennende onderzoek daarop te richten, en niet op andere mogelijke gastgesteenten, zoals vermeld in de 'European 1979 Catalogue' of EC'79[109]. Zo startte in 1980 de constructie van een generiek ondergronds onderzoekslaboratorium, HADES. Dit labo bevindt zich op 225 meter diepte in een kleilaag van ongeveer 100 m dik (tussen 161 en 264 meter onder de oppervlakte) en is operationeel sinds 1985. Het labo kende sindsdien enkele uitbreidingen en wordt sinds 1995 uitgebaat als een joint-venture tussen SCK CEN en NIRAS. Sinds 2000 gebeurt dat onder de vorm van het economisch samenwerkingsverband (ESV) EURIDICE. In HADES worden experimenten uitgevoerd "in 'reële' omstandigheden, in de diepe kleilaag, op grote schaal en over een lange termijn om de veiligheid en uitvoerbaarheid van geologische berging in weinig verharde klei te evalueren"[110]. Door de ESV EURIDICE wordt uitdrukkelijk gesteld dat HADES een onderzoekslaboratorium is en dat er dus nooit radioactief afval zal worden geborgen. Dit neemt echter niet weg dat in de publieke perceptie de regio Mol-Dessel, waar SCK CEN en HADES zich bevinden vaak als gedoodverfde locatie voor een geologische berging wordt gezien, in zoverre mensen niet denken dat het er al effectief geborgen wordt. Zo was ongeveer de helft van de respondenten van de SCK CEN Barometer in 2018 de mening toegedaan dat het hoogradioactief en langlevend afval in België reeds ondergronds werd opgeslagen[111,112].

Studies buiten de context van het onderzoekslaboratorium HADES, bleven tot nu toe verkennend van aard. Dit leidde ertoe dat het Belgische typeconcept (een relatief gedetailleerd uitgewerkt

generisch concept) dat als basis dient voor het financiële referentiescenario en voor de berekening van de provisies die de exploitanten van de kerncentrales dienen aan te leggen, specifiek ontworpen is voor berging in horizontale galerijen in weinig verharde klei. Die eenzijdige geologische focus stootte op kritiek van de Belgische nucleaire toezichthouder, het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC), die deze expliciet uitte in zijn advies op het Afvalplan dat NIRAS in 2011 aan de federale regering voorlegde (FANC, 2011)[113].

NIRAS veranderde daarop het geweer van schouder en bekijkt ondertussen de mogelijkheid voor implementatie van haar typeconcept in andere formaties. In het laatste strategische milieueffectenrapport van 2020 werd een lijst opgenomen van formaties in België die "theoretisch denkbaar" zijn voor geologische berging in horizontale galerijen (NIRAS, 2020 p. 35)[82]. Voor Vlaanderen betreft dit (NIRAS, 2020 p. 36-37)[82]:

- Evaporieten: eerder dunne lagen en knollagen van hoofdzakelijk anhydriet in het Kempisch Bekken (diepte 600 tot 3500 meter)
- Kristallijne gesteenten:
    - *kristallijne intrusies* in het Massief van Brabant die aan de top van de sokkel voorkomen (de meeste te klein van omvang, maar enkele intrusies dienen nog nader onderzocht te worden) en
    - de *kristallijne sokkel* (hiermee wordt naar de hypothetische granietintrusie verwezen) met een samenstelling die, afwijkend van de andere magmatische gesteenten in het Massief van Brabant granitisch is en op een diepte van meer dan 1 km voorkomt
- Kleiformaties:
    - *weinig verharde klei* in het Kempisch Bekken (Boomse klei) en in de ondergrond van West- en Oost-Vlaanderen (Ieperiaankleien)
    - *(Paleozoïsche) argilieten* in het Massief van Brabant en het Kempisch Bekken
    - *leisteen* in het Massief van Brabant

Tot op heden heeft NIRAS geen experimenteel onderzoek verricht naar evaporieten, kristallijne gesteenten, argilieten of leisteen. Wat de weinig verharde klei betreft, ligt de focus tot op heden op de Boomse Klei. In beperkte mate werd door SCK CEN ook onderzoek verricht naar kleien in de Groep van Ieper, meer bepaald de Formatie van Kortrijk (NIRAS, 2020 p. 36)[82].

Omwille van de eerder vermelde aanzienlijke omgevingsimpact van diepe geologische berging in horizontale galerijen wordt meer recent ook geologische berging in verticale diepe boorgaten (meer dan 1000 meter diep) als optie bekeken. NIRAS deed hiernaar een literatuuronderzoek en rapporteerde hierover in haar laatste strategische milieueffectenrapport. Dit (theoretische) concept betreft berging in smalle (40 tot 90 cm diameter), verticale diepe boorgaten tot op een diepte van 5 of 6 kilometer, waarbij de afvalcolli boven elkaar geplaatst worden (regelmatig afgewisseld met horizontale pluggen) tot maximaal 2 kilometer lengte (NIRAS, 2020)[82]. De kennis over de aanwezigheid van geschikte en verticaal uitgestrekte geologische formaties in België is uiterst beperkt. Deze optie werd tot dusver ook niet meegenomen in studies naar potentiële gastgesteenten en hun karakteristieken. Uit haar literatuurstudie concludeerde NIRAS dat de concepten die in het buitenland worden overwogen, doorgaans geënt zijn op een diepe, kristallijne sokkel als gastgesteente, onder min of meer ondoorlatende kleilagen (NIRAS, 2020 p. 30)[82].

De keuze van gastgesteente is dus nog niet gemaakt, en lijkt vandaag meer dan ooit open te liggen. Ervaring in het buitenland toont dat implementatie van diepe geologische berging geen evidentie is en dat de keuze van gastgesteente nooit volledig los kan gekoppeld worden van een specifieke

locatiekeuze (of toch minstens een ruwe ruimtelijke afbakening). Maatschappelijke aanvaarding blijkt vaak moeilijker op locaties die geen ander nucleaire installaties huisvesten. Daarom wordt in vele nationale programma's ook expliciet gekeken naar mogelijkheden op of in de omgeving van bestaande nucleaire sites. Ook vanuit het oogpunt van transport van radioactieve materialen speelt dit een rol.

In Vlaanderen vinden we vandaag materiaal dat in aanmerking komt voor diepe geologische berging in hoofdzaak op twee locaties:

- Kerncentrale Doel (Beveren – Provincie Oost-Vlaanderen): toekomstig ontmantelingsafval en opslag van verbruikte splijtstoffen afkomstig van de kerncentrale
- Belgoproces (Dessel – Provincie Antwerpen): verwerking en opslag langlevend afval van diverse producenten in België, met inbegrip van het historische afval opslag van verglaasde splijtstof na opwerking in la Hague (Frankrijk)

3.3 BEDRIJFSONTWIKKELINGEN EN TECHNOLOGISCHE INNOVATIES VOOR EEN RECHTVAARDIGE TRANSITIE NAAR EEN CIRCULAIRE ECONOMIE

Vlaanderen Circulair is het knooppunt en de inspirator voor de circulaire economie in Vlaanderen. Het is een partnerschap van overheden, bedrijven, middenveld en kenniswereld die samen actie ondernemen. De Vlaamse Regering heeft de circulaire economie als één van de zeven transitieprioriteiten vastgelegd en de OVAM als initiator van Vlaanderen Circulair aangeduid. Het operationeel team, dat voor de dagelijkse werking instaat, is ingebed bij de OVAM. Vlaanderen Circulair organiseert zich in zes thematische werkagenda's: circulair bouwen, chemie en kunststoffen, waterkringlopen, bio-economie, voedselketen, en maakindustrie (textiel, meubelen, elektro, batterijen). Binnen elke werkagenda worden ambities en strategieën geformuleerd en acties uitgewerkt.

Ook voor de ontwikkeling en implementatie van circulaire strategieën vormen bedrijven clusters en netwerken om hun krachten te bundelen. Een voorbeeld daarvan is 'Smart Delta Resources'. Smart Delta Resources (SDR) is een transnationaal samenwerkingsverband van grote energie- en grondstof-intensieve bedrijven in de Schelde-Deltaregio. SDR heeft een Nederlandse organisatie (SDR NL) en een Belgische organisatie (SDR Flanders) die beide samenwerken aan oplossingen voor een toekomstbestendige, duurzame industrie in de regio. Smart Delta Resources heeft vijf routes opgenomen en draagt op die manier bij tot een transitie naar zowel een koolstofarme als circulaire economie: de overstap naar CO_2-vrije waterstof, groene stroom gebruiken voor industriële processen, opvang, opslag en hergebruik van CO_2, hergebruik van restwarmte en circulaire oplossingen. Concrete plannen van de bedrijven via deze routes zijn gebundeld in de prioritaire programma's Hydrogen Delta (zie §3.1.3), Carbon Connect Delta, Spark Delta, Circular Delta en Heat Delta.

Een eco-industrieel park is een ander voorbeeld van hoe bedrijven proberen om synergiën te creëren door natuurlijke en economische hulpbronnen uit te wisselen of te delen (industriële symbiose). Eco-industriële parken zijn clusters van industriële bedrijven die dichtbij elkaar gelegen zijn en die voordeel proberen te halen uit hun geografische nabijheid om samenwerkingen op te

zetten om zo zowel economische baten als milieubaten te realiseren. Een dergelijk netwerk omvat het uitwisselen en delen van hulpbronnen (materialen, energie, water, infrastructuur, nutsvoorzieningen, en informatie) om zo het gebruik van natuurlijke hulpbronnen te beperken en afval te reduceren. Eco-industriële parken worden ook gezien als facilitators om de toepassing van CCS en hernieuwbare energiebronnen zoals diepe geothermie op bedrijfsniveau te stimuleren. Bovendien hoeft de synergie niet beperkt te blijven tot de grenzen van het industriepark. Door samenwerking met nabijgelegen steden, zouden aanwezige energieproductiesystemen verder geoptimaliseerd kunnen worden door bijvoorbeeld de uitwisseling van restwarmte[114]. Binnen Vlaanderen bestaan er weinig eco-industriële parken. Blue Gate Antwerp beschouwt zichzelf als het eerste, eco-effectieve, watergebonden bedrijventerrein in België, gevestigd op een plaats die ooit het hart was van de Antwerpse petroleumindustrie. Blue Gate Antwerp is een publiek-privaat project dat haar klimaatneutrale bedrijventerrein voorbehoud voor innovatieve ondernemingen die inzetten op circulair werken en die zich engageren voor een eco-effectieve industrie waarbij ze hetzelfde kwalitatieve eindproduct produceren en daarbij hun grondstoffenverbruik reduceren[115].

Hoewel er gewezen wordt naar CCS en de opslag van waterstof, lijkt het gebruik van de diepe ondergrond op die manier binnen bovenstaande initiatieven, eerder beperkt. De toepassing van diepe geothermie, lijkt daarentegen wel een opportuniteit te bieden. Er is interesse om lithium te winnen uit het zoute grondwater dat naar boven gepompt wordt bij geothermie-projecten . Het potentieel in Vlaanderen voor lithiumextractie uit diepe geothermie wordt momenteel onderzocht door HITA, met de steun van het Vlaams Agentschap Innoveren & Ondernemen (VLAIO; HITA, 2021). Deze haalbaarheidsstudie zal mee het economisch potentieel kunnen bepalen.

3.4 ONTWIKKELINGEN BINNEN LOKALE GEMEENSCHAPPEN EN OP HUISHOUDNIVEAU VOOR EEN RECHTVAARDIGE TRANSITIE NAAR EEN KOOLSTOFARME EN EEN CIRCULAIRE ECONOMIE

De voorbije decennia zijn er meer en meer hernieuwbare energiegemeenschappen tot ontwikkeling gekomen in Europa. Dergelijke gemeenschappen zijn sterk heterogeen in termen van organisatie en rechtsvorm, kunnen verschillende energie-activiteiten (productie, distributie) en energietechnologieën omvatten en ook de geografische schaal kan variëren van lokaal tot regionaal en nationaal[116]. Kenmerkend voor energiegemeenschappen is dat de deelnemers zich verenigen rond activiteiten van energie en ze niet focussen op financiële winsten, maar voornamelijk tot doel hebben sociale en milieubaten te realiseren. Verder staan energiegemeenschappen open voor de participatie van burgers. Zij zijn mede-eigenaars en hebben controle over het beheer van de organisatie. Deze participatie is open en vrijwillig. Iedereen moet op vrijwillig basis kunnen participeren in de organisatie en ook de organisatie kunnen verlaten zonder toegang tot het netwerk te verliezen[117]. De ontwikkeling van nieuwe technologieën zoals artificiële intelligentie, digitale platformen, sensoren, en de Internet of Things kan de werking van een energiegemeenschap ondersteunen door menselijk gedrag beter te vatten en te modelleren[118].

Relevant voor mogelijke toepassing in de diepe ondergrond, zijn voorbeelden van energiegemeenschappen waarbij een warmtenetwerk uitgerold wordt, gevoed met warmte afkomstig van diepe geothermie. De integratie van geothermie in een warmtenetwerk is complex, omdat er zowel technische, economische, milieu-gerelateerde en sociale overwegingen gemaakt moeten worden. Het gaat vaak om grootschalige projecten waarbij verschillende groepen van

belanghebbenden betrokken moeten worden bij de besluitvorming en de ontwikkeling van het project. Voor een efficiënte toepassing van geothermische energie in warmtenetten is het belangrijk om het temperatuurniveau van zowel de bron als de infrastructuur voor warmtetransport en -distributie te bepalen. Zo is er van afnemers met een hoge warmtevraag of industriële processen meestal ook een vraag naar hoge temperatuur, en kan warmte met een gemiddelde of lage temperatuur worden geleverd aan energiezuinige gebouwen[119]. Voor gebieden met lage geothermische gradiënten wordt de toepassing van middel en lage temperatuur geothermische energie in combinatie met vierde generatie warmtenetwerksystemen beschouwd als een belangrijke radicale innovatie die evenwel nog in haar kinderschoenen staat. Dergelijk lage temperatuur warmtenetwerken (waarbij de temperatuur van de geleverde warmte varieert tussen 30°C en 70°C) zijn geschikt voor gebouwen waarbij de warmtevraag beperkt is tot 75 kWh/m²/jaar. Geothermie kan daarbij een baseload energie leveren waarbij het 40% van de maximale energievraag dekt en 70% van de jaarlijkse energievraag. Het is dus belangrijk dat er ook mogelijkheden onderzocht worden voor het opvangen van die grotere warmtebehoefte, zoals de installatie van boosterwarmtepompen, toepassingen van warmteopslag en de productie van andere hernieuwbare bronnen van warmte afkomstig van bijvoorbeeld biomassacentrales die het netwerk kunnen voeden. Voor lage temperatuur warmtenetwerken waarbij de temperatuur van de warmte lager is dan 50°C, is het belangrijk dat gebouwen in zeer sterke mate geïsoleerd zijn en dat zij beschikken over een lage-temperatuur verwarmingsinstallatie. Geothermische warmte kan dan enkel gebruikt worden voor de verwarming van gebouwen en niet voor het gebruik van warm water omwille van het risico op legionellabacteriën. Daarvoor zullen er elektrische boilers (op zonne-energie) en zonneboilersystemen geïnstalleerd moeten worden. Voor oudere huizen betekent dit een diepgaande renovatie die tienduizenden euro's kan omvatten[119].

De aanleg van en het aansluiten op warmtenetten van huishoudens maakt het mogelijk om op een collectieve manier te evolueren naar een koolstofarme en circulaire energievoorziening. Hiermee worden bovendien de investeringslast en eventuele risico's gespreid, waardoor een groter deel van de bevolking toegang krijgt tot hernieuwbare energie enerzijds, en beleidsdoelstellingen eenvoudiger gehaald worden anderzijds. Deze warmtenetten zijn per definitie lokaal door de beperkte transporteerbaarheid van warmte, waardoor het vaak lokale overheden zoals steden en provincies zijn die hierop inzetten. Meer zelfs, de lokale besturen wordt aangeraden om een regisserende rol op te nemen, omdat zij het dichtst aansluiten bij de lokale bevolking, ondernemingen etc., en dergelijke projecten optimaal kunnen afstemmen op de lokale noden[120]. In lijn met de lokale ontwikkelingen vóór de lokale bevolking en ondernemingen worden in Vlaanderen bijvoorbeeld de geothermieprojecten in Turnhout en Herentals-Olen ontwikkeld om warmte te leveren aan naburige woonwijken. De projecten in Lommel en Merksplas zullen voornamelijk warmte voorzien voor de lokale KMO's, recreatie en industrie.

Hoewel er verwacht wordt dat hernieuwbare energiegemeenschappen de democratisering en rechtvaardigheid versterken binnen de transitie naar een koolstofarme economie, is dit niet vanzelfsprekend in de praktijk. Uit een recente studie waarbij 71 Europese case studies onderzocht werden, blijkt dat door financiële instabiliteit, een gebrek aan personeel, en een gebrek aan kennis en expertise, hernieuwbare energiegemeenschappen hun sociale rol slechts beperkt kunnen opnemen. Toch kunnen dergelijke gemeenschappen een rechtvaardige transitie ondersteunen door het aanbieden van sociale energietarieven en bijkomende ondersteunende diensten, door samenwerking met partners om kennis over energiearmoede uit te wisselen, door het herontwerp van de financiële participatie, en door het inzetten van geschikte en toegankelijke tools om kwetsbare groepen in de maatschappij te bereiken[116].

Voorbeelden van energiegemeenschappen in Vlaanderen die een sociale rol opnemen, is de stad Eeklo. In deze gemeente koopt de administratie aandelen van de hernieuwbare energiegemeenschap om deze over te dragen aan huishoudens in energiearmoede en hen zo toegang te geven tot lage energieprijzen. Ook de Belgische organisatie Pajopower reikt uit naar mensen in kwetsbare gemeenschappen met de adviesdienst Kyoto mobile, om nieuwsgierigheid op te wekken en vertrouwen te winnen in de gemeenschap. Zij delen informatie over energiebesparingen en hernieuwbare energie en leren lokale gemeenschappen hoe om te schakelen van energieleveranciers, en om actie te nemen in hun huis en om subsidies aan te vragen.

De betrokkenheid van gemeenschappen speelt niet alleen een rol bij de ontwikkeling van geothermie, maar evenzeer bij de ontwikkeling van projecten voor de geologische opslag van CO_2.Anders dan bij toepassingen van diepe geothermie, ondervinden lokale gemeenschappen zelf geen directe baat bij de toepassing van CCS en is het veeleer een kwestie van maatschappelijke acceptatie. Maatschappelijke acceptatie van CCS projecten kan verder gaan dan een passieve tolerantie. Projecten zullen vlugger maatschappelijk aanvaard worden wanneer gemeenschappen actief betrokken worden door hen te informeren en hen mee zeggenschap te geven bij de ontwikkeling van het project. Bovendien kunnen onenigheden en een veelheid aan meningen de ontwikkeling van een project helpen bijsturen en verrijken. Daarbij is het belangrijk om gemeenschappen zo vroeg mogelijk te betrekken, zodat ze alle informatie kunnen verwerken voordat cruciale beslissingen genomen worden. Een ‘gemeenschap’ kan verschillende betrokkenen inhouden: gaande van stakeholders die rechtstreeks impact ondervinden van de ontwikkeling, tot algemene belangengroepen (NGO’s), of de bevolking in het algemeen.

Gemeenschappen betrekken bij de ontwikkeling van CCS kan niet alleen ten goede komen aan sociale acceptatie, maar ook belangrijk zijn om rechtvaardigheidskwesties aan te pakken. Daarbij zijn drie principes van rechtvaardigheid van belang: procedurele rechtvaardigheid, distributieve rechtvaardigheid en erkenning. Procedurele rechtvaardigheid is gerelateerd aan de mate waarin besluitvorming beschouwd wordt als fair, transparant en participatief. Distributieve rechtvaardigheid is gerelateerd aan de mate waarin de verdeling van baten en risico’s tussen actoren beschouwd wordt als eerlijk en evenredig. Erkenning gaat om de mate waarin elke stem en elke mening gehoord wordt. Het is belangrijk om bepaalde meningen en vraagstellingen niet te marginaliseren of uit te sluiten[121].

4 ONTWIKKELINGSSCENARIO'S VOOR HET DUURZAAM GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND IN EEN KOOLSTOFARME EN CIRCULAIRE ECONOMIE

Uit voorgaande hoofdstukken blijkt dat wat betreft de Vlaamse diepe ondergrond, toepassingen van diepe geothermie meer en meer tot ontwikkeling komen, geïnitieerd door onderzoeksinstellingen, individuele bedrijven, of door steden. Daarnaast wordt voor de site in Loenhout de mogelijkheid voor de opslag van waterstof onderzocht en blijven bepaalde formaties in de Vlaamse (diepe) ondergrond een mogelijke doellocatie voor de berging van langlevend en hoogradioactief afval. Hoewel activiteiten zoals winning van waardevolle grondstoffen, opslag van warmte, CO_2, grondwater of energie, en winning van koolwaterstoffen (zoals CBM, schaliegas- en schaliegascondensaten, of een combinatie hiervan) momenteel minder hoog op de agenda staan, zijn dit wel toepassingen die theoretisch gezien mogelijk zijn in de Vlaamse diepe ondergrond.

Het Kempisch Bekken lijkt daarbij een unieke geologische locatie in Vlaanderen die meer en meer in overweging genomen wordt voor toepassingen die bijdragen aan klimaatdoelen en energiezekerheid. De (nuttige) ruimte in de ondergrond is echter beperkt, wat leidt tot concurrerende toepassingen. Om beleid voor het beheren van interfererende activiteiten in de ondergrond (nadelig of gunstig) te vormen en indien nodig te prioriteren, is het essentieel om methoden te creëren voor de karakterisering van mogelijke interacties, waarbij ook rekening wordt gehouden met de bijhorende bovengrondse effecten.

Bij de ontwikkeling van deze methoden zal er expliciet rekening gehouden worden met het bestaan van geologische onzekerheden en marktonzekerheden. Marktprijzen zullen dynamisch gesimuleerd worden, rekening houdend met hun mogelijke toekomstige evolutie en de daarmee gepaard gaande onzekerheden. Geologische onzekerheden worden voor zover mogelijk geïntegreerd. Deze hebben een invloed op gesimuleerde beslissingen, maar beslissingen tot exploratie of ontwikkeling zullen ook de grootte van de onzekerheden beïnvloeden.

Hieronder wordt een eerste aanzet gegeven tot mogelijke scenario's voor het meervoudig en lange termijn gebruik van de diepe ondergrond in een koolstofarme en circulaire economie. Activiteiten in de diepe ondergrond zullen in Vlaanderen uitgevoerd worden door bedrijven waarvoor naast milieu en sociale doelstellingen, het maken van winst belangrijk is om de toepassingen te kunnen realiseren. Daarbij zullen Vlaamse en federale beleidsmaatregelen de ontwikkelingen kunnen sturen.

Om te begrijpen wat de impact van deze maatregelen is op de mogelijke ontwikkeling van de diepe ondergrond, wordt in deelrapport (D7) onderzocht (i) hoe de ondergrond zich zou kunnen ontwikkelen zonder beleid, (ii) en met beleid. Deze scenario's kunnen belangrijke inzichten leveren voor beleid, maar zijn geen voorstel voor een beleid. De verdere uitwerking van 'mogelijke beleidsvisies en de bepaling van de impacts zijn respectievelijk terug te vinden in deelrapport D4 en deelrapport D7.

4.1 NUL-ONTWIKKELINGSSCENARIO - ZONDER BELEIDSOBJECTIEF

Een nulscenario beschrijft de simulatiecontext bij afwezigheid van beleid, en mag niet verward worden met een BAU (Business As Usual) scenario, waarbij het huidige beleid en

beleidsdoelstellingen wel worden meegenomen. Een nulscenario beschrijft de economische, sociale en milieucontext, maar een sturende of corrigerende overheid is afwezig.
Belangrijk is dat de context realistisch blijft. Er zal bijvoorbeeld geen beleid verondersteld worden rond grondstoffen, maar de schaarste aan grondstoffen zal, waar deze voelbaar wordt, wel een effect hebben. Hetzelfde geldt voor interferenties tussen projecten, competitie rond het ondergronds gebruik van ruimte, enz.

Het nut van een dergelijk ontwikkelingsscenario is dat het als referentiebasis fungeert voor andere scenario's. Aangezien de enige fundamentele verschillen op scenario-niveau beleid gerelateerd zijn, kan de impact van beleid één op één ingeschat worden op basis van de resultaten van de simulaties. Een nulscenario beschrijft in essentie een ongereguleerde markt. Daarom zullen de gesimuleerde beslissingen die de prognose in dit scenario opbouwen, een afweging zijn van private kosten en baten binnen geologische randvoorwaarden.

4.2 ONTWIKKELINGSSCENARIO MET BELEIDSMAATREGELEN

Er zal onderzocht worden in welke mate verschillende beleidsvisies een impact zouden kunnen hebben op de ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen. De volgende beleidsvisies zullen daarbij onderzocht worden (zie ook deelrapport DX en DX):

1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie
2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren
3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu
4. Maximaal inzetten op zelfvoorziening
5. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond
6. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de hulpbron
7. Inzetten op exploratie

5 CONCLUSIE

Nu de gevolgen van de klimaatverandering meer en meer zichtbaar worden, beoogt Europa een transitie naar een klimaat-neutrale samenleving tegen 2050. Door de ontginning van fossiele brandstoffen is de rol die de diepe ondergrond speelt in de opwarming van de aarde onmiskenbaar. Daarentegen komt ze ook in beeld bij de doelstellingen en maatregelen die vooropgesteld worden bij de rechtvaardige transitie naar een koolstofarme en circulaire economie. Met de CRMA en NZI is dit momenteel op een meer ambitieuze manier het geval op het Europese niveau, en onder meer de lokale geologische context moet bepalen welke doelstellingen relevant of haalbaar zijn op Vlaamse schaal.

Dit rapport zet de diverse maatschappelijke uitdagingen voorop, en schetst het ondersteunende beleid en de relevante socio-economische ontwikkelingen op regionaal, nationaal en Europees niveau. Hieruit blijkt dat bijvoorbeeld circulaire economie meer aandacht heeft gekregen en verder ontwikkeld lijkt te zijn dan andere aspecten van een duurzaam portfolio, zoals de ontwikkeling van koolstofarme toepassingen in de ondergrond. Daarom is het noodzakelijk meer inzicht te scheppen in hoe de Vlaamse ondergrond zich zou kunnen ontwikkelen, wat de mogelijke geologische, economische, milieu-gerelateerde en sociale effecten zouden kunnen zijn, en welke invloed bepaalde beleidsvisies hebben op deze ontwikkelingen en de bijhorende effecten.

REFERENTIES

[1] EEA, 2023. EEA greenhouse gases – data viewer. European Environment Agency, 18/04/2023. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer

[2] Klimaat.be, 2023. De uitstoot van broeikasgassen in België. Dienst Klimaatverandering. https://klimaat.be/in-belgie/klimaat-en-uitstoot/uitstoot-van-broeikasgassen

[3] VMM, 2023. Emissies broeikasgassen. Vlaamse Milieumaatschappij, 15/03/2023. https://www.vmm.be/data/uitstoot-broeikasgassen

[4] Klimaatportaal Vlaanderen, 2023. Synthese mogelijke gevolgen. https://klimaat.vmm.be/themas/synthese-mogelijke-gevolgen-van-klimaatverandering

[5] De Ridder, K., Couderé, K., Depoorter, M., Liekens, I., Pourria, X., Steinmetz, D., Vanuytrecht, E., Verhaegen, K. & Wouters, H. Evaluation of the socio-economic impact of climate change in Belgium. Study commissioned by the National Climate Commission. Vito, 2020/RMA/R/2271, 253p. https://climat.be/doc/seclim-be-2020-finalreport.pdf

[6] Klimaat.be, 2023. De gevolgen van klimaatverandering in ons land. https://klimaat.be/in-belgie/klimaat-en-uitstoot/gevolgen

[7] Technum, 2012. Adaptatie aan klimaatverandering: globale kosten en praktische voorbeelden. Studie in opdracht van de Vlaamse overheid, Afdeling Leefmilieu, Natuur en Energiebeleid, 89p.

[8] IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844

[9] European Environment Agency, Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 – An indicator-based report, Publications Office, 2017, https://data.europa.eu/doi/10.2800/534806

[10] Klimaatportaal Vlaanderen, 2023. Synthese mogelijke gevolgen. https://klimaat.vmm.be/themas/synthese-mogelijke-gevolgen-van-klimaatverandering

[11] Provincies in cijfers, 2023. Dashboard. https://provincies.incijfers.be/dashboard/dashboard

[12] European Commission, 2023. The EU multidimensional inequality monitoring framework. https://composite-indicators.jrc.ec.europa.eu/multidimensional-inequality

[13] Eurostat, 2019. Share of population living in a dwelling not comfortably cool during summer time by income quintile and degree of urbanization. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC_HCMP03/default/table?lang=en

[14] VEKA, 2023. Vlaamse Energiebalans. Geconsulteerd op 31/05/2023. https://www.vlaanderen.be/veka/energie-en-klimaatbeleid-in-cijfers/vlaamse-energiebalans

[15] Heat Roadmap Europe, 2015. Final Heating and Cooling Demand in Belgium. https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/11/HRE4-Country_presentation-Belgium.pdf

[16] EEX, 2023. European Energy Exchange. Geconsulteerd op 31/05/2023. https://www.eex.com/en/market-data/natural-gas

[17] CREG, 2023. Maandelijkse boordtabel elektriciteit en aardgas – April 2023. 15p. https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Prices/Dashboard/boordtabel202304.pdf

[18] VREG, 2022. Warmtenetrapport - Rapport over de activiteit warmtenetten bij de VREG in 2021-2022. 22/09/2022, 35p. https://www.vreg.be/sites/default/files/document/rapp-2022-18.pdf

[19] Fluxys, 2023. https://www.fluxys.com/nl/about-us/fluxys-belgium/infrastructure

[20] FEBEG, 2023. Jaarverslag 2022: Sleutelcijfers. https://www.febeg.be/jaarverslag-2022

[21] Eerste Minister van België, 2022. Nieuwsbericht, 18 maart: Verlenging levensduur kerncentrales Doel 4 en Tihange 3. https://www.premier.be/nl/verlenging-levensduur-kerncentrales-doel-4-en-tihange-3

[22] Clemminck, I., 2021. Kleine modulaire kernreactoren. https://www.ecomodernisme.be/post/kleine-modulaire-reactoren

[23] VEKA, 2021. Warmte in Vlaanderen, rapport 2020. Vlaams Energie- & Klimaatagentschap. 87p. https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1667815448/Warmte_in_Vlaanderen_rapport_2020_fbjezr.pdf

[24] VMM, 2023. Milieudata. Vlaamse Milieumaatschappij. https://www.vmm.be/data/milieudata

[25] Statistiek Vlaanderen, 2022. Koolstofintensiteit, 18/11/2022. https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/milieu-en-natuur/koolstofintensiteit

[26] UNECE, 2021. Life cycle assessment of electricity generation options. United Nations Economic Commission for Europe, 97p. https://unece.org/sites/default/files/2021-10/LCA-2.pdf

[27] Gkousis, S., Harcouët-Menou, V., Damen, L., Welkenhuysen, K., Laenen, B. & Compernolle, T., 2022. Life cycle assessment of geothermal plants targeting the lower carboniferous limestone reservoir in northern Belgium. Journal of Cleaner Production, 376, 134142. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134142

[28] NAS (National Academy of Sciences). 1957. The Disposal of Radioactive Waste on Land. Publication 519. Washington, DC: National Academy Press.

[29] NIRAS, zd. Geologische berging. https://www.niras.be/geologische-berging

[30] IAEA (International Atomic Energy Agency) 2011. Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards, No. SSR-5, Vienna, April 2011

[31] NIRAS, 2020. Milieueffectenrapport (Strategic Environmental Assessment – SEA) voor het voorontwerp van koninklijk besluit tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval. NIROND-TR 2020-07 N. https://www.niras.be/sites/default/files/2020-05/2-SEA_NL-2020_DEF.pdf

[32] European Commission, 2023. Energy poverty in the EU. https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-consumer-rights/energy-poverty-eu_en

[33] Energy Poverty Advisory Hub, 2023. National indicators. https://energy-poverty.ec.europa.eu/observing-energy-poverty/national-indicators_en

[34] Statistiek Vlaanderen, 2023. Woningen zonder voldoende verwarming. https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/inkomen-en-armoede/woningen-zonder-voldoende-verwarming.

[35] Koning Boudewijnstichting, 2023. Barometer energiearmoede. Analyse en interpretatie van de resultaten 2021. https://media.kbs-frb.be/nl/media/10491/Barometer%20Energiearmoede%202023%20DEF

[36] Vlaamse regering, 2021. BIS-VISIENOTA AAN DE VLAAMSE REGERING. Visienota Energiearmoedeplan 2025. https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1669105223/Visienote_aan_de_Vlaamse_Regering_armoedeplan_po9avb.pdf

[37] EC, 2023a. Critical Raw Materials. European Commission, Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Geconsulteerd op 30/05/2023. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en

[38] EC, 2023b. Critical Raw Materials Act. European Commission, Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Geconsulteerd op 30/05/2023. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en

[39] Grohol, M. & Veeh, C., 2023. Study on the Critical Raw Materials for the EU, 2023, Final Report. DG GROW, European Commission. https://ec.europa.eu/docsroom/documents/54114/attachments/1/translations/en/renditions/native

[40] Sivek, M. & Jirasek, J., 2023. Coking coal – Really a critical raw material of the European Union? *Resource Policy*, 83: 103586. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103586

[41] Dusar, M., Bouckaert, J. & Verkaeren, P. (1991). The hard coal reserves of the Campine mining basin. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 113: 127-128.

[42] Piessens, K., Muchez, P., Viaene, W., Boyce, A., De Vos, W., Sintubin, M., Debacker, T., 2000. Alteration and fluid characteristiscs of a mineralised shear zone in the Lower Palaeozoic of the Anglo-Brabant belt, Belgium. Journal of Geochemical Exploration, 69-70:317-321. https://doi.org/10.1016/S0375-6742(00)00082-0

[43] Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves Dias, P., Cavalli, A., Georgitzikis, K., Grohol, M., Itul, A., Kuzov, T., Latunussa, C., Lyons, L., Malano, G., Maury, T., Prior Arce, Á., Somers, J., Telsnig, T., Veeh, C., Wittmer, D., Black, C., Pennington, D. & Christou, M., 2023. Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study. JRC Science for Policy Rport for the European

Commission, 263p. https://ec.europa.eu/docsroom/documents/54115/attachments/1/translations/en/renditions/native

[44] EPRS, 2020. Critical raw materials for the EU – Enablers of the green and digital recovery. European Parliamentary Research Service, 11p. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659426/EPRS_BRI(2020)659426_EN.pdf

[45] Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 and (EU) 2019/1020

[46] European Council of Auditors, 2023. Special report. The EU's industrial policy on batteries. New strategic impetus needed. https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-15/SR-2023-15_EN.pdf

[47] HITA, 2021. HITA ontvangt VLAIO-steun om de haalbaarheid te onderzoeken van het winnen van lithium uit een geothermische pekel. https://www.hita.be/nieuws/hita-ontvangt-vlaio-steun-om-de-haalbaarheid-te-onderzoeken-van-het-winnen-van-lithium-uit-een-geothermische-pekel/

[48] Eurostat, 2022. Coal production and consumption statistics. Geconsulteerd op 31/05/2023. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Coal_production_and_consumption_statistics

[49] Karakaya, E. and C. Nuur, Social sciences and the mining sector: Some insights into recent research trends. Resources Policy, 2018. 58: p. 257-267

[50] Prno, J., Slocombe, D., 2012. Exploring the origins of "social license to operate" in the mining sector: perspectives from governance and sustainability theories. Resour. Policy 37, 346–357.

[51] Owen, J.R., Kemp, D., 2013. Social licence and mining: a critical perspective. Resour. Policy 38, 29–35

[52]Hilson, G., 2012. Corporate Social Responsibility in the extractive industries: experiences from developing countries. Resour. Policy 37, 131–137.

[53] Stegen, S.K., 2015. Heavy rare earths, permanent magnets, and renewable energies: an imminent crisis. Energy Policy 79, 1–8.

[54] Koese, M., et al., A social life cycle assessment of vanadium redox flow and lithium-ion batteries for energy storage. Journal of Industrial Ecology, 2023. 27(1): p. 223-237

[55] Dunlap, A. and M. Riquito, Social warfare for lithium extraction? Open-pit lithium mining, counterinsurgency tactics and enforcing green extractivism in northern Portugal. Energy Research & Social Science, 2023. 95: p. 102912

[56] Pai, S., K. Harrison, and H. Zerriffi. 2020. A systematic review of the key elements of a just transition for fossil fuel workers. https://institute.smartprosperity.ca/sites/default/files/transitionforfossilfuelworkers.pdf.

[57] Europese Commissie, 2023. EU Emission trading system (EU ETS), 2023. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en#new-emissions-trading-system-for-buildings-road-transport-and-additional-sectors. Geconsulteerd op 16 juni 2023.

[58] Europese Commissie, 2023. Development of the EU ETS (2005-2023). https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020_en. Geconsulteerd op 16 juni 2023.

[59] Europese Commissie, 2023. Revision for phase 4. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/revision-phase-4-2021-2030_en. Geconsulteerd op 16/06/2023

[60] Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community (Text with EEA relevance)

[61] Vlaamse Regering, 2019. Vlaamse klimaatstrategie. https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/32555

[62] European Commission, 2023. Effort sharing 2021-2030. Targets and flexibilities. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/effort-sharing-member-states-emission-targets/effort-sharing-2021-2030-targets-and-flexibilities_en

[63] Vlaamse Regering, 2023. Ontwerp Vlaams Energie -en Klimaatplan 2021-2030. https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1683894247/Vlaams_Energie-_en_Klimaatplan_actualisatie_12_mei_2023_tpletf.pdf. Geconsulteerd op 17 juni 2023.

[64] Statistiek Vlaanderen, 2022. Broeikasgasemissies. 28/06/2022. https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/milieu-en-natuur/broeikasgasemissies

[65] Europese Commissie, 2023. Delivering the European green deal. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en#making-transport-sustainable-for-all

[66] European Commission, 2023. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology products manufacturing ecosystem (Net Zero Industry Act). https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en#making-transport-sustainable-for-all

[67] European Commission, 2020. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301

[68] Europese Commissie, 2022. Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Europese Raad, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's "REPowerEU-plan".

[69] Europese Commissie, 2021. Voorstel voor een RICHTLIJN VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD betreffende gemeenschappelijke regels voor de interne markten voor hernieuwbare gassen, aardgas en waterstof. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2f4f56d6-5d9d-11ec-9c6c-01aa75ed71a1.0021.01/DOC_1&format=PDF

[70] European Commission, 2023. Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social Committee and the committee of the regions. On the revision of the strategic energy technology (SET) plan. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2023-10/com_2023_634_1_en_act_part1.pdf

[71] IWG Deep geothermal, 2020. Implementation Plan. Revision 1 of the Implementation Plan endorsed on 24 January 2018 by the SET-Plan Steering Group. https://setis.ec.europa.eu/system/files/2021-04/Implementation%20plan%20on%20deep%20geothermal%20energy.pdf

[72] Vlaamse regering, 2021. BIS-VISIENOTA AAN DE VLAAMSE REGERING. Visienota Energiearmoedeplan 2025. https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1669105223/Visienote_aan_de_Vlaamse_Regering_armoedeplan_po9avb.pdf

[73] Vlaamse overheid, 2009. Decreet van 8 mei 2009 betreffende de diepe ondergrond. https://www.ejustice.just.fgov.be/wet/wet.htm

[74] Vlaamse Overheid, 2023. Ministerieel besluit van 2 maart 2023 over de organisatie van de calls voor het jaar 2023 voor de ondersteuning van nuttige groene warmte, de ondersteuning van restwarmte en energie-efficiënte stadsverwarming of -koeling

[75] NEKP. Belgisch geïntegreerd Nationaal Energie- en Klimaatplan 2021-2030. https://www.nationaalenergieklimaatplan.be/admin/storage/nekp/nekp-finaal-plan.pdf

[76] Vlaamse Regering, 2021. Ontwerp conceptnota: "visie op CCUS: koolstof afvang, hergebruik en opslag". https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1659014412/Conceptnota_-_visie_op_CCUS_-_koolstof_opvang_hergebruik_en_opslag_2021_wcj9ao.pdf

[77] Vlaamse Overheid, 2024. Decreet over het vervoer van koolstofdioxide via pijpleidingen in het Vlaamse Gewest (1). https://www.ejustice.just.fgov.be/cgi/article_body.pl?language=nl&caller=summary&pub_date=24-04-25&numac=2024003725

[78] Vlaamse Regering, 2023. Voorontwerp van decreet betreffende het vervoer van koolstofdioxide door middel van pijpleidingen in het Vlaamse gewest. Memorie van Toelichting. https://beslissingenvlaamseregering.vlaanderen.be/document-view/6425D5558A5434FEB56573F4

[79] WaterstofNet, 2020. A Flemish Hydrogen Strategy 2025-2030. https://www.waterstofnet.eu/_asset/_public/WIC/2020-12-7-Flemish-Hydrogen-Strategy_Hydrogen-Industry-Cluster.pdf

[80] FOD Economie, 2022. Belgisch federale waterstofstrategie. https://economie.fgov.be/nl/themas/energie/energietransitie/belgische-federale

[81] FOD Economie, 2022. Visie en strategie waterstof. Update oktober 2022. https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/waterstof-visie-en-strategie.pdf

[82] NIRAS, 2020. Milieueffectenrapport (Strategic Environmental Assessment – SEA) voor het voorontwerp van koninklijk besluit tot vaststelling van het goedkeuringsproces voor de nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het langetermijnbeheer van geconditioneerd hoogradioactief en/of langlevend afval en tot bepaling van de beheeroplossing op lange termijn voor dit afval. NIROND-TR 2020-07 N. https://www.niras.be/sites/default/files/2020-05/2-SEA_NL-2020_DEF.pdf

[83] International Atomic Energy Agency, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, INFCIRC/546, 24 December 1997

[84] Council Directive 2011/70/Euratom of 19 July 2011 establishing a Community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radioactive waste (OJ 02/08/2011 – L199/48).

[85] Wet van 3 juni 2014 Wet houdende wijziging van artikel 179 van de wet van 8 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980, wat de omzetting in het interne recht betreft van Richtlijn 2011/70/Euratom van de Raad van 19 juli 2011 tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval (BS 27/06/2014).

[86] Comité van het nationale programma (2015). Nationaal programma voor het beheer van verbruikte splijtstoffen en radioactief afval. Eerste editie, oktober 2015. https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/Nationaal-programma-cpnpc.pdf

[87] Wet van 8 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979 – 1980 (1) (BS 15/08/1980) – art.179

[88] The Ellen Macarthur Foundation, 2023. What is a Circular Economy? https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview

[89] Vlaanderen circulair, 2023. De circulaire economie: wat is dat? https://www.vlaanderen-circulair.be/nl/kennis/wat-is-het

[90] Europese Commissie, 2020. Een nieuw actieplan voor een circulaire economie. Voor een schoner en concurrerender Europa. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0023.02/DOC_1&format=PDF

[91] Europese Commissie, 2023. Voorstel voor een verordening van het Europees parlement en de raad tot vaststelling van een kader om een veilige en duurzame voorziening van kritieke grondstoffen te waarborgen, en tot wijziging van de Verordeningen (EU) nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 en (EU) 2019/1020. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:903d35cc-c4a2-11ed-a05c-01aa75ed71a1.0020.02/DOC_1&format=PDF

[92] Vlaamse Regering, 2019. Regeerakkoord van de Vlaamse Regering 2019-2024. https://www.vlaanderen.be/publicaties/regeerakkoord-van-de-vlaamse-regering-2019-2024

[93] Vlaamse Regering, 2016. Visie 2050. Een langetermijnstrategie voor Vlaanderen. https://www.vlaanderen.be/publicaties/visie-2050-een-langetermijnstrategie-voor-vlaanderen

[94] FOD Kanselarij van de Eerste Minister - algemene directie Externe Communicatie, 2023. Modernisering van de regelgeving inzake diepzeemijnbouw. Nieuwsbericht 9 juni 2023. https://news.belgium.be/nl/modernisering-van-de-regelgeving-inzake-diepzeemijnbouw

[95] Loorbach, D.,2007. In: Transition Management: New Mode of Governance for Sustainable Development. International Books, Utrecht.

[96] Stephens, J.C. and S. Jiusto, Assessing innovation in emerging energy technologies: Socio-technical dynamics of carbon capture and storage (CCS) and enhanced geothermal systems (EGS) in the USA. Energy Policy, 2010. 38(4): p. 2020-2031.

[97] Manjon, M.-J., A. Merino, and I. Cairns, Business as not usual: A systematic literature review of social entrepreneurship, social innovation, and energy poverty to accelerate the just energy transition. Energy Research & Social Science, 2022. 90: p. 102624

[98] Ürge-Vorsatz, D. and S. Tirado Herrero, Building synergies between climate change mitigation and energy poverty alleviation. Energy Policy, 2012. 49: p. 83-90.

[99] Beauchampet, I. and B. Walsh, Energy citizenship in the Netherlands: The complexities of public engagement in a large-scale energy transition. Energy Research & Social Science, 2021. 76: p. 102056

[100] Montgomery, A.W., P.A. Dacin, and M.T. Dacin, *Collective Social Entrepreneurship: Collaboratively Shaping Social Good.* Journal of Business Ethics, 2012. **111**(3): p. 375-388

[101] Global CCS Institute. The global status of CCS: 2017; 2017. https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/2017-Global-Status-Report.pdf [accessed 17 February 2021].

[102] van Renssen S. The hydrogen solution? Nat Clim Chang 2020;10:799–801. https://doi.org/10.1038/s41558-020-0891-0.
[103] Fajardy M, Mac DN. Can BECCS deliver sustainable and resource efficient negative emissions? Energy Environ Sci 2017;10:1389–426. https://doi.org/10.1039/C7EE00465F.
[104] Sun, X., et al., Hubs and clusters approach to unlock the development of carbon capture and storage – Case study in Spain. Applied Energy, 2021. 300: p. 117418.
[105] Port of Antwerp-Bruges. Antwerp@C. https://www.portofantwerpbruges.com/onze-haven/klimaat-en-energietransitie/antwerpc. Geraadpleegd op 28 juni 2023.
[106] Kairos@C, 2021. About. https://kairosatc.eu/. Geraadpleegd op 28 juni 2023.
[107]WaterstofNet, 2021. Waterstof in de Deltaregio. Troeven, knelpunten, uitdagingen en faciliterende rol van de Vlaams-Nederlandse Delta. https://www.waterstofnet.eu/_asset/_public/publicaties/Waterstof-in-de-Deltaregio.pdf
[108] FOD Economie, 2023. 51 p. Energietransitiefonds (ETF). https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/Overzicht-gesubsidieerde-projecten-energietransitiefonds.pdf
[109] Commission of the European Communities, 1979. European Catalogue of Geological Formations having favourable characteristics for the Disposal of Solidified High-Level and/or Long-Lived Radioactive Wastes. Volume 2 -Belgium. p111
[110] https://www.euridice.be/nl/content/esv-euridice
[111] Turcanu, C., Perko, T., Schröder, J., & Abelshausen, B. (2018). *The SCK•CEN Barometer 2018. (SCK•CEN Reports; No. BLG-1148). SCK CEN.* https://roma.sckcen.be/ws/portalfiles/portal/5557330/BLG_1148_The_SCK_CEN_Barometer_2018.pdf
[112] Turcanu, C., Hietala, M., Perko, T., & Hoti, F. (2021). *Public attitudes towards geological disposal: Results from the 2021 SCK CEN Barometer. (SCK CEN Reports; No. ER-0864). SCK CEN.* *https://researchportal.sckcen.be/files/7513051/ResearchOutput-48673813.pdf*
[113] FANC (2011) *Advies van het FANC betreffende NIRAS documenten: ontwerp van Afvalplan en bijhorende SEA*. Nota nr.010-149N. https://fanc.fgov.be/nl/system/files/advies-fanc-afvalplan-2011.pdf
[114] Butturi, M.A., et al., Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis. Applied Energy, 2019. 255: p. 113825
[115] BlueGateAntwerp, 2023. https://www.bluegateantwerp.eu/
[116] Hanke, F., R. Guyet, and M. Feenstra, Do renewable energy communities deliver energy justice? Exploring insights from 71 European cases. Energy Research & Social Science, 2021. 80: p. 102244
[117] Caramizaru, A. and Uihlein, A., Energy communities: an overview of energy and social innovation, EUR 30083 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020,ISBN 978-92-76-10713-2, doi:10.2760/180576, JRC119433.
[118] Savelli, I. and T. Morstyn, Better together: Harnessing social relationships in smart energy communities. Energy Research & Social Science, 2021. 78: p. 102125.
[119] Acheilas, I., F. Hooimeijer, and A. Ersoy, A Decision Support Tool for Implementing District Heating in Existing Cities, Focusing on Using a Geothermal Source. Energies, 2020. 13(11): p. 2750
[120] VVSG Netwerk Klimaat, 2022. #Warmtegids, Praktisch naar succesvolle toekomstgerichte projecten. https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/49041
[121] Nielsen, J.A.E., K. Stavrianakis, and Z. Morrison, Community acceptance and social impacts of carbon capture, utilization and storage projects: A systematic meta-narrative literature review. PLOS ONE, 2022. 17(8): p. e0272409



D2 Stakeholder mapping voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Deelrapport 2

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

D2 Stakeholder mapping voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Dit rapport geeft een overzicht van de stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen en hun visies over de ontwikkeling van een beleidskader voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en stakeholders, maar niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Hanne Lamberts-Van Assche – UAntwerpen | FBE
Tine Compernolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst
Anne Bergmans – UAntwerpen | FSW
Alexandra Van Cammeren – UAntwerpen | FBE & FSW

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Lamberts-Van Assche, H., Compernolle, T., Van Cammeren, A., Bergmans, A. (2025). D2. Stakeholder mapping voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond.* Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS







MANAGEMENTSAMENVATTING

Dit deelrapport beschrijft de resultaten van een stakeholder mapping voor de diepe ondergrond in Vlaanderen. Er werd gepeild naar de perceptie, visie en verwachtingen van stakeholders voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Hiervoor werden interviews uitgevoerd met 19 stakeholders, die ieder op verschillende manier worden beïnvloed door of zelf invloed hebben op de diepe ondergrond. In dit rapport wordt een nieuw spectrum van rollen opgesteld voor de stakeholders van de diepe ondergrond, dat beschrijft hoe de stakeholder de diepe ondergrond in Vlaanderen beïnvloedt (of omgekeerd). Elf rollen werden geïdentificeerd: drager, onderzoeker, beleidsmedewerker, beleidsmaker, vergunningsbehandelaar, vergunningverlener, vergunningsadviseur, vergunninghouder, gebruiker, handhaver en observator. Minstens één stakeholder per rol werd geïnterviewd. Vijf thema's werden behandeld tijdens de interviews: de activiteiten in de diepe ondergrond, de data over de diepe ondergrond, het netwerk van stakeholders, het beleid en het duurzaam beheer van de diepe ondergrond.

Wat betreft de mogelijke exploitatie van **activiteiten** in de diepe ondergrond, gaf de meerderheid van de stakeholders aan dat een multifunctioneel gebruik van de ondergrond moet gefaciliteerd worden. Bij de meest noodzakelijke activiteit(en) in de diepe ondergrond, worden diepe geothermie (11) en berging van nucleair afval (5) het vaakst genoemd. Ook de beschikbaarheid van **data** over de diepe ondergrond in Vlaanderen werd bevraagd. Hoe de toegang tot data werd ervaren, bleek soms erg verschillend voor de stakeholders. Er was één gedeelde verzuchting: de versnippering van data voor de diepe ondergrond. De data zit verspreid bij verschillende overheden (Vlaams en federaal), bij vergunninghouders (diepe geothermie, berging nucleair afval), bij onderzoekers of handhavers en observators. Er was een duidelijke vraag vanuit de stakeholders naar meer centralisatie van de data en een duidelijk(er) wettelijk kader dat aangeeft wanneer data moet gedeeld worden, en met wie. Ook het **netwerk** van de stakeholders werd in kaart gebracht. Er bestaat al een vrij uitgebreid netwerk, tussen verschillende spelers in en rond de diepe ondergrond. Er lijken echter 'clubjes' te ontstaan van stakeholders, die nauw met elkaar in contact staan en op een correcte manier met elkaar data uitwisselen, maar waardoor andere stakeholders het gevoel krijgen niet dezelfde toegang tot informatie en data te hebben. De voorgestelde oplossing hier is om een (nieuw) netwerk op te zetten waar stakeholders van de ondergrond (diep, ondiep, over verschillende activiteiten en rollen heen) op regelmatige basis worden samen gebracht. Wat betreft het (huidige) **beleid** voor de diepe ondergrond in Vlaanderen, benoemden de stakeholders verschillende uitdagingen. De versnippering van bevoegdheden tussen de Vlaamse en federale overheden is volgens hen nefast is voor een goed en duurzaam beheer van de diepe ondergrond. De wetgeving voor verschillende activiteiten is vandaag ook gespreid over verschillende decreten, mede door die versnippering aan bevoegdheden. De stakeholders zouden liever één uniform wettelijk kader zien voor alle activiteiten in de diepe ondergrond. Tot slot werden de stakeholders bevraagd over het **duurzaam beheer** van de diepe ondergrond. Voor de stakeholders betekent het duurzaam beheren van de diepe ondergrond, dat deze ook nog beschikbaar moet zijn voor toekomstige generaties. Dit houdt ook in dat de diepe ondergrond niet mag uitgeput worden, en dat er dus aandacht moet besteed worden aan het regeneratief karakter van de energiebronnen of grondstoffen die worden aangeboord in de diepe ondergrond.

Dit rapport geeft weer wat de stakeholders belangrijk vinden voor een (duurzaam) beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen, welke uitdagingen zij vandaag al ondervinden of verwachten in de toekomst en welke rol de stakeholders zien voor het beleid m.b.t. de diepe ondergrond.

INHOUDSTAFEL

1 Inleiding 6
2 Methode 6
3 Stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen 7
3.1 Drager 11
3.2 Onderzoeker 11
3.3 Beleid 12
3.3.1 Beleidsmedewerker 12
3.3.2 Beleidsmaker 14
3.4 Vergunningen 15
3.4.1 Vergunningsbehandelaar 15
3.4.2 Vergunningverlener 16
3.4.3 Vergunningsadviseur 17
3.5 Vergunninghouder 18
3.6 Gebruiker 19
3.7 Toezichthouder 20
3.7.1 Handhaver 20
3.7.2 Observator 21
4 Resultaten 23
4.1 Activiteiten in de diepe ondergrond 24
4.2 Data 31
4.3 Netwerk 35
4.4 Beleid 38
4.4.1 Drager 38
4.4.2 Onderzoeker 38
4.4.3 Beleidsmedewerker/vergunningsbehandelaar 39
4.4.4 Beleidsmaker/vergunningverlener 39
4.4.5 Vergunningsadviseur 40
4.4.6 Vergunninghouder 40
4.4.7 Gebruiker 41
4.4.8 Handhaver 41
4.4.9 Observator 41
4.5 Duurzaam beheer 43
4.5.1 Duurzaam beheer van de diepe ondergrond 43
4.5.2 Effecten 45
4.5.3 Sociale impacts 45
5 Conclusies 47
6 Reflectie door VPO (Departement Omgeving) 49
6.1 Data 49
6.2 Netwerk 50
6.3 Beleid 50
6.4 Duurzaam beheer 53
Referenties 55
Bijlagen 56
Bijlage 1 – Vragenlijst 56
6.4.1 Deel 1 – Stakeholderfiche 56
6.4.2 Deel 2 – beheer & gebruik van de diepe ondergrond 56
Bijlage 2 – Zelfrapportering rollen door stakeholders 58
Bijlage 3 – Zelfrapportering activiteiten door stakeholders 59
Bijlage 4 – Netwerk van de stakeholders 60
Bijlage 5 – Stakeholderfiches 62
Bond Beter Leefmilieu 62
FANC 63
Fluvius 64
Fluxys 65

HITA 66
Janssen Pharmaceutica 67
Koninklijke Sterrenwacht van België 68
KU Leuven 69
LAGO 70
NIRAS 71
Expert uit mijnwezen 72
Pidpa 73
Provincie Antwerpen 74
Provincie Limburg 75
SCK CEN 76
Tuinbouwcluster Koekhoven 77
VITO 78
Vlaamse Milieu Maatschappij 79

1 INLEIDING

Stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen zijn divers: ze oefenen verschillende activiteiten uit in de diepe ondergrond, zijn actief in verschillende lagen van de ondergrond (zowel diep als ondiep) waardoor ze impact hebben op elkaars activiteiten, of hebben belangen bovengronds die beïnvloed worden door mogelijke activiteit in de diepe ondergrond. Deze complexe interacties tussen de stakeholders zorgen ervoor dat het definiëren van een 'duurzaam beheer van de diepe ondergrond' niet eenvoudig is. Om te begrijpen wat een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen betekent voor de diverse stakeholders in Vlaanderen, moeten de stakeholders van de diepe ondergrond in kaart gebracht en bevraagd worden. In dit rapport worden de resultaten van een stakeholdermapping besproken, waarbij 19 stakeholders in Vlaanderen werden bevraagd. Het doel van de mapping is het bevragen en in kaart brengen van de visies van stakeholders over het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

De werkwijze die werd opgesteld voor de afname van de interviews wordt in de volgende sectie toegelicht. Nadien worden de geïdentificeerde stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen opgelijst en gegroepeerd per maatschappelijke sfeer waartoe ze behoren en volgens de rol die ze vervullen m.b.t. de diepe ondergrond. De resultaten van de interviews worden gepresenteerd per thema dat werd besproken met de stakeholders. Nadien volgt een conclusie, die de inzichten uit de stakeholdermapping tracht samen te vatten. Tot slot geeft het Vlaams Planbureau voor Omgeving (VPO), de afdeling verantwoordelijk voor deze onderzoeksopdracht die werd uitbesteed door het departement Omgeving, een reflectie over de bevindingen van de stakeholdermapping.

Disclaimer: De bevindingen in dit rapport geven de visie en perceptie van de bevraagde stakeholders weer. Hun perceptie, hoe zij zaken ervaren m.b.t. het beleid rond de diepe ondergrond in Vlaanderen, kan afwijken van de werkelijkheid. De uitvoerders van de stakeholdermapping trachten in dit rapport zo correct mogelijk weer te geven hoe de stakeholders vandaag het beleid en beheer van de diepe ondergrond ervaren, en welke elementen zij essentieel vinden voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

2 METHODE

Het doel van de stakeholdermapping is om de belangrijkste stakeholders te identificeren en bevragen over hun visie rond een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Eerst moeten deze stakeholders geïdentificeerd en in kaart gebracht worden. Een eerste lijst van te contacteren stakeholders werd opgesteld o.b.v. input van het departement Omgeving. Tijdens de interviews werd ook steeds het netwerk van iedere stakeholder in kaart gebracht. Hierbij werden af en toe nog nieuwe namen genoemd, die werden toegevoegd aan de lijst met te interviewen stakeholders indien ze meerdere keren werden vernoemd (sneeuwbaleffect).

De stakeholders werden uitgenodigd via e-mail om deel te nemen aan een interview in het kader van een stakeholdermapping voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Maximaal 2 reminders werden verstuurd naar iedere stakeholder. In totaal werden 19 interviews afgenomen. De interviews werden afgenomen via Microsoft Teams en opgenomen, om het mogelijk te maken achteraf een verslag te kunnen maken. De interviews duurden minimum 45 minuten en maximum 1 uur 45 minuten.

Het interview bestond uit twee delen. In het eerste deel werd de rol die de stakeholder vervult m.b.t. de diepe ondergrond besproken: welke belangen heeft deze stakeholder in de diepe ondergrond, welke activiteiten voert de stakeholder uit, welke geologische hulpbronnen gebruikt de stakeholder, etc. In het tweede deel van het interview werd dieper ingegaan op de visie van de stakeholder om te komen tot een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. De vragen werden gegroepeerd in vijf thema's: de activiteiten in de diepe ondergrond, de data, het netwerk van de stakeholder, de (mogelijke) rol van het beleid en tot slot het duurzaam beheer van de diepe ondergrond. De vragenlijst die tijdens ieder interview werd overlopen, is opgenomen in Bijlage 1 – Vragenlijst.

3 STAKEHOLDERS VAN DE DIEPE ONDERGROND IN VLAANDEREN

De stakeholdermapping begint met het in kaart brengen van de stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Daarvoor moet eerst de vraag beantwoord worden: wie is stakeholder? Stakeholders worden in deze mapping gedefinieerd als "*eender welke groep of individu die beïnvloed wordt door of zelf invloed heeft op de diepe ondergrond in Vlaanderen*".[1] Deze definitie doet inzien dat heel wat groepen of individuen (potentiële) stakeholder zijn van de diepe ondergrond in Vlaanderen, omwille van de activiteiten die ze zelf uitoefenen in de diepe ondergrond of omwille van de effecten die ze ondervinden als gevolg van wat er gebeurt in de diepe ondergrond.

Stakeholders kunnen gegroepeerd worden aan de hand van de 'maatschappelijke sfeer' waartoe zij behoren: het maatschappelijk middenveld, overheid (zowel federaal, regionaal, als lokaal), de markt, kennisinstellingen, media en burgers. Er werden geen stakeholders geïdentificeerd en bevraagd van deze laatste twee maatschappelijke sferen (media en burgers). Op dit moment ontbreken dus de inzichten van burgers en lokale gemeenschappen nog. Zij moeten in de toekomst nog betrokken worden, zodat ook hun perspectief kan meegenomen worden bij het opmaken van een beleidsvisie voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Figuur 1 toont de stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen die werden uitgenodigd om deel te nemen aan een interview, en groepeert hen per maatschappelijke sfeer.

Niet alle stakeholders die werden uitgenodigd, konden uiteindelijk deelnemen aan het interview. Enkele stakeholders uit de overheidssfeer namen niet deel, namelijk de Dienst Klimaatverandering (FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu), de FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, het Vlaams- Energie & Klimaatagentschap (VEKA), de Minaraad en Streekplatform Kempen. Spelers op de markt die niet geïnterviewd werden, zijn Agristo, ArcelorMittal en Port of Antwerp-Bruges. Alle kennisinstellingen die worden getoond in Figuur 1 namen deel aan het interview. Uit het maatschappelijk middenveld kon de Sociaal-Economische Raad van Vlaanderen (SERV) niet geïnterviewd worden.

[1] Deze definitie is gebaseerd op de definitie van stakeholders door de Geological Service for Europe (GSEU): *GSEU stakeholders can be defined as "any group that influences or is influenced by the subsurface."* (GSEU, 2024)



Figuur 1: Overzicht van de stakeholders die werden uitgenodigd voor een interview, per maatschappelijke sfeer.

Daarnaast zijn er nog stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen die niet werden uitgenodigd voor een interview, binnen de beperkte scope van deze opdracht, en dus niet werden getoond in Figuur 1. In de overheidssfeer zouden ook de overige provincies (Vlaams-Brabant, Oost- en West-Vlaanderen) stakeholder kunnen zijn, en op lokaal niveau zouden steden en gemeenten waar activiteiten (zouden) plaatsvinden stakeholder zijn, bv. Turnhout en Mol. Om deze steden en gemeenten te vertegenwoordigen zou ook de Vlaamse Vereniging voor Steden & Gemeenten (VVSG) als stakeholder kunnen opgenomen worden. Naast Pidpa is er nog een tweede drinkwaterbedrijf in Vlaanderen dat zou kunnen opgenomen worden als stakeholder: de Watergroep. Bij spelers op de markt zou Essenscia nog een mogelijke stakeholder zijn, de Belgische sectorfederatie van de chemische industrie en de life sciences. Bij de kennisinstellingen is KU Leuven niet de enige universiteit in Vlaanderen die onderzoek doet naar de diepe ondergrond. Ook de Universiteit Gent en de Universiteit Antwerpen[2] zouden mogelijke stakeholders zijn. Tot slot, in het maatschappelijk middenveld zijn organisaties zoals WWF of Natuurpunt ook potentiële stakeholders.

Figuur 1 categoriseert de stakeholders volgens de maatschappelijke sfeer waarin de stakeholder zich situeert, maar dit vertelt echter nog niet zoveel over hoe de stakeholder de diepe ondergrond in Vlaanderen beïnvloedt (of omgekeerd). Daarom wordt in dit rapport een spectrum van rollen opgesteld specifiek voor de diepe ondergrond, dat beschrijft hoe de stakeholder de diepe ondergrond in Vlaanderen beïnvloedt (of omgekeerd). Dit nieuwe spectrum van rollen werd ook steeds voorgelegd aan de stakeholders tijdens de interviews en de opdrachtgever, en zo verder verfijnd. Elf rollen werden uiteindelijk geïdentificeerd: drager, onderzoeker, beleidsmedewerker, beleidsmaker, vergunningsbehandelaar, vergunningverlener, vergunningsadviseur, vergunninghouder, gebruiker, handhaver en observator. Dit spectrum wordt getoond in **Fout! Ongeldige bladwijzerverwijzing.**.

De geïdentificeerde stakeholders uit Figuur 1 worden nu gegroepeerd per rol die ze vervullen t.o.v. de diepe ondergrond. De meeste stakeholders vervullen in de praktijk meerdere rollen. In dit rapport wordt de stakeholder steeds gegroepeerd en weergegeven volgens zijn primaire rol(len): de rol die de stakeholder hoofdzakelijk vervult m.b.t. de diepe ondergrond. Sommige stakeholders vervullen verschillende rollen op een evenwaardige manier en deze stakeholders zullen dan ook ingedeeld worden bij meerdere rollen. In Bijlage 1 Bijlage 2 – Zelfrapportering rollen door stakeholderswordt weergegeven welke rol(len) de stakeholder zichzelf toekende tijdens het interview.[3] Stakeholders die niet deelnamen aan een interview, worden aangeduid met een (*) in de volgende secties.

[2] De Universiteit Antwerpen is één van de uitvoerders van deze overheidsopdracht uitgeschreven door Departement Omgeving. Vandaar dat het niet gepast was om deze instelling ook op te nemen als stakeholder in Figuur 1.

[3] Deze informatie wordt enkel weergegeven voor de stakeholders die ingingen op de uitnodiging voor het interview; niet alle stakeholders in Figuur 1 werden geïnterviewd.

Tabel 1: Overzicht van de gedefinieerde rollen voor de stakeholders m.b.t. de diepe ondergrond.

Rol	Beschrijving
Drager	ervaart de gevolgen (positief of negatief) van de activiteiten in de diepe ondergrond.
Onderzoeker	doet onderzoek naar de activiteiten en/of hulpbronnen in de diepe ondergrond
Beleids…	
• medewerker	doet voorbereidend werk bij opmaak van een beleidsontwerp (bv. wetsvoorstel, decreet, …), staat in nauw contact met de beleidsmaker en heeft ook een rol in de beleidsuitvoering en -evaluatie
• maker	heeft de (politieke) bevoegdheid om beleidsvoorstellen te doen, te laten bekrachtigen en opdracht te geven om een beleidsinitiatief al dan niet te implementeren, en staat in nauw contact met de beleidsmedewerker
Vergunning(s)…	
• behandelaar	behandelt vergunningsaanvragen, beoordeelt de aanvraag volgens de wettelijke criteria en bundelt alle adviezen m.b.t. de aangevraagde vergunning. Maakt een ontwerp op voor de vergunning, dat wordt bezorgd aan de vergunningsverlener
• verlener	heeft de (politieke) bevoegdheid om al dan niet de vergunning toe te kennen en/of de gewestwaarborg[4] te verlenen aan de aanvrager. Staat hiervoor in nauw contact met de vergunningsbehandelaar
• adviseur	wordt gevraagd om advies bij de aanvraag van een vergunning en mogelijke deelname aan de gewestwaarborg zoals bepaald in het Decreet Diepe Ondergrond en VLAREM
Vergunninghouder	baat een activiteit in de diepe ondergrond uit en heeft hiervoor een vergunning nodig. Dit verwijst zowel naar vergunninghouders in opsporingsfase als winningsfase.
Gebruiker	consumeert een goed of dienst afkomstig uit de diepe ondergrond
Toezichthouder	
• Handhaver	ziet toe op de naleving van de vergunningsvoorwaarden
• Observator	Voert metingen uit m.b.t. lucht, bodem, grondwater en ondergrond in Vlaanderen en monitort op deze manier (onrechtstreeks) de gevolgen van activiteiten in de diepe ondergrond op de leefomgeving

[4] De gewestwaarborg kan verleend worden door de Vlaamse Regering aan de houder van een opsporingsvergunning voor aardwarmte , om het geologische risico te dekken. Deze waarborgregeling bestaat op dit moment enkel voor aardwarmte, niet voor andere activiteiten in de diepe ondergrond.

3.1 DRAGER

Deze rol verwijst naar stakeholders die gevolgen ervaren, zowel positief als negatief, van activiteiten die plaatsvinden in de diepe ondergrond. Die gevolgen kunnen zich zowel in de ondergrond als bovengronds manifesteren. De meerderheid van de bevraagde stakeholders ziet zichzelf ook als drager, omdat ze steeds rekening moeten houden met de (effecten van) andere activiteiten die plaatsvinden in de diepe ondergrond. Er zijn vier stakeholders met drager als primaire rol: **Bond Beter Leefmilieu, pidpa, Fluvius** en **Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)**.

Bond Beter Leefmilieu is een koepelorganisatie voor Vlaamse milieu- en natuurverenigingen, burgers, overheden, en ondernemingen, en vertegenwoordigt zo in dit project de stem van verschillende groepen die mogelijk effecten kunnen ondervinden van het gebruik van de diepe ondergrond. Bond Beter Leefmilieu vertegenwoordigde in de interviews ook als enige het maatschappelijk middenveld (Figuur 1). Daarnaast heeft pidpa ook hoofdzakelijk een drager-rol m.b.t. de diepe ondergrond. De activiteiten van pidpa als waterketenbedrijf bevinden zich vooral in de ondiepe ondergrond. Ze ondervinden echter wel de gevolgen van activiteiten die (zouden kunnen) plaatsvinden in de diepe ondergrond. Fluvius heeft heel wat belangrijke en risicovolle leidingen in de ondiepe ondergrond of bovengrond. Als activiteiten in de diepe ondergrond worden gepland, moet dus met mogelijke trillingen etc. rekening gehouden worden. De VMM, tot slot, heeft als missie het waarborgen van proper en voldoende water voor huidige en toekomstige generaties. Activiteiten in de diepe ondergrond die dus mogelijk een impact zouden hebben op de grondwatervoorziening uit de ondiepe ondergrond, worden daarom ook opgevolgd door de VMM. VMM heeft zelf geen activiteiten in de diepe ondergrond, maar moet dus wel rekening houden met de effecten van mogelijke activiteiten in de diepe ondergrond en is bijgevolg ook drager.

3.2 ONDERZOEKER

De onderzoekersrol verwijst naar ieder(e) individu of organisatie die activiteiten in de diepe ondergrond of de geologische hulpbronnen in de diepe ondergrond meet en analyseert. Binnen deze rol worden ook de experts opgenomen, die heel wat kennis over (activiteiten) in de diepe ondergrond hebben opgebouwd, en deze gebruiken om anderen te ondersteunen bij bv. de ontwikkeling van activiteiten in de diepe ondergrond. Opnieuw identificeren vele stakeholders zich met deze rol, naast andere rollen die ze vervullen. De stakeholders waarbij onderzoek voeren m.b.t. de diepe ondergrond de hoofdactiviteit is, zijn **KU Leuven**, **VPO (Departement Omgeving), VITO**, **SCK-CEN**, **NIRAS** en **een expert uit het mijnwezen**.

KU Leuven, één van de universiteiten die onderzoek uitvoert in en over de diepe ondergrond, heeft een onderzoeksgroep ‘Geologie’ (Faculteit Wetenschappen) die onderzoek doet zowel in Vlaanderen als Wallonië. Tijdens het interview werd benadrukt dat KU Leuven niet enkel een onderzoeks-, maar ook onderwijsinstelling is. Het opleiden van geologen maakt dat de KU Leuven niet enkel een onderzoekersrol heeft, maar ook (voornamelijk) een onderwijzende rol. Vanuit deze onderwijzende rol is de KU Leuven ook een stakeholder voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen: bij het opleiden van (toekomstige) geologen speelt de KU Leuven een belangrijke rol in het overbrengen van begrippen en concepten. Zo bepalen ze in zekere zin mee hoe geologen kijken naar het beheer van de diepe ondergrond en welke evaluatiecriteria zij gebruiken.

Het Vlaams Planbureau voor Omgeving (VPO) is de onderzoeksafdeling van het Departement Omgeving. VPO is o.a. verantwoordelijk voor het aansturen, het opvolgen en zelf uitvoeren van onderzoek rond de diepe ondergrond en het beheren van het dataplatform DOV.

VITO (Vlaams instituut voor technologische ontwikkeling) is sinds 2000 uitvoerder van de langlopende VLAKO-referentietaak voor de Vlaamse Overheid, waarin de (diepe) ondergrond tot 5-6 km diepte in kaart wordt gebracht o.a. via geologische 3D modellering. VITO voert ook onderzoek uit naar toepassingen in de ondergrond zoals gasopslag, geothermie, grondwater… VITO is niet alleen onderzoeker, maar ook reeds zelf vergunninghouder voor de opsporing van een geothermische installatie (zie Vergunninghouder).

Het SCK CEN (Studiecentrum voor Kernenergie, Centre d'étude de l'énergie nucléaire) is als onderzoekscentrum bezig met onderzoek naar nucleaire toepassingen in onze samenleving. Eén van die mogelijke toepassingen is de opslag van nucleair afval in de (diepe) ondergrond. NIRAS (Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen) is een openbare instelling en is verantwoordelijk voor het veilig beheer van het radioactief afval in België. Daarom voert NIRAS ook onderzoek naar de mogelijke berging van nucleair afval in de (on)diepe ondergrond. Het SCK CEN en NIRAS richten samen het economisch samenwerkingsverband Euridice op, dat het ondergrondse onderzoekslaboratorium HADES in Mol beheert. Dit onderzoekslaboratorium bevindt zich op 200 m diepte (ondiepe ondergrond) en kadert binnen het onderzoek naar de geologische berging van nucleair afval door het NIRAS.

Tot slot werd ook een individuele expert bevraagd, met ervaring bij het mijnwezen, de voormalige Vlaamse Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE), het Vlaams Kenniscentrum voor de Ondergrond (VLAKO) en van de Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV). Vandaag is deze expert nog betrokken bij onderzoek rond de mogelijkheden van diepe geothermie in het Massief van Brabant.

3.3 BELEID

Het beleid voor de diepe ondergrond in Vlaanderen bepaalt de grenzen waarbinnen de diepe ondergrond mag en kan gebruikt worden. Binnen de krijtlijnen, bepaald (of nog te bepalen) door het beleid, kunnen vergunningen afgeleverd worden om bepaalde activiteiten in de diepe ondergrond uit te oefenen. Daarnaast bepaalt het beleid ook welke doelstellingen prioritair zijn, schat zij in welke toepassingen kunnen bijdragen aan het behalen van die doelstellingen en kan zij dan ook beslissen om steun te geven aan bepaalde toepassingen.

Bij het vorm geven aan het beleid kan een onderscheid gemaakt worden tussen de administratieve en politieke rol. De beleidsmedewerker heeft een administratieve rol, en de beleidsmaker verwijst in dit rapport steeds naar de politieke rollen. Beide rollen worden nu apart besproken.

3.3.1 Beleidsmedewerker

De beleidsmedewerker stelt een ontwerp op voor een beleidsinstrument zoals een wet (federaal) of decreet (Vlaams), al dan niet op vraag van de beleidsmaker, dat vervolgens moet goedgekeurd worden door de beleidsmaker. Er is daarbij intensief contact tussen de beleidsmedewerker (administratieve rol) en de beleidsmaker (politieke rol) om tot een goedgekeurd beleidsinstrument te komen. Van de beleidsmedewerkers wordt verwacht dat ze relevante informatie verzamelen en verwerken om wetenschappelijk onderbouwde beleidsvoorstellen te kunnen doen met betrekking tot de diepe ondergrond. Zo dragen ze bij aan een verantwoorde visie en een efficiënt instrumentarium. Daarbij betrekken ze relevante actoren om beleidsaspecten af te toetsen, behoeften te capteren, beleid bij te sturen en het draagvlak te verhogen. Ze doen daarnaast ook aan beleidsmonitoring en –evaluatie om ervoor te zorgen dat de juiste indicatoren op een kwaliteitsvolle

wijze worden opgevolgd. De beleidsmedewerkers vervullen dus in zekere zin de rol van studiedienst en administratie voor de beleidsmakers.

Vijf beleidsmedewerkers voor de diepe ondergrond in Vlaanderen worden in dit rapport geïdentificeerd, op verschillende bestuursniveaus (federaal en regionaal): **departement Omgeving**, **VEKA (*), FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (*), de Dienst Klimaatverandering (FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu) (*)** en **FANC**. Ieder van deze stakeholders is betrokken bij een ander aspect van het beleid voor de diepe ondergrond. Het beleid voor de verschillende activiteiten in de diepe ondergrond is versnipperd over regionale en federale bevoegdheden. Zo wordt het wettelijk kader voor diepe geothermie, winning van koolwaterstoffen en geologische opslag van CO_2 gereguleerd op Vlaams niveau, terwijl dit voor de opslag van aardgas en de berging van nucleair afval op federaal niveau zit.

Het departement Omgeving (Vlaams bestuursniveau) staat in voor de ontwikkeling van een geïntegreerd omgevingsbeleid (ruimte, leefmilieu, natuur, grondstoffen en energie-aspecten). Daarbij hoort ook de ontwikkeling van een beleid voor de diepe ondergrond. Het Decreet Diepe Ondergrond, dat o.a. beschrijft hoe de vergunningsprocedure loopt voor het opsporen en winnen van aardwarmte en koolwaterstoffen, en de geologische opslag van CO_2, werd voorbereid door het departement Omgeving. De opmaak van een structuurvisie voor de diepe ondergrond, met als doel te komen tot een planmatig en duurzaam beheer van de diepe ondergrond, wordt eveneens voorbereid door het departement Omgeving.

Het VEKA (Vlaams) (*) is een verzelfstandigd agentschap binnen het beleidsdomein Omgeving (waar ook het departement Omgeving onder valt) dat uitvoering geeft aan een duurzaam energie- en klimaatbeleid. In de missie van het VEKA kan men lezen dat zij instaan voor het “voorbereiden, stimuleren, coördineren, uitvoeren, opvolgen en evalueren van beleidsinitiatieven op het vlak van energie en broeikasgasemissies die bijdragen aan de omslag naar een klimaatneutrale en duurzame samenleving in Vlaanderen”.[5] Dit betekent concreet dat VEKA rechtstreeks mee vorm geeft aan het beleid dat bepaalt welke energiebronnen in Vlaanderen al dan niet steun ontvangen.

De FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie (federaal) (*), vanaf nu kortweg FOD Economie, is de bevoegde administratie voor het opstellen van een wettelijk kader voor de vergunningsvoorwaarden voor de opslag van aardgas.

De Dienst Klimaatverandering (*) binnen de FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu (federaal), moet een constructieve rol opnemen binnen het federale beleid om de verplichtingen uit het Parijs-akkoord na te komen en zo klimaatverandering tegen te gaan. Op deze manier kan deze Dienst een belangrijke rol spelen in het uitstippelen van het klimaatbeleid en kan ze dus mee bepalen welke toepassingen in de diepe ondergrond meer of minder ondersteund worden vanop federaal niveau.

Het FANC (Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle) (federaal) heeft als taak de bevolking en het leefmilieu te beschermen tegen de gevolgen en risico’s van ioniserende straling. Het FANC vervult die taak o.a. door het opstellen van een wettelijk kader voor het verlenen van een vergunning voor de berging van nucleair afval.

[5] Te lezen op de website van VEKA (VEKA, 2024).

3.3.2 Beleidsmaker

De beleidsmaker bepaalt het beleid dat van toepassing is op activiteiten en natuurlijke rijkdommen in de diepe ondergrond. Ze krijgen daarbij input van de beleidsmedewerkers en werken samen met hen aan het definitieve ontwerp van wetten (federaal), decreten (Vlaams), of andere beleidsinstrumenten. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen beleid dat rechtstreeks van toepassing is op de activiteiten in de diepe ondergrond zelf, en het beleid dat onrechtstreeks een invloed heeft op activiteiten in de diepe ondergrond zoals beleid over ruimtelijke planning (bovengronds) of beleid voor activiteiten in de ondiepe ondergrond.

Beleidsmakers die het beleid vormgeven dat rechtstreeks van toepassing is op de activiteiten in de diepe ondergrond zelf zijn de **Vlaamse regering** (in het bijzonder de **minister bevoegd voor natuurlijke rijkdommen**) (*), de **federale regering** (in het bijzonder de **ministers van Economie, Energie en Binnenlandse Zaken**) (*). De verdeling van bevoegdheden is bepaald in de Bijzondere Wet tot Hervorming der Instellingen (BWHI) van 1980. Daarin wordt bepaald dat de gewesten (en dus de Vlaamse regering) bevoegd zijn voor onder meer volgende aspecten, die relevant zijn voor de diepe ondergrond: (1) de bescherming van bodem, ondergrond, water en lucht tegen verontreiniging en aantasting, wat leefmilieu betreft, (2) alle gewestelijke energieaspecten (bv. warmtenetten, hernieuwbare energie, warmteopslag, koolwaterstoffen,…), wat energiebeleid betreft, en (3) de natuurlijke rijkdommen, wat economie betreft. Vertaald naar de diepe ondergrond, betekent dit dat de Vlaamse Regering onder andere (maar niet uitsluitend) bevoegd is voor het opsporen en winnen van koolwaterstoffen, geologische opslag van CO_2 en het opsporen en winnen van aardwarmte. Deze activiteiten zijn vandaag al opgenomen in het Decreet Diepe Ondergrond. Een ondergrondse mijn voor ertsen, hetzij in de ondiepe, hetzij in de diepe ondergrond zou ook onder Vlaamse bevoegdheid vallen, maar komt tot op heden in Vlaanderen niet voor. Mocht het ooit zover komen, zal hiervoor specifieke wetgeving moeten worden ontwikkeld. De politieke beslissingsbevoegdheid ligt hiervoor bij de minister bevoegd voor de natuurlijke rijkdommen (d.i. vandaag de minister van Omgeving). De federale regering is bevoegd voor aangelegenheden die een gelijke behandeling op nationaal vlak vragen, omwille van hun technische en economische ondeelbaarheid. Dit betekent dat de federale regering bevoegd is voor (1) de bescherming tegen ioniserende straling, inclusief radioactief afval, wat leefmilieu betreft, en (2) de kernbrandstofcyclus en de grote infrastructuren voor de opslag van brandbare gassen, wat energiebeleid betreft. Dit betekent dat de federale regering in de diepe ondergrond bevoegd is voor het beleid rond de opslag van aardgas en de berging van nucleair afval. Voor de eerste zijn zowel de ministers van Economie als Energie bevoegd, en voor de laatste is de minister van Binnenlandse Zaken diegene met politieke beslissingsbevoegdheid.

Beleidsmakers die wegen op het beleid dat onrechtstreeks een invloed heeft op activiteiten in de diepe ondergrond zoals ruimtelijke planning of klimaat- en energiebeleid, zijn de **provincies** (enkel Provincie Antwerpen en Provincie Limburg werden bevraagd), de **Vlaamse regering** (de **minister van Omgeving** en de **minister van Energie**) (*) en de **federale regering** (in het bijzonder de **minister van Klimaat, Leefmilieu, Duurzame Ontwikkeling en Green Deal**) (*). De Provincie Antwerpen en Provincie Limburg werden beide bevraagd omwille van de activiteiten die momenteel al in de diepe ondergrond plaatsvinden in deze provincies, en de mogelijke activiteit in de diepe ondergrond in de toekomst. Relevante bevoegdheden van de provincie m.b.t. de diepe ondergrond zijn het beleid rond ruimtelijke planning (op provinciaal niveau) en water. Op Vlaams niveau heeft de minister van Energie de politieke beslissingsbevoegdheid m.b.t. het (Vlaamse) steunbeleid voor energiebronnen. De minister van Klimaat, Leefmilieu, Duurzame Ontwikkeling en Green Deal heeft op federaal niveau de politieke beslissingsbevoegdheid voor het beleid dat moet helpen klimaatverandering tegen te

gaan. Op deze manier kan deze minister ook bepalen welke toepassingen in de diepe ondergrond al dan niet (federale) steun zouden krijgen.

Tabel 2 geeft een overzicht van de genoemde beleidsmedewerkers en beleidsmakers, zowel op Vlaams als federaal niveau, voor de verschillende mogelijke toepassingen in de diepe ondergrond.

Tabel 2: Beleidsmedewerkers en beleidsmaker op provinciaal, Vlaams en federaal niveau, per type activiteit in de diepe ondergrond. Een (*) geeft aan dat deze instantie niet werd geïnterviewd in deze stakeholder mapping.

	Beleidsmedewerker (= administratieve rol)	Beleidsmaker (= politieke rol)
Aardwarmte, winning KWS, opslag van CO_2,… (activiteiten onder Vlaamse bevoegdheid)	Departement Omgeving	Vlaamse regering (minister van natuurlijke rijkdommen) (*)
Opslag van aardgas (of waterstof)	FOD Economie (*)	Federale regering (minister van Economie, minister van Energie) (*)
Berging van nucleair afval	FANC	Federale regering (minister van Binnenlandse Zaken) (*)
Omgevingsaspecten[6]	Departement Omgeving	Vlaamse regering (minister van Omgeving) Provincie (Antwerpen, Limburg, Oost-Vlaanderen (*), Vlaams-Brabant (*), West-Vlaanderen (*))
Energie- of klimaatbeleid	Dienst Klimaatverandering (FOD Volksgezondheid, Veiligheid van de Voedselketen en Leefmilieu) (*) VEKA (*)	Federale regering (minister van Klimaat, Leefmilieu, Duurzame Ontwikkeling en Green Deal) (*) Vlaamse regering (minister van Energie) (*)

3.4 VERGUNNINGEN

Terwijl het beleid de krijtlijnen uitzet voor het beheer en gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen, worden de concrete projecten in de diepe ondergrond geregeld met vergunningen. Wanneer een vergunning voor een bepaalde activiteit in de diepe ondergrond wordt aangevraagd, zijn er 3 types rollen die hiermee aan de slag gaan: de vergunningsbeoordelaar, de vergunningsadviseur en de vergunningverlener.

3.4.1 Vergunningsbehandelaar

De vergunningsbehandelaar controleert en behandelt de aanvraag (volledigheidsscreening, toetsing van vergunningscriteria en inhoudelijke onderbouwing,…) en stelt een ontwerp van vergunning op, waarbij de nodige randvoorwaarden worden gedefinieerd.

[6] Het gaat hier enkel om de omgevingsaspecten waarvoor de provincie bevoegd is en die relevant zijn voor de diepe ondergrond. Het departement Omgeving is ook bevoegd voor tal van omgevingsaspecten (bv. Milieueffectrapportage (MER), Omgevingsrapportage of VLAREM), maar deze zijn minder relevant in de context van deze studie.

Afhankelijk van de toepassingen in de diepe ondergrond waarvoor een vergunning wordt aangevraagd, is één van volgende vier stakeholders de vergunningsbehandelaar: **departement Omgeving**, **FANC**, en **FOD Economie** (*).
Naast haar rol als beleidsmedewerker, staat het departement Omgeving in voor het behandelen van vergunningsaanvragen voor de activiteiten in de diepe ondergrond die onder Vlaamse bevoegdheid vallen (zie Beleidsmaker), zoals het opsporen en winnen van aardwarmte, de geologische opslag van CO_2 of koolwaterstoffen, conform het decreet diepe ondergrond en zoals het uitvoeren van diepe boringen waarvoor een omgevingsvergunning nodig is, conform VLAREM. Het departement Omgeving beoordeelt de aangevraagde vergunning naar volledigheid en evalueert of alle wettelijk bepaalde vergunningscriteria voldaan zijn.

Het FANC staat in voor de bescherming van bevolking en leefmilieu tegen de mogelijke risico's en gevolgen van ioniserende straling. Binnen dit kader is het de bevoegdheid van FANC om vergunning af te leveren voor nucleaire installaties[7]. Het FANC is ook de enige federale overheid die bevoegd is voor het opstellen van vergunningen voor het vervoer van radioactieve stoffen[8]. De mogelijke vergunning voor de berging van nucleair afval in de toekomst, die vandaag onderzocht wordt door NIRAS en SCK CEN, zal dus ook behandeld worden door het FANC. Tijdens het vervullen van deze rol moet het FANC rapporteren aan het ministerie van Binnenlandse zaken, en valt ze onder de bevoegdheid van de minister van Binnenlandse zaken.

De FOD Economie is de bevoegde overheidsdienst voor het behandelen van de vergunningen voor opslag van aardgas en waterstof.

3.4.2 Vergunningverlener

De vergunningverlener heeft de politieke beslissingsbevoegdheid om al dan niet de vergunning af te leveren die nodig is voor het uitvoeren van bepaalde activiteiten in de diepe ondergrond. Er kan hier een onderscheid gemaakt worden tussen de vergunning voor de activiteit zelf in de diepe ondergrond en de vergunning voor de omgevingsaspecten (bovengronds). Beide vergunningen zijn nodig om de activiteit te mogen uitoefenen in de diepe ondergrond. Op deze manier worden de verschillende belangen, economische belangen en omgevingsbelangen, onafhankelijk van elkaar gewaarborgd. De partij verantwoordelijk voor het verlenen van de 'activiteit-vergunning' kan niet oordelen over het verlenen van de omgevingsvergunning, en vice versa.

De Vlaamse regering en federale regering zijn vergunningverleners voor de activiteit zelf, ieder voor andere activiteiten in de diepe ondergrond. De **Vlaamse regering** (in het bijzonder de **minister bevoegd voor natuurlijke rijkdommen**) (*) heeft de bevoegdheid om vergunning te verlenen voor het opsporen en winnen van koolwaterstoffen, geologische opslag van CO_2 en het opsporen en winnen van aardwarmte, en de **federale regering** voor de opslag van aardgas (in het bijzonder de **minister van Economie**) (*) en de berging van nucleair afval (in het bijzonder de **minister van Binnenlandse Zaken**) (*).

Een vergunning voor het opsporen en winnen van koolwaterstoffen, geologische opslag van CO_2 en het opsporen en winnen van aardwarmte wordt verleend door de Vlaamse Regering in een "Besluit van de Vlaamse Regering", en de Vlaamse minister bevoegd voor de natuurlijke rijkdommen (d.i. momenteel de minister van Omgeving), is belast met de uitvoering van dit besluit.

[7] Artikel 16 in de Wet van 15 april 1994 betreffende de bescherming van de bevolking en van het leefmilieu tegen de uit ioniserende stralingen voortspruitende gevaren en betreffende het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle. (Federale regering, 1994)
[8] Te lezen op de website van FANC (FANC, 2024)

Een vergunning voor de opslag van aardgas wordt toegekend door de federale regering in een Koninklijk Besluit, en de minister van Economie (*) is belast met de uitvoering van dit besluit. Voor de berging van nucleair afval zou de minister van Binnenlandse Zaken (*) belast zijn met de uitvoering van het besluit.

De provincies Antwerpen en Limburg zijn bevoegd om vergunningen af te leveren i.v.m. de omgevingsaspecten, zoals het verlenen van een vergunning voor de eventuele bovengrondse infrastructuur, nodig bij sommige activiteiten in de diepe ondergrond (Dienst Omgevingsvergunningen).

3.4.3 Vergunningsadviseur

De vergunningsadviseur verwijst naar de instanties wiens advies moet ingewonnen worden tijdens de vergunningsprocedure, en naar de stakeholders naar wie toe een meldingsplicht heerst bij de aanvraag van een vergunning voor een nieuwe activiteit binnen een bepaalde omtrek van een reeds bestaande activiteit.

Binnen de bevraagde stakeholdergroep zijn volgende stakeholders vergunningsadviseurs: **Provincie Antwerpen**, **Provincie Limburg**, **pidpa** en **Fluxys**.

De Provincies Antwerpen en Limburg worden om advies gevraagd bij de aanvraag voor een vergunning voor een bepaalde activiteit in de diepe ondergrond, in hun provincie.

Rond waterwingebieden zijn er steeds drie beschermingszones: type I, II en III, waarbij type I het dichtste bij de waterwinningszone zelf ligt. Hoe dichter bij de waterwinningszone, hoe strenger de reglementering. In beschermingszone type I zijn dus heel wat handelingen niet meer toegestaan, om de kwaliteit van het grondwater te waarborgen. In waterwingebieden van type I zijn enkel handelingen toegelaten die de kwaliteit van het grondwater niet verontreinigen, en op voorwaarde dat de betrokken drinkwatermaatschappij een gunstig advies verleent.[9] Dit betekent dat advies gevraagd wordt aan pidpa indien een vergunning wordt aangevraagd voor een activiteit in beschermingszone type I. Wanneer een vergunning wordt aangevraagd voor een project of activiteit in één van de beschermingszones (I, II of III), zal het college van burgemeester en schepenen van de betrokken gemeente ook steeds het dossier moeten doorsturen voor advies naar de exploitant van de grondwaterwinning (pidpa).[10] Pidpa verleent dus advies voor vergunningsplichtige activiteiten die plaatsvinden in beschermingszones I, II en III.

Tot slot zijn ook bepalingen voorzien in de vergunning die verleend werd aan Fluxys. Vanaf een diepte van -400m TAW geldt voor activiteiten binnen (1) de bepaalde stockeeromtrek dat ze verboden zijn, (2) de opsporingsomtrek dat ze ook verboden zijn, en (3) de veiligheidsomtrek dat er een meldingsplicht bestaat aan de vergunninghouder (NV Fluxys). Indien deze kan aantonen dat de geplande werken of activiteit de huidige werking van de gasopslag zouden verstoren, dan zullen de werken niet toegelaten worden of kan de activiteit stilgelegd worden. Deze bepalingen worden beschreven in het Koninklijk Besluit van 2006[11], dat een vergunning verleent voor het opsporen en exploiteren van een ondergrondse bergruimte voor het opslaan van gas aan NV Fluxys, en het

[9] Zoals vastgelegd in Artikel 2 van het Besluit van de Vlaamse Regering van 27 maart 1985 houdende reglementering van de handelingen binnen de watergebieden en de Beschermingszones. (Vlaamse Regering, 1985)

[10] Zoals vastgelegd in Artikel 6 van het Besluit van de Vlaamse Regering van 27 maart 1985 houdende reglementering van de handelingen binnen de watergebieden en de Beschermingszones. (Vlaamse Regering, 1985)

[11] Koninklijk Besluit van 28 september 2006 waarbij aan de NV Fluxys, Kunstlaan 31, 1040 Brussel, een verlenging van de vergunningen verleend wordt voor het opsporen en exploiteren van een ondergrondse bergruimte in situ bestemd voor het opslaan van gas, in de streek van Loenhout . (Federale regering, 2006)

Koninklijk Besluit van 2013[12], dat het Koninklijk Besluit van 2006 wijzigde en de voorwaarden voor derden verder verstrengde.

Op deze manier worden de drie lagen (bovengronds – ondiepe ondergrond – diepe ondergrond) om advies gevraagd bij vergunningsaanvragen voor activiteiten in de diepe ondergrond.

3.5 VERGUNNINGHOUDER

De vergunninghouder heeft een vergunning om bepaalde activiteiten uit te oefenen binnen een afgebakend volumegebied in de diepe ondergrond en voor een bepaalde duur. Dit kan zowel gaan om de opsporing als winning van grondstoffen, energie of opslag. Bij heel wat bevraagde stakeholders is dit (één van) de primaire rol(len), of zal dit in de toekomst hun primaire rol worden: **Fluxys**, **Janssen Pharmaceutica**, **VITO**, **NIRAS, SCK CEN**, **LAGO, Tuinbouwcluster Koekhoven, HITA**, **Agristo (*)** en **ArcelorMittal (*)**. Fluxys, VITO, Janssen Pharmaceutica en Agristo zijn vandaag al vergunninghouder, terwijl LAGO, de Tuinbouwcluster Koekhoeven, ArcelorMittal en NIRAS in de toekomst mogelijk deze rol op zich zouden nemen. HITA heeft als projectontwikkelaar voornamelijk een voorbereidende rol voor mogelijke toekomstige uitbaters van de activiteit, maar maken ook deel uit van de vennootschappen waaraan de vergunning verleend zou worden.

Fluxys, energie-infrastructuurgroep actief in o.a. België, beheert en exploiteert vandaag de gasopslagsite in Loenhout. Hiervoor werd in 1983 (en verlengd in 2006 en later nog gewijzigd in 2008 en 2013), via een Koninklijk Besluit, een vergunning verleend aan Fluxys voor het opsporen en exploiteren van een ondergrondse bergruimte voor het opslaan van gas, in de streek van Loenhout.

VITO is een onderzoeksorganisatie, gespecialiseerd in cleantech en duurzame ontwikkeling. Daarbij doet VITO ook onderzoek naar de ontwikkeling van geothermische energiesystemen, en beheert ze zelf ook een geothermieproject in Mol. In 2018 werd een opsporingsvergunning verleend aan VITO voor aardwarmte in de regio Mol-Dessel, door de Vlaamse Regering.[13] Ook deze opsporingsvergunning werd in 2023 verlengd tot 2028.[14]

Janssen Pharmaceutica is actief in de farmacie en heeft een energie-intensieve site in Beerse. Om aan de eigen energiebehoefte te kunnen voldoen op een meer duurzame manier, investeerde Janssen Pharmaceutica in diepe geothermie. In 2018 werd hiervoor een opsporingsvergunning verleend door de Vlaamse Regering, voor de opsporing van aardwarmte in de regio Beerse aan Janssen Pharmaceutica nv.[15] In 2023 werd deze opsporingsvergunning verlengd met 24 maanden.[16]

Agristo (*) is een aardappelverwerkend bedrijf en producent van voorgebakken en diepvriesfrieten, met het hoofdkantoor in Wielsbeke. Sinds maart 2024 is de Agristo nv houder van een

[12] Koninklijk Besluit van 29 september 2013 tot wijziging van het koninklijk besluit van 28 september 2006, gewijzigd bij het koninklijk besluit van 29 april 2008, waarbij aan de NV Fluxys Belgium, Kunstlaan 31, 1040 Brussel, een verlenging van de vergunningen verleend wordt voor het opsporen en exploiteren van een ondergrondse bergruimte in situ bestemd voor het opslaan van gas, in de streek van Loenhout (Federale regering, 2013)

[13] Besluit van de Vlaamse Regering tot verlening van een opsporingsvergunning voor aardwarmte aan VITO nv in de regio Mol-Dessel (Vlaamse Regering, 2018b)

[14] Besluit van de Vlaamse Regering tot verlenging van de opsporingsvergunning voor aardwarmte van VITO nv in de regio Mol-Dessel (Vlaamse Regering, 2023b)

[15] Besluit van de Vlaamse Regering tot verlening van een opsporingsvergunning voor aardwarmte aan Janssen Pharmaceutica nv in de regio Beerse (Vlaamse Regering, 2018a)

[16] Besluit van de Vlaamse Regering tot verlenging van de opsporingsvergunning voor aardwarmte van Janssen Pharmaceutica nv in de regio Beerse (Vlaamse Regering, 2023a)

opsporingsvergunning voor aardwarmte in Wielsbeke. Om aardwarmte op te sporen, plant Agristo één exploratieboring tot 1800 meter diepte op de bedrijfssite.

LAGO is een keten van (subtropische) zwemparadijzen, met locaties in o.a. Kortrijk, Gent, Sint-Truiden en Brugge. In Bredene wordt een nieuw complex gebouwd, dat verwarmd zal worden via diepe aardwarmtewinning. De bouw van het nieuw zwembadcomplex is al gestart, maar de aanvraag voor het diepe geothermieproject is nog lopende. De bedoeling is dus dat LAGO op korte termijn ook vergunninghouder zal worden voor een activiteit in de diepe ondergrond, nl. diepe geothermie. LAGO benadrukt hier zelf ook zijn pioniersrol, omdat ze de eerste zal zijn (in Vlaanderen) om een *single hole* diepe geothermie project op te starten.

De tuinbouwcluster Koekhoven in Merksplas verenigt verschillende glastuinbouwbedrijven in de regio, die willen onderzoeken hoe ze op een duurzame manier aan hun warmtevraag kunnen voldoen in de toekomst. Tomeco BV en Den Berk Délice, beiden tomatentelers, zijn initiatiefnemers van de cluster. Het is de bedoeling van de cluster om in de toekomst vergunninghouder (en gebruiker) van diepe geothermie te worden.

ArcelorMittal (*) is één van de grootste staalproducenten wereldwijd en heeft verschillende grote vestigingen in België (o.a. in Gent en Luik). De productie van staal gaat ook gepaard met een hoge CO_2-uitstoot en ArcelorMittal is daarom op zoek naar technologieën om die CO_2-uitstoot te doen dalen. Eén van de mogelijke oplossingen waar ArcelorMittal onderzoek naar doet is de opslag van CO_2. Het is nog onduidelijk of ArcelorMittal zélf de opslagsite van CO_2 zou willen beheren en exploiteren. De mogelijke opslag van CO_2 in de diepe ondergrond in Vlaanderen maakt van ArcelorMittal een (toekomstige) stakeholder van het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

Het NIRAS heeft, zoals eerder besproken in 3.2 Onderzoeker, een onderzoekslaboratorium op 200 m diepte voor de berging van nucleair afval (HADES). Voor dit onderzoekslabo, in samenwerking met SCK CEN via het samenwerkingsverband EURIDICE, verleende de minister van Binnenlandse Zaken (na advies van FANC) een vergunning aan NIRAS. Indien de berging van nucleair afval zou plaatsvinden op meer dan 500 m diepte, zou NIRAS vergunninghouder worden van een activiteit in de diepe ondergrond.

HITA is een jong bedrijf, dat zich richt op de ontwikkeling van diepe geothermie. HITA is projectontwikkelaar: ze ondersteunt bedrijven bij de opstart en ontwikkeling van diepe geothermie projecten, en helpt hen bij de aanvraag van deze projecten. HITA is op deze manier betrokken bij het traject van andere stakeholders (zowel private als publieke spelers) om vergunninghouder te worden. De vergunninghouder van het project GEO@Turnhout van HITA, is de SPV (Special Purpose Vehicle) GEO@Turnhout, een vennootschap die specifiek opgericht zal worden voor dit geothermieproject en waarvan HITA zelf ook deel uitmaakt.

3.6 GEBRUIKER

De gebruiker is diegene die uiteindelijk de geologische hulpbron, afkomstig uit de diepe ondergrond, zal benutten. Bij de bevraagde stakeholders vallen de rol van gebruiker en vergunninghouder samen, met uitzondering van Fluxys, NIRAS en HITA. HITA is als projectontwikkelaar zelf niet de eindgebruiker van de geologische hulpbron, vandaar dat deze stakeholder enkel genoemd wordt als vergunninghouder. Fluxys gebruikt de beschikbare ruimte in de diepe ondergrond om gas op te slaan, en verkoopt deze mogelijkheid om gas op te slaan als dienst door aan andere spelers op de

energiemarkt. Strikt genomen is Fluxys dus niet de eindgebruiker van de gasopslag, maar zijn dit de energieleveranciers. NIRAS zou in de toekomst exploitant worden van de berging van nucleair afval in de diepe ondergrond. Naar analogie met Fluxys, kan ook voor NIRAS geargumenteerd worden dat de producenten van het nucleair afval de eigenlijke gebruiker zijn van de mogelijkheid tot opslag in de diepe ondergrond. De berging van nucleair afval kan ook als een oplossing beschouwd worden voor een maatschappelijk probleem, waarbij bijgevolg de ganse Belgische bevolking gebruiker is.

De stakeholders die (toekomstig) gebruiker zijn van de geologische hulpbronnen zijn **Janssen Pharmaceutica**, **VITO**, **LAGO, Tuinbouwcluster Koekhoven**, **Agristo (*)** en **ArcelorMittal (*)**. Zoals besproken in 3.6 Vergunninghouder, zijn VITO, Janssen Pharmaceutica en Agristo vandaag al vergunninghouder voor een activiteit in de diepe ondergrond. LAGO en de Tuinbouwcluster Koekhoven hebben de ambitie om in de toekomst vergunninghouder en gebruiker te worden. ArcelorMittal onderzoekt momenteel verschillende pistes voor het opslaan van CO_2, waarbij opslaan in de diepe ondergrond een mogelijkheid is.

VITO exploiteert een diepe geothermiecentrale en is ook gebruiker van deze warmte. Janssen Pharmaceutica beheert en exploiteert een diepe geothermiecentrale op hun site in Beerse, en is zelf ook gebruiker van de warmte afkomst van de diepe geothermie.

Agristo (*) heeft momenteel een opsporingsvergunning voor aardwarmte. Indien de exploratie succesvol is, kan Agristo in de toekomst exploitant én gebruiker worden van de aardwarmte die gewonnen wordt op zijn eigen bedrijfssite.

LAGO mikt erop om in de nabije toekomst vergunninghouder en gebruiker te worden van het *single hole* diepe geothermie project in Bredene, om het zwembad te verwarmen. De tuinbouwcluster Koekhoven heeft dezelfde ambitie om in de toekomst vergunninghouder én gebruiker te worden van diepe geothermie project(en), om de glastuinbouw in de regio van de nodige warmte te voorzien.

Voor ArcelorMittal (*), die vandaag nog geen vergunning heeft voor de opslag van CO_2 in de diepe ondergrond, is het gebruik van de opslagcapaciteit van de diepe ondergrond nog toekomstmuziek. Het is mogelijk dat ArcelorMittal zelf niet de vergunninghouder zou zijn van de opslagsite, maar wel gebruiker van de opslagcapaciteit voor het opslaan van de CO_2-emissies van zijn sites.

3.7 TOEZICHTHOUDER

Tot slot moet er ook toezicht gehouden worden op de activiteiten in de diepe ondergrond. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen toezicht dat gebeurt door een handhaver (voor een bepaalde activiteit in de diepe ondergrond, met mogelijkheid tot handhaving) en een observator (niet activiteit-specifiek).

3.7.1 Handhaver

De handhaver ziet toe op de naleving van de vergunningsvoorwaarden voor een bepaald project in die diepe ondergrond. Drie handhavers voor activiteiten die plaatsvinden in de diepe ondergrond worden hier kort besproken: **departement Omgeving**, **FOD Economie (*),** en **FANC**.

Het departement Omgeving ziet toe op naleving van de vergunningsvoorwaarden voor de activiteiten vermeld in het Decreet Diepe Ondergrond, zijnde het opsporen en winnen van

aardwarmte, de geologische opslag van CO_2 of de winning van koolwaterstoffen. De vergunninghouder staat zelf in voor de monitoring van de activiteit en moet jaarlijks rapporteren aan de minister bevoegd voor natuurlijke rijkdommen (d.i. vandaag de minister van Omgeving). Het departement controleert of de opgelegde voorwaarden worden nageleefd en ziet toe op de handhaving hiervan.

De FOD Economie ziet toe op de naleving van de vergunningsvoorwaarden voor de opslag van aardgas.

De berging van nucleair afval valt onder de bevoegdheid van FANC. Indien de berging van nucleair afval in de toekomst zou vergund worden in de diepe ondergrond, is het ook de taak van FANC om toe te zien dat de opgelegde vergunningsvoorwaarden worden nageleefd.

3.7.2 Observator

De observator meet (onrechtstreeks) de gevolgen van activiteiten in de diepe ondergrond op de leefomgeving (zoals lucht, bodem, ondergrond en grondwater). Vier stakeholders werden geïdentificeerd als observator: de **Koninklijke Sterrenwacht van België**, **VMM**, **FANC** en **OVAM (*)**.

De afdeling Seismologie en Gravimetrie van de Koninklijke Sterrenwacht van België monitort de seismische activiteit in België (en de grensgebieden). Activiteiten in de diepe ondergrond kunnen mogelijke seismische activiteit veroorzaken, en bijgevolg is de Sterrenwacht een observator van de (potentiële) gevolgen van activiteiten in de diepe ondergrond. De Sterrenwacht moet rapporteren aan het crisiscentrum van FOD Binnenlandse Zaken, die actie moeten ondernemen indien nodig.

De VMM staat in voor het meten en monitoren van de water- en luchtkwaliteit in Vlaanderen. Deze kan mogelijk beïnvloed worden door activiteiten die plaatsvinden in de diepe ondergrond, zoals gasopslag of diepe geothermie. Daarnaast moeten boorbedrijven die een boring doen in Vlaanderen, ook erkend zijn door de VMM.

De rol van FANC als handhaver werd hierboven reeds besproken. Daarnaast ziet FANC ook toe op de naleving van NORM-aspecten in vergunningen voor verschillende activiteiten in de diepe ondergrond. Dit gaat over het naleven van voorzorgmaatregelen bij het handelen met natuurlijke radioactieve materialen, bv. protocollen om filters regelmatig te vervangen.

OVAM (*), de Openbare Vlaamse Afvalstoffen Maatschappij, staat in voor het beschermen van mens en milieu tegen de schadelijke gevolgen van de productie, het gebruik en beheer van afvalstoffen en materialen, en staat ook in voor de sanering van verontreinigde bodems en de grondverzetregeling. De activiteiten in de diepe ondergrond kunnen afvalstoffen genereren en zouden de bodem kunnen verontreinigen. Tabel 3 geeft een overzicht van de handhavers en observators per activiteit in de diepe ondergrond.

Tabel 3: Handhavers en observators op Vlaams en federaal niveau, per type activiteit in de diepe ondergrond. Een (*) geeft aan dat deze instantie niet werd geïnterviewd in deze stakeholder mapping.

	Handhaver (= activiteit-specifiek)	Observator (= niet activiteit-specifiek)
Aardwarmte, winning KWS, opslag van CO_2,… (activiteiten in DDO)	Departement Omgeving	• Koninklijke Sterrenwacht van België • VMM • OVAM (*) • FANC
Opslag van aardgas (of waterstof)	FOD Economie (*)	
Berging van nucleair afval	FANC	

Tabel 4 geeft een overzicht van de toegewezen rollen aan iedere stakeholder. Uit deze tabel kan men afleiden dat de rollen beleidsmedewerker en vergunningsbehandelaar, en beleidsmaker en vergunningverlener steeds verwijzen naar dezelfde stakeholders. In het vervolg van het rapport worden de resultaten voor beleidsmedewerker en vergunningsbehandelaar dus steeds tegelijk besproken, net zoals voor de beleidsmaker en vergunningverlener.

De rollen die werden toegewezen wijken soms af van de rollen die de stakeholders zichzelf toekenden. De door de stakeholders zelf gerapporteerde rollen worden weergegeven in Bijlage 2.

Tabel 4: Overzicht van de toegewezen rollen aan de stakeholders uit Figuur 1.

	Rol	Stakeholders
	Drager	Bond Beter Leefmilieu, Fluvius, Pidpa, VMM
	Onderzoeker	Expert uit mijnwezen, KU Leuven, NIRAS, SCK-CEN, VITO, VPO (departement Omgeving)
Beleid	**Beleidsmedewerker**	Departement Omgeving, Dienst Klimaatverandering (FOD Volksgezondheid) (*), FANC, FOD Economie (*), VEKA (*)
Beleid	**Beleidsmaker**	Federale regering (*), provincies, Vlaamse regering (*)
Vergunningen	**Vergunningsbehandelaar**	Departement Omgeving, FANC, FOD Economie (*)
Vergunningen	**Vergunningverlener**	Federale regering (*), provincies, Vlaamse regering (*)
Vergunningen	**Vergunningsadviseur**	Fluxys, pidpa, Provincies (Antwerpen, Limburg)
	Vergunninghouder	Agristo (*), ArcelorMittal (*), Fluxys, HITA, Janssen Pharmaceutica, LAGO, NIRAS, SCK CEN, Tuinbouwcluster Koekhoven, VITO
	Gebruiker	Agristo (*), ArcelorMittal (*), Janssen Pharmaceutica, LAGO, Tuinbouwcluster Koekhoven, VITO
Toezichthouder	**Handhaver**	Departement Omgeving, FANC, FOD Economie (*)
Toezichthouder	**Observator**	FANC, Koninklijke Sterrenwacht van België, VMM, OVAM (*)

4 RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de interviews, uitgevoerd in het kader van de stakeholder mapping, besproken per thema. Eerst wordt besproken welke **activiteiten** worden uitgevoerd . Nadien wordt de beschikbaarheid van **data** over de diepe ondergrond in Vlaanderen besproken. Vervolgens wordt het **netwerk** van de stakeholders zo goed mogelijk in kaart gebracht. Tijdens de interviews werden de stakeholders ook gevraagd naar hun verwachtingen voor het **beleid** voor de diepe ondergrond. De bevindingen voor het beleid worden besproken per rol, zoals opgelijst in Tabel 4. Tot slot worden de inzichten van de stakeholders over een **duurzaam beheer** van de diepe ondergrond in Vlaanderen besproken.

In totaal werden 19 stakeholders geïnterviewd. Tabel 5 lijst op hoeveel stakeholders per rol werden geïnterviewd. Dit leidt tot een totaal van meer dan 19 stakeholders, omdat enkele stakeholders meerdere rollen vervullen ten opzichte van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

Tabel 5: Aantal geïnterviewde stakeholders, per rol ten opzichte van de diepe ondergrond.

Rol	Aantal geïnterviewde stakeholders
Drager	4
Onderzoeker	5
Beleidsmedewerker	1
Beleidsmaker	2
Vergunningsbehandelaar	1
Vergunningverlener	2
Vergunningsadviseur	4
Vergunninghouder	8
Gebruiker	4
Handhaver	1
Observator	3

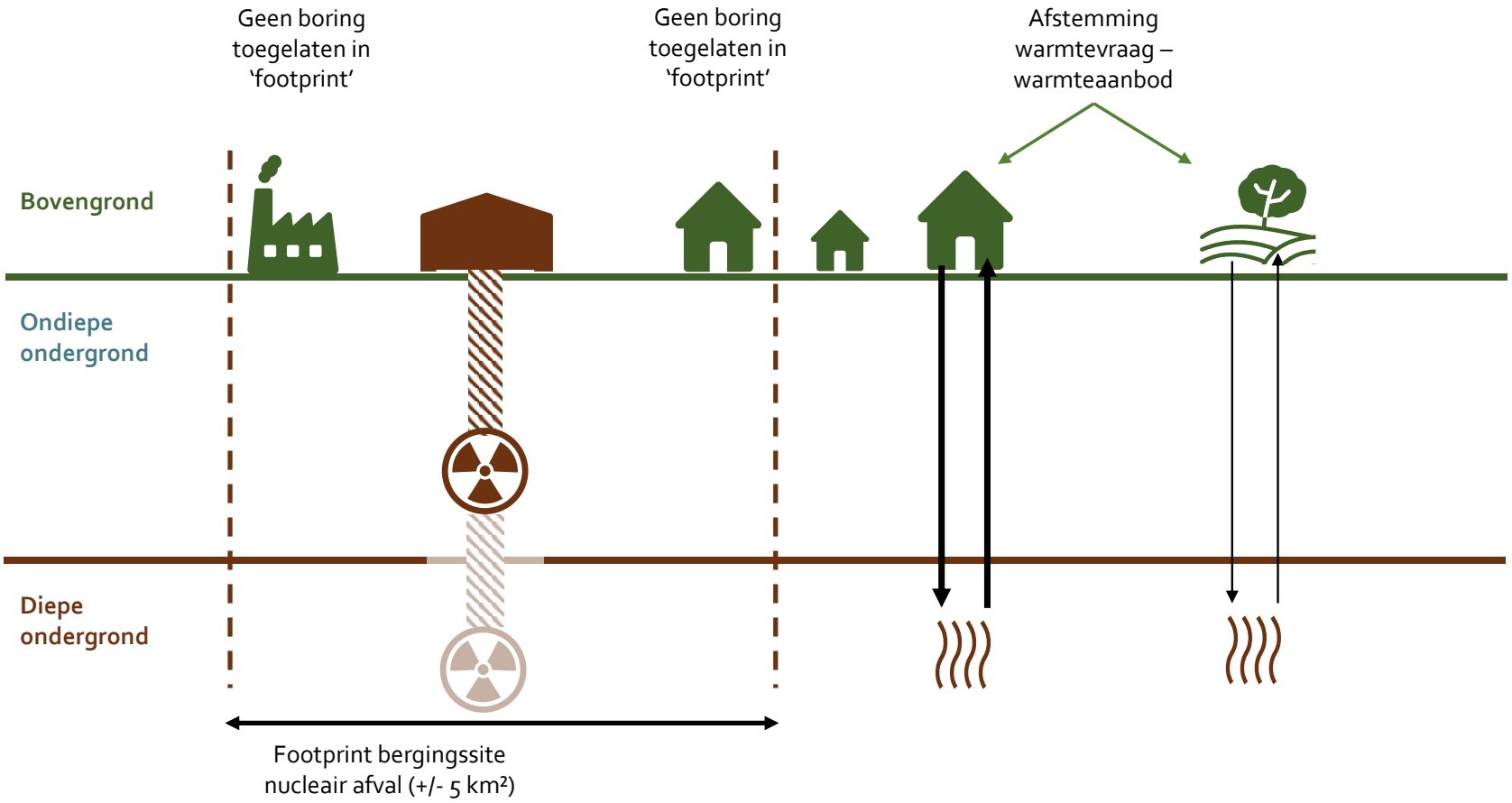
4.1 ACTIVITEITEN IN DE DIEPE ONDERGROND

Tijdens het interview werd aan iedere stakeholder gevraagd om de activiteiten in de diepe ondergrond op te lijsten waarbij ze betrokken zijn. De opgesomde activiteiten worden per stakeholder weergegeven in Bijlage 2 – Zelfrapportering activiteiten door stakeholders.

De vraag werd gesteld aan de stakeholders door welke **activiteiten** in de diepe ondergrond – geëxploiteerd door een andere stakeholder – ze beïnvloed worden. Deze vraag bleek vooral relevant te zijn voor de stakeholders in de rol van *vergunninghouder*. Zij gaven aan dat alle activiteiten – zowel reeds vergunde als potentiële activiteiten in de toekomst - in een bepaalde perimeter rond hun eigen opsporings- of winningssite een invloed kan hebben op hun werking. De stakeholders betrokken bij de (toekomstige) berging van nucleair afval uitten in het bijzonder hun bezorgdheid over de impact van andere activiteiten. Ze zullen moeten bewijzen dat de berging van nucleair afval geen negatieve impact heeft op reeds bestaande activiteiten in de buurt van de site, terwijl toekomstige ontwikkelaars in de buurt van de bergingssite op hun beurt zullen moeten bewijzen dat er geen negatieve impact is op de bergingsactiviteit. Daarnaast geven ook de *dragers*, die zelf geen activiteit in de diepe maar wel in de ondiepe ondergrond exploiteren, aan dat alle (reeds vergunde of potentiële) activiteiten in de diepe ondergrond een impact kunnen hebben op hun werking. Om een activiteit in de diepe ondergrond te exploiteren moet er namelijk altijd eerst door de lagen van de ondiepe ondergrond geboord worden. Stakeholders betrokken bij grondwaterwinning in het bijzonder, gaven aan dat quasi alle activiteiten in de diepe ondergrond in aanraking komen met hun activiteit. Bovendien overlapt het gebied met de grootste grondwatervoorraad van Vlaanderen grotendeels met het gebied dat economisch het meest interessant is om activiteiten in de diepe ondergrond te exploiteren, nl. het Kempisch Bekken, wat voor extra uitdagingen kan zorgen. Vanuit de *beleidsmakers* werd het voorbeeld gegeven van de steenkoolmijnen, die ook vandaag nog steeds een invloed hebben op het landschap en de mensen in de omgeving.

De mogelijke **interacties** tussen de activiteiten in de **diepe ondergrond**, de **ondiepe ondergrond** en de samenleving **bovengronds** werden ook in kaart gebracht. Eerst worden de interacties besproken voor twee specifieke activiteiten (diepe geothermie en de berging van nucleair afval), nadien worden de interacties tussen ondergrond en bovengrond besproken die (quasi) universeel zijn voor alle activiteiten in de ondergrond.

Voor diepe geothermie specifiek werd door verschillende stakeholders (*onderzoeker*, *vergunninghouder*, en *beleidsmaker/vergunningverlener*) benadrukt dat een goede afstemming tussen de bovengrondse behoefte (warmtevraag) en het ondergronds potentieel (het warmteaanbod) cruciaal is. Dit betekent dat diepe geothermie niet alleen moet plaatsvinden op locaties met veel potentieel in de ondergrond, maar waar ook voldoende vraag is bovengronds. De berging van nucleair afval zou zowel kunnen plaatsvinden in de ondiepe of de diepe ondergrond. Het meest waarschijnlijke scenario vandaag is dat de berging van nucleair afval niet dieper dan -500 TAW zal plaatsvinden, dus in de ondiepe ondergrond. Voor de berging van nucleair afval, of deze nu in diepe of ondiepe ondergrond zal plaatsvinden, werd een interactie met de bovengrond benoemd. In een bepaalde perimeter rond de bergingssite (de 'footprint') zouden bepaalde activiteiten niet meer mogen plaatsvinden. De footprint van de bergingssite zou enkele tientallen km² bedragen, wat een impact zou kunnen hebben op de *drager* bovengronds. Welke handelingen wel of niet meer toegelaten zouden worden in die footprint, moet nog bepaald worden. De interacties tussen (on)diepe ondergrond en bovengrond worden weergegeven voor de berging van nucleair afval en diepe geothermie in Figuur 2.



Figuur 2: Interacties tussen bovengrond en (on)diepe ondergrond, voor de berging van nucleair afval en diepe geothermie.

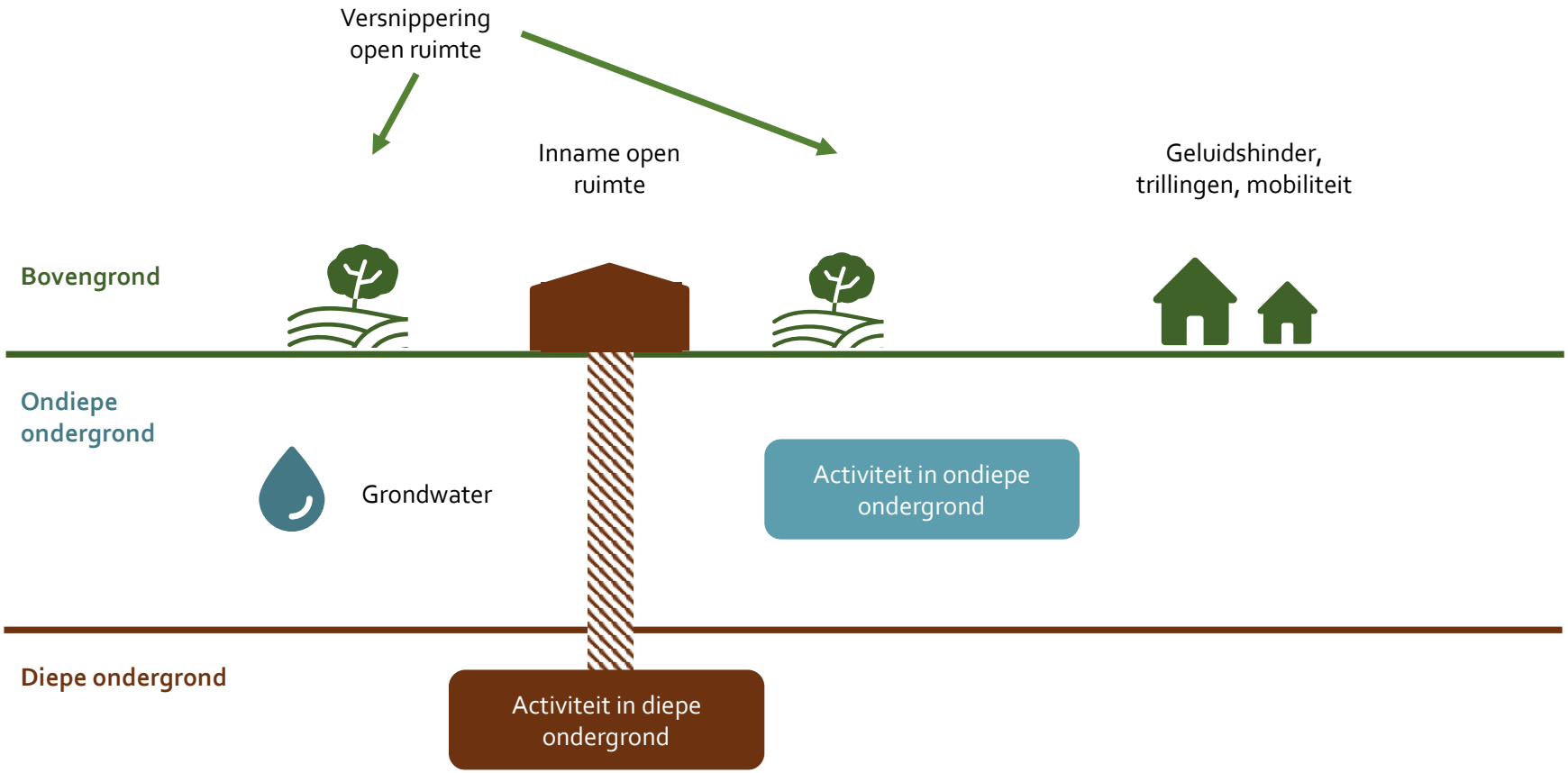
Naast deze interacties met de bovengrond voor diepe geothermie en de berging van nucleair afval specifiek, werden ook enkele interacties met de bovengrond geïdentificeerd die universeel zijn voor quasi alle activiteiten in de diepe ondergrond. Zo is er voor (quasi) iedere ontwikkeling van activiteiten in de diepe ondergrond steeds een ruimte-inname bovengronds nodig, permanent of tijdelijk. Dit zorgt ook voor een druk op de bovengrond. Tegen 2040 mag er geen bijkomende open ruimte meer ingenomen worden (bouwshift), wat wil zeggen dat de ruimte die wordt ingenomen door installaties best wordt voorzien op plaatsen waar reeds ruimtebeslag was. Bovendien moet ook rekening gehouden worden met de bestemming van de gebieden bovengronds. De bescherming van open ruimtes en het vermijden van de versnippering van de open ruimtes werd ook aangehaald als aandachtspunt door de *dragers* en *beleidsmakers/vergunningverleners*. Naast de inname van ruimte, is ook een (tijdelijke) impact op de mobiliteit rond de site mogelijk. Ook geluidshinder werd door enkele stakeholders genoemd als een mogelijk (tijdelijk) effect dat bovengronds zou kunnen ervaren worden. Tot slot veroorzaken activiteiten in de diepe ondergrond mogelijk trillingen, die effecten kunnen hebben op andere activiteiten in de (on)diepe ondergrond of bovengrond.

Tot slot werd er ook nog een interactie tussen diepe en ondiepe ondergrond genoemd door de stakeholders betrokken bij grondwaterwinning. Om een activiteit in de diepe ondergrond te exploiteren, moet men uiteraard steeds eerst door de ondiepe ondergrond. Indien de exploitatie van een activiteit in de diepe ondergrond ervoor zorgt dat de ondiepe ondergrond niet langer kan gebruikt worden, heeft dit een belangrijke impact op onze grond- en drinkwaterwinning. Ook op andere potentiële activiteiten in de ondiepe ondergrond kan de activiteit in de diepe ondergrond een impact hebben, en vice versa.

De genoemde interacties tussen bovengrond, ondiepe ondergrond en diepe ondergrond illustreren dat het essentieel is om niet enkel horizontaal (op een zelfde diepte) te kijken naar de effecten die een activiteit in de diepe ondergrond zal hebben, maar ook verticaal (op andere dieptes).

De genoemde interacties tussen activiteiten in diepe ondergrond, ondiepe ondergrond en bovengrond worden geïllustreerd in
Figuur 3.

.



Figuur 3: Interacties tussen activiteiten in de diepe ondergrond, de ondiepe ondergrond en de bovengrond.

Naast het identificeren van de interacties tussen de activiteiten in (on)diepe ondergrond en bovengrond, werd ook de **noodzaak** en **wenselijkheid** van de mogelijke activiteiten in de diepe ondergrond bevraagd bij de stakeholders. Tijdens de interviews, werd aan de stakeholders gevraagd om de activiteiten in de diepe ondergrond die volgens hen kritiek zijn, te identificeren. Een 'kritieke' activiteit is een activiteit waarvoor geen alternatief bestaat bovengronds. Nadien werd aan hen ook gevraagd om die activiteiten op te lijsten die niet per se kritiek zijn, maar toch wenselijk zijn in de diepe ondergrond (omwille van economische, ecologische, of maatschappelijke redenen). De opgesomde activiteiten worden getoond in Tabel 6 en Tabel 7. Het is duidelijk dat diepe geothermie het vaakst vermeld werd als kritieke activiteit, gevolg door de berging van nucleair afval.

Tabel 6: De kritieke activiteiten in de diepe ondergrond volgens de stakeholders.

Kritieke activiteiten	Genoemd door *rol (aantal)* …	Aantal unieke vermeldingen
Diepe geothermie (om op duurzame manier aan warmtevraag te kunnen voldoen in de toekomst)	Drager (3), onderzoeker (2), beleidsmaker/vergunningverlener (1), vergunningsadviseur (1), vergunninghouder (4), gebruiker (3), observator (1)	11
Berging nucleair afval	Drager (1), onderzoeker (2), beleidsmedewerker/vergunningsbehandelaar (1), beleidsmaker/vergunningverlener (1), vergunningsadviseur (1), vergunninghouder (1), handhaver (1), observator (2)	5
Opslag van aardgas	Vergunningsadviseur (1), vergunninghouder (3), gebruiker (2), observator (1)	4
Opslag van H_2	Onderzoeker (1), vergunninghouder (3), gebruiker (2)	4
Opslag van CO_2	Onderzoeker (1), vergunninghouder (1), gebruiker (1)	2
Geen (voor iedere activiteit bestaat een technologisch alternatief)	Onderzoeker (1)	1
Ontginning van grondstoffen (nodig voor hernieuwbare energie)	Onderzoeker (1)	1
Grondwaterwinning voor drinkwater *(ondiepe ondergrond)*	Drager (1), observator (1)	1

Tabel 7: De niet-kritieke, maar toch wenselijke activiteiten in de diepe ondergrond volgens de stakeholders.

Wenselijke activiteiten	Genoemd door *rol (aantal)* …	Aantal unieke vermeldingen
Diepe geothermie	Drager (2), onderzoeker (1), vergunninghouder (1), observator (1)	3
Opslag van CO_2	Drager (2)	2
Opslag van gas	Drager (1), onderzoeker (1), vergunninghouder (1), observator (1)	2
Berging nucleair afval	Drager (1), observator (1)	1
Exploratie	Onderzoeker (1)	1
Einstein telescoop	Observator (1)	1

Enkele opvallende aanvullingen werden gedaan tijdens de interviews bij deze bespreking over de wenselijkheid en noodzaak van activiteiten. Stakeholders merken op dat er een **hoge druk** is op de ondergrond, door de beperkte beschikbare oppervlakte in Vlaanderen. Elke m² zou voor veel verschillende doelen kunnen gebruikt worden. Omwille van die druk, is het belangrijk om een kader te creëren waar technologieën samen gebracht kunnen worden. Het ontbreken van zo'n kader om activiteiten in de diepe ondergrond op elkaar af te stemmen wordt ervaren als een belangrijk hiaat vandaag. Enkele stakeholders uitten dat een **gedeeld gebruik** van de (diepe) ondergrond moet nagestreefd worden, waarbij het gebruik van de diepe ondergrond steeds mogelijk blijft voor andere actoren en voor toekomstige generaties. Dit staat echter in contrast met enkele potentiële activiteiten in de ondergrond, zoals de **berging van nucleair afval**, waarbij een bepaalde zone exclusief voorbehouden wordt voor die activiteit.[17] De berging van nucleair afval wordt tegelijk door veel stakeholders erkend als één van de mogelijk kritieke activiteiten, maar kan een gedeeld gebruik van de ondergrond bemoeilijken. De stakeholders betrokken bij de berging van nucleair afval geven aan dat er internationaal wetenschappelijke consensus is dat de berging van nucleair afval in de diepe ondergrond de enige oplossing is op lange termijn. Het opslaan van nucleair afval bovengronds is slechts een oplossing op korte termijn, en vereist actieve monitoring, ook van vele generaties na ons. Daarom wordt de berging van nucleair afval door verschillende stakeholders erkend als een 'kritieke activiteit' in de diepe ondergrond, ook al botst het met enkele andere voorwaarden die worden opgesomd voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond. Tot slot wordt bij deze vraag ook de nood aan **exploratie** aangehaald. Sommige gebieden zijn al goed gekend (bv. Kempisch Bekken), terwijl andere gebieden in Vlaanderen nog vrij onbekend terrein zijn (bv. Massief van Brabant).

Als laatste vraag rond activiteiten in de diepe ondergrond werd gevraagd aan de stakeholders of ze activiteiten bij voorbaat zouden **uitsluiten** en welke, en onder welke omstandigheden de stakeholders zelf **niet** zouden overgaan tot de **exploitatie** van de diepe ondergrond.

De meerderheid van de stakeholders gaf hier aan dat bij voorbaat geen enkele activiteit zou moeten uitgesloten worden. Bij iedere toepassing moet nagegaan worden wat de effecten zijn en moet dan geëvalueerd worden of die activiteit, op die locatie, wel of niet toegelaten mag worden. Enkele stakeholders benoemden toch specifieke activiteiten die volgens hen niet mogen plaatsvinden in de diepe ondergrond in Vlaanderen. Tabel 8 lijst de genoemde activiteiten op.

Op de vraag onder welke omstandigheden de stakeholder de exploitatie van de diepe ondergrond niet zou toelaten, werden uiteenlopende antwoorden gegeven. Algemeen werd aangegeven dat exploitatie niet mag toegelaten worden indien die exploitatie risico's of effecten veroorzaakt bovengronds. Voorbeelden van genoemde effecten zijn impact op milieu en natuur, verontreiniging van het grondwater, vervuiling in het algemeen en verhoogd risico op aardbevingen. Enkele stakeholders geven bovendien aan dat een activiteit niet zou mogen toegelaten worden indien deze het multifunctioneel gebruik van de ondergrond verhinderd. Wanneer een activiteit de ontwikkeling van andere activiteiten in de toekomst verhinderd, of een (negatieve) impact heeft op toekomstige generaties, is ook een reden om de activiteit niet toe te laten. Tot slot werd aangegeven dat beslissingen over wel of niet toelaten van activiteiten in de diepe ondergrond steeds met voldoende kennis genomen moeten worden. Tabel 9 lijst op per rol welke voorwaarden werden opgesomd.

[17] De footprint van de bergingssite van nucleair afval zou om en bij de 5 km² bedragen, en rekening houdend met een extra bufferzone van 2 km rond die footprint, zou de totale 'onbruikbare' oppervlakte rond de bergingssite 18 km² bedragen. De oppervlakte waar geen andere activiteiten meer mogelijk zijn in de ondergrond blijft dus eerder beperkt.

Tabel 8: De uit te sluiten activiteiten in de diepe ondergrond volgens de stakeholders.

Niet-wenselijke activiteiten	Genoemd door *rol (aantal)* …	Aantal unieke vermeldingen
Geen (geen activiteiten uitsluiten bij voorbaat)	Onderzoeker (4), beleidsmedewerker/vergunningsbehandelaar (1), vergunninghouder (1), handhaver (1)	5
Ontginning van fossiele brandstoffen	Drager (1), beleidsmaker/vergunningverlener (1)	2
Boringen in drinkwaterwinningzones	Drager (1)	1
Berging nucleair afval	Vergunninghouder (1)	1
Opslag van CO_2	Vergunninghouder (1)	1

Tabel 9: De voorwaarden waaronder een activiteit niet kan toegelaten worden, volgens de stakeholders per rol.

Rol	Activiteit niet toelaten in diepe ondergrond indien…
Drager	Negatieve impact op mens en natuur
	Laag al wordt gebruikt voor drinkwatervoorziening
	Multifunctioneel gebruik van de ondergrond daardoor wordt verhinderd
	Ontwikkeling van activiteiten in de toekomst daardoor wordt verhinderd
Onderzoeker	Veiligheid in gedrang komt
	Er onvoldoende kennis en informatie is
	Impact op omgeving niet werd onderzocht
	Grondwater wordt verontreinigd door de activiteit
	(significante) seismische activiteit wordt veroorzaakt
Beleidsmaker/ vergunningverlener	Er vervuiling optreedt door de activiteit
Vergunninghouder	Impact op activiteit van de stakeholder
	Gebruik van de ondergrond voor toekomstige generaties wordt verhinderd
	Impact op andere activiteiten waarin al werd geïnvesteerd
	Impact op toekomstige generaties
	(significante) seismische activiteit wordt veroorzaakt
	Er een alternatieve toepassing bestaat die meer waarde heeft op die locatie
	Er een alternatieve toepassing is die enkel op die locatie kan
Observator	Multifunctioneel gebruik van de ondergrond daardoor wordt verhinderd

Tijdens dit luik rond activiteiten in de diepe ondergrond, vielen volgende observaties op. Een meerderheid van de stakeholders vindt dat bij voorbaat geen activiteiten uitgesloten mogen of kunnen worden. Er heerst ook (quasi) een consensus dat een gedeeld of multifunctioneel gebruik van de ondergrond mogelijk moet zijn. Eén stakeholder verwoordt dit als volgt: "*We denken niet dat we de enige toepassing zijn in de ondergrond die moet kunnen bestaan. We geloven dat er toepassingen naast activiteit X mogelijk moeten zijn, zowel verticaal als horizontaal*." M.a.w. de stakeholders zijn voorstander van een gedeeld, multifunctioneel gebruik van de ondergrond, zowel de diepe als ondiepe ondergrond.

Hier ligt een uitdaging voor de berging van nucleair afval. Terwijl dit door een aantal stakeholders wordt erkend als kritieke activiteit, druist dit in tegen het principe dat multifunctioneel gebruik van de ondergrond moet gewaarborgd worden. Voor de berging van nucleair afval moet een bepaalde zone exclusief voorbehouden worden voor deze activiteit, omwille van veiligheid.

4.2 DATA

De stakeholders kregen vragen over de data die ze zelf verzamelen en beheren over de diepe ondergrond, over de toegankelijkheid van data en hoe data over de diepe ondergrond kunnen bijdragen aan het duurzaam beheer van de diepe ondergrond.

De **data** die zelf verzameld wordt door de verschillende groepen stakeholders wordt samengevat in Tabel 10. Het is duidelijk dat de meeste data actief verzameld wordt door de *onderzoekers* en *vergunninghouders*. Een aantal stakeholders geven aan dat ze hun data verkregen over de samenstelling van de ondergrond (moeten) delen met de Geologische Dienst van België. Stakeholders die zelf geen data verzamelen, verkrijgen de nodige data van andere partners. Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV) wordt vaak vermeld als databron, bv. voor de samenstelling van de ondergrond.

De **toegankelijkheid** van data over de diepe ondergrond wordt op verschillende manieren ervaren door de stakeholders. Een eerste groep stakeholders ondervindt weinig of geen problemen met toegang tot data over de diepe ondergrond. Een tweede groep stakeholders ervaart niet per se problemen met toegang tot de data die reeds bestaat, maar geeft aan dat er data ontbreekt. Er zijn blinde vlekken in Vlaanderen, waar weinig tot geen data bestaat over de diepe ondergrond, vooral in Oost- en West-Vlaanderen en Vlaams-Brabant. Naast regionale verschillen, zijn er ook verschillen in databeschikbaarheid in de diepte. Eén van de stakeholders, een *onderzoeker*, geeft aan dat er wel data zou bestaan tot 3 – 4 km diepte, maar dat er data ontbreekt op 6 – 8 km diepte. De maximale diepte die technisch en economisch exploiteerbaar is, lag lange tijd op 4 km. Omwille van betere boortechnieken zou deze exploiteerbare diepte nu evolueren richting 6 tot 7 km, volgens deze stakeholder. Er ontbreekt echter informatie over de kenmerken van de ondergrond op deze diepte. Daarnaast kan er ook info ontbreken over bepaalde parameters die een stakeholder nodig heeft, bv. samenstelling van de ondergrond, temperatuur of geleidbaarheid. Tot slot is er een derde groep stakeholders die aangeeft geen overzicht te hebben van welke data bestaat en bij wie ze die data dan kunnen verkrijgen: de data is versnipperd. Tabel 11 vat samen hoe de beschikbaarheid van data ervaren wordt door verschillende types stakeholders..

De eerste groep stakeholders voor wie toegang tot de data vandaag oké is, is eerder beperkt. De stakeholders in deze groep verzamelen meestal zelf geen data, maar ervaren dat data die bij andere partijen aanwezig is, meestal wel gedeeld kan worden (mits afspraken).

De tweede groep stakeholders, die aangeeft dat er data ontbreekt en dat er nood is aan exploratie (zowel regionaal als in de diepte), is in de meerderheid. Vooral de *onderzoekers*, *vergunninghouders* en *gebruikers* lijken het erover eens dat er vandaag nog heel wat data ontbreekt en er dringend nood is aan (meer) exploratie van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Er zijn duidelijke regionale verschillen in data-intensiteit: terwijl sommige regio's al intensief onderzocht zijn (bv. de Kempen en provincie Limburg), zijn andere regio's nog blinde vlekken wat betreft de diepe ondergrond (bv. Oost- en West-Vlaanderen, Vlaams-Brabant). Het opvullen van die blinde vlekken zou het eenvoudiger kunnen maken voor potentiële vergunninghouders om in een bepaalde activiteit, op een bepaalde locatie te gaan investeren.

De bezorgdheid dat de data versnipperd is, leeft dan weer voornamelijk bij de *beleidsmakers/vergunningverleners* en de *dragers*. De *beleidsmakers/vergunningverleners* geven aan dat de data zo verspreid zit bij verschillende partijen, waardoor ze steeds opnieuw van nul lijken te moeten beginnen bij het opmaken van een beleidsvisie of het verlenen van een vergunning.

Tabel 10: Type data dat zelf verzameld of beheerd wordt door de stakeholder, per rol.

Rol	Type data *(data-uitwisseling)*
Drager	- Geen - Ondiepe ondergrond: aanwezige leidingen en infrastructuur in eerste lagen ondergrond - Ondiepe ondergrond: grondwaterkwaliteit en waterdruk - Ondiepe ondergrond: samenstelling ondergrond *(stalen van boringen worden gedeeld met Geologische Dienst)*
Onderzoeker	- Geen - Boringen - Seismische data *(gepubliceerd op DOV)* - Geofysische data *(gepubliceerd op DOV)* - Grondwaterpeil (*wordt gedeeld met VMM en Sibelco)* - Waterdruk - Geometrie, structuur en aard van lagen in de ondergrond - Eigenschappen van lagen m.b.t. transport van (vaste of vloeibare) stoffen - Stabiliteit van de ondergrond
Beleidsmedewerker/ vergunningsbehandelaar	- Ondiepe ondergrond: radioactiviteit in grondwaterlagen
Beleidsmaker/ vergunningverlener	- Geen
Vergunninghouder & gebruiker	- Geen - Seismische data voor de projectlocatie *(gedeeld met Belgische Geologische Dienst en andere stakeholders in de omgeving van de projectlocatie)* - Boringen *(gepubliceerd op DOV)* - Geofysische data *(gepubliceerd op DOV)* - Seismische data *(gepubliceerd op DOV)*
Handhaver/observator	- Ondiepe ondergrond: radioactiviteit in grondwaterlagen - Seismische activiteit - Gravimetrische activiteit - Geofysische data

Tabel 11: Hoe de beschikbaarheid van data ervaren wordt door de stakeholders, per rol.

Beschikbaarheid data	Rol (aantal)	Aantal unieke vermeldingen
Toegang data is OK	Drager (2), beleidsmedewerker/vergunningsbehandelaar (1), vergunninghouder (1), handhaver (1)	4
Er ontbreekt data	Drager (1), onderzoeker (5), vergunninghouder (6), gebruiker (4), observator (2)	12
Data is verspreid - geen overzicht van bestaande data	Drager (1), beleidsmaker/vergunningverlener (2), vergunningsadviseur (3)	3

Tijdens de vragen rond de beschikbaarheid van data, werden twee observaties gemaakt. Ten eerste viel op dat data vaak onderling wordt uitgewisseld tussen stakeholders. Zeker tussen de vergunninghouders van activiteiten in elkaars buurt, lijkt data-uitwisseling frequent te gebeuren (mits afspraken). Ten tweede merken enkele stakeholders op dat het kader voor data-uitwisseling met de Geologische Dienst van België vandaag onduidelijk is. Er is geen duidelijk beleid of geen duidelijk kader (meer) dat voorschrijft wanneer data van bepaalde activiteiten moet gedeeld worden met de Geologische Dienst van België.

Verschillende visies werden geformuleerd over hoe data gebruikt kan worden voor het **duurzaam beheer** van de diepe ondergrond. De meerderheid van de stakeholders geeft aan dat er in de eerste plaats meer data nodig is, meer kennis over de diepe ondergrond in Vlaanderen, om die op een duurzame manier te kunnen beheren. Onder het motto ‘meten is weten’, halen de stakeholders aan dat de diepe ondergrond eerst beter in kaart gebracht moet worden om te kunnen komen tot een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Dit gevoel leeft het sterkst bij de *vergunninghouders*, *beleidsmakers/vergunningverleners* en *onderzoekers.* Het gaat dan over het oplossen van de blinde vlekken in Vlaanderen, het verzamelen van data over bepaalde parameters, of het verzamelen van data over de grenzen van Vlaanderen heen (Nederland, Wallonië). Er is niet enkel méér data nodig, maar ook een performant systeem van databeheer. Het delen van de beschikbare data kan bijdragen tot een dialoog en tot een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Tot slot geven enkele stakeholders ook aan dat een soort ‘bestemmingsplan’ van de ondergrond zou helpen om tot een duurzaam beheer te komen. Zo’n plan zou aangeven welke behoeften er zijn en welke locaties het meest geschikt zijn om bepaalde activiteiten te exploiteren. Op deze manier kan vermeden worden dat de ondergrond versnipperd wordt.

Tot slot werd bevraagd of en hoe de data over (activiteiten in) de diepe ondergrond **toegankelijk** moet gemaakt worden voor andere stakeholders. Ook hier werden een aantal verschillende visies geobserveerd. Een eerste groep stakeholders is voorstander van zo veel mogelijk transparantie en openbaarheid van data over de diepe ondergrond (6). Hier kan nog onderscheid gemaakt worden tussen de stakeholders die vinden dat alle data moet gedeeld worden, de stakeholders die vinden dat er toch een zekere voorzichtigheid mee geboden moet gaan (omwille van veiligheidsredenen bv.) en de stakeholders die naast meer transparantie ook vragen om de data meer te centraliseren. Een tweede groep stakeholders vindt dat de data die verzameld werd door private partners op een andere manier gedeeld moet worden dan data die verzameld werd door de overheid zelf of via publieke projecten (4). Data verzameld door de overheid of tijdens publieke projecten zouden van bij het begin publiek gemaakt moeten worden, zodat iedereen hier toegang toe heeft, terwijl gegevens verzameld door bedrijven niet meteen openbaar zouden moeten worden, maar voor een

bepaalde periode confidentieel kunnen blijven. Een voorbeeld hiervan kan gevonden worden in Nederland, waar de data eerst confidentieel blijft, en pas na enkele jaren publiek wordt. Sommige stakeholders specifiëren hierbij dat de data van die private projecten wel meteen zou moeten gedeeld worden met (regionale en federale) overheidsinstellingen, maar dat deze dan nog gedurende bepaalde tijd confidentieel behandeld wordt. Daarbij aansluitend wordt opnieuw verwezen naar de nood aan een duidelijker kader dat de data-uitwisseling met de Geologische Dienst van België beschrijft. Daarnaast geven twee *vergunninghouders* expliciet aan dat de data van activiteiten (die vandaag uitgebaat worden) idealiter zou gedeeld moeten worden met één centrale overheid. Vandaag zitten verschillende bevoegdheden op verschillende niveaus, bv. Fluxys die voor de gasopslag moet rapporteren op federaal niveau, terwijl Janssen Pharmaceutica voor de diepe geothermie moeten rapporteren op Vlaams niveau. Dat draagt bij aan de versnippering van data, die al eerder werd genoemd als een struikelblok. Tot slot is er één stakeholder die aangeeft geen voorstander te zijn van het delen van data. De verschillende visies worden opnieuw samengevat in Tabel 12, per rol.

Tabel 12: Hoe de toegankelijkheid van data zou moeten zijn volgens de stakeholders, per rol.

Toegankelijkheid data	Rol (aantal)	Aantal unieke vermeldingen
Transparantie	Drager (1), onderzoeker (1), beleidsmedewerker/vergunningsbehandelaar (1), beleidsmaker/vergunningverlener (2), vergunningsadviseur (2), vergunninghouder (1), handhaver (1)	6
- **Volledige transparantie en openbaarheid**	Beleidsmaker/vergunningverlener (1)	1
- **Zo transparant mogelijk (voorzichtigheid)**	Drager (1), onderzoeker (1), beleidsmedewerker/vergunningsbehandelaar (1), vergunninghouder (1), handhaver (1)	4
- **Meer transparantie en data centraliseren**	Beleidsmaker (1)	1
Publiek – private data	Drager (1), onderzoeker (3), vergunninghouder (3), observator (1)	4
Kader data-uitwisseling met Geologische Dienst	Onderzoeker (1), vergunninghouder (1)	1
Data delen met één centrale overheid	Vergunninghouder (2), vergunningsadviseur (1)	2
Geen voorstander van het delen van data (voorzichtigheid)	Drager (1)	1

4.3 NETWERK

Het netwerk van de stakeholders m.b.t. de diepe ondergrond in Vlaanderen werd ook in kaart gebracht. Tabel 13 toont welke stakeholders uit de bevraagde groep op één of andere manier in contact staan met elkaar, voor hun activiteiten in de diepe ondergrond. Deze tabel moet als volgt gelezen worden: stakeholder *x* (rij) gaf tijdens interviews aan interactie te hebben met stakeholder *y* (kolom). VITO is duidelijk de meest genoemde stakeholder, waar veel andere stakeholders in contact mee lijken te staan. Het valt ook op dat de *vergunninghouders* een goed ontwikkeld netwerk lijken te hebben, en steeds naar elkaar verwijzen als een stakeholder waarmee ze in contact staan (bv. Fluxys – Hita – Janssen Pharmaceutica). Ook per activiteit lijken er sterke netwerken ontwikkeld. Zo verwijzen alle stakeholders betrokken bij de berging van nucleair afval consequent naar elkaar (NIRAS – SCK-CEN – FANC). Die sterke interacties binnen bepaalde rollen, of bepaalde activiteiten, kunnen er dan weer voor zorgen dat andere stakeholders het gevoel krijgen dat ze geen toegang krijgen tot een bepaald netwerk of bepaalde data. Zo verwoordt één van de *dragers* dat er onvoldoende interactie en informatie-uitwisseling is tussen de verschillende stakeholders, en dat er "clubjes van stakeholders in de diepe ondergrond bestaan die veel samenkomen, waar anderen niet zomaar kunnen toetreden". De nood aan een (nieuw) platform dat stakeholders met verschillende rollen en van verschillende activiteiten samenbrengt, komt tijdens de interviews enkele keren terug.

De stakeholders noemden ook bedrijven of organisaties die nog niet werden opgenomen in deze stakeholder mapping. Deze nieuwe namen worden opgelijst in Tabel 14.

Het volledige overzicht van alle namen die werden genoemd door iedere stakeholder, gegroepeerd per rol, is te vinden in Bijlage 4.

Tabel 13: Het netwerk tussen de stakeholders. De tabel leest als volgt: Stakeholder x (rij) heeft gerapporteerd contact te hebben met stakeholder y (kolom).

	BBL	FANC	Fluvius	Fluxys	Hita	J&J	KSB	KUL	LAGO	NIRAS	Expert	Pidpa	Prov. A.	Prov. L.	SCK-CEN	TBC K	VITO	VMM
BBL																	X	
FANC						X	X			X					X		X	X
Fluvius																		
Fluxys					X	X	X	X								X		
HITA				X		X											X	
J&J				X													X	
KSB																		
KUL																		
LAGO																	X	X
NIRAS		X													X		X	
Expert					X				X								X	
Pidpa																		X
Prov. A.																X	X	
Prov. L.					X												X	
SCK-CEN		X								X							X	X
TBC K																		
VITO					X					X					X			
VMM					X	X						X			X		X	

Tabel 14: Overzicht van organisaties die werden genoemd door de stakeholders, maar die niet werden geïnterviewd tijdens deze stakeholdermapping.

Rol	Stakeholder	Netwerk
Drager	Bond Beter Leefmilieu	VVSG
		Bouwmeester
	Vlaamse Milieu Maatschappij	TNO
		Rijkswaterstaat
Onderzoeker	NIRAS	Universiteiten
		FOD Economie
	VITO	Elvin Solutions
		Ertwerk
		VEKA
		Mol
		Dessel
Beleidsmedewerker/ vergunningsbehandelaar	FANC	OVAM
		Helmholtz
		Belgische Geologische Dienst
		SPAQUE
		Nuclear Energy Agency (NEA)
		EURATOM
Beleidsmaker/ vergunningverlener	Provincie Antwerpen	Universiteiten (UAntwerpen)
	Provincie Limburg	Limburgse Reconversie Maatschappij (LRM)
		NV Mijnen (een dochter van de Limburgse Reconversiemaatschappij (LRM)
Vergunninghouder	Fluxys	Belgische Geologische Dienst
		Lokale besturen
		FOD Economie
		Universiteiten (UGent)
		Geostock
	Hita	LRM
		Burgers (omwonenden)
		Turnhout
		Herentals
		Lommel
	LAGO	Notus Pid
	VITO	Elvin Solutions
		Ertwerk
		VEKA
		Mol
		Dessel

4.4 BELEID

De stakeholders werden ook bevraagd naar hun verwachtingen rond het beleidskader voor de diepe ondergrond, hoe dit beleid tot stand moet komen en hoe beleidsmakers kunnen zorgen voor een optimale afstemming tussen de activiteiten in de diepe ondergrond, de verschillende locaties en de maatschappelijke noden. De resultaten worden eerst uitgebreid besproken per rol. Tabel 15 vat de resultaten voor dit thema bondig samen per rol.

4.4.1 Drager

De drager heeft volgende verwachtingen m.b.t. het beleid voor de diepe ondergrond in Vlaanderen. Ten eerste is er nood aan **duidelijkheid** voor de drager over enkele beleidskeuzes. De dragers vragen om een keuze te maken over de locatie voor de berging van nucleair afval. Daarnaast wordt duidelijkheid gevraagd over wie toegang heeft tot de diepe ondergrond, vanaf privaat of openbaar domein. Een overzicht van waar de bovengrondse installaties komen (nodig voor de activiteiten in de diepe ondergrond) wordt ook gevraagd. Ten tweede verwachten de dragers dat er rekening wordt gehouden met de (huidige) **activiteiten in de ondiepe ondergrond** bij het ontwikkelen van een beleid voor de diepe ondergrond. Er wordt gevraagd om te zorgen voor een goede afstemming tussen de activiteiten in de diepe en ondiepe ondergrond, en te zorgen dat de huidige activiteiten in de ondiepe ondergrond kunnen blijven plaatsvinden. Tot slot zijn (enkele) dragers voorstander van een soort van **bestemmingsplan**, zowel de diepe als de ondiepe ondergrond.

De drager ziet een belangrijke rol voor **participatie** om dit beleidskader mee vorm te geven. Participatie zou vroeg in het traject moeten gebeuren, om te komen tot een gedragen beleid. Ook participatie van burgers wordt genoemd. Om ervoor te zorgen dat het beleid ook nageleefd wordt, is ook **handhaving** belangrijk volgens de dragers.

De dragers erkennen dat de afstemming activiteiten – locaties – noden een **uitdaging** vormt. Om die afstemming zo optimaal mogelijk te laten gebeuren, is de drager voorstander van een **planmatige aanpak**. Terwijl de toekenning van activiteiten vandaag eerder ad hoc gebeurt (*first come, first served*), ijvert de drager voor het opstellen van een lange termijnvisie voor de ontwikkeling van de ondergrond. Het opstellen van een bestemmingsplan zou kunnen leiden tot een meer duurzaam gebruik van de (on)diepe ondergrond. Hier erkent de drager zelf dat er een risico is op onderbenutting van de ondergrond, bij zo'n bestemmingsplan, indien niemand wil investeren in bepaalde activiteiten, of een bepaalde locatie. Tot slot benadrukt de drager dat het kennen van de **noden** (in de samenleving) en de **impacts** van de activiteiten (op de ondergrond) cruciaal is voor een optimale afstemming.

4.4.2 Onderzoeker

De onderzoeker in de diepe ondergrond legt iets andere nadrukken in z'n verwachtingen rond het beleid voor de diepe ondergrond. Ten eerste is er een duidelijke behoefte naar een duidelijk kader voor **databeheer** van de diepe ondergrond. Onderzoekers zijn vragende partij voor (opnieuw) een duidelijk wettelijk kader dat bepaalt wanneer het verplicht is om bepaalde data uit te wisselen, en met wie. Het belang van de rol van de Geologische Dienst als databeheerder werd ook benadrukt door enkele onderzoekers. Ten tweede wordt de nood aan een onafhankelijke **regulator** voor activiteiten in de diepe ondergrond benadrukt door de onderzoeker. Een onafhankelijke partij die knopen kan doorhakken is nodig voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Ten derde wordt ook de huidige **versnippering** aan bevoegdheden, op regionaal en federaal niveau, aangehaald als aandachtspunt. Terwijl diepe geothermie op Vlaams niveau wordt gereguleerd,

zitten de berging van nucleair afval en opslag van aardgas op federaal niveau. Een goede interactie en afstemming tussen de verschillende overheidsniveaus is belangrijk. Ten vierde wordt ook verwacht van beleidsmakers dat ze **investeren in onderzoek** in de diepe ondergrond. Tot slot zien de onderzoekers ook een rol voor de beleidsmakers in het **onderhouden van een netwerk van stakeholders** in de diepe ondergrond van Vlaanderen.

Net zoals de drager, benadrukt de onderzoek het belang van **participatie** om tot een gedragen beleidskader te komen. Participatie van burgers wordt ook hier eerder projectmatig gezien dan beleidsmatig. Daarnaast benadrukt de onderzoeker dat er **grensoverschrijdend** gedacht moet worden. De ondergrond stopt niet bij de grenzen van de regio's of het land.

Het beleid kan op verschillende manieren bijdragen tot een optimale afstemming activiteiten – locaties – noden volgens de onderzoeker. Wanneer een vergunning wordt aangevraagd voor een bepaalde activiteit op een bepaalde locatie, zou ook moeten onderzocht worden welke andere **alternatieve activiteiten** mogelijk zijn op die locatie en hoe compatibel die nog zouden zijn met aangevraagde activiteit. Om tot een optimale afstemming te komen, moet het beleid rekening houden met de noden, het potentieel van de ondergrond, en de mogelijke interacties tussen activiteiten in de diepe ondergrond. Tot slot ziet de onderzoeker ook het belang van **dialoog**, **participatie** én **aanvaarding** met en door de lokale gemeenschap om te komen tot een optimale afstemming.

4.4.3 Beleidsmedewerker/vergunningsbehandelaar

De beleidsmedewerkers/vergunningsbehandelaars verwachten een **participatief traject**, voor het beleid rond de diepe ondergrond in Vlaanderen, en verwachten ook dat rekening wordt gehouden met de **gevolgen** en **impacts** van activiteiten in de diepe ondergrond.

De rol van **participatie** om te komen tot een gedragen beleidskader en tot een optimale afstemming tussen activiteiten, locaties en noden, wordt opnieuw benadrukt.

4.4.4 Beleidsmaker/vergunningverlener

Enkel beleidsmakers die wegen op het beleid dat **onrechtstreeks** een invloed heeft op activiteiten in de diepe ondergrond, zoals ruimtelijke planning of klimaat- en energiebeleid, werden bevraagd. Zij formuleerden heel wat inzichten die ze willen meegeven aan de beleidsmakers die wel het beleid vormgeven dat rechtstreeks van toepassing is op de activiteiten in de diepe ondergrond zelf.

Eerst en vooral wil men dat het beleid vertrekt vanuit de juiste en voldoende **kennis**. Er wordt gevraagd rekening te houden met **hoe de bodem en ondergrond eruit zien**, om dan na te denken welk gebruik van nature hier best zou passen. Uiteraard moet ook rekening worden gehouden met de omgeving (bovengrond), maar het vertrekpunt zou de aard van de ondergrond moeten zijn. Ook wordt aangegeven dat een beleid voor de diepe ondergrond **kansen** zou moeten durven **creëren**, en durven om bepaalde **gebieden** te **beschermen** met unieke kenmerken. Het *first come, first served* principe dat vandaag overheerst, werkt ruimtelijk inefficiënt. Daarnaast verwachten deze stakeholders dat de beleidsmakers het **zorgprincipe** hanteren, en dat ecologische overwegingen meer doorwegen dan economische factoren. Tot slot wordt voldoende **transparantie** verwacht van de beleidsmakers.

Participatie wordt ook hier aangehaald als manier om aan beleidsvorming te doen, met aandacht voor de lokale niveaus. Er wordt wel gewaarschuwd voor over-participatie, wat zou kunnen leiden

tot inefficiëntie en besluiteloosheid. Het belangrijkste is dat burgers en andere stakeholders goed **geïnformeerd** worden over het beleid.

De afstemming tussen activiteiten, locaties en noden is ook voor de beleidsmakers een uitdaging. De "**ruimtelijke planning van de diepe ondergrond**" moet op een duurzame manier gebeuren, rekening houdend met de toekomstige generaties. Eén van de geïnterviewde brengt onder woorden dat we "de **bodem en ondergrond een plaats moeten geven**", en dat we moeten starten bij het erkennen van het belang van de bodem en ondergrond. Dit houdt ook in dat af en toe zou moeten beslist worden om bepaalde gebieden te **beschermen**. Participatie en communicatie – uitleggen waarom er iets wel of niet gedaan wordt – worden hier opnieuw vermeld om tot een optimale afstemming te komen. Tot slot wordt ook de belangrijke rol van **ambtenaren** hier benadrukt, omdat deze de continuïteit in het beleid kunnen garanderen (terwijl politieke vertegenwoordigers slechts voor beperkte periode verkozen zijn).

4.4.5 Vergunningsadviseur

De stakeholders die erkend worden als vergunningsadviseur zijn ook vertegenwoordigd bij andere rollen (drager, vergunninghouder, beleidsmaker en vergunningverlener). Omwille van de diversiteit binnen deze groep stakeholders, worden de inzichten van deze stakeholders weergegeven bij de andere rollen die ze vervullen.

4.4.6 Vergunninghouder

De vergunninghouder, die een opsporings- of winningsvergunning heeft om een bepaalde activiteit uit te oefenen in de diepe ondergrond, deelt enkele verwachtingen met de vorige groepen stakeholders, maar formuleert tegelijk ook heel wat nieuwe verwachtingen m.b.t. het beleid.

Net zoals de onderzoekers, zijn ook de vergunninghouders voorstander van een duidelijker **wettelijk kader voor data-uitwisseling** met de overheid, en een betere afstemming en communicatie tussen de verschillende overheidsniveaus. De huidige **versnippering** aan bevoegdheden, op regionaal en federaal niveau, zou moeten tegengegaan worden. Eén **uniform beleid** voor alle vergunninghouders in de diepe ondergrond, onafhankelijk van het type activiteit, zou volgens sommige stakeholders kunnen bijdragen tot een optimaler gebruik van de ondergrond. Daarnaast vindt deze groep dat de **link tussen diepe en ondiepe ondergrond** (beter) gelegd moet worden in het beleid. Het onderscheid tussen diep en ondiep voelt vandaag vaak artificieel aan. Sommige vergunninghouders verwachten ook dat een meer **proactief beleid** gevoerd zou worden, waarbij beleidsmakers zelf aangeven welke activiteiten ze willen op een bepaalde locatie. Daarbij verwacht de vergunninghouder een **steunkader**, waarbij financiële steun (bv. subsidies) gegeven wordt aan bepaalde activiteiten vanuit het beleid. De vergunninghouder vindt het ook een taak van beleid om de **risico's** te **verminderen** voor de investeerder. Tot slot verwacht de vergunninghouder dat bepaalde **hiaten in de wetgeving** nog worden opgevuld, bv. het ontbrekend wettelijk kader voor de single well geothermie projecten.

Om dit beleid tot stand te laten komen, zijn verschillende elementen belangrijk voor deze groep stakeholders. Net zoals de andere rollen, is **participatie** essentieel voor de vergunninghouder om tot een gedragen beleid te komen. De verschillende actoren in de ondergrond zouden moeten betrokken worden bij het vormen van het beleid. Participatie van burgers wordt opnieuw meer gezien op niveau van projectontwikkeling dan op beleidsniveau. Daarnaast vinden de vergunninghouders dat beleids- en beslissingsvorming **efficiënt** moeten gebeuren: beslissingen mogen niet te lang duren, want dat creëert extra onzekerheid en risico voor de (potentiële)

vergunninghouder. Tot slot speelt ook **ruimtelijke planning** een belangrijke rol in de beleidsvorming volgens enkele vergunninghouders: de link tussen ondergrond en bovengrond mag niet uit het oog verloren worden.

Volgens de vergunninghouders kan het beleid op verschillende manieren bijdragen tot een optimale afstemming tussen activiteiten, locaties en de noden. Ten eerste zien sommige vergunninghouders ook hier baat bij een meer **proactieve rol** van de overheid, waarbij de overheid zelf aangeeft welke activiteiten op welke locaties gewenst zijn, en waarbij impuls wordt gegeven aan die gewenste activiteiten. Toch moet er ook een zekere **openheid** of **flexibiliteit** blijven, om later te kunnen bijsturen indien nodig. In de huidige manier van werken, waarbij ad hoc aanvragen aangevraagd voor een bepaalde activiteit op een bepaalde locatie worden beoordeeld, zou ook moeten onderzocht worden welke andere **alternatieve activiteiten** mogelijk zijn op die locatie en hoe compatibel die nog zouden zijn met aangevraagde activiteit. Om tot een optimale afstemming te komen, is het ook essentieel dat er rekening wordt gehouden met de mogelijke **impacts** op de ondergrond en **interferenties** tussen activiteiten. Daarvoor is het belangrijk dat er **experts** betrokken worden bij de besluitvorming. Tot slot erkennen de vergunninghouders dat dit een **uitdagend vraagstuk** is, des te meer omdat de beschikbare ruimte in Vlaanderen beperkt is.

4.4.7 Gebruiker

Omwille van de grote overlap tussen de rollen van vergunninghouder en gebruiker, kunnen grotendeels dezelfde inzichten hier herhaald worden.

4.4.8 Handhaver

De handhaver in de bevraagde stakeholdergroep verwacht van het beleid opnieuw een **participatief traject**, voor het beleid rond de diepe ondergrond in Vlaanderen, en verwacht ook dat rekening wordt gehouden met de **gevolgen** en **impacts** van activiteiten in de diepe ondergrond. De rol van **participatie** om te komen tot een gedragen beleidskader en tot een optimale afstemming tussen activiteiten, locaties en noden, wordt opnieuw benadrukt.

4.4.9 Observator

De observators geven aan dat een **bestemmingsplan**, waarin keuzes gemaakt worden over de activiteiten die het beste passen op een bepaalde locatie in de diepe ondergrond, zinvol zou kunnen zijn. Wanneer keuzes gemaakt worden over de bestemming van de ondergrond, moet steeds rekening gehouden worden met de **gevolgen** van de activiteiten en de mogelijke impacts op de (on)diepe ondergrond en bovengrond. Tot slot wordt zelf aangegeven dat een **regulator**, die kan handhaven en bestraffen wanneer het gaat over exploitatie van de diepe ondergrond, vandaag nog lijkt te ontbreken.

Opnieuw wordt **participatie** omschreven als een belangrijk middel om aan besluitvorming te doen. Voor burgerparticipatie specifiek wordt benadrukt dat dit afhangt van de schaal van het project en het type activiteit.

Participatie wordt ook als tool erkend om te komen tot een optimale (gedragen) afstemming tussen de activiteiten, locaties en noden. Zo **transparant** mogelijk communiceren en goed informeren van de burgers blijkt een belangrijk element in dit vraagstuk. De mogelijkheid om een **bestemmingsplan** op te stellen wordt hier opnieuw geopperd. Wel wordt als nadeel erkend dat dit mogelijk tot onderbenutting van de ondergrond kan leiden, indien niemand wil investeren in een bepaalde activiteit of in de locatie die werd aangeduid in dit plan.

Tabel 15: Verwachtingen voor het beleid en hoe het beleid kan zorgen voor een optimale afstemming tussen activiteiten, mogelijke locaties en de noden van de samenleving volgens de stakeholders, per rol.

	DR	ON	BMW/ VB	BM/ VV	VA	VH	G	H	OB
Alternatieve activiteiten onderzoeken		X				X			
Beschermen van gebieden				X					
Databeheer (wettelijk kader)		X				X			
Flexibiliteit toelaten						X	X		
Link tussen ondiepe – diepe ondergrond	X				X	X			
Meer interactie en afstemming tussen Vlaams en federaal niveau		X			X	X			
Netwerk van stakeholders opzetten en onderhouden	X	X							
Nood aan een regulator									X
Onderzoeken van de impacts	X					X	X	X	X
Participatief traject		X	X					X	X
Planmatige aanpak (bestemmingsplan)	X			X					
Proactieve rol overheid						X	X		
Verminderen van risico's voor investeerders							X		
Versterkte rol voor ambtenaren				X					
Vertrekken van de aard van de bodem en ondergrond				X	X				
Wettelijk kader voor alle activiteiten						X	X		

4.5 DUURZAAM BEHEER

Het laatste deel van het interview focuste op de visie van de stakeholders voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Daarvoor werd gevraagd wat een duurzaam beheer van de diepe ondergrond voor hen betekende (wat is duurzaamheid?) en welke effecten of parameters van activiteiten in de diepe ondergrond zeker moeten gemonitord worden in het kader van een duurzaam beheer. Tot slot werd ook specifiek gevraagd welke sociale impacts de stakeholders verwachten als gevolg van het gebruik van de diepe ondergrond, omdat de sociale dimensie van duurzaamheid vaak over het hoofd wordt gezien. Bij dit laatste luik van het interview kwamen steeds dezelfde elementen terug bij de verschillende groepen stakeholders. De resultaten worden daarom hieronder besproken per deelvraag, en niet per rol.

4.5.1 Duurzaam beheer van de diepe ondergrond

Wanneer gevraagd wordt wat een duurzaam beheer van de diepe ondergrond voor de stakeholders betekent, komt één element steeds terug: er moet rekening gehouden worden met **toekomstige generaties** en over gewaakt worden dat ook de generaties na ons de diepe ondergrond nog zullen kunnen gebruiken. Dat wil ook zeggen dat we de ondergrond niet mogen uitputten. Het **regeneratief karakter** van de diepe ondergrond moet beschermd worden. Ook dit wordt door alle rollen benoemd als een belangrijk element van een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Om het regeneratief karakter van de ondergrond te bewaren en te vermijden dat de diepe ondergrond wordt uitgeput, mogen de hulpbronnen slechts onttrokken worden in die mate dat ze opnieuw geregenereerd kunnen worden. In het geval van diepe geothermie bijvoorbeeld, betekent dit dat er slechts warmte mag onttrokken worden in die mate dat de warmte opnieuw kan aangevuld of geregenereerd worden.

Andere elementen die regelmatig terugkeren bij verschillende stakeholders, en over de verschillende rollen heen, zijn het beperken van de impacts, de omkeerbaarheid van de activiteiten, het multifunctioneel gebruik van de diepe ondergrond, de nood aan kennis en informatie voor een duurzaam beheer en tot slot de enorme tijdsschaal die moet beschouwd worden. Het **beperken van de (negatieve) impacts** betekent dat de gevolgen van de activiteiten in de diepe ondergrond zoveel mogelijk beperkt moeten worden, op mens en natuur. Om te spreken van duurzaam beheer, verwijzen enkele stakeholders ook naar de **omkeerbaarheid van de activiteit**. Hiermee wordt bedoeld dat bij het stopzetten van de activiteiten, de diepe ondergrond (en de omgeving) binnen een redelijke tijdspanne opnieuw terugkeert naar de begincondities. Voor enkele stakeholders betekent duurzaam beheer ook ervoor zorgen dat **multifunctioneel gebruik** van de diepe ondergrond mogelijk is en blijft. Dit houdt in dat één activiteit in de diepe ondergrond andere mogelijke activiteiten niet mag hypothekeren. Om beslissingen te nemen die bijdragen tot een duurzaam beheer en gebruik van de diepe ondergrond, is er ook voldoende **kennis en informatie** nodig. Daarvoor verwijzen enkele stakeholders ook naar het beleid om onderzoek en exploratie van de diepe ondergrond te financieren. Tot slot wordt ook door verschillende stakeholders aangehaald dat de **tijdsschaal** die moet beschouwd worden voor de diepe ondergrond zeer lang is, tot miljoenen jaren. Dit is in het bijzonder van toepassing voor de berging van nucleair afval.

Tabel 16 geeft een overzicht van de genoemde elementen voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

Tabel 16: Overzicht van de genoemde elementen voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

Elementen van duurzaam beheer	Genoemd door (rol)	Aantal (unieke) vermeldingen
Toekomstige generaties	Drager (3), beleidsmedewerker/ vergunningsbehandelaar (1), beleidsmaker/vergunningverlener (2), vergunningsadviseur (3), vergunninghouder (2), gebruiker (1), handhaver (1)	8
Regeneratief karakter (ondergrond niet uitputten)	Drager (1), onderzoeker (1), beleidsmaker/ vergunningverlener (1), vergunningsadviseur (2), vergunninghouder (3), observator (1)	6
Hernieuwbaarheid	Drager (1), vergunninghouder (3), gebruiker (1)	4
Lange termijn visie	Drager (1), onderzoeker (1), beleidsmedewerker/vergunningsbehandelaar (1), vergunningsadviseur (1), handhaver (1)	3
Omkeerbaarheid (terug naar begincondities)	Drager (1), vergunningsadviseur (1), vergunninghouder (1), observator (2)	3
Beperken van (milieu-)impact	Drager (1), beleidsmedewerker/ vergunningsbehandelaar (1), vergunningsadviseur (1), vergunninghouder (1), gebruiker (2), handhaver (1)	3
Voldoende lange tijdsschaal	Onderzoeker (1), beleidsmedewerker/ vergunningsbehandelaar (1), handhaver (1)	2
Gebaseerd op voldoende kennis	Beleidsmaker/vergunningverlener (1), vergunningsadviseur (1) observator (1)	2
Nood aan onderzoek	Onderzoeker (1), observator (1)	2
Multifunctionaliteit behouden	Drager (2), vergunningsadviseur (1), observator (1)	2
Uitzondering: berging nucleair afval	Onderzoeker (1), vergunninghouder (1)	1
Vervuiler betaalt – principe	Drager (1)	1
Ecologische belangen > economische belangen	Beleidsmaker/vergunningverlener (1), vergunningsadviseur (1)	1
Koppeling gebruik ondergrond aan vraag bovengrond	Vergunninghouder (1), gebruiker (1)	1
Afwegen van alternatieven	Vergunninghouder (1), gebruiker (1)	1
Flexibiliteit (mogelijkheden open laten voor toekomstige activiteiten)	Onderzoeker (1)	1
Kritisch nadenken over gebruik diepe ondergrond (enkel indien écht nodig)	Beleidsmaker/vergunningverlener (1), vergunningsadviseur (1)	1
Uitzondering: kritieke grondstoffen	Vergunninghouder (1), gebruiker (1)	1

Samengevat, een duurzaam beheer van de diepe ondergrond betekent voor de stakeholders dat het gebruik van de diepe ondergrond ook voor toekomstige generaties wordt toegelaten. Dit wil zeggen dat het regeneratief karakter moet beschermd worden (de ondergrond mag niet uitgeput worden) en dat activiteiten in de ondergrond omkeerbaar moeten zijn (bij het stopzetten moet de ondergrond kunnen terugkeren naar de begincondities).

Volgens deze 'strikte' definitie van duurzaamheid zouden activiteiten zoals de **berging van nucleair afval** of de **ontginning van grondstoffen** nooit kunnen passen binnen een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Bij de berging van nucleair afval wordt dat stuk van de ondergrond voor miljoenen jaren voorbehouden voor deze activiteit, en zijn toekomstige generaties dus uitgesloten van het gebruik van deze ondergrond. Ook de voorwaarden van hernieuwbaarheid en omkeerbaarheid zijn niet voldaan. Toch past de berging van nucleair afval voor vele de stakeholders in een **'bredere' definitie van duurzaamheid**. Slechts één stakeholders benoemde de berging van nucleair afval expliciet bij de elementen van een duurzaam beheer van de diepe ondergrond, maar verschillende stakeholders benoemden de berging van nucleair afval eerder als één van de kritieke activiteiten in de diepe ondergrond (Tabel 6). Door keuzes uit het verleden is er een hoeveelheid nucleair afval gecreëerd, waar nu een oplossing voor moet gezocht worden. De diepe ondergrond lijkt één van de weinige en meest veilige plekken om dit afval te bergen. De berging van nucleair afval kan zo duurzaam mogelijk gebeuren door de hoeveelheid afval te minimaliseren en enkel in de diepe ondergrond te bergen wat écht nodig is, en door locaties te selecteren waar minder druk is op de diepe ondergrond (i.e. waar andere activiteiten minder geschikt zijn). Ook de ontginning van kritieke grondstoffen zoals zeldzame metalen kan in sommige gevallen verantwoord worden, wanneer het bv. essentiële materialen zijn in de energietransitie.

4.5.2 Effecten

Om tot een duurzaam beheer en gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen te komen, moeten de effecten van het gebruik van de diepe ondergrond opgevolgd worden. De gevolgen van de activiteit op het **milieu** moeten nauwkeurig opgevolgd worden. Dit omvat de effecten op natuur, klimaat, biodiversiteit, bodem,… De **uitputting van de hulpbronnen** in de ondergrond moet ook vermeden worden en bijgevolg van dichtbij gemonitord worden. Ook mogelijke **interferenties** tussen activiteiten, **seismische activiteit** of **lekken** (bij opslag van aardgas of CO_2) moeten opgevolgd worden. Daarnaast zijn ook de gevolgen van de activiteiten op de **(on)gelijkheid** die heerst belangrijk, net zoals mogelijke **geluidshinder** en gevolgen voor de **gezondheid**. Tot slot wordt aangehaald dat de **duur van het project** een belangrijke parameter is die zeker moet gecontroleerd worden.

Voor alle mogelijke effecten die moeten gemonitord worden, is het ook belangrijk dat er **grenswaarden** bepaald worden, die aangeven wanneer de impact op de omgeving te groot wordt. Daarom wordt ook opnieuw de nood aan een regulator of handhaver benadrukt, die die grenswaarden bepaalt en monitort.

4.5.3 Sociale impacts

Tot slot vroegen we de stakeholder expliciet naar mogelijke sociale impacts die veroorzaakt worden door het gebruik van de diepe ondergrond.

Mogelijke **positieve** sociale effecten zijn het creëren van **werkgelegenheid**, het bijdragen aan de **energietransitie** en het **terugdringen van (energie)armoede**. De steenkoolmijnen in Limburg werden vaak aangehaald als voorbeeld voor het creëren van werkgelegenheid. Het openen van deze mijnen heeft heel wat jobs gecreëerd in de regio, en heeft ook een invloed gehad op de bevolkingssamenstelling in Limburg. Ook nu, bij de reconversie van de mijnen, worden opnieuw extra jobs gecreëerd door een activiteit in de ondergrond. Een ander voorbeeld is de diepe geothermiecentrale van Janssen Pharmaceutica, die ook zorgt voor nieuwe jobs. De investering van Janssen Pharmaceutica in het diepe geothermieproject geeft bovendien ook aan dat hun site nog geruime tijd op deze locatie zal blijven, en creëert dus ook een soort van garantie voor het behoud van de huidige jobs op deze locatie. Het gebruik van de diepe ondergrond kan niet alleen extra jobs creëren, maar ook bijdragen tot de energietransitie. Diepe geothermieprojecten zijn hier een goed voorbeeld van, om op een duurzame manier aan de warmtevraag te kunnen voldoen. Deze projecten kunnen ook helpen om de energiearmoede te verminderen, wanneer ze op strategische locaties gepland worden en de kosten en baten op een goede manier verdeeld worden.

Voorbeelden van negatieve sociale effecten zijn het risico op **aardbevingen**, **sociale verdringing**, verhoogde **angst** en **onzekerheid**, **vervuiling**, een **veranderend landschap** en mogelijke **geluidshinder**. De sociale verdringing, of verschuiving van wonen, werd enkele keren genoemd als mogelijk gevolg van activiteiten in de diepe ondergrond zoals geothermie of de berging van nucleair afval. Wanneer de effecten van een activiteit in de diepe ondergrond eerder negatief zijn (of zo worden ervaren), zullen de mensen met hoger inkomen wegtrekken uit de buurt, terwijl de mensen met een lager inkomen vaak niet de middelen hebben om te verhuizen. Omgekeerd, wanneer de effecten eerder positief zijn, kan dit leiden tot een aanzuigeffect van gezinnen met hogere inkomens, terwijl de gezinnen met lagere inkomens worden weggeduwd uit de buurt. Enkele stakeholders gaven aan dat ze een negatieve perceptie verwachten rond de bergingssite van nucleair afval, wat mensen zou kunnen wegduwen. Het omgekeerde effect is ook mogelijk: een bergingssite van nucleair afval vereist hoogopgeleid personeel, dat in de buurt zou kunnen komen wonen.

Bij het bespreken van de sociale impacts geeft een meerderheid van de stakeholders aan dat het ook belangrijk is om **maatschappelijk draagvlak** te creëren voor de activiteit in de diepe ondergrond, door de burgers goed en tijdig te informeren. Zo kunnen burgers ook het belang of de voordelen inzien van de geplande activiteit, en kan het veiligheidsgevoel opnieuw verhoogd worden. De MONA en STORA overlegfora[18] werden door verschillende stakeholders aangehaald als goede voorbeelden om deze maatschappelijke dialoog aan te gaan. Daarnaast is het ook belangrijk om te komen tot een eerlijke **verdeling van de lusten en de lasten**. Bij veel projecten in de diepe ondergrond is het een uitdaging om een evenwicht te vinden tussen de (collectieve) voordelen en de (individuele) lasten. Er wordt ook gewaarschuwd voor het risico om een **monopolie** te creëren in de diepe ondergrond. Nu er private spelers op de markt komen, moet het beleid erover waken dat er geen monopolie ontstaat.

[18] Mols Overleg Nucleair Afval (MONA) vzw en Studie en Overleg (berging) Radioactief Afval Dessel (STORA).

5 CONCLUSIES

19 stakeholders werden bevraagd naar hun visie en perceptie voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen, tijdens interviews die plaatsvonden van november 2023 tot februari 2024. Hoe de stakeholders vandaag het beheer en beleid van de diepe ondergrond ervaren, en op welke barrières zij botsen bij het onderzoeken, exploiteren of beheren van de diepe ondergrond, kan vertaald worden naar nuttige inzichten voor het (toekomstig) duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen. De belangrijkste inzichten en aanbevelingen worden hier per thema samengevat.

Wat betreft de mogelijke exploitatie van **activiteiten** in de diepe ondergrond, was de meerderheid van de stakeholders het erover eens dat een multifunctioneel gebruik van de ondergrond mogelijk moet gemaakt worden of toegelaten moet worden door het beleid. Wanneer de stakeholders gevraagd worden om de meest noodzakelijke activiteit(en) in de diepe ondergrond te benoemen, worden diepe geothermie (11) en berging van nucleair afval (5) het vaakst genoemd.

Ook de beschikbaarheid van **data** werd bevraagd bij de stakeholders. Hoe de toegang tot data werd ervaren, bleek verschillend voor verschillende groepen binnen de stakeholders. Er was één gedeelde verzuchting: de versnippering van data over en voor de diepe ondergrond. De data zit versnipperd bij verschillende overheden (Vlaams en federaal), bij vergunninghouders (diepe geothermie, berging nucleair afval) en bij onderzoekers of handhavers en observators. Er was een duidelijke vraag vanuit de stakeholders naar meer centralisatie van de data en een duidelijk(er) wettelijk kader dat aangeeft wanneer data moet gedeeld worden, en met wie. Een oplossing om de huidige versnippering van data tegen te gaan is dus het creëren van een uniform wettelijk kader (over verschillende activiteiten heen) dat aangeeft welke data moeten gedeeld worden op één centraal dataplatform. Daarbij moet wel onderscheid gemaakt worden tussen data die verkregen wordt via private projecten of publieke projecten. Voor private projecten moet er een zekere confidentialiteitsperiode bestaan, waarin geen data moet gedeeld worden. Naast de versnippering van data, bestond er ook een grote éénsgezindheid onder de stakeholders over de nood aan meer data. De stakeholders zijn vragende partij voor meer exploratie van de diepe ondergrond, zowel horizontaal (op meerdere locaties in België) als verticaal (op verschillende dieptes).

Ook het **netwerk** van de stakeholders werd in kaart gebracht. Het is duidelijk dat er al een vrij sterk netwerk bestaat, tussen verschillende spelers in en rond de diepe ondergrond. Er zijn contacten tussen stakeholders binnen één rol (bv. tussen de onderzoekers), of tussen stakeholders die een zelfde activiteit uitbaten of onderzoeken (bv. NIRAS – FANC voor berging van nucleair afval), of tussen stakeholders die in eenzelfde regio actief zijn (bv. Janssen Pharmaceutica – Fluxys). Dit zorgt ervoor dat er ‘clubjes’ ontstaan van stakeholders, die nauw met elkaar in contact staan en op een correcte manier met elkaar data uitwisselen, maar waardoor andere stakeholders het gevoel krijgen niet dezelfde toegang tot informatie en data te hebben. De voorgestelde oplossing hier is om een (nieuw) netwerk op te zetten waar stakeholders van de ondergrond (diep, ondiep, over verschillende activiteiten en rollen heen) op regelmatige basis worden samen gebracht. Binnen dit netwerk kan er dan informatie en data uitgewisseld worden tussen onderzoekers, vergunninghouders, beleidsmedewerkers,… over activiteiten in de ondiepe en diepe ondergrond. Dit netwerk kan ervoor zorgen dat alle stakeholders op de hoogte blijven van nieuwe activiteiten die werden gestart in de diepe ondergrond, nieuwe data die beschikbaar is, of ontwikkelingen in het beleid.

Wat betreft het (huidige) **beleid** voor de diepe ondergrond in Vlaanderen, haalden de stakeholders verschillende knelpunten aan voor hen. De stakeholders geven aan dat de versnippering van bevoegdheden tussen de Vlaamse en federale overheden nefast is voor een goed en duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Deze verdeeldheid in bevoegdheden, afhankelijk van het type activiteit, draagt bij aan de versnippering van de data. Het ontbreken van een duidelijk wettelijk kader voor data-uitwisseling werd ook binnen dit thema door verschillende stakeholders nogmaals aangehaald. Daarnaast zouden stakeholders ook graag één uniform wettelijk kader zien voor alle activiteiten in de diepe ondergrond. Nu is de wetgeving voor verschillende activiteiten gespreid over verschillende wetten en decreten, ook omwille van de versnippering aan bevoegdheden. Enkele stakeholders geven ook dat er nood is aan één onafhankelijke "regulator" (dit komt min of meer overeen met de rol van handhaver zoals gedefinieerd in dit rapport). Tot slot zien alle stakeholders een belangrijke rol voor participatie bij het ontwikkelen van nieuwe beleidsvisies.

Wat een **duurzaam beheer** van de diepe ondergrond betekent, daar zijn de stakeholders het grotendeels over eens. De diepe ondergrond op een duurzame manier beheren en benutten, dat betekent dat de diepe ondergrond ook nog beschikbaar moet zijn voor toekomstige generaties. Dit houdt ook in dat de diepe ondergrond niet mag uitgeput worden, en dat er dus aandacht moet besteed worden aan het regeneratief karakter van de energiebronnen of grondstoffen die worden aangeboord in de diepe ondergrond. Dit begrip van duurzaamheid staat echter haaks op enkele eerdere inzichten die de stakeholders meegaven. De berging van nucleair afval werd door 5 stakeholders gezien als een kritieke activiteit, waarvoor plaats moet voorzien worden in de diepe ondergrond. Wanneer nucleair afval wordt opgeslagen in de diepe ondergrond, betekent dit echter dat die ruimte in de diepe ondergrond voor miljoenen jaren zal gereserveerd moeten blijven voor deze activiteit. Dit staat dus haaks op het beschikbaar houden van de diepe ondergrond voor toekomstige generaties en het niet uitputten van de ondergrond.

Deze stakeholder mapping toont aan hoe complex de opdracht is om tot een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen te komen. Enerzijds willen de stakeholders meer uniformiteit, en zijn ze voorstander van meer éénduidige regels die gelden voor alle activiteiten die kunnen plaatsvinden in de (diepe) ondergrond. Anderzijds zien we dat er zo'n karakteristieke verschillen bestaan tussen die activiteiten, die nu eenmaal om een aanpak op maat vragen. Het opbouwen van een netwerk van actoren in de diepe ondergrond kan een eerste aanzet zijn om aan een aantal verzuchtingen tegemoet te komen, en om gezamenlijk verder na te denken wanneer uniforme regels nodig zijn, dan wel uitzonderingen.

6 REFLECTIE DOOR VPO (DEPARTEMENT OMGEVING)

In deze sectie geeft het Vlaams Planbureau voor Omgeving (VPO), van het Departement Omgeving, een reflectie over de resultaten van de stakeholder mapping. Deze reflectie werd geschreven door Johanna Van Daele, Helga Ferket en Jan Van Roo van het team Geologie en Omgeving binnen VPO.

VPO heeft met veel belangstelling de resultaten van de stakeholder mapping doorgenomen. De thema's en aspecten die aan bod kwamen, zijn relevant zijn voor het beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen en dus ook rechtstreeks voor het team Geologie en Omgeving van VPO dat instaat voor de Vlaamse bevoegdheden van dit beleid. Alvorens op enkele vernoemde thema's een eigen reflectie weer te geven, wenst VPO alle stakeholders uitdrukkelijk te bedanken voor hun medewerking en de kwaliteitsvolle input tijdens de interviews.

6.1 DATA

Het Departement Omgeving van de Vlaamse Overheid beschikt met DOV (Databank Ondergrond Vlaanderen) over een uitgebreid data-platform dat heel wat data aanbiedt voor publieke consultatie. Dataverzameling en -ontsluiting is één van de kerntaken van VPO. Niettemin kan begrip opgebracht worden voor de stakeholders die aangeven geen overzicht te hebben van de bestaande data en waar deze te verkrijgen. DOV is een samenwerkingsverband tussen vier Vlaamse partners: 1/ De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2/ De Openbare Afvalstoffenmaatschappij (OVAM), 3/ Het Departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW), en 4/ Het Departement Omgeving) en focust zich logischerwijze op de thema's die deze partners aanbelangen. Zo behartigt VPO van het Departement Omgeving inhoudelijk het geologische en pedologische luik van de databank maar verzorgt zij ook de coördinatie van het samenwerkingsverband. DOV bevat reeds een enorme hoeveelheid data, waarvan getracht wordt om deze zo volledig, correct en overzichtelijk mogelijk publiekelijk te ontsluiten. De databank bevat gedeeltelijk ook data van federale instanties (vb. archiefdocumenten van boringen van de Belgische Geologische Dienst). Eén centraal databeheer platform, zoals gesuggereerd door de stakeholders, is echter een grote uitdaging gezien de grote hoeveelheid en verscheidenheid aan data en databronnen, de verschillende toepassingsgebieden en de (vaak historisch gegroeide) verschillende databasestructuren. Idealiter staan de verschillende bestaande databases in verbinding met elkaar opdat alle beschikbare data op een gebruiksvriendelijke manier geraadpleegd kunnen worden zonder dat info verdubbeld wordt.

Data verzameld door private partners dient anders te worden behandeld dan data verzameld door de overheid zelf of via publieke projecten. Zoals hierboven aangegeven moet de tweede categorie zonder twijfel ter beschikking gesteld worden aan alle geïnteresseerden op een zo toegankelijk mogelijke manier. Deze data werden immers verkregen met publieke middelen, en dienen dus te worden 'teruggegeven' aan de bevolking. Wat betreft de private data onderschrijft VPO een rechtvaardige data-ontsluiting, met respect voor de privé-investeringen en daaruit voortvloeiende strategische info, en, na verloop van tijd, met het ten dienste stellen van geodata voor onderzoek en toekomstige projecten. Om dit te bewerkstelligen moet de volledige (o.a. juridische) context in rekening genomen worden om een kader uit te werken dat is aangepast aan de specifieke situatie

in Vlaanderen. De Belgische staatsstructuur, met bevoegdheden omtrent activiteiten in de (diepe) ondergrond op zowel regionaal als federaal niveau, heeft nu eenmaal als gevolg dat verschillende, soms naburige, projecten moeten rapporteren aan een andere vergunningverlenende overheid. Er is op dit moment echter geen juridische basis waardoor deze data met een andere overheid gedeeld moeten of mogen worden. VPO onderkent het door de stakeholders bevestigde gegeven dat de huidige bevoegdheidsverdeling een coherent en duurzaam beheer van de Vlaamse (diepe) ondergrond bemoeilijkt. Een mogelijke oplossing zou kunnen worden uitgewerkt binnen een volgende staatshervorming.

Het is de intentie van VPO om in de toekomst te blijven inzetten op transparante publicatie van Vlaamse ondergronddata. Een eerste noodzakelijke stap hierbij is om het juridisch kader helder te stellen. Daarnaast is, specifiek voor boorgatmetingen en seismische lijnen, op dit moment reeds inhoudelijk voorbereidend werk lopende (inventarisatie en historiek van beschikbare data in Vlaanderen, opmaak databankstructuur). Ook van andere publieke databeheerders verwacht VPO een open-source benadering, opdat zowel (toekomstige) projectontwikkelaars als bevoegde instanties toegang hebben tot deze data, onder meer ter voorbereiding van vergunningsdossiers en ter uitvoering van de eigen bevoegdheden, respectievelijk.

6.2 NETWERK

Uit de interviewresultaten blijkt dat nood is aan een (nieuw) stakeholdersplatform dat de mogelijkheid biedt een actief netwerk van stakeholders van de diepe ondergrond in Vlaanderen te onderhouden. Er wordt vermeld dat beleidsmakers hier een rol in kunnen spelen. Deze suggestie wordt ter harte genomen, doch met de nuance dat deze rol misschien eerder bij de beleidsmedewerkers ligt dan bij de beleidsmakers. Dit in samenhang met de continuïteit die een overheidsadministratie kan bieden (ten opzichte van verkozen politieke vertegenwoordigers), een aspect dat door de stakeholder ook voor de thematiek “beleid” genoemd wordt. VPO maakt als (onderzoeks)afdeling reeds actief werk van breed stakeholderoverleg. Met het oog op een stakeholderplatform specifiek rond de thematiek van diepe ondergrond zou eerst meer in detail bekeken moeten worden wat de concrete noden en verwachtingen zijn van de stakeholders en hoe deze best beantwoord kunnen worden. Met deze info kunnen de doelstellingen scherp gesteld worden, alsook welke partijen als deelnemers in aanmerking komen en welke partij meest geschikt is als trekker.

6.3 BELEID

De aanbevelingen van de stakeholders omtrent beleid zijn veelvuldig en divers. Allereerst is er (de financiering van) algemene exploratie van de diepe ondergrond door de overheid. Elk land en elke regio heeft inderdaad een taak in het verkennen van zijn eigen ondergrond en de kansen die deze ondergrond kan bieden. Voor sommige thema’s stuurt Europa hier ook op aan, hetzij direct zoals in de CRMA (Verordening (EU) 2024/1252) voor kritieke grondstoffen, hetzij indirect door een vooraf beoordeling van potentieel en risico’s als voorwaarde te stellen voor het toelaten van een activiteit zoals bijvoorbeeld in de Leidraad bij de CCS-Richtlijn 2009/31/EG voor koolstofdioxideopslag,

Resolutie EP/2011/2309(INI) voor ondergrondse energiebronnen, of Aanbeveling 2014/70/EU voor onconventionele koolwaterstoffen. Verkenning van de diepe ondergrond vraagt typisch grote investeringen wegens de hoge kostprijs voor dataverzameling (vb. seismische campagnes, boringen, …) en de complexiteit van de diepe ondergrond. Nochtans is dergelijke regionale kennis uitermate waardevol, niet alleen opdat private, locatiespecifieke investeringen nadien efficiënter ingezet kunnen worden waardoor het risico op een onsuccesvol project door het ontbreken van regionale basiskennis al deels verminderd wordt. Dezelfde fundamentele kennis is ook onontbeerlijk voor de interne overheidswerking, i.e. om een vlotte, kwaliteitsvolle evaluatie van vergunningsaanvragen te kunnen uitvoeren en om vorm te geven aan een verantwoord en realistisch beleid omtrent de diepe ondergrond. Het is dus logisch dat overheden daar hun verantwoordelijkheid opnemen en inspanningen voor leveren. Wat betreft Vlaanderen is VPO daar zeker niet de enige partner, ook instanties zoals FWO, VLAIO, EWI, universiteiten, … kunnen onderzoeksmiddelen vrijmaken voor algemene exploratie van de eigen ondergrond.

Meerdere stakeholders gaven aan dat ze een meer proactief beleid verwachten omtrent de diepe ondergrond in Vlaanderen. In deze context worden onder andere het afbakenen van beschermingsgebieden, het opzetten van een financieel steunkader voor preferentiële activiteiten (al dan niet op preferentiële locaties) en het opmaken van een bestemmingsplan voor de diepe ondergrond genoemd. Wat betreft het eerste aspect, de beschermingsgebieden, meent VPO dat er op dit moment nog onvoldoende kennis voorhanden is om dit op een kwaliteitsvolle manier te kunnen verwezenlijken. Het gaat dan om, zoals hierboven genoemd, meer gedetailleerde geologische kennis over de Vlaamse diepe ondergrond (en bijgevolg, waar welke toepassing(en) mogelijk zijn), maar evenzeer over informatie omtrent te verwachten technologische ontwikkelingen, maatschappelijke noden en andere toekomstige uitdagingen waar Vlaanderen mee rekening zal moeten houden. De twee andere genoemde aspecten (steunkader voor preferentiële activiteiten en bestemmingsplan) gaan een stap verder. De Structuurvisie Diepe Ondergrond, zoals vastgelegd in artikel 63/26 van het decreet betreffende de diepe ondergrond van 8 mei 2009 (verder vermeld als “Decreet Diepe Ondergrond”), komt deels tegemoet aan deze verwachtingen van de stakeholders (langetermijnvisie, in kaart brengen van de impact van activiteiten, …). Dit document zal echter geen bestemmingsplan worden, maar moet eerder gezien worden als een hulpmiddel voor beleidsmakers om er toekomstig beleid voor een duurzaam beheer van de Vlaamse diepe ondergrond op te stoelen. Sommige stakeholders noemen een bestemmingsplan als noodzakelijk om versnippering van de ondergrond te vermijden. Echter, zelfs een plan met afbakening van bepaalde zones voor bepaalde toepassingen behoedt niet voor versnippering tussen individuele projecten. Meer nog, een te ‘vastgeklikt’ beleid/bestemmingsplan impliceert dat op één moment beslist wordt over toepassingen met een levensduur die de gemiddelde generatie overstijgt, waardoor mogelijk waardevolle kansen in de toekomst al op voorhand verhinderd worden. Dit risico op onderbenutting werd ook beaamd door één stakeholder tijdens de interviews. In navolging met de periodieke herziening vermeld door de stakeholders, wenst VPO mee te geven dat een vijfjaarlijkse evaluatie en actualisering van de Structuurvisie Diepe Ondergrond reeds decretaal voorzien is (artikel 14/40 van het Besluit van de Vlaamse Regering tot uitvoering van het Decreet Diepe Ondergrond).

Gelinkt aan deze thematiek vragen de stakeholders dat het beleid ook aandacht heeft voor het risico op een monopolie in de diepe ondergrond. Voor wat betreft de toepassingen onder Vlaamse

bevoegdheid is dit aspect reeds ondervangen in het Decreet Diepe Ondergrond, o.a. door middel van een mededingingsprocedure. Wanneer een vergunningsaanvraag voor een bepaald volumegebied ingediend wordt, dient een uitnodiging tot mededinging te worden gepubliceerd in het Belgisch Staatsblad. Andere geïnteresseerden hebben dan 90 dagen tijd om eveneens een dossier in te dienen voor dit volumegebied. Elke vergunningsaanvraag wordt ook beoordeeld op het criterium “planmatig beheer”, i.e. of het project past binnen een planmatige visie op aardwarmte en andere mogelijke toepassingen in de diepe ondergrond en of het aangevraagd volumegebied niet groter is dan nodig om het project uit te voeren.

Er wordt door de stakeholders ook gesproken over één uniform beleid voor alle activiteiten in de diepe ondergrond, wat zou kunnen bijdragen tot een optimaler gebruik van de ondergrond. Vermoedt wordt dat de stakeholders hier doelen op een gemeenschappelijke wetgeving die vertrekt van dezelfde basisprincipes, eerder dan een uniform beleid. Beleid bepaalt naar welke doelstellingen gestreefd wordt (al dan niet in een bepaalde komende periode) en welke middelen daarvoor ingezet zullen worden, en is dus eigenlijk bijna per definitie activiteit-specifiek. Een gelijk wettelijk speelveld voor alle toepassingen is inderdaad de meest rechtvaardige manier van werken. Of dit rechtstreeks zal bijdragen tot een optimaler gebruik van de diepe ondergrond, is wellicht wat verregaand (want ook afhankelijk van veel andere factoren), maar het zal in ieder geval op sommige locaties een eerlijkere ontwikkeling toelaten. Er moet hierbij wel rekening gehouden worden met de staatsstructuur en bevoegdheidsverdeling binnen België. Verschillende projecten vallen onder een andere (vergunningverlenende) overheid en bijgevolg onder een andere wetgeving. Een eerste stap in het creëren van een gelijk speelveld voor alle toepassingen in de diepe ondergrond zou dus zijn om de basisprincipes van beide wetgevingen te harmoniseren of, zoals eerder gezegd, een oplossing uit te werken binnen een volgende staatshervorming.

Verder vragen stakeholders ook het wegwerken van hiaten in de wetgeving, specifiek voor single well geothermie projecten. In de VLAREM zijn er op dit moment inderdaad nog geen specifieke rubrieken voorzien om dit soort systemen in onder te brengen, maar deze projecten kunnen op dit moment wel degelijk vergund worden, zowel volgens het Decreet Diepe Ondergrond als het Omgevingsvergunningsdecreet. Daarnaast wordt ook de vastgelegde grens tussen diepe en ondiepe ondergrond vermeld. Geologisch gezien is dit inderdaad een artificiële constructie, maar het is belangrijk op een juridisch eenduidige manier het toepassingsgebied van het Decreet Diepe Ondergrond vast te leggen, onafhankelijk van geologische modellen die kunnen evolueren met voortschrijdend inzicht. Voor alle toepassingen onder Vlaamse bevoegdheid is er voor gekozen deze grens op dezelfde diepte te leggen, en werd er afgestemd met andere wetgevende kaders en bevoegde instanties. Ook andere Europese lidstaten kiezen vaak om de ondiepe en diepe ondergrond te scheiden aan de hand van een constant dieptecriterium. Dit sluit uiteraard niet uit dat de link tussen beide dieptes beleidsmatig beter kan worden uitgewerkt. Ten slotte wordt ook door de stakeholders aangegeven dat in de huidige vergunningsprocedure een alternatievenonderzoek ontbreekt, in de zin dat bij elke aanvraag onderzocht zou moeten worden welke alternatieve activiteiten mogelijk zijn op die bepaalde locatie. Er wordt niet gespecifieerd of dit onderzoek moet gebeuren door de projectontwikkelaars (in analogie met het locatie-alternatievenonderzoek van een MER) of door de administratie van de vergunningverlenende overheid. In ieder geval wil VPO hierbij de bemerking maken dat dit, hoewel een zeer leerrijke oefening, een grote bijkomende werklast (en mogelijks investeringen) met zich zou meebrengen,

waardoor de vergunningsprocedure nog verzwaard wordt. Bovendien kan ook niet ingeschat worden of er voor theoretisch mogelijke alternatieve activiteiten zich wel geïnteresseerde projectontwikkelaars zullen aandienen die via het Decreet Diepe Ondergrond dan voor dat volumegebied het exclusieve recht wensen te krijgen om budget te investeren met het oog op de realisatie van die alternatieve activiteit.

Participatie en transparante communicatie worden ook meermaals genoemd door de stakeholders als zijnde essentiële componenten voor een goed beleid. Het is inderdaad de taak van de overheid (op alle niveaus, gezien de bevoegdheidsverdeling binnen België) om de bevolking helder en duidelijk te informeren, zowel over vergunningsprocedures als over genomen beslissingen. De Vlaamse Overheid past dan ook verschillende instrumenten en richtlijnen toe om een goede communicatie tussen overheid en burger te faciliteren. Wat betreft participatie moet echter wel een onderscheid gemaakt worden tussen beleidsvorming en individuele (vergunnings)dossiers. De laatste categorie valt in principe niet onder beleid maar onder beleidsuitvoering. De behandeling van deze dossiers dient volgens de in de wetgeving vastgelegde procedures te gebeuren, al dan niet met inspraak van externen. Voor de vergunningen in kader van het Decreet Diepe Ondergrond is dit aspect niet opgenomen in de vergunningsprocedure. Bij deze projecten hebben de projectontwikkelaars tot nu toe steeds zelf de omwonenden geïnformeerd over het project. De omgevingsvergunningprocedure voorziet overigens wel in een openbaar onderzoek en gemeentelijke informatievergadering. In de categorie van beleidsvorming is passende participatie inderdaad één van de meest aangewezen manieren om tot een breed gedragen beleid te komen. Hierbij is het belangrijk dat dit op een efficiënte manier gebeurt. Zoals ook aangegeven door enkele stakeholders kan over-participatie in beleidsvormende processen leiden tot besluiteloosheid en zo tot bijkomende onzekerheid en risico voor (toekomstige) projectontwikkelaars. In het geval van de Structuurvisie Diepe Ondergrond zal er, zoals bepaald in het artikel 14/40 van het Besluit van de Vlaamse Regering tot uitvoering van het Decreet Diepe Ondergrond, advies gevraagd worden van specifieke instanties alsook een bevolkingsraadpleging georganiseerd worden.

6.4 DUURZAAM BEHEER

Wat betreft het duurzaam beheer van de diepe ondergrond worden door de stakeholders enkele algemene principes aangehaald. Hoewel VPO deze (meer theoretische) principes bijvalt, moet de bedenking gemaakt worden dat deze in de praktijk, specifiek voor activiteiten in de diepe ondergrond, minder gemakkelijk te realiseren zijn. Indien er slechts warmte zou mogen onttrokken worden in dezelfde mate als er gegenereerd kan worden door de aarde, zou geen enkel diep geothermieproject technisch of commercieel haalbaar zijn. Mijnbouw zou helemaal niet mogen plaatsvinden, en ook bij opslagactiviteiten kan in principe op voorhand niet met zekerheid gesteld worden dat alles opnieuw verwijderd kan worden waardoor de opslagcapaciteit terug tot zijn oorspronkelijke niveau wordt gebracht. Het selecteren van locaties waar minder druk is op de diepe ondergrond blijkt in de praktijk ook een moeilijke kwestie. Vaak mikken verschillende activiteiten op dezelfde eigenschappen van de ondergrond (vb. doorlaatbaarheid), en de ruimte om uit te wijken naar een andere locatie in Vlaanderen is sowieso beperkt.

Zoals aangegeven door enkele stakeholders zijn kennis van de maatschappelijke noden en de impact van mogelijke activiteiten essentieel om een gedegen beheer van de diepe ondergrond te realiseren. Dit is dan ook de opzet van deze studie, opdat relevante handvaten hiervoor kunnen aangereikt worden aan beleidsmakers. De moeilijkheid hier is dat dit zeer complexe, interdisciplinaire materie betreft, gebaseerd op toekomstverkenningen waarbij bepaalde keuzes en veronderstellingen gemaakt moeten worden. VPO stelt daarom, bovenop deze genoemde principes, dat een duurzaam beheer om continue bijstelling vraagt op basis van voortschrijdend inzicht.

Ook monitoring van de mogelijke impact door activiteiten op de ondergrond en bovengrondse omgeving wordt genoemd door enkele stakeholders. Monitoring kan niet gezien worden als sturend principe waaruit een duurzaam beheer kan worden opgebouwd, maar biedt wel een goede ondersteuning voor het duurzaam beheren van de diepe ondergrond. Door grenswaarden te hanteren, kan monitoring aanleiding geven tot inperken van bepaalde activiteiten. Zoals aangehaald door de stakeholders is deze praktijk pas effectief wanneer een onafhankelijke regulator of handhaver de monitoringsresultaten actief opvolgt en actie onderneemt bij een eventuele overschrijding van de (voor dat project) vooropgestelde grenswaarden. Dit geldt voor alle spelers en activiteiten in de diepe ondergrond. Voor activiteiten die vallen onder het Decreet Diepe Ondergrond is het Departement Omgeving de onafhankelijke regulator (artikel 64). Voor alle reeds verleende vergunningen onder dit decreet zijn specifieke voorwaarden rond monitoring en rapportage opgenomen in de vergunningenbesluiten, die dan ook gehandhaafd worden door het Departement Omgeving.

REFERENTIES

FANC. (2024). Vervoer van radioactieve stoffen: rol van het FANC. Retrieved from https://fanc.fgov.be/nl/dossiers/vervoer-van-radioactieve-stoffen/vervoer-van-radioactieve-stoffen-rol-van-het-fanc

Artikel 16 in de Wet van 15 april 1994 betreffende de bescherming van de bevolking en van het leefmilieu tegen de uit ioniserende stralingen voortspruitende gevaren en betreffende het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle, (1994).

Koninklijk Besluit van 28 september 2006 waarbij aan de NV Fluxys, Kunstlaan 31, 1040 Brussel, een verlenging van de vergunningen verleend wordt voor het opsporen en exploiteren van een ondergrondse bergruimte in situ bestemd voor het opslaan van gas, in de streek van Loenhout, (2006).

Koninklijk besluit waarbij vergunning wordt verleend aan de NV Fluxys Belgium, Kunstlaan 31, 1040 Brussel, tot verzaking aan de opsporings- en exploitatievergunning verleend bij het koninklijk besluit van 10 oktober 1983, gewijzigd bij de koninklijke besluiten van 4 oktober 1991 en 12 mei 1995, voor het opsporen en exploiteren van een ondergrondse bergruimte in situ bestemd voor het opslaan van gas, in de streek gelegen ten zuidwesten van Turnhout, (2013).

GSEU. (2024). About Us. Retrieved from https://www.geologicalservice.eu/about-us

VEKA. (2024). Over het Vlaams Energie- en Klimaatagentschap (VEKA). Retrieved from https://www.vlaanderen.be/veka/over-het-vlaams-energie-en-klimaatagentschap-veka

Besluit van de Vlaamse Regering van 27 maart 1985 houdende reglementering van de handelingen binnen de watergebieden en de Beschermingszones, (1985).

Besluit van de Vlaamse Regering tot verlening van een opsporingsvergunning voor aardwarmte aan Janssen Pharmaceutica nv in de regio Beerse, (2018a).

Besluit van de Vlaamse Regering tot verlening van een opsporingsvergunning voor aardwarmte aan VITO nv in de regio Mol-Dessel, (2018b).

Besluit van de Vlaamse Regering tot verlenging van de opsporingsvergunning voor aardwarmte van Janssen Pharmaceutica nv in de regio Beerse, (2023a).

Besluit van de Vlaamse Regering tot verlenging van de opsporingsvergunning voor aardwarmte van VITO nv in de regio Mol-Dessel, (2023b).

BIJLAGEN

BIJLAGE 1 – VRAGENLIJST

6.4.1 Deel 1 – Stakeholderfiche

In het eerste deel van het interview proberen we het profiel van de stakeholder te schetsen. Wat is zijn positie t.o.v. de ondergrond, bij welke activiteiten is deze actor betrokken, …

- Basisinfo nakijken van de stakeholderfiche (maatschappelijke sfeer, missie & visie, sector)
- Waarom is uw organisatie een **stakeholder**[19] als het gaat over duurzaam beheer & gebruik van de (diepe) ondergrond?
- Wat is de **rol** of positie van uw organisatie t.o.v. de (diepe) ondergrond? (onderzoeker – drager – beleidsmaker – vergunningverlener – vergunninghouder – gebruiker – regulator)
    - Wat vindt u van de gedefinieerde rollen?
    - Ontbreekt er nog een rol in dit spectrum?
- Bij welke **activiteiten** in de diepe en ondiepe ondergrond is uw organisatie betrokken?
    - *'betrokken' = afhankelijk van type rol. Vergunninghouder voert zelf activiteiten uit, beleidsmaker geeft vorm aan beleidskader waarbinnen activiteiten kunnen plaatsvinden, drager ondervindt gevolgen van activiteiten,…*
    - Welke activiteiten zijn momenteel lopende?
    - Welke activiteiten zijn gepland in de toekomst?

6.4.2 Deel 2 – beheer & gebruik van de diepe ondergrond

In het tweede deel van het interview proberen we dieper in te gaan op wat deze stakeholder verstaat onder het (duurzaam) beheer & gebruik van de diepe ondergrond

6.4.2.1 Activiteiten in de diepe ondergrond

Verder gaand op het overzicht van mogelijke activiteiten in de (diepe) ondergrond, wordt er gepeild naar de noodzaak en wenselijkheid van activiteiten in de ondergrond.

- Welke activiteiten in de (diepe) ondergrond kunnen de werking van uw organisatie beïnvloeden? Of welke activiteiten beïnvloeden nu al de werking van uw organisatie?
- Welke mogelijke interactie ziet u tussen de (geplande) activiteiten in de ondergrond en wat er zich afspeelt bovengronds?
- Voor welke bovengrondse nood zijn activiteiten in de diepe ondergrond noodzakelijk?
    - M.a.w. indien het gebruik van de diepe ondergrond niet zou toegelaten worden, welke noden bovengronds zouden dan niet vervuld worden?
- Welke activiteiten zouden volgens u ook moeten kunnen plaatsvinden in de diepe ondergrond? (bovenop de activiteiten opgenoemd bij vorige vraag)
    - M.a.w. welke activiteit in de diepe ondergrond is strikt gezien niet kritiek voor een bovengrondse nood, maar kan toch verantwoord worden vanuit economisch, praktisch, maatschappelijk,… standpunt?

[19] Eender welke groep of eender welk individu dat beïnvloed wordt door de diepe ondergrond of zelf de diepe ondergrond beïnvloedt. Definitie ontleend aan de Geological Service for Europe.

- Welke activiteiten in de diepe ondergrond zouden u volgens u zeker niet moeten toegelaten worden? En waarom?
- Onder welke omstandigheden zou u de ondergrond niet ontwikkelen?

6.4.2.2 Netwerk

De interactie tussen de verschillende stakeholders m.b.t. activiteiten in de diepe ondergrond wordt verder in kaart gebracht.

- Met welke andere stakeholders heeft u(w organisatie) interactie m.b.t. het gebruik en beheer van de diepe ondergrond?

6.4.2.3 Data

We willen een beeld schetsen van de beschikbare en ontbrekende data over de diepe ondergrond in Vlaanderen.

- Wat voor type data verzamelt/beheert uw organisatie zelf over de (on)diepe ondergrond?
    - Hoe verzamelt uw organisatie die data?
    - Is deze data reeds beschikbaar voor andere stakeholders of niet?
- Ondervinden jullie zelf problemen met toegang tot nodige data over de ondergrond? Welke data ontbreekt voor jullie organisatie?
- Welke **data** zou kunnen bijdragen aan een **duurzaam beheer** & gebruik van de diepe ondergrond? En hoe?
- Moet informatie over (activiteiten in) de diepe ondergrond volgens u toegankelijk gemaakt worden voor stakeholders? Zo ja, welke stakeholders en hoe?

6.4.2.4 Beleid

Er wordt gepeild naar de verwachtingen van verschillende stakeholders rond het beleid i.v.m. de diepe ondergrond in Vlaanderen.

- Wat verwacht u van het **beleid** voor de (on)diepe ondergrond?
- Hoe moet dit beleid georganiseerd worden?
- Hoe kan het beleid volgens u de ontwikkeling van activiteiten, de maatschappelijke noden en mogelijke locaties optimaal op elkaar afstemmen, rekening houdend met aanvaarding door de bevolking/lokale gemeenschap?

6.4.2.5 Duurzaam beheer van de diepe ondergrond

In het laatste deel van het interview peilen we naar de visie van stakeholders over duurzaam beheer van de diepe ondergrond en welke aspecten volgens hen zeker wel/niet moeten meegenomen worden.

- Wat houdt een **duurzaam** beheer van de diepe ondergrond volgens u in?
- Wat zijn belangrijke aspecten & **effecten** waar hierbij volgens u rekening mee gehouden moet worden?
    - Type effecten?
    - Welke effecten zouden periodiek moeten opgevolgd worden?
- Welke **sociale** impact kan het gebruik van de diepe ondergrond hebben? En hoe kan of zou die sociale impact gemeten moeten worden?

BIJLAGE 2 – ZELFRAPPORTERING ROLLEN DOOR STAKEHOLDERS

	Drager	Onderzoeker	Beleidsadviseur	Beleidsmaker	Vergunningverlener	Vergunninghouder	Gebruiker	Handhaver
Bond Beter Leefmilieu	X		X					
FANC		X		X	X			X
Fluvius	X					X*		
Fluxys	X	X				X		
GSEU		X	X					
HITA	X	X				X		
Johnson&Johnson		X				X	X	
Koninklijke Sterrenwacht		X	X					X
KULeuven		X						
LAGO						X	X	
NIRAS	X	X	X			X	X	
Paul Vansteelandt								
Pidpa		X	X					
Provincie Antwerpen		X		X	X	X	X	
Provincie Limburg	X			X			X	
SCK-CEN	X	X				X	X	
Tuinbouwcluster Koekhoven						X	X	
VITO		X				X	X	
VMM	X	X	X					X

BIJLAGE 3 – ZELFRAPPORTERING ACTIVITEITEN DOOR STAKEHOLDERS

	Materialen	Water	Energie	Ruimte
Bond Beter Leefmilieu			x (*geothermie*)	x (*opslag van CO_2*)
FANC				
Fluvius				x (*opslag van aardgas, H_2 of CO_2*)
Fluxys				
GSEU				
HITA				
Johnson&Johnson				
Koninklijke Sterrenwacht				
KULeuven	x	x	x	x
LAGO				
NIRAS				X (*x*)
Paul Vansteelandt			x	
Pidpa		X (*grond-, drink- en industrieel water)*	x (*geothermie*)	
Provincie Antwerpen				
Provincie Limburg				
SCK-CEN				X (*berging nucleair afval*)
Tuinbouwcluster Koekhoven				
VITO			X (*geothermie)*	x (*opslag van aardgas*)
VMM		x	x (*geothermie*)	

x = deze stakeholder voert onderzoek naar, is betrokken bij, of toont interesse in, deze activiteiten, maar exploiteert zelf deze activiteiten niet.
X = deze stakeholder exploiteert deze activiteit zelf. (nu, of in de toekomst)

BIJLAGE 4 – NETWERK VAN DE STAKEHOLDERS

	Stakeholder	Netwerk (*nieuwe stakeholders)*
Drager	Bond Beter Leefmilieu	VITO *Bouwmeester, VVSG*
	Fluvius	/ (vooral contacten voor de ondiepe ondergrond)
	Pidpa	VMM
	VMM	SCK-CEN, VITO, Janssen Pharmaceutica, Pidpa, Hita, VPO *Watergroep, TNO, Rijkswaterstaat*
Onderzoeker	KU Leuven	Beleidsmaker, handhaver, drager
	NIRAS	FANC, SCK-CEN,VITO *Belgische Geologische Dienst, Universiteiten, FOD Economie*
	SCK CEN	NIRAS, FANC, VITO, VMM, *Belgische Geologische Dienst*
	VITO	Hita, SCK-CEN, NIRAS, VPO *Elvin Solutions, Ertwerk, VEK, Mol, Dessel*
Beleidsmedewerker/ Vergunningsbehandelaar	FANC	Janssen Pharmaceutica, VITO, NIRAS, SCK-CEN, VMM *OVAM, Helmholtz, Belgische Geologische Dienst, SPAQUE, NEA, EURATOM*
Beleidsmaker/ Vergunningverlener	Provincie Antwerpen	VITO *Universiteiten (UAntwerpen)*
	Provincie Limburg	Hita, VITO LRM, N.V. Kempische Steenkoolmijnen en N.V. Mijnen
Vergunninghouder	Fluxys	Janssen Pharmaceutica, Hita, Tuinbouwcluster Koekhoven, Koninklijke Sterrenwacht van België, KU Leuven *Belgische Geologische Dienst, lokale besturen, FOD Economie, universiteiten (UGent), Geostock*
	Hita	VITO, Fluxys, Janssen Pharmaceutica, VPO *Burgers (omwonenden), Turnhout, Herentals, Lommel, LRM*
	Janssen Pharmaceutica	Fluxys
	LAGO	VITO, VPO, VMM *Notus Pid*
	NIRAS	FANC, SCK-CEN,VITO *Belgische Geologische Dienst, Universiteiten, FOD Economie*

	Tuinbouwcluster Koekhoven	VPO
	VITO	Hita, SCK-CEN, NIRAS, VPO *Elvin Solutions, Ertwerk, VEK, Mol, Dessel*
Handhaver	FANC	Janssen Pharmaceutica, VITO, NIRAS, SCK-CEN, VMM *OVAM, Helmholtz, Belgische Geologische Dienst, SPAQUE, NEA, EURATOM*
Observator	Koninklijke Sterrenwacht van België	
	VMM	SCK-CEN, VITO, Janssen Pharmaceutica, Pidpa, Hita, VPO *Watergroep, TNO, Rijkswaterstaat*

BIJLAGE 5 – STAKEHOLDERFICHES

Bond Beter Leefmilieu

Maatschappelijke sfeer	Maatschappelijk middenveld
Officiële missies & visies	Bond Beter Leefmilieu verenigt en vertegenwoordigt natuur- en milieuverenigingen en versterkt de stem van alle milieubewuste koplopers in Vlaanderen. Samen met hen initiëren en stimuleren we de transitie naar een duurzame samenleving met een volledig hernieuwbare, circulaire economie. We maken dit concreet door met burgers, bedrijven en overheden aan haalbare en innovatieve oplossingen te werken. We laten de stem van actieve burgers en groeperingen luider klinken. We inspireren en activeren hen met informatie en campagnes. Bedrijven ondersteunen we in het vinden van milieuvriendelijke oplossingen en het creëren van een markt hiervoor. Door overleg, onafhankelijk advies en opinievorming geven we richting aan het beleid van overheden. Bron: https://www.bondbeterleefmilieu.be/onze-missie-werking
Sector(en)	Mobiliteit; Ruimtelijke ordening; Energie en klimaat; Economie; Landbouw en natuur; Gezondheid
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	…de Bond Beter Leefmilieu als doel heeft om de samenleving klimaatneutraal te maken, en daarbij kan de ondergrond een belangrijke rol spelen. Hoe de ondergrond beheerd en ingezet wordt, kan een (positieve of negatieve) invloed hebben op de transitie van Vlaanderen naar een circulaire economie, meer hernieuwbare energie en de invulling van onze omgeving.
Rol t.o.v. ondergrond	**Drager** (de activiteiten die plaatsvinden in de diepe ondergrond hebben gevolgen voor de leefbaarheid in de omgeving en hebben invloed op de transitie van Vlaanderen richting klimaatneutraliteit)
Activiteiten in de ondergrond	Bond Beter Leefmilieu voert zelf geen activiteiten uit in de diepe ondergrond. Bond Beter Leefmilieu heeft in haar beleidswerk wel aandacht voor volgende activiteiten: - Geothermische activiteiten - Opslag van CO_2 - Grondstofwinning (vnl. zand en klei = ondiepe ondergrond) - Grondwater

FANC

Maatschappelijke sfeer	Overheid
Officiële missies & visies	Het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) is de Belgische nucleaire veiligheidsautoriteit die instaat voor de bescherming van de werknemers, de bevolking en het milieu tegen de risico's van ioniserende straling. Het FANC vervult activiteiten in de domeinen van nucleaire veiligheid, beveiliging, safeguards en stralingsbescherming, voor alle nucleaire en radiologische activiteiten in België. En dit zowel voor de risico's verbonden aan natuurlijke als aan kunstmatige radioactiviteit. *Bron: https://fanc.fgov.be/nl/over-ons/wie-zijn-wij*
Sector(en)	Nucleaire veiligheid; Radioactief afvalbeheer; Stralingsbescherming
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… het FANC instaat voor de veiligheid verbonden aan nucleaire en radiologische activiteiten in België. De mogelijke bergingvan nucleair afval in de (diepe) ondergrond maakt het FANC bijgevolg stakeholder.
Rol t.o.v. ondergrond	**Beleidsmedewerker** (De beleidsmedewerker stelt een ontwerp op voor een beleidsinstrument, dat vervolgens moet goedgekeurd worden door de beleidsmaker. Het FANC vervult die taak o.a. door het opstellen van een wettelijk kader voor het verlenen van een vergunning voor de berging van nucleair afval en voor het beheer van natuurlijke stralingsbronnen bij diepe geothermie.) **Vergunningsbehandelaar** (De vergunningsbehandelaar controleert en behandelt de aanvraag (volledigheidsscreening, toetsing van vergunningscriteria en inhoudelijke onderbouwing,…) en stelt een ontwerp van vergunning op, waarbij de nodige randvoorwaarden worden gedefinieerd. Het FANC is bevoegd om vergunningen af te leveren voor nucleaire installaties, voor het vervoer van radioactieve stoffen, en de beroepsactiviteiten waarbij natuurlijke stralingsbronnen worden aangewend.) **Handhaver** (Als handhaver zou het FANC moeten toezien dat de opgelegde vergunningsvoorwaarden voor de berging van nucleair afval worden nageleefd.) **Observator** (Het FANC ziet ook toe op de naleving van NORM-aspecten in vergunningen voor verschillende activiteiten in de diepe ondergrond. Dit gaat over het naleven van voorzorgmaatregelen bij het handelen met natuurlijke radioactieve materialen, bv. protocollen om filters regelmatig te vervangen.)
Activiteiten in de ondergrond	Berging van nucleair afval en beheer van natuurlijke stralingsbronnen

Fluvius

Maatschappelijke sfeer	Markt
Officiële missies & visies	Fluvius is een netbedrijf dat werkt in alle Vlaamse steden en gemeenten. Fluvius bouwt en beheert de publieke nutsleidingen in de straat die elektriciteit, aardgas, riolering en warmte tot bij onze klanten brengen. Fluvius beheert ook de openbare verlichting in de Vlaamse steden en gemeenten. Fluvius heeft als missie om onze samenleving duurzaam te verbinden met multi-utility netwerken. Multi-utility verwijst hierbij naar de brede waaier aan nutsvoorzieningen waar Fluvius op inzet. Fluvius streeft ernaar om dé werkmaatschappij te worden voor de meeste nutssectoren in Vlaanderen. *Bron:* *https://over.fluvius.be/nl/over-ons/wie-is-fluvius-en-wat-doen-we-voor-jou* *https://over.fluvius.be/nl/over-ons/onze-missie-visie-waarden-charters*
Sector(en)	Energie
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… Fluvius als netbedrijf instaat voor de distributie van aardgas en warmte. Zo kan Fluvius een rol spelen bij verschillende activiteiten in de (on)diepe ondergrond, zoals de uitrol van warmtenetten in Vlaanderen of de opslag van aardgas.
Rol t.o.v. ondergrond	**Drager** (Fluvius heeft heel wat belangrijke en risicovolle leidingen in de ondiepe ondergrond of bovengrond. Fluvius is dan ook drager van eventuele gevolgen (bv. trillingen) van activiteiten in de diepe ondergrond.)
Activiteiten in de ondergrond	Geen in de diepe ondergrond

Fluxys

Maatschappelijke sfeer	Markt
Officiële missies & visies	Sinds de oprichting van ons bedrijf in 1929 tot vandaag streven we een diepgeworteld doel na: mensen, bedrijven en de samenleving voorzien van energie. We brengen de energie daar waar ze nodig is. Met bijna een eeuw ervaring in gasvervoer bouwen we nu voluit aan een multi-moleculehub voor een koolstofneutrale toekomst. We transporteren aardgas en zijn klaar voor het vervoer van waterstof, biomethaan of andere koolstofarme energiedragers en voor het vervoer van CO_2, waarbij we de afvang en het hergebruik of de opslag ervan ondersteunen. De energietransitie staat centraal in onze strategie. Onze onderneming en onze infrastructuur dienen als facilitator en accelerator in de transitie naar de energiemix van morgen, een energiemix die zal bestaan uit koolstofarme molecules zoals hydrogen en uit hernieuwbare elektriciteit (zon en wind). Ook de afvang, het hergebruik of de opslag van CO_2 is een deel van de oplossingen die nodig zijn om tegen 2050 doelstelling van koolstofneutraliteit te bereiken. *Bron: https://www.fluxys.com/nl/about-us*
Sector(en)	Energie
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… Fluxys momenteel reeds de opslag van aardgas beheert, als energie-infrastructuurgroep. Rekening houdend met de energietransitie in de toekomst, onderzoekt fluys ook de mogelijkheid tot opslag van waterstof. Dit zijn activiteiten die in de diepe ondergrond in Vlaanderen kunnen plaatsvinden.
Rol t.o.v. ondergrond	**Vergunningsadviseur** (In de vergunning verleend aan Fluxys staat beschreven dat er een meldingsplicht is aan Fluxys wanneer activiteiten worden aangevraagd in een bepaalde omtrek rond hun activiteit) **Vergunninghouder** (Fluxys beheert en exploiteert vandaag de gasopslagsite in Loenhout.)
Activiteiten in de ondergrond	Huidige activiteit: - Opslag van aardgas Mogelijke activiteit in de toekomst: - Opslag van waterstof - Tijdelijke opslag van CO_2 (gevolgd door transport van CO_2 naar buitenlandse opslag)

HITA

Maatschappelijke sfeer	Markt
Officiële missies & visies	HITA is een jong en ambitieus bedrijf dat zich richt op de ontwikkeling van diepe geothermie. Met HITA willen we meer dan 1000 m diep boren om zo de natuurlijke warmte van de aarde te kunnen gebruiken voor warmtenetten en elektriciteitsproductie. Het businessmodel van HITA zorgt ervoor dat gemeenten en bedrijven gefaseerd kunnen instappen in een diepe geothermie project en dat steeds met een beperkt risico.
Sector(en)	Energie; Geothermie
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… HITA zich als bedrijf richt op de ontwikkeling van diepe geothermie. Hoe de (on)diepe ondergrond wordt beheerd, heeft dus een invloed op de ontwikkeling van de activiteiten van dit bedrijf.
Rol t.o.v. ondergrond	**Vergunninghouder** (HITA is projectontwikkelaar: ze ondersteunt bedrijven bij de opstart en ontwikkeling van diepe geothermie projecten, en helpt hen bij de aanvraag van deze projecten. HITA is op deze manier betrokken bij het traject van andere stakeholders (zowel private als publieke spelers) om vergunninghouder te worden.)
Activiteiten in de ondergrond	Geothermische energie

Janssen Pharmaceutica

Maatschappelijke sfeer	Markt
Officiële missies & visies	"At Johnson & Johnson, we believe health is everything. Our strength in healthcare innovation empowers us to build a world where complex diseases are prevented, treated and cured, treatments are smarter and less invasive and solutions are personal." *Bron: https://www.jnj.com/discover-j-j* "De Janssen Campus in België is een belangrijke innovatiehub die deel uitmaakt van de farmaceutische bedrijven van Johnson & Johnson. Het is een unieke mix van expertise, vaardigheden en partnerschappen op het vlak van onderzoek en ontwikkeling (R&D), productie en de lancering van nieuwe geneesmiddelen." *Bron: https://www.janssen.com/belgium/nl/discover-janssen*
Sector(en)	Gezondheid; Farmacie; Onderzoek
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… Janssen Pharmaceutica investeerde in diepe geothermie om de eigen energiebehoefte te kunnen voldoen.
Rol t.o.v. ondergrond	**Vergunninghouder** (Janssen Pharmaceutica heeft een opsporingsvergunning voor de opsporing van aardwarmte op de bedrijfssite in Beerse) **Gebruiker** (Janssen Pharmaceutica zal zelf gebruiker zijn van de geothermische warmte die ze zelf onttrekken uit hun geothermische activiteit)
Activiteiten in de ondergrond	Geothermische energie (open multi-well geothermisch systeem voor rechtstreeks warmtegebruik)

Koninklijke Sterrenwacht van België

Maatschappelijke sfeer	Kennisinstelling
Officiële missies & visies	"De Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB) is een onderzoeksinstelling die ook een aantal opdrachten van publieke dienstverlening vervult. Het is een Federale Wetenschappelijke Instelling (FWI) die tot de POD Federaal Wetenschapsbeleid ("Belspo") behoort. Sinds 2010 is er een indeling in vier grote onderzoeksthema's: Referentiesystemen en Planetologie, Seismologie en Gravimetrie, Astronomie en Astrofysica, Zonnefysica en Ruimteweer. " "Als overheidsdienst binnen een Federale Wetenschappelijke Instelling bestaan de belangrijkste taken van de afdeling seismologie uit het conserveren, ontwikkelen, bestuderen en valoriseren van het wetenschappelijk patrimonium inzake de studie van aardbevingen in België en in de wereld. Eén van de activiteiten van deze afdeling is dan ook toezicht houden op de seismische activiteit in België en grensgebieden." Bron*: https://www.astro.oma.be/nl/wetenschappelijk-onderzoek/seismologie/*
Sector(en)	Onderzoek; Seismologie; Gravimetrie
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… de afdeling Seismologie en Gravimetrie seismische activiteit in België (en de grensgebieden) nauwgezet monitort en opvolgt. Activiteiten in de diepe ondergrond kunnen mogelijke seismische activiteit veroorzaken en bijgevolg is de Koninklijke Sterrenwacht (de afdeling Seismologie en Gravimetrie in het bijzonder) een belangrijke stakeholder bij ontwikkeling van de diepe ondergrond.
Rol t.o.v. ondergrond	**Observator** (Activiteiten in de diepe ondergrond kunnen mogelijke seismische activiteit veroorzaken, en bijgevolg is de Sterrenwacht een observator van de (potentiële) gevolgen van activiteiten in de diepe ondergrond. De Sterrenwacht moet rapporteren aan het crisiscentrum van FOD Binnenlandse Zaken, die actie moeten ondernemen indien nodig.)
Activiteiten in de ondergrond	De Koninklijke Sterrenwacht van België oefent zelf geen activiteiten uit in de diepe ondergrond.

KU Leuven

Maatschappelijke sfeer	Kennisinstelling
Officiële missies & visies	"Van de inzichten van Erasmus tot innovatieve nanotechnologie: als een van de oudste universiteiten van Europa kent de KU Leuven een lange traditie van baanbrekend wetenschappelijk onderzoek en kwalitatief hoogstaand onderwijs." "De Faculteit Wetenschappen biedt haar studenten opleidingen van een internationaal topniveau in alle disciplines van de exacte wetenschappen aan. De faculteit voedt en objectiveert met gefundeerde standpunten en kennis het maatschappelijke debat over actuele wetenschappelijke thema's. " *Bron: https://www.kuleuven.be/over-kuleuven/ & https://wet.kuleuven.be/visie-en-beleid/facultair-beleidsplan/missie-en-visie*
Sector(en)	Onderzoek; onderwijs
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… KU Leuven (Faculteit Wetenschappen) onderzoek doet naar de diepe ondergrond in Vlaanderen.
Rol t.o.v. ondergrond	Onderzoeker *(*KU Leuven heeft een onderzoeksgroep 'Geologie' (Faculteit Wetenschappen) die onderzoek doet over de diepe ondergrond, zowel in Vlaanderen als Wallonië. Tijdens het interview werd benadrukt dat KU Leuven niet enkel een onderzoeks-, maar ook onderwijsinstelling is.)
Activiteiten in de ondergrond	De KU Leuven oefent zelf geen activiteiten uit in de diepe ondergrond.

LAGO

Maatschappelijke sfeer	Markt
Officiële missies & visies	"Lago heeft 13 (subtropische) zwemparadijzen in o.a. Gent, Kortrijk, Brugge, Sint-Truiden,… en 4 fitnesscentra. LAGO stoelt op vijf waarden die perfect matchen met wie we zijn en waar we voor staan, namelijk: veilig, vooruitstrevend, vlekkeloos, warm en plezierig." "Onze zin voor innovatie ontdek je bij de unieke wildwaterbanen. Door in te zetten op een vlekkeloze service en infrastructuur bieden we onze bezoekers een zorgeloze totaalbeleving. We zetten sterk in op een lekker warme watertemperatuur en willen voor onze medewerkers ook een warm bedrijf zijn." *Info gevonden op: https://www.lago.be/zwemparadijzen/over-lago*
Sector(en)	Recreatie
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… Lago bezig is met de bouw van een nieuw complex in Bredene, dat verwarmd zal worden dankzij geothermie. Via die geothermie wordt warmte uit de bodem onttrokken en met elektrische warmtepompen in het volledige gebouw verspreid.
Rol t.o.v. ondergrond	**Vergunninghouder** (In Bredene wordt een nieuw complex gebouwd, dat verwarmd zal worden dankzij diepe geothermie. De bouw van het nieuw zwembadcomplex is al gestart, maar de aanvraag voor het diepe geothermieproject is nog lopende. De bedoeling is dus dat LAGO op korte termijn ook vergunninghouder zal worden voor een activiteit in de diepe ondergrond, nl. diepe geothermie.) **Gebruiker** (LAGO mikt erop om in de nabije toekomst vergunninghouder en gebruiker te worden van het single hole diepe geothermie project in Bredene, om het zwembad te verwarmen.)
Activiteiten in de ondergrond	Single hole geothermische systemen

NIRAS

Maatschappelijke sfeer	Overheid
Officiële missies & visies	NIRAS is de Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen, die sinds 1980 verantwoordelijk is voor het veilige beheer van radioactief afval in België. NIRAS, de Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen, is de openbare instelling die bij wet is opgericht om het radioactieve afval en de overtollige splijtstoffen in België te beheren. Hoewel de opdrachten van NIRAS ruimer zijn (inventarissen, adviserende rol, saneringsactiviteiten, beheer van wees-bronnen, enz.) dan enkel het beheer van radioactief afval en overtollige splijtstoffen, staan deze opdrachten steeds in relatie met de dienst die NIRAS, als beheerder van al het radioactieve afval en volgens het principe 'de vervuiler betaalt', levert aan de gemeenschap.
Sector(en)	Radioactief afvalbeheer; nucleaire veiligheid
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… NIRAS instaat voor het veilig beheer van radioactief afval in België. De mogelijke berging van nucleair afval in de (diepe) ondergrond maakt NIRAS bijgevolg stakeholder.
Rol t.o.v. ondergrond	**Onderzoeker** (NIRAS voert onderzoek naar de mogelijke berging van nucleair afval in de (on)diepe ondergrond. Het SCK-CEN en NIRAS richten samen het economisch samenwerkingsverband Euridice op, dat het ondergrondse onderzoekslaboratorium HADES in Mol beheert. Dit onderzoekslaboratorium bevindt zich op 200 m diepte (ondiepe ondergrond).) **Vergunninghouder** (Voor het onderzoekslaboratorium, in samenwerking met SCK-CEN via het samenwerkingsverband EURIDICE, verleende de minister van Binnenlandse Zaken (na advies van FANC) een vergunning aan NIRAS.)
Activiteiten in de ondergrond	Berging van nucleair afval (momenteel in ondiepe ondergrond)

Expert uit mijnwezen

Maatschappelijke sfeer	Burgers & Overheid (*vroeger gewerkt bij verschillende overheidsinstanties*)
Officiële missies & visies	n.v.t.
Sector(en)	Natuurlijke rijkdommen; Energie; Mijnwezen; Ruimtelijke Ordening; Leefmilieu
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… deze expert heel wat expertise heeft verzameld over (verschillende activiteiten in) de diepe ondergrond tijdens zijn loopbaan. De person was actief bij Ministerie van Economische Zaken in het mijnwezen en werkte nadien bij de afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, waar hij ook afdelingshoofd werd. Hij zorgde ook mee voor de opstart van de Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV). Hij startte ook mee het Vlaams Kenniscentrum voor de Ondergrond (VLAKO) op bij VITO. Ook na zijn actieve loopbaan is deze expert nog betrokken bij onderzoek in de ondergrond. Hij werkt mee aan het indienen van een SBO-dossier voor de exploratie van het Massief van Brabant voor de winning van de aardwarmte met nieuwe technieken.
Rol t.o.v. ondergrond	**Onderzoeker** (Deze expert is één van de initiatiefnemers van het SBO-dossier, om de mogelijkheden voor diepe geothermie in Massief van Brabant te onderzoeken. Hiervoor wordt samengewerkt met VITO en UGent.)
Activiteiten in de ondergrond	Als onderzoeker is deze expert vandaag vooral betrokken bij activiteiten m.b.t. diepe geothermie. Nadruk wordt ook gelegd op exploratie als activiteit, voordat de diepe ondergrond wordt ontwikkeld.

Pidpa

Maatschappelijke sfeer	Overheid (opdrachthoudende vereniging)
Officiële missies & visies	Missie: "Samen geven wij vorm aan de toekomst van onze natuurlijke rijkdom: water." Doelstellingen: •zekerheid van water garanderen •door het ontwikkelen en het uitdragen van expertise op vlak van duurzaam integraal waterbeheer in Vlaanderen en daarbuiten •door te zorgen voor een stabiel integraal waterbeheer hetzij in eigen beheer, hetzij in partnership met anderen •door een context van verbondenheid te creëren voor haar werknemers die willen bijdragen aan haar maatschappelijke intentie. *(Bron: https://www.pidpa.be/over-pidpa/wie-zijn-wij/missie-en-doelstellingen)*
Sector(en)	Watervoorziening- en behandeling Integraal waterbeheer (incl. riolering, industriële watervoorziening,…)
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… pidpa zelf activiteiten uitoefent in de ondergrond. Pidpa wint drinkwater uit de (ondiepe) ondergrond, en andere activiteiten in de diepe of ondiepe ondergrond kunnen op hun beurt de kwaliteit van het water beïnvloeden.
Rol t.o.v. ondergrond	**Drager** (De activiteiten van pidpa als waterketenbedrijf bevinden zich vooral in de ondiepe ondergrond. Ze ondervinden echter wel de gevolgen van activiteiten die plaatsvinden in de diepe ondergrond.) **Vergunningsadviseur** (Pidpa verleent advies voor vergunningsplichtige activiteiten die plaatsvinden in beschermingszones type I, II en III.)
Activiteiten in de ondergrond	Pidpa oefent zelf geen activiteiten uit in de diepe ondergrond.

Provincie Antwerpen

Maatschappelijke sfeer	Overheid
Officiële missies & visies	-
Sector(en)	Provincie
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… verschillende activiteiten in de diepe ondergrond in de provincie Antwerpen kunnen ontwikkeld worden in de toekomst. De Provincie Antwerpen speelt hierbij een rol als beleidsmaker en vergunningverlener, maar kan ook stakeholder zijn als gebruiker van diensten of goederen afkomstig uit de diepe ondergrond.
Rol t.o.v. ondergrond	**Beleidsmaker** (Relevante bevoegdheden van de provincie m.b.t. de diepe ondergrond zijn het beleid rond ruimtelijke planning (op provinciaal niveau) en water.) **Vergunningverlener** (De provincie is bevoegd om vergunningen af te leveren i.v.m. de omgevingsaspecten, zoals het verlenen van een vergunning voor de eventuele bovengrondse infrastructuur, nodig bij sommige activiteiten in de diepe ondergrond (Dienst Omgevingsvergunningen).) **Vergunningsadviseur** **(**De provincie wordt om advies gevraagd bij de aanvraag voor een vergunning voor een bepaalde activiteit in de diepe ondergrond, in hun provincie.)
Activiteiten in de ondergrond	De provincie oefent zelf geen activiteiten uit in de diepe ondergrond.

Provincie Limburg

Maatschappelijke sfeer	Overheid
Officiële missies & visies	-
Sector(en)	Provincie
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… verschillende activiteiten in de diepe ondergrond in de provincie Antwerpen kunnen ontwikkeld worden in de toekomst. De Provincie Antwerpen speelt hierbij een rol als beleidsmaker en vergunningverlener, maar kan ook stakeholder zijn als gebruiker van diensten of goederen afkomstig uit de diepe ondergrond.
Rol t.o.v. ondergrond	**Beleidsmaker** (Relevante bevoegdheden van de provincie m.b.t. de diepe ondergrond zijn het beleid rond ruimtelijke planning (op provinciaal niveau) en water.) **Vergunningverlener** (De provincie is bevoegd om vergunningen af te leveren i.v.m. de omgevingsaspecten, zoals het verlenen van een vergunning voor de eventuele bovengrondse infrastructuur, nodig bij sommige activiteiten in de diepe ondergrond (Dienst Omgevingsvergunningen).) **Vergunningsadviseur** **(**De provincie wordt om advies gevraagd bij de aanvraag voor een vergunning voor een bepaalde activiteit in de diepe ondergrond, in hun provincie.)
Activiteiten in de ondergrond	De provincie oefent zelf geen activiteiten uit in de diepe ondergrond.

SCK CEN

Maatschappelijke sfeer	Kennisinstellingen
Officiële missies & visies	SCK CEN (Studiecentrum voor Kernenergie, Centre d'étude de l'énergie nucléaire) is één van de grootste onderzoeksinstellingen in België. Als stichting van openbaar nut breidt het voortdurend hightech kennis in verscheidene nucleaire domeinen uit. SCK CEN wil zijn enorme ervaring omzetten naar concrete oplossingen en industriële toepassingen voor een belangrijke uitdaging die relevant is in de context van dit project: het beheer van kernafval.
Sector(en)	Nucleaire toepassingen
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… het SCK-CEN als onderzoekscentrum bezig is met onderzoek naar nucleaire toepassingen in onze samenleving, o.a. onderzoek naar de mogelijkheid om nucleair afval in de diepe ondergrond te bergen (in opdracht/samenwerking met NIRAS/ONDRAF).
Rol t.o.v. ondergrond	**Onderzoeker** (Het SCK CEN onderzoekt via een publiek-private samenwerking (PPS) met NIRAS de mogelijkheid om radioactief afval in de toekomst diep in de ondergrond te bergen.) **Vergunninghouder** (In het kader van de PPS met NIRAS, is er een onderzoekslaboratorium op 200 m diepte voor de berging van nucleair afval (HADES), op de EURIDICE site. EURIDICE (een vennootschap van SCK CEN-NIRAS) treedt hierbij op als vergunninghouder.)
Activiteiten in de ondergrond	Berging van nucleair afval (onderzoekslaboratorium HADES in de ondiepe ondergrond) (Bredere interesse in weinig verharde klei in de Vlaamse ondergrond in het kader van het Belgische programma berging radioactief afval)

Tuinbouwcluster Koekhoven

Maatschappelijke sfeer	Markt
Officiële missies & visies	De tuinbouwcluster Koekhoven in Merksplas verenigt verschillende glastuinbouwbedrijven in de regio, die willen onderzoeken hoe ze op een duurzame manier aan hun warmtevraag kunnen voldoen in de toekomst. Tomeco BV en Den Berk Délice, beiden tomatentelers, zijn initiatiefnemers van de cluster.
Sector(en)	Tuinbouw
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… het gebruik van geothermische warmte (toekomstgericht) onderzocht wordt voor de tuinbouwcluster.
Rol t.o.v. ondergrond	**Vergunninghouder** (De cluster wil (in de toekomst) vergunninghouder worden van diepe geothermie, om op een duurzame manier aan de warmtevraag te voldoen van de glastuinbouwbedrijven verenigd in de cluster.) **Gebruiker** (De cluster wil ook zelf gebruiker worden van de geothermische warmte.)
Activiteiten in de ondergrond	Geothermie

VITO

Maatschappelijke sfeer	Kennisinstelling
Officiële missies & visies	VITO is een Vlaamse onafhankelijke onderzoeksorganisatie op het gebied van cleantech en duurzame ontwikkeling. Ons doel? De transitie versnellen naar een duurzame wereld. We versnellen de transitie naar een duurzame wereld. We verkleinen het innovatierisico voor bedrijven en versterken het economische en maatschappelijke weefsel van Vlaanderen met interdisciplinair onderzoek en grootschalige proefinstallaties. *Bron: https://vito.be/nl*
Sector(en)	Onderzoek; chemie; landgebruik; gezondheid; energie; materialenbeheer
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… VITO onderzoek doet om de (on)diepe ondergrond in Vlaanderen in kaart te brengen, onderzoek doet naar de ontwikkeling van bepaalde activiteiten en ook activiteiten in de (on)diepe ondergrond zelf beheert en uitvoert. VITO is sinds 2000 een actieve partner van de Vlaamse overheid voor het in kaart brengen van de (on)diepe ondergrond vanaf het oppervlakte tot een diepte van 5-6 km. VITO doet onderzoek naar de ontwikkeling van geothermische energiesystemen als vorm van duurzame energie, maar ook voor andere toepassingen zoals gasopslag, grondwater,…. VITO beheert ook zelf een geothermiecentrale.
Rol t.o.v. ondergrond	**Onderzoeker** (naar de mogelijkheden van activiteiten in de diepe ondergrond zoals geothermie, gasopslag en grondwater) **Vergunninghouder** (van een vergunning om geothermische activiteiten uit te voeren) **Gebruiker** (van de geothermische warmte)
Activiteiten in de ondergrond	Geothermische toepassingen; opslag van aardgas; winning van grondstoffen (methaan); grondwater (opslag van CO_2 en hydraulische energieopslag zijn in het verleden door VITO onderzocht, maar nu niet meer)

Vlaamse Milieu Maatschappij

Maatschappelijke sfeer	Overheid
Officiële missies & visies	De VMM wil een positieve impact hebben op de Vlaamse leefomgeving en er mee voor zorgen dat die klimaatbestendig wordt. Samen met partners en belanghebbenden gaan we ervoor om resultaten te behalen op het terrein, in het beleid en om snel in te spelen op de veranderende maatschappelijke noden. Het is de missie van de VMM om voor de huidige en toekomstige generaties in Vlaanderen: proper, aantrekkelijk en voldoende water te waarborgen, gezonde lucht te bewerkstelligen, en de klimaatadaptatie mee te sturen. Waarvoor we gaan, omschrijven we in onze visie: 'De VMM, jouw oplossingsgerichte partner voor een klimaatbestendige leefomgeving.' *Bron: https://www.vmm.be/over-vmm*
Sector(en)	Klimaat (grondwaterbeleid & luchtbeleid)
Stakeholder voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond omdat…	… de VMM is de bevoegde instantie voor het water- en luchtbeleid in Vlaanderen. De VMM neemt een rol op in de verschillende stappen van het beleidsproces (meten, plannen, actie nemen, evalueren). De activiteiten die worden beoefend in de ondergrond kunnen een impact hebben op de water- en luchtkwaliteit in Vlaanderen, en bijgevolg is de VMM stakeholder.
Rol t.o.v. ondergrond	**Drager** (het is de missie van VMM om te garanderen dat er voldoende grondwater is, dus activiteiten die een impact hebben op het grondwater, hebben een impact op VMM) **Observator** (De VMM staat in voor het meten en monitoren van de water- en luchtkwaliteit in Vlaanderen. Deze kan mogelijk beïnvloed worden door activiteiten die plaatsvinden in de diepe ondergrond, zoals gasopslag of diepe geothermie. Daarnaast moeten boorbedrijven die een boring doen in Vlaanderen, ook erkend zijn door de VMM.)
Activiteiten in de ondergrond	De VMM oefent zelf geen activiteiten uit in de diepe ondergrond.



D3 Principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Deelrapport 3

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

D3. Principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Dit rapport geeft een weergave van de principes, criteria en indicatoren die toegepast kunnen worden voor een duurzaamheidsevaluatie van het meervoudig gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Deze resultaten zijn tot stand gekomen door middel van een literatuurstudie, een Delphi-bevraging in twee ronden bij nationale en internationale experten een workshop met stakeholders die gehouden werd op 19 juni 2023.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Tine Compernolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Welkenhuysen – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Piessens – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Anne Bergmans – UAntwerpen | FSW

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Compernolle, T., Welkenhuysen, K., Piessens, K., Bergmans, A. (2025). D3. Principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond.* Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS


natural
sciences
.be


Since 1896
Geological Survey
of Belgium


Universiteit
Antwerpen

MANAGEMENTSAMENVATTING

Duurzame ontwikkeling en het meten van de vooruitgang op weg naar duurzaamheid zijn prioriteit geworden in wetenschappelijk onderzoek en op beleidsagenda's. Duurzaamheidsbeoordelingen zijn daarbij hulpmiddelen om beleidsmakers te helpen beslissen welke acties ze kunnen ondernemen (of niet) om de samenleving duurzamer te maken. Omdat duurzaamheid verschillende dimensies omvat (de typische dimensies zijn: economisch, milieu, en sociaal) en niet met één maatstaf te meten is, wordt er in voorliggend rapport een overzicht gegeven van de principes, criteria en indicatoren die gemeten kunnen worden om de verscheidenheid aan impact van het gebruik van de diepe ondergrond te bepalen en te beoordelen of deze impact als wenselijk beschouwd kan worden. Specifiek werd een ecologisch economische benadering gehanteerd met daarbij een expliciete erkenning van de geologische dimensie binnen deze evaluatie.

De principes voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond zijn als volgt gedefinieerd:

1. Principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen (P1)

Dit principe werd opgedeeld in twee deelprincipes en trapsgewijs gedefinieerd.

P1a. Principe van het behoud van hulpbronnen.

De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties.

Trap 1: voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn, betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (behoud van hulpbronnen).
Trap 2: voor niet-hernieuwbare geologische hulpbronnen moet de extractie van hulpbronnen gepaard gaan met de creatie van hernieuwbare equivalenten (koppeling van hulpbronnen).
Trap 3: als een winning van hulpbronnen (hernieuwbaar of niet) noodzakelijk is maar niet duurzaam kan zijn, dient deze winning de beschikbaarheid van hulpbronnen op de lange termijn te maximaliseren (verlenging van hulpbronnen).

P1b. Principe van het behoud van het assimilatievermogen

Het assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem moet behouden blijven voor toekomstige generaties.

Trap 1: de ontginningsschaal van geologische hulpbronnen dient beperkt te worden zodat de gerelateerde afvalstromen het hernieuwbare assimilatievermogen van de aarde als eco-systeem niet overschrijden (behoud van assimilatievermogen).
Trap 2: als assimilatieprocessen te traag zijn om hernieuwbaar beschouwd te worden, dan moet het verlies aan assimilatievermogen gepaard gaan met een actief herstel van dat vermogen (koppeling van assimilatievermogen).
Trap 3: indien activiteiten onvermijdelijk leiden tot niet-duurzame afvalstromen, dan moeten deze het verlies aan assimilatieve capaciteit op de lange termijn minimaliseren (assimilatieve capaciteitsverlenging).

2. Principe van efficiënte allocatie

Indien ontwikkeling van de diepe ondergrond wenselijk wordt geacht, moet dit worden gepland en uitgevoerd met het hoogste netto voordeel voor de samenleving.

3. Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling

Het gebruik van de ondergrond moet gepaard gaan met een eerlijke verdeling van kosten en baten binnen en tussen generaties.

Bovenstaande principes kunnen omschreven worden als 'inhoudelijk'. Zij hebben in hoofdzaak betrekking op de inhoud van de activiteit(en) in kwestie. Daarnaast worden er 3 bijkomende principes vooropgesteld die meer 'procesmatig' zijn. Zij hebben betrekking op bestuurlijke en beheeraspecten bij de ontwikkeling en uitvoering van de activiteit(en) in kwestie.

4. Principe van transparantie

Planning en ontwikkeling van de diepe ondergrond moeten op een transparante manier plaatsvinden. Dit omvat passende communicatie van data naar alle huidige en toekomstige belanghebbenden, en goed gegevensbeheer, geleid door zowel het FAIR-principe (vindbaar, toegankelijk, uitwisselbaar en herbruikbaar: Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) als het principe "zo open als mogelijk, zo gesloten als nodig".

5. Principe van inclusief bestuur

Zij die (mogelijk) gevolgen ondervinden van het gebruik van de diepe ondergrond moeten op passende wijze worden geïnformeerd, geraadpleegd en betrokken bij het besluitvormingsproces tijdens de planning, implementatie-, exploitatie- en ontmantelingsfasen van activiteiten in de ondergrond.

6. Principe van verantwoord risicobeheer

• Voorzorgsprincipe: activiteiten met een onzeker potentieel voor significante schade moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat de risico's voldoende gekwantificeerd zijn.
• Preventieprincipe: activiteiten die significante schade met zich meebrengen, moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat de significante risico's of schade voldoende gemitigeerd zijn.

Voor elk van deze principes werden criteria en indicatoren bepaald. Dit rapport biedt een eerste stap in een levend proces van verdere toetsing en verfijning in de praktijk. In Deliverable 7 worden enkele van deze indicatoren gemeten en gebruikt om verschillende beleidsscenario's voor het gebruik van de diepe ondergrond te evalueren.

INHOUDSTAFEL

1 Inleiding 7
2 Principes, criteria en indicatoren voor het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen 12
2.1 Principe 1. principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen 12
Criteria en indicatoren verbonden aan principe 1 15
2.2 Principe 2. Principe van efficiënte allocatie 19
Criteria en indicatoren verbonden aan principe 2 20
2.3 Principe 3. Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling 23
Criteria en indicatoren verbonden aan principe 3 24
2.4 Principe 4. Principe van transparantie 26
Criteria en indicatoren verbonden aan principe 4 27
2.5 Principe 5. Principe van inclusief bestuur 29
Criteria en indicatoren verbonden aan principe 5 30
2.6 Principe 6. Principe van verantwoord risicobeheer 31
Criteria en indicatoren verbonden aan principe 6 32
3 Het opstellen van een evaluatiekader gekoppeld aan Principes, criteria, en indicatoren. 34
3.1 Het beslisboommodel 34
3.2 De Impactevaluatie 34
4 Conclusie 36
Referenties 37

1 INLEIDING

Vergelijkbaar met ecosystemen bovengronds kan de ondergrond worden beschouwd als een geosysteem, een complex, onderling verbonden systeem, dat levensondersteunende, regulerende, culturele en voorzienende diensten levert. Momenteel worden er verschillende activiteiten op verschillende diepten onderzocht en ontwikkeld [1]. De ruimte onder de grond die geschikt is voor deze activiteiten is echter beperkt, waardoor overexploitatie en concurrentie tussen verschillende gebruiksfuncties kunnen optreden. Met de ambitie om klimaatneutraliteit te bereiken, zal de vraag naar het gebruik van de diepe ondergrond verder toenemen door bijvoorbeeld de toename van geothermische energieproductie, hoge temperatuur warmteopslag, bio-energieproductie in combinatie met CO_2-opslag, tijdelijke opslag van groene waterstof, of andere vergelijkbare activiteiten. Elke activiteit in de diepe ondergrond kan zowel kortstondige als meer permanente gevolgen hebben (verandering van druk, verandering van temperatuur of geïnduceerde seismiciteit, verandering van chemie, lekkage en verspreiding van ongewenste stoffen, verandering van eigenschappen van gesteente, grondverzakking of verplaatsing van geothermisch pekelwater) die van invloed kunnen zijn op andere potentiële (toekomstige) activiteiten in de diepe ondergrond en gerelateerde economische, ecologische en sociale processen binnen de samenleving [2].

Kadering van voorliggend rapport in het geheel van de overheidsopdracht

Deze overheidsopdracht beoogt bij te dragen aan het uitwerken van een afwegingsystematiek opdat het beperkt, ondergronds volume in Vlaanderen zo optimaal mogelijk aangewend zou kunnen worden. Dit afwegingskader moet helpen om na te denken over toekomstig gebruik van de diepe ondergrond en inzicht te geven in de mogelijke maatschappelijke impact van het meervoudig gebruik van de diepe ondergrond. Impact kan zowel kwantitatief als kwalitatief bepaald worden. Het is daarbij belangrijk dat de impactanalyse die in deze studie gemaakt wordt elke toepassing objectief en gelijkwaardig behandelt. De impactanalyse wordt geënt op de Vlaamse situatie en het Vlaamse beleid.

Om concreet te maken wat ‘optimaal gebruik van de diepe ondergrond’ precies inhoudt, stellen de uitvoerders van de opdracht voor om een duurzaamheidskader van principes, criteria en indicatoren uit te werken. Indicatoren zijn daarbij de maatstaven waarmee de impact van het gebruik van de diepe ondergrond gemeten kunnen worden. Deze indicatoren vloeien voort uit duurzaamheidsprincipes -en criteria die vooropgesteld worden op basis van literatuurstudie en een tentatieve bevraging van experts en belanghebbenden (zie infra).

Duurzaam beheer van de diepe ondergrond

Duurzaam beheer van de diepe ondergrond omvat het beperken van het risico op uitputting van hulpbronnen, onbeschikbaarheid van hulpbronnen, het minimaal belasten van het ecosysteem en het milieu, het minimaliseren van veiligheidsrisico's en het vermijden van geschillen tussen exploitanten. De huidige samenleving verwacht dat dit transparant gebeurt en met duidelijkheid over de rollen van regelgevers, verschillende betrokken actoren en het wijdere publiek [3]. Planners moeten rekening kunnen houden met onzekerheden en interferentie-effecten tussen activiteiten

kunnen beheren. Dergelijke planning zou idealiter moeten worden uitgevoerd op een schaal die het gehele geosysteem bestrijkt, voordat de ontwikkeling van hulpbronnen in de diepe ondergrond plaatsvindt, en zou vervolgens periodiek moeten worden herzien naarmate de kennis verbetert [4].

Door duurzaamheid centraal te stellen in regelgevende kaders kunnen nationale en lokale overheden een gedeelde visie creëren voor verschillende groepen belanghebbenden over hoe ontwikkelingen in de diepe ondergrond op de lange termijn en binnen een koolstofneutraal energiesysteem kunnen worden gepland en gereguleerd, terwijl rekening wordt gehouden met meerdere bronnen van onzekerheid en verschillende procesdynamieken [5]. Gezien het maatschappelijke belang van de ondergrond [6, 7], wordt de noodzaak om het gebruik van de ondergrond zorgvuldig te beheren en de noodzaak om de ondergrond op een duurzame manier te gebruiken steeds meer erkend. Inzicht in natuurlijke rijkdommen, hun processen en beheer, evenals het toepassen van geologische vaardigheden en praktijken, worden belangrijk geacht voor het behalen van de Sustainable Development Goals (SDG's). Zie bijvoorbeeld Gill [8] en the International Geoscience Programme (s.d.) voor een gedetailleerd overzicht.

Landen en regio's die werken aan het bereiken van de SDG's constateren een toenemende vraag naar gebruik van de (diepe) ondergrond en geven aan behoefte te hebben aan een wetenschappelijk gefundeerd beslissingsondersteunend kader. Beleidsdoelen zijn daarbij het vermijden van gebruiksconflicten, het in evenwicht brengen van 'gebruik en behoud' en het afstemmen van het gebruik van de ondergrond op bovengrondse duurzaamheidsdoelen in een context waarin het grote publiek kritisch staat tegenover de exploitatie van geologische hulpbronnen en bezorgd is over veiligheidsrisico's [9].

Het begrip 'duurzaamheid'

De concepten van duurzaamheid en duurzame ontwikkeling ontstonden in de jaren 1980 en de bekendste definitie van duurzame ontwikkeling werd gegeven in het beroemde Brundtland-rapport. Dit rapport definieerde duurzame ontwikkeling als een ontwikkeling die "voorziet in de behoeften van de huidige generaties zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen" [10]. Binnen de wetenschappelijke literatuur bestaan er verschillende bronnen om de term verder te definiëren en er zijn verschillende debatten ontstaan over hoe de concepten van duurzame ontwikkeling en duurzaamheid moeten worden benaderd [11]. Of het nu gepresenteerd wordt als een 'efficiënte, rechtvaardige en duurzame economie' [12], 'triple bottom line' [13], 'of 'donut economie' [14], het streven naar duurzaamheid komt neer op (i) ervoor zorgen dat de hulpbronnen van de aarde collectief niet worden overgeëxploiteerd (duurzame schaal), (ii) ervoor zorgen dat niemand tekort komt in de primaire levensbehoeften (rechtvaardige verdeling van kosten en baten), en (iii) dit doen tegen de laagste milieu- en economische kosten (efficiëntie). Aan deze algemene principes van duurzaamheid kan een vierde worden toegevoegd, namelijk (iv) participatie van belanghebbenden bij het ontwikkelen en evalueren van ondersteunend beleid. Dit laatste principe houdt verband met de verantwoordingsplicht van beleid (en projecten), met een groeiende nadruk op een 'rechtvaardige overgang' naar duurzaamheid (bijv. Krawchenko and Gordon [15]), en met de ethische overweging van waardepluralisme [16].

In het kader van deze opdracht vertrekken de uitvoerders vanuit de duurzaamheidsprincipes zoals ze gedefinieerd worden binnen het domein van de Ecologische Economie. Vertrekpunt daarbij is de erkenning dat het economische systeem onderdeel vormt van het globale ecosysteem 'aarde'. Het economische systeem bestaat uit bedrijven, overheden en huishoudens die goederen en diensten produceren en/of verbruiken. In een vrijemarkteconomie kunnen deze actoren vrij handelen om hun eigen positie te verbeteren en daarbij verbeteren ze ook de economische welvaart van de maatschappij in haar geheel. Om goederen en diensten te produceren en het afval na consumptie te verwerken, steunt het economisch systeem op de diensten die voorzien worden door de aarde. Deze diensten omvatten het verstrekken van producten (bv. drinkwater, mineralen), regulerende diensten (bv. klimaatregulering), culturele diensten (bv. recreatie) en ondersteunende diensten (bv. nutriëntenkringloop). Het economische systeem is een open systeem dat deel uitmaakt van het globale ecosysteem. Dit ecosysteem is eindig, groeit niet en is materieel gesloten. Het ecosysteem is wel open wat betreft de doorstroom aan zonne-energie. Deze energiestroom is continu, en groeit niet. Om te komen tot duurzame ontwikkeling, schuiven Herman Daly en Joshua Farley [17] drie beleidsdoelstellingen naar voor [17]:

- een uitoefening van economische activiteiten op een schaal die ecologisch duurzaam is;
- een rechtvaardige verdeling van de natuurlijke hulpbronnen (verwerkt in finale economische goederen en diensten) binnen en tussen generaties;
- een efficiënte toewijzing van natuurlijke hulpbronnen aan finale producten en diensten, conform aan de voorkeuren en betalingsbereidheid van individuen.

Duurzame, ecologische schaal. Het doel of de uiteindelijke baat van elk economisch systeem is de bevrediging van behoeften. Binnen de ecologische economie krijgt de bevrediging van menselijke basisbehoeften voorrang op loutere wensen. Om aan deze behoeften te voldoen moet de economie niet groeien, maar zich op een duurzame schaal ontwikkelen. Schaal refereert naar het fysische volume van materie en energie dat doorheen de economie stroomt: gewonnen uit de natuurlijke omgeving als lage entropie hulpbronnen en teruggevoerd naar diezelfde natuurlijke omgeving als hoge entropie afval. De betekenis van dit volume, van deze schaal moet geëvalueerd worden door dit volume te plaatsen relatief ten opzichte van de capaciteit van de natuurlijke omgeving om op constante, aanhoudende basis de benodigde inputs te regenereren en afval te verwerken.

Rechtvaardige verdeling. Verdeling verwijst naar de relatieve verdeling van het volume aan natuurlijke hulpbronnen die vervat zijn in finale goederen en diensten, tussen verschillende mensen (inclusief toekomstige generaties). Een goede distributie is er een die rechtvaardig is, of tenminste een waarin de mate van ongelijkheid beperkt is binnen een acceptabele grens.

Efficiënte toewijzing. Toewijzing verwijst naar de relatieve toekenning van natuurlijke hulpbronnen aan verschillende eindproducten: hoeveel hulpbronnen gaan er naar de productie van auto's, koelkasten, kleding, voeding, ... Efficiënte toewijzing, ook bekend als allocatieve efficiëntie, is een kenmerk van een efficiënte, vrije markt waar de verdeling van goederen in een economie optimaal voldoet aan de behoeften en wensen van de samenleving. Het doel van allocatieve efficiëntie is ervoor te zorgen dat middelen zo worden gebruikt dat hun marginale voordeel voor de samenleving gelijk is aan hun marginale kosten. Allocatieve efficiëntie treedt op wanneer organisaties in de publieke en private sector hun middelen besteden aan projecten die het meest winstgevend zijn en

het meeste goed doen voor de bevolking, waardoor economische activiteiten worden bevorderd, maar wel binnen duidelijke grenzen volgens de principes van de ecologische economie.

Schaal wordt daarbij bewust als 'eerste' principe voorop gesteld. Idee is dat men eerst dient te bepalen wat de ecologische grenzen zijn aan de economische activiteiten. Rechtvaardige verdeling wordt beschouwd als het 'tweede' principe en stelt sociale grenzen aan de economische activiteiten. Binnen deze ecologische en sociale grenzen, kan vervolgens de vrije markteconomie haar gang gaan. Zowel 'schaal' als 'verdeling' zijn uitkomsten van maatschappelijke beslissingen, 'efficiënte toewijzing' is het resultaat van marktwerking.

Om deze drie principes te vertalen naar principes voor het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond, is het niet evident om deze zo strikt gescheiden te houden. Het eerste principe dat in dit rapport voorgesteld wordt, is het principe van het 'behoud van hulpbronnen en het behoud van assimilatievermogen' en beperkt zich tot de 'diepe ondergrond' als hulpbron. Impact op andere natuurlijke hulpbronnen als gevolg van de exploitatie van dit ondergronds volume, wordt opgenomen onder het principe van efficënte toewijzing. Dit principe van efficiënte toewijzing is dus ruimer dan louter de economische impact van het gebruik van de diepe ondergrond. Het principe van efficiënte toewijzing wordt getoetst door *alle* maatschappelijke effecten in kaart te brengen om zo na te kunnen gaan of het ondergrondse volume zodanig wordt ingezet dat de hoogst mogelijke netto-baat voor de maatschappij, met inbegrip van het milieu, kan gerealiseerd worden. Efficiënte toewijzing wordt in dit rapport als tweede principe omschreven omdat het logischer lijkt eerst in kaart te brengen wat de verschillende positieve en negatieve effecten zijn van het gebruik van de diepe ondergrond en vervolgens te bepalen wie deze effecten ondervindt en of deze verdeling als rechtvaardig beschouwd kan worden. Hoewel het principe van rechtvaardige verdeling als derde gerapporteerd wordt, beschouwen de uitvoerders van deze opdracht dit principe niet als 'het laatste' principe, maar wel degelijk als de bepaling van een sociale grens waarbinnen de economische exploitatie van de hulpbron kan plaatsvinden.

Bovenstaande principes kunnen omschreven worden als 'inhoudelijk'. Zij hebben in hoofdzaak betrekking op de inhoud van de activiteit(en) in kwestie. Daarnaast worden er 3 bijkomende principes vooropgesteld die meer 'procesmatig' zijn. Zij hebben betrekking op bestuurlijke en beheeraspecten bij de ontwikkeling en uitvoering van de activiteit(en) in kwestie.

Hoofdstuk 2 gaat dieper in op de 6 principes voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Deze principes en de daaraan verbonden criteria en indicatoren (PC&I) zijn gebaseerd op wetenschappelijke literatuur ([18] en zie ook deliverable 1.2 voor meer informatie over het PC&I raamwerk) en een Delphi studie bij (inter)nationale experten. Daarnaast werden deze principes, criteria en indicatoren afgetoetst bij belanghebbenden tijdens een workshop die plaatsvond op 19 juni 2023 en tijdens individuele interviews die plaatsvonden tussen november 2023 en februari 2024. Principes worden beschouwd als de fundamentele regels waaraan een gebruik van de ondergrond moet voldoen om als duurzaam te worden beschouwd. Principes worden geformuleerd als een gebod. Op die manier definiëren de principes duurzaam gebruik van de diepe ondergrond.

Aan elk principe zijn - meerdere criteria verbonden. Deze criteria zijn de voorwaarden of streefdoelen die gehaald moeten worden om te voldoen aan het desbetreffende principe. De criteria worden geformuleerd om een oordeel mogelijk te maken.

Elk criterium bevat meerdere indicatoren. Indicatoren zijn de meetbare variabelen die het mogelijk maken om te beoordelen of al dan niet aan een bepaald criterium of randvoorwaarde wordt voldaan. Indicatoren kunnen kwantitatief, kwalitatief, continu of discreet zijn. Over het algemeen gaat de definitie van indicatoren gepaard met de definitie van een norm/drempel die een grens stelt tussen naleving en niet-naleving van een criterium, en de definitie van een methode, tool of instrument dat wordt gebruikt om de indicator te meten.

Na de toelichting bij de principes en oplijsting van criteria en indicatoren per principe, licht Hoofdstuk 3 ten slotte toe hoe deze principes, criteria en indicatoren deel kunnen uitmaken van een kader dat beleidsmakers kan ondersteunen bij het beheer van de diepe ondergrond. In het kader van de impactanalyse (D7) worden op basis van databeschikbaarheid enkele indicatoren geselecteerd en verder verfijnd om verschillende beleidsscenario's (zie D6) te evalueren voor de eerste drie - inhoudelijke - duurzaamheidsprincipes.

2 PRINCIPES, CRITERIA EN INDICATOREN VOOR HET DUURZAAM GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND IN VLAANDEREN

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de principes voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond, opgesteld op basis van literatuuronderzoek, een delphistudie en een workshop die plaatsvond op 19 juni 2023 te Brussel (zie D3.1 verslag van workshop 1).

2.1 PRINCIPE 1. PRINCIPE VAN HET BEHOUD VAN HULPBRONNEN EN VAN HET ASSIMILATIEVERMOGEN

Principe van het behoud van hulpbronnen

De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties.

Trap 1: voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn, betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (behoud van hulpbronnen).

Trap 2: voor niet-hernieuwbare geologische hulpbronnen moet de extractie van hulpbronnen gepaard gaan met de creatie van hernieuwbare equivalenten (koppeling van hulpbronnen).

Trap 3: als een winning van hulpbronnen (hernieuwbaar of niet) noodzakelijk is maar niet duurzaam kan zijn, dient deze winning de beschikbaarheid van hulpbronnen op de lange termijn te maximaliseren (verlenging van hulpbronnen).

Principe van het behoud van het assimilatievermogen

Het assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem moet behouden blijven voor toekomstige generaties.

Trap 1: de ontginningsschaal van geologische hulpbronnen dient beperkt te worden zodat de gerelateerde afvalstromen het hernieuwbare assimilatievermogen van de aarde als eco-systeem niet overschrijden (behoud van assimilatievermogen).

Trap 2: als assimilatieprocessen te traag zijn om hernieuwbaar beschouwd te worden, dan moet het verlies aan assimilatievermogen gepaard gaan met een actief herstel van dat vermogen (koppeling van assimilatievermogen).

Trap 3: indien activiteiten onvermijdelijk leiden tot niet-duurzame afvalstromen, dan moeten deze het verlies aan assimilatieve capaciteit op de lange termijn minimaliseren (assimilatieve capaciteitsverlenging).

Het 'Principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen' (*principle of conserving resources and assimilative capacity*, P1), zoals geformuleerd in trappen 1 en 2, vertrekt van het beginsel dat hulpbronnen en het assimilatievermogen van het ecosysteem aarde integraal beschikbaar moeten blijven voor toekomstige generaties, oftewel rechtstreeks, oftewel door een actief opbouwen van hernieuwbare capaciteit. Dit komt overeen met de definitie van duurzaamheid volgens Daly [19]. Binnen deze opdracht wordt dit uitgangspunt verruimd en verduidelijkt met bijkomende principes, maar ook aan P1 zelf wordt een extra trap toegevoegd. De moeilijkheid die zich in praktijk stelt, is dat wanneer een ontginning van een grondstof niet duurzaam is volgens de

strikte zwart-wit definitie van trappen 1 en 2, maar wel noodzakelijk is, er geen verdere richting wordt gegeven.
Principes worden in de praktijk altijd tegen elkaar afgewogen, en in het bijzonder voor geologische grondstoffen zijn de huidige en toekomstige noden van de maatschappij zo nauw verbonden met hun gebruik, dat niet duurzaam ontginnen (volgens P1) noodzakelijk kan zijn om levensnoodzakelijke of economische redenen. Dit maakt een derde trap noodzakelijk, die op een meer flexibele manier richtinggevend is en aangeeft wat meer of minder duurzaam is in functie van de schaal van ontginning (en eventuele verontreiniging of andere verstoring van het ecosysteem). Trap 3 verduidelijkt dat indien hernieuwbare extractie niet mogelijk is, deze op zodanige wijze moet gebeuren dat de 'lange-termijn' beschikbaarheid van hulpbronnen wordt gemaximaliseerd, bv. door te zorgen dat de gewonnen grondstoffen efficiënt worden ingezet in een circulair systeem. Het begrip 'lange-termijn' verwijst naar lange termijn in menselijke (niet geologische) context, en kan in criteria verduidelijkt worden als bv. x generaties. Deze uitbreiding verenigt twee noodzakelijke elementen: dwingen tot optimalisatie op lange termijn, maar toch toelaten om hulpbronnen in te zetten om huidige, dringende problemen aan te pakken; zij het enkel indien dit over lange-termijn de meest efficiënte en rechtvaardige oplossing is. Op die manier wordt duidelijk wat meer of minder duurzaam betekent, indien volledig duurzaam niet haalbaar is. Het al-dan-niet strikt hanteren van dit eerste principe is een beleidskeuze die gemaakt kan worden.

Deelprincipe P1a 'behoud van hulpbronnen'

Bij de bespreking van dit deelprincipe is het onderscheid tussen extractieve en additieve activiteiten belangrijk. De extractieve activiteiten vormt mogelijk de belangrijkste en in elk geval meest traditionele groep, maar zijn ook de meest intuïtieve bij toepassing van het principe. Bij dit deelprincipe 'behoud van hulpbronnen' gebruiken we de term ***extractieve activiteiten*** wanneer hulpbronnen worden onttrokken aan de ondergrond. Op een aantal punten, ondermeer bij het formuleren van criteria, is het onderscheid tussen extractieve (sensu strictu) en ***additieve activiteiten*** belangrijk. Bij additieve activiteiten wordt materiaal of energie tijdelijk of permanent aan de ondergrond toegevoegd op zo'n manier dat het er deel van gaat uitmaken.
Om dit te verduidelijken met voorbeelden: het binnenrijden van een wagen in een ondergrondse parkeergarage is geen additieve activiteit (voor de ondiepe ondergrond), maar het weglekken van olie uit die wagen die indringt naar de ondergrond wel. Analoog vormt mijnbouwmateriaal geen deel van de diepe ondergrond, tot het achterblijft in een breukzone of bij sluiting van de mijn (op dat moment kan het niet langer eenvoudig verwijderd worden, het is dan opgenomen in het geosysteem en zou 'gemijnd' moeten worden).
Meer concreet toegepast voor de potentiële activiteiten in de diepe ondergrond van Vlaanderen zijn alle vormen van thermische en potentiële energieopslag, opslag van aardgas of waterstof, opslag van CO_2 en injectie van grondwater vormen van additieve activiteiten. Dit betekent niet altijd dat de waarde van de ondergrond telkens wordt verhoogd. Bij tijdelijke opslag is dat meestal wel het geval, omdat er iets waardevol wordt toegevoegd met de bedoeling het later terug te winnen, maar bij permanente opslag van ongewenste stoffen zoals CO_2 is dat meestal omgekeerd.
Berging van radioactief materiaal is een dubbel geval en toont aan dat de onderverdeling extractief/addititief altijd in zekere mate artificieel is en berust op afspraken en interpretatie, veeleer dan eenduidige fysische kenmerken. De constructie van ondergrondse gallerijen is duidelijk een dominant extractieve activiteit, met dien verstande dat deze zo worden afgewerkt dat interactie tussen het gastgesteente en de binnenruimte minimaal is dooreen beperkte hoeveelheid constructiemateriaal permanent aan de ondergrond toe te voegen. Het bergen (in principe permanent) van radioactief afval is daarna een additieve activiteit, maar met een zeer vertraagde interactie tussen het gastgesteente en het geborgen materiaal.

Deelprincipe P1b 'behoud van het assimilatievermogen'

Het tweede subprincipe, het behoud van het assimilatievermogen, is complexer dan het eerste, omdat het minder gelokaliseerd kan zijn. Assimilatie verwijst naar het opnemen en verwerken van afvalproducten of afvalstoffen door het systeem. In een klassiek (meestal vereenvoudigd tot) bovengronds voorbeeld is het assimilatievermogen voor CO_2 de mate waarmee het ecosysteem aarde extra door de mens uitgestoten CO_2 kan opnemen zonder verstoord te worden. Een voorbeeld uit de ondergrond is de ontginning van steenkool. Dit resulteert in de emissie van methaan dat wereldwijd weegt op het assimilatievermogen van het ecosysteem aarde. Toepassen van P1b roept daarmee bijkomende vragen op, zoals hoeveel van dat assimilatievermogen Vlaanderen zich mag toe-eigenen. Het klimaatdebat is ondertussen ver genoeg gevorderd om deze vraag behandeld te hebben, en bij de formulering van criteria verwijzen we algemeen naar 'de fractie waar Vlaanderen recht op heeft'. Bestaande mechanismen zijn bijvoorbeeld het Emissions Trading System (ETS) dat een belangrijk deel van de Vlaamse industriële CO_2 uitstoot dekt, maar ook bindende afspraken binnen klimaatakkoorden geven een gelijkaardig bestaand kader. Uitstoot van verontreiniging kan grensoverschrijdend zijn zonder wereldwijd te zijn, maar de aanpak is gelijklopend.

Aangezien de ondergrond een belangrijk deel is van het ecosysteem aarde, speelt assimilatie hier ook. Bepaalde potentiële oplossingen spelen hier rechtstreeks op in. Om de gedachtegang op te bouwen, vertrekken we bij het opslaan van CO_2 in de ondergrond. Deze verschilt van het uitstoten van CO_2 naar de atmosfeer in de mate dat het ecosysteem aarde verstoord wordt. Uitstoot naar de atmosfeer heeft duidelijk aantoonbare implicaties (klimaatverandering, verzuring oceanen…). Voor de opslag in de diepe ondergrond, zonder lekkage naar de biosfeer is dit anders. CO_2 komt natuurlijk voor in de ondergrond, en een toevoeging van extra hoeveelheden CO_2 in bepaalde mate verstoort het ecosysteem slechts zeer beperkt. Ondanks het feit dat CO_2 duidelijke assimilatieve grenzen heeft voor de bovengrond, zijn deze er veel minder voor de ondergrond. Deze redenering heeft natuurlijk enkel betrekking op het assimilatieve aspect van duurzaamheid (P1b).

Het feit dat er geen grenzen worden overschreden, betekent niet dat CO_2 opgenomen wordt en verwerkt wordt door het systeem, een betekenis die vaak met (bovengrondse) assimilatie wordt geassocieerd. In klassieke CO_2 opslagscenario's zal slechts een klein deel van het opgeslagen CO_2 worden opgelost of mineraliseren op een voor de mens relevante tijdschaal. Er zijn injectieschema's waar dat wel het geval is, door CO_2, opgelost in opgepompt formatiewater,te injecteren in reactieve gesteentes zoals basalt. Voor Vlaanderen zijn deze niet relevant, omdat er geen grote basaltafzettingen aanwezig zijn, en mogelijk reactieve mineralen aanwezig in andere formaties reeds in belangrijk mate omgezet zijn door geologische processen (bv. veldspaten in de Neeroeteren Formatie)[19].

Zoals uit bovenstaande blijkt, wordt principe 1 steeds toegepast per activiteit. Geen enkele activiteit staat natuurlijk op zich, en in het bijzonder wordt ontginning uitgevoerd om een waaier van andere activiteiten mogelijk te maken. Zo wordt steenkool ontgonnen om verbrand te worden voor elektriciteitsproductie, maar ook als reductans bij staalproductie uit ertsen, en voor een reeks van andere mogelijke toepassingen, al dan niet met afvang en hergebruik van CO_2 en andere emissies. Deze complexe vertakkingen betekenen dat de finale impact van een ton steenkool niet zomaar benoemd kan worden, zonder de totale valorisatieketen van die specifieke hoeveelheid in kaart te brengen. Dat gebeurt bij levencyclusanalyse (alhoewel deze meestal gericht zijn op eindproducten), waar een specifieke keten van activiteiten wordt uitgekarteerd.

Principe 1 richt zich op het bewust gebruik van de ondergrond, en daarom beperken we het toepassen van P1 tot de ondergrondse activiteiten. Verdere milieuimpact worden meegenomen in

P3. In het voorbeeld van steenkool betekent dit dat enkel de emissies gepaard met de extractie van steenkool, zoals het vrijkomen van methaan (steenkoolgas), beschouwd worden onder P1. Het bepalen van deze grens laat toe om in relatie tot het tweede subprincipe 'behoud van assimilatievermogen' uitspraken te doen over de duurzaamheid van ondergrondse activiteiten in Vlaanderen. De evaluatie van principes is steeds een afweging, waarbij de verschillende bevindingen in het totaalplaatje geëvalueerd moeten worden. Concreet voor de extractie van steenkool, komen minstens P1a, P1b en P3 aan bod. P1a gaat na hoe de extractie van steenkool als een grondstof op lange termijn de voorraden in gedrang kan brengen (wereldwijd zijn de voorraden zeer groot in vergelijking met andere fossiele brandstoffen), P1b bekijkt de rechtstreekse emissies en impact, zoals het vrijkomen van mijngas, en het bovengronds gebruik van steenkool wordt geëvalueerd volgens P3 (in praktijk leidt de verbranding van steenkool tot duurzaamheidsproblemen via klimaatimpact door het vrijkomen van CO_2, voordat de voorraden aan steenkool in gedrang komen).

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 1

Principe 1 is getrapt uitgewerkt, en dit heeft effect op de vertaling naar criteria.

Trap 1 (behoud van hulpbronnen) is de meest ideale en strikte toepassing, waarbij natuurlijke regeneratie gelijke tred houdt met extractie (of injectie/toevoeging voor additieve activiteiten). Bij vertaling naar criteria is de aanwezige voorraad van een grondstof niet van belang, wel de natuurlijke regeneratie. In praktijk voldoen alle activiteiten die onder steady-state uitgebaat kunnen worden aan P1, en zijn ze daarom duurzaam in de meest strikte zin van het woord. Het meest bekend is dat voor grondwater, voor zover relevant voor de diepe ondergrond, maar ook cyclische opslag kan als een steady-state activiteit gezien worden, omdat opslag en productie (onttrekking) over langere termijn in balans zijn. Ter verduidelijking wordt met 'steady-state' bedoeld dat de impact van een aanwezige activiteit een aanvaardbaar maximum bereikt, en daarna stabiel is. Er is dus wel degelijk een impact, maar deze is beperkt en bij stopzetting van de activiteit zal de oorspronkelijke natuurlijke situatie zich opnieuw herstellen binnen een redelijke termijn. Belangrijk hierbij is dat dit herstel volledig is. Indien er bijvoorbeeld na stopzetting van drinkwaterontginning wel een drukherstel is, maar een blijvende chemische verstoring of compactie van de ondergrond, dan wordt trap 1 van P1 geschonden.
Voor nieuwe activiteiten in de diepe ondergrond zullen argumenten voor steady-state meestal gebaseerd zijn op een gemodelleerde projectie. Opgestarte activiteiten kunnen deze projecties bevestigen door opvolging.

Dit resulteert in de volgende randvoorwaarden:

- Criterium voor extractieve activiteiten: Aanwezige voorraad hulpbronnen blijft behouden omdat de extractie natuurlijke regeneratie niet overstijgt
- Indicator voor extractieve activiteiten: Steady-state uitbating
    - Geprojecteerde steady-state uitbating voor te initiëren activiteiten
    - Bevestigde steady-state voor in uitbating zijnde activiteiten
    - Geen extractie meer toegestaan boven een vooraf bepaalde limiet en/of na een vooraf bepaalde datum
- Criterium voor additieve activiteiten: er wordt teruggekeerd naar de initiële toestand na het beëindigen van de activiteiten, dit is: een volledig herstel van de initiële potentiële waarde en mogelijkheden
- Indicator voor additieve activiteiten: mate of graad van verwacht herstel na beëindigen activiteit
    - Voor te initiëren activiteiten is dit een modellering

- Voor in uitbating zijnde activiteiten is dit een modellering bijgesteld met waarnemingen

Trap 1 voor behoud van assimilatievermogen
Een analoge redenering, maar zonder de noodzaak om extractieve en additieve activiteiten te onderscheiden. Het belangrijkste onderscheid is dat dit criterium meestal toegepast wordt op grotere schaal, zoals het geval is bij Global Warming Potential (GWP) van broeikasgassen. In ieder geval, dit principe moet altijd worden beschouwd als cumulatief met andere bestaande of geplande effecten op de relevante geo-biologische eenheid. Dit laatste kan verschillen voor verschillende activiteiten.

Dit resulteert in volgende randvoorwaarden:

- Criteria:
  - De afname van het assimilatievermogen door de uitvoering van de ondergrondse activiteiten (niet het verdere gebruik van ontgonnen producten) mag de natuurlijke regeneratie niet overstijgen. Indien de impact ook buiten Vlaanderen ligt, moet deze proportioneel bekeken worden.
  - Het gebruik van hulpbronnen mag de functies van ecosystemen en geosystemen in hun oorspronkelijke vorm niet belemmeren.
- Cumulatieve indicatoren (druk op totale assimilatievermogen):
  - Steady-state evolutie van het assimilatievermogen (bijvoorbeeld concentratie uitgestoten stof)
  - Voor grensoverschrijdende impact: de fractie waar Vlaanderen recht op heeft (al dan niet in grensoverschrijdende akkoorden vastgelegd)
  - Werking/stabiliteit van het systeem waaraan de hulpbron is onttrokken
- Individuele indicatoren (op niveau van de activiteiten):
  - De afvalstromen gepaard met de activiteit
  - Hoeveelheid ongewenste bijproducten als gevolg van de extractie van hulpbronnen

Trap 2 (koppeling van hulpbronnen) wordt als principe behouden om analoog te blijven met algemene duurzaamheidsprincipes, maar is in de context van de diepe Vlaamse ondergrond nauwelijks relevant toe te passen. Deze wordt daarom niet vertaald naar randvoorwaarden.

Trap 2 (koppeling van assimilatievermogen) wordt om analoge redenen niet vertaald naar randvoorwaarden.

Koppeling (als vertaling van het *pairing principle*) is een gekende pijler van duurzaamheid uit de ecologische economie en houdt in dat duurzame uitputting van een niet-hernieuwbare hulpbron mogelijk is, indien gelijktijdig een gelijkwaardige hernieuwbare hulpbron wordt opgebouwd zodat het natuurlijk kapitaal bewaard blijft [20]. Een rechttoe-rechtaan voorbeeld is de koppeling van uitbating van fossiele koolwaterstoffen voor verwarming aan de aanplanting van biomassa, zodat op een gegeven moment overgeschakeld kan worden op gebruik van de hernieuwbare biomassa. De opgebouwde voorraad biomassa dient even groot te zijn (van een gelijke waarde te zijn) als de ontgonnen koolwaterstoffen.

Een terugkerend discussiepunt bij een dergelijke koppeling is hoe exact de hernieuwbare hulpbron de functies van de ontgonnen hulpbron overneemt (in het vereenvoudigde voorbeeld wordt aangenomen dat koolwaterstoffen enkel gebruikt worden voor verwarming), en hoe kwetsbaar de hernieuwbare bron is op lange termijn (bijvoorbeeld vernietiging van de voorraad biomassa door

een bosbrand). Een voorbeeld van een dergelijke discussie is of het opbouwen van technologische capaciteit als hernieuwbare hulpbron kan worden beschouwd, zoals het aanleggen van een windpark voor energie of het bouwen van een desalinisatie installatie ter compensatie van overexploitatie van grondwater. Koppeling is algemeen ook moeilijker toe te passen voor assimilatievermogen.

De toepassing van de koppeling van hulpbronnen op de ondergrond is wetenschappelijk zeer schaars gedocumenteerd. Het is voor de uitvoerders van deze opdracht een actief onderzoeksonderwerp, maar uit voorlopige resultaten blijkt duidelijk dat dit een complex gegeven is waarbij, toegepast op de potentiële activiteiten in de diepe ondergrond, een perfecte koppeling inderdaad niet kan, en de koppeling gebeurt tussen activiteiten van boven- en ondergrond. Omwille van deze redenen wordt deze trap in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Trap 3 (verlenging van hulpbronnen) is de meest afgezwakte versie van P1, en stimuleert het beperken van gebruik van hulpbronnen zodat ze beschikbaar blijven voor volgende generaties. Om dit in te schatten zijn bijkomend aan trap 1 het volume aan hulpbronnen en de snelheid van het aanspreken van de hulpbron (extractief of additief) belangrijk om in te schatten hoelang (in aantal generaties) een hulpbron kan meegaan.
Het inschatten van beschikbare hoeveelheden is een klassiek probleem uit de economische geologie, omdat voor vele geologische hulpbronnen slechts een gedeeltelijke, onbekende fractie van de totale hoeveelheid gekend is. Traditioneel wordt de gekende en techno-economisch exploiteerbare hoeveelheid de 'reserve' van een bepaalde grondstof genoemd, maar dit getal evolueert van jaar tot jaar afhankelijk van de hoeveelheid exploratie en extractie (die beiden vraag-gedreven zijn).
Eén van de meer populaire methoden om onrechtstreeks totale voorraden te schatten, is op basis van Hubbert curves, die gebaseerd zijn op jaarlijkse productiecijfers. Indien de tijdsreeks voldoende lang is, kan een theoretische (logistische) curve hierop gefit worden die de piekproductie en daarna afname laat voorspellen. Hubbert curves kunnen verstoord worden door fundamentele technische doorbraken of het aantappen van nieuwe geologische reserves (zoals schaliegas en -condensaten). Daarom wordt ze best regionaal gebruikt voor goed gedefinieerde grondstoffen. Belangrijker voor toekomstprojecties is dat deze techniek gebruik maakt van historische gegevens, en dus niet toepasbaar is op nog te ontwikkelen grondstoffen. Ze is verder ook enkel relevant voor niet-hernieuwbare grondstoffen die uitgebaat worden tot uitputting.
Tijdens de workshop werd aangegeven dat het inschatten van voorraden een fundament vormt van de te formuleren criteria. Concreet werd gesuggereerd om de evolutie van voorraden doorheen de tijd op te volgen om de afname (of toename bij additieve activiteiten) hiervan tot en met de beëindiging van de activiteit te monitoren vb. aan de hand van productiecijfers, zoals ook voor de Vlaamse ondiepe grondstoffen het geval is. Alhoewel deze systemen oorspronkelijk hier niet voor ontworpen werden, kan deze opvolging gebeuren volgens UNFC-2019, of een gelijkwaardig systeem. .
Aangezien deze opvolging van voorraden gebeurt in het kader van trap 3, waarbij het doel is om enkel tijdelijk op een niet-hernieuwbare manier te ontginnen of uitputting te minimaliseren zodat voorraden verschillende generaties zullen meegaan, geeft een systematische opvolging van voorraden en ontginning voldoende indicatie over de intensiteit van toe te laten activiteiten.

- Criteria:
    - Activiteiten mogen de ondergrond niet sneller uitputten dan strikt noodzakelijk
    - Bij afweging tussen verschillende activiteiten, is deze lange-termijn efficiëntie doorslaggevend (voor toepassing van P1)

    - De onttrokken hulpbron moet worden aangevuld op een tijd- en ruimteschaal die betekenisvol is voor volgende generaties
- Indicatoren:
    - Op schaal van Vlaanderen:
        - Evolutie van inventarisatie volgens UNFC-2019
        - Evolutie van productiecijfers grondstoffen
    - Op schaal van activiteiten:
        - Geprojecteerd of opgevolgd tempo van uitputting als vergelijkingsparameter tussen soortgelijke activiteiten

Trap 3 (assimilatieve capaciteitsverlenging) volgt een analoge redenering en de parameters verzameld om trap 1 op te volgen (deze vormen reeds een inventaris van uitstoot) kunnen hier hergebruikt worden, maar dan vanuit de invalshoek van maximaal in stand houden van het assimilatieve vermogen, eerder dan om het absoluut te behouden.

Trapoverschrijdend criterium: onzekerheid
Tijdens de workshop werden bij de bespreking van P1 elementen aangebracht die niet rechtstreeks bij dit principe lijken te passen, maar aangeven dat men zich er in het algemeen bewust van is dat een belangrijke uitdaging van de toepassing van P1 ligt in de onzekerheid ten gevolge van de onvolledige kennis van de ondergrond.
Gedeeltelijk is deze reeds ondervangen in de formulering van de indicatoren, meer bepaald waar onderscheid gemaakt wordt tussen geprojecteerde en gemonitorde activiteiten, het opvolgen doorheen de tijd, en het gebruik van UNFC-2019 (waarin de mate van (on)zekerheid van de aangegeven hoeveelheden één van de drie hoofdparameters is).

Aanvullend kunnen volgende criteria worden vastgelegd, die betrekking kunnen hebben op verschillende trappen en indicatoren:

- Voor aanvang van een nieuwe activiteit wordt de initiële situatie vastgelegd zodat resultaten van monitoring of herstel kunnen vergeleken worden met een gekende (en geen veronderstelde) initiële situatie
- Gedurende de uitvoering van de activiteit wordt het behoud van omkeerbaarheid (of graad van omkeerbaarheid) getest (door het tijdelijk stilleggen van de activiteit, naar analogie met gangbare tests bij grondwaterproductie)
- Onzekerheden worden specifiek geïdentificeerd (zonder te overlappen met P6)

2.2 PRINCIPE 2. PRINCIPE VAN EFFICIËNTE ALLOCATIE

Principe van efficiënte allocatie

Indien ontwikkeling van de diepe ondergrond wenselijk wordt geacht, moet dit worden gepland en uitgevoerd met het hoogste netto voordeel voor de samenleving.

Onder dit principe wordt verstaan dat de diepe ondergrond zo efficiënt mogelijk moet worden ingezet opdat versnippering en onderbenutting door inefficiënt gebruik vermeden worden. Dit principe impliceert eveneens dat wanneer er andere natuurlijke hulpbronnen ingezet kunnen worden dan deze in de diepe ondergrond om hetzelfde (groter) voordeel te realiseren, maar aan lagere (dezelfde) maatschappelijke nadelen, de voorkeur uitgaat naar die andere hulpbron in plaats van de geologische hulpbron.

Voor- en nadelen hebben betrekking op geologische, economische, milieu-, veiligheids- en sociale effecten ten gevolge van het gebruik van de diepe ondergrond, en dit over de hele levenscyclus van de ontwikkeling (inclusief planning, implementatie-, exploitatie- en ontmantelingsfasen, alsook effecten die blijvend zijn na afloop van het project). Geologische effecten doen zich 'ondergronds' voor (zowel in de diepe als ondiepe ondergrond), economische, milieu-, veiligheids-, en sociale effecten vinden 'bovengronds' plaats.

Het is daarbij belangrijk te erkennen dat:

- deze effecten sterk afhankelijk zijn van de geologische omstandigheden en dus locatiespecifiek
- deze effecten onzeker zijn, omwille van geologische onzekerheden, marktonzekerheden of technologische onzekerheden.
- effecten zich op verschillende niveau's voordoen (lokaal, regionaal, nationaal, en internationaal)
- deze effecten voor zowel de huidige als de toekomstige generatie in rekening gebracht moeten worden
- deze effecten verschillend kunnen zijn naargelang de stakeholder
- effecten beperkt of permanent kunnen zijn in tijd
- effecten kunnen evolueren doorheen de tijd
- effecten niet altijd gekwantificeerd kunnen worden
- effecten niet altijd uitgedrukt kunnen worden in monetaire termen

Dit principe dirigeert niet welke evaluatiemethode gebruikt dient te worden om de criteria te toetsen en laat toe meerdere methodes toe te passen (vb. multicriteria-analyse, kosten-effectiviteitsanalyse, kosten-batenanalyse, energie-efficiëntieanalyse, levenscyclusanalyse, gebruik van wegingsfactoren, sensitiviteitsanalyse, scenario analyse, het aanhouden van minimumstandaarden, …). In het licht van principes 4 en 5 (zie infra) dient dergelijke evaluatie transparant te gebeuren, door experten die daartoe het meest geschikt bevonden worden, in een open dialoog met belanghebbenen. Hoe effecten bepaald zijn en tegenover elkaar afgewogen worden, moet steeds helder worden geduid en verantwoord.

Het principe van efficiëntie heeft als doel na te denken over welke activiteiten waar en wanneer in concurrentie zouden kunnen gaan en dat te laten meewegen bij het beoordelen van een "efficiënt en planmatig beheer" van de diepe ondergrond. De onderliggende criteria en indicatoren dragen bij

tot het gebruik van de geschikte tools om de ontwikkeling van de diepe ondergrond zo efficiënt en planmatig als mogelijk te beheren.

Voor de opdrachtgever van deze studie, het Vlaams Planbureau voor Omgeving, is planmatig en efficiënt gebruik van de diepe ondergrond een zeer belangrijk principe, vervat in het Decreet Diepe Ondergrond (DDO). Dit principe wordt afgetoetst bij elke vergunningsaanvraag (voor activiteiten die vallen onder het DDO) omwille van de ondergrondse ruimtedruk en ten einde suboptimale versnippering te vermijden. Het betekent evenwel niet dat er gestreefd wordt naar het vastleggen van een ondergrondkadaster waarbij de overheid een bestemmingsplan opmaakt (o.b.v. ideeën van de huidige generatie). Gezien de geldende basisprincipes van de Europese regelgeving (o.a. vrije markt met mededinging, exploitatierecht e.d.), zal ook een "structuurvisie diepe ondergrond" het first-come-first-served principe nooit volledig kunnen vermijden. Aanvragen blijven daardoor mogelijk voor een vergunning in een gebied dat niet uitgesloten is en als alle vastgelegde criteria positief geëvalueerd worden, kan de Vlaamse Regering de vergunning in principe niet weigeren.

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 2

Algemeen kan gesteld worden dat het netto effect van het gebruik van de diepe ondergrond op de bovengrond positief moet zijn, waarbij het publieke voordeel moet vergroot worden eerder dan het private voordeel. Daarbij is het belangrijk om versnippering en onderbenutting door inefficiënt gebruik te vermijden.

- Criteria:
  - De verwachte netto-baat voor de samenleving die gerealiseerd wordt door toepassing van een activiteit kan op geen enkele andere manier gerealiseerd worden.
    Subcriterium: de maatschappelijke nood waaraan voldaan wordt door toepassing van een activiteit kan op geen enkele andere manier voldaan worden.
  - De verwachte netto-baat voor de samenleving wordt zo groot mogelijk gemaakt (maximalisatie)
  - De verwachte netto-baat voor de samenleving die gerealiseerd wordt door toepassing van een activiteit vandaag is groter dan de verwachte netto-baat van andere, toekomstige activiteiten in de ondergrond

Hoewel dit principe de positieve en negatieve effecten van het gebruik van de ondergrond benoemt als 'baten en kosten', hoeven deze effecten niet noodzakelijk uitgedrukt te worden in geldtermen. De indicatoren kunnen kwantitatief, kwalitatief, continu, discreet, categorisch, … van aard zijn.
De lijst van indicatoren die bij deze criteria opgelijst staan, zijn algemeen en kunnen verder verfijnd worden al naargelang de projecten die geëvalueerd worden. Deze oplijsting is niet limitatief.

- Indicatoren met betrekking tot het meten van interferenties tussen activiteiten en het vermijden van onderbenutting:
  - Mate waarin de ontwikkeling van een activiteit impact heeft op een reeds bestaande of mogelijk toekomstige toepassing in de diepe ondergrond. Impact kan geologisch (zie indicatoren opgelijst in P1), economisch, milieu, of sociaal van aard zijn (zie indicator onder het P2 criterium met betrekking tot het behalen van het grootste netto voordeel voor de samenleving)
  - Mate waarin de gezamenlijke toepassing van verschillende activiteiten in de ondergrond (nu of in de toekomst) de geologische eigenschappen van de diepe ondergrond verandert (zie indicatoren opgelijst in P1) en welke milieu-impact, economische impact en sociale impact een gezamenlijke toepassing met zich meebrengt (zie indicator onder

het P2 criterium met betrekking tot het behalen van het grootste netto voordeel voor de samenleving)
    - Mate waarin delen van de geologische hulpbron onbruikbaar worden voor andere toepassingen bij toepassing van een activiteit
    - Mate waarin een deel van het geologisch volume onderbenut blijft
    - Volume ingenomen door een activiteit
    - Mate waarin er zich co-productie van andere hulpbronnen voordoet bij de ontwikkeling van een activiteit
- Indicatoren met betrekking tot de afstemming tussen de bovengrondse vraag en het ondergrondse aanbod:
    - De huidige economische vraag naar hulpbronnen op lokaal, nationaal en internationaal niveau
    - Projecties met betrekking tot de toekomstige vraag naar hulpbronnen op lokaal, nationaal en internationaal niveau
    - Afweging van de gevraagde hoeveelheid tov het (internationaal) beschikbare aanbod van de hulpbron in de diepe ondergrond
    - Mate waarin andere hulpbronnen in dezelfde maatschappelijke vraag kunnen voorzien en de mate waarin ze bijkomende maatschappelijke effecten hebben (zie indicator onder het P2 criterium met betrekking tot het behalen van het grootste netto voordeel voor de samenleving)
    - Duurtijd dat een materiaal in de kringloop blijft
    - Ontgonnen en niet-ontgonnen volume volgens een geschikt classificatiesysteem (zie ook P1)

- Indicator met betrekking tot het behalen van het grootste netto voordeel voor de samenleving:
    - Nettobaat van een activiteit, in vergelijking met de nettobaat van andere beschikbare technologieën

- Indicatoren met betrekking tot de kosten en het geheel aan negatieve effecten die voortvloeien uit de ontwikkeling van een activiteit
    - Verwachte sociale kosten voor lokale, nationale en internationale stakeholders
    - Verwachte milieu -en klimaateffecten voor de lokale, nationale, en internationale stakeholders (vb. CO_2-uitstoot)
    - Verwachte kosten met betrekking tot veiligheid voor de lokale, nationale, en internationale stakeholders
    - Verwachte kans op seismiciteit
    - Verwachte kans op grondverzakking
    - Verwachte kans op lekkage van ongewenste stoffen
    - Verwachte publieke kosten die gepaard gaan met de ontwikkeling van noodzakelijke bovengrondse infrastructuur
    - Verwachte opportuniteitskosten (baten die niet gerealiseerd zullen worden door toepassing van een activiteit)
    - Verwachte private kosten voor de projectontwikkelaar (zowel boven -als ondergronds)
    - Verwachte kosten met betrekking tot bijproductie
    - Andere verwachte maatschappelijke kosten

- Indicatoren met betrekking tot de baten en het geheel aan positieve effecten die voortvloeien uit de ontwikkeling van een activiteit :

- Verwachte economische groei
- Netto constante waarde van een investering
- Mate waarin verwacht wordt dat de verkoopprijs van de hulpbron meer stabiel is
- Verwachte beschikbaarheid van de hulpbron
- Verwachte mate van energie-onafhankelijkheid (zelfvoorzieningsgraad)
- Verwachte werkgelegenheid
- Bestrijding energiearmoede (vb. verwacht verschil in aantal huishoudens dat toegang heeft tot groene en betaalbare energie)
- Verwachte baten met betrekking tot bijproductie
- Verwachte opbrengsten voor de ontwikkelaar
- Andere verwachte maatschappelijke opbrengsten
- Pareto verbeteringen
- Mate waarin de ontwikkeling van een activiteit bijdraagt tot het behalen van een specifieke beleidsdoelstelling

2.3 PRINCIPE 3. PRINCIPE VAN EERLIJKE (OF RECHTVAARDIGE) VERDELING

Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling

Het gebruik van de ondergrond moet gepaard gaan met een eerlijke verdeling van kosten en baten binnen en tussen generaties.

De ontwikkeling van activiteiten in de diepe ondergrond en de bijbehorende onder- en bovengrondse infrastructuur kan vragen oproepen over eerlijkheid en rechtvaardigheid, over hoe de lusten en lasten van deze ontwikkelingen worden verdeeld tussen verschillende groepen in de samenleving en over generaties heen.

Terwijl bij principe 2 de maatschappij-brede afweging van kosten en baten centraal staat, behelst principe 3 de vraag hoe positieve en negatieve effecten verdeeld zijn binnen en tussen generaties. Of die verdeling als rechtvaardig beschouwd kan worden, is moeilijk in absolute termen uit te drukken, maar is veeleer relatief of proportioneel. Opvattingen over wat eerlijk of oneerlijk is, zijn contextgebonden en verschillen tussen betrokken actoren, maar ook in ruimte en tijd. Vandaar ook het opnemen van een principe rond inclusief bestuur (principe 5, zie infra) voor het maken van die afweging.

Een eerlijke en rechtvaardige verdeling betekent niet per definitie een gelijke verdeling. Het betekent wel dat er billijkheid moet zijn in de verhouding tussen kosten en baten of tussen positieve en negatieve effecten. Geologische omstandigheden zijn verschillend, waardoor activiteiten in de diepe ondergrond in bepaalde regio's meer tot ontwikkeling zullen komen dan in andere regio's. Dat in die regio daardoor een netto positief effect ontstaat, zal niet meteen als onrechtvaardig worden aanzien vanuit andere regio's, tenzij zij daardoor een buitensporig nadeel zouden ondervinden. In het omgekeerde geval, wanneer bij een maatschappelijk noodzakelijk geachte activiteit in de diepe ondergrond de betrokken omgeving een netto negatief effect zou ondervinden, zullen we dit sneller als onrechtvaardig beschouwen en daaraan bijvoorbeeld een vorm van compensatie verbinden. Hetzelfde geldt wanneer binnen een geologische gunstige regio het netto positief effect wel erg scheef verdeeld zou zijn tussen verschillende groepen (bv. exploitant versus omwonenden van de bovengrondse toegang, of aardwarmtenet voor dure nieuwebouwprojecten, maar niet voor wijken met overwegend sociale woningen) of wanneer er over generaties heen een verschuiving van positief naar negatief effect valt te verwachten.

Met de Duurzame Ontwikkelingsdoelen van de VN als referentiepunt (een oproep tot actie om een einde te maken aan armoede, de planeet te beschermen en het leven en de vooruitzichten van iedereen, overal, te verbeteren), wordt eerlijke verdeling hier daarom geïnterpreteerd als het voorkomen dat kosten worden afgewenteld op kwetsbare groepen of actoren die geen baat hebben bij een bepaalde ontwikkeling, en als het streven naar de garantie van extra voordelen voor degenen die het nodig hebben (bijvoorbeeld het expliciet betrekken van arme huishoudens bij geothermieprojecten).

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 3

Algemeen kan gesteld worden dat iedereen de kans moet krijgen om de diepe ondergrond te benutten en dat kosten en baten proportioneel verdeeld moeten worden. Zij die kosten dragen, moeten daarvoor een baat/vergoeding ontvangen die proportioneel is ten opzichte van deze kosten. Onder kosten en baten worden alle mogelijke negatieve en positieve effecten verstaan, zoals opgenomen in principe 2.

Criteria met betrekking tot het beheer en de uitbating van de hulpbron

- Criteria:
  - Een vergunning is beperkt in de tijd (geen eeuwigdurende concessies)
  - Er worden exclusiviteitsregels voor de afbakening van een vergund volumegebied bepaald naargelang het type van activiteit
  - Bepaalde volumegebieden worden (gedeeltelijk) beschouwd als studiegebied met specifieke 'toegangsregels' die het uitvoeren van onderzoek in het algemeen belang mogelijk maken

- Indicatoren:
  - Aantal jaar dat de hulpbron geëxploiteerd mag worden
  - Mate waarin de hulpbron geëxploiteerd mag worden
  - Mate waarin het gebruik van een geologisch volume exclusief is
  - Mate waarin een bepaald gebied/volume als 'studiegebied' beschouwd wordt

Criteria met betrekking tot de beschikbaarheid van de hulpbron voor toekomstige generaties

- Criteria:
  - Flexibiliteit garanderen omdat de behoeften van toekomstige generaties onzeker zijn
  - De verwachte geologische, economische, milieu en sociale impact van de ontwikkeling van een activiteit op de mogelijkheden voor toekomstige generaties wordt periodiek bestudeerd
  - Er zijn regels bepaald over hoe het vergunde gebied (ondergronds en bovengronds) achter te laten bij ontmanteling om zo hergebruik mogelijk te maken
- Indicatoren:
  - Mate waarin het beheerplan van de hulpbron periodiek aangepast wordt aan een veranderlijke context en met het belang van de toekomstige generaties voor ogen.
  - Verwachte geologische, economische, milieu en sociale impact van de ontwikkeling van een activiteit voor de toekomstige generatie (zie andere indicatoren)
  - Mate waarin het vergunde gebied (ondergronds en bovengronds) achter gelaten kan worden bij ontmanteling om zo hergebruik mogelijk te maken

Criteria met betrekking tot een rechtvaardige verdeling van kosten en baten

- Criteria:
  - Maatschappelijke kosten die gepaard gaan bij de ontwikkeling van een activiteit worden niet disproportioneel meer gedragen door specifieke bevolkingsgroepen
  - Indien een bepaalde groep disproportioneel meer kosten draagt en er een mogelijkheid bestaat dat bepaalde stakeholder groepen negatieve impact ondervinden, worden er gepaste compensatieschema's voorzien

- Er bestaan duidelijke regels en overeenkomsten met betrekking tot de verdeling van verantwoordelijkheden in het geval van onverwachte maatschappelijke kosten
- De prijszetting voor het gebruik van het geleverde product of dienst is rechtvaardig
- De ontwikkeling van een activiteit voorziet in de basisbehoeften van de huidige en toekomstige bevolking (sufficiency approach)
- De ontwikkeling van een activiteit wordt beschouwd als rechtvaardig door diegene die de impact ervan ondervinden

- Indicatoren:
  - Mate waarin maatschappelijke actoren effecten ondervinden van de ontwikkeling van een activiteit (los van geografische grenzen en inclusief doorkijk naar toekomstige generaties)
  - Omvang van de maatschappelijke basisbehoeften
  - Netto-voordeel per actor
  - Mate waarin voor-en nadelen van het gebruik van de hulpbron (on)gelijk verdeeld zijn tussen diverse maatschappelijke actoren en tussen de huidige en toekomstige generatie (milieugerelateerde ginicoëfficient/Lorenz curve)
  - Welzijn van betrokkenen
  - Mate waarin een ontwikkeling als rechtvaardig beschouwd wordt door de maatschappelijke actoren die de effecten ervan ondervinden
  - Mate waarin de lokale bevolking de ontwikkeling van een activiteit als rechtvaardig beschouwt
  - Mate waarin er compensatie voorzien wordt voor getroffenen, i.e. voor wie de activiteit een netto negatief effect tot gevolg heeft

2.4 PRINCIPE 4. PRINCIPE VAN TRANSPARANTIE

Principe van transparantie

Planning en ontwikkeling van de diepe ondergrond moeten op een transparante manier plaatsvinden. Dit omvat passende communicatie van data naar alle huidige en toekomstige belanghebbenden, en goed gegevensbeheer, geleid door zowel het FAIR-principe (vindbaar, toegankelijk, uitwisselbaar en herbruikbaar: Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) als het principe “zo open als mogelijk, zo gesloten als nodig”.

Het principe van transparantie steunt op twee belangrijke pijlers:

- de beschikbaarheid van data middels goed gegevensbeheer, en
- een actieve, doelgroepspecifieke communicatie naar belanghebbenden.

Binnen dit principe wordt data beschouwd als alle vormen van gegevens, zowel kwantitatief als kwalitatief.

Beschikbaarheid van data

Als exploitant brengt het verzamelen van data kosten met zich mee. Tijdens de studie- en planningsfase wordt deze data daarom niet steeds openbaar beschikbaar gesteld. In lijn met de Aarhus Conventie, de Richtlijn inzake toegang tot milieu-data (2003/4/EG) en de MER wetgeving, ook van toepassing op onder meer ontginningen, dient zo veel mogelijk data raadpleegbaar te zijn voor potentieel geïmpacteerde actoren vanaf de vergunningsaanvraag. Omwille van ingeroepen commerciële belangen is evenwel niet alle data die ook voor niet-commercieel betrokken belanghebbenden (bv. omwonenden) interessant kan zijn openbaar beschikbaar. Vaak wordt op die manier meer data afgeschermd dan strikt noodzakelijk. Het uitgangspunt “zo open als mogelijk, zo gesloten als nodig”, benadrukt dat ernaar gestreefd moet worden om zoveel mogelijk data te delen zonder dat dit nadelige economische gevolgen heeft voor diegene die de data ter beschikking stelt. De regulerende overheid kan hierin een bemiddelende rol spelen (bv. partiële data beschikbaar stellen, inzagerecht onder bepaalde voorwaarden, …). Een duidelijk wettelijk kader hiervoor (bv. met betrekking tot het tijdsaspect van wanneer data beschikbaar kan worden gesteld) ontbreekt nog op dit moment in Vlaanderen.

Passende communicatie

Niet alle betrokken belanghebbenden hebben noodzakelijkerwijze op hetzelfde moment behoefte aan dezelfde data. Communicatiebehoeften verschillen zowel qua vorm als inhoud tussen belanghebbenden, in functie van de tijd, het type activiteit en hun relatie daartoe. Transparante planning en ontwikkeling van de ondergrond houdt meer in dan het passief beschikbaar houden van alle relevante data ter consultatie. Het vraagt een actief beschikbaar maken van deze data voor alle mogelijke types belanghebbenden.

Wat de (diepe) ondergrond betreft, wordt data doorgaans gegenereerd op basis van modellen die bepaalde aannames bevatten. In die zin is het belangrijk om ook te communiceren over de metadata en andere relevante informatie. Daarnaast is het van belang om goed te identificeren wat momenteel ‘onbekend’ is en wat er nodig is om deze onbekende aspecten te begrijpen (“identifying the unknowns”).

Het beschikbaar maken en uitsturen van informatie, alsook het reageren op informatievragen is nog iets anders dan het inzetten op participatie in de besluitvorming. Dat aspect komt aan bod in het volgende principe, principe 5.

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 4

Criteria zijn afhankelijk van de fase van het project en de stakeholder naar dewelke er gecommuniceerd wordt.

Criteria met betrekking tot toegankelijkheid

- Criteria:
  - Bij de ontwikkeling van een activiteit in de diepe ondergrond wordt alle data van maatschappelijk belang toegankelijk gemaakt
  - Belanghebbenden zijn via verschillende kanalen op de hoogte gebracht van de ontwikkeling van een activiteit in de ondergrond
  - Belanghebbenden hebben toegang tot zowel basis- als meer geavanceerde kennis van de ondergrond en over welke activiteiten potentieel hebben en realistisch zijn in Vlaanderen
  - Commerciëel gevoelige data worden wel gedeeld met de toezichthoudende overheid of vergunningverlener en er worden afspraken gemaakt over hoe daarover gecommuniceerd kan worden met verschillende belanghebbenden

- Indicatoren:
  -
  - Mate waarin data publiek beschikbaar gemaakt worden (via de meest geschikte en toegankelijke kanalen)
  - Mate waarin modaliteiten voorzien worden opdat niet-commercieel betrokken belanghebbenden toegang kunnen hebben tot voor hen relevante, maar niet publiek beschikbare data
    - Mate waarin data beschermd worden volgens de meest recente richtlijnen en wetgeving

Criteria met betrekking tot rapportage

- Criteria:
  - Alle data die publiek beschikbaar gemaakt moet worden, worden op een gestandaardiseerde manier gerapporteerd.
  - Data rapportage volgt de FAIR principes (findability, accessibility, interoperability, and reusability)
- Indicatoren:
  - Mate waarin de data volgens het FAIR principe gerapporteerd wordt.

- Criterium:
  - Alle data die publiek beschikbaar gemaakt moeten worden, wordt onafhankelijk gecontroleerd
- Indicatoren:

- Mate waarin bij de ontwikkeling van een activiteit in de diepe ondergrond onafhankelijke instanties aangeduid worden om zowel publiek beschikbare als commercieel gevoelige data te controleren

Criteria met betrekking tot communicatie aan verschillende doelgroepen

- Criterium:
  - Bij de ontwikkeling van een activiteit wordt een communicatieportfolio uitgewerkt, dat een onderscheid maakt tussen verschillende stakeholders en waarin verschillende communicatiekanalen opgenomen zijn
- Indicatoren:
  - Communicatieportfolio
    - Mate waarin er een communicatiestrategie ontwikkeld is, afgestemd op de verschillende stakeholders, zodat ze op een geschikte manier en met een geschikte frequentie worden benaderd
  - Mate waarin er voor elk project in de diepe ondergrond…
    - … gecommuniceerd wordt over mogelijke risico's en risicobeheer
    - … gecommuniceerd wordt over samenwerkingen met andere partners
    - … data beschikbaar wordt gesteld op verschillende niveaus van detail
    - … gecommuniceerd wordt met toegankelijke taal en visualisaties

2.5 PRINCIPE 5. PRINCIPE VAN INCLUSIEF BESTUUR

Principe van inclusief bestuur

Zij die (mogelijk) gevolgen ondervinden van het gebruik van de diepe ondergrond moeten op passende wijze worden geïnformeerd, geraadpleegd en betrokken bij het besluitvormingsproces tijdens de planning, implementatie-, exploitatie- en ontmantelingsfasen van activiteiten in de ondergrond.

Zoals reeds geduid bij het vorige principe betekent “passend” in deze context dat verschillende groepen moeten worden betrokken op basis van hun behoeften en capaciteiten, zodat ze op een rechtvaardige manier kunnen deelnemen aan de besluitvorming. “Passend” hangt niet enkel af van de kenmerken van de betrokkenen, maar ook van de fase waarin een project zich bevindt.

Wie en hoe te betrekken, kan verschillen naargelang de situatie: dit zal anders lopen, mogelijks ook met (deels) andere belanghebbenden, in de planningsfase (bv. in het kader van de studiefase of opsporingsvergunning) of implementatiefase (gelinkt aan de omgevingsvergunning), dan wel in de exploitatie- en ontmantelingsfase. “Betrokken worden bij het besluitvormingsproces” hoeft niet te betekenen finaal mee te oordelen over een concrete vergunning, maar wel de kans te krijgen gehoord te worden in het traject vooraf.

“Gevolgen ondervinden” slaat hier niet noodzakelijk enkel op negatieve gevolgen en het ondervinden van schade, maar het spreekt voor zich dat een inclusief besluitvormingsproces expliciet aandacht dient te hebben voor zij die mogelijks negatieve gevolgen zullen ondervinden. Het principe van inclusief bestuur streeft ernaar particuliere belangen te overstijgen en een collectief bewustzijn, inzet voor de gemeenschap en een gedeelde visie op de toekomst te realiseren.

Rollen en verantwoordelijkheden van betrokken actoren moeten duidelijk gemaakt worden, wat niet belet dat deze kunnen variëren doorheen het proces. Er lijkt dan ook een belangrijke taak weggelegd voor de toezichthoudende overheid als bewaker van dit principe en als degene die bepaalt wie wanneer kan/moet deelnemen. Maar ook de initiatiefnemer (private projectontwikkelaar, overheid of combinatie van beide) heeft een duidelijke verantwoordelijkheid in het opzetten van een proces van inclusief bestuur.

Tijdens de workshop werd heel specifiek gesuggereerd dat de overheid een bemiddelende rol zou moeten opnemen indien belanghebbenden zich onvoldoende gehoord voelen in het ontwikkelingsproces van een bepaalde activiteit en dat het aan de overheid is om over te gaan tot de oprichting van een onafhankelijk controleorganisme of adviescomité voor het gebruik van de diepe ondergrond, naar voorbeeld van de VREG, de regulator van de Vlaamse energiemarkt. Dit leek de uitvoerders van deze studie een interessante piste om verder te verkennen, maar nog te prematuur om al te vertalen naar criteria en indicatoren.

Terwijl principe 3 focust op de verdeling van maatschappelijke kosten en baten tussen verschillende maatschappelijke actoren, en principe 4 focust op het verstrekken van informatie (voorlichting) en het delen van data met maatschappelijke actoren, focust principe 5 op de mate waarin en de manier waarop maatschappelijke actoren inspraak krijgen bij de besluitvorming en de ontwikkelingen van de activiteiten mee vorm kunnen geven.

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 5

In onderstaande geven we eerst een algemene lijst van criteria en indicatoren voor stakeholderbetrokkenheid. Daarna worden een aantal meer specifieke criteria opgelijst voor de (toezichthoudende) overheid enerzijds en de initiatiefnemer anderzijds, waarbij enige overlap tussen algemene en meer specifieke criteria kan voorkomen.

Criteria met betrekking tot stakeholderbetrokkenheid

- Criteria:
  - Belanghebbenden zijn op de hoogte van de verschillende stappen in het ontwikkelingsproces van de activiteit en weten waar ze voor informatie en met vragen en bedenkingen terecht kunnen
  - Belanghebbenden worden betrokken tijdens elke fase van het project
  - Belanghebbenden worden betrokken bij en op de hoogte gehouden van wetenschappelijk onderzoek omtrent het gebruik van de diepe ondergrond
  - Er bestaat een duidelijk protocol met betrekking tot het participatieproces, afgestemd op de fase waarin een project zich bevindt
  - Bij het bepalen van de risico's en het risicobeheer werd rekening gehouden met de visies en bekommernissen van diverse belanghebbenden (link met principe 6)
  - In voorkomend geval, werden betrokken stakeholders gehoord over de (eventuele) uitwerking van een compensatieregeling (link met principe 6)
- Indicatoren:
  - Mate waarin contactpersoon of meldingspunt aangeduid zijn bij de betrokken ontwikkelaar of exploitant en bij de bevoegde overheid
  - Mate waarin burgers en belanghebbenden vragen, opmerkingen, bezwaarschriften indienen bij het daarvoor voorziene contactpunt
  - Aantal vragen, opmerkingen, bezwaarschriften ingediend door burgers en belanghebbenden bij het daarvoor voorziene contactpunt
  - Mate waarin vragen, opmerkingen, bezwaarschriften verscheiden zijn
  - Mate waarin vragen van burgers en belanghebbenden door de verantwoordelijke instanties beantwoord zijn
  - Aantal workshops of andere inspraakmomenten georganiseerd en mate waarin mogelijkheid gegeven wordt om feedback te geven.
  - Aantal inspraakmomenten georganiseerd gericht op doelgroepen die moeilijk bereikbaar zijn
  - Frequentie van informatie- en inspraakmomenten over de verschillende fasen heen (vanaf de exploratiefase tot en met de ontmantelingsfase en nabestemmingsfase)
  - Aantal aanwezigen tijdens informatiemomenten of hoorzittingen
  - Mate waarin de achtergrond van deelnemers aan informatiemomenten of hoorzittingen verscheiden is
  - Aantal burgers financieel betrokken bij de ontwikkeling van het project (vb. als mede-eigenaar)
  - Aantal burgers actief betrokken bij het project (vb. bij dataverzameling in het kader van wetenschappelijk onderzoek of in een co-creatie proces)
  - Mate waarmee rekening gehouden wordt met de bekommernissen van diverse belanghebbenden (link met principe 6)
  - Mate waarin verantwoordingsdocumenten bij compensatieregelingen publiek beschikbaar gemaakt worden (link met principe 6)

Criteria met betrekking tot de rol van de toezichthoudende overheid bij stakeholder participatie

- Criteria:
  - De overheid voorziet in een kader van richtlijnen/best practices voor het betrekken van stakeholders (bv. zoals voorzien in de MER wetgeving)
  - De overheid staat garant voor gelijke belangenbehartiging en bemiddelt waar nodig
  - De overheid motiveert genomen beslissingen
- Indicatoren:
  - Mate waarin er richtlijnen uitgewerkt zijn die aangeven hoe stakeholders te betrekken
  - Mate waarin stakeholders vinden dat hun belangen gelijk behartigd worden
  - Mate waarin beslissingen schriftelijk en openbaar gemotiveerd worden

Criteria met betrekking tot de rol van de initiatiefnemer bij stakeholder participatie

- Criteria:
  - De initiatiefnemer toont bereidheid tot dialoog
  - De initiatiefnemer heeft alle relevante belanghebbenden in kaart gebracht en hernieuwt regelmatig deze analyse
  - De initiatiefnemer organiseert doorheen het ontwikkelingstraject overlegmomenten om in dialoog te gaan met burgers en belanghebbenden, ook na het bekomen van de vergunning
  - De initiatiefnemer voorziet in een aanspreekpunt voor het uiten van bezorgdheden, het melden van eventuele schade, etc.
- Indicatoren:
  - Aantal overlegmomenten georganiseerd door de initiatiefnemer
  - Mate waarin een aanspreekpunt voor het uiten van bezorgdheden, klachten en het melden van schade aanwezig is
  - Mate waarin het participatietraject met stakeholders concreet omschreven wordt en gedeeld met overheden en publiek.
  - Mate en frequentie waarin (nieuwe) stakeholders in kaart gebracht worden
  - Mate waarin gecommuniceerd wordt naar stakeholders en burgers
  - Aantal personen aanwezig tijdens de overlegmomenten
  - Aantal types van stakeholders aanwezig tijdens de overlegmomenten
  - Aantal momenten waarop de initiatiefnemer communiceert
  - Type van informatie dat gecommuniceerd wordt
  - Mate waarin een procedure aanwezig is voor het behandelen van bezorgdheden, klachten en het melden van schade
  - Aantal ‘dossiers met betrekking tot bezorgheden/schade’ behandeld door het aanspreekpunt

2.6 PRINCIPE 6. PRINCIPE VAN VERANTWOORD RISICOBEHEER

Principe 6 is opgedeeld in twee sub-principes.

Principe van verantwoord risicobeheer

- *Voorzorgsprincipe*: activiteiten met een onzeker potentieel voor significante schade moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat de risico’s voldoende gekwantificeerd zijn.

- *Preventieprincipe*: activiteiten die significante schade met zich meebrengen, moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat de significante risico's of schade voldoende gemitigeerd zijn.

De huidige wetgeving (decreet diepe ondergrond, milieuwetgeving) stelt het principe "geen schade" reeds voorop als doel. Het voorzorgsprincipe heeft een brede draagwijdte en omvat in de eerste plaats fysieke schade, schade aan de omgeving en de gezondheid, maar heeft evenzeer betrekking op economische en sociale effecten. Belangrijk is dat het voorzorgsprincipe niet als normwaarde (vb. een bepaalde magnitude) kan begrepen worden, maar bekeken moet worden op basis van locatieafhankelijke parameters. Wat op een bepaalde locatie een te hoog risico is, is dat niet noodzakelijk op een andere locatie.

Tijdens de workshop werd aangegeven dat het preventieprincipe verlammend kan werken en werd de voorkeur gegeven aan een actief en adaptief risicobeheer, waarbij een gevarenkansanalyse wordt beoordeeld door een onafhankelijk orgaan. Het bestaande wetgevend kader verplicht vandaag reeds het voorzorgsprincipe te hanteren alsook een gevarenkansanalyse uit te voeren met daarbij een responsprotocol. Wanneer het eerste projecten van een bepaalde toepassing betreft, is er vaak nog niet voldoende kennis of data om wetenschappelijk en met voldoende zekerheid aan te tonen dat de risico's op schade aanvaardbaar zijn, of om te bepalen welke operationele parameters dit voldoende waarborgen. Door voortschrijdend inzicht kan dit steeds verder verfijnd worden, ook binnen het kader van het voorzorgs- en preventieprincipe. Op die manier kan rekening gehouden worden met de tijdsdimensie, de inherente onzekerheid, de langdurige en eventueel nog ongekende gevolgen, en daarmee verbonden verantwoordelijkheden.

Het principe van verantwoord risicobeheer legt de bewijslast bij de initiatiefnemer, om kosten en risico's van private commerciële initiatieven niet af te wentelen op de maatschappij. Maar ook de overheid kan initiatiefnemer zijn, bv. wanneer een activiteit maatschappelijk noodzakelijk wordt geacht, maar niet commercieel interessant genoeg voor private ondernemingen; of in het geval van een publiek-private samenwerking.

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 6

In de huidige milieueffectenrapportage (MER) worden reeds veel criteria voor de impact aan de oppervlakte en de ondiepe ondergrond opgenomen. Voor seismiciteit in Vlaanderen wordt momenteel gewerkt aan een nieuw algemeen kader, door het Vlaamse Departement Omgeving en de Koninklijke Sterrenwacht van België. Voor fysieke schade bij seismiciteit bestaat er een aftoetsingskader met DIN normering voor gebouwen. Voor grondwaterkwaliteit bestaan er grondwaternormen (in verband met contaminatie). Voor dergelijke analyses wordt doorgaans een risicomatrix gebruikt, opgebouwd uit criteria en grenswaarden. Het uiteindelijke resultaat is de verwachte maatschappelijke kost die gepaard gaat met het risico. Naast deze risicomatrix vormt ook het opstellen van het risicobeheerplan, opvolging en eventuele bijsturing (handhaving) deel van de evaluatie. Bij schade zijn rapportering en maatregelen nodig. Een mogelijk initiatief dat genomen kan worden door de operator, is een traffic light system waarbij de ontwikkeling of exploitatie permanent gemonitord wordt en tijdelijk gestopt of verlaagd kan worden. Dit systeem is evenwel niet altijd en overal toepasbaar.

- Criteria:

- Bij de ontwikkeling van een activiteit is er een kader aanwezig om huidige en toekomstige risico's, impact, en verwachte maatschappelijke kost in te schatten. Dit kader gebruikt daarbij risicocriteria en grenswaarden, die zo universeel mogelijk worden toegepast. Afwijkingen kunnen case-by-case gemotiveerd worden.
- Bij de ontwikkeling van een activiteit wordt er een plan voor verantwoord risicobeheer opgemaakt.
- De bevoegde overheid laat zich adviseren door een onafhankelijk adviescomité van experts inzake de risicobeoordeling van het gebruik van de diepe ondergrond.
- De risicobeoordeling gebeurt met een vooraf bepaalde frequentie tijdens de looptijd van het project, en indien relevant ook na de looptijd van het project.
- Op basis van de evolutie van projectactiviteiten, het overschrijden van grenswaarden of voortschrijdend inzicht kunnen mitigatiemaatregelen of bijkomend onderzoek opgelegd worden.
- Er mogen geen activiteiten met onomkeerbare gevolgen worden opgestart voordat de risico's voldoende geëvalueerd zijn.
- Er is een participatief traject opgezet door de initiatiefnemer om met stakeholders in overleg te gaan over mogelijke risico's, verwachte impact en mogelijke maatschappelijke kosten en het risicobeheerplan (gelinkt aan P3 en P5).
- Het risicobeheerplan omvat een compensatieregeling in geval er zich schade zou voordoen (gelinkt aan P3 en 5).

- Indicatoren:
  - Mate waarin een kader beschikbaar is voor de inschatting van risico's, impact, en verwachte maatschappelijke kost bij de ontwikkeling van een activiteit.
  - Mate waarin een risicobeheerplan beschikbaar is waarbij er indicatoren opgenomen zijn omtrent o.a. risicobepaling, risicobeperking en monitoring.
  - Mate waarin het kader voor risicobeheer rekening houdt met onzekerheden, waarbij niet enkel de gemiddelde impact wordt beoordeeld, maar ook de extremen en de waarschijnlijkheid hiervan.
  - Mate waarin er wordt rekening gehouden met interferenties tussen activiteiten (gelinkt aan principe 2).
  - Mate waarin beslissingen gemotiveerd en transparant zijn (gelinkt aan principe 4).
  - Mate waarin er mogelijkheid is tot beroep en klachten/feedback (gelinkt aan principe 5).
  - Mate waarin het participatietraject dat opgestart zal worden door de initiatiefnemer om met stakeholders in overleg te gaan over mogelijke risico's, verwachte impact, en het risicobeheerplan, gedocumenteerd is (gelinkt aan principe 5).
  - Mate waarin een compensatieregeling in geval er zich schade zou voordoen, gedocumenteerd is (gelinkt aan principe 3 en 5).

3 HET OPSTELLEN VAN EEN EVALUATIEKADER GEKOPPELD AAN PRINCIPES, CRITERIA, EN INDICATOREN

De uitvoerders van deze opdracht ontwikkelden een methode die helpt om inzicht te krijgen in hoe beleid de ontwikkeling van de ondergrond kan sturen en de mate waarin de activiteiten in de ondergrond kunnen bijdragen aan de transitie naar een koolstofarme en circulaire economie. De methode werkt beslissingsondersteunend om beleidsmakers te helpen een visie en afwegingskader te ontwikkelen met betrekking tot het gebruik van de diepe ondergrond en een inschatting te maken van de mogelijke impact van verschillende beleidsscenario's (zie D6). Wat hieronder beschreven staat, is een korte toelichting bij de methode. Een uitgebreidere toelichting met betrekking tot de methode is terug te vinden in de impactanalyse (D7).

Het afwegingskader dat ontwikkeld wordt, bestaat uit twee onderdelen. Het eerste onderdeel omvat een beslisboommodel dat inzicht geeft in de waarschijnlijkheid dat een bepaalde activiteit tot ontwikkeling kan komen, gegeven bestaande activiteiten in de diepe ondergrond, geologische randvoorwaarden, criteria die opgelegd worden door het beleid, en de verwachte winstgevendheid voor private ontwikkelaars. Het tweede onderdeel omvat een multicriteria-analyse om de impact van de door het model aangegeven activiteiten gestructureerd voor te stellen.

3.1 HET BESLISBOOMMODEL

Het beslisboommodel is gestoeld op de reële optietheorie. Deze theorie laat toe om rekening te houden met onzekerheden en flexibiliteit bij de ontwikkeling van activiteiten in de diepe ondergrond doorheen de tijd. Er wordt vertrokken van alle activiteiten die mogelijks op specifieke locaties in de ondergrond toegepast kunnen worden binnen een tijdshorizon van 25 jaar.

Onder verschillende beleidsvisies en op basis van geologische randvoorwaarden en de verwachte winstgevendheid van elke activiteit geeft het model aan welke activiteiten met een bepaalde kans tot ontwikkeling kunnen komen, binnen deze tijdshorizon. Per beleidsvisie zullen verwachte geologische, milieu, sociale, en economische effecten kwalitatief of kwantitatief bepaald worden (i.e., een meting van een beperkte set van duurzaamheidsindicatoren uit het voorgaande hoofdstuk). Deze resultaten kunnen vervolgens gebruikt worden om af te toetsen in welke mate het gebruik van de ondergrond onder een bepaald beleidsvisiebeantwoord aan de voorgestelde duurzaamheidsprincipes. De beleidsvisies die onderzocht worden zijn opgenomen in deelrapport D4.

3.2 DE IMPACTEVALUATIE

Het tweede onderdeel van de impactanalyse is de impactevaluatie. Voor elke set van activiteiten geselecteerd door het model zullen meerdere impacts gemeten worden en gestructureerd in een spiderdiagram (zie deelrapport D7 voor verdere toelichting):

- Vermijden van uitputting (gelinkt aan principe 1).
- Het openhouden van ontwikkelingsopties voor toekomstige generaties (gelinkt aan principe 1)
- Economische waarde (gelinkt aan principe 2)

- Klimaatimpact (gelinkt aan principe 2)
- Benuttingsgraad (gelinkt aan principe 2)
- Afwezigheid interferenties (gelinkt aan principe 2)
- Afwezigheid belemmerende activiteiten (gelinkt aan principe 2)
- Sociale wenselijkheid van de activiteit (gelinkt aan principe 3)

De keuze van indicatoren is voornamelijk gebaseerd op data die beschikbaar is vanuit bestaande modellen en kennis. Toekomstig onderzoek kan de onderzochte set aan indicatoren verder verfijnen en uitbreiden. Principes 4-6 worden niet meegenomen in de evaluatie omdat deze principes procesmatig zijn en de impactanalyse enkel de geologische, economische, milieu, en sociale effecten onderzoekt en niet de procesmatige aspecten van het gebruik van de diepe ondergrond.

4 CONCLUSIE

Op basis van een literatuurstudie, een Delphi-bevraging in twee ronden bij nationale en internationale experts en een workshop met Vlaamse stakeholders, werden **6 principes** gedefinieerd voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond:

- P1 - Principe van het behoud van hulpbronnen en assimilatievermogen
- P2 - Principe van efficiënte allocatie
- P3 - Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling
- P4 - Principe van transparantie
- P5 - Principe van inclusief bestuur
- P6 - Principe van verantwoord risicobeheer

Principes 1 tot 3 kunnen omschreven worden als 'inhoudelijk'. Zij hebben in hoofdzaak betrekking op de inhoud van de activiteit(en) in kwestie. Principes 4 tot 6 zijn meer 'procesmatig'. Zij hebben betrekking op bestuurlijke en beheeraspecten bij de ontwikkeling en uitvoering van de activiteit(en) in kwestie.

Deze principes kaderen binnen het theoretische en ethische raamwerk van de ecologische economie of donut economie. Zij stellen de noodzaak voorop van een regulerende rol van de overheid om de vrijemarkteconomie binnen de gelimiteerde planetaire en sociale grenzen te houden.

Voor elk van deze principes werden vervolgens criteria en indicatoren uitgewerkt. Indicatoren zijn daarbij de maatstaven waarmee de impact van het gebruik van de diepe ondergrond gemeten kunnen worden. De voorgestelde criteria en indicatoren dienen gezien te worden als een eerste stap in een proces waarbij deze op regelmatige basis verfijnd en geüpdatet dienen te worden. De toepasbaarheid van deze criteria en indicatoren moet verder in de praktijk getest worden. Sommige formuleringen blijven nog vaag en in algemene termen. Zij dienen nog verder aangepast te worden aan specifieke situaties, wegens hun locatie- en activiteit- gebonden karakter.

Een aantal van de voorgestelde criteria zijn vandaag al opgenomen of vervat in bestaande wetgevende kaders. Voor andere is dit niet of nog niet het geval. Het is ook niet noodzakelijk dat alle criteria vertaald worden in wet- en regelgeving of in administratieve procedures. Dit kan ook via bv. sectorafspraken, onderzoeksprogramma's of andere initiatieven.

Dit PC&I raamwerk zal gebruikt worden om bij de uitwerking van de impactanalyse (D7) en de bepaling van de geologische, economische, milieu en sociale effecten, de resultaten af te toesten aan deze duurzaamheidsprincipes.

REFERENTIES

1. Van Ree, C.C.D.F. and P.J.H. van Beukering, *Geosystem services: A concept in support of sustainable development of the subsurface.* Ecosystem Services, 2016. **20**: p. 30-36.
2. Michael, K., et al., *Framework for the assessment of interaction between CO2 geological storage and other sedimentary basin resources.* Environmental Science: Processes & Impacts, 2016. **18**(2): p. 164-175.
3. Mouter, N., A. de Geest, and N. Doorn, *A values-based approach to energy controversies: Value-sensitive design applied to the Groningen gas controversy in the Netherlands.* Energy Policy, 2018. **122**: p. 639-648.
4. Field, B.B.B.F.R.H.K.N.A.S.H., *Managing potential interactions of subsurface resources.* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2018. **232**(1): p. 6-11.
5. Gray, M.G.J.E.B.E.J., *Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management.* PGEOLA Proceedings of the Geologists?? Association, 2013. **124**(4): p. 659-673.
6. Van Gessel, S.F., et al., *Geological services towards a sustainable use and management of the subsurface: a geoethical imperative.* Annals of Geophysics, 2017. **60**.
7. Vidovic, J., et al., *EuroGeoSurveys: from a non-profit association to a geological service for Europe.* Geological Society, London, Special Publications, 2020. **499**(1): p. 129-137.
8. Gill, J.C., *Geology and the sustainable development goals.* Episodes Journal of International Geoscience, 2017. **40**(1): p. 70-76.
9. Griffioen, J., et al., *A technical investigation on tools and concepts for sustainable management of the subsurface in The Netherlands.* Science of The Total Environment, 2014. **485-486**: p. 810-819.
10. Commission, B., *World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. 1987, Oxford University Press, Oxford.
11. Robinson, J., *Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development.* Ecological Economics, 2004. **48**(4): p. 369-384.
12. Daly, H.E., *Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just, and sustainable.* Ecological Economics, 1992. **6**(3): p. 185-193.
13. Elkington, J. and I.H. Rowlands, *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business.* Alternatives Journal, 1999. **25**(4): p. 42.
14. Raworth, K., *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. 2017: Chelsea Green Publishing.
15. Krawchenko, T.A. and M. Gordon, *How Do We Manage a Just Transition? A Comparative Review of National and Regional Just Transition Initiatives.* Sustainability, 2021. **13**(11): p. 6070.
16. Martinez-Alier, J., G. Munda, and J. O'Neill, *Weak comparability of values as a foundation for ecological economics.* Ecological Economics, 1998. **26**(3): p. 277-286.
17. Daly, H.E. and J. Farley, *Ecological Economics, Second Edition: Principles and Applications*. 2011: Island Press.
18. Van Cauwenbergh, N., et al., *SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems.* Agriculture, Ecosystems & Environment, 2007. **120**(2): p. 229-242.
19. BERTIER, P., et al., *Palaeo-climate controlled diagenesis of the Westphalian C & D fluvial sandstones in the Campine Basin (north-east Belgium).* Sedimentology, 2008. **55**(5): p. 1375-1417.
20. Daly, H.E., *Toward some operational principles of sustainable development.* Ecological Economics, 1990. **2**(1): p. 1-6.



D4 Mogelijke beleidsvisies voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Deelrapport 4

D4. Mogelijke beleidsvisies voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

In dit rapport wordt eerst verkend in welke mate andere Europese landen beleid uitwerken voor het meervoudig gebruik van de diepe ondergrond en hoe ze desgevallend dergelijk beleid vormgeven. Vervolgens wordt er dieper ingegaan op de verschillende beleidsvisies die onderzocht zullen worden in de impactanalyse (Deelrapport D7).

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Tine Compernolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst
Syed-Mujtaba Masroor – UAntwerpen | FBE
Anne Bergmans – UAntwerpen | FSW
Kris Welkenhuysen – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Piessens – KBIN | Belgische Geologische Dienst

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Compernolle, T., Masroor, S.M., Welkenhuysen, K., Bergmans, A., Piessens, K. (2025). D4. Beleidvisies voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond.* Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS







MANAGEMENTSAMENVATTING

Om de diepe ondergrond op een duurzame manier te ontwikkelen, is er een nood aan een regelgevend kader. Er wordt eerst verkend in welke mate andere Europese landen beleid uitwerken voor het meervoudig gebruik van de diepe ondergrond en hoe ze desgevallend dergelijk beleid vorm geven. Uit een beperkte bevraging blijkt dat beleid aangaande de diepe ondergrond verschilt tussen verschillende landen. In landen waar er weinig activiteiten in de diepe ondergrond plaatsvinden (vb. Liechtenstein) of waar mogelijk gebruik van de diepe ondergrond slechts recentelijk geëxploreerd wordt (vb. Zwitserland), is huidig beleid beperkt tot regelgeving omtrent grondwaterwinning. Andere landen, zoals Nederland, Frankrijk, Duitsland, Slovenië, Noorwegen en Denemarken gebruiken de diepe ondergrond veelvuldig. Deze landen geven aan dat omwille van een toename in het (toekomstig) gebruik van de diepe ondergrond, er nood is aan een beleidskader om een meervoudig en duurzaam gebruik van de diepe ondergrond te reguleren, rekening houdend met mogelijke (grensoverschrijdende) interferenties. Hoewel de ontvangen antwoorden niet altijd even gedetailleerd waren geeft deze studie wel een algemeen beeld van hoe deze landen meervoudig gebruik van de ondergrond beheren. Toekomstig onderzoek zal dieper ingaan op specifieke cases en uitdagingen met betrekking tot een duurzaam beheer van meervoudig gebruik van de diepe ondergrond.

Na dit overzicht worden verschillende mogelijke beleidsvisies voor Vlaanderen besproken. Op dit ogenblik wordt de diepe ondergrond veelal beheerd op basis van een first-come first-served principe en mogelijke conflictsituaties worden op een case-by-case basis opgelost. Om te begrijpen hoe de ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen kan worden vormgegeven door beleid, zal er onderzocht worden hoe verschillende beleidsvisies effect hebben op de ontwikkeling van de diepe ondergrond, rekening houdend met de geologische,economische, milieu en sociale randvoorwaarden in Vlaanderen. Er wordt daarbij uitgelegd hoe deze beleidsvisies kaderen in de verdere impactanalyse (zie deelrapport D7) van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

INHOUDSTAFEL

1 Inleiding 5
2 Internationale bevraging 5
2.1 Methode 5
2.2 Resultaten internationale bevraging 6
3 Beleidsvisies voor de ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen 19
3.1 De beleidsvisies 19
3.2 Beslisbomen 21
4 Conclusie 23
5 Referenties 23

1 INLEIDING

Binnen de huidige wetenschappelijke literatuur wordt er meer en meer aangegeven dat de ondergrond beschouwd zou moeten worden als een geosysteem dat slechts in beperkte mate gekend is en waar verschillende soorten van activiteiten plaatsvinden die kunnen interfereren met andere activiteiten die simultaan lopen of die impact hebben op het potentieel van mogelijke toekomstige activiteiten (Van Ree & van Beukering, 2016). Om de ondergrond efficiënt te beheren vanuit het perspectief van duurzame ontwikkeling, is er nood aan een regulerend. Dit regulerend kader zou daarbij complexiteiten omtrent eigenaarschap, mogelijke conflicterende belangen tussen stakeholders, geologische randvoorwaarden verbonden aan de toepassing van elke activiteit, en een afstemming tussen ondergrondse en bovengrondse hulpbronnen moeten ondervangen (Hámor Vidó et al., 2021 en Volchko et al., 2020).

Het Decreet Diepe Ondergrond voorziet activiteit-specifieke wettelijke bepalingen omtrent de toepassing en vergunningsverlening van activiteiten in de diepe ondergrond die onder Vlaamse bevoegdheid vallen en volgt daarbij, in zoverre van toepassing, de richtlijnen van de Europese Commissie. Er zijn in het Decreet Diepe Ondergrond bepalingen voorzien om rekening te houden met mogelijke interferenties en ook het planmatig en duurzaam beheer van de ondergrond is één van de gunningscriteria. In dit decreet wordt ook de opmaak van een structuurvisie opgelegd. Deze structuurvisie zal handvaten aanreiken voor een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

In dit rapport wordt eerst verkend in welke mate andere Europese landen beleid uitwerken voor het meervoudig gebruik van de diepe ondergrond en hoe ze desgevallend dergelijk beleid vorm geven. Vervolgens worden de verschillende beleidsvisies zoals voorgedragen door de opdrachtgever en besproken tijdens de tweede workshop op 22 september 2023 met de leden van de klankbordgroep toegelicht. Er wordt daarbij uitgelegd hoe deze beleidsvisies kaderen in de verdere impactanalyse van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen.

2 INTERNATIONALE BEVRAGING

2.1 METHODE

Gezien de schaarste aan vergelijkende rapporten over nationale beleidsmaatregelen met betrekking tot het gebruik van de (diepe) ondergrond, werd in deze studie via e-mail contact opgenomen met 24 Europese landen. Onze eerste contactpersonen waren ministeries of departementen die verantwoordelijk zijn voor regionale ontwikkeling en ruimtelijke ordening. Activiteiten in de ondergrond vallen in verschillende landen evenwel onder verschillende jurisdicties. Daarom werd het bereik verder uitgebreid en werd er contact opgenomen met nog eens 56 overheidsdepartementen van de verschillende Europese landen. Elk contactpunt kreeg minstens één herinneringse-mail, met een tussenpauze van minimaal 5 werkdagen na de eerste contactdatum.

In de e-mail werden de volgende vragen gesteld:

1. Hoe belangrijk is het gebruik van de diepe ondergrond in uw land?
2. Is er een (wettelijk) onderscheid tussen ondiepe en diepe ondergrond?
3. Is er een algemeen beleid, regelgeving of langetermijnvisie op het gebruik van de ondergrond?
4. Is er aandacht voor multifunctioneel gebruik van de diepe ondergrond, en voor mogelijke interferenties die daarmee samenhangen (bijvoorbeeld in plan- of vergunningprocedures)?
5. Zijn mogelijke grensoverschrijdende effecten van het gebruik van de diepe ondergrond een uitdaging in uw land?

Er werd van 18 landen een antwoord ontvangen. Voor sommige landen kon er eenvoudig op de e-mail geantwoord worden, voor andere landen werd er bijkomende verduidelijking gegeven via e-mail of via een online vergadering.

2.2 RESULTATEN INTERNATIONALE BEVRAGING

De resultaten van de bevraging worden weergegeven in onderstaande tabel. De bevraging was beperkt in omvang maaar laat wel toe een algemeen beeld te schetsen over hoe verschillende landen omgaan met het gebruik van de diepe ondergrond. Toekomstig onderzoek zal dieper ingaan op specifieke cases en uitdagingen met betrekking tot een duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Europa.

Het beheer van de diepe ondergrond is sterk verschillend binnen Europa. Liechtenstein is vanwege haar alpiene terrein en het beperkte territorium het enige land zonder lopende of geplande activiteiten in de diepe ondergrond. Malta en Luxemburg maken evenmin actief gebruik van de diepe ondergrond, maar er bestaan wel plannen voor mogelijk toekomstig gebruik. In Zwitserland en Spanje is beleid aangaande het gebruik van de ondergrond beperkt tot beleid omtrent de winning van grondwater. Het kanton Genève in Zwitserland heeft wel een grootschalig geothermisch energie-initiatief gelanceerd voor thermische verwarming, en Spanje bevindt zich in het beginstadium van exploratieprojecten voor CO_2-opslag, diepe geothermische energie en waterstofopslag. Hoewel geen van beide landen op dit moment beleid of wetgeving heeft die verder gaat dan grondwaterbeheer, ontwikkelt Zwitserland een geothermisch beheerplan en is Spanje van plan dit voorbeeld te volgen. Van de landen die gereageerd hebben, zijn Denemarken, Frankrijk, Noorwegen, Duitsland, Slovenië en Nederland, landen die veelvuldig gebruik maken van de diepe ondergrond. De ervaringen van deze landen worden onder de tabel verder uitgelegd.

Er zijn ook landen die niet geantwoord hebben, maar waarvan we wel weten dat ze gebruik maken van de ondergrond en ook nadenken over het duurzaam beheer van mogelijke ontwikkelingen. Zo is de afstemming tussen stedelijke ontwikkeling en de planning van ondiepe toepassingen in de ondergrond één van de negen onderzoeksgebieden in het onderzoeksprogramma van het Zweedse BeFo (in het Engels: the rock engineering research foundation (2021 – 2025)). In het kader van dit Zweedse onderzoeksprogramma worden er in het onderzoeksproject "Duurzaam gebruik van hulpbronnen in de ondergrondse ruimte" 5 principes voorgesteld om een duurzame planning van de ondergrond te ondersteunen: 1) Geschiktheid, 2) Veranderd gebruik, 3) Driedimensionaal denken, 4) Optimalisatie en 5) Flexibiliteit Projecten. Een ander lopend project, getiteld "Novel subsurface thematic representations to support planning and valuation" heeft als doel het ontwikkelen van nieuwe (en nuttige) thematische informatie ter ondersteuning van ruimtelijke (2D en 3D) stadsplanning voor duurzaam gebruik en beheer van de ondergrond. Specifieke doelstellingen zijn: (1) de diensten en goederen die de ondergrond levert in kaart brengen en

categoriseren, (2) methoden beschrijven voor het waarderen van geosysteemdiensten, (3) onderzoeken op welk planningsniveau verschillende geosysteemdiensten het beste beheerd kunnen worden, en (4) onderzoeken hoe beschikbare gegevens en bijbehorende onzekerheden effectief kunnen worden weergegeven voor de voorgestelde nieuwe thema's in een tijdperk van digitalisering en grotere mogelijkheden voor 3D-modellering. Hoewel deze rapporten voornamelijk van toepassing zijn op de ondiepe ondergrond, zouden vergelijkbare principes uitgewerkt en aangepast kunnen worden voor toepassingen in de diepe ondergrond.

Land	Contact	Activiteiten in de diepe ondergrond	ondiep/ diep?	Beleid multifunctioneel gebruik/interferenties	Interferenties internationaal
Denemarken	-GEUS Geological Surveys of Denmark and Greenland -Centre for Subsoil Resources and Risk Preparedness	-Diepe geothermie voor warmtenetten. -CO_2 opslag -Winning van koolwaterstoffen	Ja – voor activiteiten die zich situeren boven de -250m is er geen vergunning nodig	-Activiteit specifiek beleid -First-come first-served -Erkent nood aan beleid voor multifunctioneel gebruik	Maatschappelijke weerstand tav activiteiten in de diepe ondergrond
Duitsland	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) GEOZENTRUM HANNOVER	-Exploitatie fossiele energiebronnen -Opslag aardgas -Diepe geothermie -Meer recent/toekomstig: opslag van waterstof, CO2, warmte en koude	Niet in de wetgeving. Gebruik vuistregel: boven de 400m is 'ondiep'	-first come first served -bij vergunningverlening moeten mogelijke interferenties en compatibiliteit met andere activiteiten onderzocht worden	-consultaties bij stakeholders in grensregio -evaluatie van grensoverschrijdende milieu-impacten
Finland	Ministry of the environment	-diepe geothermie -opslag nucleair afval -mijnbouw	Nee	-op niveau van ondiepe ondergrondse infrastructuur	-grondwater -geothermie
Frankrijk	BRGM	-diepe geothermie -opslag van aardgas -olie- en gaswinning -berging nucleair afval (projectfase) -opslag van waterstof (toekomst) -opslag van CO_2 (toekomst)	Nee	-Activiteit specifiek beleid -first come first served -erkent nood aan beleid voor multifunctioneel gebruik	-diepe geothermie in de Elzas (Frankrijk, Duitsland, Zwitzerland)
Griekenland		-olie -en gaswinning -opslag aardgas -geothermie -opslag van CO_2 en waterstof wordt onderzocht	Nee, maar ondiepe geothermische systemen zijn beperkt tot een diepte van 400m.	-regelgeving activiteit per activiteit -geen algemeen beleid voor het gebruik van de ondergrond -beleid is gericht op milieubescherming	-ja, bij de grens met Turkije
Hongarije	Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatóságánál	Pannonische Bekken: gebruik van thermaal water, geothermie. Opslag CO_2 en waterstof wordt onderzocht.	Nee	Geen lange termijn visie. Het gebruik van de ondergrond wordt geregeld door Mijnwetgeving, wetgeving rond waterbeheer, en milieubescherming. Wel een decreet om mogelijke interferenties te beheren.	Ja, het Pannonische bekken strekt zich uit over verschillende landen.
Liechtenstein (niet EU)	Office Of Building Construction And Spatial Planning	Nee	Nee	Nee	Nee
Luxemburg	Ministère de la Mobilité et des Travaux publics	-diepe geothermie (toekomst)	Nee	Nee	Nee
Malta	Continental Shelf Department	-exploratie koolwaterstoffen -potentieel opslag van gas -potentieel geothermische energiewinning en geothermische energieopslag	Nee	Nee	Nee
Nederland	Directie Transitie Diepe Ondergrond | Directoraat-Generaal Groningen en Ondergrond	Gaswinning Diepe geothermie	Nee, wel een grens van 100 meter onder NAP voor delfstoffen en 500	Ja	Ja

	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat		meter onder NAPvoor aardwarmte		
Noorwegen (niet EU)		-olie- en gaswinning -CO_2-opslag	Nee	-Activiteit specifiek beleid -Conflicterend gebruik is groeiende bezorgdheid -Praktische benadering om conflicten op te lossen (participatief) -case by case	Olie- en gaswinning
Oostenrijk	Geosphere Austria	-Olie- en gaswinning -Toenemend belang van geothermie -Ban op CC(U)S maar wordt opnieuw geëvalueerd	Nee, activiteit specifiek	-grondwater: first-come first-served -olie -en gaswinning: concessiesysteem -geothermie: concessiesysteem wordt onderzocht Geen algemeen beleid om mogelijk conflicterend gebruik te reguleren	Aquifer met thermale waters (Duitsland en Oostenrijk). Commissie met vertegenwoordigers uit beide landen die beslissingen neemt omtrent het gebruik.
Portugal	Direção de Serviços de Recursos Hidrogeológicos e Geotérmicos	-bronwater -diepe geothermie	Nee	Nee, gericht op het vermijden van conflicten	Nee
Slovenië	Geological survey of Slovenia	-thermaal water -winning van koolwaterstoffen -geothermie -verbod op CO2 opslag	Nee, in de praktijk wordt er een grens van 300m gehanteerd	Gebruik van benchmarking indicatoren voor het beheer van het Pannonische Bekken	Ja, Pannonische bekken strekt zich uit over meerdere landen
Spanje	Instituo Geológico y Minero de España	-veel lopende exploraties: opslag van CO2, waterstof, winning van waterstof, diepe geothermie	Nee	Nee, first come first served. Milieuwetgeving bepaalt bepaalde grenzen van het gebruik	Ja, EU regelgeving wordt gevolgd
Tsjechië	Czech Geological Survey	belang ondergrond groeit: onderzoeken naar de berging van nucleair afval en opslag van CO_2	Nee	Nee, first come first served. Regelgeving met betrekking tot bescherming van natuurlijke hulpbronnen bij mijnbouwactiviteiten	Turow mijn
Verenigd Koninkrijk (niet EU)	British Geological Survey	Olie -en gaswinning. Belang van de ondergrond groeit: opslag CO_2, waterstof en berging nucleair afval	Nee	Multifunctioneel gebruik wordt erkend en onderzocht. Zie bv. https://www.nstauthority.co.uk/media/qa1kykrt/a5overview2024.pdf	Olie -en gaswinning, internationale milieu-impact.
Zwitzerland (niet EU)	Gestion des ressources du sous-sol (Genève)	Beperkt gebruik. Diepe geothermie	Nee/Ja, in termen van eigenaarschap	Planning wordt bepaald per kanton. Voor Genève is er een 'underground resources management plan' in ontwikkeling met focus op geothermie en grondwater	Ja, case-by-case

Denemarken

In Denemarken is de diepe ondergrond jarenlang zeer belangrijk geweest voor offshore olie- en gasexploratie. De laatste jaren is de diepe ondergrond op het vasteland ook in beeld gekomen - vooral voor het gebruik van diepe geothermische energie (voor stadsverwarming) en de opslag van CO_2. Zo is de bouw van Europa's grootste geothermische installatie gepland in Aarhus (de op één na grootste stad van Denemarken) en vindt er momenteel een vergunningsronde plaats voor de opslag van CO_2 in verschillende geologische structuren op het vasteland. In veel gevallen is hetzelfde ondergrondse reservoir in beeld voor zowel de exploitatie van geothermische energie als de opslag van CO_2. Het is dus zeer waarschijnlijk dat er in de toekomst belangenconflicten kunnen ontstaan. Tot nu toe is hier nog niet veel aandacht aan besteed en voor zover geweten is er geen regelgeving over prioritair gebruik van de ondergrond bij conflictsituaties. Denemarken beschikt niet over specifieke instrumenten met betrekking tot prioritering of de coördinatie van vergunningsprocedures. In de Deense wetgeving geldt het principe prior tempore, potior jure wat inhoudt dat in eerste instantie de 'eerste' vergunninghouder een beschermd recht heeft op het gebruik van de ondergrond, ongeacht opeenvolgende, overlappende of interfererende vergunningen. Vergunningen die zijn afgegeven in overeenstemming met de Deense wet op de ondergrond bevatten wel vaak een bepaling over andere vormen van gebruik van de ondergrond en stellen specifiek dat de minister van Klimaat, Energie en Nutsbedrijven kan beslissen welk gebruik 'wint'. Hoewel er dus erkend wordt dat er nood is aan beleid om het meervoudig gebruik van de diepe ondergrond te beheren, is het huidig beleid activiteit specifiek en gebaseerd op een first-come first-served principe. Denemarken probeert momenteel kwesties in kaart te brengen met betrekking tot het naast elkaar bestaan van CO_2-opslag en diepe geothermische energieprojecten. Er zijn momenteel geen situaties waarbij conflicterend gebruik van de ondergrond grensoverschrijdend is. Met betrekking tot de geologische opslag van CO_2 zijn er bijvoorbeeld wel zorgen geuit door Duitse belanghebbenden.

Frankrijk

In Frankrijk vinden de volgende activiteiten plaats in de diepe ondergrond: diepe geothermische energie (er zijn 78 diepe geothermische doubletten in bedrijf in Frankrijk, over het algemeen op een diepte tussen de 1.600 en 2.600 meter; en er is één diepe geothermische energiecentrale in bedrijf in Guadeloupe, op een diepte van ongeveer 1.000 meter); olie- en gaswinning (voornamelijk in het bekken van Parijs en het bekken van Aquitaine, en in de Franse overzeese gebieden); mijnbouw (op geringe diepte: bauxietwinning tot op een diepte van 230 meter, zoutwinning tot op een diepte van 160 meter en andere, nog ondiepere operaties); opslag van aardgas (15 operationele locaties in Frankrijk, tussen enkele honderden meters en 2000 meter onder het oppervlak); en grondwaterwinning. Bovendien is het Cigéo-project (in projectfase en in afwachting van vergunningen) gericht op de bouw van een geologische opslagfaciliteit voor radioactief afval, in een kleilaag op een diepte van ongeveer 500 meter. Wat betreft mogelijke toekomstige toepassingen van de diepe ondergrond, beginnen er in Frankrijk projecten op te komen aangaande de geologische opslag van CO_2 en waterstof, evenals projecten voor warmteopslag in aquifers.
Momenteel is er geen Frans beleid van kracht dat rekening houdt met meervoudig gebruik, interacties tussen activiteiten in de ondergrond en de regulering ervan. Sinds begin 2010 zijn er echter discussies in deze richting gaande. De hervorming van de Franse mijnbouwwet in 2022-2023 (geïntegreerd in de klimaat- en veerkrachtwet) voorziet in de invoering van een nationaal beleid voor ondergrondse hulpbronnen en gebruik (Politique nationale des ressources et usages du sous-sol, PRUSS). Deze PRUSS wordt momenteel opgesteld door de regering en zal in dezomer van 2024 worden gepresenteerd aan het parlement. Er wordt wel nagedacht over de inrichting van de ondergrond in stedelijk gebied, maar het denken over het globale beheer van de diepe ondergrond is veel minder ver gevorderd en er is momenteel geen planologisch beleid voor het multifuncitoneel

inzetten van deze ruimte. In de praktijk wordt het gebruik vaak gereguleerd door milieubeschermingsvoorschriften of door simpelweg rekening te houden met reeds bestaand gebruik. De haalbaarheidsstudies of impactstudies die voor elk project nodig zijn, moeten interferentie tussen verschillende projecten voorkomen. Een prospectieve geïntegreerde visie bestaat momenteel niet. De toepassing van het kader "geïntegreerd beheer" op de ondergrond werd door de Franse Nationale Geologische Dienst (BRGM) met verschillende partners besproken (zie La gouvernance élargie des filières d'ingénierie du sous-sol (jenparle.net)). BRGM heeft een voorlopige analyse uitgevoerd van de interacties tussen de verschillende toepassingen van de ondergrond (http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-66114-FR.pdf) en probeert zijn bezorgdheid over deze potentiële interferenties tussen de toepassingen van de ondergrond te integreren in de projecten die het uitvoert. De onderzoeken die zullen worden uitgevoerd binnen het Onderzoeksprogramma "Ondergrond als een gemeenschappelijk goed" zijn er op gericht nuttige inzichten te leveren inzake een duurzaam en verantwoord gebruik van de ondergrond. Diepe geothermische energie in de Elzas is een voorbeeld waar grensoverschrijdende interferentie mogelijk kan plaatsvinden. Geothermische bronnen, exploitatiemethoden en sociale kwesties zijn vergelijkbaar voor zowel Frankrijk, Duitsland en Zwitserland. Hiervoor is er grensoverschrijdende samenwerking opgezet.

Noorwegen

In Noorwegen hebben de belangrijkste ondergrondse activiteiten betrekking op olie- en gaswinning en CO_2-opslag op het Noors continentaal plat. Geothermische energiewinning wordt sporadisch op privaat, huishoudelijk niveau toegepast. Er zijn geen overheidsinitiatieven voor het gebruik van geothermische energie en bijgevolg ook geen nationale beheersystemen hiervoor. De hernieuwbare bronnen voor elektriciteitsproductie in Noorwegen zijn voornamelijk waterkracht en een deel windenergie. Aangezien Noorwegen geen dichtbevolkt gebied is, vinden potentiële conflicten over het gebruik van de ondergrond eerder offshore dan on-shore plaats, maar dan nog zijn er weinig conflicten over het gebruik van areaal tussen de industriële sectoren die hier actief zijn (het Noorse continentaal plat heeft een oppervlakte van 2,7 miljoen km²). Noorwegen heeft veel ervaring met het beheer van grensoverschrijdende samenwerkingen in verband met olie- en gaswinning. In het geval olie- en gasreservoirs gedeeld worden door het VK en Noorwegen, worden bilaterale overeenkomsten opgesteld die ‘de unitisatie’ (het eenmaken) van dergelijke gedeelde velden regelen. Hierdoor wordt gewaarborgd dat ze op een eerlijke en transparante manier gezamenlijk geëxploiteerd kunnen worden. Een ander voorbeeld van conflicterend gebruik van het Noors continentaal plat is het conflict tussen de visserij en de olie- en gasindustrie. Exploratieboringen kunnen het paaiseizoen van vissen verstoren. In dit geval is er een overeenkomst gesloten dat proefboringen niet mogen plaatsvinden tijdens het broed-/paaiseizoen van de vis (tijdsbeperking). Aangezien olie- en gasactiviteiten en de opslag van CO_2 moeten plaatsvinden waar de bron zich bevindt, moeten windparken worden geplaatst in gebieden waar deze activiteiten niet plaatsvinden. Een nieuw en potentieel gebruiksconflict is de situatie waarin verlaten gas- of oliereservoirs kunnen worden gebruikt voor CO_2-opslag of kunnen worden gereactiveerd om de nog aanwezige olie en gas verder te winnen. In dergelijk geval maken verschillende partijen aanspraak op de hulpbron. Het winnen van olie en gas levert economische voordelen op maar draagt bij tot de klimaatopwarming en zou de permanente opslag van CO_2 kunnen vertragen. Gebruiksconflicten worden van geval tot geval opgelost. De Noorse overheid heeft geen gestandaardiseerd beoordelingskader/-procedure voor het beheer van de ondergrond. Er zijn echter bepalingen in de wetgeving die van toepassing zijn op de verschillende industrieën op het continentaal plat die het ministerie van Energie of, in voorkomend geval, de regering het recht geven om te beslissen welk gebruik prioriteit heeft (bijvoorbeeld in een geval waarin moet worden gekozen tussen CO_2-opslag of olie- en gaswinning). Aangezien de meeste commerciële activiteiten op het Noors continentaal plat onder de verantwoordelijkheid van het ministerie van Energie vallen, worden potentiële conflicten over het

gebruik van areaal op dat niveau opgelost. Deze oplossingen zijn voornamelijk gebaseerd op objectieve principes en criteria en richten zich voornamelijk op economische aspecten en overwegingen.

Duitsland

In Duitsland wordt de diepe ondergrond al decennia als belangrijk beschouwd voor de exploitatie van fossiele hulpbronnen zoals bruinkool en steenkool, aardolie en aardgas, voor de exploitatie van gasopslagfaciliteiten, geothermische energiewinning of de berging van nucleair afval. De afgelopen jaren is de diepe ondergrond nog belangrijker geworden met het oog op een uitbreiding van de geothermische energiewinning en nieuwe toepassingen zoals de ondergrondse opslag van waterstof, koolstofdioxide of warmte/koude-opslag. In Duitsland wordt het gebruik van de ondergrond momenteel geregeld in het kader van de Duitse federale mijnbouwwet (Bundesberggesetz, BBergG) door middel van individuele vergunningen ("first come-first serve"-principe), voor CO_2-opslag is er een specifieke wet (lex specialis), de Kohlendioxid-Speicherungsgesetz (KSpG). Ruimtelijke ordening van de ondergrond valt onder de Duitse federale wet op ruimtelijke ordening (Raumordnungsgesetz, ROG), die zowel offshore als onshore van toepassing is. Planning op het land valt onder de bevoegdheid van de afzonderlijke staten (Länder), terwijl planning voor de Duitse exclusieve economische zone onder de federale verantwoordelijkheid valt. De ROG schrijft niet voor hoe moet worden omgegaan met concurrerende eisen voor het gebruik van de ondergrond. Dit is afhankelijk van politieke prioriteiten en strategieën (zowel op federaal niveau als door de afzonderlijke deelstaten). Voor sommige individuele toepassingen bestaan er reeds bepaalde strategieën. Zo is op deelstaatniveau het "Landesentwicklungsplan" van de deelstaten Sleeswijk-Holstein en Mecklenburg-Vorpommern een voorbeeld van een plan waarin rekening wordt gehouden met activiteiten in de ondergrond. Momenteel werkt de federale regering aan een koolstofmanagementstrategie (voor het koolstofvrij maken van de industrie), een langetermijnstrategie voor negatieve emissies en een actualisering van de mariene/maritieme strategie. Mogelijks wordt hierin ook aandacht besteed aan (duurzaam) gebruik van de ondergrond.

Multifunctioneel gebruik van de diepe ondergrond in Duitsland wordt in verschillende wetteksten of documenten op verschillende manieren beschouwd: terwijl het BBergG een algemene eis bevat om conflicten met ander gebruik te beoordelen tijdens het verlenen van een vergunning, worden verschillende specifieke, potentieel conflicterende activiteiten in de ondergrond opgesomd in het KSpG en moet de verenigbaarheid van een CO_2-opslagproject met deze activiteiten worden beoordeeld als onderdeel van de vergunningsprocedure. Een ander voorbeeld: de "Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG)" over de berging van nucleair afval bevat een clausule om booractiviteiten te voorkomen die de geschiktheid van een bepaald gebied/ondergronds volume voor de berging van nucleair afval in gevaar kunnen brengen.
Daarnaast bestaat een rapport van de Duitse Federale Commissie voor Geowetenschappen (BLA-GEO) over "Karakterisering van ondergrondse hulpbronnen in Duitsland als basis voor de evaluatie van het beheer van ondergrondse ruimte". Dit rapport geeft voorbeelden van multifunctioneel gebruik van lagen in de geologische kolom.

Daarnaast wordt in dit rapport ook rekening gehouden met mogelijke grensoverschrijdende effecten. Voor de voorbereiding van maritieme ruimtelijke plannen bijvoorbeeld, werden de buurlanden geraadpleegd en kregen ze de kans om opmerkingen te geven en suggesties te doen om een coherente planning te garanderen. Een ander voorbeeld is de samenwerking met geologische onderzoeken van buurlanden voor de karakterisering van grensoverschrijdende CO_2-opslag, zoals vastgelegd in de federale wet op de opslag van CO_2 (KSpG). Bovendien wordt Duitsland zelf ook

gecontacteerd door buurlanden in verband met mogelijke grensoverschrijdende effecten. Zo heeft het Deense Energieagentschap, toen Denemarken acht on- en offshore gebieden aankondigde voor de toekenning van vergunningen voor de exploratie en opslag van CO_2, Duitsland als buurland op de hoogte gebracht van de start van milieueffectenbeoordelingen op strategisch niveau voor deze gebieden. Dit houdt ook een evaluatie in van mogelijke grensoverschrijdende milieueffecten. Duitsland en de Duitse kuststaat Sleeswijk-Holstein hebben gevraagd om deel te nemen aan de openbare raadpleging. Het Federaal Agentschap voor Maritieme Zaken en Hydrografie (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, BSH) trad aan Duitse zijde op als verantwoordelijke autoriteit voor het verzamelen van de opmerkingen uit Duitsland.

Slovenië (Pannonische Bekken)

Het Pannonische bekken ligt in Centraal- en Oost-Europa en strekt zich uit over Hongarije, Slovenië, Oostenrijk, Slovakije, Roemenië, Servië, Bosnië-Herzegovina en Kroatië. De geologie van het bekken creëert gunstige omstandigheden voor het gebruik van geothermische energie vanwege de sedimentlagen die tot een diepte van 8000 meter reiken. In het verleden werd het bekken gebruikt voor de winning van thermaal water, voornamelijk voor balneologie en directe verwarming. De laatste jaren is de aandacht meer verschoven naar geothermische energieproductie voor elektriciteit, vooral in Kroatië. Daarnaast worden er in Hongarije en Kroatië verkennende tests uitgevoerd voor de opslag van CO_2 en waterstof en wordt herinjectie toegepast om de duurzaamheid van geothermische watervoerende lagen te verbeteren. Toekomstige plannen omvatten een verhoogde samenwerking tussen de verschillende landen om de regelgeving en het delen van gegevens te harmoniseren, waardoor het duurzaam beheer van de geothermische bronnen wordt bevorderd.

Wat betreft Slovenië wordt het westelijke Pannonische bekken gebruikt voor de productie van thermisch water, grondwater en beperkte koolwaterstofproductie. Opslag van CO_2 in de ondergrond is echter verboden door een milieubeschermingswet en de opslag van waterstof is nog niet overwogen.

In Slovenië zijn de overheden zich bewust van mogelijke conflicten die gepaard kunnen gaan met gelijktijdig, multifunctioneel gebruik van geothermisch water voor de toepassingen verwarming, balneologie en agrarisch gebruik. Meerdere vormen van gebruik van de ondergrond bestaan momenteel naast elkaar zonder veel interferentie, maar omdat vergunningen voor het gebruik van activiteiten in de ondergrond door verschillende ministeries worden verleend, is er kans op interferentie en is het mogelijk dat vergunningsvereisten niet geharmoniseerd zijn. Er is geen prioritering in het gebruik van de ondergrond in het Sloveense deel van het Pannonische bekken. In Slovenië wordt een benchmarking-criterium gebruikt voor het beheer van thermale ondergrondse wateren. Dit betekent dat thermale wateren die worden geëxploiteerd volgens de Waterwet jaarlijks worden gecontroleerd en dat de beheerspraktijken overeenkomstig worden aangepast. De verleende concessies veranderen echter meestal niet drastisch. Deze evaluatie wordt gedaan door het Milieuagentschap en het Ministerie van Milieu en Ruimtelijke Planning. Er is slechts één concessie verleend voor een geothermisch doublet volgens de Mijnbouwwet, en de vergunningsvoorwaarden daarvan zijn niet geharmoniseerd met die van de Waterwet.

Grensoverschrijdend beheer van thermisch grondwater en regelgeving verschilt tussen de landen in het Pannonisch bekken; in Slovenië is het, volgens de Mijnbouwwet, verplicht om al het afgekoelde grondwater dat wordt onttrokken voor geothermisch gebruik opnieuw te injecteren, terwijl de Waterwet deze beslissing aan de concessiehouder overlaat en een lagere vergunningsvergoeding vraagt als het thermale water na gebruik geïnjecteerd wordt. Als gevolg van maatregelen in het kader van het Nationaal Waterbeheerplan in Slovenië zijn nieuwe onttrekkingen alleen toegestaan

als het water opnieuw wordt geïnjecteerd. In Hongarije is herinjectie echter alleen verplicht voor grondwater dat wordt gebruikt voor stadsverwarmingssystemen, maar de opvolging is beperkt. Bovendien wordt in Oost-Hongarije veel van het gebruikte water direct geloosd in rivieren, wat vervuiling kan veroorzaken. Nieuw gebruik van thermaal water is economisch gezien vrij duur in Slovenië, omdat grondwater opnieuw in de ondergrond moet worden geïnjecteerd aangezien duurzaamheid prioriteit heeft.

Het beheer van de geologische hulpbronnen in het Pannonische bekken is gebaseerd op een veelzijdige aanpak, waarbij regionale samenwerking wordt geïntegreerd met nationale controleprogramma's om de toestand van de watervoerende lagen en het gebruik van de hulpbronnen op te volgen. Dit omvat regelmatige communicatie en soms gegevensuitwisseling tussen landen om gezamenlijk beheer te vergemakkelijken. Het toezicht wordt uitgeoefend door een combinatie van nationale en regionale autoriteiten, die elk verantwoordelijk zijn voor specifieke aspecten van de exploitatie van geothermische energie, grondwaterbeheer en milieubescherming. In Slovenië bijvoorbeeld speelt het Ministerie van Milieu en Ruimtelijke Planning, in samenwerking met de Geologische Dienst van Slovenië, een cruciale rol bij het toezicht op en de regulering van activiteiten in de ondergrond.

Tot de belangrijkste beheerstrategieën behoren de implementatie van de best beschikbare technologieën, zoals herinjectiesystemen om de druk in de geothermische reservoirs te handhaven en duurzaamheid te garanderen, en de ontwikkeling van een uniform operationeel monitoringsprogramma aangevuld met nationaal toezicht. Regelgevende kaders, geleid door EU-richtlijnen zoals de Kaderrichtlijn Water, ondersteunen deze inspanningen in het hele stroomgebied. Het overkoepelende doel blijft het duurzame en efficiënte gebruik van geothermische bronnen, waarbij economische ontwikkeling in evenwicht wordt gebracht met milieubescherming. Officieel rapporteren alle landen voor deze Kaderrichtlijn, maar de mate van detail verschilt sterk. Hoewel aan de wettelijke eisen wordt voldaan, kunnen de verzamelde gegevens niet gebruikt worden voor kwantitatieve vergelijking, omdat elk land zijn eigen normen kan bepalen. Ook het vergunningensysteem voor de onttrekking van thermaal water en de exploitatie van geothermische bronnen is niet efficiënt, omdat het zowel te complex als traag is, wat de ontwikkeling van nationale geothermische sectoren belemmert. Wetgeving en grondwaterregelgeving variëren sterk in de regio, waardoor een geharmoniseerde aanpak van relevante instituten en autoriteiten nodig is. Ondanks het feit dat veel landen deel uitmaken van de Europese Unie, is er geen uniforme aanpak voor het beheer van thermaal water, wat kan leiden tot misverstanden bij consumenten en onderzoekers vanwege verschillende definities en drempelwaarden.

In het Pannonische bekken wordt het beheer van de ondergrond geleid door negen belangrijke benchmarkingindicatoren die getest zijn in de betrokken landen en aanzienlijke verschillen en verbeteringen in beheerpraktijk aan het licht hebben gebracht. Deze indicatoren fungeren als informele regels, die in sommige landen als informeel kader worden gebruikt, terwijl ze in andere landen deel uitmaken van officiële decreten.
De benchmarkingindicatoren zijn als volgt:

1. Monitoringstructuur - officieel geschreven in decreten (voor Slovenië)
2. Beste beschikbare technologie - officieel vastgelegd in decreten (voor Slovenië)
3. Thermisch rendement - officieel vastgelegd in besluiten (voor Slovenië)
4. Gebruiksrendement - officieel vastgelegd in besluiten (voor Slovenië)
5. Herinjectiesnelheid
6. Kwaliteit van geloosd thermisch water,
7. Overmatige onttrekking,
8. Toestand van de waterbalans

9. Publiek bewustzijn

Hoewel deze criteria worden geaccepteerd als minimumvereisten voor effectief beheer, zijn ze nog niet in alle landen geharmoniseerd. In Hongarije bijvoorbeeld wordt, volgens de nationale behoeftes, sterk de nadruk gelegd op het prioriteren van drinkwater, wat zich dan ook weerspiegelt in de wetgeving

Met name in Slovenië werden de indicatoren in 2015 toegepast en geïntegreerd in waterconcessiebesluiten voor geothermische locaties volgens de Waterwet. Dit kader schrijft strenge monitoring voor. Naleving wordt afgedwongen door middel van inspecties. Locaties die niet voldoen aan de criteria moeten corrigerende vijfjarenplannen implementeren. Daarnaast omvatten de criteria voor het prioriteren van activiteiten in de ondergrond een ruimtelijke analyse en een strikte bescherming van drinkwaterbeschermingsgebieden, om ervoor te zorgen dat geothermische projecten niet in conflict komen met drinkwatervoerende lagen of koolwaterstofreservoirs. Ondanks deze gestructureerde aanpak blijven het bewustzijn van het publiek en de betrokkenheid van de gemeenschap beperkt, met name voor diepe geothermische projecten. Lokale gemeenschappen kunnen deelnemen aan besluitvormingsprocessen, maar worden vaak niet vroeg genoeg geïnformeerd om de planning effectief te kunnen beïnvloeden.

Nederland

Het gebruik van de diepe ondergrond is van essentieel belang voor de energievoorziening in Nederland. Daarnaast speelt de diepe ondergrond een belangrijke rol in de energietransitie en daarmee het behalen van de Europese klimaatdoelen. De komende decennia wil Nederland de diepe ondergrond in toenemende mate gebruiken voor nieuwe en duurzame vormen van mijnbouw, zoals de winning van aardwarmte en de opslag van stoffen zoals waterstof. Ondanks dat de winning van aardgas en olie afgebouwd wordt, zal Nederland in beperkte mate fossiele grondstoffen beschikbaar blijven stellen om de energietransitie mogelijk te maken en de leveringszekerheid van energie te waarborgen. Zodoende is het van belang om de ruimte in de diepe ondergrond optimaal te benutten ten behoeve van de verschillende belangen die hierboven zijn beschreven.

Door de Geologische Dienst Nederland wordt de ondergrond tot 500 meter onder NAP als ondiep beschouwd, en worden de aardlagen hieronder (dieper dan 500 m onder NAP) als diepe ondergrond beschouwd. Er bestaat geen algemeen wettelijk onderscheid tussen de ondiepe en de diepe ondergrond. Voor specifieke toepassingen wordt er echter wel een wettelijk onderscheid gemaakt in artikel 2 van de Mijnbouwwet, waarbij een minimale grens van 100 meter geldt voor delfstoffen en 500 meter voor aardwarmte. Het verschilt zodoende per activiteit wat als diep en ondiep wordt beschouwd.
Link: Expertisegroep Geomodelling | TNO

Het gebruik van de ondergrond is geen ‘geïsoleerd’ beleidsdomein maar raakt aan beleid omtrent energie en omgeving. Daarom wordt er beleid, regelgeving en een langetermijnvisie op het (duurzaam) gebruik van de ondergrond opgenomen in verschillende beleidsdocumenten:

- Het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) beschrijft de lange-termijnvisie op het energiesysteem in 2050 en ziet toe op een meer gecoördineerde ontwikkeling van de energietransitie, waarbij de verschillende schakels in het energiesysteem zo goed mogelijk op elkaar worden afgestemd.
  Link: open.overheid.nl/documenten/2f5cbb52-0631-4aad-b3dd-5088fab859c5/file
- De Nationale Omgevingsvisie (NOVI) vormt het leidende kader vanuit het Rijk voor de ontwikkeling van de leefomgeving in Nederland. Met het oog op verschillende ruimtelijke uitdagingen zoals klimaatverandering, woningbouw en mobiliteit, vormt de NOVI een integrale

visie op de toekomstige inrichting van Nederland en wordt richting gegeven aan decentrale keuzes. De verschillende opgaven zijn verder uitgewerkt in een aantal thematische programma's, waaronder het PEH.
Link: Publicaties Nota Ruimte | De Nationale Omgevingsvisie

- PEH: Het Programma Energiehoofdstructuur is de opvolger van eerdere ruimtelijke visies en is gemaakt in de context van onder andere de Omgevingswet en de Nationale Omgevingsvisie.
  Link: open.overheid.nl/documenten/f7d12cc1-4f28-4596-b498-ee56077b3622/file

- De Structuurvisie Ondergrond (STRONG) richt zich op duurzaam, veilig en efficiënt gebruik van bodem en ondergrond waarbij benutten en beschermen met elkaar in balans zijn. Het is een gezamenlijke visie van de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK).
  Link: open.overheid.nl/documenten/ronl-da2bbe33-1384-4f85-9912-1b3d389e091e/pdf

In navolging op de Structuurvisie Ondergrond worden er op dit moment twee programma's uitgewerkt die van belang zijn te benoemen. Ten eerste wordt door het Ministerie van EZK gewerkt aan het Nationaal Programma Duurzaam Gebruik Diepe Ondergrond (NPDGDO). Het doel van het programma is om in afstemming met regionale overheden te kijken naar de ruimtelijke inpassing van mijnbouwactiviteiten, door vooraf te bepalen waar en onder welke voorwaarden deze plaats kunnen vinden.

Daarnaast werkt het ministerie van IenW aan de ontwikkeling van het Nationaal Programma Bodem en Ondergrond. Het programma zet voor de komende jaren de koers uit voor de invulling van de balans tussen beschermen en benutten van de bodem en ondergrond. Het Ministerie van EZK draagt hier ook aan bij vanuit de verantwoordelijkheid voor mijnbouw en de energietransitie.

Overige beleidsstukken die relevant zijn:

- In de Kamerbrief Contourennota aanpassing Mijnbouwwet van 20 januari 2023 staan beleidsvoornemens met betrekking tot de herziening van de mijnbouwwetgeving en het gebruik van de diepe ondergrond tot 2050.

- In de Kamerbrief *Water en Bodem Sturend* worden maatregelen aangekondigd om ervoor te zorgen dat overheden (rijk, provincie en gemeenten) verplicht worden tot ruimtelijke ordening van de ondergrond. In eerste instantie gaat het om het ruimtegebruik in de bovenste 500 meter van de ondergrond. Voor de diepe ondergrond (dieper dan 500 meter onder NAP) brengen EZK, IenW en IPO samen de toekomstige ontwikkelingen in beeld (bijvoorbeeld voor de energietransitie, energiehoofdstructuur en waterstofopslag), zodat ook de diepe ondergrond toekomstbestendig wordt ingericht.
  Link: Kamerstuk 27625, nr. 592 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen (officielebekendmakingen.nl) en Kamerbrief over versnellingsaanpak energietransitie | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl

Er wordt in Nederland veel aandacht besteed aan het multifunctioneel gebruik van de diepe ondergrond, door middel van beleidsinstrumenten, wetgeving en organisatorische maatregelen. Dit is onder andere vastgelegd in de Structuurvisie Ondergrond en de Mijnbouwwet, die als doel hebben om de diepe ondergrond op een veilige en efficiënte manier te benutten. Daarnaast wil het Ministerie van EZK met het Programma Duurzaam Gebruik Diepe Ondergrond meer gaan sturen op de ruimtelijke inpassing van mijnbouwactiviteiten, zodat waar nodig ruimte gereserveerd kan worden voor mijnbouwactiviteiten van nationaal belang.

Bij het verlenen van vergunningen voor activiteiten in de diepe ondergrond wordt rekening gehouden met het multifunctioneel gebruik van de ondergrond. Vanuit planmatig beheer en gebruik van de diepe ondergrond worden vergunningaanvragen integraal beoordeeld op basis van hun impact op andere activiteiten en op de omgeving. Voor grootschalige projecten met mogelijke impact op de fysieke leefomgeving is vaak een milieu-effectrapportage (MER) verplicht. Dit rapport onderzoekt de potentiële milieugevolgen van een project, inclusief de cumulatieve effecten van meervoudig gebruik van de ondergrond, zoals bodemdaling, grondwaterveranderingen en seismiciteit.

Bij aardwarmte is de vergunningensystematiek dusdanig opgezet om zo planmatig mogelijk de ondergrond te vergunnen aan aardwarmteproducenten door kortlopende vergunningen af te geven voor de markt-ordenende en verkennende fase van een project. Hierbij dient aangegeven te worden wie de warmteafnemers zijn, waarbij zij moeten aantonen of het vermogen van het project aansluit bij de lokale warmtevraag. Dit gebeurt om te waarborgen dat de ondergrond zo optimaal mogelijk benut kan worden, afgestemd op lokale behoeftes.

Tijdens de beoordeling van de aanvraag wordt een integraal advies opgevraagd bij de wettelijke adviseurs, zoals Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO), provincies en bij aardwarmte ook gemeenten en waterschappen, waarin rekening wordt gehouden met omliggende (mijnbouw)activiteiten in de ondergrond (bijvoorbeeld drinkwaterwinning) en wat de samenhang van de activiteiten betekent voor de risicobeoordeling. Nieuwe projecten moeten rekening houden met de bestaande (vergunde) situatie in de ondergrond en in de risico-inschattingen en -berekeningen hun eigen toegevoegde effecten (vb. eventueel seismisch risico of stapeling van bodemdaling) beschrijven op die bestaande situatie. Als er sprake is van omliggende activiteiten wordt de aanvraag altijd vanuit een integraal/cumulatief oogpunt beoordeeld.

Voorbeelden van stapeling van meerdere activiteiten in de Nederlandse ondergrond:

- Bij Veendam: gaswinning, zoutwinning en gasopslag
- Bij Schoonebeek: gaswinning, oliewinning en waterinjectie
- Bij Harlingen: gaswinning en zoutwinning
- Bij Drachten: meerdere gaswinningen
- In het Westland: gaswinning, oliewinning en aardwarmtewinningen
- En verder verspreid door het land ook aardwarmtewinningen die dicht bij elkaar liggen:
    - Bij Middenmeer
    - Bij Pijnacker-Nootdorp
    - Bij Bleiswijk
    - Bij Luttelgeest

Daarnaast vindt er binnen de overheid samenwerking plaats op lokaal, regionaal en nationaal niveau om een gecoördineerde aanpak te waarborgen bij het gebruik van de ondergrond. Dit gebeurt bijvoorbeeld in samenwerkingsverbanden zoals de Omgevingsdiensten.

Verder wordt er ook op het gebied van innovatie, wetenschappelijk onderzoek en technische ondersteuning gekeken hoe het multifunctioneel gebruik van de diepe ondergrond verbeterd kan worden. Zo levert TNO wetenschappelijke ondersteuning en advies over het gebruik van de ondergrond. Voor het eerdergenoemde programma NPDGDO van het Ministerie van EZK brengt TNO de ondergrond in beeld ten behoeve van de ruimtelijke inpassing van mijnbouwactiviteiten.

De potentiële grensoverschrijdende gevolgen van het gebruik van de diepe ondergrond worden door het Ministerie van EZK als beperkt en beheersbaar ingeschat. Er is een beperkt aantal gevallen bekend waarbij er grensoverschrijdende gevolgen van het gebruik van de diepe ondergrond in

Nederland zijn waargenomen. De wet- en regelgeving, gecombineerd met strenge monitoringmechanismen, vereist dat mijnbouwactiviteiten veilig en verantwoord plaatsvinden en dat de eventuele effecten zoveel mogelijk worden gemitigeerd. Doordat grensoverschrijdende gevolgen niet veelvoorkomend zijn, wordt dit niet aangemerkt als een substantieel probleem. Enkele voorbeelden waarbij er risico is op grensoverschrijdende gevolgen van het gebruik van de diepe ondergrond in zowel Nederland als naburige landen zijn:

1. **Zoutwinning in Twente**: De zoutwinning in de grensregio door de operator Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen mbH & Co KG vindt zowel op Duits als Nederlands grondgebied plaats. Vanwege het grensoverschrijdende gebruik van de ondergrond en de mogelijke gevolgen hiervan, heeft de operator tevens een Nederlandse vergunning moeten aanvragen. Hiermee wordt beoogd dat de risico's op bodemdaling en grondwaterverontreiniging zoveel mogelijk beperkt worden.

2. **Aardgaswinning in Duitsland:** In Duitsland zijn er aardgasvelden nabij de grens met Nederland, onder andere in de regio rondom Emlichheim. Op 24 maart 2024 jl. is er een beving geweest met magnitude 2,1 die ook in het Nederlandse dorp Schoonebeek voelbaar was. De beving is zeer waarschijnlijk afkomstig van het Schoonebeek-gasveld, wat zich uitstrekt aan weerszijden van de Nederlands-Duitse grens. De oorzaak van de beving is vermoedelijk mijnbouw in het Duitse deel van dit gasveld, en wordt nader onderzocht door de Nederlandse staatstoezichthouder.

   Op het moment van de aardbeving bleek dat er geen bestaand protocol was in geval van grensoverschrijdende bevingen. Om te voorkomen dat de Nederlandse omwonenden zich bij schade moeten beroepen op Duitse schaderegelingen, is er toen een voorziening getroffen zodat schadegevallen gemeld konden worden bij de Nederlandse autoriteit.

3. **Mijnbouwactiviteiten Belgische grens**: De eventuele plannen voor mijnbouwactiviteiten van het Belgische bedrijf WalZinc in de gemeente Plombières zouden mogelijk grensoverschrijdende gevolgen kunnen hebben. De delfstoffenwinning zou niet alleen risico's kunnen hebben voor de Limburgse drinkwaterwinning, maar ook voor het KNMI-meetstation in Zuid-Limburg en de geschiktheid van deze regio om in de toekomst mogelijk de Einstein Telescope te huisvesten, een observatorium voor zwaartekrachtgolven..

Samenvatting

Tijdens dit verkennend onderzoek werd vastgesteld dat in de landen waar reeds ruim ervaring is met het gebruik van de diepe ondergrond (Denemarken, Frankrijk, Noorwegen, Nederland, Slovenië), er groeiende bezorgdheden zijn aangaande mogelijk conflicterend gebruik van de diepe ondergrond. Ook zijn er landen waar de diepe ondergrond nog maar recentelijk in het vizier komt (bv. Zwitzerland, Luxemburg, Spanje). Elk van deze landen geeft te kennen dat het nodig is beheerkaders op te maken voor een langdurig en maatschappelijk aanvaardbaar gebruik van de ondergrond, daarbij rekening houdend met mogelijke grensoverschrijdende effecten.

Op dit ogenblik wordt de ondergrond veelal beheerd op basis van een first-come first-served principe en mogelijke conflictsituaties worden op een case-by-case basis opgelost. Om te begrijpen hoe de ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen kan worden vormgegeven door beleid, zal er in kader van deze overheidsopdracht onderzocht worden hoe verschillende beleidsvisies effect hebben op de ontwikkeling van de diepe ondergrond, rekening houdend met de geologische,economische, milieu en sociale randvoorwaarden in Vlaanderen. In het volgende hoofdstuk worden de beleidsvisies die onderzocht zullen worden in het kader van de impactanalyse verder toegelicht.

3 BELEIDSVISIES VOOR DE ONTWIKKELING VAN DE DIEPE ONDERGROND IN VLAANDEREN

Bij de impactanalyse (zie deelrapport D7) worden voor de tijdshorizon 2025-2050 techno-economische simulaties uitgevoerd, waarbij deze beleidsvisies vertaald worden naar concrete simulatiescenario's (0-NUL tot 7-SELF). Afhankelijk van de beleidvisie zal de ontwikkeling van de ondergrond, gesimuleerd via een beslisboomstructuur, anders verlopen. De activiteiten die in de modellering aan bod komen zijn: diepe geothermieprojecten (zowel doubletsystemen als single well systemen), CO_2 opslag, koude-warmteopslag in verlaten mijnen, opslag van aardgas en opslag van waterstof en de mogelijkheid om aardgas te ontginnen via CBM. Afhankelijk van een bepaalde beleidsvisie die verondersteld wordt, worden bepaalde activiteiten gestimuleerd, beperkt of verboden.

3.1 DE BELEIDSVISIES

Nulscenario (0-NUL)
Om een correct beeld te krijgen van de invloed van (beleids)keuzes is het nodig om te vergelijken met een nulscenario. Hoewel geen beleidsvisie *sensu stricto*, aangezien er geen specifieke visie omtrent het gebruik van de diepe ondergrond aangehouden wordt, is dit toch een belangrijk simulatiescenario. Hierin worden alle activiteiten toegelaten maar geen enkele wordt gestimuleerd. Er wordt verondersteld dat de introductie van waterstof als energiedrager, en hierbij de nood aan ondergrondse opslag, trager verloopt dan momenteel wordt verwacht door een gebrek aan klimaat- en milieudoelstellingen.

BV 1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie (1-RES)
Deze visie kadert in de noodzakelijke omslag naar hernieuwbare energie. Activiteiten die binnen deze visie gestimuleerd worden, zijn diepe geothermie en koude-warmte-opslag. Als gevolg van de inzet op hernieuwbare energie ontstaat er een versnelde vraag naar de ondergrondse opslag voor (groene) waterstof. In deze visie is de ontginning van fossiele brandstoffen verboden.
Deze beleidsvisie sluit het best aan bij het huidige algemeen energie-klimaatbeleid in Vlaanderen. Daarom vertrekken de volgende beleidsvisies telkens van deze voor hernieuwbare energie, in de veronderstelling dat dit in zo goed als elk toekomstperspectief deel zal uitmaken van beleid.

BV 2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren (2-STOR)
Deze visie bouwt verder op beleidsvisie 1, maar houdt rekening met een verhoogde nood om stoffen zoals CO_2, aardgas, waterstof en bestaand, langlevend hoogradioactief afval te bergen. Activiteiten die binnen deze visie gestimuleerd worden, zijn onder meer het vrijwaren/gebruiken van de ondergrond voor de opslag van aardgas, waterstof en CO_2, en de mogelijke berging van langlevend, hoogradioactief afval. Hierdoor worden niet-opslagactiviteiten verboden in gekende opslagstructuren.

BV 3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu (3-CLIM)
Deze visie kadert in de noodzakelijke transitie naar een koolstofarme economie en is gericht op de bescherming van het milieu. Deze visie bouwt verder op beleidsvisie 1, maar naast het stimuleren van hernieuwbare energie wordt ook de emissie van koolstof/CO_2 vermeden. Binnen deze visie

worden diepe geothermie, koude-warmte-opslag, opslag van groene waterstof, en de opslag van CO_2 gestimuleerd.

BV 4. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond (4-BAL)
Deze visie is ingegeven vanuit de idee dat er niet op voorhand activiteiten uitgesloten mogen worden en dat de nadruk gelegd moet worden op het behalen van verschillende duurzaamheidsdoelstellingen (en geen maximalisatie). Deze visie bouwt verder op beleidsvisie 1. De gecombineerde winning van lithium met diepe geothermie wordt daarnaast aangemoedigd. Door het niet-maximaliseren van duurzaamheidsdoelstellingen wordt er een minder snelle introductie van waterstofopslag verondersteld. Geothermie wordt enkel toegelaten in gebieden zonder gekende mogelijkheden voor de opslag van aardgas, waterstof, CO_2 en langlevend, hoogradioactief afval. Een hoge CO_2 prijs zal de nood aan CO_2-opslag bijkomend verhogen.

BV 5. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de grondstof (5-LONG)
Deze visie is ingegeven vanuit de idee om zoveel mogelijk van de hulpbronnen in de diepe ondergrond beschikbaar te houden voor toekomstige generaties. Deze visie houdt wel rekening met duurzaamheid en de nood aan hernieuwbare energie, en bouwt dus verder op beleidsvisie 1. Om de lange-termijnbeschikbaarheid van ondergronds opslagruimte te garanderen wordt CO_2-opslag verboden, en wordt ook een vertraagde vraag naar ondergrondse opslag voor waterstof verondersteld.

BV 6. Inzetten op exploratie (6-EXPL)
Deze visie is ingegeven vanuit de idee dat voor de transitie naar een koolstofarme en circulaire economie, het belangrijk is om allereerst kennis te creëren over de aanwezige hulpbronnen (materialen, opslagcapaciteit en energie) in de ondergrond. Door het uitrollen van exploratiecampagnes kan onzekerheid met betrekking tot de beschikbaarheid en inzetbaarheid van hulpbronnen gereduceerd worden. Deze visie bouwt verder op beleidsvisie 1, maar de onzekerheidsrange van geologische parameters wordt verkleind.

BV 7. Maximaal inzetten op zelfvoorziening (7-SELF)
Deze visie is ingegeven vanuit mogelijke geopolitieke conflicten die het beleid ertoe aanzetten om de afhankelijkheid van import van energie en materialen zoveel mogelijk in te perken. Door deze bijzondere omstandigheden bouwt deze visie niet verder op beleidsvisie 1. In deze visie wordt diepe geothermie, koude-warmteopslag en lithiumproductie aangemoedigd, en wordt een verhoogde vraag naar waterstofopslag verondersteld. In dit scenario wordt de winning van fossiele brandstoffen toegelaten in de vorm van coalbed methane (CBM). Om zelfvoorziening mogelijk te maken wordt verondersteld dat een eventuele CO_2 emissietaks geen rol van betekenis meer speelt.

De belangrijkste modelaannames en variaties in scenarioparameters voor het modelleren van de beleidsvisies staan weergegeven in Tabel 3. Met een variatie in de marktprijs van warmte (en koude in het geval van opslag) wordt de economische haalbaarheid van geothermieprojecten beïnvloed. De marktprijs voor lithium zal enerzijds de keuze voor lithium bijproductie uit geothermiedoubeltsystemen beïnvloeden, en anderzijds de economische haalbaarheid van deze geothermieprojecten veranderen. De CO_2-prijs parameter is analoog aan het Europese Emission Trading System (ETS), en is in de huidige simulaties van toepassing op CO_2-opslagprojecten, waar dit voor de positieve kasstromen zorgt. De modelaannames voor geologische onzekerheid bestaan enerzijds uit een onzekerheidsspreiding van verschillende geologische parameters (bv. permeabiliteit) en anderzijds een diepte-afhankelijke exploratiekost die gemaakt moet worden vóór

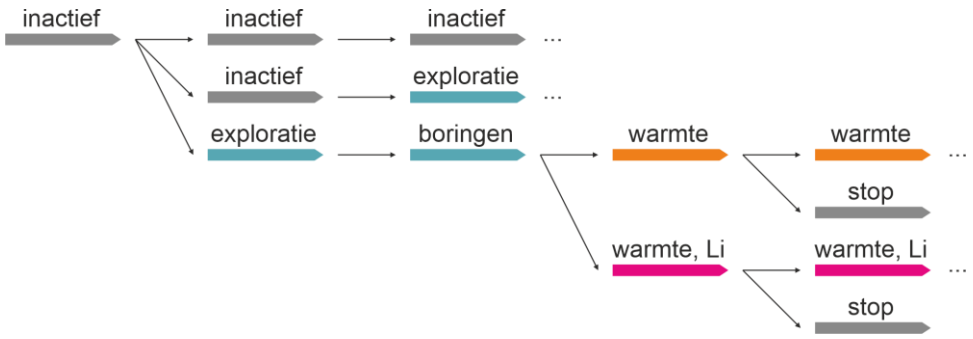
boring en productie kan starten. Beide worden verkleind in scenario 6-EXPL. Voor ondergrondse waterstofopslag wordt veronderstelt dat hier een maatschappelijke vraag naar is die stijgt met de tijd. Het aanbod (i.e. opslagcapaciteit) dat geleverd kan worden door de enige actieve gasopslagsite, in Loenhout, zal op een bepaald ogenblik overschreden worden waarna conversie van aardgas naar waterstof plaatsvindt. De timing van deze conversie verschilt per scenario.

Tabel 3. Modelaannamens per beleidsvisie

Scenario	Beleidsvisie	Warmteprijs (€/MWh)	Lithiumprijs (€/kg)	CO2-prijs (€/t)	Geo-onzekerheid	Introductie H2
0-NUL	Nulscenario	Laag	Laag	Laag	Normaal	Traag
1-RES	Hernieuwbare energie	Hoog	Laag	Laag	Normaal	Snel
2-STOR	Vrijwaren opslagstructuren	Hoog	Laag	Laag	Normaal	Snel
3-CLIM	Lage klimaat- en milieuimpact	Hoog	Laag	Hoog	Normaal	Snel
4-BAL	Gebalanceerd en efficiënt gebruik	Hoog	Hoog	Hoog	Normaal	Normaal
5-LONG	Lange-termijn beschikbaarheid	Hoog	Laag	Laag	Normaal	Traag
6-EXPL	Exploratie	Hoog	Laag	Laag	Laag	Snel
7-SELF	Zelfvoorziening	Hoog	Hoog	Laag	Normaal	Snel

3.2 BESLISBOMEN

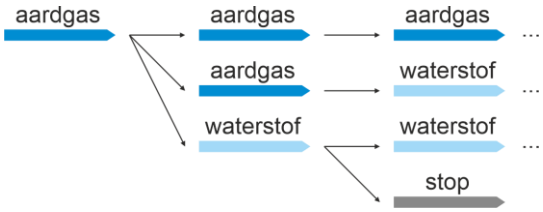
In deelrapport D7 wordt de impactanalyse van de verschillende beleidsvisies op de ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen toegelicht. De impactanalyse van elke beleidsvisie omvat een geologische simulatie van de eigenschappen en processen van de Vlaamse diepe ondergrond gecombineerd met een economisch beslisboommodel dat rekening houdt met verschillende bronnen van onzekerheid en flexibiliteit in het beslissingsproces. In deze simulaties kunnen activiteiten op verschillende tijdstippen, in verschillende volgordes en individueel volgens verschillende ontwikkelingspaden ontwikkeld worden. Om deze concepten te concretiseren in mogelijke beslissingen zijn beslisbomen voor de activiteiten ontwikkeld die, afhankelijk van het simulatiedetail, meerdere ontwikkelingsopties bevatten. Bijvoorbeeld voor de toepassing van een open doubletsysteem voor diepe geothermie start de beslisboom met een inactieve fase (figuur 1). Elk jaar kan er worden overgegaan op een exploratiefase met een vaste totale duur van 5 jaar, inclusief de (finale) boorfase van 1 jaar. Na de boorfase wordt het project operationeel voor ofwel de productie van warmte, ofwel de productie van warmte én lithium. Na iedere periode van 5 operationele jaren kan het project gestopt en ontmanteld worden. Dit is een vereenvoudiging ten opzichte van de werkelijke operationele flexibiliteit om de draaiduur van het simulatiemodel te beperken.



Figuur 1. Gedeeltelijke beslisboom voor diepe geothermie, zoals opgenomen in de techno-economische simulaties.

De beslisboom voor de opslag van aardgas in Loenhout is eenvoudiger (figuur 2). Dit project is reeds actief; dit project kan enkel gestopt worden, of er kan een conversie gemaakt worden naar de opslag

van waterstof. Hierna kan opnieuw de beslissing genomen worden om het project te stoppen en ontmantelen.



Figuur 2. Gedeeltelijke beslisboom voor de opslag van aardgas en waterstof, zoals opgenomen in de techno-economische simulaties.

Door verschillen tussen de beleidsvisies en de bijhorende uitgewerkte simulatiescenarios zullen er in deze beslisbomen andere keuzes gemaakt worden, naargelang de modelinput, zoals vertaald uit elke beleidsvisie. Hierdoor zullen verschillen in preferentiële ontwikkelingspaden, zowel qua ontwikkelingskeuzes als qua timing, naar voor komen.

4 CONCLUSIE

Uit de internationale bevraging bij verschillende Europese landen blijkt dat de diepe ondergrond meer en meer in het vizier komt voor de ontwikkeling van activiteiten die een bijdrage kunnen leveren aan het behalen van energie -en klimaatdoelstellingen. Door deze toenemende belangstelling rijzen er ook bezorgheden aangaande een mogelijke overbenuttig van de diepe ondergrond en mogelijke (grensoverschrijdende) interferenties tussen activiteiten in diepe ondergrond en tussen activiteiten in de diepe en ondiepe ondergrond (bv. grondwaterwinning). Terwijl Nederland sinds enkele jaren een duurzaamheidsvisie ontwikkeld heeft en het gebruik van de ondergrond in Nederland ook gekoppeld wordt aan andere beleidsdomeinen, hebben de meeste andere landen geen overkoepelend beleidskader om de diepe ondergrond toekomstgericht te ontwikkelen. In Noorwegen worden mogelijke interferenties tussen verschillende activiteiten opgelost op een case-by-case basis. In Frankrijk, Duitsland en Zweden worden er momenteel onderzoeksprogramma's opgezet en uitgewerkt om verschillende uitdagingen met betrekking tot een meervoudig gebruik van de ondergrond en mogelijke interferenties te onderzoeken.
Ook in Vlaanderen neemt de belangstelling voor het gebruik van de diepe ondergrond toe. Om te begrijpen hoe de ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen kan worden vormgegeven door beleid, wordt er in Deelrapport D7 onderzocht hoe verschillende beleidsvisies de ontwikkeling van de diepe ondergrond in Vlaanderen kunnen bepalen, rekening houdend met de geologische,economische, milieu en sociale randvoorwaarden in Vlaanderen. De onderzochte beleidsvisies (BV) zijn de volgende:

- BV 1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie (1-RES)
- BV 2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren (2-STOR)
- BV 3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu (3-CLIM)
- BV 4. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond (4-BAL)
- BV 5. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de grondstof (5-LONG)
- BV 6. Inzetten op exploratie (6-EXPL)
- BV 7. Maximaal inzetten op zelfvoorziening (7-SELF)

5 REFERENTIES

Hámor-Vidó, M., Hámor T., Czirok, L., 2021. Underground space, the legal governance of a critical resource in circular economy. Resources Policy (73) 102171
Van Ree, D. & van Beukering P., 2016. Geosystemservices: A concept in support of sustainable development of the subsurface. Ecosystem Services (20) 30-36
Volchko, Y., Norrman, J., Ericsson, L.O., Nilsson K.L., Markstedt, A., Oberg, M., Mossmark, F., Bobylev, N., Tengborg, P., 2020. Subsurface planning: towards a common understanding of the subsurface as a multifunctional resource. Land use policy (90) 104316

Vlaanderen
is omgeving



D5 Benchmark studie van methodes voor bepaling van de geologische, economische, milieu- en sociale impact van het gebruik van de diepe ondergrond

Deelrapport 5

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

D5 Benchmark studie van methodes voor bepaling van de geologische, economische, milieu- en sociale impact van het gebruik van de diepe ondergrond

Dit rapport geeft een weergave van bestaande methodes om de geologische, economische, milieu, en sociale impact te bepalen voor toepassingen in de diepe ondergrond. Er wordt daarbij telkens toegelicht welke methodes toegepast zullen worden in het kader van deze opdracht.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1210 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Tine Compernolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Welkenhuysen – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Piessens – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Anne Bergmans – UAntwerpen | FSW

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Compernolle, T., Welkenhuysen, K., Piessens, K., Bergmans, A. (2025). D5. Benchmark studie van methodes voor bepaling van de geologische, economische, milieu- en sociale impact van het gebruik van de diepe ondergrond. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond.* Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS



MANAGEMENTSAMENVATTING

Duurzame ontwikkeling en het meten van de vooruitgang op weg naar duurzaamheid zijn prioritair geworden in wetenschappelijk onderzoek en op beleidsagenda's. Duurzaamheidsbeoordelingen zijn daarbij hulpmiddelen om beleidsmakers te helpen beslissen welke acties ze kunnen ondernemen (of niet) om de samenleving duurzamer te maken. Omdat duurzaamheid verschillende dimensies omvat (de typische dimensies zijn: economisch, milieu, en sociaal) en niet met één maatstaf te meten is, bestaat er een veelheid aan methodes om de verschillende aspecten van duurzaamheid te evalueren voor een specifieke technologie of activiteit.

Het gebruik van de diepe ondergrond zal een rol spelen in de transitie naar een koolstofarme en circulaire economie. Het gebruik van de diepe ondergrond leidt tot veranderingen in die ondergrond (geologische impact) en heeft tegelijkertijd ook een impact bovengronds: zowel economische, milieu- als sociale impact. Deze studie geeft een breed overzicht van bestaande methodes om impact te analyseren en gaat dieper in op de methodes die uiteindelijk toegepast zullen worden in het kader van deze opdracht.

Het meten van geologische impact

Een geologische impact is een betekenisvolle verandering van ondergrondse condities ten gevolge van een activiteit in de ondergrond, bijvoorbeeld in druk of temperatuur, en kan zich zowel in tijd als ruimte uitstrekken. Om geologische impact te meten, bestaan er kwalitatieve en kwantitatieve evaluaties, telkens gestoeld op een meer of minder gedetailleerd geologisch model van de ondergrond. In dit project zullen geologische modellen worden gebruikt die opgemaakt worden volgens de structurele raamwerkmethode, vertrekkende van geologische kennis en daarna ruimtelijk uitgewerkt. Voor deze opdracht zal de inhoud van het model thematisch gedreven zijn, of zelfs activiteit-specifiek. Het geologisch 3D model van Vlaanderen (G3Dv3) en de kaart van het Massief van Brabant zal gebruikt worden als onderliggende kennisbasis. Er wordt een inventaris gemaakt van verschillende mogelijke activiteiten, rekening houdend met het huidig en toekomstig ontwikkelingsniveau. Elk van deze activiteiten zal verkend worden met een kwalitatieve beschrijving van de mogelijke processen en gebeurtenissen die kunnen optreden binnen de relevante geologische context, gelijkaardig aan maar zonder het exhaustieve en geformaliseerde formaat van een gestandaardiseerde FEP-studie (Features, Events, Processes). Voor de activiteiten die nadien kwantitatief gemodelleerd zullen worden, is dit een voorbereidende stap die aftoetst welke processen en interacties meegenomen moeten worden, en wat de migratie- en interactiepaden zijn. Voor activiteiten die zich enkel op lange termijn zullen ontwikkelen, blijft de evaluatie kwalitatief, maar zal ze wel besproken worden in het licht van de kwantitatieve resultaten van de andere activiteiten. De kwantitatieve modelleringen zullen zich toespitsen op reservoirsimulatie opgebouwd rond druk, temperatuur en fluïdummigratie. Elementen zoals potentiële breukactivatie zullen enkel kwalitatief meegenomen worden. Het kwantitatieve model moet rekening kunnen houden met de diverse geologische contexten, uiteenlopende ruimtelijke en tijdsschalen, diverse processen relevant voor diverse activiteiten, interacties, en aangezien het over de diepe ondergrond gaat, belangrijke onzekerheden. Daartoe zal de geologische realiteit gecompartimentaliseerd worden waarbij het structureel raamwerk als leidraad zal dienen. De compartimenten zullen subeenheden vormen van het volledige model, wat een vorm is van ‘telescopic mesh refinement’. Op regionale schaal zal er verondersteld worden dat de reservoireigenschappen binnen een reservoireenheid zullen variëren, maar dat we niet weten waar ze welke waarde zullen aannemen. Daartoe zal een analytische benadering worden toegepast, zowel voor horizontale als verticale reservoircommunicatie.

Het meten van economische haalbaarheid en impact

In het kader van deze overheidsopdracht zal de economische haalbaarheid van verschillende activiteiten in de ondergrond gemeten worden. Techno-economische analyses zullen uitgevoerd worden om een inschatting te maken van de kapitaalkosten en operationele kosten die verbonden zijn aan de activiteiten die in de ondergrond uitgevoerd kunnen worden. Deze data zal input vormen van een reële optie analyse. Deze reële optie analyse is een extensie op de PSS simulator die ontwikkeld werd door de Belgisch Geologische Dienst waarbij er onderzocht wordt hoe de toepassing van activiteiten in de diepe ondergrond zich kan ontwikkelen doorheen de tijd, uitgaande van private bedrijven die met een winstoogmerk activiteiten kunnen ontwikkelen en rekening houdend met verschillende vormen van onzekerheid en flexibiliteitsopties die bedrijven in beschouwing kunnen nemen. Deze impactanalyse kan aangeven in welke mate een ontwikkeling als economisch duurzaam beschouwd kan worden. Naast deze economische duurzaamheidsindicator zouden ook andere duurzaamheidsindicatoren in de reële optie theorie geïntegreerd kunnen worden (bv. milieu-gerelateerde duurzaamheidsindicatoren). Wetenschappelijk onderzoek hieromtrent is echter nog beperkt.

De techno-economische en reële optie analyses worden toegepast op specifieke activiteiten en mogelijke ontwikkelingsscenario's, maar geven geen beeld van hoe activiteiten in de diepe ondergrond een impact hebben op macro-economische indicatoren zoals jobcreatie en economische groei. Daartoe bestaan er andere methodes zoals input-outputanalyses, algemene en partiële evenwichtsmodellen, of agent-based modelling. Voor het berekenen van de economische impact worden er enkel private kosten en baten opgenomen. Bredere maatschappelijk impact, zoals milieu-impact en sociale impact worden respectievelijk kwantitatief en kwalitatief bepaald, maar daar wordt geen economische waarde aan gekoppeld, zoals dat het geval zou zijn in een maatschappelijke kostenbatenanalyse. Het gebruik van evenwichtsmodellen en de maatschappelijke kostenbatenanalyse worden kort besproken maar vallen buiten het verdere opzet van deze opdracht.

Het meten van milieu-impact

In het kader van deze opdracht zal de milieu-levenscyclusanalyse (LCA) toegepast worden om de milieu-impact van geothermische doubletsystemen en opslag van CO_2 te bepalen. De LCA is een methode die prospectief kan worden gebruikt om de milieu-impact van een technologie, product of een proces te beoordelen, rekening houdend met de volledige levenscyclus ervan. Andere methodes voor de bepaling van de milieu-impact zijn: exergieanalyse; milieurisico-analyses; milieu-impactanalyse, i.e. milieu-effectenrapportage (MER); en de ecosysteemdienstbenadering. Deze methodes worden kort besproken in voorliggende studie maar maken geen deel uit van het vervolg van deze opdracht.

Het meten van sociale impact

Het meten van sociale impact is meer nog dan andere impact onzeker en complex, en bovendien in grote mate verweven met economische en milieu-impact. Sociale Impact Analyse (SIA) en sociale levenscyclusanalyse (S-LCA) zijn zowat de meest omvattende methodieken om dit te realiseren. Waar SIA zich richt op de activiteit, vertrekt S-LCA vanuit de dienst of product. Zowel SIA als S-LCA zijn eigenlijk koepelstructuren voor een veelheid aan technieken om sociale impact in kaart te brengen en (zo) meetbaar (mogelijk) te maken. De aard van de beoogde actie of activiteit, alsook zijn (sociale) context zijn mede bepalend voor welke technieken inzetbaar zijn. Voor beide methoden wordt bovendien in de literatuur een participatieve insteek als meest wenselijk

vooropgesteld, zowel vanuit moreel als inhoudelijk standpunt. Dit maakt SIA en S-LCA tot omvangrijke en tijdrovende ondernemingen die moeilijk generiek uit te voeren zijn.

Om die reden zullen we ons voor deze opdracht beperken tot het in kaart brengen en bevragen van (mogelijke) betrokken stakeholders (zie deelrapport D2 Stakeholdermapping) en het uitwerken van een vereenvoudigd model van sociale impact meting op basis van enkele voorbeeldindicatoren (zie deelrapport D7). Voor deze indicatoren baseren we ons op het PC&I raamwerk (zie deelrapport D3) dat in het kader van deze studie wordt uitgewerkt en op participatieve wijze tot stand kwam.

Methodes om discipline-specifieke impact te integreren

In het kader van deze opdracht wordt er een PC&I raamwerk uitgewerkt waarbij er via stakeholderparticipatie inzicht verkregen wordt over de principes van een duurzaam beheer van de diepe ondergrond (zie deelrapport D3). Vervolgens worden er criteria bepaald die aangeven wat de geologische, economische, milieu, en sociale randvoorwaarden zijn waaraan voldaan moet worden om een ontwikkeling in de diepe ondergrond als duurzaam te beschouwen.

Aan de hand van de methoden besproken in hoofstukken 2-6 wordt de geologische, economische, milieu- en sociale impact berekend en beschreven. Deze resultaten worden geïntegreerd in een multicriteria matrix en uitgewerkt tot een spiderdiagram waarbij de evaluatie van mogelijke ontwikkelingsscenario's voor de diepe ondergrond en trade-offs tussen de verschillende criteria kwalitatief besproken worden (zie deelrapport D7). Dergelijke diagram is het meest geschikt omdat de resultaten met betrekking tot de verwachte impact zowel kwantitatief als kwalitatief gerapporteerd zullen worden. Daarbij zal ook onderscheid gemaakt worden tussen impact die op middellange en lange termijn verwacht worden.
Ter informatie worden in dit rapport enkele andere geïntegreerde methoden overlopen, zoals de kosteneffectiviteitsanalyse, de exergo-economische analyse en de economische input-output LCA, die elk duidelijke merites hebben, maar in het kader van deze opdracht niet verder werden uitgewerkt.

Omgaan met onzekerheden en aspecten van tijd en ruimte

In de keuze voor de toegepaste methoden in het kader van deze opdracht werd telkens rekening gehouden met de mate waarin deze omgaan met onzekerheden en aspecten van tijd en ruimte. Binnen een geologische context krijgen deze begrippen vaak een niet-standaard invulling. Ruimtebeslag wordt driedimensionaal met grenzen die dynamisch kunnen zijn doorheen de tijd, afhankelijk van interacties met andere activiteiten, parameterafhankelijk en asymmetrisch. Tijd is een veel flexibeler gegeven dan in het dagdagelijks leven, vooral door effecten en evoluties op zeer lange termijn. Ook onzekerheid krijgt een andere invulling, niet alleen door de fragmentarische informatie over de ondergrond en de processen die er kunnen optreden, maar ook door de moeilijkheid om bijkomende gegevens te verzamelen of verifiëren wat voor een belangrijke intrinsieke onzekerheid zorgt. Daarom is het van belang voor om een combinatie van methoden in te zetten die op een compatibele manier om gaan met elementen zoals tijd, ruimte en onzekerheid.

INHOUDSTAFEL

Het meten van geologische impact 3
Het meten van economische haalbaarheid en impact 4
Het meten van milieu-impact 4
Het meten van sociale impact 4
Methodes om discipline-specifieke impact te integreren 5
Omgaan met onzekerheden en aspecten van tijd en ruimte 5

1 Inleiding 8
2 Methodes voor bepaling geologische impact 9
2.1 Geologisch model 9
2.2 Kwalitatieve impact analyse 9
2.3 Kwantitatieve impact analyse 10
2.4 Toepassing van de besproken methodes in kader van de overheidsopdracht 12
2.4.1 Geologische model 12
2.4.2 Kwalitatieve modellen 14
2.4.3 Kwantitatieve modellen 14
3 Methodes voor bepaling van beschikbare volumes 16
4 Methodes voor bepaling economische haalbaarheid en economische impact 17
4.1 Techno-economische analyse 17
4.1.1 Uitvoering TEA 17
4.1.2 Motivatie voor het uitvoeren van een TEA 18
4.2 Levenscyclus kostenberekening 20
4.3 Reële optie analyse 21
4.3.1 Reële optie analyse en onzekerheden 22
4.3.2 Reële optie analyse en flexibiliteit 23
4.4 Kostenbatenanalyse 24
4.4.1 Uitvoering van een KBA 25
4.5 Input-outputanalyse 26
4.6 Algemene en PartiËle evenwichtsmodellen 27
4.7 Agent-based modelling 29
4.8 Toepassing van de besproken methodes in kader van de overheidsopdracht 29
5 Methodes voor bepaling milieu-impact 31
5.1 Milieu levenscyclusanalyse 31
5.2 Exergieanalyse 33
5.3 Milieurisicoanalyse 34
5.4 milieu-impact analyse 35
5.5 Ecosysteemdiensten benadering 36
5.6 Toepassing van de besproken methodes in kader van de overheidsopdracht 37
6 Methodes voor bepaling sociale impact 38
6.1 Methoden gericht op het meten van sociale effecten 39
6.1.1 Social Impact Assessment (SIA) 39
6.1.2 Sociale levenscyclusanalyse (S-LCA) 41
6.2 Methoden gericht op het in kaart brengen van visies en percepties 43
6.2.1 Q-methodologie als voorbeeld van een surveytechniek 43
6.2.2 Living labs als voorbeeld van een pluralistische evaluatievorm 44
6.3 Toepassing van de besproken methodes in kader van de overheidsopdracht 45
7 Geïntegreerde methodes voor impactbepaling 47
7.1 Raamwerk van principes, randvoorwaarden en indicatoren 47
7.2 Kosteneffectiviteitsanalyse 49
7.3 Exergo-economische analyse 51
7.4 Economische input-output LCA 52
7.5 Multicriteria analyse 53
7.6 Toepassing van de besproken methodes in kader van de overheidsopdracht 56
8 Tijd, ruimte en onzekerheden 57

8.1 Geologische impact 57
8.2 Beschikbare volumes 57
8.3 Economische impactanalyse 58
8.4 Milieu-impactanalyse 58
8.5 Sociale impactanalyses 58
8.6 GEINTEGREERDE IMPACTANALYSES 59
9 Conclusie 60
10. Referenties 62
APPENDIX 66

1 INLEIDING

De transitie naar een koolstofarme en circulaire economie gaat gepaard met de introductie van nieuwe technologieën en activiteiten. Ook de ondergrond kan daarbij een rol spelen (zie deelrapport D1). Belangrijk daarbij is dat deze transitie en het gebruik van de ondergrond op een duurzame manier verlopen (zie deelrapport D9, verslag stakeholder workshop 1). Omdat duurzaamheid verschillende dimensies omvat en niet met één maatstaf te meten is, bestaan er een veelheid aan methodes om de verschillende aspecten van duurzaamheid te evalueren voor een specifieke technologie of activiteit.

Dit rapport geeft een weergave van bestaande methodes om geologische, economische, milieu, en sociale impact te bepalen voor toepassingen in de diepe ondergrond. Hoofdstukken 2 tot en met 6 richten zich op discipline-specifieke methodes. Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van methodes die helpen om een geïntegreerde analyse te maken van de verschillende impacts. Hoofdstuk 8 gaat dieper in op de mate waarin de besproken methodes rekening houden met tijdsaspecten, ruimtelijke aspecten en onzekerheden.

Met dit document willen we een breed overzicht geven van bestaande wetenschappelijke methodes om impact te bepalen. Er wordt toegelicht welke inzichten elke methode brengt en wat haar beperkingen zijn. Daarbij wordt er voor elk type van impact aangestipt welke methodes gebruikt zullen worden in het vervolg van deze opdracht.

2 METHODES VOOR BEPALING GEOLOGISCHE IMPACT

Een geologische impact is een betekenisvolle verandering van ondergrondse condities ten gevolge van een activiteit in de ondergrond, bijvoorbeeld in druk of temperatuur, en kan zich zowel in tijd als ruimte uitstrekken. Door de geologische diversiteit van de ondergrond en de grote verschillen die kunnen bestaan in beschikbaarheid van gegevens, bestaat er geen portfolio van standaard methodes om geologische impact in de diepe ondergrond te evalueren.
Een belangrijke uitzondering hierop vormen methodes die gestandaardiseerd werden voor de beoordeling van sites voor de berging van hoogradioactief en langlevend afval. Dit is een aparte en zeer specifieke groep die door de graad van detail en specialisatie grotendeels buiten het kader van deze studie valt.
De verschillen in aanpak kunnen grotendeels opgedeeld worden in kwalitatieve evaluaties en kwantitatieve evaluaties, telkens gestoeld op een meer of minder gedetailleerd geologisch model van de ondergrond. Dit hoofdstuk tracht een representatief overzicht te bieden als achtergrond voor de keuzes die later in deze studie gemaakt zullen worden.

2.1 GEOLOGISCH MODEL

Een geologisch model is een meestal digitale weergave van de architectuur van de ondergrond. Ze worden meestal geparameteriseerd voor de toepassingen die hier besproken worden. Een geologisch model is geen impactmodel, maar wel vaak een eerste stap in de analyse van mogelijke impact. Voor meer gevorderde impactstudies vormt het geologisch model eveneens een rechtstreekse bron van invoer, zoals voor geometrie en verschillende andere ruimtelijke parameters.
Geologische modellen zijn een diverse groep die op verschillende manieren uitgewerkt worden naargelang thema of toepassing. Meestal impliceren ze een driedimensionale weergave, maar ook geologische kaarten of profielen zijn voorbeelden van geologische modellen. Ze vullen niet steeds een volledige ruimte, structurele geologische modellen zijn voorbeelden die zich richten op het voorstellen (en analyseren) van een raamwerk van vlakken, zoals breuken en overschuivingen. Modellen van mijnen zijn een geologisch model, indien ze de geologische informatie tonen die in de mijn werd geobserveerd, of andere parameters samenvatten die van belang zijn, zoals restporositeit of -permeabiliteit in ingestorte delen. In deze studie wordt een lithotectonisch model gebruikt, dat de geologie onderverdeelt in eenheden met een verschillende geologische evolutie (zie §2.4.1).
Het meest klassieke geologische model is echter driedimensionaal en opgebouwd uit (al dan niet balkvormige) rastercellen of gestapelde lichamen (bijvoorbeeld *layer cake*) met een lithostratigrafische classificatie, al dan niet gelinkt aan reservoirparameters. Structuren die deze parameters beïnvloeden, zoals breuken, kunnen extra aandacht en detail krijgen, afhankelijk van hoe ze verder verwerkt zullen worden.

2.2 KWALITATIEVE IMPACT ANALYSE

De FEP-methode (*Features, Events, Processes*) is een typerend voorbeeld voor deze groep. Ze werd ontwikkeld in de context van berging van radioactief afval maar kreeg ook aandacht in het kader van bijvoorbeeld opslag van CO_2 en schaliegas. De methode is gericht op het herkennen van potentiële negatieve impact, en is genoemd naar de drie elementen die daarvoor onderkend moeten worden: kenmerken (*features*), gebeurtenissen (*events*) en processen (*processes*). Kenmerken zijn meestal de geologische eigenschappen van de diepe ondergrond, en omvatten de kenmerken van geologische eenheden, maar bijvoorbeeld ook van breuken. Gebeurtenissen zijn relatief kort en niet

continu, zoals bijvoorbeeld een aardbeving. Processen voltrekken zich juist langzaam, en omvatten zaken zoals fluïdummigratie of spanningsopbouw. Gebeurtenissen en processen overlappen gedeeltelijk.

De bedoeling van methodes zoals FEP is om een evaluatie te structureren en bespreekbaar te maken. Daarnaast fungeert ze ook om de lijst van potentiële negatieve gebeurtenissen zo exhaustief mogelijk te maken. Hier zijn de catalogen van belang, omdat deze de evaluator dwingen om elke beschreven gebeurtenis, proces, en de verschillende combinaties ervan voor een gegeven geologische context (kenmerken) te overwegen en beoordelen. Voordat de uitkomsten in eventuele gerichte studies verder onderzocht worden, worden ze meestal kwalitatief prioritair gerangschikt volgens bijvoorbeeld waarschijnlijkheid en hevigheid, naar analogie met een generische risicoanalyse.

Voor onderwerpen zoals berging van radioactief afval en opslag van CO_2, zijn deze catalogen uitgebreid en bedoeld voor diepgaande studies, vaak gedetailleerd rond specifieke locaties of projecten. Ze zijn ook meer gericht op het inschatten van risico's en veel minder op interferenties. Omwille van deze redenen is deze methode, in haar nauwe betekenis, minder geschikt voor het kader van deze studie.
Het algemene denkproces is echter zeer nuttig. Het beklemtoont de conceptuele manier om over activiteiten in de diepe ondergrond na te denken, en over de processen en onderliggende mechanismen die hiervan het gevolg kunnen zijn, evenals over de primaire en secundaire manieren waarmee deze lateraal en verticaal kunnen propageren.

2.3 KWANTITATIEVE IMPACT ANALYSE

Omwille van het brede scala aan activiteiten in de diepe ondergrond, gaande van het gebruik als permanent of tijdelijk reservoir, het aanleggen van geïsoleerde kamers, het ontginnen van grondstoffen via mijnbouw, tot het circuleren van vloeistoffen, zullen ook hier de verschillende types van modellen vrij algemeen besproken worden. De twee belangrijkste algemeen te onderscheiden groepen zijn numerieke en analytische modellen. Beiden kunnen op theoretische, empirische of semi-empirische vergelijkingen gebaseerd zijn. We beschouwen ze hier als kwantitatieve modellen omdat deze vergelijkingen kwantitatieve invoergegevens nodig hebben, en gelijkaardige uitvoer creëren. Dit wil niet zeggen dat de resultaten van al zulke modellen kwantitatief zijn, in de zin dat de berekende uitkomsten binnen een onzekerheidsmarge betrouwbaar zijn. Resultaten kunnen bijvoorbeeld enkel richtinggevend zijn, of enkel bedoeld om onderling te vergelijken. Meestal echter is het inderdaad de bedoeling om kwantitatieve uitkomsten te bekomen die verder aan de praktijk getoetst kunnen worden.

De meeste modellen zijn gericht op het modelleren en optimaliseren van de eigenlijke activiteit. Dit zien we bij geothermische modellering, waar bijvoorbeeld debieten, afstand tussen putten en thermische doorbraak tegen elkaar worden afgewogen. Dergelijke uitkomsten kunnen gebruikt worden om de economische impact in te schatten en te berekenen. Indien de grenzen van zulke modellen ook de bovengrondse installaties en eventueel verbruikers behelzen, dan kan naast economische inschatting ook een directe milieu-impact berekend worden. Dit soort modellen wordt veelvuldig gebruikt voor activiteiten waar de klassieke economische waarde van de activiteit in de diepe ondergrond centraal staat en afhangt van operationele parameters. Naast geothermie zijn dit opslag van aardgas en waterstof, en eventueel ook voor CBM (methaan uit steenkool), schaliegas en mijngas alhoewel voor deze laatsten de onzekerheid van de berekeningen in de praktijk vaker leiden tot meer nadruk op het uitvoeren van veldtesten. In elk geval hebben al deze activiteiten

gemeen dat de bredere ruimtelijke impact of impact doorheen de tijd niet de hoofdfocus is en meestal beperkt blijft tot enkele decennia. Dat is anders bij activiteiten waar het doel zich net op langere termijn situeert, zoals bij opslag van CO_2 en berging van radioactief afval. Gezien de langere termijn, geteld in tienduizenden jaren en meer, worden ook langzame processen belangrijk en neemt meestal ook het impactgebied toe in omvang.

Methodologisch dienen eerst continue en discrete modelmethodes onderscheiden te worden. Continue modellen zijn de klassieke modellen, waar gewerkt wordt op een schaal waar het medium homogeen verondersteld kan worden. De wet van Darcy is een voorbeeld van een wet die een continu medium verondersteld. Discrete modellen werken typisch op de schaal van porositeit en modelleren de processen op de grenzen tussen vast en vloeistof. Deze laatste geven een zeer grote graad van detail, zijn extreem rekenintensief, en vallen grotendeels buiten het kader van de huidige studie.

In klassieke numerieke modellen wordt de werkelijkheid ruimtelijk ingedeeld in representatieve elementaire volumes. Dit zijn de kleinste volumes die als continu beschouwd kunnen worden, en waar bijgevolg de klassieke hydrodynamische wetten opgaan. Eén van de redenen om de volumes zo klein mogelijk te kiezen is om uniforme eigenschappen aan deze eenheidsvolumes toe te kunnen kennen. Een mathematisch model berekent dan uitwisseling en interacties tussen deze elementen om zo een evolutie doorheen de tijd te berekenen.
Analytische modellen vormen een andere benadering. In plaats van met elementaire volumes te werken, wordt hier de ondergrond geconceptualiseerd op zo een manier dat vergelijkingen (vaak geïntegreerde differentiaalvergelijkingen) uitgewerkt kunnen worden voor het hele systeem. Afhankelijk van de integratie laat dit toe om locatie- of tijd-specifieke resultaten rechtstreeks te berekenen, in tegenstelling tot numerieke benaderingen die (in hun rudimentaire vorm) afhankelijk zijn van tussenresultaten.
Numerieke modellen zijn meer courant dan analytische, en zeer geschikt voor site-specifiek onderzoek. Een belangrijk deel van de expertise ligt vervat op software-niveau, waardoor de gebruiker meer probleemgericht kan werken. De belangrijkste beperking van numerieke modellen is dat ze rekenintensief zijn, wat het opschalen van het model in ruimte en tijd moeilijk maakt, evenals het gebruik ervan voor stochastische berekeningen. Dit wordt onder meer duidelijk wanneer een numeriek reservoirmodel ingeschakeld wordt als een deel van een overkoepelend model.
Analytische modellen zijn in principe sneller. De ambitie om generische analytische modellen te ontwikkelen was slechts gedeeltelijk succesvol (bv. de 'Analytical Elements Method', AEM, uitgewerkt voor grondwatertoepassingen [1]), en werd bijvoorbeeld niet verwezenlijkt voor reservoirsimulaties. Bovendien is niet elke configuratie berekenbaar, omdat differentiaalvergelijkingen voor complexere situaties meestal niet rechtstreeks oplosbaar zijn en enkel iteratief berekend kunnen worden, zodat er op vlak van rekenintensiviteit geen winst geboekt wordt tegenover numerieke modellen. In de diepe ondergrond, waar de complexiteit van een probleem meestal ligt in het gebrek aan gegevens en niet de fysische configuratie, kunnen ze nuttige toepassing vinden. De noodzaak om de werkelijkheid conceptueel te vereenvoudigen, helpt vaak bij het begrijpen van de fundamentele aspecten waar aandacht aan gegeven moet worden.

Een resterend probleem is om de wederzijdse invloed van zeer uiteenlopende ondergrondse activiteiten op elkaar te evalueren, wat niet rechtstreeks mogelijk is op basis van modellen die gericht zijn op een centrale activiteit. Hiervoor dienen modellen samen te werken. Een aanpak die gebruikt wordt in extreem heterogene reservoirs, zoals ondergelopen mijnen of grote karstsystemen, is het opstellen van een zogenaamd box-model waarin de ondergrond wordt gecompartimentaliseerd. Elk onderdeel wordt afzonderlijk gemodelleerd, alsook de grensvlakken

(uitwisselingsvlakken) tussen de compartimenten. Voorwaarde is wel dat de parameters relevant voor aangrenzende compartimenten berekend worden, en er blijven meestal uitdagingen zoals omgaan met verschillende tijdsresoluties.

2.4 TOEPASSING VAN DE BESPROKEN METHODES IN KADER VAN DE OVERHEIDSOPDRACHT

In dit deel wordt besproken hoe bovenstaande methodes zullen toegepast worden in het kader van deze opdracht. Daarvoor wordt gekozen voor flexibele en pragmatische methodes waarvan de resultaten transparant vertaald kunnen worden voor niet-experten. Verder is het belangrijk dat, waar realistisch, de methodes kwantitatief toegepast kunnen worden om de geologische modellen in te passen in de totaalmodellering van de toekomstscenario's.

2.4.1 Geologische model

In dit project zullen bij voorkeur geologische modellen worden gebruikt die uitgewerkt worden volgens de structurele raamwerkmethode [2]. Dit is een methode die vertrekt van het identificeren van betekenisvolle geologische limieten, die als basis dienen om geologische eenheden te definiëren. Een structureel raamwerk vertrekt van geologische kennis, die daarna ruimtelijk wordt uitgewerkt. In het kader van deze studie, zal de inhoud van het model thematisch gedreven zijn, of zelfs activiteit-specifiek. Dit wil zeggen dat eenheden gedefinieerd zullen worden die functioneel zullen zijn in het uitwerken van het reservoirmodel. 'Reservoirmodel' verwijst hier naar een model dat zowel het gedrag van reservoirgesteenten beschrijft, als van weinig doorlatende eenheden die de reservoirelementen van elkaar scheiden. Ze dienen echter ook geologisch relevant te zijn, wat wordt gegarandeerd doordat ze gedefinieerd worden in functie van geologische limieten. Deze limieten zijn nooit artificieel, maar hebben een geologische betekenis omdat ze getuigen van een bepaalde gebeurtenis (zie kader 1 en deelrapport D6).

Kader 1

Een voorbeeld is het Noordwest Europese Voorlandbekken, waarvan een deel in de diepe ondergrond van het Kempens Bekken wordt teruggevonden, en waarin steenkoolafzettingen voorkomen. Per definitie (fig. 1) bestaat een voorlandbekken uit sedimenten die preferentieel verzameld werden in een depressie langsheen een actief vormend gebergte. De basis van het voorlandbekken is een zwakke hoekdiscordantie, meestal een hiaat die samenvalt met de basis van een transgressieve sequentie. In het Kempens Bekken is dit de transgressie over de Dinantiaancarbonaten, regionaal duidelijk herkenbaar omdat ze samenvalt met de omslag naar siliciklastische sedimenten. Omwille van de hoge sedimentatiegraad en de voortschrijdende regionale opheffing, eindigt een voorlandbekken opnieuw met een erosieve fase, wat in het Kempens Bekken ongeveer samenvalt met het Stefaniaan. Deze twee gebeurtenissen definiëren op deze manier het Kempens Subvoorlandbekken (een subbekken of geografisch deel van het eigenlijke voorlandbekken), dat nog verder opgedeeld kan worden indien relevant voor een bepaalde toepassing.

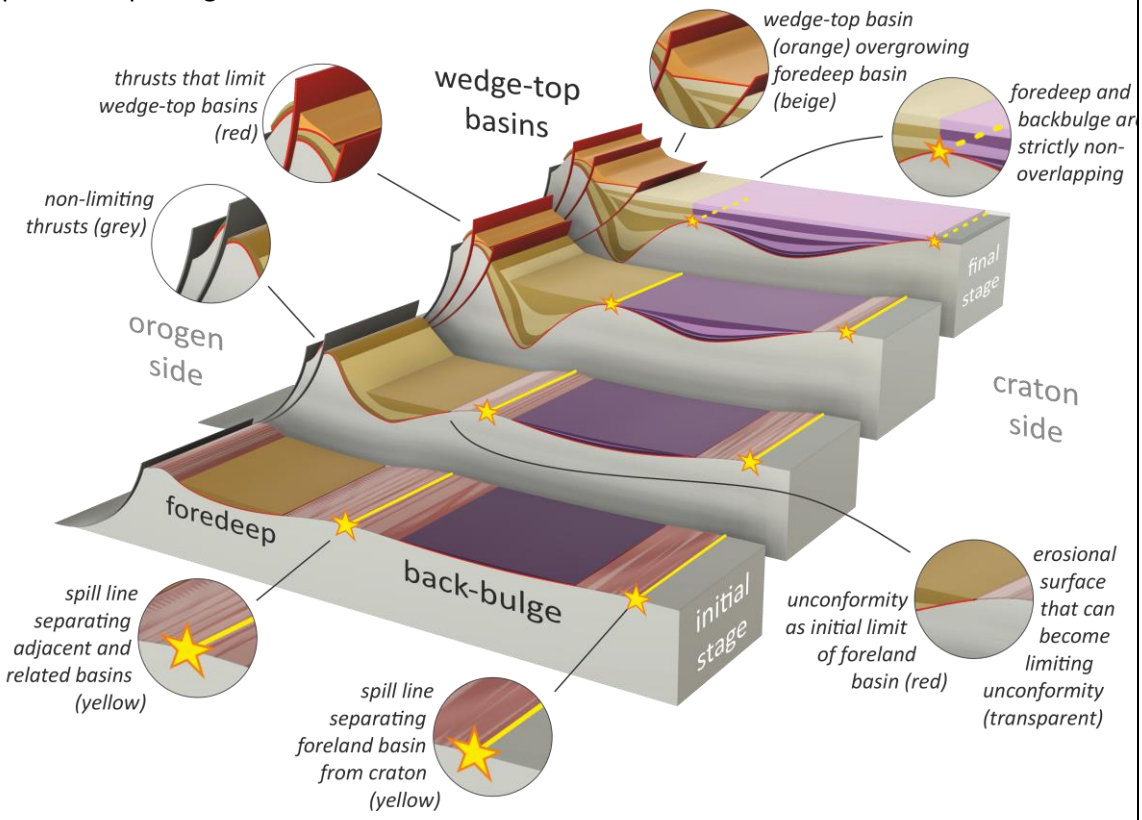


Fig. 1: De ontwikkeling van een voorlandbekken en de conceptuele definitie van de verschillende mogelijke eenheden in functie van limieten. Uit [3].

De structurele raamwerkmethode is een formalisering van traditioneel geologisch redeneren. Het is daarom niet nodig dat een geologisch raamwerkmodel voor Vlaanderen bestaat, het wordt net zoals een geologische beschrijving opgebouwd in functie van de noden. Dat geldt ook voor de graad van detail. In een klassiek geologisch model (of kaart) is deze uniform, terwijl deze in een raamwerk gedicteerd wordt door behoeften, of de lokale graad van kennis. Verder is het vertrekpunt geologische kennis, wat het compatibel maakt met elk ander geologisch model dat deze kennis (impliciet) visualiseert. Voor deze opdracht zullen dat voornamelijk het geologisch 3D model van Vlaanderen [4] en de kaart van het Massief van Brabant (kaart en profiel; [5]) zijn.

2.4.2 Kwalitatieve modellen

Er bestaan kwalitatieve analyses van geologische impact, in het bijzonder FEP, die voor bepaalde maar niet alle toepassingen gestandaardiseerd zijn. Deze methodes zijn niet rechtstreeks toepasbaar binnen dit project, omdat ze niet voor alle toepassingen bestaan, te zeer in detail gaan, niet het juiste referentiekader opbouwen en niet specifiek uitgewerkt zijn om een portfolio van activiteiten te analyseren. Ze vertrekken echter van een gegronde en generieke basis die overeenkomt met de kwalitatieve analyses die binnen dit project uitgewerkt zullen worden, en vormen daarom een nuttige bron van expertise.

Algemeen zal elke activiteit verkend worden binnen de relevante geologische context (zie lithotektonisch raamwerk, zie deelrapport D6), zonder het exhaustieve en geformaliseerde formaat van een FEP-studie. Specifiek zal aandacht gegeven worden aan de mogelijke beïnvloeding door andere activiteiten, niet alleen in ruimte maar ook in de tijd. Voor activiteiten die nadien kwantitatief gemodelleerd zullen worden, is dit een voorbereidende stap die aftoetst welke processen en interacties gemodelleerd moeten worden, en wat de migratie- en interactiepaden zijn. Voor activiteiten die zich enkel op lange termijn zullen ontwikkelen, blijft de evaluatie kwalitatief of focust zich op het langetermijn herstel van de initiële drukcondities. M.a.w. zal de bespreking rekening houden met het potentiële gebruik van de ondergrond in 2050.
De kwantitatieve modellering zal zich toespitsen op reservoirsimulatie opgebouwd rond druk, temperatuur en fluïdummigratie. Elementen zoals potentiële breukactivatie zullen enkel kwalitatief meegenomen worden en vallen grotendeels buiten het opzet van deze studie.

2.4.3 Kwantitatieve modellen

Het opbouwen van een regionaal, kwantitatief reservoirmodel dat de activiteiten in de diepe ondergrond van Vlaanderen op een realistische en locatie-specifieke manier kan beschrijven, vormt een belangrijke uitdaging van dit project. Het model moet rekening kunnen houden met de diverse geologische contexten, uiteenlopende ruimtelijke en tijdsschalen, diverse processen relevant voor diverse activiteiten, interacties, en aangezien het over de diepe ondergrond gaat, belangrijke onzekerheden.

Onzekerheden semi-kwantitatief inschatten kan aan de hand van stochastische berekeningen. Dit betekent dat het model snel berekend moet kunnen worden, wat een uitdaging is in functie van de regionale schaal. Bovendien moet het binnen de looptijd van het project opgesteld, getest en gedraaid kunnen worden. Dit probleem zal benaderd worden door vooreerst de geologische realiteit te compartimentaliseren waarbij het structureel raamwerk als leidraad zal dienen. De compartimenten zullen subeenheden vormen van het volledige model, wat een vorm is van ‘telescopic mesh refinement’ [6]. In deze schaalstap kunnen modellen, zelfs met verschillende modeleermethode, gekoppeld worden, waarbij het regionale model meestal de grenscondities levert voor het gedetailleerde model, alhoewel ze ook wederzijds gekoppeld kunnen worden.

Op regionale schaal kunnen we veronderstellen dat de reservoireigenschappen binnen een reservoireenheid zullen variëren, maar dat we niet weten waar ze welke waarde zullen aannemen. Dit betekent dat een analytische benadering betrouwbaar kan worden toegepast, zowel voor horizontale als verticale reservoircommunicatie [7]. Op deze schaal gaan we meestal ook uit van ‘steady-state’ aannames, iets dat impliciet in de meeste analytische benaderingen verondersteld wordt. Hoe meer gedetailleerd de simulatie wordt, hoe dynamischer en specifieker het model moet werken. Op deze schaal zal het empirisch bijsturen van de analytische modellen belangrijk worden

voor activiteiten waarvoor dit mogelijk is. De resultaten van geologische impactmodellering kunnen geraadpleegd worden in hoofdstuk 1 van deelrapport D7.

3 METHODES VOOR BEPALING VAN BESCHIKBARE VOLUMES

Waar mogelijk wordt gebruik gemaakt van de literatuur voor de schatting van beschikbare volumes voor verschillende activiteiten. In het geval van geothermie (éénputsgeothermie en doublets) en steenkoolreserves zijn deze schattingen minstens gedeeltelijk gebaseerd op internationaal gestandaardiseerde methodologieën. Voor opslag van aardgas wordt verwezen naar de volumes die door de operator geciteerd worden (en vergund zijn). Dit is ook zo voor volumes waterstof voor Loenhout, terwijl dit voor andere locaties berust of geschat poriënvolumen en densiteit. Voor opslag van CO_2 en van steenkoolmethaan wordt vertrokken van de volumeschattingen die voor België werden gepubliceerd. Elk van deze berekeningen en de literatuurreferenties worden gedetailleerd in deelrapport D6.

4 METHODES VOOR BEPALING ECONOMISCHE HAALBAARHEID EN ECONOMISCHE IMPACT

Hoofdstuk 4 bespreekt methodes om de economische impact van activiteiten in de diepe ondergrond te evalueren. Daarbij wordt er gefocust op methodes om de economische en maatschappelijke haalbaarheid van activiteiten in de ondergrond te evalueren. Daarnaast worden ook macro-economische modellen besproken die voor de economie in haar geheel inzicht kunnen geven in de socio-economische impact van het gebruik van de ondergrond. Per methode wordt een beperkte opzoeking in de Web of Science (WoS) databank gedaan om te bekijken in welke mate dat die methode gecombineerd wordt met de onderwerpen 'diepe geothermie', 'opslag van CO_2' en 'steenkool'. Deze figuren geven een eerste beeld van de mate waarin de methode toegepast wordt. Daarbij valt het op dat 'steenkool' vaak aan bod komt in de gevonden publicaties. Opmerking hierbij is dat in deze gevallen de evaluaties veelal gaan om evaluaties van andere technologieën dan steenkoolwinning maar waarbij steenkool als referentie gebruikt wordt. Een meer uitgebreide literatuurstudie zou nuttig zijn om inzicht te geven in de toepassing van de verschillende methodes en de bijhorende resultaten, maar valt buiten de scope van deze opdracht.

4.1 TECHNO-ECONOMISCHE ANALYSE

Een techno-economische analyse (TEA) is een combinatie van technische procesmodellering en economische evaluatie met als doel het analyseren van de impact van veranderingen in technische en economische parameters op de financiële levensvatbaarheid van een technologie. Bij de evaluatie van toepassingen in de diepe ondergrond omvat de technische component veelal geologische data die bepalen in welke mate er een bepaald product geleverd kan worden (bv. de hoeveelheid warmte die geproduceerd kan worden in het geval van een diepe geothermie toepassing) of in welke mate dat er een bepaald product opgeslagen kan worden (bv. de hoeveelheid CO_2 die opgeslagen kan worden in de ondergrond). Een groot voordeel van een TEA is dat een verandering in een geologische of technologische parameter direct wordt vertaald in de economische indicatoren. Een tweede typisch kenmerk van een TEA is het ex-ante of prospectieve karakter van de beoordeling, een TEA kan uitgevoerd worden voor zowel opkomende technologieën (laboschaal, prototypes), als technologieën die volledig ontwikkeld en beschikbaar zijn op de markt [8].

4.1.1 Uitvoering TEA

Een TEA verloopt typisch in vijf stappen [8, 9] en start met het definiëren van het doel en reikwijdte van de studie. Dit omvat een beschrijving van de redenen voor het uitvoeren van de TEA, welke vragen er beantwoord moeten worden, het definiëren van de systeemgrenzen en het kiezen van de evaluatie-indicatoren. Het bepalen van de reikwijdte omvat ook de definitie van een eventuele benchmark technologie waarmee vergeleken wordt. De gekozen benchmark technologie is vaak de best beschikbare technologie of de marktleider.

Een tweede stap is het opmaken van een data-inventaris voor de TEA. Een stroomschema (Block Flow Diagram (BFD) of Process Flow Diagram (PFD)) toont hoe het procesontwerp er uitziet, vanuit een technisch perspectief. De massa- en energiebalans beschrijven de energie- en materialenstromen in het systeem en worden gebruikt als input om de geselecteerde evaluatie-

indicatoren te berekenen. Naast de technische gegevens moeten ook economische gegevens worden verzameld. Er wordt een marktstudie uitgevoerd om de concurrentieomgeving voor de nieuwe technologie te onderzoeken. Gegevens over productprijzen, materiaalprijzen en energieprijzen worden verzameld in de data-inventaris.

De derde fase is de berekening van de evaluatie-indicatoren. Dit kunnen technische, economische en/of milieu-indicatoren zijn, afhankelijk van de reikwijdte van de TEA. Veel voorkomende technische indicatoren zijn de energieoutput en energie-efficiënte. Veel voorkomende economische indicatoren zijn de investeringskosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX), de 'levelized cost of product' (LCOP), de netto actuele waarde, en de internal rate of return (IRR).

De interpretatiefase en de onzekerheidsanalyse vormen de vierde en de vijfde stap. Tijdens de interpretatiefase wordt het economisch resultaat vertaald naar meer algemene inzichten binnen de context van de marktanalyse en wordt een logisch verband gelegd met de technische parameterwaarden.. In de laatste fase wordt zowel de onzekerheid als gevoeligheid van de resultaten beoordeeld. Een onzekerheidsanalyse kwantificeert het niveau van onzekerheid dat geassocieerd is met de resultaten, veroorzaakt door onzekerheid in de inputgegevens of verspreiding van fouten in de gegevens. Een gevoeligheidsanalyse identificeert de bronnen van onzekerheden in de inputvariabelen die verantwoordelijk zijn voor de onzekerheid in de modeluitvoer. Een globale sensitiviteitsanalyse onderzoekt de variatie van meerdere variabelen tegelijk, terwijl lokale analyses de variatie in invoerparameters één per één bekijken. Monte Carlo is de meest gebruikelijke techniek voor globale analyses, waarbij herhaalde willekeurige steekproeven worden uitgevoerd om een kansverdeling voor de uitvoer te bepalen.

4.1.2 Motivatie voor het uitvoeren van een TEA

Er zijn verschillende redenen om een TEA te ontwikkelen [8]. Een eerste voor de hand liggende reden is dat een TEA een economische beoordeling van een technologie geeft. Het kan een indicatie geven van de financiële levensvatbaarheid en/of winstgevendheid. Er kunnen verschillende vragen worden beantwoord, zoals (i) hoeveel geld kan worden bespaard door een technologie of verschillende technologietoepassingen te gebruiken die dezelfde dienst leveren; (ii) wat moet de minimumprijs zijn van een eindproduct of de maximumprijs van een bepaalde input; (iii) wat is de economische impact van verschillende opschalingen en -toepassingen en (iv) hoeveel uitgaven kunnen worden bespaard door in de technologie te investeren?

Een tweede reden om een TEA uit te voeren is om sturing te geven aan de verdere ontwikkeling van een bepaalde technologie. Dit kan de ontwikkeling van de specifieke technologie zijn maar ook de ontwikkeling naar een commercieel proces. Afhankelijk van de afbakening van de studie kan de ontwikkeling zeer breed zijn en verschillende technologische trajecten of roadmaps vergelijken, of zeer specifiek zijn en gericht zijn op specifieke technologische componenten. Een TEA vermijdt de nadelen van ex-post economische berekeningen waarbij de technologische keuzes al gemaakt of beperkt zijn.

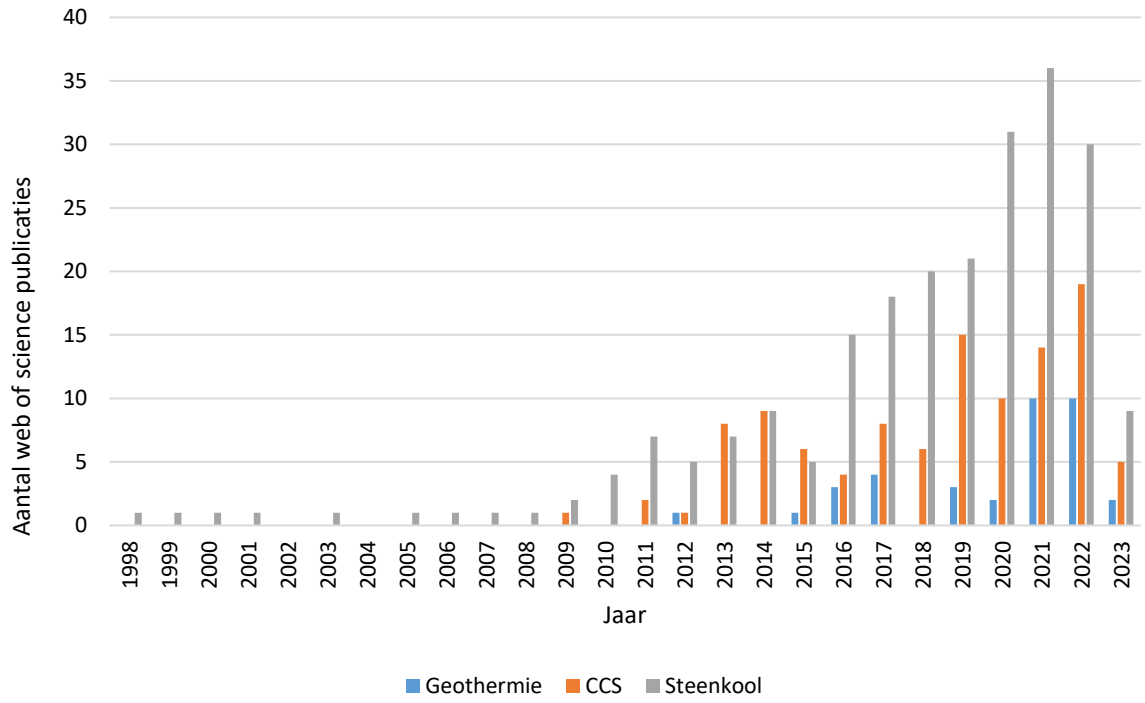
Een derde reden om een TEA te maken is het leerproces zelf. Het dwingt onderzoekers uit verschillende disciplines om bij elkaar te zitten, kan helpen om de juiste technische en economische vragen te stellen en helpt bij het selecteren van de meest geschikte proces- of producttesten. Het kan een eerste indicatie geven van de technische en operationele barrières en drijfveren voor winstgevendheid. Het kan helpen om vanuit verschillende invalshoeken naar de processen te kijken, waardoor samenwerking tussen onderzoekers gestimuleerd wordt. In feite brengt een TEA

automatisch verschillende disciplines samen en is deze analyse per definitie interdisciplinair omdat zij een brug vormt tussen economie en (ingenieurs)wetenschappen.

Zoals bij elke meetmethode, zijn er aan de uitvoering van een TEA ook een aantal nadelen verbonden. Een eerste bezorgdheid is de onzekerheid waarmee de fysieke kosten en baten kunnen worden ingeschat. Kosten en baten zijn op voorhand niet steeds gekend waardoor er een onzekerheidsrange ingeschat moet worden. Een tweede bezorgdheid is dat een TEA geen beoordeling omvat van hoe de kosten en baten verdeeld zijn over de betrokken stakeholders. De derde bezorgdheid is de praktijk van het verdisconteren. De argumenten voor verdiscontering zijn dat individuen gewoon meer geven om onmiddellijke, eerder dan uitgestelde consumptie en dat toekomstige consumptie voor minder zou moeten meetellen dan huidige consumptie als er economische groei is. Toekomstige consumptie en het effect daarvan op de welvaart is onzeker en dit leidt tot verlaagde waarden van mogelijke baten en kosten. Argumenten tegen huidige verdisconteringspraktijken zijn (i) bias ten voordele van de huidige generatie; (ii) het opzettelijk negeren van toekomstige kosten als gevolg van onzekerheid en risico's; (iii) misvatting van toenemende consumptie; (iv) niet-gecompenseerde schade; (v) inherente rechten en kansen [10]. Een vierde bezorgdheid is dat een TEA mogelijke flexibiliteitsopties binnen een beslissingsproces negeert waardoor de waarde van een project onderschat wordt. Een laatste bezorgdheid is het gebrek aan andere duurzaamheidscriteria.

Toepassing van techno-economische analyses in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond

Er werd een beperkte opzoeking in de Web of Science (WoS) databank gedaan om te bekijken in welke mate dat er in techno-economische evaluaties, de onderwerpen diepe geothermie, opslag van CO_2 (CCS) en steenkool aan bod komen. Onderstaande figuur toont dat techno-economische analyses pas de laatste 10 jaar een opgang kennen in de wetenschappelijke literatuur. Steenkool komt vaak aan bod in de gevonden publicaties. Opmerking hierbij is dat deze techno-economische evaluaties veelal gaan om evaluaties van andere technologieën dan steenkoolwinning maar waarbij steenkool als referentietechnologie/benchmark gebruikt wordt.



Figuur 1. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarbij de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'techno-economic assessment'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

4.2 LEVENSCYCLUS KOSTENBEREKENING

Conventionele levenscyclus kostenberekeningen die zich alleen richten op particuliere investeringen van één actor (een bedrijf of consument) worden gecategoriseerd als financiële levenscyclus kosten berekeningen. Over het algemeen zijn alleen de kosten die door de actor worden gedragen van belang en worden milieukosten of externe kosten aan het einde van de levensduur buiten beschouwing gelaten. Bijgevolg houdt een dergelijke berekening niet altijd rekening met de volledige levenscyclus, aangezien alleen de economische levensduur telt. Financiële stromen omvatten bijvoorbeeld investeringskosten, R&D-kosten en verkoopopbrengsten (gepresenteerd als negatieve kosten). Hoewel de focus meestal op deze private kosten ligt, kunnen soms ook gebruikerskosten worden meegerekend. Als bedrijven bijvoorbeeld nieuwe producten ontwikkelen, kunnen ze rekening houden met de eigendomskosten van hun klanten. Het is gebruikelijk om de kasstromen die optreden binnen het tijdsbestek van de productlevenscyclus te verdisconteren [11].

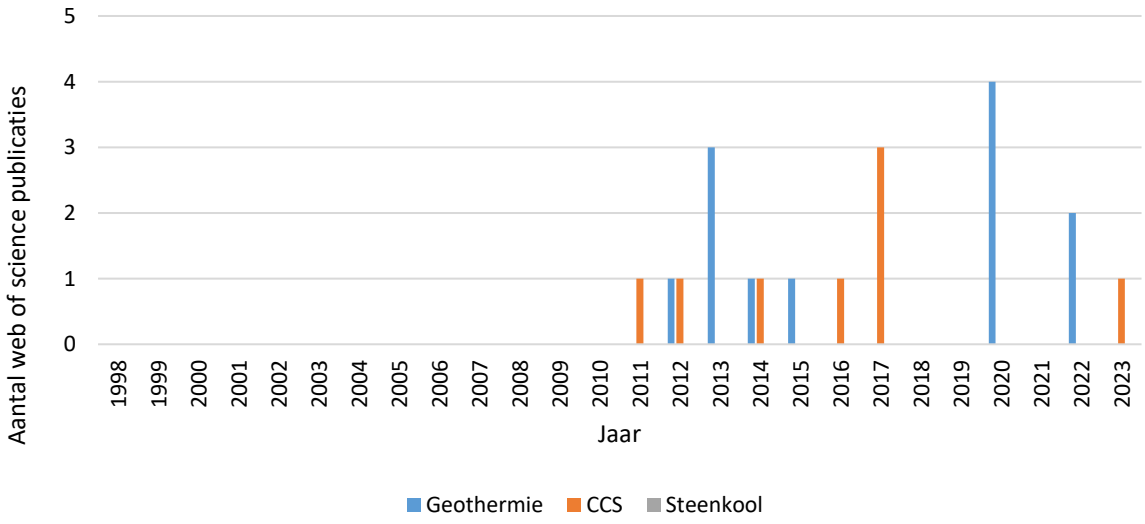
Een milieu-levenscyclus kostenberekening bouwt voort op de financiële levenscyclus kosten-berekening en breidt deze uit naar levenscycluskosten die worden gedragen door andere actoren. Er wordt dus gekeken naar de volledige levenscyclus van een product. De focus blijft echter liggen op reële kasstromen die geïnternaliseerd zijn of waarvan verwacht wordt dat ze geïnternaliseerd zullen worden. Voorbeelden van kosten die in de berekening zijn opgenomen, zijn afvalverwijderingskosten, CO_2-belastingen die naar verwachting zullen worden ingevoerd en kosten voor klimaatadaptatie [11].

Een maatschappelijke levenscyclus kosten berekening is een derde type levenscycluskostenberekening waarin rekening gehouden wordt met alle kosten die door iedereen

in de samenleving worden gedragen, nu of in de toekomst, en die verband houden met de levenscyclus van een product. Effecten zoals volksgezondheid en menselijk welzijn moeten worden gekwantificeerd en vertaald in monetaire waarden, wat vaak een uitdaging is bij het uitvoeren van dit soort beoordelingen. Aangezien de analyse wordt uitgevoerd vanuit een maatschappelijk perspectief, moeten betalingen zoals subsidies en belastingen worden afgetrokken van de kostengegevens, aangezien deze geen netto-kosteneffect hebben [11].

Toepassing van de levenscycluskostenanalyse in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond.

Toepassing van levenscycluskostenanalyses zijn eerder beperkt voor de bestudeerde toepassingen in de ondergrond.



Figuur 2. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarbij de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'life cycle cost'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

4.3 REËLE OPTIE ANALYSE

De term 'real options' werd in 1977 voor het eerst geclaimd door Myers, in een studie over de kwesties van bedrijfsschulden. Myers definieerde reële opties als "mogelijkheden om reële activa te kopen tegen mogelijk gunstige voorwaarden". De mogelijkheden voor bedrijven om reële activa te kopen kregen deze naam vanwege de analogie met financiële opties. Met financiële opties kan de optiehouder het financiële actief kopen of verkopen tegen een vaste prijs en datum in de toekomst. Alleen als de voorwaarden gunstig zijn, zullen optiehouders hun recht uitoefenen om dat financiële actief tegen de overeengekomen voorwaarden te kopen of te verkopen. Bedrijven met een investeringsmogelijkheid staan voor een soortgelijk dilemma: ze hebben het recht, maar niet de plicht, om in de toekomst te investeren en het actief te verwerven [12].

Over het algemeen hebben de meeste investeringsbeslissingen drie kenmerken gemeen: 1) de investering is, althans gedeeltelijk, onomkeerbaar, wat betekent dat (een deel van) de investeringskosten zijn verzonken, 2) het toekomstige rendement van de investering is onzeker, en

3) besluitvormers hebben enige flexibiliteit in de timing van investeringen. Terwijl de klassieke netto contante waarde, zoals berekend in een TEA, deze typische kenmerken van investeringen negeert, erkent de Reële Optie Theorie (ROT) dat besluitvormers de mogelijkheid hebben om het project of de technologie aan te passen als reactie op veranderingen en ontwikkelingen in de markt. Met andere woorden, ROT maakt een "nu-of-later"-beslissing mogelijk: investeerders moeten niet alleen beslissen of ze al dan niet investeren, maar ook wanneer ze investeren. ROT erkent het feit dat besluitvormers de flexibiliteit hebben om hun beslissingen aan te passen aan veranderende omstandigheden, wat de potentiële winsten zal verbeteren en de verwachte verliezen van de investering zal beperken. Bovendien, hoe hoger de onzekerheid en variabiliteit in de uitbetalingen van de investering, hoe hoger de waarde van de optie om te investeren. De intuïtie is als volgt: als een bedrijf het recht heeft - maar niet de verplichting - om te investeren, zal meer onzekerheid en variabiliteit in de projectuitbetalingen de potentiële uitbetalingen van het project alleen maar vergroten, terwijl de potentiële verliezen ongewijzigd blijven (de investeringsoptie zal niet worden uitgeoefend tegen ongunstige voorwaarden) [12].

ROT wordt meer en meer toegepast in een verscheidenheid aan onderzoeksgebieden en daarbij zijn verschillende methodes ontwikkeld om reële opties te waarderen. In de huidige literatuur worden vijf belangrijke oplossingsmethodes onderscheiden voor het waarderen van reële opties: dynamisch programmeren, partiële differentiaalvergelijkingen, beslisboommodellen, simulatietechnieken en benaderingen die op fuzzy sets gebaseerd zijn. Deze methodes kunnen analytische of numerieke oplossingen bieden. Een analytische oplossing is een exacte oplossing voor het probleem, terwijl een numerieke oplossing wordt gevonden voor problemen die niet analytisch opgelost kunnen worden door een veelheid aan onzekerheden en flexibiliteitsopties en waarvoor de oplossing moet worden benaderd [13].

4.3.1 Reële optie analyse en onzekerheden

ROT waardeert de flexibiliteit die ontwikkelaars hebben om beslissingen aan te passen, als reactie op nieuwe informatie of veranderende omstandigheden. Als alles 100% zeker zou zijn, zou nieuwe informatie de projectprestaties niet veranderen. Daarom is de aanwezigheid van onzekerheden die van invloed zijn op de projectprestaties een voorwaarde voor de toepassing van ROT. Sterker nog, de huidige onzekerheden kunnen een potentiële bron van waarde zijn voor het project: grotere onzekerheid in de projectopbrengsten verhoogt de waarde van flexibiliteit of van adaptief beheer. In aanwezigheid van flexibiliteit zullen, als de onzekerheid toeneemt, de potentiële opbrengsten van het project ook toenemen, terwijl de potentiële verliezen gelijk zullen blijven. In de ROT-literatuur worden vijf belangrijke bronnen van onzekerheid geïdentificeerd [14]:

1) Technologische onzekerheid: Technologische of technische onzekerheid beschrijft de onzekerheid over de hoeveelheid tijd, inspanning en materialen die nodig zullen zijn om het project of de prestaties van de technologie te voltooien zodra deze operationeel is. Deze onzekerheid kan alleen worden opgelost door het project daadwerkelijk uit te voeren. Technische (of endogene) onzekerheden kunnen over het algemeen worden verminderd door actief leren. Met andere woorden, deze onzekerheden zijn tot op zekere hoogte beheersbaar binnen het project. Voorbeelden van technologische onzekerheden zijn de mate van energie-efficiëntie, grondstofverbruik en leereffecten. In een geologische context kan men, door te investeren in exploratie, leren over de opbouw en kenmerken van de (diepe) ondergrond en op basis van deze informatie beslissen een project verder te zetten, aan te passen of te stoppen.

2) Marktonzekerheid: marktonzekerheden verwijzen naar het gebrek aan kennis over hoe een bepaalde markt zich in de toekomst zal ontwikkelen. Terwijl technische onzekerheden vaak eigen zijn aan het project, zijn de meeste marktonzekerheden exogeen: de bron van onzekerheid ligt buiten het project en kan niet worden gecontroleerd of beïnvloed door het project. Voorbeelden van marktonzekerheid zijn bijvoorbeeld de productprijs, de vraagonzekerheid en de prijs van CO_2.
3) Beleidsonzekerheid: Regelgeving opgelegd door de overheid kan de uitvoering van een project beïnvloeden. Het vooruitzicht van beleidswijzigingen en de onvoorspelbaarheid van deze veranderingen creëren een extra bron van onzekerheid. Beleidsonzekerheid verwijst naar de onzekerheid die ontstaat wanneer het tijdstip of de hoogte van belastingen, subsidies of de striktheid van milieuregelgeving nog niet vastligt.
4) Impactonzekerheid: Naast het leveren van een product of dienst, zal het project ook (onbedoelde) effecten hebben op zijn omgeving. Deze effecten worden externe effecten genoemd en worden niet gewaardeerd op een markt. Het is vaak erg moeilijk om deze effecten van projecten op hun ruimere omgeving in te schatten of te voorspellen, wat aanleiding geeft tot impactonzekerheid.
5) Maatschappelijke onzekerheid: publieke perceptie en acceptatie kunnen het succes van het project beïnvloeden en een extra bron van onzekerheid creëren. Windenergie- of CCS-projecten hebben of hadden bijvoorbeeld te kampen met een gebrek aan maatschappelijke acceptatie, wat de investeringen in deze technologieën belemmert.

4.3.2 Reële optie analyse en flexibiliteit

Trigeorgis onderscheidde zes hoofdtypen reële opties [14]:

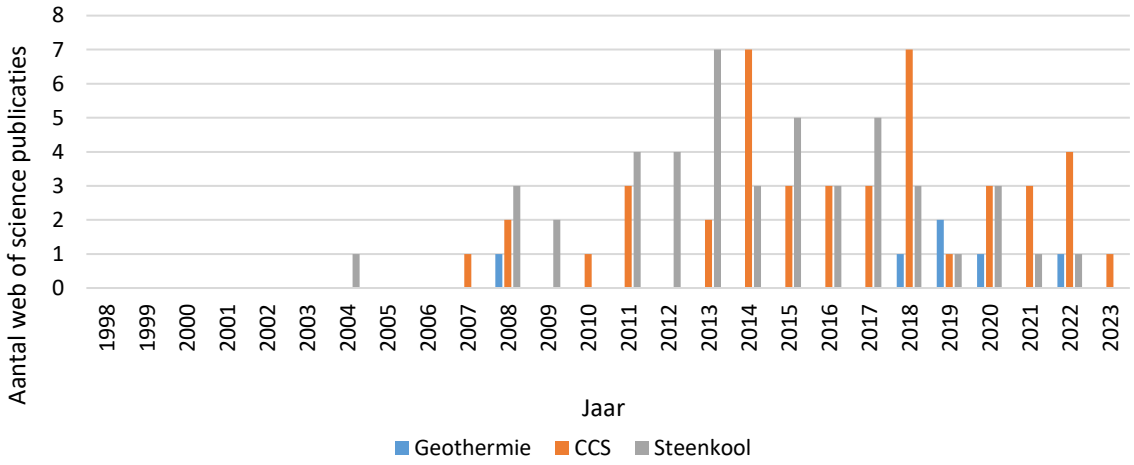
1) Optie om te wachten of uit te stellen: in plaats van een nu-of-nooit-beslissing te nemen, kunnen investeerders de investering uitstellen naar een toekomstige periode: bij elke periode evalueren ze het project opnieuw en beslissen ze te blijven wachten op meer informatie, onmiddellijk te investeren, of het project volledig stop te zetten. De optie om uit te stellen stelt de beslisser in staat te wachten tot de onzekerheid is opgelost of verminderd.
2) Optie tot faseren (time-to-build investering): deze optie is subtieler dan de optie om uit te stellen. In plaats van de investering als geheel uit te stellen, wordt de investering opgesplitst in verschillende fasen: eerst wordt een gedeeltelijke investering gedaan, en pas wanneer de prestaties van het project aan een bepaalde norm voldoen, wordt de tweede investering gedaan, enz. Door de investering in de tijd te spreiden en op te splitsen in een reeks kleinere investeringen, kan de investeerder het project in elk stadium verlaten. Deze optie is vooral belangrijk in Onderzoek & Ontwikkeling (O&O)-industrieën omdat O&O doorgaans wordt uitgevoerd om nieuwe inzichten te verkrijgen in de prestaties van de technologie, wat de besluitvormer zal helpen beslissen of hij al dan niet verdere investeringen wil doen.
3) Optie om te schalen (uitbreiden of inkrimpen): als reactie op veranderende marktomstandigheden kan de schaal van de productie worden uitgebreid of verkleind. Om de productieschaal te wijzigen wanneer het project al loopt, zullen extra kosten moeten worden gemaakt. Bedrijven kunnen er ook voor kiezen om projecten modulair in te richten, zodat het project eenvoudig kan worden opgeschaald, zonder hoge meerkosten.
4) Optie om (tijdelijk) te stoppen: dit stelt managers in staat om de fabriek (tijdelijk) te sluiten wanneer de marktomstandigheden dit toelaten.

Bezorgdheden omtrent het gebrek aan andere duurzaamheidscriteria en de praktijk van het verdisconteren zoals aangehaald bij de TEA (zie §4.2) zijn ook van toepassing bij de reële optie

theorie. Daarnaast wordt de methode vaak als wiskundig complex beschouwd waardoor toepassingen vaak beperkt zijn tot de wetenschappelijke literatuur en minder hun weg vinden naar de praktijk.

Toepassing van de reële optie analyse in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond

Er werd een beperkte opzoeking in de Web of Science (WoS) databank gedaan om te bekijken in welke mate dat reële optie analyses uitgevoerd worden voor de economische evaluatie van diepe geothermie, de opslag van CO_2 (CCS) en steenkool. CCS en steenkool zijn vaker terug te vinden in papers die een reële optie analyse uitvoeren. Er zijn slechts een beperkt aantal reële optie analyses uitgevoerd voor de evaluatie van diepe geothermieprojecten, terwijl ook deze ontwikkeling gepaard gaat met verschillende bronnen van onzekerheid (zowel geologische onzekerheden als marktonzekerheden) en gekenmerkt wordt door meerdere flexibiliteitsopties.



Figuur 3. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'real options'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

4.4 KOSTENBATENANALYSE

Wanneer we als individuen praten over kosten en baten, hebben we de neiging om onze eigen kosten en baten in overweging te nemen, waarbij we over het algemeen uit alternatieve handelwijzen kiezen op basis van wat vanuit ons perspectief het grootste nettovoordeel heeft. Evenzo heeft een bedrijf bij het evalueren van verschillende investeringsalternatieven de neiging om alleen die kosten (uitgaven) en baten (opbrengsten) in overweging te nemen die haar toekomen. In een kostenbatenanalyse (KBA) proberen we alle kosten en baten voor de samenleving als geheel mee te nemen, dus de maatschappelijke kosten en de maatschappelijke baten. Om deze reden verwijzen sommige analisten naar KBA als maatschappelijke kostenbatenanalyse. KBA is een beleidsbeoordelingsmethode die de waarde van alle gevolgen van een beslissing voor alle leden van de samenleving in geld uitdrukt [15].

Meer in het algemeen is KBA van toepassing op beleid, programma's, projecten, regelgeving, demonstraties en ander overheidsingrijpen. Het brede doel van KBA is om sociale besluitvorming te helpen en om sociale waarde te vergroten of, meer technisch, om allocatieve efficiëntie te

verbeteren. Uitvoerders van een KBA richten zich op maatschappelijke kosten en maatschappelijke baten, en voeren maatschappelijke kostenbatenanalyses uit. Meestal wordt echter eenvoudigweg verwezen naar kosten, baten en kostenbatenanalyses. B staat dus voor de maatschappelijke baten (de totale baten voor alle leden van de samenleving) van een beleid, en K staat voor de maatschappelijke kosten (de totale kosten voor alle leden van de samenleving) van een bepaald beleid of project. De totale waarde van een beleid of project wordt gemeten aan de hand van het netto maatschappelijk voordeel, soms eenvoudigweg aangeduid als het netto voordeel, en meestal aangeduid als de netto maatschappelijke baat (NSB)[15].

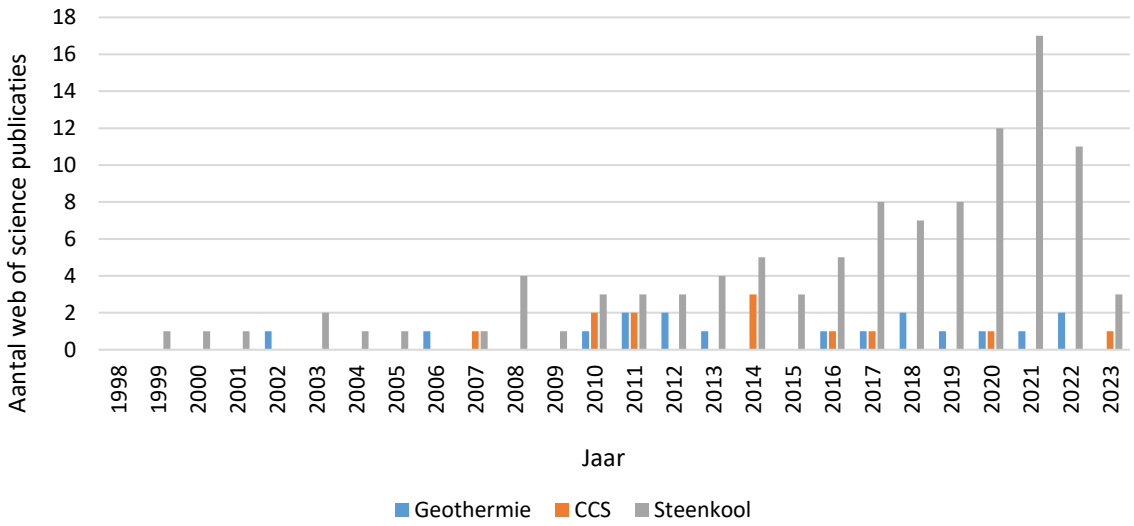
4.4.1 Uitvoering van een KBA

Een KBA wordt uitgevoerd in 10 stappen:

1. Bepaal de doelstelling van de KBA.
2. Specificeer de reeks alternatieve projecten.
3. Bepaal wiens baten en kosten tellen.
4. Identificeer de impactcategorieën, catalogiseer ze en selecteer statistieken.
5. Voorspel de effecten kwantitatief gedurende de looptijd van het project.
6. Ken een geldwaarde toe aan alle effecten.
7. Verdisconteer de baten en kosten om huidige waarden te verkrijgen.
8. Bereken de netto contante waarde van elk alternatief.
9. Voer een gevoeligheidsanalyse uit.
10. Doe een aanbeveling.

Er zijn twee soorten discussiepunten omtrent de toepassing van een KBA. Ten eerste worden de aannames die gebaseerd zijn op het nuts-denken in vraag gesteld. Er wordt betwist dat de som van individueel nut gemaximaliseerd moet worden en dat het mogelijk is om nutswinsten voor sommige mensen af te ruilen tegen nutsverliezen voor anderen. Ten tweede kunnen deelnemers aan het openbare beleidsvormingsproces (analisten en politici) het oneens zijn over praktische kwesties zoals welke effecten zich in de loop van de tijd daadwerkelijk zullen voordoen, hoe een monetaire waarde te koppelen aan elke impact en hoe een afweging te maken tussen het heden en de toekomst (praktijk van het verdisconteren)[15, 16].

Toepassing van de kostenbatenanalyse in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond



Figuur 4. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'cost benefit analysis'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

4.5 INPUT-OUTPUTANALYSE

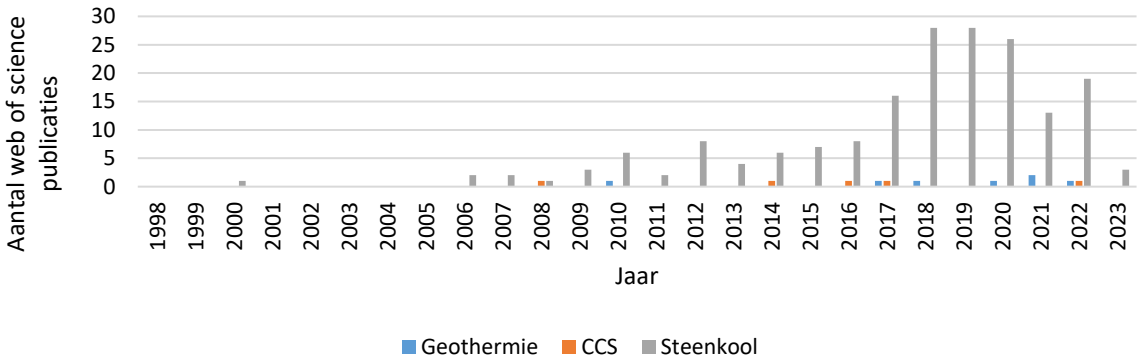
Input-outputanalyse is een gevestigde techniek in kwantitatief economisch onderzoek en heeft tot doel de directe en indirecte gevolgen van een gebeurtenis op een economisch systeem in kaart te brengen voor alle economische sectoren. Input-outputmodellen zijn gebaseerd op het idee dat elke output een overeenkomstige input vereist. Deze input kan bestaan uit grondstoffen en diensten uit andere bedrijfstakken, maar ook uit arbeid van huishoudens of bepaalde voorzieningen van de overheid. De output bestaat uit een sectorale verscheidenheid aan producten en diensten. Een conventionele input-outputtabel is gebaseerd op dubbel boekhouden: de totalen van de kolommen zijn gelijk aan de totalen van de rijen [17]. De rijen van de tabel komen overeen met de verkoop van goederen en diensten door een bepaalde sector aan alle sectoren van de economie; kolommen vertegenwoordigen aankopen van intermediaire input, arbeid, enz. gemaakt door elke sector. De finale bestedingen bestaan uit de consumptie door huishoudens, overheidsuitgaven, investeringen en export. De som van alle rijen (alle verkopen aan andere bedrijfstakken en finale bestedingen) omvat de totale output van een bedrijfstak; de som van alle kolommen (tussentijdse input, salarissen, invoer en andere componenten die toegevoegde waarde leveren) is gelijk aan de totale uitgaven [18]. Voor de economie als geheel moet de totale productie gelijk zijn aan de totale uitgaven. Input-outputtabellen kunnen betrekking hebben op het mondiale economische systeem, de nationale economie en ook op regionale systemen. Met behulp van regionale input-outputtabellen kunnen de onderlinge afhankelijkheid en verbanden tussen bedrijfstakken, huishoudens en de overheid binnen en tussen regio's worden onderzocht [17]. Naast economische indicatoren kan een input-outputmodel ook toegepast worden om inzicht te krijgen in de kanalen van de economische productiesystemen waarlangs broeikasgasemissies veroorzaakt worden [19, 20].

Gerelateerd aan het gebruik van de diepe ondergrond, vergelijken Koelbl et al. [21] voor de Nederlandse energiesector de impact van een mitigatiestrategie die CCS omvat met een strategie zonder CCS op meerdere socio-economische indicatoren. Ze berekenen de incrementele bruto toegevoegde waarde, werkgelegenheid en importafhankelijkheid van twee van dergelijke

koolstofarme energieproductieportfolio's voor Nederland. Daartoe combineren ze project-specifieke techno-economische gegevens met een macro-economische, multiregionale input-outputtabel.

Voor België is het Federaal Planbureau sinds 1994 verantwoordelijk voor de raming van vijfjaarlijkse input-outputtabellen. Naar kennis hebben de auteurs van dit rapport geen weet van bestaande analyses die de impact van het gebruik van de diepe ondergrond economie-breed analyseren voor België of Vlaanderen.

Toepassing van input-outputanalyse in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond.



Figuur 5. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'input-output'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

4.6 ALGEMENE EN PARTIËLE EVENWICHTSMODELLEN

Algemene evenwichtsmodellen zijn alomvattende numerieke modellen die economische theorieën combineren met economische gegevens om de effecten van beleidsmaatregelen of schokken in de economie rekenkundig af te leiden. Deze modellen koppelen economische gegevens aan een reeks vergelijkingen die tot doel hebben de structuur van de economie en de gedragsreacties van actoren (bedrijven, huishoudens, overheid) vast te leggen. Een dergelijk raamwerk kan gebruikt worden om beleidsveranderingen te simuleren en de impact op belangrijke economische variabelen, waaronder inkomsten- en uitgavenstromen, te traceren [22].

Bij een algemene evenwichtsmodellering wordt een schatting gemaakt van de economische impact van een beleidswijziging of een economische schok door de economie vóór en na de wijziging of schok te vergelijken. De situatie vóór de beleidswijziging of schok wordt gegenereerd door de modelvergelijkingen en de gedragsparameters aan te passen aan de gegevens van het basisjaar. In het algemeen betekent dit dat het basisjaar waarop de beleidswijziging of schok wordt toegepast, de huidige structuur van de economie weerspiegelt. De basissituatie gaat ervan uit dat de economie start vanuit een stabiele positie of evenwichtspositie, hoewel sommige modellen bepaalde aannames kunnen versoepelen, bijvoorbeeld door rekening te houden met werkloosheid. Wanneer een beleidswijziging of economische schok wordt geïntroduceerd, convergeert de economie naar een nieuw evenwicht, volgens de economische relaties die gespecificeerd zijn in het systeem van

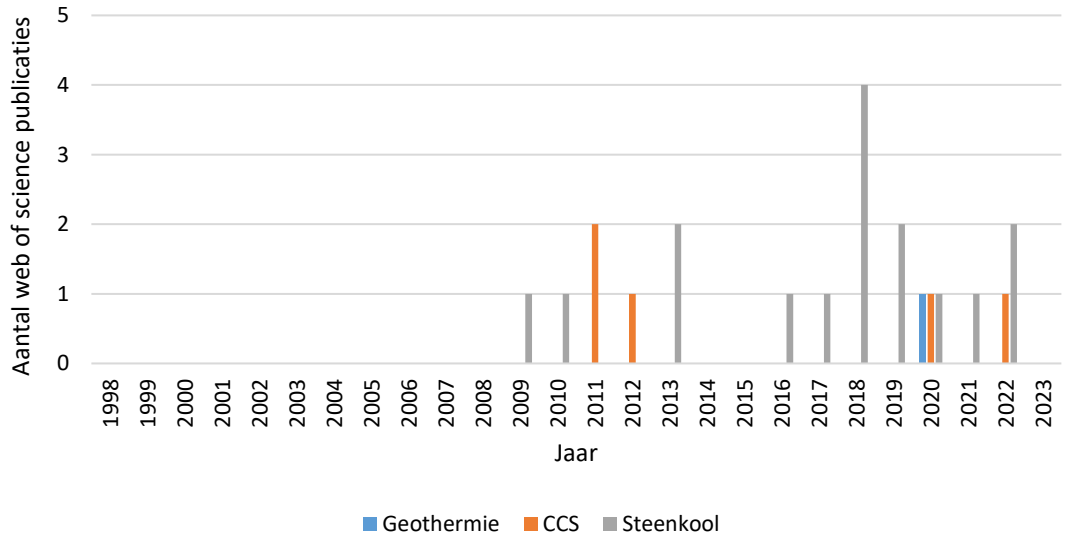
vergelijkingen. Het model leidt een oplossing af door een nieuwe reeks prijzen en toewijzing van goederen en factoren te bepalen, zodat de economie weer in evenwicht is [22].

Een standaard algemeen evenwichtsmodel bestaat dus uit twee hoofdcomponenten: de modelstructuur en een databank. Zoals eerder aangehaald, is de structuur van een algemeen evenwichtsmodel een systeem van vergelijkingen dat rekening houdt met alle economische relaties in de wereld. Het economische systeem bestaat uit verschillende componenten en wordt zeer complex omdat alle sectoren en subsectoren direct of indirect gerelateerd zijn aan de vraag naar en het aanbod van goederen en diensten. Elk van deze relaties zijn fundamenteel voor het algemeen evenwichtsmodel. De databank bestaat uit twee delen: de stroom van uitgaven en inkomsten in een economie en de parameterwaarden. Deze gegevens worden aangeleverd in de vorm van input-outputtabellen (I-O). Echter, voor een uitgebreid model waarbij de interesse verder gaat dan de productie- en consumptieactiviteiten, is meer data nodig. In deze gevallen is een social accounting matrix (SAM) meer geschikt [22].

Het Federaal Planbureau werkt momenteel aan de opmaak van een Social Accounting Matrix voor België, een instrument dat toelaat meer geïntegreerde analyses van economische en sociale problemen uit te voeren. De SAM is een matrixvoorstelling die de rekeningen van de institutionele sectoren en de input-outputtabellen samenbrengt en die de arbeidsmarkt en de sector van de huishoudens opsplitst volgens verschillende kenmerken [23].

In een partieel evenwichtsmodel wordt het evenwicht in slechts één of enkele markten onderzocht. Deze benadering onderscheidt zich van algemene evenwichtsmodellen, aangezien ze niet alle productie- en consumptierekeningen in een economie omvat. Dit type van model omvat ook niet alle markten en prijzen in een economie, en zal niet de impact van veranderingen in de ene markt op andere markten in de economie weergeven. Partiële evenwichtsanalyse is geschikt voor het analyseren van sectorale hervormingen [24].

Toepassing van algemeen evenwichtsmodellen in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond

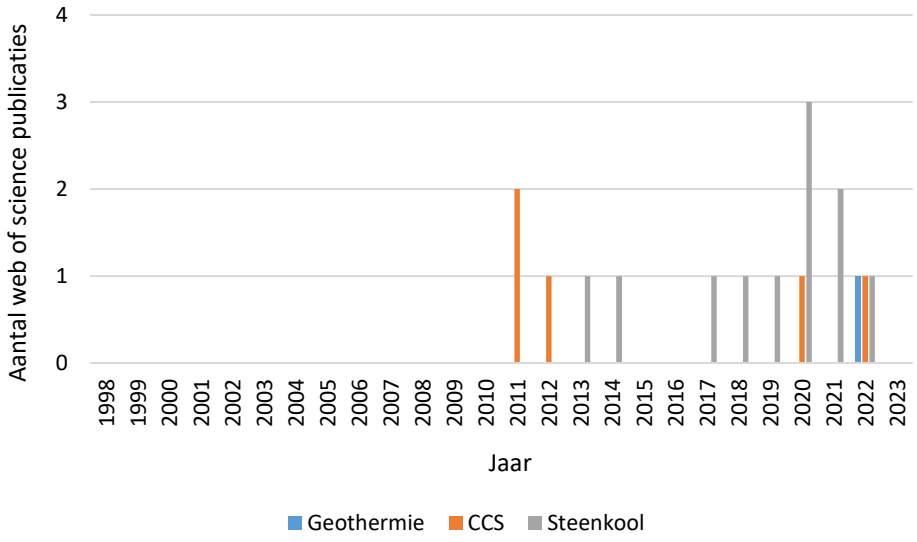


Figuur 6. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'general equilibrium model'. De query links zijn terug te vinden in appendix

4.7 AGENT-BASED MODELLING

Een agent-based model is een computersimulatie van een aantal beslissers (agenten) en instellingen die op elkaar inwerken via voorgeschreven regels. De agenten kunnen zo divers zijn als nodig is - van consumenten tot beleidsmakers en industrieën - en de institutionele structuur kan alles omvatten van banken tot overheden. Dergelijke modellen gaan niet uit van de aanname dat de economie naar een vooraf bepaalde evenwichtstoestand toegaat, zoals andere modellen doen. In plaats daarvan, handelt elke agent volgens zijn huidige situatie en volgens de regels die haar gedrag bepalen, op elk willekeurig moment in de tijd. De computer houdt de vele agentinteracties bij, om te zien wat er gebeurt op elk tijdstip. Dergelijke simulaties kunnen een veel breder scala van niet-lineair gedrag simuleren dan conventionele evenwichtsmodellen. Beleidsmakers kunnen op deze manier een kunstmatige economie simuleren, rekening houdend met verschillende beleidsscenario's en kwantitatief onderzoeken wat de gevolgen zijn [25].

Toepassing van agent-based modelling in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond.



Figuur 7. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'agent based modelling'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

4.8 TOEPASSING VAN DE BESPROKEN METHODES IN KADER VAN DE OVERHEIDSOPDRACHT

De afgelopen 15 jaar werd er aan de Belgisch Geologische Dienst en de UAntwerpen expertise opgebouwd met betrekking tot de ontwikkeling van techno-economische evaluatiemodellen en reële optie analyse modellen. Gegeven deze expertise zal er in kader van deze overheidsopdracht de techno-economische analyse en de reële optie analyse toegepast worden. De techno-economische analyse zal inzicht geven in de economische haalbaarheid van verschillende mogelijke (combinaties van) toepassingen in de diepe ondergrond. Door geologische parameters te integreren in economische kosten- en opbrengstenfuncties, wordt er inzicht verkregen in hoe de geologische

kenmerken van een bepaalde locatie bepalend zijn voor de techno-economische haalbaarheid van een bepaalde activiteit in de diepe ondergrond. De reële optie analyse zal gebruikt worden voor het doorrekenen van mogelijke scenario's volgens dewelke (combinaties van) activiteiten zich zouden kunnen ontwikkelen doorheen de tijd, gegeven een onzekere context. Rekening houdend met geologische onzekerheid en economische onzekerheid in kosten en opbrengsten, zal de reële optie analyse voorzien in de mogelijkheid om te wachten met het uitvoeren van een bepaalde activiteit, of om activiteiten te faseren of stop te zetten. Dit type van modellering zal inzicht geven in de waarschijnlijkheid dat een bepaalde activiteit ontwikkeld wordt binnen een bepaalde tijdsperiode. De resultaten van deze analyse kunnen geraadpleegd worden in hoofdstuk 2 van deelrapport D7. De economische impact die berekend wordt, is de verwachte netto contante waarde van de projecten die door het model geselecteerd worden ter ontwikkeling. De verwachte netto contante waarde wordt zowel bepaald voor individuele activiteiten als voor de ontwikkeling van de ondergrond bij verschillende beleidsscenario's in het algemeen. De keuze om te ontwikkelen houdt daarbij louter rekening met geologische en private economische kosten en baten. Impact op de algemene economie (vb. werkgelegenheid, economische groei) of economische sectoren (vb. bouwsector, energiesector) worden niet berekend. De resultaten en inzichten van de reële optie analyse en de techno-economische analyse kunnen in verdere studies wel geïntegreerd worden in een kostenbatenanalyse of gekoppeld worden aan macro-economische modellen zoals input-output matrices of een algemeen evenwichtsmodel.

5 METHODES VOOR BEPALING MILIEU-IMPACT

Hoofdstuk 5 bespreekt methodes om de milieudimensie van duurzaamheid te evalueren. Net zoals voor de bepaling van economische impact, bestaat er voor de bepaling van milieu-impact een veelheid aan methodes. Hier wordt een overzicht gegeven van veelgebruikte methodes in de wetenschappelijke literatuur. Elk van deze methodes heeft haar eigen waarden en beperkingen. Er wordt gefocust op de levenscyclusanalyse omdat deze ook toegepast zal worden in kader van deze opdracht. Daarnaast worden ook exergieanalyse, milieurisicoanalyse, milieu-impactanalyse, en de ecosysteemdienstbenadering besproken. Per methode wordt een beperkte opzoeking in de Web of Science (WoS) databank gedaan om te bekijken in welke mate dat methode gecombineerd wordt met de onderwerpen 'diepe geothermie', 'opslag van CO_2' en 'steenkool'. Deze figuren geven een eerste beeld van de mate waarin de methode toegepast wordt. Daarbij valt het op dat 'steenkool' vaak aan bod komt in de gevonden publicaties. Opmerking hierbij is dat in deze gevallen de publicaties veelal gaan om evaluaties van andere technologieën dan steenkoolwinning maar waarbij steenkool als referentie gebruikt wordt. Een meer uitgebreide literatuurstudie zou nuttig zijn om inzicht te geven in de toepassing van de methode en de bijhorende resultaten, maar valt buiten de scope van deze opdracht.

5.1 MILIEU LEVENSCYCLUSANALYSE

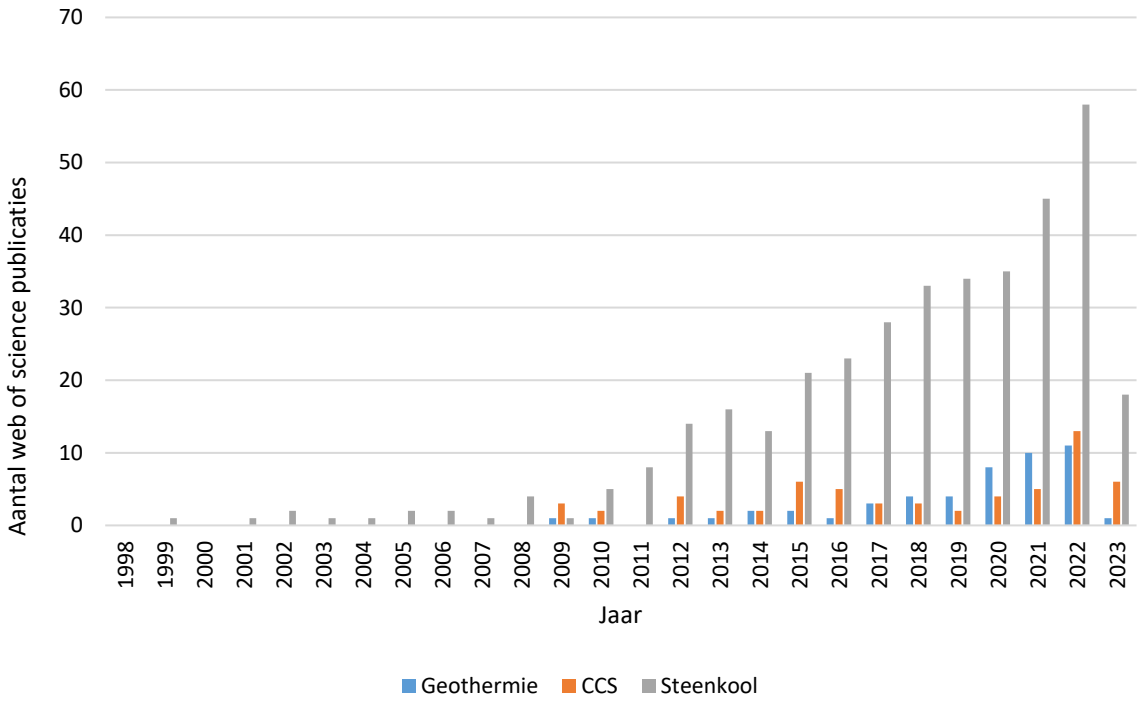
Een milieu-levenscyclusanalyse (LCA) is een methode die prospectief kan worden gebruikt om de milieu-impact van een technologie, product of een proces te beoordelen, rekening houdend met de volledige levenscyclus ervan, d.w.z. van de verwerving van grondstoffen via productie- en gebruiksfasen tot afvalbeheer. Hoewel er in de jaren zestig al LCA-onderzoeken werden uitgevoerd, startte SETAC in 1990 het standaardisatieproces dat leidde tot de bekende ISO 14040 + 44-reeks. Volgens deze standaarden bestaat een LCA uit vier stappen [26]:

Stap 1. Definitie van doel en reikwijdte. Het doel van de beoordeling wordt vastgesteld en er worden beslissingen genomen over de details van het onderzochte productsysteem. Items die in de doel- en reikwijdtedefinitiefase moeten worden gedefinieerd, zijn onder meer de functionele eenheid, systeemgrenzen, specificiteit van de gegevens (d.w.z. voorgrond- of achtergrondgegevens), eventuele uitsluiting van levenscyclusfasen of inputs, en de selectie van impactindicatoren en karakterisatiefactoren.
Stap 2. Levenscyclusinventarisatie (Life Cycle Inventory - LCI). Er wordt voor het gedefinieerde productsysteem een inventarisatie gemaakt van de stromen van en naar de natuurlijke omgeving. Deze stromen omvatten de aanvoer van water, energie en grondstoffen en de uitstoot naar lucht, land en water. Vergelijkbaar met een TEA zal een processtroommodel van het technische systeem worden geconstrueerd met behulp van gegevens over inputs en outputs. Het stroommodel wordt geïllustreerd met een stroomschema waarin de te beoordelen activiteiten zijn opgenomen en een duidelijk beeld wordt gegeven van de technische systeemgrenzen. Van alle activiteiten binnen de systeemgrens worden de input- en outputgegevens verzameld die nodig zijn voor de opbouw van het evaluatiemodel.
Stap 3. Levenscyclus impactbeoordeling (Life Cycle Impact Assessment – LCIA). De levenscyclus impactbeoordeling is de fase van een LCA waarin de evaluatie gemaakt wordt van de potentiële milieueffecten die voortkomen uit de elementaire stromen (milieubronnen en lozingen) opgenomen in de levenscyclusinventaris. Eerst worden de relevante impactcategorieën geselecteerd en worden de elementaire stromen van de LCI toegewezen aan de impactcategorieën. Ten tweede vindt de

karakterisering plaats: potentiële milieueffecten worden gemodelleerd met behulp van conversiefactoren (vb. emissiefactoren).
Stap 4. Interpretatie van de resultaten, inclusief hotspotanalyse en gevoeligheidsanalyse. De resultaten van een LCA worden geïnterpreteerd op basis van een hotspotanalyse. In een hotspotanalyse worden er contributiediagrammen gemaakt om de relatieve bijdrage van elke levenscyclusfase of proces aan de totale milieu-impact te berekenen. Ten tweede kunnen inputparameters die nodig zijn om de productieketen te beschrijven onzeker zijn door vb. temporele variabiliteit of ontbrekende data over de werkelijke waarde van invoergegevens. Onzekerheid in de invoerparameters zorgt voor onzekerheid in de uitkomst van een LCA. Het analyseren van deze onzekerheid kan door middel van een gevoeligheidsanalyse en kan helpen om meer inzicht te krijgen in de robuustheid van het resultaat en om dataverzameling te prioriteren. Er kan een lokale gevoeligheidsanalyse uitgevoerd worden om het effect te bepalen van een (kleine) verandering in één van de inputparameters of een globale gevoeligheidsanalyse om te bepalen hoeveel elke inputparameter bijdraagt aan de outputonzekerheid.

Er bestaan verschillende types milieu-levenscyclusanalyses. De klassieke 'attributional' levenscyclusanalyse (ALCA) brengt de directe fysieke stromen (d.w.z. hulpbronnen, materiaal, energie en emissies) die betrokken zijn bij de levenscyclus van een product in rekening. Doorgaans worden er gemiddelde gegevens gebruikt voor elk eenheidsproces binnen de levenscyclus. De 'consequential' LCA (CLCA) benadering probeert daarentegen te beschrijven hoe fysieke stromen kunnen veranderen als gevolg van een toe- of afname van de vraag naar het onderzochte productsysteem. In tegenstelling tot ALCA omvat CLCA eenheidsprocessen binnen en buiten de directe systeemgrenzen van het product. In deze analyse worden economische gegevens gebruikt om fysieke stromen van indirect beïnvloede processen te meten [27]. Een dynamische LCA is een vorm van ALCA waarbij er rekening gehouden wordt dat bepaalde fysieke stromen kunnen veranderen doorheen de tijd (omwille van bijvoorbeeld een veranderende elektriciteitsproductiemix) alsook de berekende milieu-impact zelf. Een dynamische LCA geeft inzicht in de milieu-impact per jaar en maakt een onderscheid in impact met een lange levensduur (lange termijn impact) en impact met een korte levensduur (korte termijn impact) [28].

Toepassing van milieulevenscyclusanalyse in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond



Figuur 8. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'LCA'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

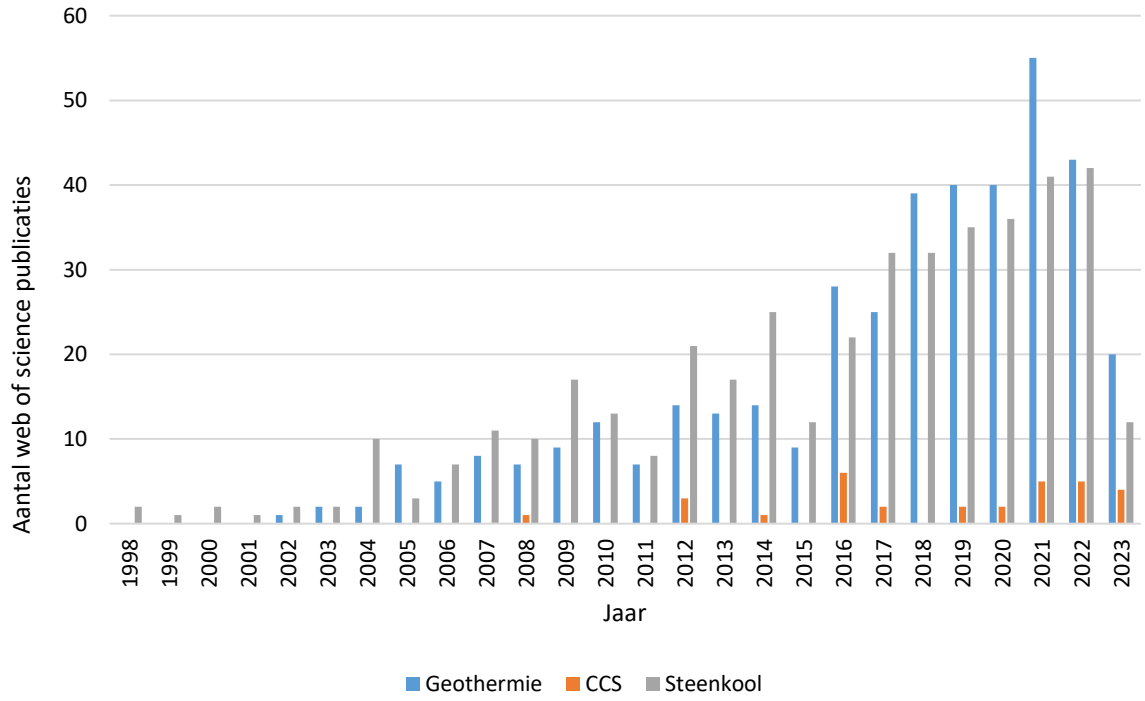
5.2 EXERGIEANALYSE

Thermodynamica beschrijft de kenmerken, prestaties en efficiëntie van energieconversiesystemen. Een klassieke thermodynamische analyse is voornamelijk gebaseerd op het principe van behoud van energie, zoals belichaamd in de Eerste Wet van de thermodynamica. Een energieanalyse van een proces of systeem houdt rekening met de energie die binnenkomt, accumuleert, en het systeem verlaat (als producten of bijproducten of afval). Efficiëntie, meestal een verhouding van energiehoeveelheden, wordt vaak gebruikt om processen en systemen te beoordelen en te vergelijken. Energie-efficiëntie is echter vaak misleidend, omdat deze maatstaf niet altijd een indicatie geeft van hoe goed de prestaties een ideaal scenario benaderen. Verder zijn de thermodynamische verliezen die optreden binnen een proces of systeem (d.w.z. factoren waardoor de prestaties afwijken van de idealiteit) vaak niet goed geïdentificeerd en beoordeeld met een energieanalyse.

Exergieanalyse, een thermodynamische analysetechniek die voornamelijk is gebaseerd op de Tweede Wet van de thermodynamica, beantwoordt de zwakke punten van energieanalyse [29]. Exergieanalyse biedt een alternatief om processen en systemen te beoordelen en te vergelijken. Twee belangrijke kenmerken van exergieanalyse zijn dat er gemeten wordt in welke mate de werkelijke prestaties de idealiteit benaderen, en dat er (ten opzichte van energieanalyse) een duidelijke identificatie gegeven wordt van de oorzaken, types en locaties van thermodynamische verliezen. Een exergieanalyse kan helpen bij het verbeteren en optimaliseren van ontwerpen. De exergie geassocieerd met een kwantiteit geeft een kwantitatieve beoordeling van de kwaliteit, het nut of de waarde ervan. Energie kan niet worden gecreëerd of vernietigd, maar exergieanalyse kwantificeert hoe de kwaliteit van energie vermindert [29]. Een exergieanalyse is een nuttige methode die inzicht kan geven in het metabolisme van een systeem en het effect van het systeem

op het milieu met behulp van een gemeenschappelijke noemer. Een exergieanalyse kan de impact van energiegebruik op de omgeving bepalen, is ideaal voor het ontwerp en de analyse van een/het energiesysteem, en kwantificeert energieverliezen waardoor waardevolle informatie bekomen wordt omtrent het efficiënt gebruik van hulpbronnen [16].

Toepassing van exergieanalyse in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond



Figuur 9. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'exergy'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

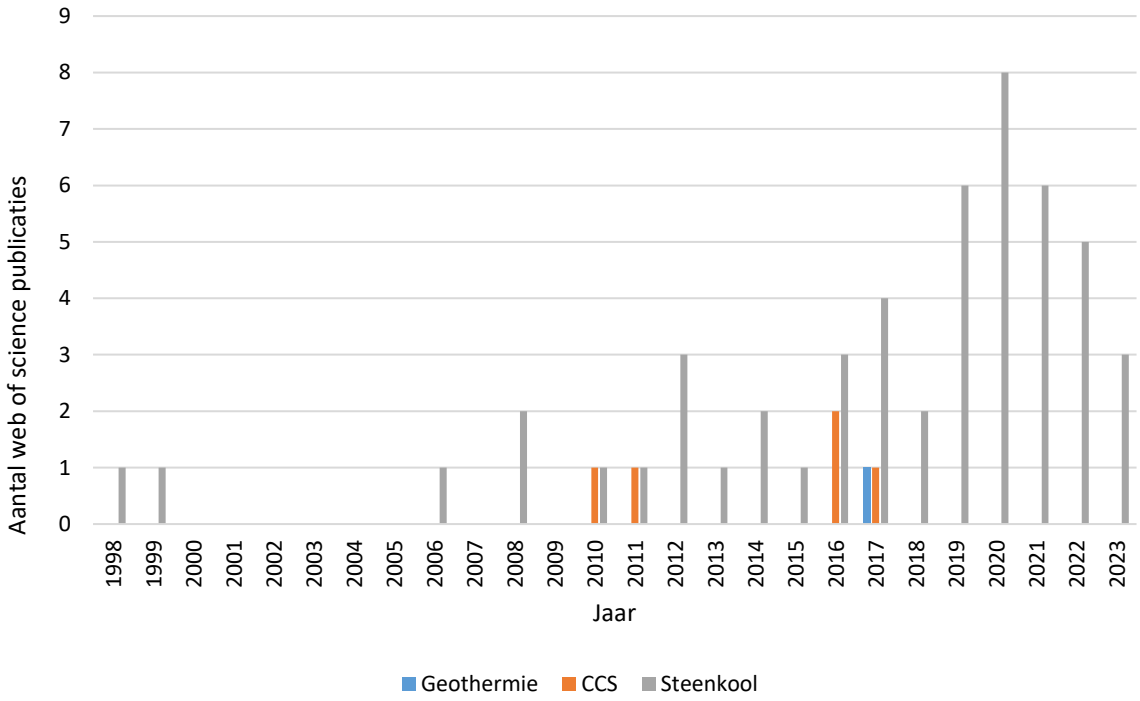
5.3 MILIEURISICOANALYSE

Een milieurisicoanalyse onderzoekt de risico's van menselijke activiteiten of interventies op (i) de menselijke gezondheid en (ii) ecologische receptoren zoals dieren, planten of een geheel ecosysteem [30]. In het eerste geval wordt er een inschatting gemaakt van de waarschijnlijkheid dat er nadelige gezondheidseffecten optreden wanneer mensen worden blootgesteld aan schadelijke stoffen die aanwezig zijn in de lucht, bodem of water. In het tweede geval, wordt er onderzocht wat de waarschijnlijkheid is dat er nadelige ecologische effecten optreden wanneer ecologische receptoren worden blootgesteld tot een of meer chemische (bijv. toxische metalen, pesticiden), biologische (bijv. invasieve soorten) of fysieke (bijv. klimaatverandering, verandering in landgebruik) stressoren.

Een milieurisicoanalyse onderzoekt de oorzaak-gevolgroute. De analyse begint bij het identificeren van een specifieke fysieke, biologische en/of chemische stressfactor die veroorzaakt wordt door een of meer menselijke activiteiten. Deze stressor kan de receptor (menselijke of ecologische entiteit) bereiken via verschillende wegen zoals lucht, water en/of bodem. De receptor wordt blootgesteld aan de stressor en het gevolg van deze blootstelling zal afhangen van de duur, frequentie en grootte. De impact van de stressor(en) worden uitgedrukt in termen van de risico('s) voor de receptoren en

hun kenmerken. De bescherming van de receptor staat centraal in de milieurisicoanalyse. De effecten kunnen geaggregeerd worden in één enkele score om het geaggregeerde of cumulatieve risico te evalueren.

Toepassing van milieurisicoanalyse in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond

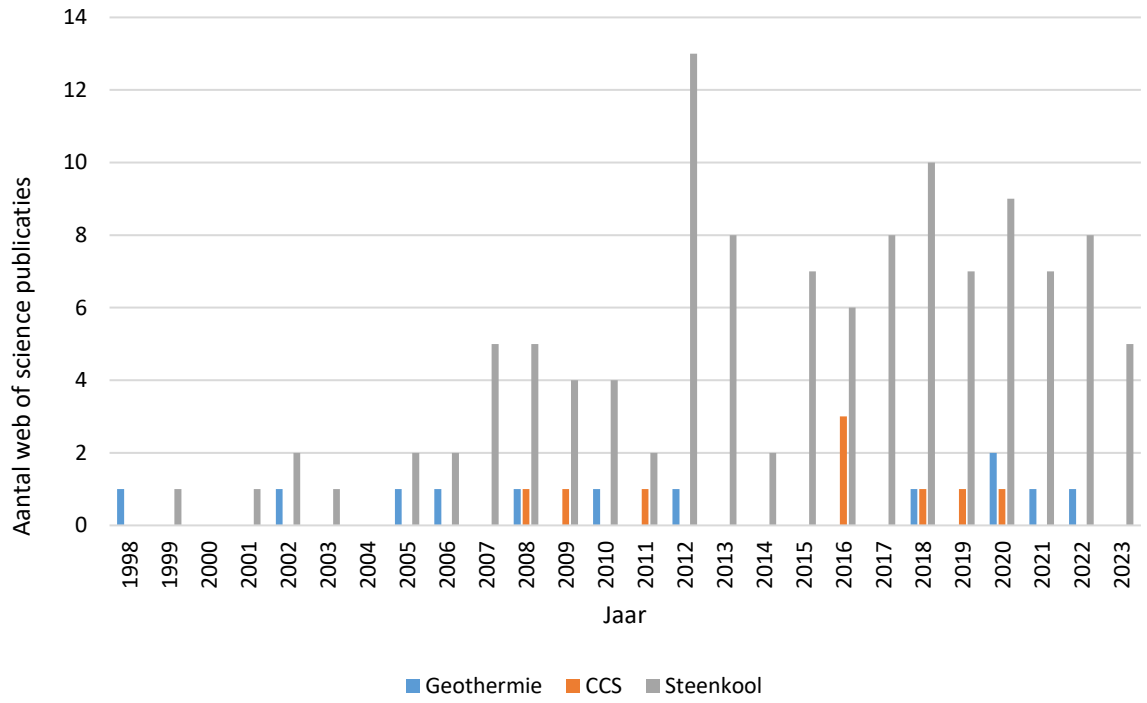


Figuur 10. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'environmental risk assessment'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

5.4 MILIEU-IMPACT ANALYSE

De milieu-impact analyse staat beter bekend als de milieueffectenrapportage (MER) en vloeit voort uit de Europese richtlijn 2011/92/EU (EU-MER-richtlijn)[31]. Doelstelling van deze richtlijn is het bevorderen van duurzame ontwikkeling en het beschermen van het milieu en de menselijke gezondheid zowel bij project-gerelateerde (projectMER) als bij strategische (planMER) besluitvorming. Een milieueffectrapportage beoogt de mogelijke gevolgen van plannen, programma's of projecten voor het leefmilieu en voor de gezondheid van de mens in beeld te brengen opdat deze op een gelijkwaardige wijze (als andere aspecten en belangen) zouden worden meegenomen bij de opmaak van én de besluitvorming over deze plannen, programma's of projecten [32].

Toepassing van milieu-impactanalyse in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond

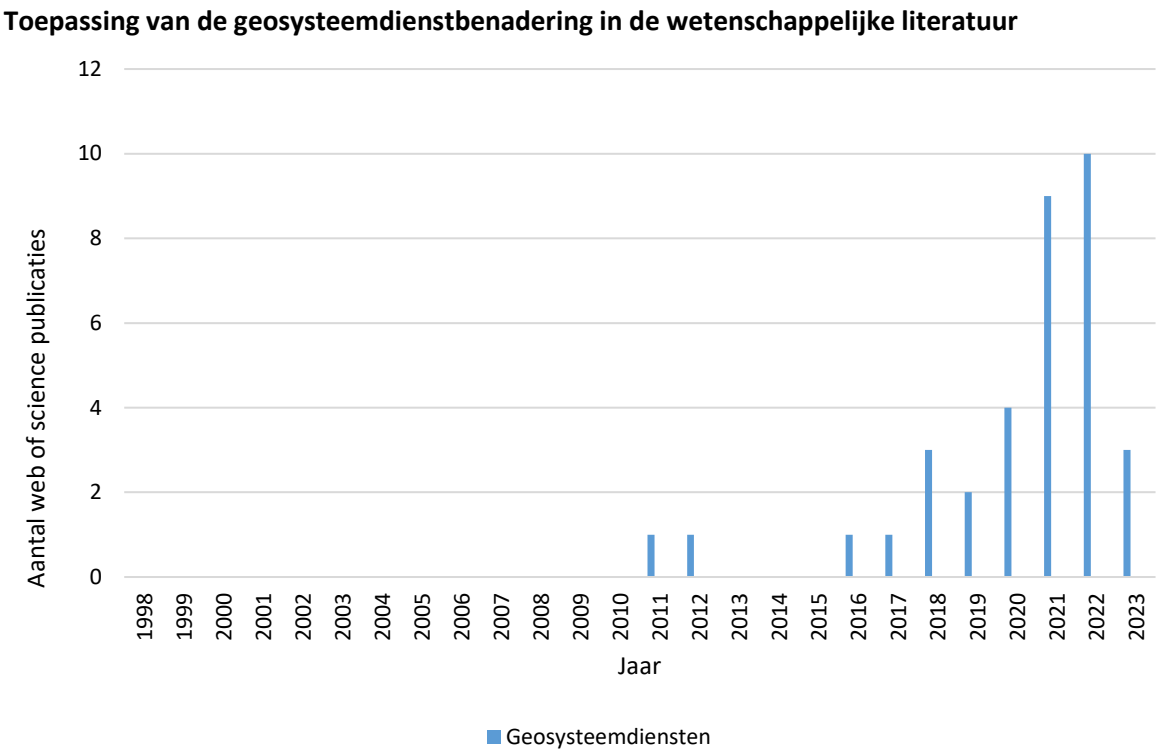


Figuur 11. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'environmental impact assessment'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

5.5 ECOSYSTEEMDIENSTEN BENADERING

De ecosysteemdiensten benadering is ontworpen met de bedoeling beter te begrijpen wat ecosystemen zijn, hun functies, hoe we als mens deze functies waarderen en hoe ze bijdragen aan het welzijn van de mens [30]. Er zijn verschillende raamwerken ontworpen om de links en interacties tussen ecosystemen, ecosysteemfuncties en welzijn te verhelderen [33, 34]. Ook onderzoekt de ecosysteemdiensten benadering oorzaak-gevolgrelaties. Er wordt dan uitgegaan van een menselijke activiteit of interventie die de biofysische structuur en processen van het ecosysteem verandert. Dit zal op zijn beurt veranderingen teweegbrengen in de functies van het ecosysteem en dus ook de diensten die door het ecosysteem geleverd worden. Daardoor zal een verandering in het ecosysteem ook impact hebben op het welzijn van de mens. Het eindpunt van een ecosysteemdienst benadering is de waarde van de ecosysteemdienst. Deze waarde bepaalt de mate waarin een specifieke ecosysteemdienst of meerdere diensten beschermd dienen te worden. Deze waarde kan uitgedrukt worden in zowel een monetaire als niet-monetaire termen.

Ook geologische hulpbronnen vormen onderdeel van ecosystemen, maar zijn vaak onderbelicht. Meer recent zijn er daarom voorstellen gedaan om, analoog aan ecosystemen, ook een evaluatiekader te creëren voor geosystemen en geosysteemdiensten om te begrijpen hoe waardevol deze diensten zijn voor het welzijn van de mens [35]. Huidig onderzoek belicht voorlopig vooral geologische systemen en geosysteemdiensten die bovengronds zichtbaar zijn. De waardering en bescherming van geodiversiteit wordt daarbij centraal gesteld [36]. Door de waarde van geosystemen inzichtelijk te maken, kan er verder onderzocht worden hoe de ondergrond op een duurzame manier te beheren [37].



Figuur 12. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topic 'geosystem services' aan bod komt. De query links zijn terug te vinden in appendix.

5.6 TOEPASSING VAN DE BESPROKEN METHODES IN KADER VAN DE OVERHEIDSOPDRACHT

Gegeven de expertise van de Belgisch Geologische Dienst en de UAntwerpen zal i het kader van deze opdracht de milieulevenscyclusanalyse toegepast worden. De afbakening van de analyse en de graad van detail hangen af van de beschikbaarheid van de nodige inputgegevens. Bedoeling is om een eerste idee van grootteorde te bekomen aangaande de milieu-impact (impact op CO_2-uitstoot) van de activiteiten die onderzocht worden. Voor activiteiten waarvan de milieu-impact niet gekwantificeerd kan worden, zal er een kwalitatieve beschrijving opgemaakt worden. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen korte en lange termijn impact, zowel op niveau van individuele activiteiten als de ontwikkeling van de ondergrond bij verschillende beleidsscenario's in het algemeen. De resultaten van de milieu-impactanalyse kunnen geraadpleegd worden in hoofdstuk 3 van deelrapport D7. De toepassing van de andere methodes maken geen deel uit van het vervolg van deze opdracht maar latere studies kunnen verder bouwen op de behaalde resultaten en bijkomende inzichten opleveren met betrekking tot de verwachte milieu-impact.

6 METHODES VOOR BEPALING SOCIALE IMPACT

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar methodes om de sociale dimensie van duurzaamheid te evalueren. Sociale impact wordt in de literatuur [38-42] breed begrepen en omvat effecten op:

- levensstandaard (economische en fiscale gevolgen,…) en manier van leven (wonen, werk, vrije tijd, sociale interacties, demografie, migratie, …);
- tastbare en niet-tastbare culturele elementen (cultureel erfgoed, gewoonten, taal, …) en normen en waarden;
- sociale cohesie, mensenrechten en gemeenschapsvoorzieningen
- (publieke) infrastructuur en toegang tot noodzakelijke grondstoffen;
- politieke en bestuurlijke systemen (toegang tot informatie, inclusiviteit van besluitvorming, …);
- gezondheid en welzijn (zowel fysiek als mentaal).

Het in kaart brengen van de mogelijke sociale impact van activiteiten in de diepe ondergrond is daarmee complex, maar daarom niet noodzakelijk complexer dan het geval is voor geologische, economische of milieu-impact. Wel is het bepalen van een directe link tussen bepaalde activiteiten en sociale effecten gekenmerkt door grote onzekerheid en bijzonder moeilijk te modeleren. Bovendien is er een zekere mate van verwevenheid, op zijn minst met economische, maar ook met milieu-impact. Dat blijkt duidelijk uit bovenstaande lijst van mogelijke sociale impactdomeinen, maar zagen we ook reeds in vorige hoofdstukken. Zowel bij de milieurisicoanalyse, als de milieu-impactanalyse wordt nadrukkelijk gekeken naar gezondheidseffecten voor de mens. Ook dat is een vorm van sociale impact. Binnen het denkkader van de ecosysteemdiensten wordt dan weer vaker de link gelegd met welzijn. Zoals in hoofdstuk 4 aangegeven, wordt de socio-economische impact meegenomen in de reële optie-analyse en ook uitdrukkelijk in de (maatschappelijke) kosten-batenanalyse. Bij die laatste gaat het dan wel uitdrukkelijk om impact die kan worden uitgedrukt in monetaire termen en waaraan zo eenduidig mogelijk een geldwaarde kan worden toegekend. Dat is echter niet altijd vanzelfsprekend. Aandacht voor maatschappelijke onzekerheid, alsook beleids- en impactonzekerheid bij reële optie analyse (ROA) kan net daarop inspelen, zij het dat ROA daarbij in hoofdzaak het procesmatige belicht: afhankelijkheid van wet- en regelgeving of beleidsbeslissingen in andere, beïnvloedende domeinen zoals fiscaliteit, publieke perceptie en steun (of gebrek eraan) van relevante actoren.

Ook in wat volgt, wordt stilgestaan bij deze twee insteken om sociale impact te benaderen:

- het peilen naar wezenlijke effecten (op gezondheid, inkomen en werkgelegenheid, huisvesting, welbevinden), en
- aandacht voor percepties en het waken over procesmatige aspecten (belevingsaspecten, organisatie van besluitvorming, …).

Sommige methodieken zetten meer in op de eerste benadering, andere dan weer meer op de tweede. Al dient benadrukt dat er tussen beide ook overlap en raakvlakken waar te nemen vallen.

Een ander onderscheid is een focus op de activiteit, het opgeleverde product, de organisatie verantwoordelijk voor de activiteit/productie, dan wel de betrokken gemeenschap. Wat die laatste betreft zien we een sterke nadruk op het lokale niveau (direct gelinkt aan de activiteit), vaak als potentieel contrasterend met een hoger algemeen belang, veelal gelinkt aan een institutioneel (regionaal of nationaal) beslissingsniveau. Occasioneel wordt getracht een nog breder, globaal perspectief te hanteren, wat vooral tot uiting komt bij sociale levenscyclusanalyse.

In dit hoofdstuk staan we stil bij de twee meest dominante modellen om sociale impact meetbaar te maken: social impact assessment (SIA) en social life cycle analysis (S-LCA). Daarnaast besteden we aandacht aan twee methoden die minder gericht zijn op het meten van sociale effecten, dan wel op het in kaart brengen van visies en percepties, en zo indicatief zijn voor het zogenaamde maatschappelijke draagvlak.

6.1 METHODEN GERICHT OP HET METEN VAN SOCIALE EFFECTEN

Binnen de methoden die zich toeleggen op het in kaart brengen en meetbaar maken van sociale effecten, onderscheiden we twee grote stromingen. Enerzijds deze die in hun analyse vertrekken vanuit de activiteit (bv. steenkoolontginning) en anderzijds deze die vertrekken vanuit het product (steenkool).

6.1.1 Social Impact Assessment (SIA)

Naar analogie met methoden voor environmental impact assesment, vertrekt dit type methodiek vanuit de activiteit. Onder deze noemer brengen we hier drie conceptuele benaderingen samen die sterk met elkaar verwant zijn, met name sociale impact analyse (*social impact analysis*), sociale impact beoordeling (*social impact assessment)* en maatschappelijke impact beoordeling (*societal impact assessment*). Uit de literatuur valt enige onderlinge nuance op maken, maar het betreft tot op zekere hoogte toch vooral een semantische discussie en we zien dat deze begrippen dan ook frequent door elkaar worden gebruikt.

Sociale impact beoordeling (*social impact* assessment) is de term die veruit het meest gehanteerd wordt. Specifiek toegepast op het gebruik van de ondergrond (steenkool, diepe geothermie of geologische opslag van CO_2) werden via Web of Science (Wos) voor de periode 1998 – 2024 slechts enkele publicaties gevonden met de zoekterm “social impact assessment”, één met de zoekterm “societal impact assessment”, maar niets voor “social impact analysis”. De database Science Direct (gelinkt aan Elsevier uitgeverij die naast journal articles ook bijdragen in encyclopedieën en boekhoofdstukken bevat), leverde een breder pallet op, zoals blijkt uit Tabel 1.

		Social Impact Assessment	Societal Impact Assessment	Social Impact Analysis
WoS	Coal	13	1	0
	Geothermal	3	0	0
	CCUS	2	0	0
Science Direct	Coal	225	4	24
	Geothermal	135	1	16
	CCUS	71	1	7

Tabel 1 Overzicht van aantal publicaties in Web of Science en Science Direct (tussen januari 1998 en december 2024) die handelen over Social Impact Assessment, Societal Impact Assessment of Social Impact Analysis in relatie tot activiteiten in de diepe ondergrond.

Omwille van de overduidelijke dominantie van de term social impact assessment (SIA) in de wetenschappelijke literatuur, leggen we de focus in dit rapport op deze specifieke benadering. Enerzijds kan SIA gezien worden als een overkoepelende term die duidt op het proces van “onderzoek, planning en beheer van sociale verandering of gevolgen (positieve en negatieve, bedoelde en onbedoelde) die voortvloeien uit beleid, plannen, ontwikkelingen en projecten” [43]. Een gangbare definitie voor SIA, van toepassing op alle drie hierboven vermelde varianten, is deze van Becker ([39]: 311): *“the process of identifying the future consequences of a current or proposed*

action which are related to individuals, organizations and social macro-systems". Aandacht voor impact op zowel individuen (micro niveau), organisaties en sociale netwerken – bv. lokale gemeenschappen – (meso niveau), als nationale en internationale sociale systemen (macro niveau), is essentieel om na te gaan hoe (maatschappelijke) kosten en baten verdeeld zijn over verschillende betrokken actoren en doorheen de tijd. Analyses op micro niveau handelen niet zozeer over specifieke individuen, dan wel over types individuen binnen de betrokken gemeenschap die op basis van bepaalde kenmerken (bv. in functie van socio-demografische of socio-economische factoren) mogelijks op een andere manier impact kunnen ondervinden dan anderen in hun omgeving. Op die manier wordt getracht de kwaliteit van de impact van een bepaalde activiteit of beleidsmaatregel op verschillende groepen in te schatten [44].

Anderzijds wordt de term ook gelinkt aan een specifieke methodologie, waarrond een community van onderzoekers en 'practitioners' werd opgebouwd: the SIA-Hub. Deze methodiek werd opgepikt en mee in de kijker gezet door andere organisaties, zoals de International Association for Impact Assessment (IAIA), het International Institute for Sustainable Development (IISD) (www.iisd.org) en het United Nations Environment Programme (UNEP) (bv.[45]). Ook de Inter American Development Bank (bv.[46] en de International Finance Corporation (IFC) (bv.[47]) publiceerden richtlijnen, principes en methodieken voor SIA- praktijken.

Sociale impact beoordeling wordt binnen deze school niet zozeer gezien als een instrument om een beslissing voor of tegen een specifiek plan of project te bewerkstelligen, maar wel om ervoor te zorgen dat plannen en projecten zich rekenschap geven van mogelijke sociale effecten en die trachten te beheersen, met een sterke nadruk op het optimaliseren van de situatie voor getroffen (lokale) gemeenschappen. Een belangrijke kanttekening die dient te worden gemaakt, is dat er telkens een wisselwerking is tussen een activiteit (boven- of ondergrondse infrastructuurwerken, bedrijfsactiviteit, …) en de samenleving. Beide kunnen elkaar op zeer uiteenlopende manieren beïnvloeden. Kvam (2018) stelt daarom uitdrukkelijk voor om zowel maatschappelijke risico's van het project, als risico's voor het project mee te nemen in een SIA bij de planning en implementatie van projecten.

Het in kaart brengen van de maatschappelijke context, met inbegrip van een analyse van de juridische context en van de betrokken actoren en hun onderlinge verhoudingen (stakeholder mapping), wordt doorgaans als eerste stap in een SIA-procedure geduid. Een degelijk begrip van het maatschappelijk systeem waarbinnen een nieuwe actie of activiteit wordt gepland is immers cruciaal voor het inschatten van mogelijke impact (Becker 2001). Over welke mogelijke impact en op welke manier te bekijken, bestaat nog weinig eensgezindheid in de literatuur, al lijkt een meerderheid van de auteurs doordrongen van de context-afhankelijkheid van beide, zowel in functie van de maatschappelijke context, als de aard van de geplande actie. Vele SIA-benaderingen incorporeren geïntegreerde methodes zoals beschreven in hoofdstuk 7 en met name de multicriteria-analyse (sectie 7.5) in hun aanpak. Naast het in kaart brengen en inschatten van mogelijke maatschappelijke voordelen en sociale risico's (bv. relatief kortstondige influx van grote aantallen tijdelijke arbeidskrachten in de constructiefase van een groot infrastructuurproject), wordt gewezen op de noodzaak van een toekomstanalyse, om rekening te houden met (voorspelbare) trends. Stakeholders betrekken bij het identificeren van mogelijke impact, gerelateerde indicatoren en toekomstscenario's, alsook bij de verdere analyse daarvan wordt ondertussen beschouwd als een integraal onderdeel van SIA. Dit om de bezorgdheden, percepties en waarden van alle betrokkenen mee in overweging te nemen [46, 48, 49]. Afhankelijk van de context kunnen daarvoor diverse methodieken worden ingezet. In sectie 6.2 gaan we op twee daarvan kort in bij wijze van voorbeeld.

6.1.2 Sociale levenscyclusanalyse (S-LCA)

Het grootste verschil in benadering tussen SIA (in zijn diverse varianten) en de sociale levenscyclusanalyse (S-LCA), is dat deze laatste niet vertrekt vanuit de activiteit, maar vanuit het product of geleverde dienst. S-LCA is dan ook een variant op de milieu levenscyclusanalyse (LCA), zoals besproken in sectie 5.1, met focus op sociale repercussies en implicaties [50, 51].

Naar analogie met het ISO 14040 raamwerk voor LCA, stelde het Life Cycle Initiative, onder auspiciën van het VN Milieuprogramma, richtlijnen op voor S-LCA. Dit gebeurde voor het eerst in 2009. De laatste editie dateert van 2020. Een S-LCA kan volgens deze conceptualisering als een op zichzelf staande tool gebruikt worden, of in combinatie met een LCA of levenscycluskostenberekening (LCC - zie sectie 4.2). Volgens de UNEP-richtlijnen, is een S-LCA een iteratieve methodologie die dezelfde vier fasen doorloopt als een LCA: (1) definitie van doel en reikwijdte, (2) sociale levenscyclusinventarisatie (*Social Life Cycle Inventory* – S-LCI), sociale levenscyclus impactbeoordeling (*Social Life Cycle Impact Assessment* – S-LCIA) en (4) interpretatie van de resultaten [52].

Als basis voor de inventarisatie en impactbeoordeling worden binnen een S-LCA impactcategorieën en subcategorieën gedefinieerd in functie van een aantal stakeholdercategorieën. In het UNEP-raamwerk zijn dat er vijf: werknemers, consumenten, de lokale gemeenschap, de samenleving en actoren binnen de waardeketen. Als belangrijkste regel wordt vooropgesteld dat alle relevante stakeholders dienen te worden meegenomen. Dit betekent dat naargelang de situatie ook bijkomende categorieën kunnen worden gedefinieerd, of de voorgestelde categorieën verder kunnen worden uitgesplitst. Relevantie wordt afgewogen op basis van drie criteria: impact, legitimiteit en verscheidenheid[1]. Voor elk van deze stakeholdergroepen worden mogelijke sociale impactcategorieën (zowel negatief als positief van aard) opgelijst en verder uitgesplitst in subcategorieën. Zo kan bijvoorbeeld voor werknemers 'rechtvaardige werkomstandigheden' een impactcategorie zijn, waaronder 'illegale tewerkstelling' en 'oneerlijke behandeling van seizoensarbeiders' mogelijke subcategorieën zijn (vrij naar: De Luca et al. 2015). Voor elk van deze subcategorieën worden vervolgens indicatoren opgesteld. In de UNEP-richtlijnen worden enkele basis impactcategorieën (en subcategorieën) aangereikt als niet-exhaustief voorbeeld, zoals: mensenrechten, werkomstandigheden, cultureel erfgoed, governance en socio-economische gevolgen. Indicatoren kunnen kwantitatief, semi-kwantitatief of kwalitatief zijn (UNEP, 2020).

Voor het bepalen van de mogelijke sociale impact wordt vaak een sociale risico-analyse (het inschatten van de probabiliteit van negatieve sociale effecten op stakeholders van de geplande activiteit) als methodiek gehanteerd. Vervolgens worden op die basis de sociale voetafdruk van die activiteit bepaald, alsook "*social hotspots"* (fysieke locaties of specifieke activiteiten binnen de levenscyclus waar de kans het grootst is dat een sociale impact zich voordoet) en de *"social handprint"* (mogelijkheden om een positieve verandering te creëren op maatschappelijk vlak). Die laatste is vooral aan de orde wanneer S-LCA gebruikt wordt voor het inschatten van de impact van een organisatie en mogelijke veranderingen qua beleid in het kader van maatschappelijk verantwoord ondernemen (UNEP, 2020).
Eens de data-inventarisatie is gebeurd, kan geopteerd worden voor twee verschillende methodieken om impact te beoordelen (UNEP, 2020):

- De "*Impact Pathway Approach"* legt de nadruk op de gevolgen van een product- of dienstensysteem en beoogt de mogelijke sociale impact te bepalen op basis van causale of

[1] De UNEP richtlijn spreekt van *"completeness"*, maar definieert dit als *"including stakeholders with different social representations and attributes"* (UNEP, 2020: 51). Daar ook erkend wordt dat weinig studies erin slagen exhaustief alle mogelijke stakeholders in rekening te nemen of te betrekken, verkiezen wij de term verscheidenheid.

op correlatie gebaseerde relaties tussen de activiteit en de mogelijke impact. Vergelijkbaar met een E-LCA, richt de analyse zich op zowel korte- als lange-termijn gevolgen.

- De "*Reference Scale Approach"* tracht de sociale prestaties van een product- of dienstensysteem in te schatten. Het beoordeelt de sociale prestaties van activiteiten van organisaties in het systeem op basis van specifieke referentiepunten van verwachte activiteit. Deze methode is meer gericht op korte termijn veranderingstrajecten binnen een organisatie. De referentieschaalbenadering legt immers zelden verband tussen de activiteit en de effecten op langere termijn. Wel wordt op basis van beschikbare informatie een schatting gemaakt van de waarschijnlijke omvang en betekenis van potentiële sociale effecten verderop in de keten.

Bepalend voor de kwaliteit van een S-LCA, zijn de criteria die voorop worden gesteld voor de selectie van mogelijk getroffen actoren, van mogelijke impactcategorieën en van de onderlinge relevantie en prioritering van subcategorieën. Omdat afbakening onvermijdelijk is, maar daarbij een bias tegenover specifieke belangen dient te vermijden, stelt de UNEP-richtlijnen voorop om maatschappelijk belang (*social significance*) te laten primeren boven de beschikbaarheid van middelen en data (*available resources*) bij het bepalen van cut-off points en de grenzen van het bestudeerde systeem (UNEP, 2020: 48-49). Om diezelfde reden wordt aanbevolen niet enkel experts te betrekken bij de definitie van het doel en de reikwijdte van de S-LCA.

Net als bij de SIA, wordt ook voor de S-LCA een participatieve aanpak vooropgesteld doorheen het proces: met het oog op het identificeren van relevante stakeholdergoepen, impactcategorieën en indicatoren, maar ook bij het afwegen van het relatieve belang van verschillende impact-(sub)categorieën. In de UNEP-richtlijn wordt het werken met focusgroepen als goede praktijk voorgesteld.

Onderstaande Tabel 2 geeft een overzicht van wetenschappelijke publicaties waarin S-LCA wordt toegepast op activiteiten in de diepe ondergrond. Opnieuw is de oogst in WoS nog vrij beperkt en van recente datum (2014 als vroegste publicatiedatum). De Science Direct catalogus telt een breder spectrum, maar hiertussen valt vooral ook een groot aandeel reviewpapers (ongeveer 20% voor de drie types activiteiten). Goed de helft van de S-LCA papers over steenkoolontginning en geothermie zijn onderzoeksartikels; voor CCUS is dat 30%. Publicaties over S-LCA in relatie tot steenkoolontginning en geothermie zijn er sinds 2012. Voor geothermie zien we een gestage toename in hun aantal sinds 2016 en een sterke stijging (17 publicaties) in 2024. Voor steenkoolontginning valt een sterke toename op vanaf 2018, met jaarlijks 9 tot 20 publicaties. De eerste publicaties over S-LCA voor CCUS verschenen in 2014, hun aantal steeg gestaag sinds 2017, met een boom in 2024 (17 publicaties).

		Social Life Cycle Assessment	Social Life Cycle Analysis
WoS	Coal	6	0
	Geothermal	2	0
	CCUS	1	0
Science Direct	Coal	114	7
	Geothermal	60	7
	CCUS	56	5

Tabel 2 Overzicht van aantal publicaties in Web of Science en Science Direct (tussen januari 1998 en december 2024) die handelen over Social Cycle Assessment en de minder gebruikelijke variant Social Life Cycle Analysis in relatie tot activiteiten in de diepe ondergrond.

6.2 METHODEN GERICHT OP HET IN KAART BRENGEN VAN VISIES EN PERCEPTIES

In deze sectie bespreken we kort twee specifieke methodieken gericht op het in kaart brengen van visies en percepties. Dit om een indicatie te geven van wat op dat gebied mogelijk is.

6.2.1 Q-methodologie als voorbeeld van een surveytechniek

De Q-methodologie krijgt meer en meer aandacht van wetenschappers als een benadering om percepties van belanghebbenden in complexe besluitvormingsproblemen te onderzoeken. De Q-methodiek is een semi-kwantitatieve methode die in de jaren dertig door William Stephenson is ontwikkeld om menselijke subjectiviteit te bestuderen [53]. De Q-methodiek brengt op een gestructureerde en systematische manier patronen aan het licht omtrent de individuele percepties van de studiedeelnemers wat betreft een bepaald besluitvormingsprobleem [54, 55]. Gegevens over de perceptie van een persoon worden verzameld door middel van een sorteeroefening, ook wel de Q-sort genoemd. De onderzoekers lijsten een reeks stellingen op die deelnemers tijdens een interview moeten sorteren op een normaalverdeling, gespreid van grotendeels oneens tot grotendeels eens, of van meestal onbelangrijk tot meestal belangrijk. Vervolgens wordt een factoranalyse uitgevoerd om te bepalen welke individuele Q-sorts gecorreleerd zijn. De factoranalyse resulteert in een niet vooraf gedefinieerd getal van factoren of perceptiegroepen, bestaande uit deelnemers die de stellingen op een vergelijkbare manier sorteerden en die een vergelijkbare perceptie hebben over het onderwerp. Een Q-methodologie wordt uitgevoerd in vijf stappen: (1) de oplijsting van de stellingen (Q-set), (2) de selectie van de deelnemers (P-set), (3) de Q sorteeroefening (interviews), (4) de factoranalyse, (5) en de interpretatie van geëxtraheerde factoren (perceptiegroepen). De kracht van de Q-methodiek als methode ligt in de statistische nauwkeurigheid van de kwantitatieve gegevens van de Q-sorts en factoranalyse, terwijl er ook bijkomende kwalitatieve gegevens verzameld worden door deelnemers aanvullende vragen te stellen tijdens de Q-sorteeroefening [56, 57].

In de wetenschappelijke literatuur (onderzoeksartikels) voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond vonden we enkele toepassingen terug van de Q-methodologie, zoals blijkt uit Tabel 3.

		Research Article	Review Article	Publication range
WoS	Coal	0	0	-
	Geothermal	1	0	2024
	CCUS	3	0	2013, 2015, 2023
Science Direct	Coal	17	3	2007 - 2024
	Geothermal	8	2	2019 - 2024
	CCUS	12	2	2008 - 2024

Tabel 3 Overzicht van aantal publicaties in Web of Science en Science Direct die handelen over de toepassing van de Q-methodologie in relatie tot activiteiten in de diepe ondergrond.

6.2.2 Living labs als voorbeeld van een pluralistische evaluatievorm

Hoewel het eerder om een geïntegreerde methode gaat, bespreken we de living labs omwille van hun participatieve aanpak onder deze rubriek. Living labs beogen onderzoek, innovatie en maatschappelijke verandering samen te doen sporen, met het oog op duurzaamheidstransities. Ze zijn vandaag in trek in het kader van onder meer energievoorziening, ruimtelijke planning, mobiliteit, voedsel- en landbouwbeleid en circulaire economie. In Vlaanderen zet het Instituut voor Landbouw en Visserij (ILVO) sterk in op deze methodiek[2] en ook het Vlaams Agentschap Innoveren en Ondernemen (VLAIO) voorzag de laatste jaren in specifieke subsidies voor projecten gestoeld op het principe van de Living Labs[3].

Het *European Network of Living Labs* (ENoLL) fungeert sinds November 2006 als koepelorganisatie om de methodiek in Europa, maar ook daarbuiten, verder uit te rollen en uit te bouwen, onder meer door het toekennen van een kwaliteitslabel. Het ENoLL definieert Living labs als: *"open innovation ecosystems in real-life environments based on a systematic user co-creation approach that integrates research and innovation activities in communities and/or multi-stakeholder environments, placing citizens and/or end-users at the centre of the innovation process"*[4].

Living labs kennen vele verschijningsvormen en komen zowel in fysieke als virtuele vorm voor, maar daarbij wordt telkens wel de reële (real-life) omgeving als uitgangspunt genomen (bv. een landbouwbedrijf, woningcoöperatie, gemeente, …). Het zijn 'ecosystemen' voor publiek-private partnerschappen waar diverse stakeholders (onderzoekers, dienstverleners, relevante institutionele actoren, technologieleveranciers, professionele of private eindgebruikers, …) elkaar ontmoeten voor co-creatie. Het doel is het creëren van prototypes, het valideren en testen van nieuwe technologieën of producten, maar ook diensten en organisatievormen (ILVO; [58].

Het betrekken van "gebruikers" is een cruciaal element in de Living labs aanpak en slaat zowel op directe gebruikers zoals consumenten of afnemers in een business-to-business context, als op individuen en publieke of private entiteiten die op diverse manieren baat kunnen hebben bij het resultaat [59, 60]. Fundamenteel is het betrekken van gebruikers met uiteenlopende kennis en ervaring [61].

Naast een actieve betrokkenheid van diverse stakeholders, zet de Living labs aanpak ook in op een multi-methode benadering door tools uit verschillende wetenschappelijke disciplines te combineren in het co-creatie proces. Zo kunnen binnen de context van een Living lab menselijk gedrag en

[2] https://ilvo.vlaanderen.be/nl/living-labs#living-labs
[3] https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/living-labs-circulaire-economie
[4] https://enoll.org/living-labs/

interacties gemeten worden, maar evenzeer een brede waaier aan gebruikersnoden geregistreerd en hun reactie op en interactie met nieuwe producten en diensten geobserveerd [62]. Living labs kunnen zowel ontwerp-gestuurd, als gebruiker-gestuurd worden opgezet en steunen op onder meer gedragsgegevens, etnografisch onderzoek, vragenlijsten, focusgroepen en observaties om technologieën te valideren en producten en diensten te ontwikkelen volgens de behoeften van gebruikers (Hossein et al., 2019).

Living labs lijken voorlopig nog niet op even grote schaal ingezet in relatie tot activiteiten in de diepe ondergrond, als het geval is voor bovengrondse activiteiten. Toch niet op basis van wat we terugvonden in de wetenschappelijke literatuur (onderzoeksartikels) voor de evaluatie. Enkel via Science Direct vonden we een aantal publicaties terug naar waarin Living Labs als methodologie vermeld wordt in relatie tot activiteiten in de diepe ondergrond, zoals blijkt uit Tabel 4. In het kader van CCUS verschenen een 10-tal onderzoeksartikels met verwijzing naar Living Labs, al was dat in het merendeel van de gevallen niet als gehanteerde methodologie voor het onderzoek, maar wel als mogelijk zinvolle methodiek, of in verwijzing naar uitkomsten van elders ingezette Living Labs. Voor wat betreft steenkoolontginning diende de zoekopdracht te worden verfijnd tot “coal mining”, wat 5 onderzoeksartikels opleverde van recente datum waarin Living Labs werden toegepast in het kader van energietransitie ambities. Geothermie leverde de meeste resultaten op van Living Labs die in dit verband werden ingezet.

		Research Article	Review Article	Publication range
WoS	Coal	0	0	-
	Geothermal	0	0	-
	CCUS	0	0	-
Science Direct	Coal Mining	5	2	2018 - 2024
	Geothermal	28	8	2011 - 2024
	CCUS	10	6	2015 - 2024

Tabel 4 Overzicht van aantal publicaties in Web of Science en Science Direct waarin Living Labs als methodologie vermeld worden in relatie tot activiteiten in de diepe ondergrond.

6.3 TOEPASSING VAN DE BESPROKEN METHODES IN KADER VAN DE OVERHEIDSOPDRACHT

Het uitvoeren van een SIA is een tijdsintensief proces. Naargelang de omvang van de beoogde activiteit en de graad van betrokkenheid van stakeholders, wordt dit op 1 tot 3 jaar geschat, zowel in de literatuur (bv. Becker, 2001) als in online gepubliceerde *guidance documents* (bv. Impact Assessment Agency of Canada; Projectworks). Ook het uitvoeren van een S-LCA is tijdsintensief en vraagt bovendien een specifieke expertise van de onderzoekers, een goed zicht op mogelijke oorzakelijke verbanden en de beschikbaarheid van specifieke data. Een generieke toepassing van SIA of S-LCA is daarom minder aangewezen. Een participatieve benadering, zoals het opzetten van een Living lab vraagt eveneens een grote inzet van alle betrokken actoren. Bovendien past een dergelijke aanpak niet binnen een loutere onderzoeksopdracht. Binnen het kader van deze opdracht was het dan ook niet mogelijk zulke doorgedreven analyses door te voeren. De Q-methode lijkt ons een zinvolle methodiek bij het opmaken van de Structuurvisie Diepe Ondergrond of in het kader van een periodieke herziening, waarbij de inzichten gebundeld in het eindrapport van deze studie als basis kunnen dienen voor het opmaken van relevante stellingen.

Wat wel uitdrukkelijk werd meegenomen in deze studie is de filosofie om rekenschap te geven aan de sociale context. Dit kwam tot uiting in het opmaken van een stakeholder mapping (zie deelrapport D2), een essentiële stap bij elke methode voor sociale impact meting, en in de participatieve aanpak bij het bepalen van een PC&I raamwerk voor het duurzaam beheer van de ondergrond (zie deelrapport D3). Hiervoor werd gebruik gemaakt van een Delphi-bevraging, waarbij in twee ronden nationale en internationale experten naar hun mening gevraagd werd omtrent voorgestelde principes, deze aan te vullen of te wijzigen en om daarbij relevante criteria en indicatoren te benoemen. Vervolgens werden deze vertaald naar de Vlaamse context middels een workshop met stakeholders. Enkele indicatoren, gerelateerd aan twee weerhouden principes (Principe 2 - Efficiënte allocatie en Principe 3 - Rechtvaardige verdeling) werden tot slot als voorbeeld meegenomen in een vereenvoudigd model om mogelijke sociale impact voor de gekozen beleidsscenario's te bepalen (zie hoofdstuk 4 van deelrapport D7).

7 GEÏNTEGREERDE METHODES VOOR IMPACTBEPALING

Hoofdstuk 7 bespreekt hoe methodes en resultaten geïntegreerd kunnen worden om verschillende dimensies van duurzaamheid gelijktijdig te beoordelen. Hier wordt een overzicht gegeven van veelgebruikte methodes in de wetenschappelijke literatuur. Per methode wordt een beperkte opzoeking in de Web of Science (WoS) databank gedaan om te bekijken in welke mate dat methode gecombineerd wordt met de onderwerpen 'diepe geothermie', 'opslag van CO_2' en 'steenkool'. Deze figuren geven een eerste beeld van de mate waarin de methode toegepast wordt. Daarbij valt het op dat 'steenkool' vaak aan bod komt in de gevonden publicaties. Opmerking hierbij is dat in deze gevallen de evaluaties veelal gaan om evaluaties van andere technologieën dan steenkoolwinning maar waarbij steenkool als referentie gebruikt wordt. Een meer uitgebreide literatuurstudie zou nuttig zijn om inzicht te geven in de toepassing van de methode en de bijhorende resultaten, maar valt buiten de scope van deze opdracht.

7.1 RAAMWERK VAN PRINCIPES, RANDVOORWAARDEN EN INDICATOREN

Duurzame ontwikkeling en de definitie van indicatoren om de vooruitgang op weg naar duurzaamheid te beoordelen zijn prioriteit geworden in wetenschappelijk onderzoek en op beleidsagenda's. Duurzaamheidsbeoordelingen zijn hulpmiddelen om beleidsmakers te helpen beslissen welke acties ze moeten ondernemen (of niet) om de samenleving duurzamer te maken. Om te voorkomen dat duurzaamheid wordt gereduceerd tot een afweging van afzonderlijke milieu, sociale en economische factoren en om te voorkomen dat er factoren worden weggelaten, zou men een op principes gebaseerde benadering van duurzaamheidsbeoordelingen moeten hanteren. Verder zouden duurzaamheidsbeoordelingen zich niet moeten richten op het minimaliseren van negatieve effecten, maar op het definiëren van de duurzaamheidsvoorwaarden waaraan een project moet voldoen [63]. Van Cauwenbergh et al. [64] stellen daarom een consistent en uitgebreid raamwerk voor van principes, criteria en indicatoren (PC&I) voor de beoordeling van de duurzaamheid. Zij hebben dit kader uitgewerkt voor landbouwsystemen omwille van het multifunctionele karakter. Dit raamwerk kan toegepast worden op verschillende niveaus: het perceelsniveau, het bedrijfsniveau en een hoger ruimtelijk niveau dat het landschap, de regio of de staat kan zijn. Principes zijn de fundamentele regels waaraan moet worden voldaan om als duurzaam te worden beschouwd. Principes worden geformuleerd als een gebod. Op die manier definiëren de principes duurzaamheid. Elk principe kan meerdere criteria bevatten. Deze criteria zijn de voorwaarden waaraan voldaan moet worden om te voldoen aan het principe waarmee ze verbonden zijn. De criteria worden geformuleerd om een oordeel mogelijk te maken. Elk criterium kan meerdere indicatoren bevatten. Indicatoren zijn de meetbare variabelen die het mogelijk maken om te beoordelen of al dan niet aan een bepaald criterium of randvoorwaarde wordt voldaan. Indicatoren kunnen kwantitatief, kwalitatief, continu of discreet zijn. Over het algemeen gaat de definitie van indicatoren gepaard met de definitie van een norm/drempel die een grens stelt tussen naleving en niet-naleving van een criterium, en de definitie van een methode, tool of instrument dat wordt gebruikt om de indicator te meten. Het analytische kader is niet bedoeld om een gemeenschappelijke oplossing te vinden voor duurzaamheid als geheel, maar om te dienen als een beoordelingsinstrument voor de identificatie, ontwikkeling en evaluatie van productiesystemen, technieken, en beleid. Een dergelijk raamwerk is breed toepasbaar. Het werd toegepast voor de beoordeling van biodiesel [65, 66] en kan ook toegepast worden om een evaluatieraamwerk te

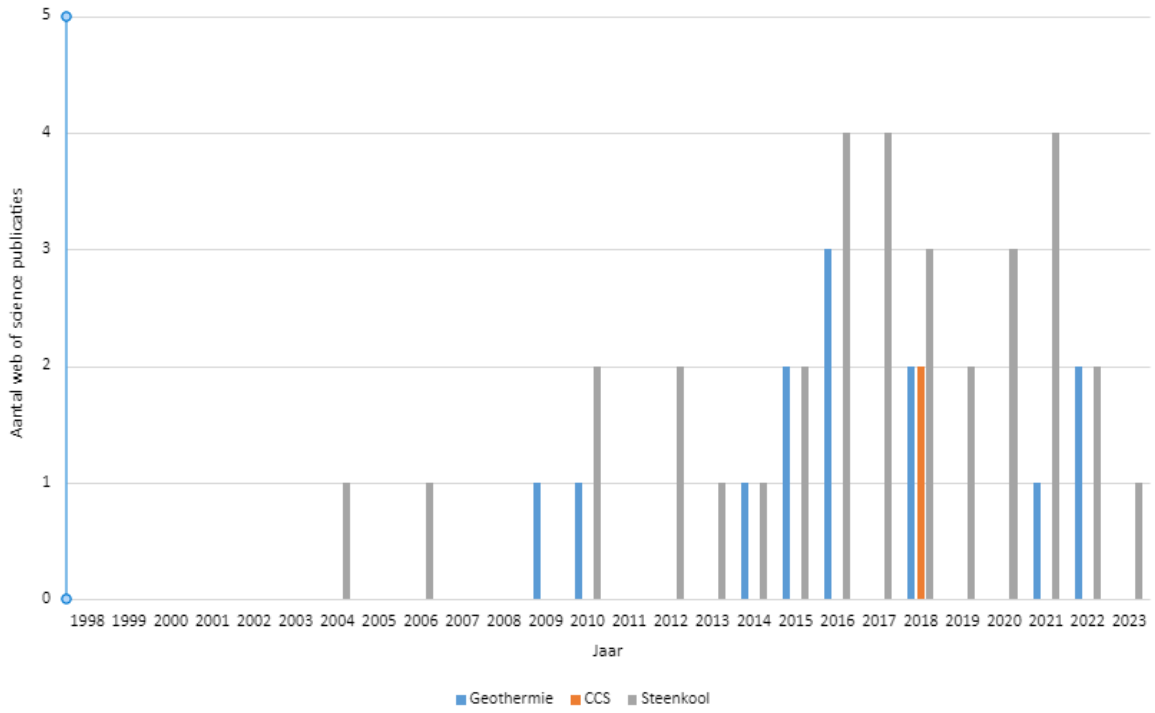
creëren voor toepassingen in de diepe ondergrond, zowel op niveau van de toepassing, als op niveau van een geologisch volume, of op niveau van een regio [37].

Bestaande indicatorenraamwerken, ontwikkeld om de duurzaamheid van het gebruik van geologische hulpbronnen te beoordelen, richten zich eerder op de technologie die wordt toegepast en niet op de hulpbron zelf. Met betrekking tot de winning van geothermische energie hebben Shortall et al. [67] 10 duurzaamheidsdoelen gedefinieerd en 20 kern- en 18 optionele duurzaamheidsindicatoren vastgesteld om de duurzaamheid te meten en te controleren. Terwijl hydrogeologische indicatoren de meerderheid van de milieu-indicatoren vormen bij het meten van de duurzaamheid van grondwatergebruik en -beheer [68] bevat het beoordelingskader voorgesteld door Shortall et al. [67] geen (hydro)geologische indicatoren. Negen van de 10 duurzaamheidsdoelen hebben betrekking op economische, bovengrondse milieu- en sociale aspecten. Alleen het doel 'hernieuwbaarheid' richt zich op de geologische bron zelf, wat te beperkend lijkt voor de bescherming van deze bron.

Duurzaamheidsbeoordelingen van CO_2-afvang en -opslag [69] en bio-energieproductie met CO_2-afvang en -opslag [70] hebben eveneens de neiging om hydrogeologische indicatoren in de evaluatie te verwaarlozen. Een recente duurzaamheidsbeoordeling voor de selectie van een ondergrondse waterstofopslaglocatie bevat wel 'technische' (hydro)geologische criteria [71]. Deze criteria worden echter alleen gebruikt om de technische 'haalbaarheid' van de locatie voor de opslag van waterstof te beoordelen. De (hydro)geologische criteria zijn niet gedefinieerd om de 'duurzaamheidseffecten' te beoordelen. Voor het beheer van grondwaterbronnen zijn duurzaamheidsindicatoren goed ontwikkeld, getest en geëvalueerd, maar indicatoren om de ondergrond als geheel duurzaam te beheren, rekening houdend met het multifunctionele gebruik ervan en die verder reiken dan de levensduur van een enkele activiteit, ontbreken.

Een op principes gebaseerd indicatorenkader voor het duurzame beheer van de ondergrond kan informatie verschaffen over de toestand van de geologische hulpbron en de bijbehorende milieu- en sociaaleconomische processen, helpen om beleidsplannen en -acties te evalueren, trends in het functioneren van het systeem zichtbaar te maken of scenario's voor het beheer van de ondergrond te beoordelen om beter te begrijpen hoe goed elk alternatief naar een gewenste toestand toewerkt. Uitgaande van de lessen die zijn getrokken uit de ontwikkeling van indicatorenkaders voor grondwaterbeheer [72] zullen de belangrijkste uitdagingen bestaan uit (i) standaardisatie van de duurzaamheidsprincipes, (ii) het identificeren van noemers die in zoveel mogelijk gevallen gemeenschappelijk zijn om vergelijkingen mogelijk te maken, (iii) het in aanmerking nemen van verschillen in lokale, regionale en mondiale schaal, en (iv) het bepalen van welke indicatorwaarde het beste of als meest duurzaam beschouwd zou kunnen worden (de streefwaarde).

Toepassing van indicatorenraamwerken in de wetenschappelijke literatuur voor de duurzaamheidsevaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond



Figuur 13. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'social indicator'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

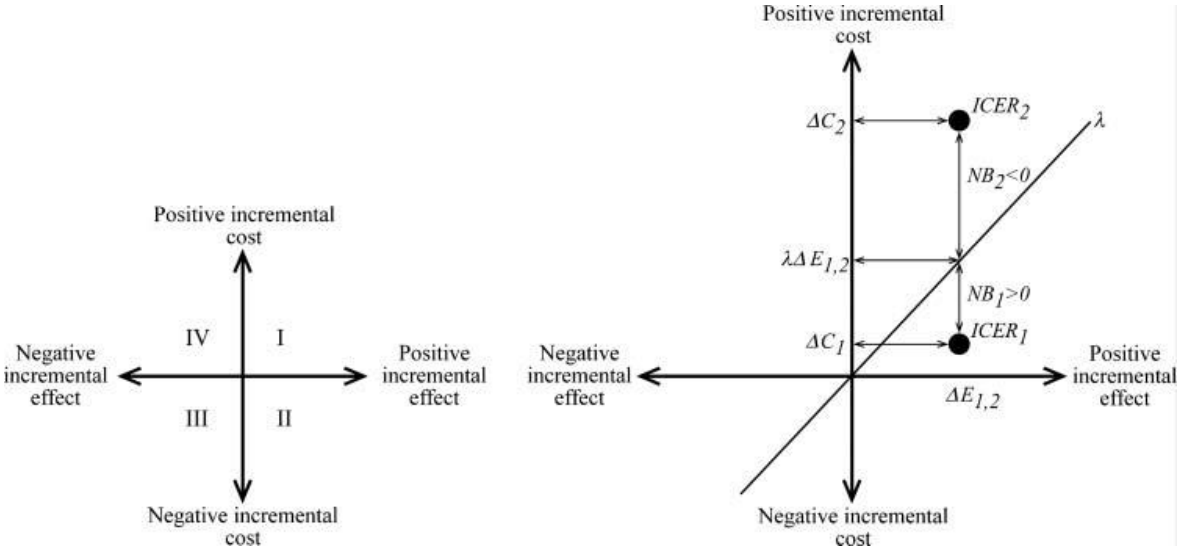
7.2 KOSTENEFFECTIVITEITSANALYSE

Een kosteneffectiviteitsanalyse is een methode waarbij kosten en effecten verbonden aan de implementatie van een bepaalde activiteit of een bepaald project afgewogen kunnen worden. Zo kunnen bijvoorbeeld de uitkomsten van een TEA gecombineerd worden met de uitkomst van een LCA om trade-offs te analyseren tussen de verwachte economische netto-opbrengsten en de verwachte milieu-impact voor verschillende technologieën of implementatiescenario's.

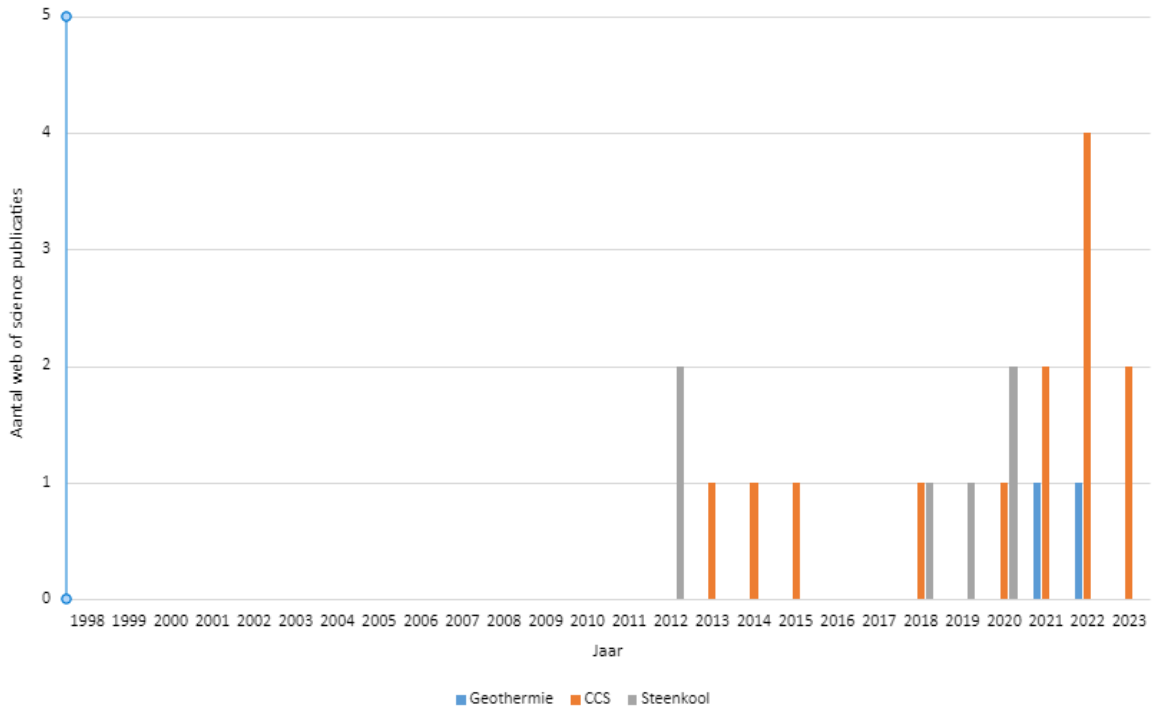
Er worden twee methodes onderscheiden: de gemiddelde kosteneffectiviteitsratio (GKER) en de incrementele kosteneffectiviteitsratio (IKER) (Hoch en Dewa 2008). De GKER bepaalt de gemiddelde kosten per effect (K/E). Omdat de effecten niet in monetaire termen worden uitgedrukt, zijn er twee verschillende indicatoren betrokken bij de berekening. Terwijl de kosten van elke techniek worden gemeten in monetaire waarden, wordt het effect gemeten in een fysische eenheid, bijvoorbeeld een bepaalde milieu-impact. De berekende GKERs kunnen dan worden gerangschikt, wat een basis vormt voor het kiezen tussen bijvoorbeeld verschillende technieken.

De IKER bepaalt de verhouding tussen het verschil in kosten en het verschil in impact van een technologie/scenario ten opzichte van een referentietechnologie/scenario. De IKER wordt berekend als $\Delta K/\Delta E$. Een kosteneffectiviteitsvlak zoals weergegeven in Figuur 14 kan opgesteld worden om te illustreren hoe beslissingen kunnen worden gerelateerd aan incrementele kosten en effecten. De vier kwadranten vertegenwoordigen de relatie tussen de incrementele kosten en het effect van elke technologie/scenario vergeleken met de referentietechnologie/scenario. De horizontale as weerspiegelt het bijkomende effect. Een positief bijkomend effect bekent een milieuverbetering ten

opzichte van het referentiescenario. Een negatief bijkomend effect betekent een verslechtering van de milieukwaliteit. De verticale as weerspiegelt de bijkomende kosten in vergelijking met het referentiescenario. Een positieve (negatieve) bijkomende kost betekent dat het onderzochte alternatief duurder (goedkoper) is dan de referentie. In het geval dat de technologie/scenario zich bevindt in kwadrant II of IV, is er geen trade-off tussen kosten en impact en zal er beslist worden om respectievelijk de alternatieve of referentietechniek toe te passen. Indien de technologie/scenario zich situeert in kwadrant I of III, is het nemen van een beslissing minder eenvoudig. Een stijging van de kosten moet worden gecompenseerd door een toename van het effect (kwadrant I) of een afname van het effect moet worden gecompenseerd door een afname in kosten (kwadrant III). Om dit evenwicht te vinden, moet een geldwaarde (λ) worden toegevoegd aan het incrementele effect. Deze waarde vertegenwoordigt de maximale prijs die de maatschappij bereid is te betalen voor een extra impact. Als de monetaire waarde van een extra impact groter is dan de extra kost bij toepassing van de technologie/scenario, dan zal die technologie of dat scenario de voorkeur genieten ten opzichte van de referentie. Als λ bekend is, wordt de economische analyse een kosten-batenanalyse genoemd in plaats van een kosteneffectiviteitsanalyse. De nettobaat is gelijk aan λ E - C.



Figuur 14. Illustratie van een kosteneffectiviteitsveld



Figuur 15. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'LCA' en 'TEA'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

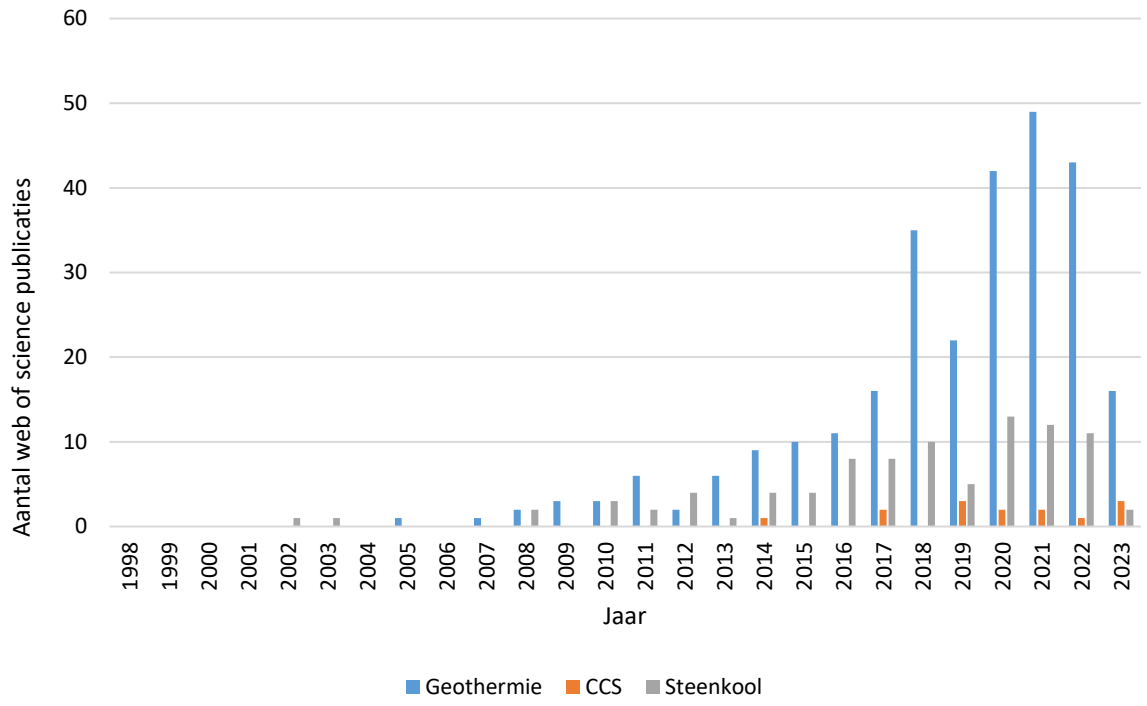
7.3 EXERGO-ECONOMISCHE ANALYSE

Exergo-economische evaluaties, ook wel thermo-economische evaluaties genoemd, worden ontwikkeld omdat thermische modelleringen alleen geen universeel criterium bieden voor het beoordelen en optimaliseren van een energiesysteem, aangezien deze laatste geen rekening houden met de bijbehorende kosten van energie- en exergie-uitwisselingen binnen een voorgesteld energiesysteem. Exergo-economische evaluaties zijn ontwikkeld vanuit het idee dat de meest rationele basis voor het toewijzen van kosten van de materiaal- en energiestroom binnen een energiesysteem exergieën zijn die via deze stromen worden overgedragen. Aangezien deze methodologie voortkomt uit een combinatie van exergie- en economische analyses, wordt deze exergo-economische evaluatie genoemd. Voor elk gegeven energiesysteem is het mogelijk om een product van het systeem te definiëren in termen van exergie. Daarom wordt een exergo-economische evaluatie gebruikt om de productkosten van elk energiesysteem te schatten per eenheid van exergie van het gegenereerde product en maakt deze evaluatie het mogelijk om de productkosten van de activiteit te minimaliseren (exergo-economische doelstelling). Het doel van elke exergo-economische optimalisatie is het minimaliseren van de productkosten van een energiesysteem terwijl dit product zelf constant is. Een exergo-economische analyse kan worden uitgevoerd voor het gehele energiesysteem of op het niveau van subcomponenten van het energiesysteem om het kostenpercentage van overgedragen exergie binnen het hele systeem te vinden. Bovendien neemt een exergo-economische evaluatie de bijbehorende kosten van de thermodynamische inefficiënties op in de totale productkosten van een energiesysteem. Het is

daarbij ook mogelijk om de kosten van thermodynamische inefficiënties (exergievernietiging en -verlies) te bepalen voor het hele systeem of op het niveau van de component [73].

Een exergo-economische analyse bestaat uit vier stappen: (1) Exergetische analyse; (2) Economische analyse; (3) Exergo-economische analyse, die bestaat uit exergetische kostentoerekening en exergo-economische kostenbalansering; en (4) Exergo-economische beoordeling [73].

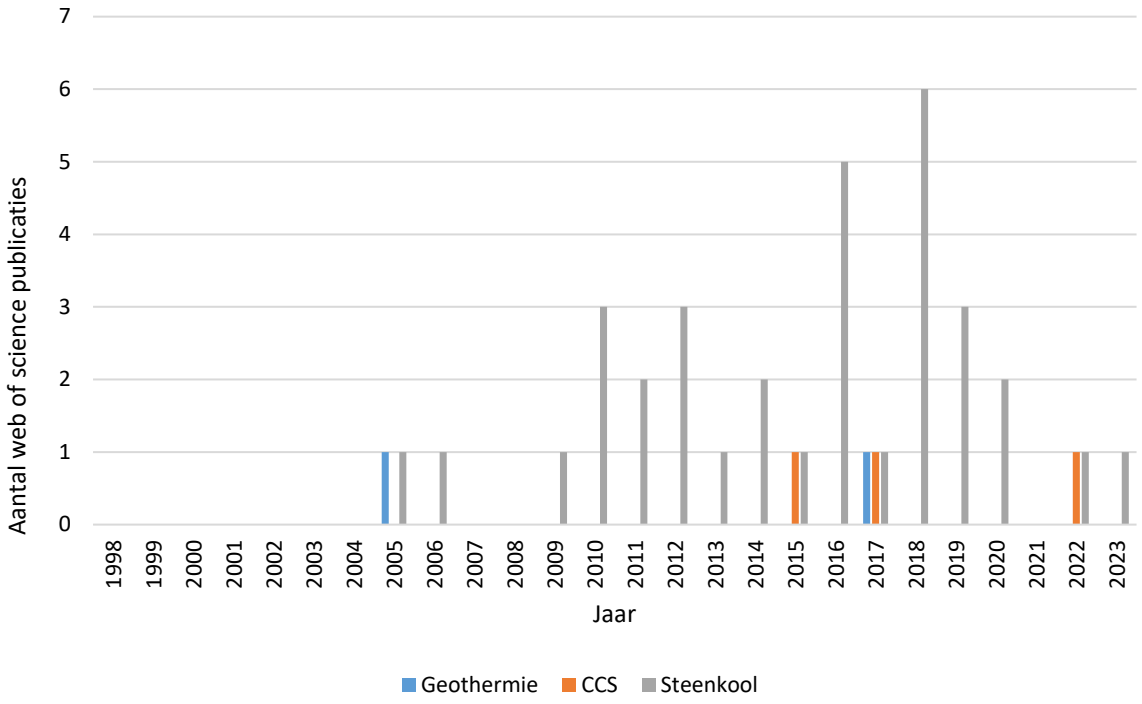
Toepassing van geïntegreerde exergoeconomische methodes in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond.



Figuur 16. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'exergoeconomic'. De query links zijn terug te vinden in appendix

7.4 ECONOMISCHE INPUT-OUTPUT LCA

De Economische Input-Output LCA (EIO-LCA) methode schat het effect van economische sectoren op het materiaal- en energiegebruik en de emissies naar het milieu. Het omvat de economische vooruitzichten van verschillende economische sectoren (en niet op projectniveau, zoals het geval bij exergo-economische of kosteneffectiviteitsanalyses), samen met de energie en emissies in elk van de processen en de meerdere deelprocessen die betrokken zijn bij één enkele economische activiteit [74]. Data van verschillende deelprocessen worden daarbij geaggregeerd.



Figuur 17. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'input-output LCA'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

7.5 MULTICRITERIA ANALYSE

Huidige besluitvormingsprocessen evolueren in een context waarbij duurzame ontwikkeling meer en meer op de voorgrond treedt. Om alle aspecten van duurzame ontwikkeling mee te nemen in het besluitvormingsproces wordt er tegelijkertijd rekening gehouden met economische, sociale, en milieueffecten binnen een langetermijnvisie. Dergelijke beslissingen die verder gaan dan de financiële dimensie door ook sociale en ecologische aspecten te integreren, leiden tot complexe besluitvormingsprocessen [75]. Ten eerste is het probleem een multicriteria-beslissingsprobleem, i.e. alternatieven moeten geëvalueerd worden rekening houdend met mogelijks tegenstrijdige beslissingscriteria. In feite zijn economische, sociale en ecologische criteria, die tegelijkertijd in het besluitvormingsproces moeten worden meegeteld, van nature tegenstrijdig. Bovendien kunnen deze criteria kwantitatief zijn of kwalitatief. Ten tweede moet duurzame ontwikkeling per definitie voorzien in de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen. Daarom moet de impact van alternatieven op korte en lange termijn worden beoordeeld. De impactevaluaties op lange termijn doen zich voor in een onbekende toekomst en bijgevolg moet er rekening gehouden worden met onzekerheden en onvoorziene gebeurtenissen. Bovendien is de evaluatie van alternatieven niet altijd helder en kan deze onvolmaakt of inconsistent zijn. De evaluaties kunnen bijvoorbeeld onnauwkeurig, vaag, onduidelijk of incompleet zijn. Ten slotte is het ook raadzaam om bij het nemen van beslissingen in een context van duurzame ontwikkeling belanghebbenden te betrekken aan de hand van een participatietraject. De verscheidenheid aan belanghebbenden met verschillende en tegenstrijdige standpunten vergroot de probleemcomplexiteit nog verder [75].

De literatuur omtrent besluitvorming in een context van duurzame ontwikkeling is de laatste jaren sterk toegenomen en multicriteria analyse (MCA) lijkt daarbij de meest gebruikte methode [75]. Het doel van MCA is om alternatieven te kiezen, rangschikken, beschrijven, classificeren of sorteren op basis van een reeks beslissingscriteria. Daartoe verloopt een MCA in vier fasen: (i) het bepalen van de relevante criteria en alternatieven, (ii) het wegen van het belang van elk criterium ten opzichte van het doel en eventueel het bepalen van drempels en andere voorkeuren, (iii) het beoordelen van de voorkeur van elk alternatief ten aanzien van de criteria, en (iv) het samenvoegen van de algehele scores van alternatieven met behulp van score- of outranking-methodes [75].

Belangrijk om te benadrukken is dat MCA-methodes niet zijn ontworpen om te zoeken naar het beste alternatief met betrekking tot alle criteria. Het concept van een optimale oplossing wordt vervangen door een set van niet-gedomineerde oplossingen. Een niet-gedomineerde oplossing heeft als kenmerk dat het niet mogelijk is om af te wijken naar een andere oplossing zonder ten minste één criterium op te offeren. Daarom is het logisch dat de beslisser een oplossing kiest uit de niet-gedomineerde verzameling. Over het algemeen is de set van niet-gedomineerde oplossingen echter te groot om aan de besluitvormer te worden voorgelegd voor de uiteindelijke keuze. Daarom zijn er middelen nodig die de besluitvormer ondersteunen bij het selecteren van de meest wenselijke alternatieven. Normaal gesproken moet men bepaalde criteria "inruilen" voor andere. Sommige alternatieven kunnen worden onderworpen aan een screeningfase waarin onrealistische alternatieven of voor de hand liggende niet-starters worden beoordeeld en uitgefilterd, bijvoorbeeld vanwege een duidelijk onaanvaardbaar veiligheidsrisico of een onaanvaardbare impact op het milieu. Daarom is de toegepaste analytische methode net zo belangrijk als de kwaliteit van de beschikbare informatie [76].

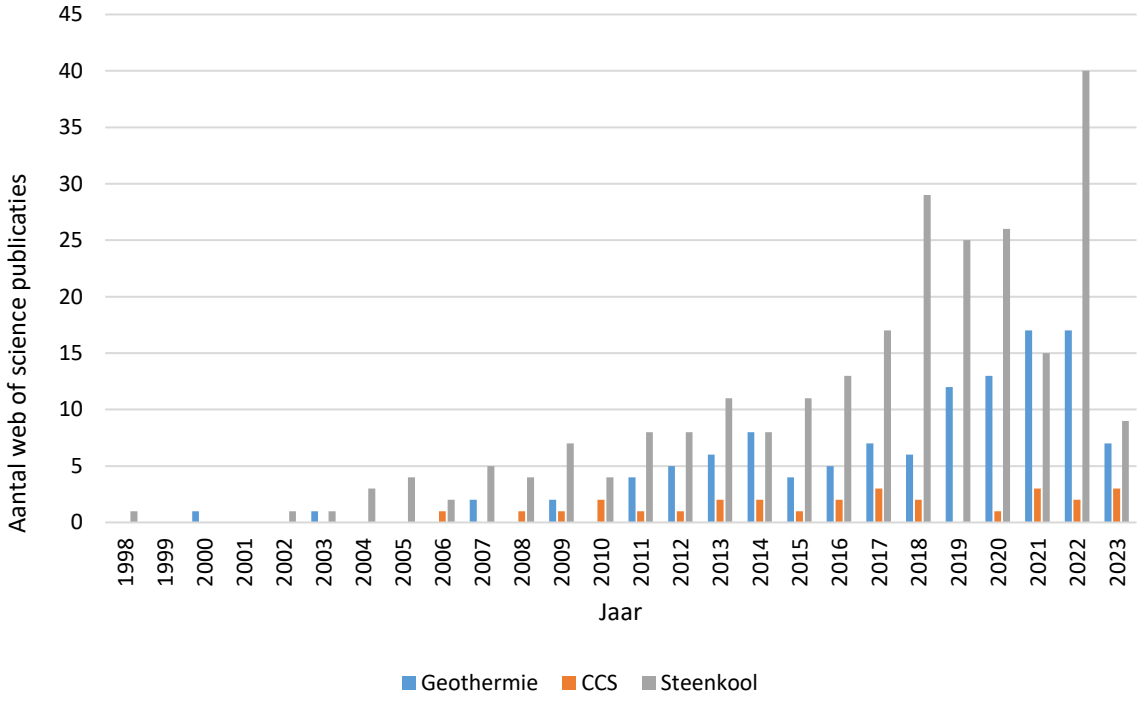
MCA-methodes kunnen opgesplitst worden in twee categorieën: multi-attribuut methodes en multi-objectief methodes. Multi-attribuut methodes worden toegepast om een eindige set aan alternatieven te evalueren op basis van meerdere criteria (attributen). Bij multi-objectief methodes wordt de beste keuze bepaald uit een oneindige set van alternatieven, gegeven een set aan randvoorwaarden (optimalisatieproces).

Multi-attribuut methodes kunnen ofwel toegepast worden door de verschillende scores op de criteria te aggregeren om zo te komen tot één, synthetiserend criterium (in het Engels: single criterion synthesis approach) of door toepassing van outranking-methodes. Outranking-benaderingen zijn methodes die alternatieven doorgaans paar per paar vergelijken en hun relatieve voor- en nadelen beoordelen. De relatieve status van een alternatief is dus een functie van hoe goed het zich verhoudt tot de rest alternatieven. Single criterion benaderingen gaan ervan uit dat verschillende criteria elkaar kunnen compenseren terwijl dit niet het geval is bij outranking methodes.

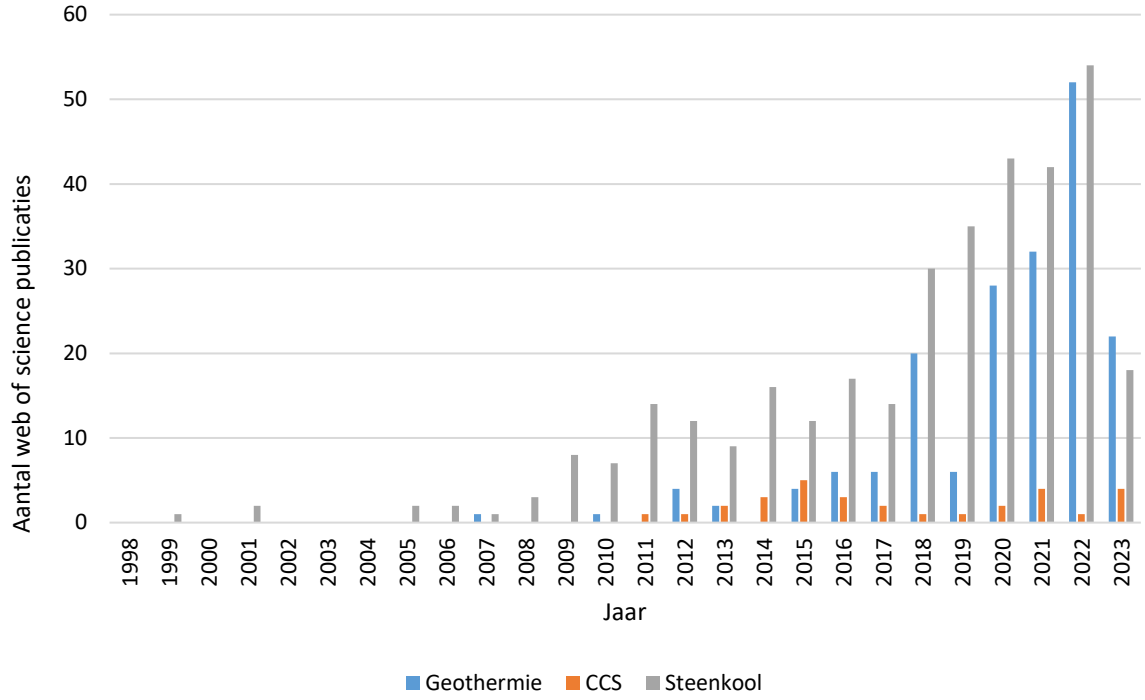
De optimale waarde of de beste oplossing van een probleem kan worden gevonden via het optimalisatieproces. Optimalisatieproblemen omvatten het zoeken naar een maximale of minimale waarde of het gebruik van één doelstelling of meerdere doelstellingen. Problemen met meer dan één doelstelling worden multi-objectieve optimalisatie (MOO) genoemd. Dit type probleem komt voor in het dagelijkse leven, zoals wiskunde, techniek, sociale studies, economie, landbouw, luchtvaart, auto's en vele andere [77]. De doelstellingen bij een multi-objectief optimalisatie zijn vaak tegenstrijdig van aard. Het kan zijn dat een verbetering van één doelstelling een verslechtering van andere doelstellingen veroorzaakt. Daarom is het heel moeilijk om een enkele optimale oplossing te krijgen, in tegenstelling tot de optimalisatieproblemen met één doelstelling. In plaats daarvan biedt multi-objectief methodes een reeks oplossingen die Pareto optimale oplossingen

worden genoemd; elke oplossing heeft hetzelfde belang en biedt dus flexibiliteit voor de besluitvormer om één enkele beste oplossing te kiezen [78].

Toepassing van multi-criteria analyse (overkoepelend) in de wetenschappelijke literatuur voor de evaluatie van activiteiten in de diepe ondergrond



Figuur 18. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'multi-criteria'. De query links zijn terug te vinden in appendix.



Figuur 19. Aantal wetenschappelijke publicaties per jaar. De aantallen wijzen op het aantal publicaties waarin de topics 'geothermal, CCS, coal' aan bod komen, gecombineerd met 'multi-objective optimization'. De query links zijn terug te vinden in appendix.

7.6 TOEPASSING VAN DE BESPROKEN METHODES IN KADER VAN DE OVERHEIDSOPDRACHT

In het kader van deze opdracht wordt er een PC&I raamwerk uitgewerkt waarbij er via stakeholderparticipatie inzicht verkregen wordt over de principes van een duurzaam beheer van de diepe ondergrond (zie deelrapport D3). Vervolgens worden er criteria bepaald die aangeven wat de geologische, economische, milieu, en sociale randvoorwaarden zijn waaraan voldaan moet worden om een ontwikkeling in de diepe ondergrond als duurzaam te beschouwen.

8 TIJD, RUIMTE EN ONZEKERHEDEN

Dit hoofdstuk focust op de methodes die toegepast zullen worden in het vervolg van de overheidsopdracht. Om de verschillende methodes die in de vorige hoofdstukken werden besproken naast elkaar te kunnen gebruiken, dienen ze op een compatibele manier om te gaan met elementen zoals tijd, ruimte en onzekerheid. Dit lijkt een logisch gegeven, maar binnen een geologische context krijgen deze begrippen vaak een niet-standaard invulling. Ruimtebeslag wordt driedimensionaal met grenzen die dynamisch kunnen zijn doorheen de tijd, afhankelijk van interacties met andere activiteiten, parameterafhankelijk en asymmetrisch. Tijd is een veel flexibeler gegeven dan in het dagdagelijks leven, vooral door effecten en evoluties op zeer lange termijn. Ook onzekerheid krijgt een andere invulling, niet alleen door de fragmentarische informatie over de ondergrond en de processen die er kunnen optreden, maar ook door de moeilijkheid om bijkomende gegevens te verzamelen of verifiëren wat voor een belangrijke intrinsieke onzekerheid zorgt.

8.1 GEOLOGISCHE IMPACT

De geselecteerde methodes om de geologische impact te bepalen, starten met het beschrijven van de geologische werkelijkheid en context. Hierbij staat de structurele raamwerkmethode centraal, die toelaat om bestaande geologische modellen naast elkaar te gebruiken, en die de conceptualisatie ervan vereenvoudigt in functie van de ondergrondse activiteiten en de modellen die errond worden opgebouwd. Het modelleren van de impact zelf kan zowel kwalitatief als kwantitatief gebeuren, met de kwalitatieve benadering zowel een voorbereidende stap als een manier om effecten post-2050 in te schatten. De kwantitatieve modellering is veruit de meest uitdagende stap, en zal gebruik maken van telescopisch gestructureerde modellen.

Onzekerheden rond geologische karakterisering worden reeds beschreven op het niveau van het geologische model, terwijl procesonzekerheden bij de kwalitatieve evaluatie aan bod komen. Beide zijn voorbereidende stappen om ze bij de modellering (kwantitatief) in rekening te brengen. Het geologische model moet stochastisch gedraaid worden, met behulp van Monte-Carlo lussen, om de onzekerheden correct en realistisch te integreren. Hier komen een aantal stappen bij kijken, zoals het toekennen van een probabiliteitsverdeling aan onzekerheden.

Belangrijker is echter dat bij dit type van stochastische berekeningen het model repetitief bevraagd (berekend) moet worden, wat vereist dat de totale rekentijd kort is. Dit probleem komt ook terug bij de fysische dimensies. Het model moet spatiaal voldoende groot zijn om potentiële locaties van de verschillende activiteiten in de diepe ondergrond te omvatten, en voldoende gedetailleerd om de activiteiten zelf nauwkeurig te beschrijven, alsook de interacties tussen activiteiten. Omwille van de ruimtelijke uitgebreidheid wordt daarom voor geneste (telescopische) modellen gekozen, bij voorkeur met een analytische invulling. Dit laatste laat eveneens vaak toe om flexibeler met de dimensie van tijd om te springen, en zo ook impact op lange termijn in te schatten.

8.2 BESCHIKBARE VOLUMES

Tijd en ruimte zijn van weinig of geen invloed op het bepalen van beschikbare volumes in de diepe ondergrond, maar onzekerheden natuurlijk wel. Dit kan een enkel getal zijn, maar bij voorkeur worden hier met onzekerheden onderbouwde gegevens gebruikt.

8.3 ECONOMISCHE IMPACTANALYSE

In techno-economische analyse en reële optie analyse wordt rekening gehouden met de tijdswaarde van geld door toepassing van een discontovoet. Voor de uitwerking van dergelijke analyses is er vaak discussie over welke discontovoet te hanteren. Voor private investeringen wordt er veelal een discontovoet van 10%-15% gehanteerd, terwijl maatschappelijke kosten en baten verdisconteerd worden aan 2%-4% [79].

Techno-economische analyse en een reële optie analyse verschillen in de manier waarop ze omgaan met onzekerheden. Een techno-economische analyse is 'statisch' in de zin dat een bepaalde waarde constant gehouden wordt, doorheen de levensduur van het project dat onderzocht wordt. Een reële optie analyse daarentegen erkent dat bepaalde processen (zoals prijzen) dynamisch zijn en modelleert de groei en onzekerheid van dergelijke processen doorheen de tijd. De parameterwaarden worden niet als constant verondersteld doorheen de tijd. Bovendien houdt de reële optie analyse rekening met flexibiliteitsopties die beschikbaar zijn. Dergelijk opties voegen bijkomende waarde toe aan het project dat beoordeeld wordt.

Techno-economische en reële optie analyses kunnen uitgevoerd worden op enkelvoudige projecten, een netwerk van projecten (gelijktijdig), of een serie van projecten (opeenvolgend in de tijd). Ruimtelijke aspecten worden mee in rekening gebracht door te evalueren hoe deze een impact kunnen hebben op kosten en opbrengsten.

8.4 MILIEU-IMPACTANALYSE

Een dynamische milieulevenscyclusanalyse kan, zoals eerder beschreven, veranderingen doorheen de tijd (in bijvoorbeeld de energieproductiemix) mee in rekening brengen.

De impact van onzekerheden in inputparameterwaarden op het resultaat kan geanalyseerd worden door middel van sensitiviteitsanalyses. Een sensitiviteitsanalyse kan zowel lokaal als globaal zijn.

Wat betreft 'ruimtelijke' aspecten zijn er ook een beperkt aantal toepassingen van 'territoriale LCA' waarbij een LCA wordt uitgevoerd voor een geheel gebied in plaats van een specifiek product of proces.

8.5 SOCIALE IMPACTANALYSES

Binnen de SIA en S-LCA methoden wordt erop gewezen dat het van belang is niet enkele korte, maar ook lange termijn impacts in rekening te brengen. Vaak zijn deze niet of moeilijk kwantificeerbaar en wordt daarom beroep gedaan op scenario-analyses en technieken als *foresight* of *future studies*. Om enigermate rekening te houden met onzekerheden, bestaat één van de stappen in het proces van zowel SIA als S-LCA uit het identificeren van risico's en het opmaken van een risicoanalyse.
Via een inclusieve participatieve aanpak, wordt getracht zo veel mogelijk te vermijden dat er een bias zou optreden in het prioriteren van deze risico's. Ook wordt, zeker bij de SIA, aangegeven dat dit een iteratief proces is dat ook bij de implementatie van een actie of activiteit dient verder gezet, bijvoorbeeld in het kader van maatschappelijk verantwoord ondernemen.

8.6 GEINTEGREERDE IMPACTANALYSES

Bestaande PC&I raamwerken en multi-criteria beslissingsmethodes kunnen tijdsaspecten en ruimtelijke aspecten opnemen bij de bepaling van de indicatoren en de bijhorende waarde. Het PC&I raamwerk, uitgewerkt in deelrapport D3, neemt korte en lange termijn overwegingen mee in rekening bij het omschrijven van duurzaamheidsprincipes voor het gebruik van de diepe ondergrond en de vertaling daarvan naar duurzaamheidscriteria -en indicatoren. Multicriteria beslissingsmethodes kunnen onzekerheid integreren in de analyse via stochastische berekeningsmethodes. Daarbij kan ook een onderscheid gemaakt worden in impact die zich voordoet op korte termijn en impact op lange termijn.

9 CONCLUSIE

Het gebruik van de diepe ondergrond kan een rol spelen in de transitie naar een koolstofarme en circulaire economie. Het gebruik van de diepe ondergrond leidt tot veranderingen in die ondergrond (geologische impact) en heeft tegelijkertijd ook impact bovengronds: zowel economische, milieu- als sociale impact. Dit rapport geeft een overzicht van wetenschappelijke methodes die toegepast kunnen worden om de geologische, economische, milieu- en sociale effecten te bepalen die gepaard gaan met het gebruik van de diepe ondergrond.

In het kader van deze opdracht zullen er zowel kwalitatieve als kwantitatieve methodes toegepast worden om de ontwikkeling van de diepe ondergrond bij verschillende beleidsscenario's te beoordelen. Voor de bepaling van geologische impact wordt er gesteund op de structurele raamwerkmethode en worden kwantitatieve reservoirsimulaties aangevuld met analytische modelleringen om effecten op regionale schaal te beoordelen (zie deelrapport D6). Economische effecten worden bepaald via techno-economische evaluaties en de toepassing van de reële optie theorie. Milieugerelateerde effecten worden bepaald via methodes van levenscyclusanalyse. Aan de hand van een kwalitatieve multicriteria analyse zullen de verschillende effecten geïntegreerd worden. Bij elke toepassing zullen aspecten van tijd, onzekerheid, en ruimte meegenomen worden. Let wel, de mate waarin elke methode voor een bepaalde activiteit toegepast zal worden, hangt af van de tijdshorizon waarbinnen deze verwacht worden. Effecten of toepassingen die na 25 jaar of langer te verwachten zijn, zullen eerder kwalitatief dan kwantitatief besproken worden.

Naast desktoponderzoek wordt er ook een participatietraject uitgerold waarbij stakeholders geconsulteerd worden voor de bepaling van randvoorwaarden voor het gebruik van de diepe ondergrond, de bepaling van mogelijke ontwikkelingsscenario's, en de bespreking van de resultaten aan het einde van de opdracht.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gebruikte methodes per dimensie en niveau van de analyse.

Dimensie	**Methode**	**Resultaat**	**Termijn**	**Flexibiliteit en onzekerheden**	**Niveau van analyse**
Geologisch	Analytical Elements Method	Kwantitatief	MT	Ja	Meervoudig gebruik
	(Analytische) activiteitenmodellen	Kwantitatief	MT	Ja	Projectniveau
Economisch	Techo-economische analyse	Kwantitatief	MT	Nee	Projectniveau
	Reële optie analyse	Kwantitatief	MT en LT	Ja	Meervoudig gebruik
Milieu	Levenscyclus analyse	Kwantitatief	MT en LT	Nee	Projectniveau en meervoudig gebruik
	Kwalitatieve bespreking als data onbeschikbaar		MT en LT		
Sociaal	Stakeholder mapping Vereenvoudigd model van sociale impact	Kwalitatief	MT en LT	Ja	Projectniveau en

	meting op basis van enkele voorbeeldindicatoren				meervoudig gebruik
Geïntegreerd	Multicriteria analyse	Kwalitatief	MT en LT	Ja	Meervoudig gebruik
	Raamwerk van duurzaamheidsprincipes, -criteria en -indicatoren	Kwalitatief	MT en LT	Ja	Projectniveau en meervoudig gebruik

10. REFERENTIES

1. Hunt, R.J., *Ground Water Modeling Applications Using the Analytic Element Method.* Groundwater, 2006. **44**(1): p. 5-15.
2. Barros, R. and K. Piessens, *Two-step structural framwork-geomanifestations methodology (No. Deliverable 2.4), GeoERA-GeoConnect³d. 26 p.* . 2020.
3. Piessens, K., et al., *Subm. Old concepts in a semantic perspective: introducing a geotemporal approach to conceptual definitions in geology. Applied computing and geosciences.* .
4. Deckers, J., et al., *Geologisch (G3Dv3) en hydrogeologisch (H3D) 3D-lagenmodel van Vlaanderen.* 2019.
5. Piessens, K., P. Vancampenhout, and W. De Vos, *Geologische subcropkaart van het Massief van Brabant in Vlaanderen. Schaal 1/200 000.* 2005.
6. Leake, S.A. and D.V. Claar, *Procedures and computer programs for telescopic mesh refinement using MODFLOW (Open-File Report No. 99–238), Open-File Report. USGS.* 1999.
7. Strack, O.D.L., *Vertically integrated flow in stratified aquifers.* Journal of Hydrology, 2017. **548**: p. 794-800.
8. Van Dael, M., et al., *Techno-economic Assessment Methodology for Ultrasonic Production of Biofuels*, in *Production of Biofuels and Chemicals with Ultrasound*, Z. Fang, J.R.L. Smith, and X. Qi, Editors. 2015, Springer Netherlands: Dordrecht. p. 317-345.
9. Lamberts-Van Assche, H. and T. Compernolle, *Economic feasibility studies for Carbon Capture and Utilization technologies: a tutorial review.* Clean Technologies and Environmental Policy, 2022. **24**(2): p. 467-491.
10. Edwards-Jones, G., B. Davies, and S.S. Hussain, *Ecological Economics: an introduction, Wiley-Blackwell.* 2000.
11. Hoogmartens, R., et al., *Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools.* Environmental Impact Assessment Review, 2014. **48**: p. 27-33.
12. Dixit, A.K.P.R.S., *Investment under uncertainty*. 1994, Princeton N.J: Princeton University Press.
13. Lamberts-Van Assche, H. and T. Compernolle, *Using Real Options Thinking to Value Investment Flexibility in Carbon Capture and Utilization Projects: A Review.* Sustainability, 2022. **14**(4): p. 2098.
14. Trigeorgis, L. *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. 1996.
15. Boardman, A.E., et al., *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*. 5 ed. 2018, Cambridge: Cambridge University Press.
16. Gasparatos, A., M. El-Haram, and M. Horner, *A critical review of reductionist approaches for assessing the progress towards sustainability.* Environmental Impact Assessment Review, 2008. **28**(4): p. 286-311.
17. Bessler, D.A., et al., *Quantitative Methods in Agricultural Economics*, in *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, N.K. Van Alfen, Editor. 2014, Academic Press: Oxford. p. 1-10.
18. Munroe, D.K. and J.J. Biles, *Regional Science*, in *Encyclopedia of Social Measurement*, K. Kempf-Leonard, Editor. 2005, Elsevier: New York. p. 325-335.
19. Llop, M. and R.S.J. Tol, *Decomposition of sectoral greenhouse gas emissions: a subsystem input-output model for the Republic of Ireland.* Journal of Environmental Planning and Management, 2013. **56**(9): p. 1316-1331.
20. Alcántara, V. and E. Padilla, *Key sectors in greenhouse gas emissions in Spain: An alternative input–output analysis.* Journal of Industrial Ecology, 2020. **24**(3): p. 577-588.
21. Koelbl, B.S., et al., *Socio-economic impacts of low-carbon power generation portfolios: Strategies with and without CCS for the Netherlands.* Applied Energy, 2016. **183**: p. 257-277.
22. Babatunde, K.A., R.A. Begum, and F.F. Said, *Application of computable general equilibrium (CGE) to climate change mitigation policy: A systematic review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. **78**: p. 61-71.
23. FPB, *Federaal Planbureau. Input-outputtabellen en uitbreidingen.* https://www.plan.be/aboutus/overview.php?lang=nl&TM=50. 2023.
24. Babu, S.C., S.N. Gajanan, and J.A. Hallam, *Chapter 5 - Macroeconomic Aspects of Nutrition Policy*, in *Nutrition Economics*, S.C. Babu, S.N. Gajanan, and J.A. Hallam, Editors. 2017, Academic Press: San Diego. p. 63-77.

25. Farmer, J.D. and D. Foley, *The economy needs agent-based modelling.* Nature, 2009. **460**(7256): p. 685-686.
26. Guinée, J.B., et al. *Life cycle assessment An operational guide to the ISO standards*. 2001.
27. Earles, J.M. and A. Halog, *Consequential life cycle assessment: a review.* The International Journal of Life Cycle Assessment, 2011. **16**(5): p. 445-453.
28. Gkousis, S., et al., *Dynamic life cycle assessment of geothermal heat production from medium enthalpy hydrothermal resources br.* Applied Energy, 2022. **328**.
29. Rosen, M.A., *Chapter 4 - Exergy analysis*, in *Design and Performance Optimization of Renewable Energy Systems*, M.E.H. Assad and M.A. Rosen, Editors. 2021, Academic Press. p. 43-60.
30. De Luca Peña, L.V., et al., *Towards a comprehensive sustainability methodology to assess anthropogenic impacts on ecosystems: Review of the integration of Life Cycle Assessment, Environmental Risk Assessment and Ecosystem Services Assessment.* Science of The Total Environment, 2022. **808**: p. 152125.
31. *Europees Parlement en de Raad. Richtlijn 2011/92/EU van het Europees Parlement en de Raad van 13 december 2011 betreffende de milieueffectbeoordeling van bepaalde openbare en particuliere projecten (codificatie).*
32. *Departement Omgeving. 2023. Milieueffectenrapportage. https://omgeving.vlaanderen.be/nl/omgevingsvergunning/milieueffectrapportage.*
33. Costanza, R., et al., *Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?* Ecosystem Services, 2017. **28**: p. 1-16.
34. de Groot, R.S., et al., *Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making.* Ecological Complexity, 2010. **7**(3): p. 260-272.
35. Van Ree, C.C.D.F. and P.J.H. van Beukering, *Geosystem services: A concept in support of sustainable development of the subsurface.* Ecosystem Services, 2016. **20**: p. 30-36.
36. Gray, M.G.J.E.B.E.J., *Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management.* PGEOLA Proceedings of the Geologists?? Association, 2013. **124**(4): p. 659-673.
37. Compernolle, T., et al., *Towards a dynamic and sustainable management of geological resources.* Geological Society, London, Special Publications, 2023. **528**(1): p. SP528-2022-75.
38. Alomoto, W., A. Niñerola, and L. Pié, *Social Impact Assessment: A Systematic Review of Literature.* Social Indicators Research, 2022. **161**(1): p. 225-250.
39. Becker, H.A., *Social impact assessment.* European Journal of Operational Research, 2001. **128**(2): p. 311-321.
40. Kah, S. and T. Akenroye, *Evaluation of social impact measurement tools and techniques: a systematic review of the literature.* Social Enterprise Journal, 2020. **16**(4): p. 381-402.
41. Kühnen, M. and R. Hahn, *Systemic social performance measurement: Systematic literature review and explanations on the academic status quo from a product life-cycle perspective.* Journal of Cleaner Production, 2018. **205**: p. 690-705.
42. Visentin, C., et al., *Life cycle sustainability assessment: A systematic literature review through the application perspective, indicators, and methodologies.* Journal of Cleaner Production, 2020. **270**: p. 122509.
43. Vanclay, F., *International Principles For Social Impact Assessment.* Impact Assessment and Project Appraisal, 2003. **21**(1): p. 5-12.
44. WorldBank, *A User's Guide to Poverty and Social Impact Analysis. Report 30405 of the Poverty Reduction Group (PRMPR) and*

Social Development Department (SDV). https://documents1.worldbank.org/curated/en/278581468779694160/pdf/A-users-guide-to-poverty-and-social-impact-analysis.pdf. 2003.
45. UNEP, *Guidelines and Checklists to Review Environmental and Social Impact Assessments*. 2010.
46. Kvam, R., *Social Impact Assessment: Integrating Social Issues in Development Projects*. 2018.
47. ICF, *Performance Standard 1: Assessment and Management of Environmental and Social Risks and Impacts. https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2010/2012-ifc-performance-standards-en.pdf*. 2012.
48. Harris, C.C., et al., *Community-based social impact assessment: the case of salmon-recovery on the lower Snake River.* Impact Assessment and Project Appraisal, 2003. **21**(2): p. 109-118.

49. du Pisani, J.A. and L.A. Sandham, *Assessing the performance of SIA in the EIA context: A case study of South Africa.* Environmental Impact Assessment Review, 2006. **26**(8): p. 707-724.
50. De Luca, A.I., et al., *Social life cycle assessment and participatory approaches: A methodological proposal applied to citrus farming in Southern Italy.* Integrated Environmental Assessment and Management, 2015. **11**(3): p. 383-396.
51. Yang, S., et al., *Chapter 5 - Development and applicability of life cycle impact assessment methodologies*, in *Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making*, J. Ren and S. Toniolo, Editors. 2020, Elsevier. p. 95-124.
52. UNEP, *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020. United Nations Environment Programme (UNEP).* https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2021/01/Guidelines-for-Social-Life-Cycle-Assessment-of-Products-and-Organizations-2020-22.1.21sml.pdf. 2020.
53. Stephenson, W., *The study of behavior; Q-technique and its methodology*. The study of behavior; Q-technique and its methodology. 1953, Chicago, IL, US: University of Chicago Press. ix, 376-ix, 376.
54. Molenveld, A., *Using Q methodology in comparative policy analysis*, in *Handbook of Research Methods and Applications in Comparative Policy Analysis*. 2020.
55. Rajé, F., *Using Q methodology to develop more perceptive insights on transport and social inclusion.* Transport Policy, 2007. **14**(6): p. 467-477.
56. Curry, R., J. Barry, and A. McClenaghan, *Northern Visions? Applying Q methodology to understand stakeholder views on the environmental and resource dimensions of sustainability.* Journal of Environmental Planning and Management, 2013. **56**(5): p. 624-649.
57. Jaligot, R. and J. Chenal, *Stakeholders' Perspectives to Support the Integration of Ecosystem Services in Spatial Planning in Switzerland.* Environments, 2019. **6**(8): p. 88.
58. Leminen, S., M. Westerlund, and A.-G. Nyström, *Living Labs as Open-Innovation Networks.* Technology Innovation Management Review, 2012. **2**: p. 6-11.
59. Hossain, M., S. Leminen, and M. Westerlund, *A systematic review of living lab literature.* Journal of Cleaner Production, 2019. **213**: p. 976-988.
60. Leminen, S., A.-G. Nyström, and M. Westerlund, *A typology of creative consumers in living labs.* Journal of Engineering and Technology Management, 2015. **37**: p. 6-20.
61. Hielkema, H. and P. Hongisto, *Developing the Helsinki Smart City: The Role of Competitions for Open Data Applications.* Journal of the Knowledge Economy, 2012. **4**.
62. Dell'Era, C. and P. Landoni, *Living Lab: A Methodology between User-Centred Design and Participatory Design.* Creativity and Innovation Management, 2014. **23**(2): p. 137-154.
63. Pope, J., D. Annandale, and A. Morrison-Saunders, *Conceptualising sustainability assessment.* Environmental Impact Assessment Review, 2004. **24**(6): p. 595-616.
64. Van Cauwenbergh, N., et al., *SAFE - A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems.* Agriculture Ecosystems & Environment, 2007. **120**(2-4): p. 229-242.
65. Bautista, S., et al., *Biodiesel-TBL plus : A new hierarchical sustainability assessment framework of PC&I for biodiesel production - Part I.* Ecological Indicators, 2016. **60**: p. 84-107.
66. Bautista, S., et al., *Biodiesel-triple bottom line (TBL): A new hierarchical sustainability assessment framework of principles criteria & indicators (PC&I) for biodiesel production. Part II-validation.* Ecological Indicators, 2016. **69**: p. 803-817.
67. Shortall, R., B. Davidsdottir, and G. Axelsson, *A sustainability assessment framework for geothermal energy projects: Development in Iceland, New Zealand and Kenya.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. **50**: p. 372-407.
68. Pires, A., et al., *Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management.* Science of The Total Environment, 2017. **578**: p. 139-147.
69. Vögele, S., et al., *Germany's "No" to carbon capture and storage: Just a question of lacking acceptance?* Applied Energy, 2018. **214**: p. 205-218.
70. Fajardy, M., S. Chiquier, and N. Mac Dowell, *Investigating the BECCS resource nexus: delivering sustainable negative emissions.* Energy & Environmental Science, 2018. **11**(12): p. 3408-3430.
71. Nemati, B., et al., *A Sustainable Approach for Site Selection of Underground Hydrogen Storage Facilities Using Fuzzy-Delphi Methodology.* Journal of Settlements and Spatial Planning, 2020: p. 5-16.
72. Vrba, J., et al., *Groundwater resources sustainability indicators*. 2007: Unesco Paris.

73. Sayyaadi, H., *Chapter 4 - Combined thermal, economic, and environmental models*, in *Modeling, Assessment, and Optimization of Energy Systems*, H. Sayyaadi, Editor. 2021, Academic Press. p. 185-246.
74. Shah, A., N.R. Baral, and A. Manandhar, *Chapter Four - Technoeconomic Analysis and Life Cycle Assessment of Bioenergy Systems*, in *Advances in Bioenergy*, Y. Li and X. Ge, Editors. 2016, Elsevier. p. 189-247.
75. Kandakoglu, A., A. Frini, and S. Ben Amor, *Multicriteria decision making for sustainable development: A systematic review.* Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 2019. **26**(5-6): p. 202-251.
76. Munda, G., P. Nijkamp, and P. Rietveld, *Qualitative multicriteria evaluation for environmental management.* Ecological Economics, 1994. **10**(2): p. 97-112.
77. Gunantara, N., *A review of multi-objective optimization: Methods and its applications.* Cogent Engineering, 2018. **5**(1): p. 1502242.
78. Saini, N. and S. Saha, *Multi-objective optimization techniques: a survey of the state-of-the-art and applications.* The European Physical Journal Special Topics, 2021. **230**(10): p. 2319-2335.
79. EuropeanCommission, *Part III: Annexes to Impact Assessment Guidelines. European Commission (EC)*. 2009.

APPENDIX

GEOLOGICAL IMPACT ASSESSMENT

- Features Events and Processes
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/de5703a6-0e74-48ac-89b2-c3ed91d8ecd2-8e64ae7a/relevance/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/d57b9bc8-35b5-4a32-89c0-fc4e37fc0398-8e64c9a6/relevance/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/ee9d8981-4db0-46dd-bd76-8ca44066b8dc-8e64d59e/relevance/1
- UNFC
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/2a2be0e0-9503-4705-a9aa-b7e98c887fd0-8e652c60/relevance/1
    - Carbon capture and storage: zero
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/548635f2-f976-4c71-a003-8798fe16a338-8e6539cd/relevance/1

ECONOMIC IMPACT ASSESSMENT

- Techno-economic assessment
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/e4f6cc29-ca7a-461f-a27b-483005dcc74c-8e24ded1/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/9deb4ad1-f962-4484-adf4-0c03b2820c4a-8e24d3b0/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/1162d055-917d-4a40-98f9-c5e5047ab66d-8e24ec88/date-ascending/1
- Life cycle costing
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/d96f2965-ba49-4f9c-8342-5ae88908dd91-8e21ff58/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/86d676b7-325d-4f40-89a6-99ad6a97b9f3-8e2238eb/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/128d4ea9-f5a6-4f5a-8c21-c37135b3c894-8e21a816/date-ascending/1 (zero)
- Real options
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/9f27ebef-709a-4db6-ab74-059b219a7de4-8e228d0e/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/2868c114-942b-4cb7-b889-3b81fe4bb339-8e22afcc/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/16a82208-58b7-4041-9c77-6bf3fc152cd2-8e229d19/date-ascending/1
- Cost benefit analysis

    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/f86a6576-59c9-4f40-9ccd-2cf734a357bb-8e235a07/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/3b5ec6b2-8f3a-40ee-9beb-daa0c2f7cd6b-8e236d11/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/00c2e723-8642-43b5-a76a-599fdad6c587-8e235298/date-ascending/1
- Input-output analysis
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/6fd13e5a-21f9-4ff6-ac5e-608f78142de3-8e23a697/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/96104ba9-7f2f-42e9-b264-50bc8f218ce8-8e23c112/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/ff12b49c-d742-4c7c-b303-f26b101befc0-8e23af52/date-ascending/1
- General equilibrium analysis
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/31c38185-afe2-48d0-95d0-c1986abda97e-8e23f620/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/c823e9f8-c2b5-4a09-b94c-5fc6fdc8feac-8e23d8ec/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/edf31d5e-fc72-40d3-b6e9-f901c15b77e8-8e23e708/date-ascending/1
- Partial equilibrium analysis
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/40da6320-7e0c-47b7-848c-8f71517160aa-8e240e6f/date-ascending/1 (zero)
    - Carbon capture and storage "general equilibrium analysis" (Topic) AND "carbon capture and storage" (Topic) NOT optimization (Topic) NOT multi-objective (Topic) NOT LCA (Topic) – 5 – Web of Science Core Collection (zero)
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/40da6320-7e0c-47b7-848c-8f71517160aa-8e240e6f/date-ascending/1
- Agent-based modeling
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/6206df62-805a-4d08-82ab-d9d8dd579813-8e247e49/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: "general equilibrium analysis" (Topic) AND "carbon capture and storage" (Topic) NOT optimization (Topic) NOT multi-objective (Topic) NOT LCA (Topic) – 5 – Web of Science Core Collection
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/6e08bd62-2f3f-4461-aa59-c96d9fe8e54d-8e245ce0/date-ascending/1

ENVIRONMENAL IMPACT ASSESSMENT

- Environmental life cycle assessment
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/30132f59-490a-4db7-9119-896f162c490c-8e25aba9/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/62d6c2d2-32b6-499e-baa6-d8aac2e75ad3-8e25bfda/date-ascending/1

    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/25c2d97b-9323-411f-8adc-2fb5197f4c41-8e259971/date-ascending/1
- Exergy analysis
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/8455e3b5-79f7-4a91-8c37-495b2fa716a1-8e25eecf/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/038215bc-4237-4a19-bc54-359f8a0378fb-8e25d7eb/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/06fa4558-f121-4601-94c6-6b9007ddcabe-8e26269b/date-ascending/1
- Environmental risk assessment
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/b061982d-f643-4a8b-b31f-57ad0fdd4d84-8e264ca7/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/4bf0a5e6-29a9-4e2e-969e-42c327e4cb95-8e265a8b/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/466ec7af-706c-4b5a-a58a-73d063fb8fed-8e263ec1/date-ascending/1
- Environmental impact assessment
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/1fa06e3e-9e09-415e-8343-6a4d3731e146-8e26b6bc/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/a90666e4-b97f-450b-aafe-6ffb33cfc4bd-8e26dd47/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/514ab76d-1bbf-4b13-8202-a6fae9bc5d49-8e26c249/date-ascending/1
- Ecosystem service approach: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/2dc74cf6-c402-4541-bddd-4561a32b9721-8e26eb13/date-ascending/1

SOCIAL IMPACT ASSESSMENT

- SIA – **Social Impact Assessment**
    - Geothermal:
        - https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/6c6afce7-2df6-44c0-849e-b610f55b751b-013e108692/relevance/1
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20impact%20assessment%22%20AND%20%22coal%22%20NOT%20%22capture%22%20NOT%20%22CCS%22
    - Carbon capture and storage:
        - https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/9455429b-7ca8-4553-ae63-a6027fde739c-013e10d69e/relevance/1
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20impact%20assessment%22%20AND%20%22carbon%20capture%20and%20storage%22
    - Coal:
        - https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/76a2d74b-5c40-4f01-a1e4-d827290a2f40-013e10a0a2/relevance/1

        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20impact%20assessment%22%20AND%20%22coal%22%20NOT%20%22capture%22%20NOT%20%22CCS%22
- SIA – **Societal** Impact Assessment
    - Geothermal:
        - WoS – geen resultaten
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22societal%20impact%20assessment%22%20AND%20%22geothermal%22%20NOT%20%22heat%20pump%22
    - Carbon capture and storage:
        - WoS – geen resultaten
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22societal%20impact%20assessment%22%20AND%20%22carbon%20capture%20and%20storage%22
    - Coal:
        - https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/effb4817-7785-436f-888c-89cb6a2ebac6-013e111bab/relevance/1
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22societal%20impact%20assessment%22%20AND%20%22coal%22%20NOT%20%22capture%22%20NOT%20%22CCS%22

- SIA – Social Impact **Analysis**
    - Geothermal:
        - WoS – geen resultaten
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20impact%20analysis%22%20AND%20%22geothermal%22%20NOT%20%22heat%20pump%22
    - Carbon capture and storage:
        - WoS – geen resultaten
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20impact%20analysis%22%20AND%20%22carbon%20capture%20and%20storage%22
    - Coal:
        - WoS – geen resultaten
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20impact%20analysis%22%20AND%20%22coal%22%20NOT%20%22capture%22%20NOT%20%22CCS%22
- S-LCA
    - Geothermal:
        - https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/61016e86-1591-4f19-931f-c3b64b802d8e-013e1140e6/relevance/1
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20life%20cycle%20assessment%22%20AND%20%22carbon%20capture%20and%20storage%22
    - Carbon capture and storage:
        - https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/9de3fd05-cfde-4c03-876a-2c2a24265752-013e1130c1/relevance/1
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20life%20cycle%20assessment%22%20AND%20%22carbon%20capture%20and%20storage%22
    - Coal:
        - https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/ee9d11ae-9b2c-4a4d-900e-8371364034ba-013e0ff681/relevance/1

        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20life%20cycle%20assessment%22%20AND%20%22coal%22%20NOT%20%22capture%22%20NOT%20%22CCS%22
- Q-methodology
    - Geothermal:
        - https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/ab5dc005-1a38-448c-af99-b4d409a5f750-013e157c11/relevance/1
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20life%20cycle%20assessment%22%20AND%20%22geothermal%22%20NOT%20%22heat%20pump%22
    - Carbon capture and storage:
        - https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/80a9874d-1e61-49fa-aaea-319edb3f5d09-013e159634/relevance/1
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22social%20life%20cycle%20assessment%22%20AND%20%22carbon%20capture%20and%20storage%22
    - Coal:
        - WoS – geen resultaten
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22Q-methodology%22%20AND%20%22coal%22%20NOT%20%22capture%22%20NOT%20%22CCS%22
- Living labs
    - Geothermal:
        - WoS – geen resultaten
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22Living%20lab%22%20AND%20%22geothermal%22%20NOT%20%22heat%20pump%22
    - Carbon capture and storage:
        - WoS – geen resultaten
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22Living%20lab%22%20AND%20%22carbon%20capture%20and%20storage%22
    - Coal **mining**:
        - WoS – geen resultaten
        - https://www.sciencedirect.com/search?qs=%22Living%20lab%22%20AND%20%22coal%20mining%22

INTEGRATED ASSESSMENT

- Techno-economic and LCA
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/892b9189-1031-41f5-aafe-8a944f1f9f91-8e277dcc/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/43d664d8-4ac5-4d3b-a235-6ebf09da7c11-8e27884e/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/ad6e80de-bccb-484e-8996-abee1cb5c927-8e27d1a7/date-ascending/1
- Exergoeconomische/thermo-economische analyse
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/646796ca-b536-4f1a-8a94-8b35322e50ec-8e288392/date-ascending/1

    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/056ddbad-caf4-421a-aad0-868c0c76cf83-8e286f93/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/fc6ae506-e7e0-4aa1-9fcc-81ba28e11a6c-8e285e7f/date-ascending/1
- Economic input-output LCA
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/fbc0c1ce-d854-416d-b7c3-e29f9db96dda-8e28ac99/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/1c3f0698-e4e2-4179-beba-b790a62f3371-8e28b9f6/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/05e6b1f6-6fdd-46c9-9144-d45fdab496ba-8e28d219/date-ascending/1
- Multicriteria decision analysis
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/ab05163e-039a-4ef0-ac33-a23b8fac8683-8e2977c6/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/777fc5bd-c69b-47c0-a93e-7c448a8012e6-8e294f48/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/91e3d679-cd5b-4861-a46d-d89c6ea1b225-8e29819a/date-ascending/1
- Multi-objective optimization
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/eedd0ec5-1065-4cc4-a45e-80a5bbe9725d-8e29bc4b/date-ascending/1
    - Carbon capture and storage: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/8d1e96d0-9c24-4094-8918-27eb883e8a80-8e29db80/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/ec043ff7-87d9-464f-993f-16d0296d4a04-8e29a84d/date-ascending/1
- Sustainability indicator framework
    - Geothermal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/7e8596e3-a61a-4300-aeb4-332c45977304-958ef7d4/relevance/1
    - CCS: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/e2d4804c-aa26-4a7c-8a72-8692ef8239b2-958effea/date-ascending/1
    - Coal: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/74ba2a6e-db54-4059-a481-5f3767299567-958f05c3/date-ascending/1



D6 Mogelijk gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Deelrapport 6

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

D6. Mogelijk gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen
Deze studie geeft een overzicht van het potentieel van verschillende mogelijke activiteiten in de diepe ondergrond in Vlaanderen op middellange (voor 2050) en lange termijn (na 2050).

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1210, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Kris Piessens – Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Belgische Geologische Dienst
Kris Welkenhuysen – Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Belgische Geologische Dienst
David Lagrou – Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Belgische Geologische Dienst

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Piessens, K., Welkenhuysen, K., Lagrou, D. (2025). D6. Mogelijk gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond.* Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS

natural sciences .be
since 1896 Geological Survey of Belgium
Universiteit Antwerpen

MANAGEMENTSAMENVATTING

Het potentieel van de diepe ondergrond (dieper dan -500m TAW) van Vlaanderen hangt nauw samen met de geologische eenheden die daar aanwezig zijn. De individuele eigenschappen van deze eenheden worden bepaald door hun ontstaan en geologische geschiedenis. Eenheden die op deze manier onderscheiden worden, worden lithotektonische eenheden genoemd. Het oudste van deze eenheden in Vlaanderen is het Massief van Brabant, dat grotendeels samenvalt met het Brabants Orogeen. Deze eenheid vormt voor een groot deel (ongeveer een driehoek tussen de kust, Antwerpen en de taalgrens) de diepe ondergrond van Vlaanderen. Ten noordoosten hiervan ligt het Massief van Brabant dieper, en maken ook jongere eenheden deel uit van de diepe ondergrond. Het Kempens Post-Brabantisch Bekken is gekend omdat de kalkstenen ervan minstens lokaal goede reservoireigenschappen bezitten, het nog jongere Kempens Subvoorlandbekken is gekend omwille van de steenkoolafzettingen die in de 20ste eeuw ontgonnen werden, maar heeft nog steeds potentieel voor koolwaterstofwinning. In en rond de Roerdalslenk, die het uiterste noordoosten van Vlaanderen doorsnijdt, lijken de siliciklastische afzettingen in het Trias-Jura Riftbekken interessante reservoirmogelijkheden te bieden. De jongste afzettingen in de diepe ondergrond behoren tot het Kempens Krijtbekken en het Zuidelijk Noordzeebekken.

Deze studie geeft een overzicht van het potentieel van verschillende mogelijke activiteiten in de diepe ondergrond in Vlaanderen op middellange (voor 2050) en lange termijn (na 2050). In deelrapport D7 wordt bepaald wat de geologische, economische, milieu en sociale impact is van mogelijke activiteiten in de diepe ondergrond op middellange termijn. De lange termijn impact wordt kwalitatief besproken in deelrapport D7.

Geothermie of aardwarmte is de energie die in de vorm van warmte in de ondergrond zit opgeslagen. De term geothermie verwijst naar alle toepassingen die op een of andere manier gebruik maken van deze ondergrondse warmte. De Kempen werd historisch verkend voor geothermie, en in het voorbije decennium werden deze inspanningen hervat. Twee doubletsystemen zijn momenteel in proeffase (Balmatt te Mol en Janssen Pharmaceutica te Beerse). Beide werden uitgevoerd in kalksteenlagen van het Kempens Post-Brabantisch Bekken, maar met het verschil dat Beerse binnen de driehoek Heibaart-Turnhout-Poederlee ligt, waar goede reservoireigenschappen meer frequent voorkomen. Ook op andere locaties in de Kempen zijn projecten in voorbereiding die zich zowel op dezelfde geologische eenheid als jongere eenheden richten.
Een ander type geothermieprojecten, de zogenaamde éénputsgeothermieprojecten, zijn weinig afhankelijk van reservoireigenschappen en richten zich op het Massief van Brabant, maar kunnen ook in eenheden met andere eigenschappen worden toegepast, zoals in het Kempens Krijtbekken.
De hoeveelheid warmte aanwezig in reservoirs geschikt voor doubletsystemen wordt in literatuur geschat op 19x10^{9} GJ. Deze schattingen zijn nog aanzienlijk hoger voor éénputsystemen. De kadering van deze schattingen is echter belangrijk: dit is aanwezige warmte, en slechts een fractie ervan is winbare warmte. Deze fractie is momenteel onbekend, maar het is aannemelijk dat deze voldoende groot is om van diepe geothermie een interessante optie te maken.

Warmteopslag is een techniek waarbij overschotten aan warmte ondergronds worden opgeslagen om later gebruikt te worden. De techniek sluit aan bij geothermie, maar heeft vaak een specifieke uitwerking of toepassing. Warmteopslag in de diepe ondergrond wordt momenteel niet toegepast in Vlaanderen. Een specifiek voorbeeld dat wordt uitgewerkt in context van deze studie is de voormalige mijn van Beringen, waar naar schatting 135 GWh aan warmte opgeslagen kan worden.

Een belangrijke huidige activiteit in de diepe ondergrond van Vlaanderen is de seizoenale opslag van aardgas. De opslaglocatie te Loenhout is de enige in Vlaanderen, maar ook in België. Om aardgas ondergronds op te slaan is een geschikte koepelstructuur nodig die op natuurlijke wijze het ontsnappen van aardgas verhindert. Te Loenhout is dit de koepel van Heibaart, waarvan de reservoirgesteenten gevormd worden door dezelfde kalkstenen van het Kempens Post-Brabantisch Bekken die aangewend wordt voor geothermieprojecten. In totaal kan hier maximaal tussen 7.6 en 9.2 TWh aan aardgas opgeslagen worden. Er zijn aanwijzingen dat er in de ondergrond van de Kempen andere geschikte koepelstructuren bestaan, maar deze zijn onvoldoende verkend.

Ondergrondse opslag van waterstof is een belangrijke optie voor de toekomst, en de koepel van Heibaart wordt momenteel onderzocht of deze hiervoor geschikt is. Omwille van de lagere dichtheid van waterstof zou de hoeveelheid opgeslagen energie te Loenhout lager zijn dan voor aardgas (3.2 TWh i.p.v. 7.6 TWh). Indien opslag van waterstof (cf. waterstofeconomie) in de toekomst realiteit wordt, verhoogt dit mogelijk de druk op het vinden van bijkomende geschikte koepelstructuren.

Geologische opslag van CO_2 is een andere activiteit die gebruik maakt van de opslagcapaciteit van de diepe ondergrond. Het doel is hier echter permanente opslag, en van aanzienlijk grotere volumes dan voor de opslag van aardgas of waterstof. De ondergrond van Vlaanderen biedt verschillende mogelijkheden die ook in internationale databanken gepubliceerd werden. De geschatte hoeveelheden kunnen een nuttige bijdrage leveren, maar de verschillende opslagopties zijn tevens onvoldoende verkend om definitieve uitspraken te doen zonder verdere gerichte verkenning van de ondergrond.

Voor de berging van langlevend en hoogradioactief afval wordt momenteel door NIRAS een dieptebereik van 200 tot 600 m vooropgesteld, dus mogelijk zeer kort bij of net onder de grens van de diepe ondergrond. De galerijen hiervoor zouden geconstrueerd worden in afzettingen of gesteenten met zeer lage doorlatendheid, zoals plastische kleien van het Zuidelijke Noordzeebekken of weinig doorlatende gesteenten van het Massief van Brabant. Op basis van gepubliceerde schattingen moet ongeveer 15000 m³ volume geborgen worden, waarvoor 62500 m aan galerijen nodig zou zijn.

Een weinig verkende, maar geopperde optie voor de ondergrond van Vlaanderen is de opslag van potentiële energie. Hiervoor zouden artificiële tunnels worden geconstrueerd, bijvoorbeeld in het Massief van Brabant, waarin energie opgeslagen kan worden door samendrukken van gas (bv. lucht) of het verpompen van water in combinatie met een reservoir aan de oppervlakte. Illustratief wordt berekend dat om het dagelijks energieverbruik van alle Vlaamse gezinnen (25000 MWh) te bufferen door dergelijke opslag, een ondergronds reservoir van 20 Mm³ op een diepte van 500 m nodig zou zijn. Dit voorbeeld toont voornamelijk aan dat het ondergronds ruimtebeslag niet de beperkende factor vormt, maar dat de bovengrondse factoren de schaal van een dergelijk project zouden bepalen.

Vlaanderen heeft geen of nauwelijks netto drinkwatertekorten op jaarbasis, maar kent wel seizoensgebonden lokale tekorten, met name in de kuststreek en meer algemeen de provincie West-Vlaanderen. Tijdelijke ondergrondse opslag van drinkwater in een aquifer (ASR, *Aquifer Storage and Recovery*) is een mogelijkheid die interessanter is dan het aanleggen van bijkomende transportcapaciteit. De eerste verkenningen en proefprojecten vinden plaats in het Massief van Brabant (meest recent nabij Aalst). Deze initiatieven zijn relatief ondiep, maar zouden, indien succesvol, ook toegepast kunnen worden in de diepe ondergrond.

Het Kempens Subvoorlandbekken is historisch gekend voor de ontginning van steenkool via ondergrondse mijnbouw tussen 1914 en 1992. De nog aanwezige, mijnbare hoeveelheden steenkool zijn aanzienlijk en variëren afhankelijk van auteur en berekeningsmethode tussen 4 en 8.5 miljard ton steenkool. Een belangrijk maar onbekend deel hiervan cokeskool (coking coal), één van de Europese kritieke grondstoffen. Gelinkt hieraan is de winning van methaan uit verlaten mijnen. Het tijdsvenster waarbinnen dit mogelijk was, is echter afgelopen doordat de mijnen op dit moment volledig of vrijwel volledig ondergelopen zijn. Een optie die nog wel bestaat is het onttrekken van koolbedmethaan in gebieden waar steenkool niet werd ontgonnen. In literatuur wordt de hoeveelheid technisch winbaar koolbedmethaan geschat op $53x10^9$ m^3.

Tussen 2011 en 2013 piekte internationaal de interesse naar schaliegas, met mogelijkheden die zich in Vlaanderen in het Kempens Subvoorlandbekken situeren. De beperkte analyses van de organisch-rijke basislagen van dit bekken (Formatie van Chokier) lijken eerder ongunstig. Schalies komen ook voor in de steenkoolsequenties, waar ze technisch samen met koolbedmethaan gewonnen zouden kunnen worden.

Economisch interessante mineralisaties in Vlaanderen zijn niet gekend, maar kunnen potentieel wel voorkomen. Voornamelijk het Massief van Brabant, een geologische eenheid waar processen geleid kunnen hebben tot ertsafzettingen, verdient aandacht bij toekomstige exploratie. In het Kempens Post-Brabantisch Bekken komt lithium opgelost in het diep, salien formatiewater voor in verhoogde concentraties (tot 100 mg/l).

Op basis van dit overzicht zijn de meest waarschijnlijke activiteiten die ontwikkeld kunnen worden in de diepe ondergrond van Vlaanderen op middellange termijn (voor 2050): diverse geothermieprojecten, opslagprojecten voor waterstof of bijkomende opslagprojecten voor aardgas, warmteopslagprojecten, koude-warmteopslagprojecten, opslagprojecten voor CO_2, opslag van drinkwater, berging van hoogwaardig radioactief afval in de Kempen, geothermische coproductie van lithium, en eventueel opslag van potentiële energie. Opslag van drinkwater, berging van radioactief afval en opslag van potentiële energie worden wel besproken maar maken geen deel uit van de modellering.

Op langere termijn, of eventueel voor 2050 indien de socio-economische context sterk zou wijzigen, dient rekening gehouden te worden met de mogelijke opstart van zeer diepe geothermische projecten voor elektriciteitswinning, berging van radioactief afval in het Massief van Brabant, ontginning van steenkool, ontginning van schaliegas, ontginning van koolbedmethaan, en diepe ontginning van mineralisaties (anders dan de winning van elementen, vb. Li, opgelost in formatiewater). Deze toepassingen worden dan ook in het vervolg van deze deelstudie niet verder kwantitatief meegenomen, maar wel in de eindevaluatie.

INHOUDSTAFEL

1 Geologisch raamwerk van Vlaanderen in een toegepast kader 8
1.1 Geologische limieten 8
1.2 Sedimentaire bekkens 9
1.2.1 Brabants Bekken Systeem 10
1.2.2 Kempens Post-Brabantisch Bekken 10
1.2.3 Kempens Subvoorlandbekken 11
1.2.4 Zuidelijk Perm Bekken 11
1.2.5 Trias-Jura Riftbekken (voorloper Roerdal Rift Bekken) 11
1.2.6 Kempens Krijtbekken en het Bekken van Parijs 11
1.2.7 Zuidelijk Noordzeebekken 12
1.3 Massief van Brabant 12
1.4 Brabants Orogeen 12
1.5 Brabantse granietbatholieten 13
1.6 Roerdalslenk 13
2 Geothermie 15
2.1 Geothermische productiesystemen 15
2.2 Geothermie in het Kempens Post-Brabantisch Bekken 16
2.2.1 Historische initiatieven 16
2.2.2 Huidige projecten 17
2.2.3 Aangekondigde projecten 18
2.3 Geothermie in andere geologische eenheden 18
2.3.1 Massief van Brabant 18
2.3.2 Kempens Subvoorlandbekken en het Trias-Jura Riftbekken 19
2.3.3 Krijtbekken 19
2.4 Volumetrische schatting 20
3 Potentieel voor Warmteopslag 23
3.1 Buitenlands project 23
3.2 Volumetrische schatting 23
3.2.1 Koude-warmteopslag in steenkoolmijnen 24
3.2.2 Warmteopslag in éénputsboringen 25
4 Opslag van aardgas 26
4.1 Kempens Post-Brabantisch Bekken 26
4.1.1 Project 27
4.1.2 Potentiële projecten 27
4.2 Kempens subvoorlandbekken 27
4.3 Potentieel project in de Roerdalslenk 28
4.4 Potentieel project in het Vlaams Krijtbekken 28
4.5 Volumetrische schatting 28
5 Opslag van waterstofgas 30
5.1 Geologische opslag van waterstofgas 30
5.1.1 Huidige stand van kennis 30
5.1.2 Algemene situering van de literatuur 31
5.1.3 Gedrag van de primair afsluitende lagen 31
5.1.4 Overige aandachtspunten 32
5.2 Kempens Post-Brabantisch Bekken 33
5.2.1 Proefproject 33
5.2.2 Potentieel project 33
5.3 Potentiële projecten in Andere geologische eenheden 33
5.4 Volumetrische schatting 33
6 Opslag van koolstofdioxide 35
6.1 Potentiële projecten in het Kempens Post-Brabantisch Bekken 35
6.2 Potentieel project in het Perm-Trias Riftbekken 36
6.3 Potentiële projecten in Kempens subvoorlandbekken binnen en buiten de Roerdalslenk 36
6.4 Potentiële projecten in het Vlaamse krijtbekken 36

6.5 Volumetrische schatting 37
7 Berging van langlevend en hoogradioactief afval 38
7.1 Potentiële projecten in het Zuidelijke Noordzeebekken 38
7.2 Potentiële projecten in het Massief van Brabant 38
7.3 Andere mogelijkheden voor de Berging van radioactief afval 39
7.4 Volumetrische schatting 39
8 Opslag van Potentiële Energie in het Massief van Brabant 41
8.1 Interesse in Vlaanderen 41
8.2 Volumetrische schatting 41
9 Ondergrondse Opslag van drinkwater 43
9.1 Concept van ASR 43
9.2 Potentiële activiteiten in het Massief van Brabant 43
9.3 Volumetrische schatting 43
10 Steenkoolontginning in het Kempens Subvoorlandbekken 45
10.1 Historische activiteit 45
10.2 Volumetrische schatting 45
11 PotentIële projecten voor Mijnmethaan in het Kempens Subvoorlandbekken 47
12 Koolbedmethaan in het Kempens Subvoorlandbekken 48
12.1 Historisch proefproject 48
12.2 Potentiële projecten 48
12.3 Volumetrische schatting 49
13 Schaliegas in het Kempens Voorlandbekken 50
14 Mineralisaties 51
14.1 Potentiële projecten in het Kempens Post-Brabantisch Bekken 51
14.2 Potentiële projecten in het Massief van Brabant 51
14.3 Volumetrische schatting 52
15 Ontwikkeling van de diepe ondergrond doorheen de tijd 54
15.1 Historische projecten 54
15.2 Huidige projecten 54
15.3 Huidige proefprojecten 54
15.4 Potentiële projecten in voorbereiding 54
15.5 Potentiële activiteiten tussen nu en 2050 54
15.6 Potentiële activiteiten na 2050 55
16 Referenties 56
17 Bijlage: Literatuurlijst waterstofopslag 60

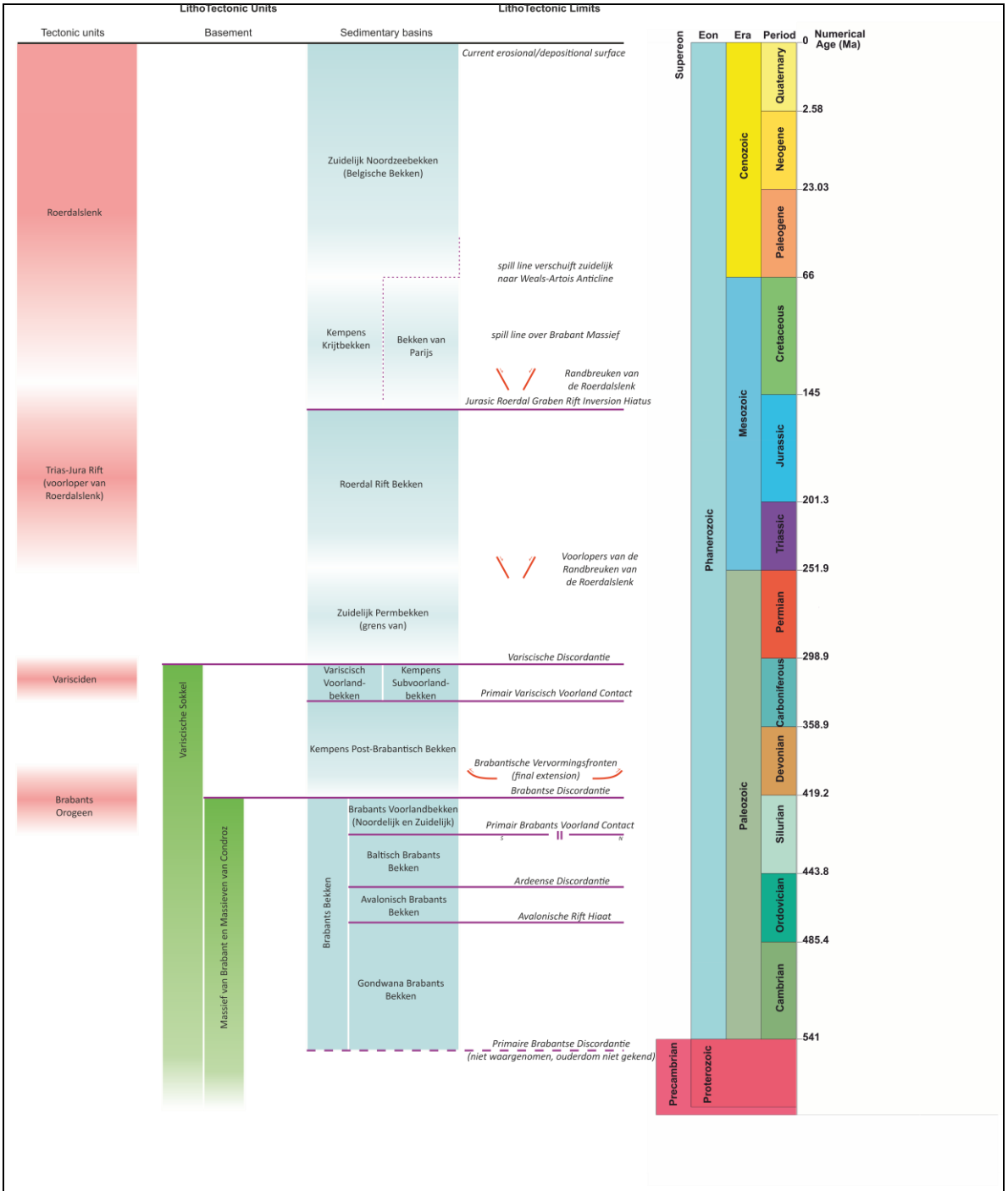
1 GEOLOGISCH RAAMWERK VAN VLAANDEREN IN EEN TOEGEPAST KADER

De geologie van de diepe ondergrond van Vlaanderen (dieper dan -500 mTAW) vormt het kader waarin verschillende ondergrondse activiteiten ontwikkeld kunnen worden. Wat mogelijk is en welke impact exploitatie heeft, is afhankelijk van de geologische eigenschappen van de verschillende geologische eenheden. Daarom wordt de geologie hier uiteengezet volgens de structurele raamwerk methode waarbij geologische eenheden worden gedefinieerd in functie van geologische limieten (Piessens et al., 2024). Het geologisch 3D model van Vlaanderen (G3Dv3) en de kaart van het Massief van Brabant vormen steeds een belangrijk deel van de onderliggende kennisbasis.

1.1 GEOLOGISCHE LIMIETEN

Betekenisvolle geologische limieten vatten de regionale geologische geschiedenis samen in een aantal geologische gebeurtenissen, en vormen zo een geologisch raamwerk dat de basis vormt voor de definitie van geologische eenheden (fig. 1). De volgende limieten zijn van belang om de Vlaamse diepe ondergrond te schetsen (waarbij Ma staat voor “miljoen jaar geleden”):

- Avalonische Rift Hiaat: riftfase die resulteerde in de afsplitsing van Avalonië van Gondwana (Tremadoc-Arenig (Ordovicium) hiaat, ~470 Ma).
- Ardeense Discordantie: hiaat in het onder Paleozoïcum in Vlaanderen die samenvalt met de botsing van Avalonië met Baltica (Caradoc (Ordovicium), ~450 Ma).
- Primair Brabants Voorland Contact: bij benadering de sedimentaire grens die verdieping van het Brabants Voorlandbekken inluidde (basis van de Formatie van Corroy (Siluur), ~430 Ma).
- Brabantse Discordantie: laat Siluur tot Midden Devoon discordantie (420 – 390 Ma), bedekt door conglomeraten (Formatie van Bois de Bordeaux, Lid van Mautiennes in het zuiden en Formatie van Booischot in het noorden).
- Brabantse Deformatiefronten: Op basis van de aanwezigheid en afwezigheid van tektonische splijting en plooien kunnen de deformatiefronten van het Brabants Orogeen afgebakend worden. Het onder Paleozoïcum van het zuidelijk deel van West-Vlaanderen valt buiten het orogeen, en in het noorden toont de boring van Kortgene (NL) wel synsedimentaire plooien, maar geen tektonische. In het oosten wordt het Brabants Orogeen waarschijnlijk afgesneden door de latere Midi Overschuiving.
- Primair Variscisch Voorland Contact: hiaat aan de basis van het Namuriaan, die de overgang van kalksteen naar overwegend siliciclastische sedimenten markeert (~325 Ma).
- Variscische Discordantie: hiaat die overeenkomt met de afvlakking na de Variscische orogenese in onze contreien (~300 Ma).
- Randbreuken van de Roerdalslenk: De Roerdalslenk wordt begrensd door randbreuken, waarvan de zuidelijke gedeeltelijk in Vlaanderen liggen, en een samenspel vormen van het Feldbiss Breuksysteem, het Veldhoven Breuksysteem en de Gilze-Rijen Breuk.



Figuur 1: Overzicht van de relevante lithotektonische eenheden en limieten in en rond Vlaanderen. Dit overzicht is volledieger dan in de tekst, waar voornamelijk de eenheden en limieten relevant voor het reservoirmodel worden besproken. De onderlimiet van het Brabants Voorlandbekken bestaat uit een noordelijke en zuidelijke limiet, gescheiden door het orogeen.

1.2 SEDIMENTAIRE BEKKENS

De sedimentaire sequentie van Vlaanderen is relatief compleet vanaf de oudst voorkomende sedimenten (vroeg Cambrium). Dit komt omdat dit gebied gedurende het grootste deel van de geologische geschiedenis sedimenten verzamelde en begroef. Deze sedimentatiegeschiedenis is gelinkt aan een opeenvolgende reeks van bekkens (fig. 1, 2).

1.2.1 Brabants Bekken Systeem

Het Brabants Bekken bestaat uit vier opeenvolgende bekkens waarvan de opeenvolgende sedimenten het onder Paleozoïcum van Vlaanderen vormen. Deze bekkens zijn het Gondwana Brabants Bekken, het Avalonisch Brabants Bekken, het Baltisch Brabants Bekken en het Brabants Voorlandbekken.

1.2.1.1 Gondwana Brabants Bekken

Het Gondwana Brabants Bekken verzamelde tijdens het Cambrium en Onder Ordovicium mariene sedimenten langs de rand van Gondwana, die sedimentair overeenkomen met megasequentie 1 zoals bepaald door Verniers et al. (2002). De ondergrens is niet gekend. De bovengrens is een goed gedocumenteerd hiaat, het Avalonische Rift Hiaat, die een fundamentele onderbreking vormt in sedimentatie rond de grens Tremadoc-Arenig (Ordovicium). Deze onderbreking valt samen met de riftfase die Avalonië afscheidde van het supercontinent Gondwana.

1.2.1.2 Avalonisch Brabants Bekken

Wanneer de sedimentatie hervat, blijft deze marien en siliciklastisch. Het Avalonisch Brabants Bekken bevindt zich langs de zuidrand van Avalonië. Uit subsidentiecurves lijkt de sedimentatie relatief constant te zijn. Tijdens het Caradoc komt een kort hiaat voor (1 My = miljoen jaar), die traditioneel gezien wordt als de grens tussen megasequentie 2 en 3 (Verniers et al., 2002), vervolgd kan worden tot in het Bekken van Wales, en verband houdt met het sluiten van de Iapetus Sutuur. Voor het Avalonisch Brabants Bekken is dit een relatief korte verstoring, maar belangrijk omdat de sedimentatie grondig verandert en Avalonië ophoudt te bestaan als afzonderlijke tektonische plaat.

1.2.1.3 Baltisch Brabants Bekken

Het Baltisch Brabants Bekken wordt gekenmerkt door een cumulatie van sedimenten die grotendeels gelijke tred houdt met de lineaire begravingsgeschiedenis. De bovengrens van dit bekken is eerder vaag, want deze komt overeen met een fundamenteel belangrijke, maar eerder geleidelijke overgang naar de versnelde subsidentie van een voorlandbekken. Deze bovengrens is het Primaire Brabants Voorland Contact.

1.2.1.4 Brabants Voorlandbekken

Op het einde van het Llandovery (Siluur) versnelt de sedimentatie merkbaar door verdieping van het bekken tot een voorlandbekken, gelinkt met de verkorting en opheffing van het Brabants Orogeen. Er worden twee voorlandbekkens gevormd, een vrij goed gekend en gedeeltelijk ontsloten zuidelijk bekken en een sporadisch aangeboord noordelijk bekken (zie discussie in Verniers et al., 2002). De bovengrens voor beiden wordt gevormd door de Brabantse Discordantie.

1.2.2 Kempens Post-Brabantisch Bekken

Het is nauwkeuriger om tijdens het boven Paleozoïcum in Vlaanderen twee opeenvolgende bekkens te onderscheiden, waarvan het Kempens Post-Brabantisch Bekken het vroegste is. De sedimenten in dit bekken zijn initieel siliciklastisch en worden bovenop de Brabantse discordantie afgezet, maar al snel vervangen door dominant carbonaathoudende sedimenten. Alhoewel de huidige rug van het Massief van Brabant overspoeld werd, fungeerde deze toch als een scheiding waardoor de Kempense stratigrafie verschilt van deze van de carbonaatbekkens aan de zuidzijde (in Wallonië).
Het einde van het Dinantiaan komt overeen met het einde van dit carbonaatbekken door een hiaat (Namuriaan Hiaat) die samenhangt met de naderende Variscische orogenese in het zuiden. Lokaal leidt dit tot verkarsting van de carbonaten.

1.2.3 Kempens Subvoorlandbekken

Na initiële opheffing veroorzaakt de Variscische orogenese subsidentie. Een nieuw voorlandbekken vormt zich aan de noordrand van de naderende orogenese, dat veel uitgestrekter is dan de Brabantse Voorlandbekkens. Dit is het Noord-West Europese Voorlandbekken, waarvan het Kempens Subvoorlandbekken deel van uitmaakt.
De Namuriaan en Westfaliaan sedimenten zijn nu volledig siliciklastisch en vaak rijk aan organisch materiaal, met een toenemende kans op steenkoollagen naar het Westfaliaan toe. De eerste afzettingen zijn ondiepe, organisch rijke zwarte schalies. Later wordt het milieu eerst marien, gedurende het Westfaliaan terug ondieper en uiteindelijk fluviatiel tot de hele sequentie tijdens het Stefaniaan wordt opgeheven (Stefaniaan Hiaat) gedurende de Asturische (Variscische) fase en sedimentatie omslaat in erosie. De Variscische orogenese heft deze sedimenten wel op, maar ze blijven buiten het bereik van het vervormingsfront dat het Varscisch Orogeen begrenst.

1.2.4 Zuidelijk Perm Bekken

Na de Variscische opheffing en erosie, zijn de eerste afzettingen de vaak roodgekleurde en continentale lagen van Perm ouderdom. Deze verzamelen zich in het Zuidelijk Perm Bekken, een ingesloten bekken dat zich vormt door de afkoeling van de mantel na de Variscische opwarming en verdunning van de korst.
Vlaanderen bevindt zich aan de zuidelijke rand van het Zuidelijk Perm Bekken, en de sequentie is dan ook zeer onvolledig, dun, en zonder zoutlagen (in tegenstelling tot vb. in Nederland). De sedimenten worden vrij uniform afgezet in het Zuidelijk Perm Bekken tijdens het Perm. In Vlaanderen is de Buntsandstein (van vroeg Trias ouderdom) enkel in het noorden van Vlaanderen terug te vinden, terwijl ze ontbreekt in de Roerdalslenk die op dat moment nog geen subsidentiecentrum was (Borremans, 2015).

1.2.5 Trias-Jura Riftbekken (voorloper Roerdal Rift Bekken)

Reeds tijdens het laat Carboon was het Atlantische riftproces ingezet dat zou leiden tot de afsplitsing van Eurazië. Tijdens het Trias wordt ook de Noordzeerift zo actief, dat de grabenactiviteit zich liet voelen en de voorloper van de huidige Roerdalslenk zich ontwikkelde tot een sedimentair grabenbekken. Regionaal ontwikkelde het Trias-Jura Riftbekken zich langs de as gevormd door de Noordzeerift en de Roerdalslenk als verlenging daarvan.
Vanaf het Midden Trias worden daarom sedimenten preferentieel verzameld en bewaard in de Roerdalslenk. Dit wordt verder vergemakkelijkt door een stijgende zeespiegel tijdens het einde van het Trias en het Jura, met ook sedimentatie buiten de slenk. De sedimenten, en daarmee het bekken, worden afgesneden door een discordantie veroorzaakt door een versnelling van de Noordzeerift waardoor Vlaanderen in een compressief regime kwam en werd opgeheven.

1.2.6 Kempens Krijtbekken en het Bekken van Parijs

Het Krijt wordt gekenmerkt door een eustatische zeespiegelstijging, het zeeniveau lag meerdere honderden meters hoger dan nu. Door het lage reliëf trad er weinig erosie op en was de detritische sedimentatie beperkt. De lagen van het Boven Krijt zijn afgezet als een transgressie die reikt over het Massief van Brabant dat op dat moment een stabiel paleografisch hoog vormde. Deze mariene, carbonaathoudende sedimentaire sequentie is over 95% van het Vlaamse grondgebied aanwezig.
De huidige Roerdalslenk (Trias-Jura Riftbekken; Lagrou et al., 2011) was toen een (relatief) hoog en er werden slechts een 60-tal meter van de jongste krijtafzettingen afgezet. Later werden ze terug begraven tot op de huidige diepte van 1200 m.

De huidige Kempen bevonden zich tussen het geïnverteerde Jura-rift en het Massief van Brabant; hier is de krijtsequentie tot 300 m dik. De top verdiept in noordelijke richting van -250 m tot -800 m. De as van het Massief van Brabant vormde een rug en zo de scheiding tussen het Kempens Krijtbekken en het meer zuidelijke Parijsbekken, maar het Kempens Krijtbekken sluit wel lithostratigrafisch aan bij het Bekken van Mons. In al de randregio's (Oost-, Noord- en Zuidflank van het Massief van Brabant) bevindt het Krijt zich ondiep en maakt het geen deel uit van de diepe ondergrond van Vlaanderen.
De overgang van het Kempens Krijtbekken naar het Zuidelijk Noordzeebekken is een geleidelijke overgang, zowel stratigrafisch als qua bekkensedimentatie. Vrijwel zeker valt de overgang niet samen met het einde van het Krijttijdperk.

1.2.7 Zuidelijk Noordzeebekken

Het Zuidelijk Noordzeebekken, ook wel het Belgisch Bekken genoemd, is een voorzetting van het Kempens Krijtbekken, maar wordt gedefinieerd door een meer zuidelijke grens, die verschuift van de as van het Massief van Brabant naar de Weals-Artois Anticline net ten zuiden van Calais. Initieel is het Zuidelijk Noordzeebekken door voldoende hoge zeespiegelstanden verbonden met het bekken van Parijs. Dat laatste evolueert naar een intracratonisch bekken, maar bij het Zuidelijk Noordzeebekken blijft de begrenzing door massieven beperkt tot de Ardennen, en is het in de andere richtingen, net zoals tijdens het Krijt, verbonden met de Noord-Atlantische riftsystemen. Het Zuidelijk Noordzeebekken bevindt zich op een stabiele shelfrand, en de invloed van de Alpiene orogenese in het zuiden beïnvloedt sedimentatie en sedimentatiepatronen, en luidt de start in van het noordoostwaarts gerichte drainagesysteem. Door de tektonische stabiliteit kunnen lithostratigrafische eenheden ontwikkelen met belangrijke geografische verbreiding, zoals de Formatie van Kortrijk en de Formatie van Boom. Het Zuidelijk Noordzeebekken vormt ruwweg een bekkeneenheid tijdens het Paleogeen en Neogeen.

1.3 MASSIEF VAN BRABANT

Het Massief van Brabant wordt gedefinieerd door de Midden- tot Boven-Devoondiscordantie (Brabantse Discordantie) die de onder Paleozoïsche gesteenteserie afsnijdt (fig. 1, 2).
Het Massief van Brabant vormt de oudste gekende geologische eenheid van Vlaanderen, en komt voor onder het grootste deel ervan. Het gekarteerde deel beperkt zich tot het stuk dat enkel door Krijt en jongere lagen bedekt wordt, dus waar de Devoondiscordantie werd geërodeerd, maar het Massief strekt zich verder naar het noorden uit waar het in een aantal diepe boringen werd aangetroffen tot in Nederland.

1.4 BRABANTS OROGEEN

Het Massief van Brabant is niet volledig vervormd, en het Brabants Orogeen is daarom iets kleiner dan het Massief van Brabant. De deformatiefronten van het Brabants Orogeen worden gedefinieerd door de aan- of afwezigheid van tektonische gesteentesplijting (fig. 1, 2). Meestal worden hiervoor de verst reikende overschuivingssystemen gebruikt, maar omdat observaties van het Brabant Massief beperkt zijn tot boorkernen en kleine ontsluitingen is gesteentesplijting een meer nauwkeurige keuze. De splijting die wijst op orogene vervorming is enkel afwezig in boringen in het zuidwesten van West-Vlaanderen, die aangeven dat dit deel van het Massief van Brabant niet behoort tot het Brabants Orogeen. De noordelijke grens van het orogeen lijkt wel voorbij de grens van Vlaanderen te liggen, met de eerste afwezigheid van splijting pas in een boring in het Nederlandse Zeeland (boring van Kortgene).

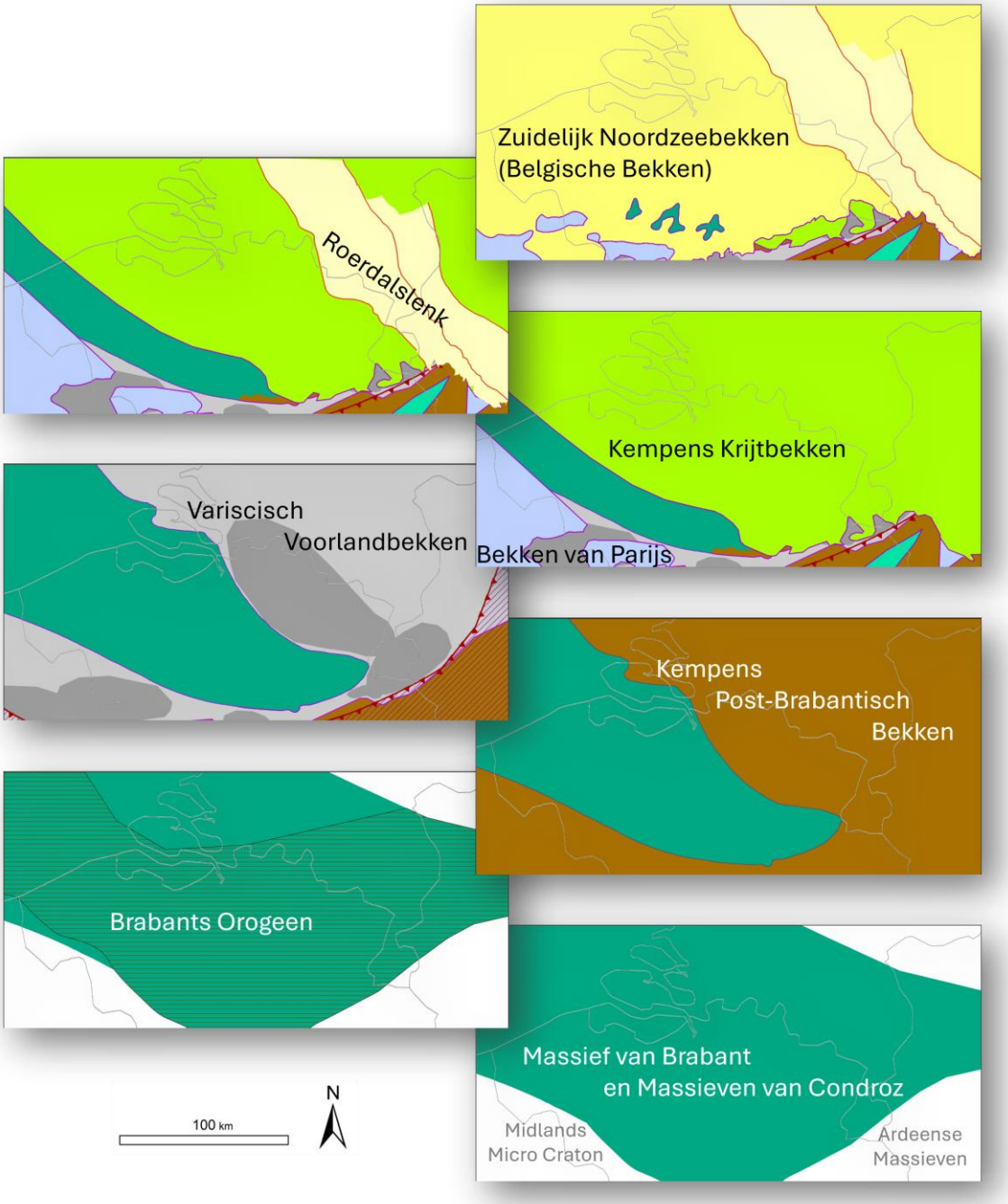
De vervorming binnen het Brabants Orogeen is niet homogeen. Langsheen de centrale as komen uitsluitend bijna verticale lagen voor, en dit wordt daarom het interne deel genoemd, dat ook de oudste gesteenten bevat en het vroegst en ook het sterkst werd opgeheven.

1.5 BRABANTSE GRANIETBATHOLIETEN

Met uitzondering van dunne bentoniethorizonten beperken vulkanische afzettingen en intrusieven zich tot het onder Paleozoïcum van het Massief van Brabant. Uit gravimetrische en structurele gegevens blijkt dat er zich grote lichamen bevinden langs de zuidrand van Vlaanderen, waarvan de densiteit en vorm overeenkomen met granietbatholieten. De ondiepste hiervan reiken tot ongeveer 1 km onder de oppervlakte. Een alternatieve hypothese is dat dit breukblokken zijn van Proterozoïsche gesteenten, dus ouder dan de oudste gekende gesteenten in Vlaanderen.

1.6 ROERDALSLENK

De Roerdalslenk is een actieve grabenstructuur met een vrij complexe geschiedenis die minstens teruggaat tot de Atlantische riftfase, en deel uitmaakt van een rift en graben complex dat rijkt van de Noordzee tot de Middellandse Zee. Een graben wordt begrensd door een min of meer symmetrisch breukcomplex. De noordoostzijde van de Roerdalslenk is relatief duidelijk begrensd door het Peel Randbreuk Systeem, maar de zuidwestzijde die Vlaanderen doorsnijdt is een complexer systeem van overstappende breuksystemen (Borremans, 2015). De Roerdalslenk wordt aan deze zijde begrensd door het Feldbiss Breuksysteem, het Veldhoven Breuksysteem en de Gilze-Rijen Breuk (fig. 1, 2).



Figuur 2: De lithotektonische eenheden in en rond Vlaanderen. Van boven naar onder worden de jongste eenheden telkens weggehaald zodat de onderliggende oudere eenheden zichtbaar worden.

2 GEOTHERMIE

Geothermie of aardwarmte is de energie die in de vorm van warmte in de ondergrond zit opgeslagen. De term geothermie verwijst naar alle toepassingen die op een of andere manier gebruik maken van deze ondergrondse warmte. Er worden verschillende classificatiesystemen gebruikt, onder andere met een dieptecriterium. Hier spreken we over diepe geothermie wanneer de warmte uit lagen dieper dan 500 m onder de Tweede Algemene Waterpassing (-500 m TAW) onttrokken wordt, dus vanaf een diepte waarop de activiteit in Vlaanderen volgens het Decreet Diepe Ondergrond vergunningsplichtig is. In vulkanisch actieve gebieden wordt al sinds 1904 (Larderello, Italië) gebruik gemaakt van geothermie voor verwarming en de productie van elektriciteit. Maar ook in Vlaanderen is geothermie beschikbaar. Van ongeveer 10°C aan de oppervlakte neemt de temperatuur in de diepte toe met ongeveer 30°C per km. Deze stijging is het gevolg van de resthitte in de kern van de aarde en de natuurlijke nucleaire vervalprocessen in de aardkorst. De hete aardkern zorgt voor een voortdurende flux van warmte naar het aardoppervlak.

2.1 GEOTHERMISCHE PRODUCTIESYSTEMEN

In het klassieke doubletsysteem wordt warmte onttrokken aan watervoerende lagen door middel van twee putten, één onttrekkings- en één injectieput. Dit is daarom een open systeem waarbij (1) water onttrokken wordt aan de aquifer, (2) warmte onttrokken wordt via een warmtewisselaar, waarna (3) het afgekoelde formatiewater in een tweede put wordt geïnjecteerd in dezelfde aquifer. Op deze manier blijft de druk in de aquifer constant. Rond de injectieput wordt een volume afgekoeld water opgebouwd dat geleidelijk migreert naar de productieput en gedeeltelijk terug opwarmt. De koudwaterdoorbraak aan de productieput is bepalend voor de operationele duur van een doubletsysteem. Meestal wordt conservatief op enkele decennia productie gemikt. Diepe doubletsystemen worden meestal via gedevieerde boorgaten verwezenlijkt (één of beide), eerder dan via verticale boringen. Doubletten kunnen uitgebreid worden tot meer dan twee putten. Het succes van een doubletsysteem wordt in belangrijke mate bepaald door het debiet dat verwezenlijkt kan worden en de temperatuur van het formatiewater. Het debiet hangt direct samen met de transmissiviteit (product van de doorlatendheid en dikte van de aquifer), die, afhankelijk van de verkenning van de ondergrond en het type aquifer, moeilijk voorspelbaar kan zijn.

Een éénputssysteem *(single well)* is minder tot zelfs niet afhankelijk van de eigenschappen van een aquifer. De eerste vorm is een open of semi-open systeem waarbij, in tegenstelling tot het klassieke geothermische doublet, slechts één boring geplaatst wordt waar het water (meestal) langs de buitenzijde van het boorgat wordt geïnjecteerd en het opgewarmde water in een centrale buis wordt opgepompt. Bij deze systemen wordt de warmte uit een kleiner volume onttrokken dan in een klassiek doublet, en is door de beperktere diepte de temperatuur van het opgepompte water meestal lager. Niet-klassieke boortechnieken zijn vaak noodzakelijk, zoals '*laser jetting'* en '*electro-pulse'*, waarmee op grotere dieptes putten met een grotere boordiameter aan een realistische prijs kunnen worden uitgevoerd. Om het contact met het gesteentemassief te vergroten kunnen radiale (sub)horizontale boringen worden geplaatst. Deze zogenaamde *laterals* vertrekken vanuit de diepe boring en kunnen tot 150 m ver geboord worden met een diameter tot 10 cm. Zo wordt het contactvlak tussen het gesteentemassief en het circulerende fluïdum significant vergroot.
Voor éénputssystemen bestaat er een waaier aan technische varianten, zeker indien de conceptuele technieken worden meegenomen, met onder meer volledig gesloten systemen (analoog aan degene die in de ondiepe ondergrond gebruikt worden), of systemen waarbij niet water maar NH_3 of CO_2 wordt gecirculeerd om efficiënter warmte te onttrekken via faseovergangen en spontane circulatie.

Ook qua stimulatie van het reservoir, om de doorlatendheid te verbeteren, bestaan er verschillende meer en minder ingrijpende technieken, zoals zuurinjectie of het creëren van artificiële fracturatienetwerken.

Algemeen gesteld dienen voor de klassieke open systemen watervoerende lagen (aquifers) aanwezig te zijn met voldoende doorlatendheid (permeabiliteit) en met een voldoende hoge temperatuur voor de gewenste (beoogde) toepassing. De aquifers zijn in de meeste gevallen sedimentaire gesteenten zoals kalksteen of zandsteen. Permeabiliteit neemt algemeen af met diepte, zodat ultra-diepe projecten geen gebruik kunnen maken van natuurlijke doorlatendheid. Voor de éénputssystemen is de permeabiliteit van ondergeschikt belang omdat er geen of zeer beperkt rechtstreekse uitwisseling van formatiewater plaatsvindt.

2.2 GEOTHERMIE IN HET KEMPENS POST-BRABANTISCH BEKKEN

Het best gekende en waarschijnlijk belangrijkste reservoirgesteente in het Kempens Post-Brabantisch Bekken is het Dinantiaan reservoir dat de kalkstenen van het onder Carboon omvat. Deze worden gekenmerkt door een algemeen lage matrix-porositeit, maar door de aanwezigheid van zones met hoge doorlatendheid of permeabiliteit door spleten, barsten en oplossingsverschijnselen heeft het kalksteenpakket lokaal wel gunstige reservoireigenschappen. Deze gunstige eigenschapen lijken preferentieel voor te komen in de driehoek Heibaart-Turnhout-Poederlee, mogelijk door een andere begravingsgeschiedenis, gekenmerkt door meer uitgesproken fasen van opheffing.

2.2.1 Historische initiatieven

De eerste indicaties van gunstige geothermische eigenschappen van carbonaatgesteenten in het Bekken van de Kempen dateren van 1950 (archieven van de Belgische Geologische Dienst; Broothaers et al., 2021). In een boring in het centrum van de stad Turnhout (017E0225, 1953-1955, totale diepte 2700 m) werd op 2100 m diepte een permeabel kalksteenpakket uit het onder Carboon (het zogenaamd Dinantiaan) aangetroffen met anomaal hoge temperaturen tot boven de 100°C (102°C op 2200 m, Grosjean, 1954). Enkel de bovenste 50 m van de carbonaten bleek watervoerend. Dit wijst erop dat de top van deze carbonaten gekarstifieerd is, met oplossingsholten in het gesteente die voor een sterk verhoogde doorlatendheid zorgen. De boring werd gedicht op een diepte van 800 m en het water uit de Krijtaquifer werd tot 1973 rechtstreeks gebruikt als zwemwater (zwembad Kursaal). De boring was tot 1982 in bedrijf als geothermische bron.
Ook de verkenningsboring Heibaart 1 bis in 1962 van een exploratiecampagne naar het voorkomen van koolwaterstoffen in het Bekken van de Kempen (door Petrobelge) trof een verhoogde permeabiliteit aan in de top van het Dinantiaan (Bless et al., 1981).
In de periode 1977-1980 werden verschillende verkenningsboringen in Heibaart (Loenhout) door het toenmalige Distrigaz (nu Fluxys) uitgevoerd in het kader van ondergrondse gasopslag in de Carboon-carbonaten. Ook deze boringen wezen op het regionaal voorkomen van karstzones aan de top van het Dinantiaan.

Naar aanleiding van de oliecrisis stak de interesse in diepe geothermie weer de kop op in de late jaren 1970 en begin 1980. Omdat er in die periode voornamelijk vraag was naar temperaturen boven 60°C werd het Dinantiaan ook toen de belangrijkste te onderzoeken aquifer. Een nieuw geothermisch exploratieproject in Meer-Hoogstraten had als doel warmte te leveren aan de glastuinbouw. De boring Meer (007E0205) bereikte met een einddiepte van 2515 m de kalkstenen niet, door een onverwacht dik schieferpakket van het boven Carboon. Het water had een

temperatuur van 35°C, zoutgehalte van 30 g/l en kon opgepompt worden met een debiet van 20 m³/u. Deze put werd nooit in gebruik genomen.
Een tweede boring te Beerse-Merksplas (017E0265, 1983), meer zuidelijk van Meer, bereikte het Dinantiaan wel. Het doel was de penitentiaire instellingen en de glastuinbouw te voorzien van warmte. Door een lagere productiviteit dan verwacht en ongunstige economische evolutie (dalende olieprijzen) werd het project stopgezet. Het project zou bestaan uit de productieput in het Dinantiaan, en een ondiepere injectieput in het Krijt op 800 m diepte (geboord in 1987). De putten werden nooit als dusdanig in gebruik genomen, maar zijn nog toegankelijk als monitoringsputten van het netwerk dat door Fluxys wordt onderhouden. Put 017E0265 leverde water van 72°C aan 75 m³/u op een diepte van 1761 m (Vandenberghe et al., 2000).

Na deze exploratieprojecten werd de volgende jaren niet meer geboord naar het Dinantiaan, maar wel werden wetenschappelijke studies uitgevoerd naar het geothermisch potentieel in Vlaanderen, meer bepaald van het Dinantiaan en de zandstenen van Neeroeteren van het boven Carboon in het Bekken van de Kempen (Vandenberghe & Fock, 1989; Berckmans & Vandenberghe, 1998).
In 2012 werden nieuwe geothermische projecten ontwikkeld in het Dinantiaan in het Nederlandse Venlo, met als warmte-afnemers de glastuinbouw. Deze projecten maakten gebruik van de data die de voorbije decennia in de Belgische Kempen werden vergaard. Hier werd naast het voorkomen van karstholtes ook gerekend op de aanwezigheid van verhoogde doorlatendheid langs een (actieve) breuk. De eerst boring was succesvol, vanop een diepte van ongeveer 1500 m tot 1700 m werd water van 80°C geproduceerd met een debiet van 240 m³/u. Er werden de volgende jaren injectie- en productie-boringen bijgeplaatst, en er werd een tweede geothermisch project gerealiseerd. Echter, door geïnduceerde seismiciteit werden beide projecten in 2018 stopgezet.
In Vlaanderen werd in 2014 een nieuwe studie (VITO et al., 2014) uitgevoerd naar het geothermische potentieel van diepe aquifers in Vlaanderen in het dieptebereik van 500 tot 4000 m. Meer bepaald werden de volgende aquifers ge(her)evalueerd: Krijt, Trias (Buntsandstein), boven Carboon (Zandsteen van Neeroeteren) en het Dinantiaan (Carbonaat-reservoir). De studie wees in de richting van gecombineerde 'heat-and-power productie in de diepere delen van het Kempens Post-Brabantisch Bekken.

2.2.2 Huidige projecten

Met het opzet om het potentieel voor geothermie in de praktijk te onderzoeken en eventueel te exploiteren werd er in Mol met het project Balmatt gestart (Vlaamse Overheid, 2018, 2023a). Het eerste objectief was om de geothermische eigenschappen van het Dinantiaan op een diepte van 3000 m te onderzoeken. De eerste testboring (MOL-GT-01, 2015) wees op gunstige temperatuur (128°C, Bos & Laenen, 2017) en transmissiviteit, waarschijnlijk door de aanwezigheid van een permeabele breuk. Dit leidde tot de plaatsing van een tweede boring, (MOL-GT-02, 2016) teneinde een geothermisch doublet te realiseren. Zo kon de technische en economische haalbaarheid van een geothermische centrale worden geëvalueerd. Naast het leveren van warmte aan de omliggende bedrijven werd ook de productie van elektriciteit getest (via een ORC-installatie). In 2017 werd MOL-GT-03 geboord met als doel een hogere warmteproductie te generen om warmtenetten van Dessel en Mol te bevoorraden. Eveneens werden de diepere lagen van Devoonouderdom verkend. Deze boring leverde echter niet het gewenste debiet. Gedurende de testperiode in 2018-2019 werden verschillende seismische trillingen waargenomen, waarvan de sterkste (magnitude 2, 2 juni 2019) leidde tot de stopzetting van de testen. In de lente van 2021 werd de activiteit hervat, zij het aan lagere debieten en injectiedrukken. Dit doublet is niet continu in gebruik, maar blijft wel gekoppeld aan het warmtenetwerk.

Het bedrijf Janssen Pharmaceutica te Beerse (gelegen tussen de verkenningsboringen Beerse-Merksplas en Turnhout) plaatste twee geothermische boringen (Beerse-GT-01a[1], 2019; GT-02, 2020) om hun bedrijfssite van duurzame warmte te voorzien. Vanop een diepte van 2200 m produceren ze temperaturen van 85°C met een gunstig debiet (Vlaamse Overheid, 2023b). Gedetailleerde resultaten van de puttesten zijn niet publiek beschikbaar, maar vooral de injectieput (GT-02) lijkt uitzonderlijk goede injectie-eigenschapen te hebben (60 l/s bij drukverschil van ~1 bar boven hydrostatisch). Voor de productieput (GT01a) bedraagt het drukverschil bij 60 l/s -10 bar (hoorzitting Diepe Geothermie Vlaams Parlement 12/01/2021). Gedeeltelijk, maar zeker niet volledig, wordt dit verklaard door de langere filterlengte in GT02 (1492.31 m) dan in GT01a (886.08 m). Voor ingebruikname werd de reservoirtemperatuur bepaald op ongeveer 83°C. In 2021 werd de oppervlakte-installatie gebouwd en werd gewerkt aan de aankoppeling van het lokaal warmtenet. De geothermiecentrale draait nog steeds in proeffase. Hiervoor werd de opsporingsvergunning verlengd en is de langdurige test ter voorbereiding van de winningsfase nu lopende.

2.2.3 Aangekondigde projecten

HITA is een lokaal ontwikkelingsbedrijf dat inzet op geothermie. Het ondersteunt bedrijven en overheden bij het realiseren van geothermische projecten. Er zijn ook andere actoren die de leiding nemen bij het indienen van vergunningsaanvragen voor diepe geothermie projecten. Momenteel worden projecten voorbereid in Turnhout (Vlaamse Regering, 2022), Herentals-Olen, Lommel en Merksplas die zich minstens gedeeltelijk op het Kempens Post-Brabantisch Bekken richten[2]. Deze projecten bevinden zich in verschillende stadia van voorbereiding; enkel voor Turnhout werd reeds effectief een opsporingsvergunning verkregen.
Daarnaast worden ook op supra-regionale schaal actief de mogelijkheden van geothermie in het Dinantiaan onderzocht, zie bijvoorbeeld de geharmoniseerde kaarten voor diepte, dikte en potentieel voor België, Nederland, Duitsland en Frankrijk[3].

2.3 GEOTHERMIE IN ANDERE GEOLOGISCHE EENHEDEN

In Vlaanderen bleven actieve en historische geothermische projecten beperkt tot het Kempens Post-Brabantisch Bekken. Er bestaat potentieel in andere eenheden, dat ook door enkele projecten in voorbereiding erkend wordt.

2.3.1 Massief van Brabant

2.3.1.1 Aangekondigde projecten

Een tot nu toe onverkende, en daarom hypothetische lithotektonische eenheid, zijn granietbatholieten gesitueerd in de zuidelijke rand van het Massief van Brabant. Aanwijzingen hiervoor zijn gravimetrische en aeromagnetische gegevens, en ook de regionale vervorming wijst op een rigide blok in de ondergrond. De meest gangbare hypothese is dat een reeks van granietbatholieten in een NW-ZO-georiënteerde band voorkomt, waarvan de top van de meest ondiepe zich op een diepte van iets meer dan een kilometer zou bevinden. Twee alternatieve hypothesen zijn deze van een fossiel bekken gevuld met zandsteen, of tektonische schubben van Proterozoïsch korstmateriaal (De Meyer, 1984; Sintubin & Everaerts, 2002).
In de omgeving van Wielsbeke (gravimetrische anomalie van Oostrozebeke) werd een opsporingsvergunning aangevraagd en verkregen in 2024 voor een boring tot in het vermoedelijke

[1] De ‘a’ in GT01a verwijst naar de nieuwe zijtak die in boring GT01 werd uitgevoerd na instabiliteit van het initiële boorgat.
[2] https://www.hita.be/projecten/
[3] https://www.europe-geology.eu/scientific-themes/geoenergy/dge-rollout/

granietlichaam. Het beoogde project mikt op de techniek van éénputsgeothermie voor industrieel warmtegebruik.
Ook in andere locaties in het Massief van Brabant, buiten de hypothetische granietbatholieten, bestaat interesse voor diepe geothermische éénputsprojecten. Voor een project in Bredene werd een vergunning verkregen (Vlaamse Overheid, 2024).

2.3.1.2 Potentiële projecten

Omwille van de onzekere of lage doorlatendheid en het dieptebereik van het Massief van Brabant (dat ook onder de Kempen voorkomt) is het een typische eenheid die in aanmerking komt voor EGS projecten (Enhanced Geothermal System). Bij de meest typische van deze systemen wordt een gesteente aangeboord dat ofwel door de diepte, ofwel door zijn intrinsieke eigenschappen, onvoldoende natuurlijke doorlatendheid heeft, en artificieel wordt gefractureerd. Daarna kan op een gelijkaardige manier als bij een doubletsysteem warmte worden onttrokken. EGS wordt meestal geassocieerd met grootschaligere en diepere projecten waarbij elektriciteitsgeneratie het hoofddoel is. Er zijn geen concrete plannen om EGS toe te passen in Vlaanderen.
Dit geldt ook voor meer innovatieve technieken om éénputsgeothermie uit te voeren. Deze technieken omvatten verschillende voorstellen om warmte aan de diepe ondergrond te onttrekken (zie overzicht door Khodayar & Björnsson (2024), die mogelijk, nu of in de verdere toekomst, potentieel toegepast kunnen worden in Vlaanderen. Momenteel zijn hier geen concrete plannen voor.

2.3.2 Kempens Subvoorlandbekken en het Trias-Jura Riftbekken

2.3.2.1 Aangekondigd project

Het aangekondigde project Lommel van HITA beoogt naast het Dinantiaan ook de minder diep gelegen Formatie van Neeroeteren (poreuze zandstenen, soms conglomeratisch, die de jongste lagen vormen van het Kempens Subvoorlandbekken), en de Buntsandstein Formatie (voornaamste reservoirgesteente van het Trias-Jura Riftbekken) bestaande uit de leden van Bullen, Bree en Gruitrode[2].

2.3.2.2 Potentieel project

De steenkoolmijnen in het Kempens Subvoorlandbekken vormen een belangrijke historische infrastructuur en kunnen fungeren als een artificieel reservoir. Het mijnwater aanwezig in de mijngangen kan als warmtebron gebruikt worden.

2.3.3 Krijtbekken

In het Krijtbekken zijn de kalkarenieten van de formaties van Maastricht (boven Krijt) en Houthem (onder Paleoceen) aanwezig.

2.3.3.1 Historisch project

Zoals reeds aangehaald, werd de boring van Turnhout (017E0225, 1953-1955, totale diepte 2700 m) oorspronkelijk uitgevoerd tot het Dinantiaan op 2100 m diepte, maar daarna gedicht op een diepte van 800 m om het water uit de Krijtaquifer rechtstreeks te gebruiken als zwemwater (zwembad Kursaal) tot 1973, en daarna als geothermische bron tot 1982. In 1969 werd in Herentals rechtstreeks naar het Krijt geboord, ook voor gebruik als zwembadwater. Deze put bereikte een diepte van 612 m en leverde water van 27 tot 28°C. Het water werd tot het jaar 2000 gebruikt toen het niet bleek te voldoen aan de VLAREM normen (voor zover bekend omwille van bacteriële overschrijdingen). In 1987 werd in Dessel een put geboord tot 700 m waaruit water met een temperatuur rond 30°C werd geproduceerd aan een debiet tot 15 m^3/u voor gebruik in viskweek. De put raakte buiten gebruik na faillissement.

2.3.3.2 Potentiële projecten

De reservoirgesteenten van het Krijtbekken verdiepen naar het noordoosten van de Kempen toe, maar bereiken niet de dieptes van bijvoorbeeld het Dinantiaan reservoir. In het Brain-project DESIGNATE werd door VITO een model uitgewerkt dat éénputsprojecten simuleert, die door de kleinere investering en schaal ten opzichte van doubletten mogelijk makkelijker te linken zijn aan de lokale warmtevraag.

2.4 VOLUMETRISCHE SCHATTING

De meeste relevante schattingen voor België werden gemaakt door Vandenberghe & Fock (1989), hernomen in Hurter & Haenel (2002) waarin bijkomende detaillering voor de berekeningen wordt gegeven, en voor het Kempens Bekken bijgewerkt in het project GEOHEAT-APP (VITO et al., 2014). Beide methodologieën hebben een aantal grensvoorwaarden gemeen, en ook de focus op reservoirs geschikt voor doubletsystemen. Daarom ontbreekt de schatting voor het potentieel van bijvoorbeeld het Massief van Brabant. Andere schattingen gebaseerd op dezelfde methode als Hurter & Haenel (2002) werden niet specifiek voor Vlaanderen gemaakt (Veldkamp & HotLime Team, 2021; Nelskamp et al., 2022), en verschillen voornamelijk doordat ze de totale beschikbare warmte berekenen, en rekening houden met verschillende graad van afkoeling (bv. injectietemperatuur 18°C of 50°C).

De studies Vandenberghe & Fock (1989) en VITO et al. (2014) gaan beide uit van een minimale temperatuur van 25°C, wat voor Vlaanderen ongeveer overeenkomt met de aanvangsdiepte van de diepe ondergrond (-500 mTAW, VITO et al., 2014). Beide veronderstellen dat slechts één derde van de aardwarmte winbaar is (33%), maar verschillen in de maximale diepte voor geothermieprojecten (2500 m versus ~4000 m) omwille van verschillende techno-economische grenzen. Daarna lopen de methodologieën verder uit elkaar, waarbij Vandenberghe & Fock (1989) terugvallen op een statistische analyse van temperatuurgegevens, terwijl GEOHEAT-APP de temperatuur, reservoireigenschappen en techno-economische afwegingen combineert. De resultaten van GEOHEAT-APP kunnen daarom als meer nauwkeurig worden beschouwd. Het grotere dieptebereik heeft een belangrijke invloed op het potentieel van het Dinantiaan in het Kempens Post-Brabantisch Bekken, dat meer dan een factor 3 hoger wordt ingeschat in de meer recente studie (tabel 1). Andere factoren, zoals waarschijnlijk de techno-economische beïnvloeding door permeabiliteitsvermindering met diepte, zorgt, met uitzondering van de Neeroeteren zandstenen, voor een sterk verlaagde inschatting van andere siliciklastische eenheden.
In het DESIGNATE project werd een analyse gemaakt van de onzekerheden van diepte en temperatuur van het Dinantiaan reservoir als geothermische resource (De Koninck et al., 2022). Er wordt aangetoond dat, afhankelijk van de gebruikte dataset, berekeningen van het geothermisch potentieel sterk uiteen kunnen lopen, m.n. door variatie in diepte tussen modellen (tot 500 m verschil tussen GEOHEAT-APP en G3Dv3).

Geothermal aquifer	Recoverable heat (10^9 GJ)	
	Berckmans & Vandenberghe, 1989	VITO et al., 2014
Cretaceous chalks	1.77	0.46
Triasic sandstones	5.08	1.18
Neeroeteren sandstones	0.12	4.42
Lower Carboniferous limestone	4.45	13.02
Total	11.42	19.07

Tabel 1: Schatting van winbare aardwarmte met doubletsystemen voor diepe reservoirs in Vlaanderen (Bos & Laenen, 2017) (zie ook digitale bijlage).

Eénputsgeothermie is veel minder afhankelijk van reservoireigenschappen en kan veel vrijer worden toegepast, in principe in de hele diepe ondergrond van Vlaanderen. Indicatief berekenen we hier de mogelijke warmteopbrengst voor het Massief van Brabant. Als doelgebied nemen we het subcropgebied (niet afgedekt door Devoon), omdat daarbuiten de top vrij snel te diep ligt. De berekening is identiek aan Hurter & Haenel (2002), waarbij we een maximale diepte tot 2500 m veronderstellen (wegens minder mature technologie dan voor doubletten), een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 12°C, een injectietemperatuur van 25 °C (waaruit een minimale diepte van ongeveer 500 m volgt). De technologische *recovery factor* voor éénputssystemen die voor deze formule wordt aangeraden is 0.1 (Gringarten, 1978). Mogelijk is deze doorheen de tijd verbeterd, maar deze parameter blijft ondergeschikt in vergelijking met andere parameters in de berekeningswijze. Porositeit varieert sterk afhankelijk van formatie, en wordt hier laag geschat (2%) om de berekening conservatief te houden. De relatieve densiteit van het gesteente wordt geschat op 2.75 (mediaan van metingen in Van Noten et al., 2019), en voor de specifieke warmtecapaciteit van het gesteente wordt 2000 J/(kg K) aangenomen. Omdat de berekening enkel de temperatuur aan de top van het reservoir gebruikt, wordt de ondergrond opgesplitst in 4 lagen van 500 m dikte. Dergelijke berekeningen resulteren, ondanks de conservatieve schatting van de winbaarheidsfactor, in zeer hoge heat-in-place (HIP, aanwezige warmte) schattingen omwille van het grote volume, in dit geval ongeveer 180 10^9 GJ (10 maal meer dan de klassieke reservoirs in Vlaanderen, tabel 2).

			Depth range				
			500-2500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500
P	porosity	-	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Rho_m	density rock matrix	g/m^3	2.75E+06	2750000	2750000	2750000	2750000
c_m	specific heat capacity rock matrix	*J/(g.K)*	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
Rho_w	density formation water	g/m^3	1.04E+06	1040000	1040000	1040000	1040000
c_w	specific heat capacity formation water	*J/(g.K)*	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
T0	surface temperature	°C	12	12	12	12	12
T_t	temperature top reservoir	°C		27	42	57	72
A	area reservoir	m^2	1.00E+10	1.00E+10	1.00E+10	1.00E+10	1.00E+10
dZ	thickness reservoir	*m*	500	500	500	500	500
R0	recovery factor	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
H0	heat in place	*GJ*	**1.80E+11**	1.80E+10	3.6E+10	5.39E+10	7.19E+10

Tabel 2: Schatting van de aanwezige aardwarmte in het pre-Perm subcropgedeelte van het Massief van Brabant, theoretisch winbaar via éénputsgeothermie (zie ook digitale bijlage).

Het is belangrijk om deze schatting juist te kaderen. De volledige warmtevraag in België bedraagt ongeveer 165 TWh[4] (594 10^6 GJ), en vertegenwoordigt daarmee bij benadering de helft van de totale energievraag. Aan onze huidige warmtebehoefte kan daarom voor ongeveer 300 jaar voldaan worden door de warmte opgeslagen in de diepe ondergrond. Dit is echter een zeer ruime bovengrens voor de hoeveelheid warmte die de ondergrond effectief kan leveren in een realistisch techno-economisch scenario, een cijfer dat nog verder verlaagd wordt door sociale factoren. Bijvoorbeeld, het verwezenlijken van dit potentieel voor éénputsgeothermie zou gepaard gaan met een zeer hoge putdensiteit. Bij de schattingen voor reservoirs die uitgaan van meer traditionele doubletten is deze discrepantie kleiner, maar ook hier moet met de nodige voorzichtigheid met deze getallen worden gerekend en gepland.

[4] Presentatie van project Heat RoadMap Europe, 2017, online beschikbaar op https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/11/HRE4-Country_presentation-Belgium.pdf

Naar duurzaamheid toe is dit cijfer wel betekenisvol, omdat het een eerste indicatie geeft van hoe snel het geothermisch potentieel wordt uitgeput bij snelle ontginning. Hoe groter het potentieel, hoe kleiner de kans dat toekomstige generaties niet op dezelfde manier kunnen beschikken over de Vlaamse ondergrond als onze generatie. Voor éénputsgeothermie lijkt de kans op uitputting miniem bij de huidige vraag, maar doubletsystemen vragen een meer gedetailleerde beschouwing (zie bespreking in deelrapport D7). Daarnaast moet voor beide opties ook in rekening worden gebracht dat de cijfers zeer onzeker zijn en mogelijk een sterke overschatting van de effectief ontginbare aardwarmte voorstellen. Niet over het gehele gebied kunnen projecten met dezelfde graad van succes ontwikkeld worden.

3 POTENTIEEL VOOR WARMTEOPSLAG

Warmteopslag in de diepe ondergrond wordt momenteel niet toegepast in Vlaanderen (Lagrou et al., 2020). Dit hoofdstuk richt zich dan ook op potentiële projecten voor Vlaanderen, aan de hand van een voorbeeld uit het buitenland .
Tijdelijke opslag van thermische energie in de diepe ondergrond met het oog op later hergebruik gebeurt om onevenwichten tussen vraag en aanbod te drukken en zo flexibeler en met grotere zekerheid energie te kunnen leveren. Dit hoofdstuk bespreekt enkel thermische energieopslag op een diepte groter dan -500 mTAW. Het betreft in eerste instantie seizoensopslag voor warmtelevering. Het temperatuurbereik van de opslag wordt voornamelijk bepaald door het temperatuurprofiel van de warmte-afnemers, de gewenste energie-inhoud van de opslag en de eigenschappen van de geologische formatie waarin de opslag plaatsvindt.
De meeste thermische energieopslagsystemen op grotere diepte maken gebruik van aquifers, meer dan voor ondiepe systemen. Dit heeft te maken met de grote warmtecapaciteit van water en het beperkt aantal boringen dat nodig is om de opslag te bedrijven. Hoge temperatuuropslag in gesteenten met een lage porositeit en doorlatendheid is technisch ook mogelijk, maar dan via de technologie van diepe aardwarmtesondes.
Geothermische éénputsprojecten kunnen na economische uitputting potentieel een nieuwe bestemming krijgen als warmteopslagprojecten, wat een verduurzaamd gebruik van de diepe ondergrond zou zijn (Westaway, 2018).

3.1 BUITENLANDS PROJECT

Naast natuurlijke aquifers bezitten de verlaten steenkoolmijnen potentieel voor energieopslag. Een voorbeeld van dergelijk mijnwaterproject bevindt zich in de Nederlandse gemeente Heerlen. Het project gebruikt de ondergrondse mijninfrastructuur van de voormalige steenkoolmijnen voor de tijdelijke opslag van overtollige warmte en koude die beschikbaar is binnen het lokale stadsverwarming- en koelingsnetwerk. De voormalige mijnactiviteiten hebben een uitgebreid ondergronds netwerk van achtergelaten open gangen met daartussen poreuze zones van ingestorte en opgevulde gemijnde panelen. De ontgonnen steenkoollagen (panelen) zijn steeds met één of meerdere gangen (steengangen, op- en neerbraken, galerijen…) verbonden. Zo ontstaat er een stelsel van kanalen met bijhorende, grotendeels restporositeit. In vergelijking tot de intrinsieke porositeit van het gesteente, waarin dit netwerk aan holle ruimten is gecreëerd, is de restporositeit van de verschillende elementen die dit stelsel opbouwen groot. Daarenboven gaat het om een effectieve (verbonden) restporositeit. De ontginning van steenkool heeft, met andere woorden, een zeer permeabel ondergronds (mijnwater)reservoir gecreëerd binnen een oorspronkelijk nagenoeg niet-doorlatend gesteente. In tegenstelling tot de mijn in Heerlen bevinden de verlaten steenkoolmijnen in Vlaanderen zich grotendeels dieper dan -500 mTAW, dus maakt deze infrastructuur deel uit van de diepe ondergrond.

3.2 VOLUMETRISCHE SCHATTING

Er zijn geen voorgaande studies waar het potentieel aan warmteopslag werd geschat voor de diepe ondergrond in Vlaanderen. In deze studie wordt warmteopslag behandeld als koude-warmteopslag in steenkoolmijnen, waarvoor we een initiële inschatting kunnen maken, en wordt er op langere termijn ook rekening gehouden met hoge-temperatuuropslag in boorgaten.

3.2.1 Koude-warmteopslag in steenkoolmijnen

Voor koude-warmteopslag in gesloten steenkoolmijnen kan, voor het maken van een theoretische potentieelschatting, ervan uitgegaan worden dat er twee afgescheiden volumes beschikbaar zijn, elk met hoge permeabiliteit. Voor deze berekening wordt verondersteld dat de watertemperatuur aan de start van het verwarmingsseizoen in evenwicht is met de omgeving. Met andere woorden, de watertemperatuur wordt berekend met de geothermische gradiënt en de gemiddelde diepte. De minimumtemperatuur van het koude watervolume is afhankelijk van de toepassing voor verwarming, en wordt bepaald door de injectietemperatuur. In deze studie wordt uitgegaan van een injectietemperatuur van 20°C. Verder wordt een efficiëntiefactor toegepast op het totaal theoretisch bereikbare volume; een conservatieve schatting van 20% wordt hier gebruikt, maar is afhankelijk van de geologische setting, de configuratie van de mijngangen- en schachten, en veranderingen na sluiting van de mijnen (afsluiten van schachten, instorting van gangen etc.). De soortelijke warmtecapaciteit van water is nodig om met het temperatuurverschil de warmteopbrengst te berekenen. Verder dient er rekening mee gehouden te worden dat het seizoensopslag betreft, en wordt verondersteld dat de helft van het jaar warmte wordt geproduceerd, en de andere helft koude, met dezelfde nuttige energie-inhoud. Voor de concrete case meegenomen in de impactanalyse veronderstellen we een totaal beschikbaar volume van 5 890 000 m³ van Beringen Mijn met een gemiddelde diepte van 800 meter, geothermische gradiënt van 35 °C/km en een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10°C. De thermische capaciteit van de helft (er zal een koud en warm deelreservoir zijn) van het volume water op 38°C, rekening houdend met een efficiëntiefactor van 20% bedraagt: (0.2 * 5890000 m³ / 2) * (38°C - 20°C) * 0,001163 MWh/(m³.K) = 12 330 MWh. Uitgaande van een gebalanceerd systeem (evenveel vraag naar koude als warmte) bedraagt voor een volledig jaar de energie beschikbaar voor verwarming en koeling (de thermische capaciteit) dus 24 660 MWh. Deze thermische capaciteit blijft even groot indien dit reservoir enkel voor geothermie gebruik zou worden, behalve dat net zoals bij klassieke geothermiesystemen de warmte op termijn uitgeput kan raken (systeem niet in evenwicht).
Een inschatting van het totale residuele volume van de steenkoolmijnen in Vlaanderen door Piessens & Dusar (2004) bedraagt 32,3 miljoen m³, vergelijkbaar met minimaal 35 miljoen m³ door van Tongeren & Dreesen (2004). Een recentere herberekening (Lagrou et al., 2020) komt op een hogere schatting uit van c. 44 miljoen m³. Het verschil met de eerdere schattingen lijkt vrijwel volledig terug te brengen op een andere aanname van de effectieve porositeit in ingestorte delen van de mijn. De schatting van het ingestorte volume (buffervolume in Lagrou et al., 2020) wordt berekend uitgaande van 8% restporositeit (Lagrou et al., 2020) op basis van een vergelijkende studie, terwijl de eerdere referenties uitgaan van 5.5% op basis van experimentele gegevens. Terugrekenen van 8% naar 5.5% voor het buffervolume, vermindert het totaal van 44.0×10^6 m³ tot 33.8×10^6 m³. Voor de extrapolatie gaan we uit van de meer conservatieve schattingen. Zonder rekening te houden met verschillen in diepte of configuratie, kan het resultaat van het rekenvoorbeeld voor Beringen Mijn geëxtrapoleerd worden naar 135 GWh aan thermische capaciteit voor gecombineerd verwarmen en koelen voor Vlaanderen (indien Beringen Mijn ontwikkeld zou worden als zuiver geothermisch project zou de jaarlijkse thermische capaciteit gelijkaardig zijn).
Deze capaciteit lijkt relatief klein in vergelijking met het Vlaamse geothermische potentieel. Het is echter een relatief lokaal potentieel dat dan ook in lokale context bekeken moet worden. Bovendien neigen deze schattingen naar deze van concreet realiseerbare projecten (in tegenstelling tot regionale schattingen), en zijn ze daardoor realistischer. Een belangrijk bijkomend element is dat, voor zover koude-warmte projecten gebalanceerd kunnen opereren, ze de ondergrond niet uitputten.

3.2.2 Warmteopslag in éénputsboringen

Zoals in §2.4 werd aangetoond is het theoretische warmtepotentieel van de diepe ondergrond met éénputssystemen in Vlaanderen zeer groot, en dat geldt analoog ook voor hoge temperatuursopslag in éénputsboringen, eventueel nadat deze eerst voor geothermische doeleinden werden uitgebaat. Het realiseerbare potentieel ligt vrijwel zeker verschillende grootteordes lager dan het theoretisch potentieel. Op dit moment zijn meer gedetailleerde berekeningen van het potentieel niet zinvol zonder gericht onderzoek naar de praktisch realiseerbaarheid van dit type geothermie (dieptebereik, efficiëntie, projectduur, ruimtelijke inplanting…).

4 OPSLAG VAN AARDGAS

De opslag van aardgas is wereldwijd een courante praktijk die zorgt voor continuïteit van bevoorrading in een dynamische keten van vraag en aanbod. Geologische opslag staat meestal in voor midden- en lange-termijn buffering, ruwweg van dag-nacht cycli in aanvraag tot het aanleggen van strategische reserves op de termijn van seizoenen. Voor gasopslag wordt een veelheid aan reservoirs gebruikt, zoals uitgeputte olie- en gasvelden en zoutcavernes. Relevant voor Vlaanderen is opslag in aquifers en eventueel in verlaten steenkoolmijnen.
Opslag in aquifers is mogelijk indien een geologische configuratie bestaat die gelijkaardig is aan een klassiek gas- of olieveld: een voldoende permeabele laag die naar boven toe wordt afgesloten door een weinig of niet-doorlatende laag, met een koepelvormige of gelijkaardige geometrie zodat geïnjecteerd gas door het densiteitsverschil met het zwaardere formatiewater binnen deze structuur gevangen blijft. Slechts een deel van het geïnjecteerde gas is voldoende mobiel om als werkgas gebruikt te worden; initieel wordt een belangrijke hoeveelheid aardgas geïnjecteerd (soms meer dan de hoeveelheid werkgas) dat als kussengas fungeert. Dat kussengas kan enkel bij het definitief verlaten van een opslagsite gedeeltelijk teruggewonnen worden, door langdurige onttrekking.
Steenkoolmijnen werden slechts uitzonderlijk als reservoir voor aardgas gebruikt. Historisch werden enkel de steenkoolmijnen van Anderlues en Peronnes in België en deze van Leiden in de Verenigde Staten gebruikt voor de opslag van aardgas (Piessens & Dusar, 2004) . Op dit moment wordt dit nergens meer toegepast omwille van kostprijs of veiligheidsrisico's. De verlaten mijnen in Vlaanderen zijn ondertussen onder water gelopen en komen daardoor niet meer in aanmerking voor gasopslag.

4.1 KEMPENS POST-BRABANTISCH BEKKEN

In het Kempens Post-Brabantisch Bekken vormen de afzettingen van Dinantiaanouderdom de jongste lagen. Lokaal hebben deze lagen goede reservoireigenschappen, meer bepaald waar ze verkarst zijn. De processen die deze oplossingen veroorzaken, zijn gelokaliseerd en kunnen gebonden zijn aan reeds aanwezige discontinuïteiten in het gesteente, zoals breuken of fracturaties. Ook kunnen deze holtes volgens de verticale richting voorkomen. Dit is een vorm van spleetporositeit met soms hoge doorlatendheid, maar niet noodzakelijk een even hoge porositeit van het gesteente zelf.
De lagen van het Kempens Post-Brabantisch Bekken worden regionaal afgedekt door de dominant siliciklastische afzettingen van het Kempens Subvoorlandbekken. Deze beginnen met zwarte schalies van de vrij dunne maar karakteristieke Formatie van Chokier, en worden gevolgd door de nog steeds dominant fijnkorrelige Formatie van Andenne.

Slechts twee koepelstructuren in het Dinantiaan zijn bekend, in de regio van Heibaart (Loenhout) en van Poederlee, waarvan de koepel van Heibaart in uitbating is voor de opslag van aardgas. Beide koepelstructuren komen voor in de regio Heibaart-Turnhout-Poederlee die gekenmerkt wordt door relatief minder subsidentie tijdens het Paleozoïcum dan de omliggende gebieden. Een recente hypothese is dat één of meerdere laag-densiteitslichamen (granietintrusies) onder dit gebied voorkomen (mondelinge presentaties VITO op 06/10/2023, Dinantiaan workshop). Deze zouden ook de breukbegrensde opheffing kunnen verklaren die de koepelstructuur van Loenhout heeft gevormd.
Deze geringere subsidentie verklaart de hogere graad van verkarsting die voor goede reservoireigenschappen zorgt, alsook de lokale afwezigheid van de Formatie van Chokier

(waarschijnlijk afwezig centraal op de koepel, waarschijnlijk wel aanwezig op de flanken) en de verminderde dikte van de Formatie van Andenne, die dan de noodzakelijke afsluitende laag vormt.

4.1.1 Project

De koepel van Heibaart werd door Fluxys ontwikkeld als de ondergrondse opslagsite van Loenhout voor aardgas. De verminderde afsluiting op de koepel van Heibaart werd beschadigd door de eerste boring die centraal in deze koepel werd uitgevoerd. Deze boring ging verloren, en afdichtingsoperaties door cementinjectie via een tweede boring waren een onvolledig succes. Dit wordt door aangepast reservoirbeheer gecompenseerd.
Specifiek aan de opslag in Loenhout is dat deze als dynamisch systeem in stand wordt gehouden. Meer bepaald in de zuidwestelijke zone mag aardgas tot op een diepte van -1340 mTAW worden opgeslagen[5] (tov -1295 mTAW elders[6]), een situatie die enkel door actieve injectie en onttrekking in stand gehouden kan worden. De huidige opslagcapaciteit van de Heibaart structuur bedraagt 7,6 TWh voor aardgas[7] (zie §4.5 voor details).

4.1.2 Potentiële projecten

In het Kempens Post-Brabantisch Bekken is ook de koepel van Poederlee een verkende maar niet-geëxploiteerde structuur. Deze koepel is gelijkaardig, maar aanzienlijk kleiner dan de in gebruik zijnde opslagsite van Loenhout. Een exploratie-exploitatieverzoek van het consortium BUGS NV om Poederlee te ontwikkelen voor opslag van aardgas, werd op 24 januari 2006 onontvankelijk verklaard op verschillende gronden, ondermeer omdat Poederlee binnen een gebied viel waarop Fluxys aanspraak kon maken (KB van 10/10/1983). Daarna voerde Fluxys in 2007 een seismische campagne uit over Poederlee. De gegevens hiervan zijn niet publiek. Momenteel heeft Fluxys slechts één concessie die Poederlee niet omvat.
Poederlee is een potentiële opslagsite, meer bepaald als kleinere opslaglocatie voor aardgas, zij het eerder door een derde partij dan door de huidige operator van de grotere en goed gekende opslaglocatie te Loenhout, Fluxys.
Het Kempens Post-Brabantisch Bekken blijft onvolledig verkend, en een doorgedreven seismische campagne kan nog bijkomende, tot nu toe, onbekende koepelstructuren aan het licht brengen. Waar deze eventueel worden aangetroffen, moeten ook de (karst-gerelateerde) reservoireigenschappen bevestigd worden, net als de afsluitende eigenschappen van de bovenliggende formatie.

4.2 KEMPENS SUBVOORLANDBEKKEN

De Formatie van Neeroeteren is een goed reservoirgesteente, maar het bestaan van goed afgesloten invangstructuren zijn om meerdere redenen onzeker. In een recente studie (Rombaut & Deckers, 2020) worden een aantal lineamenten of opwelvingen geherinterpreteerd als asymmetrische anticlines (anticlines van Gruitrode en Donderslag) die tijdens het laatste Carboon of vroegste Perm gevormd zouden zijn in een post-Variscische regionale strike-slip vervorming. Dezelfde studie is ook belangrijk omwille van de herziene verbreiding van de Formatie van Neeroeteren. Zie §6.3 voor een algemene geologische bespreking over deze formatie (in het kader van CO_2-opslag), maar we kunnen hier al opmerken dat de anticlines van Gruitrode en Donderslag geen afgesloten koepelstructuren vormen, omdat hun vorming plaats vond vóór de sedimentatie van mogelijke afsluitende lagen, waardoor deze jongere lagen geen deel uitmaken van de anticline.

5 eli/besluit/2008/04/29/2008011182/staatsblad
6 eli/besluit/2006/09/28/2006011452/staatsblad
7 https://www.fluxys.com/nl/about-us/fluxys-belgium/infrastructure

Van de drie steenkoolmijnen die wereldwijd gebruikt werden voor de opslag van aardgas, bevinden twee zich in België in het Subvoorlandbekken van Bergen (Anderlues en Péronnes-lez-Binche), in Westfaliaan gesteenten. Deze werden door Fluxys uitgebaat, maar zijn ondertussen verlaten. Zowel technisch als economisch zijn dit vrij moeilijke en relatief kleine projecten die bovendien vereisen dat de verlaten mijnen droog zijn en blijven. Gezien de uitgangssituatie van de voormalige steenkoolmijnen in de Kempen, die momenteel vrijwel volledig naar een hydrostatisch evenwicht zijn geëvolueerd, is het zeer onwaarschijnlijk dat deze nog voor dit doel ontwikkeld kunnen worden.

4.3 POTENTIEEL PROJECT IN DE ROERDALSLENK

Afzettingen van het Trias-Jura riftbekken bevinden zich in de Roerdalslenk op voldoende diepte om in aanmerking te komen voor de opslag van onder meer aardgas. Meer bepaald is de Buntsandstein Formatie een gekend reservoirgesteente, dat echter beperkt bestudeerd werd in Vlaanderen (Bertier et al., 2022). Als afsluitende lagen worden meestal de Muschelkalk en Keuper Formaties verondersteld, alhoewel interpretaties verschillen over hoe continu en direct (i.e. eerste laag boven reservoirgesteente) deze als primaire afsluiting aanwezig zijn.
Op 2D seismiek lijkt de Verloren Kamp structuur een invangstructuur te zijn die langsheen een normaalbreuk is ontwikkeld (Piessens et al., 2009), maar de geometrie in andere richtingen is niet gekend. Het is bijgevolg niet bekend of “Verloren Kamp” effectief een invangstructuur is, en of de afsluiting door geologische lagen en de begrenzende breuk gegarandeerd is.

4.4 POTENTIEEL PROJECT IN HET VLAAMS KRIJTBEKKEN

Voor opslag van aardgas is een reservoir, een afsluitende laag en een geschikte invangstructuur nodig. Breukblokken in het Vlaams Krijtbekken zouden eventueel voldoen aan deze voorwaarden, maar op de huidige isohypsenkaarten kan geen potentieel geïdentificeerd worden.

4.5 VOLUMETRISCHE SCHATTING

Het opslagvolume voor aardgas in Vlaanderen is gekend voor de actieve site te Loenhout. Twee andere potentiële sites (Poederlee en Verloren Kamp) zijn in verschillende mate verkend en onzeker. Een belangrijk element bij gasopslag in een reservoir zoals Loenhout is dat de maximale opslagcapaciteit geen vast gegeven is, maar dat deze afhankelijk is van de injectiegeschiedenis. De vergunde opslagcapaciteit is dan ook nauwer gedefinieerd in functie van diepte van het gas-watercontact (contouren) en maximale injectiedruk (per koninklijk besluit), en ruimer dan een totaal volume (omgevingsvergunning). De reden waarom de capaciteit varieert, is omdat de efficiëntie waarmee de poriënruimte gebruikt wordt en formatiewater verdrongen wordt door aardgas afhangt van het injectieregime. Uitbater Fluxys gaat uit van een gegarandeerd volume van 1.34×10^9 m³ aardgas, waarvan ongeveer 640×10^6 m³ kussengas vormt (en bij normale uitbatingscycli permanent in het reservoir blijft). Het gegarandeerde werkvolume is daarom 700 m³, wat overeenkomt met 7.6 TWh aan opgeslagen energie[7]. De vergunde hoeveelheid opgeslagen aardgas is echter begrensd op 1.5×10^9 m³ (of 9.2 TWh), en jaarlijks wordt berekend op basis van de reservoirgegevens hoeveel van de capaciteit (exclusief kussengas) op de markt kan worden gebracht. De traditionele injectieperiode loopt van april tot oktober, de uitzendperiode is van oktober tot april. In 2023 werd bijvoorbeeld een opslagcapaciteit van 1.472×10^9 m³ aardgas bereikt (inclusief kussengas).
Voor de opslaglocaties Poederlee en Verloren Kamp kan de totale opslagcapaciteit, inclusief kussengas, geschat worden op basis van gegevens in Piessens et al. (2009) en een densiteit van CO_2

van 610 kg/m³ en van aardgas van 74 kg/m³ (bij 40°C en 10 MPa; tabel 3)[8]. Deze berekening resulteert in een geschatte opslagcapaciteit voor Poederlee van 175x10^6 m³ aardgas, of 1.9 TWh, en voor Verloren Kamp van 4.0x10^9 m³ of 43 TWh.

	Working volume		Cushion gas		Total		
Structure	(m³ natural gas)	E (TWh)	(m³ natural gas)	E (TWh)	(m³ natural gas)	E (TWh)	Reference
Loenhout (Heibaart)	8.60E+08	7.6 + 1.6	6.40E+08	6.8	1.50E+09	16	Oral communication
Poederlee	NA	NA	NA	NA	1.75E+08	1.9	Calculated from Piessens et al.,
Verloren Kamp	NA	NA	NA	NA	4.00E+09	43	Calculated from Piessens et al.,
Total	8.6E+08	9.2	6.4E+08	6.8	5.7E+09	61	

Tabel 3: Het opslagpotentieel voor aardgas in drie (potentiële) koepelstructuren in de Vlaamse ondergrond (zie ook digitale bijlage).

[8] 1 normaal m³ aardgas is equivalent aan 0.833 kg aardgas (normaal m³ in België gedefineerd bij 273.15 K en 1.01325 bar)

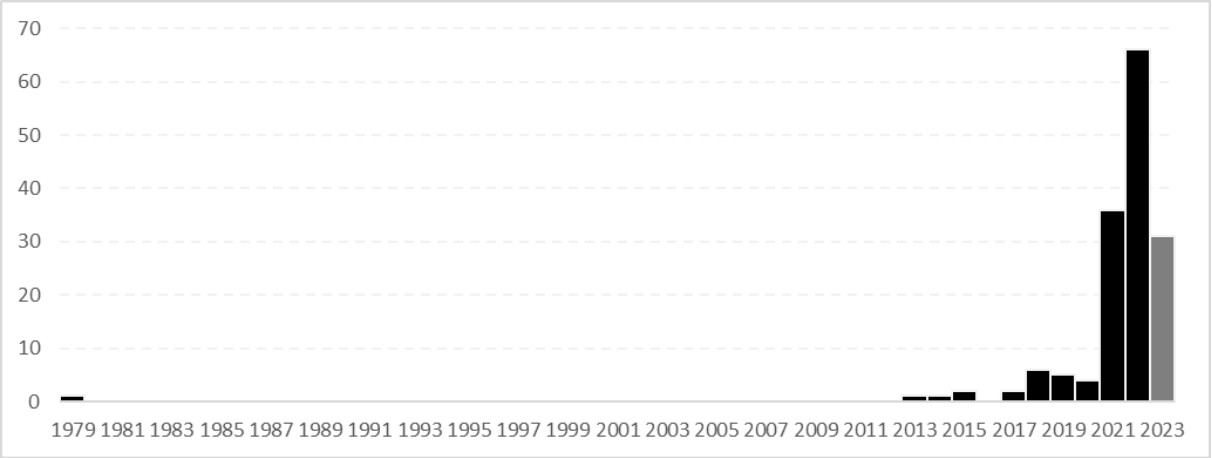
5 OPSLAG VAN WATERSTOFGAS

Waterstofgas kan op een grotendeels gelijkaardige manier ondergronds opgeslagen worden als aardgas, maar is zowel chemisch als biochemisch reactiever, en migreert makkelijker. Historisch zijn er een beperkt aantal relevante opslagprojecten in aquifers gekend voor de ondergrondse opslag van lichtgas of stadsgas (een mengeling van gassen met meestal het grootste aandeel H_2). Momenteel zijn wereldwijd de enige opslagsites van zuiver waterstof ontwikkeld in zoutlagen (bv. Verenigde Staten, Verenigd Koninkrijk), maar door de stijgende interesse lopen op dit moment ook de eerste proefprojecten voor opslag van waterstofgas in aquifers, zij het steeds als een bijmenging van aardgas. Het eerste proefproject in België werd officieel ingewijd op 26 oktober 2023.

5.1 GEOLOGISCHE OPSLAG VAN WATERSTOFGAS

5.1.1 Huidige stand van kennis

De beschikbare literatuur is zeer recent. Alhoewel de eerste studie teruggaat tot 1979, wordt er pas sinds 10 jaar systematisch over dit onderwerp gepubliceerd, en neemt het aantal publicaties explosief toe vanaf 2021 (figuur 3). Dit betekent dat de onderzoeksprojecten rond opslag van waterstofgas even recent zijn, en het een toepassing in volle ontwikkeling is.
Desondanks zijn er verschillende historische projecten waar waterstofgas werd opgeslagen. Dit komt door het zogenaamde stadsgas dat een menging is van waterstofgas en koolstofmonoxide. Voornamelijk in steden werd stadsgas algemeen gebruikt voor straatverlichting, verwarming en koken totdat het in de jaren 1950 en 1960 vervangen werd door aardgas. In een aantal landen (Duitsland, Frankrijk en Tsjechië) werd het stadsgas ondergronds opgeslagen in aquifers. Deze projecten eindigden samen met het gebruik van stadsgas, of werden in een aantal gevallen geconverteerd voor de opslag van aardgas.
De opslagsites in artificiële zoutholtes buiten beschouwing gelaten (wegens niet relevant voor Vlaanderen) zijn er zeer weinig recente proefprojecten waarbij waterstofgas ondergronds wordt opgeslagen. Deze hebben allen gemeen dat waterstofgas steeds gemengd met aardgas (dominant methaan) wordt opgeslagen.
Dit staat in contrast met de focus van de overgrote meerderheid van de studies die in de literatuur worden besproken. Het is goed bekend dat opslag van zuiver waterstofgas veel makkelijker kan leiden tot ongewenste reacties of gedrag, maar op dit moment richten de studies, die vrij theoretisch van aard zijn, zich voornamelijk tot het bespreken van het gedrag tot zuiver waterstofgas en lijkt er zeer weinig fundamentele kennis te bestaan over gedrag van waterstofgas in mengvorm.



Figuur 3: Aantal publicaties dat per jaar werd gepubliceerd over opslag van waterstof. Dit geeft duidelijk de zeer recente interesse aan, meer bepaald in de laatste drie jaar. De resultaten voor 2023 zijn enkel voor de maand januari.

5.1.2 Algemene situering van de literatuur

De relevante literatuur kan opgesplitst worden in twee belangrijke groepen. Een eerste groep bespreekt op een vrij algemene of generieke manier de mogelijkheid om waterstofgas in de ondergrond op te slaan (voor Vlaanderen zijn diepe aquifers relevant). Deze studies analyseren de opportuniteiten en wegen deze af tegen de onbekende aspecten/risico's.
Een tweede groep analyseert zeer specifieke, technische aspecten die relevant zijn voor de opslag van waterstofgas. Dit is meestal zeer gespecialiseerde literatuur, zoals onderzoek naar het bepalen van parameters die van belang zijn voor het kwantitatief of kwalitatief begrijpen van reacties met of migratie van waterstofgas.
Tussen deze twee groepen in staat literatuur die resultaten van reservoirsimulaties bespreekt. Dit kunnen zowel generieke als locatie-specifieke studies zijn, en gericht op specifieke delen van het reservoir of deelaspecten van een simulatie.
Daarnaast zijn er ook verschillende overzichtsstudies (*review papers*) die geen eigen werk presenteren, maar een overzicht geven van wat gepubliceerd werd over specifieke aspecten, en op deze manier de stand van zaken van onderzoek en ontwikkeling bepalen.
Een groep die vrijwel afwezig is, is de rapportage over resultaten van bestaande of lopende opslagprojecten. Dit komt door het zeer beperkte aantal pilootprojecten die op het terrein werd uitgevoerd, alsmede door bescherming van strategisch relevante kennis.

5.1.3 Gedrag van de primair afsluitende lagen

De opslag van waterstofgas in watervoerende lagen (aquifers) gebeurt gelijkaardig aan de opslag van aardgas. In deze lagen wordt het water dat in poriën van het gesteente aanwezig is, en dat op deze dieptes vrijwel steeds te zout is om drinkbaar te zijn, verdrongen bij het injecteren van gas. Dat gas is lichter dan water, en zal naar boven willen migreren. Daarom is het belangrijk dat boven de watervoerende formatie een niet-doorlatende laag voorkomt, en ook de vorm van de opvangstructuur is belangrijk.
Bijna 80% van de relevante publicaties bespreekt (on)doorlatendheid van de afsluitende laag van het reservoir voor waterstofgas, en halen dit nagenoeg unaniem aan als de hoofdbezorgdheid bij het ontwikkelen van ondergrondse opslaglocaties voor waterstofgas. De hoofdreden hiervoor is dat gasdichtheid voor bijvoorbeeld aardgas geen garantie is dat het gesteente ook afdichtend is voor waterstofgas. De redenen hiervoor zijn zowel het fysische gedrag van het fluïdum als het chemische

gedrag in reacties. De effecten zijn niet steeds rechtstreeks. Chemische reacties kunnen de permeabiliteit van het gesteente rechtstreeks beïnvloeden, of onrechtstreeks vb. via agressiever formatiewater. Ook de resistentie van cementplugs rond de putten en het bros worden van metaal in contact met waterstofgas vormen gerelateerde punten van bezorgdheid (Muhammed et al., 2023).

In de literatuur ligt een belangrijke focus op chemische reacties met pyriet (FeS_2) en in mindere mate met calciet ($CaCO_3$), twee mineralen die van nature veel voorkomen in gesteenten. Beiden kunnen verwacht worden in de Formatie van Chokier, en pyriet ook in de Formatie van Andenne. In een reactie met waterstofgas kan pyriet worden opgelost en waterstofsulfide (H_2S) gevormd worden. Aangezien dit de oplossing van mineralen inhoudt, kan dit de doorlatendheid van het afsluitend gesteente verhogen. H_2S is bovendien een toxisch gas. Verder zullen reductiereacties door waterstofgas waterstofprotonen vrijzetten wat voor een verlaging van de pH zorgt waardoor carbonaatmineralen zoals calciet in het formatiewater worden opgelost. Ook dit zal de permeabiliteit van het aangetaste gesteente verhogen. Er zijn verschillende andere reacties tussen waterstofgas en mineralen gekend, maar deze zouden niet opgaan bij de reservoircondities (Heinemann et al., 2021).
De doorlatendheid van gesteente voor een zeker fluïdum wordt bepaald door de minimale poriëndruk (minimum pore pressure of MPP) die nodig is om het fluïdum te verplaatsen. Deze MPP is afhankelijk van de benatting (wettability) van het fluïdum in contact met het gesteente, die op zijn beurt afhankelijk is van de oppervlaktespanning van het fluïdum. Een sterke wettability (lage oppervlaktespanning) zorgt voor een goed contact tussen het fluïdum en het gesteente, en een hoge doorlatendheid. In de literatuur wordt veel gerapporteerd over wettability testen voor verschillende combinaties van fluïdum met waterstofgas, gesteentesamenstellingen, druk, temperatuur en saliniteit van het formatiewater. Sommige (combinaties van) parameters geven consistente resultaten, zoals een afname van de wettability met diepte. Het gedrag van de wettability voor andere parameters lijkt moeilijker voorspelbaar, zoals de combinatie temperatuur-lithologie.
De literatuur rond opslag van waterstof neemt zeer snel in omvang toe. Een aantal goede startreferenties zijn Wallace et al. (2021), Zivar et al. (2021), Raza et al. (2022), Safari et al. (2022), Thiyagarajan et al. (2022) en Perera (2023). Zie bijlage voor ruimer literatuuroverzicht.

5.1.4 Overige aandachtspunten

De huidige internationale proefprojecten beogen geen opslag van zuiver waterstofgas in aquifers. Initieel was dit ook zo voor Fluxys, maar zij hebben in aanloop van het proefproject te Loenhout hun ambitie bijgesteld naar de opslag van zuiver waterstofgas. De redenen hiervoor zijn migratie en chemische bezorgdheden, niet enkel vanuit veiligheidsoogpunt, maar ook economische onzekerheden spelen hier mee. Afhankelijk van de omstandigheden wordt er bijvoorbeeld uitgegaan van de gedeeltelijke omzetting van waterstofgas naar methaan, en dus een ongewenste degradatie van het opgeslagen gas.
Naast de opslagmogelijkheden van waterstofgas, gemengd met aardgas in aquifers, bestaan er andere opslagschema's. Deze zijn allen hypothetisch of conceptueel, en worden niet meegenomen als concrete opties. We halen er hier kort twee aan die het meest relevant lijken voor Vlaanderen. Omwille van fysische adsorptieprocessen wordt opslag in steenkool, al dan niet gerelateerd aan steenkoolmijnen, occasioneel naar voor geschoven. Dit concept wordt zuiver voorgesteld op basis van specifieke eigenschappen van steenkool en waterstofgas, zonder verdere praktische uitwerking. Incidenteel wordt ook een zuiver dynamisch opslagsysteem voorgesteld waarin een afsluitende laag niet noodzakelijk is. Hierbij wordt op een dieper niveau waterstofgas geïnjecteerd en na verticale

migratie, die overeenkomt met de opslagtijd, ondieper terug onttrokken (om ofwel gebruikt, ofwel geherinjecteerd te worden). Verschillende praktische bedenkingen, zoals de algemeen sterk anisotrope doorlatendheid die horizontale migratie bevordert, maken ook deze optie onvoldoende concreet om momenteel meegenomen te worden.

5.2 KEMPENS POST-BRABANTISCH BEKKEN

5.2.1 Proefproject

De koepel van Loenhout is een actieve opslagsite voor aardgas, en recent eveneens de testlocatie voor de opslag van waterstofgas. Het proefproject voorziet in een injectie van een kleine hoeveelheid waterstofgas (3000 (n)m^3) in een randzone van de koepel nabij het gas-watercontact. Het waterstofgas zal mengen met het aanwezige methaan. De lange-termijndoelstelling om Loenhout te ontwikkelen tot een site voor gemengde opslag was initieel in de grootteorde van 90% CH_4 en 10% H_2, maar deze doelstelling werd bijgesteld en bij gunstig vooronderzoek wordt op termijn de opslag van zuiver waterstofgas beoogd. Het onderzoekstraject waar het huidige proefproject deel van uitmaakt, heeft tot doel om de haalbaarheid van opgeschaalde opslag van waterstofgas te Loenhout te bevestigen. Op basis van mondelinge communicatie met Fluxys wordt de opslagcapaciteit voor puur waterstofgas in de Loenhout koepel geschat op 3,2 TWh.

5.2.2 Potentieel project

Hoewel Poederlee momenteel niet wordt onderzocht, is het een potentieel interessante opslaglocatie. De Poederlee-structuur lijkt geometrisch gelijkaardig aan de opslagstructuur van Loenhout, maar met waarschijnlijk lagere transmissiviteit. De afsluitende lagen zijn dus waarschijnlijk beter wat betreft afsluitende eigenschappen, en een kleinere structuur kan economische voordelen bieden voor een waterstofgas opslagproject. Omwille van de prijs is de hoeveelheid kussengas een bezorgdheid bij het ontwikkelen van dergelijke projecten, en een kleinere en beter gedefinieerde opslagstructuur kan hier duidelijke voordelen bieden.

5.3 POTENTIËLE PROJECTEN IN ANDERE GEOLOGISCHE EENHEDEN

Opslag van waterstofgas moet, net zoals opslag van aardgas, gebeuren in invangstructuren die de laterale migratie van het gas tegengaan zodat het efficiënt teruggewonnen kan worden. De enige andere vermoede, maar nog te bevestigen structuur is Verloren Kamp in het Trias-Jura Riftbekken.
Het potentieel voor opslag van waterstofgas in andere geologische eenheden komt overeen met dat voor de opslag van aardgas. Deze verkennen zou een doorgedreven exploratie vragen naar bijkomende invangstructuren in Vlaanderen.

5.4 VOLUMETRISCHE SCHATTING

Bij conversie van Loenhout naar waterstofgas onder bestaande restricties kan de capaciteit vrij nauwkeurig berekend worden op basis van de gekende opslagcapaciteit voor aardgas, alhoewel er verschuivingen kunnen zijn in de hoeveelheid kussengas of de efficiëntie waarmee poriënruimte kan worden gebruikt. In geval van conversie van de aardgasopslag in Loenhout naar waterstofgasopslag zal het kussengas, dat nu bestaat uit methaan, gedeeltelijk vervangen worden door waterstofgas. In praktijk wordt uitgegaan dat ook bij zuivere injectie van waterstofgas er op langere termijn methaan zal worden gecoproduceerd (zodat scheiding van beide gassen permanent noodzakelijk blijft).
Indien al deze factoren en onzekerheden genegeerd worden, wordt door Fluxys uitgegaan van een werkvolume aan waterstofgas van 3.2 TWh. Dit is aanzienlijk lager dan de 7.6 TWh voor aardgas,

wat voornamelijk komt door de aanzienlijk lagere dichtheid van waterstofgas, ook bij de drukken op deze dieptes. Dit is een netto-hoeveelheid werkbaar gas; in deze hoeveelheid zit geen kussengas verrekend.

Voor de opslaglocaties Poederlee en Verloren Kamp zijn geen gepubliceerde cijfers bekend. Deze structuren werden wel geïnventariseerd als potentiële opslagstructuren in het project HyStories (Smith & Vincent, 2022), met inbegrip van de belangrijkste reservoireigenschappen maar zonder tot volumeschattingen over te gaan. Op basis van Piessens et al. (2009) kan een eerste schatting worden gemaakt door conversie van het opslagpotentieel voor CO_2 naar H_2. Dit levert 0.46 TWh voor Poederlee en 10.5 TWh voor Verloren Kamp. Bij de conversie wordt een densiteit voor opgeslagen waterstofgas verondersteld van 7 kg/m³ (bij 40°C en 10 MPa). De schattingen zijn totaalcijfers waarin geen onderscheid wordt gemaakt tussen kussengas en werkbaar volume.

	Working volume		Total		
Structure	(kg H2)	E (TWh)	(kg H2)	E (TWh)	Reference
Loenhout (Heibaart)	7.00E+08	3.2	NA	NA	Oral communication Fluxys
Poederlee	NA	NA	1.38E+07	0.46	Calculated from Piessens et al., 2009
Verloren Kamp	NA	NA	3.16E+08	10.5	Calculated from Piessens et al., 2009
Total	7.0E+08	3.2	3.3E+08	11.0	

Tabel 4: Schatting van het opslagpotentieel voor waterstof in drie (potentiële) koepelstructuren in de Vlaamse ondergrond (zie ook digitale bijlage).

6 OPSLAG VAN KOOLSTOFDIOXIDE

Opslag van CO_2 gebeurt typisch als permanente oplossing om moeilijk te vermijden industriële uitstoot van dit broeikasgas te neutraliseren, of om in combinatie met bijvoorbeeld biobrandstoffen tot negatieve CO_2-emissies te komen. De belangrijkste verschillen met opslag van bijvoorbeeld aardgas, is dat de mogelijkheid om CO_2 terug te winnen niet geldt, of zelfs niet wenselijk is, en dat het typische volume nodig voor opslag veel groter is dan wat wenselijk is voor aardgasprojecten. Dit betekent dat in praktijk er weinig rechtstreekse competitie is naar dezelfde structuren. Voor opslag van CO_2 kunnen deze bijvoorbeeld vlakker of onregelmatiger zijn, of zo dat ze wel gevuld, maar niet geledigd kunnen worden. In MAS opslagschema's (*Migration Assisted Storage*) wordt zonder invangstructuur gewerkt. Hier wordt CO_2 in een licht hellend reservoir geïnjecteerd, en wordt immobilisatie in eerste instantie gerealiseerd door *residual trapping*, waarbij de migrerende CO_2 pluim verkleint doordat CO_2 als immobiele fase achterblijft in poriën, en op langere termijn oplost of in mineralisatiereacties wordt betrokken.
CO_2 kan in verschillende types reservoir worden opgeslagen, maar voor Vlaanderen is enkel opslag in aquifers relevant. Deze zijn allen gesitueerd in de diepe ondergrond, omdat, uniek voor CO_2, een belangrijke densiteitsverandering plaatsvindt bij drukken zoals bereikt tussen 700 en 800 m diepte. Op die manier kan opslag op grotere diepte efficiënter gebeuren en wordt verticale migratie minder waarschijnlijk.

6.1 POTENTIËLE PROJECTEN IN HET KEMPENS POST-BRABANTISCH BEKKEN

In het Kempens Post-Brabantisch Bekken is het Dinantiaan de enige stratigrafische eenheid met voldoende aangetoonde permeabiliteit, die tevens wordt afgedekt door afsluitende lagen. De koepelstructuren van Loenhout en Poederlee worden niet beschouwd als potentiële opslaglocaties voor CO_2 omwille van de huidige activiteit in Loenhout en de beperkte omvang van Poederlee. In een verkennende studie (Piessens et al., 2007) werden, uitgaande van een jaarlijkse injectie van 1.5 Mt CO_2, twee potentiële locaties onderzocht die zich bevinden in een gebied waar het Dinantiaan naar verwachting verkarst is. Het eerste is een gebied in de omgeving van Kasterlee, waar op basis van analyse van isohypsenkaarten geopperd werd dat de top voldoende onregelmatig was om zeer brede invangstructuren te vormen. Deze optie werd niet gedetailleerd uitgewerkt.

De tweede optie was injectie van CO_2 in de omgeving van Essen volgens het MAS-systeem, waarbij de CO_2 pluim verwacht wordt te migreren in zuidelijke richting volgens de gradiënt van de top van het Dinantiaan. Geschatte migratieduur tot aan de kritische diepte voor CO_2 opslag varieert van ongeveer 500 tot 1000 jaar, i.e. met aanzienlijke onzekerheid. Er werd niet gemodelleerd hoeveel CO_2 in deze tijd en over dit traject geïmmobiliseerd zou worden.

Naast het Dinantiaan vormen ook de Frasniaanafzettingen een mogelijke reservoir-afdekkende sequentie. Dit zijn meer bepaald de dolostenen van de Aisemont Formatie bedekt door de schalies van de Falisolle Formatie. Deze formaties werden op drie locaties in Vlaanderen aangeboord, waarvan twee zich op geschikte diepte bevinden, maar geschikte reservoireigenschappen werden voorlopig niet aangetroffen.

6.2 POTENTIEEL PROJECT IN HET PERM-TRIAS RIFTBEKKEN

De Verloren Kamp structuur in de Roerdalslenk is een potentiële optie voor de opslag van CO_2, maar gezien het vermoedelijk beperkte totale volume minder geschikt voor permanente opslag. Deze structuur zou eerder kunnen fungeren als proefproject of als buffer in een CCUS (*Carbon Capture Utilization and Storage*) valorisatieketen tussen productie en afname van CO_2. Verloren Kamp is momenteel nog zeer onvolledig verkend, en het is daarom mogelijk dat na verkenning blijkt dat dit geen ideale invangstructuur zou zijn voor aardgas omdat bijvoorbeeld geïnjecteerde hoeveelheden onvoldoende efficiënt of snel onttrokken kunnen worden. In een CCUS-keten vormt dit veel minder een probleem omdat opslag van CO_2 juist permanente opslag als uiteindelijk doel voor ogen heeft en CO_2 een product met een veel lagere intrinsieke marktwaarde is.

6.3 POTENTIËLE PROJECTEN IN KEMPENS SUBVOORLANDBEKKEN BINNEN EN BUITEN DE ROERDALSLENK

In het Kempens Subvoorlandbekken werd de Formatie van Neeroeteren onderzocht voor zijn opslagcapaciteit (Welkenhuysen et al., 2013). Dit is een goed reservoirgesteente, maar slechts gedeeltelijk afgedekt door de Formatie van Helchteren waarin mogelijk voldoende afdichtende kleistenen voorkomen. Deze laatste formatie is laat Perm in ouderdom, en behoort daarom tot de sedimenten van het Zuidelijke Perm bekken die de oudere lagen discordant afdekken. Qua afdekking en begravingsgeschiedenis is er een belangrijk verschil tussen de configuratie die buiten en binnen de Roerdalslenk voorkomt. De beschreven configuratie werd geobserveerd buiten de Roerdalslenk, maar de geschiktheid voor gasopslag is niet bewezen. Binnen de Roerdalslenk wordt de aanwezigheid van de Neeroeteren Formatie verondersteld, maar is deze nog nooit aangetoond. Deze formatie heeft waarschijnlijk een beperkte laterale verbreiding, en komt bijvoorbeeld in Nederland niet of nauwelijks voor, maar gaat mogelijk over in een (gedeeltelijk) lateraal facies. Bovendien komt de Formatie van Helchteren niet of onvoldoende voor binnen de Roerdalslenk om als primaire afsluitende laag te fungeren. Zonder bijkomende exploratie is het onduidelijk of en welke eenheid een afsluitende laag vormt.

Steenkool wordt ook gezien als een mogelijk reservoirgesteente, en kan een zeer belangrijke opslagcapaciteit vertegenwoordigen. Technisch is dit echter nog steeds een onzekere optie, en bij afwezigheid van gunstige internationale proefprojecten beschouwen we dit op dit moment niet als een haalbare optie. De schattingen voor opslag in steenkoolmijnen (Piessens & Dusar, 2004) zijn niet langer relevant, omdat deze van een minstens gedeeltelijk niet-ondergelopen aanvangssituatie vertrekken (een situatie die momenteel niet meer geldt).

6.4 POTENTIËLE PROJECTEN IN HET VLAAMSE KRIJTBEKKEN

Afzettingen gevormd door krijt komen in een beperkt gebied voldoende diep voor om geschikt te zijn voor de opslag van CO_2. De volledige sequentie is een complex van meer en weinig doorlatende gesteenten, met potentieel meerdere niveaus waarin CO_2 kan worden opgeslagen. Het dieptebereik is echter marginaal interessant, de opslagcapaciteit vrij beperkt, en de afsluiting eerder atypisch en onzeker. Daarom wordt dit niet als haalbare optie gezien in het verdere verloop van deze studie.

6.5 VOLUMETRISCHE SCHATTING

Eind jaren 1990 werden de eerste schattingen gemaakt over opslagcapaciteit voor CO_2 in de Belgische ondergrond. Deze werden voor het eerst in peer review gepubliceerd door Laenen et al. (2004). In de PSS-CCS projecten werd de schattingsmethode uitgewerkt voor de Belgische context (Piessens et al., 2009; Piessens, 2011). De uiteenlopende schattingen van de verschillende auteurs werden opnieuw verenigd in Welkenhuysen et al. (2011, 2013). Het zijn de resultaten van Welkenhuysen et al. (2013) die als basis dienen voor de rapportering van België op Europees niveau, zoals in het CO_2StoP project (Poulsen et al., 2014) via het portaal https://setis.ec.europa.eu/european-co2-storage-database_en en waarop de herwerking die in het kader van het project GSEU[9] wordt gemaakt zich baseert (richtdatum publieke voorstelling 2025).

Welkenhuysen et al. (2013) maken verschillende schattingen die overeenkomen met de niveaus van de *techno-economic resource pyramid* (Bachu et al., 2007). Het basisniveau is de theoretische capaciteit, gebaseerd op beperkte regionale informatie en typisch gekenmerkt door de hoogste schattingen. De capaciteit van de verschillende reservoirformaties wordt geschat door hun verbreiding met dikte, porositeit, densiteit van CO_2 en watersaturatie te vermenigvuldigen. Het overzicht wordt gegeven in tabel 5, waar de reservoirs die hoger minder relevant werden bevonden zijn weggelaten.
De effectieve capaciteit is de capaciteit die overblijft van de theoretische capaciteit nadat technische, wettelijke, regelgevende, infrastructurele en algemeen economische beperkingen worden meegerekend. Dit zijn zeer aanzienlijke beperkingen, en in Europese context wordt een conversiefactor van 2% aangeraden (Vangkilde-Pedersen, 2009), wat voor een aantal reservoirs in Vlaanderen te conservatief schattingen oplevert in vergelijking met de praktische capaciteit die onafhankelijk geschat wordt (zie tabel 5).
De praktische capaciteit is project- of site-specifiek. Welkenhuysen et al. (2013) omzeilt het gebrek aan gedetailleerde gegevens via stochastische berekeningen die resulteren in een waarschijnlijke waarde en een onzekerheidsverdeling, waarvan het 90% onzekerheidsinterval in tabel 5 wordt weergegeven.
Voor Vlaanderen bedraagt de totale theoretische opslagcapaciteit ongeveer 2.6 Gt CO_2. Het is realistisch om ongeveer 2% daarvan, of 52 Mt, als effectief beschikbaar te beschouwen. De praktische capaciteit is een projectgebaseerde benadering, en ligt in de lijn van de effectieve capaciteit.

Reservoir	Theoretical capacity (Mt)	Effective capacity (Mt)	Practical capacity (X (P05; P95) Mt)
Bundsandstein Fm	569	11	31 (12; 189)
Neeroeteren Fm	679	14	33 (88; 189)
Dinantian reservoir	1350	27	
Karstified			37 (2;324)
Non-karstified			17 (13;165)
Total	2598	52	

Tabel 5: Schatting van het opslagpotentieel voor koolstofdioxide, voor praktische capaciteit staat X voor gemiddelde, en wordt het P90 tussen haakjes uitgedrukt als van-tot interval (naar Welkenhuysen et al., 2013) (zie ook digitale bijlage).

[9] GSEU: Geological Service for Europe, Horizon Europe project, projectnummer 101075609

7 BERGING VAN LANGLEVEND EN HOOGRADIOACTIEF AFVAL

Het meest traditionele concept van ondergrondse berging van langlevend en hoogradioactief afval houdt de constructie in van ondergrondse galerijen waarin, na een periode van bovengrondse afkoeling (in het geval van hoogradioactief afval), het afval in specifieke verpakkingen of containers (de kunstmatige barrières) wordt geplaatst, met het oog op een zo lang mogelijke insluiting. Omdat geen enkel verpakkingsmateriaal die insluiting na verloop van duizenden jaren nog kan garanderen, dient de aardlaag waarin de bergingsinstallatie wordt ingebed als bijkomende natuurlijke barrière om de verspreiding van radioactieve stoffen vanuit de installatie dermate te vertragen dat deze geen gevaar meer vormen eens ze terug de biosfeer zouden bereiken[10]. Het type gastgesteente, de dikte van de formatie en de diepte waarop deze zich bevindt, zijn daarom belangrijke parameters bij het bepalen van een geschikte locatie. Het internationaal voorgestelde dieptebereik (‘*Disposal in deep, stable geological formations usually several hundred metres or more below the surface…’*; IAEA, 2011) overlapt met het toepassingsgebied van het Decreet Diepe Ondergrond (>500 m onder TAW). NIRAS gaat voor opslag in België uit van een diepte tussen 200 en 600 m (communicatie op 18/09/2023).

7.1 POTENTIËLE PROJECTEN IN HET ZUIDELIJKE NOORDZEEBEKKEN

De momenteel best onderzochte piste in België is opslag in plastische kleien, meer bepaald deze van de Formatie van Boom waarin een ondergrondse galerij (Mol) werd uitgegraven om deze formatie in-situ te bestuderen. Deze galerij bevindt zich niet in de diepe ondergrond, maar is ook niet (noodzakelijk) de locatie van de effectieve ondergrondse opslag. De toekomstige geografische opslaglocaties en geologische eenheden zijn nog niet gekend, maar de op exploratie gebaseerde keuze ervan wordt waarschijnlijk gemaakt vóór 2050.
In het Zuidelijke Noordzeebekken zijn er twee kleiformaties die potentieel in aanmerking komen als gastformatie voor de bergingsite, de Formatie van Kortrijk en de Formatie van Boom. Indien de Formatie van Boom gekozen wordt, dan kunnen, afhankelijk van de gekozen locatie, de galerijen mogelijk tot net in de diepe ondergrond reiken.
Aangezien waarschijnlijk tegen 2050 de beslissing tot inplanting genomen zal zijn en de uitvoering gestart zal zijn, maar nog niet de berging zelf, wordt deze activiteit passief meegenomen tijdens de impactanalyse. Dit betekent dat de impact van andere activiteiten op een potentiële (generisch gekozen) locatie kwalitatief wordt geëvalueerd, maar dat de operationele berging zelf niet wordt gesimuleerd.

7.2 POTENTIËLE PROJECTEN IN HET MASSIEF VAN BRABANT

In Vlaanderen worden ook niet-plastische kleien onderzocht als potentiële gastgesteentes, meer bepaald de Siluur en Ordovicium formaties die behoren tot het Massief van Brabant (Van Noten et al., 2019). Van de locaties die gescreend werden zijn de Siluurafzettingen in de noordrand van het Massief van Brabant relevant, maar enkel op lange termijn (na 2050). In de boring van Kallo (nabij Doel) werden deze gesteenten gekernd tussen ongeveer 590 en 625 m. Ze werden gekarteerd als Formatie van Ronquières en zijn daarmee tijdsequivalent, maar verschillen waarschijnlijk lithostratigrafisch van de typeontsluiting, alhoewel ze ook fijnkorrelig en turbiditisch zijn. Minstens

[10] NIRAS. Geologische berging. https://www.niras.be/geologische-berging

lokaal hellen deze gesteenten 80° (mogelijk overhellend) en ontwikkelde zich een duidelijke gesteentesplijting, wat ongunstig is voor een bergingssite en niet goed past in het beeld van een symmetrisch Brabants Orogeen. Volgens dit geologisch model is de vervorming en scheefstelling het sterkst centraal in het subcropgebied, wordt deze minder expliciet naar de noordelijke en zuidelijke vervormingsfronten toe, terwijl in de boring van Kallo wel degelijk sterk vervormde gesteenten werden aangetroffen. Dit zijn echter algemene trends en anomale zones kunnen voorkomen. Informatie uit één boring is onvoldoende om verdere besluiten te trekken gezien de mogelijke variabiliteit op relatief korte afstand (bv. 10 km).

7.3 ANDERE MOGELIJKHEDEN VOOR DE BERGING VAN RADIOACTIEF AFVAL

Naast het klassieke concept van galerijen bestaan er nog andere, uiteenlopende concepten voor de opslag van radioactief afval, zoals rechtstreekse injectie, opslag in verlaten mijnen, of verticale boorgaten. Los van het eventueel controversieel karakter staan deze technieken qua onderzoek en internationale aanvaarding veel minder ver dan opslag in galerijen, en worden ze hier buiten beschouwing gelaten.

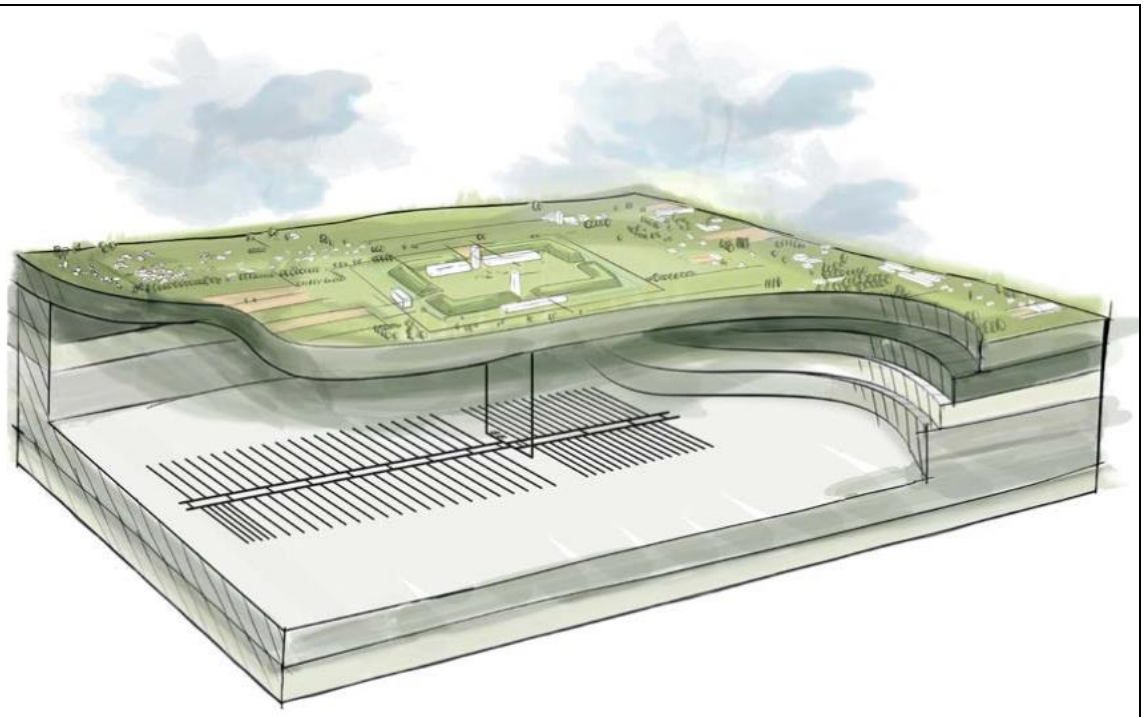
7.4 VOLUMETRISCHE SCHATTING

Voor de ondergrondse berging van radioactief afval worden zeer specifieke geologische voorwaarden gesteld, maar anders dan bij andere activiteiten worden er geen schattingen opgemaakt van de totale opslagcapaciteit. In plaats daarvan wordt geschat hoeveel afval er geborgen moet worden, en hoeveel volume ondergrond dat in beslag zou nemen. De schatting die hier gemaakt wordt is strikt indicatief, en onderhevig aan verschillende parameters (inclusief locatie) die op dit moment nog niet definitief zijn.

Radioactief afval wordt op verschillende manieren onderverdeeld. Voor berging gebruiken we hier de klassering in categorieën A, B en C omdat deze gebaseerd is op de hoeveelheid warmte die geproduceerd wordt, wat een belangrijke factor is bij ondergrondse berging en gekoppeld is aan de graad van radioactiviteit (NIRAS, 2008). Categorieën B en C zullen ondergronds worden opgeslagen, en waarschijnlijk ook een deel van categorie A (NIRAS, 2008). Op termijn is de verwachte hoeveelheid aan radioactief materiaal afhankelijk van de opwerkingsopties en gebruik van kernenergie. Voor de schatting hier vertrekken we van de hoogste projecties tegen 2070 in NIRAS (2008) die afgerond uitkomen op 15000 m³ afval van categorieën B en C (met ruimte voor een beperkte hoeveelheid categorie A).

De infrastructuur van een ondergrondse berging kan verschillende ontwerpprincipes volgen. Illustratief geeft figuur 4 een mogelijk ontwerp voor België, met parallelle galerijen voor opslag die vertrekken van een centrale ruggengraat. De afstand tussen de galerijen is afhankelijk van de categorie en zou 60 m kunnen zijn voor categorie B en 120 m voor categorie C. Het afval zal niet rechtstreeks in de galerijen ingebracht worden, maar extra verpakt worden. Voor de verdere berekening gaan we uit van een bergingscomplex met één type supercontainer voor de berging van radioactief afval, alhoewel in praktijk verschillende systemen gebruikt zullen worden (EIG Euridice, 2017). Een supercontainer van 6.25 m lengte biedt ruimte aan ongeveer 1.5 m³ afval (op basis van ontwerpgegevens in Areias et al. (2010)). Uitgaande van een 15000 m³ te bergen volume zou de totale galerijlengte 62500 m moeten bedragen (indien geen extra bufferruimte tussen de containers wordt voorzien). Uitgaande van een gemiddelde afstand tussen de galerijen van 100 m geeft dit een

totale (ondergrondse) oppervlakte van de infrastructuur van 2.5 km op 2.5 km. Dit is een indicatieve, niet noodzakelijk conservatieve inschatting.



Figuur 4: Impressie van installatie voor ondergrondse berging in Vlaanderen (International Atomic Energy Agency, 2020).

8 OPSLAG VAN POTENTIËLE ENERGIE IN HET MASSIEF VAN BRABANT

Een efficiënte manier om elektriciteit op te slaan, is ze om te zetten in potentiële energie door water over een hoogteverschil te verpompen. Dit gebeurt bijna steeds in projecten die gebruik maken van reliëf, zoals in de spaarbekkencentrale van Coo. Conceptueel kan dit ook ondergronds uitgevoerd worden, bijvoorbeeld in verlaten mijnen of in artificiële tunnels.
Een alternatieve methode is om lucht samengedrukt op te slaan in dergelijke reservoirs, en dit heeft geleid tot effectief uitgevoerde projecten (bijvoorbeeld in Duitsland luchtopslag in zoutreservoirs die potentieel de turbo van een elektriciteitsinstallatie kan voeden). Deze methode is waarschijnlijk complexer en minder relevant voor Vlaanderen en wordt niet verder besproken.

8.1 INTERESSE IN VLAANDEREN

In 2022 was er interesse om in het noorden van het Massief van Brabant tunnels te boren voor de opslag van potentiële energie. Deze zouden worden aangelegd in relatief weinig doorlatende gesteenten van het Ordovicium of Siluur, en aanvullend bekleed worden om ze verder ondoorlatend te maken. De ondergrondse reservoirs zouden gekoppeld worden aan bovengrondse reservoirs met dezelfde capaciteit. Bij energieoverschotten worden de ondergrondse reservoirs leeggepompt, zodat ze op momenten van grotere elektriciteitsvraag gevuld kunnen worden vanuit de bovengrondse, met omzetting van de potentiële energie in elektriciteit. Deze ondergrondse reservoirs kunnen zich ook in de diepe ondergrond situeren. Het vooronderzoek voor dit project werd door overlijden van de initiatiefnemer gestaakt.

8.2 VOLUMETRISCHE SCHATTING

Opslag van potentiële energie, uitgevoerd aan de hand van galerijen zoals besproken in hoofdstuk 7.4, vereist de aanleg van bovengrondse bekkens met even grote capaciteit als de ondergrondse reservoirs. Die voorwaarde zorgt er in praktijk voor dat bovengronds ruimtebeslag de beperkende factor wordt voor de totale potentiële capaciteit die ontwikkeld kan worden. Ook hier kan, naar analogie met de berekening voor berging van radioactief afval (§7.4), de vraag echter worden omgedraaid, en vertrokken worden van hoeveel volume (vermogen) potentieel nodig zou zijn.

Dergelijke schattingen bestaan niet voor Vlaanderen, maar om een eerste idee te verkrijgen kan een werkwijze gevolgd worden analoog aan verkennende berekeningen die voor steenkoolmijnen in het Waalse bekken werden uitgevoerd waarbij de potentiële buffercapaciteit van de centrale van Coo-Trois-Pont (~6000 MWh) werd vergeleken met een geconverteerde steenkoolmijn (mijn van Anderlues) (Piessens, 2012). De mijnen in Vlaanderen zijn niet op dezelfde manier gecompartimenteerd, maar een extrapolatie kan wel gemaakt worden naar een systeem met geconstrueerde galerijen. Voor een niveauverschil van ongeveer 500 m (niveauverschil tussen oppervlaktebekkens en ondergrondse galerijen) zou een gangensysteem aangelegd moeten worden met een totaal ontgonnen volume in de grootteorde van de kleinste steenkoolmijn in Vlaanderen (Houthalen, gemijnd volume ~19.5×10^6 m³), om het totale elektriciteitsverbruik van alle Vlaamse gezinnen gedurende één dag op te slaan (~25000 MWh). Zie tabel 6 voor de berekening.
Dit voorbeeld toont aan dat de ondergrond van Vlaanderen waarschijnlijk groot genoeg is om dit te realiseren, maar dat eerder andere beperkingen meespelen, zoals het bovengronds ruimtebeslag

(aanleggen van een oppervlaktebekken) en het vinden van een bestemming voor het volume ontgonnen gesteente.

Symbol	Value	Unit	Description
e	0.9	-	Efficiency energy conversion
E	25000	MWh	Energy stored/available
E	9E+13	J	
dH	500	m	Height difference two reservoirs (depth underground reservoir)
Rho	1000	kg/m^3	Density water
g	9.81	m/s^2	Gravimetric acceleration
V	20387360	m^3	Volume reservoir
V	**20**	**Mm^3**	

Tabel 6: Parameters en berekende uitkomst van het nodige nuttige volume ondergronds reservoir om 25000 MWh aan energie te kunnen reproduceren. Berekening op basis van potentiële energie, rekening houdend met efficiëntieverlies.

9 ONDERGRONDSE OPSLAG VAN DRINKWATER

Vlaanderen heeft geen of nauwelijks netto drinkwatertekorten op jaarschaal, maar kent wel seizoensgebonden lokale tekorten, met name in de kuststreek en meer algemeen de provincie West-Vlaanderen. Tijdelijke ondergrondse opslag van drinkwater in een aquifer (ASR, *Aquifer Storage and Recovery*) is een mogelijkheid die interessanter is dan het aanleggen van bijkomende transportcapaciteit. ASR wordt onderzocht als alternatief voor het gebruik van licht verzilt oppervlaktewater, dat via omgekeerde osmose gezuiverd zou moeten worden.

9.1 CONCEPT VAN ASR

Bij ASR wordt zoet water van drinkwaterkwaliteit tijdens periodes van overschot of lage watervraag geïnjecteerd in een geschikte formatie via één of meerdere injectieputten die relatief kort bij elkaar liggen. Dit water verdringt het aanwezige water, waardoor een reserve wordt opgebouwd. Tijdens periodes met hoge watervraag wordt dit proces omgedraaid en het water opnieuw geproduceerd om in het leidingnetwerk te injecteren en aan te wenden als drinkwater.
Omdat er geen netto water wordt geproduceerd, kunnen voor ASR aquifers gebruikt worden die onvoldoende gekoppeld zijn aan een voedingsgebied, en daardoor bij gewone productie overbemaald zouden worden. Ook aquifers waarvan de kwaliteit van het water laag is kunnen gebruikt worden, omdat (bij ideale projecten) bij productie in hoofdzaak het geïnjecteerde water opnieuw gewonnen wordt. In Nederland wordt bijvoorbeeld ASR overwogen voor aquifers onder gewonnen land die van nature verzilt zijn.

9.2 POTENTIËLE ACTIVITEITEN IN HET MASSIEF VAN BRABANT

De watermaatschappijen Watergroep en Farys onderzoeken reeds enkele jaren actief deze optie, en de boring in Aalst (Aalst-Hofstade, 071E0360) is de meest recente proefboring die hiervoor werd uitgevoerd. Deze boring bereikt de Formatie van Tubize op een diepte van ongeveer 144 m (lithologisch, het massief gesteente start waarschijnlijk dieper) en werd voortgezet tot een diepte van 220 m. De eerste testresultaten zijn, voor zover gecommuniceerd, eerder bemoedigend.
Dit proefproject bevindt zich niet in de diepe ondergrond van Vlaanderen, maar indien dit soort projecten verder ontwikkeld worden, zouden ze in de toekomst dieper uitgevoerd kunnen worden omdat de geologie relatief gelijkaardig blijft met toenemende diepte. Hierdoor zouden deze activiteiten potentieel binnen het toepassingsgebied van het Decreet Diepe Ondergrond (dieper dan -500 mTAW) worden uitgevoerd.

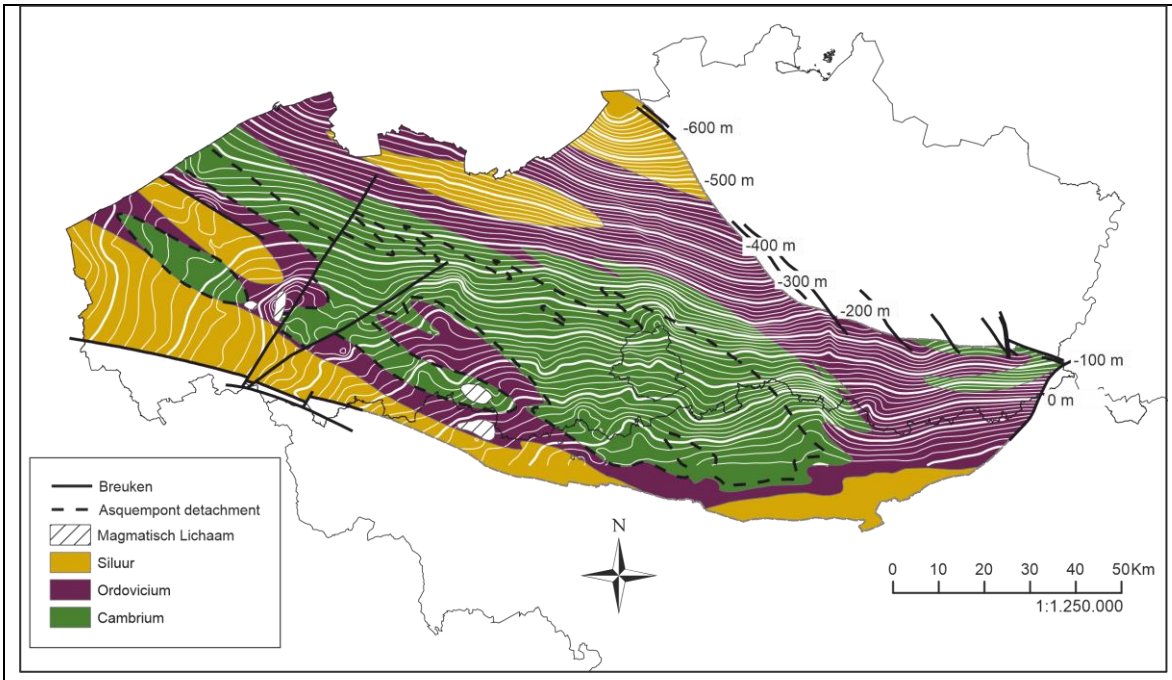
9.3 VOLUMETRISCHE SCHATTING

Seizoensgebonden ondergrondse opslag van drinkwater is in principe mogelijk in diepere, verzilte waterlagen. Door gebrek aan gegevens en testresultaten wordt hier gekozen om geografisch en geologisch het potentieel te bespreken, eerder dan een volumeberekening uit te voeren.

Het huidige proefproject wordt uitgevoerd in de ondiepe ondergrond in de omgeving van Aalst, waar de top van het Massief van Brabant wordt geviseerd. Deze top wordt algemeen als meer doorlatend gezien (‘gespleten top van het Massief’) en daarom soms als afzonderlijke aquifer beschouwd, alhoewel ze hydrologisch vaak een eenheid vormt met één van de afdekkende lagen (bv. Krijt of Formatie van Landen), het Sokkelsysteem volgens de VMM classificatie. Historisch werd uit deze

waterlaag op vrij grote schaal drinkwater geproduceerd wat leidde tot overbemaling, en waterwinning uit het Sokkelsysteem werd daarom uitgefaseerd. De watervoerende eigenschappen zijn niet uniform en soms moeilijk voorspelbaar. Een klassieke veronderstelling is dat doorlatendheid beter is in de buurt van de belangrijke riviervalleien omwille van verhoogde fracturatiegraad langsheen transversale sokkelbreuken die de positie van rivieren beïnvloed hebben. De top van de sokkel verdiept zich naar het noorden toe, en bevindt zich in het subcropgebied enkel in de omgeving van Antwerpen dieper dan 500 m, wat mogelijk een minder logisch gebied is voor opslag van drinkwater. Indien wordt uitgegaan van een reservoir met hoogte van 100 m (een dieptegrens van 400 m) wordt het gebied ruimer maar beperkt tot dezelfde regio. Buiten het subcropgebied verdiept het Massief van Brabant snel tot ongunstige dieptes (fig. 5).

Andere aquifers, zoals deze in het Krijt of Paleogeen-Neogeen, kunnen eveneens gebruikt worden als deel van de diepe ondergrond, zoals in het noorden of oosten van de Kempen. Momenteel bestaat deze noodzaak nog niet, maar bij toenemende afbouw van netto grondwaterproductie is het niet onmogelijk dat productiecentra voor grondwater in de toekomst gebruikt zullen worden als opslagprojecten met verminderde of net-zero winning, waarbij de aquifer aangevuld wordt tijdens natte seizoenen en aangesproken wordt tijdens droge.



Figuur 5: Vereenvoudigde subcropkaart van het Massief van Brabant met isohypsen top sokkel (naar Piessens et al., 2005).

10 STEENKOOLONTGINNING IN HET KEMPENS SUBVOORLANDBEKKEN

De ontginning van steenkool in Vlaanderen start met de verkenning van de diepe ondergrond in Vlaanderen omstreeks het einde van de 19de eeuw. Vanaf 1876 bestond het vermoeden dat steenkoolbekkens zoals aangetroffen in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk zich uitstrekten tot in Vlaanderen.

10.1 HISTORISCHE ACTIVITEIT

In 1901 werd voor het eerst steenkool aangeboord in Vlaanderen, in 1906 de eerste steenkoolconcessie verleend, gevolgd door de aanleg van steenkoolmijnen vanaf 1910 en de eerste ontginning in 1914 (Winterslag). In totaal werden 7 mijnzetels geopend, waarvan de laatste gesloten werd in 1992 (Zolder). Er zijn nog steeds belangrijke steenkoolreserves aanwezig die gedeeltelijk bestaan uit cokeskolen, één van de Europese kritieke grondstoffen.
De toestand van de mijnen kan niet rechtstreeks gemonitord worden door de volledige afsluiting van de mijnschachten. Satellietmetingen van de bodembeweging met PS-InSAR tonen aan dat er voor het volledige mijngebied een inversie is van de subsidentie. Dit betekent dat de hydrostatische druk in de mijnen voldoende hersteld is om een decompactie van de initieel ontwaterde zones te veroorzaken (waar subsidentie tijdens ontginning in meters werd uitgedrukt en vaak differentieel en relatief snel was, is absidentie door decompactie geleidelijk, uniform en van de orde van centimeters of decimeters).

10.2 VOLUMETRISCHE SCHATTING

De reserves van steenkool in Vlaanderen werden meest recent (sinds 1990) geschat uitgaande van twee verschillende benaderingen. Een overzicht van eerdere schattingen (4 tot 7 miljard ton steenkool) wordt gegeven in Dusar et al. (1991).

Uitgaande van klassieke mijnbouw wordt bij het schatten van reserves rekening gehouden met de internationale richtlijnen van de *United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)*, namelijk minimale laagdikte (90 cm), maximaal asgehalte (50%) en een maximale diepte van 1200 m. Verder wordt gesteld dat slechts 25% van de reserve effectief winbaar is door exploitatie- en andere verliezen. Verschillende auteurs herhalen deze richtlijnen in hun publicaties, maar geven geen referentie naar de versie van het UNECE document. Op basis van deze veronderstellingen wordt de totale hoeveelheid steenkool ten noorden van de historische concessies, beperkt tot het gebied dat met boringen werd verkend, geschat op 3340 miljoen ton aan steenkool in-situ. Op basis van de 25% regel komt dit overeen met 835 miljoen ton technisch ontginbare steenkool (Dusar et al., 1991).

Inclusief de onontgonnen reserves in de uitgebate concessies en het gebied dat enkel seismisch geëxploreerd werd (zonder verkenningsboringen) is er minsten 4.5 miljard ton aan in-situ steenkool aanwezig: 4.1 miljard ton in het enkel seismisch verkende deel[11] en 400 miljoen ton aan onontgonnen reserves in de ontgonnen concessies (Dusar et al., 1990, 1991). Inclusief dunnere lagen zou de effectief aanwezige hoeveelheid steenkool 2 tot 4 maal hoger kunnen liggen Wenselaers et al. (1996). Deze schattingen werden overgenomen in Goovaerts & Burlet (2024).

[11] Aanwezigheid van belangrijke hoeveelheden steenkool werd in 1993 aangetoond met de boring van Peer, zie §12.1.

Een schatting die vertrok van een digitalisatie van de steenkoolgegevens (van Tongeren et al., 2000) komt uit op meer dan 38.8 miljard ton steenkool in situ, waaruit een mijnbouwkundige voorraad van 8.5 miljard ton wordt afgeleid. Deze getallen liggen veel hoger dan de eerdere schattingen, maar kunnen niet één op één vergeleken worden. Van Tongeren et al. (2000) gebruiken de inventarisatie om de werkelijke hoeveelheid steenkool vast te stellen die daarna verminderd wordt tot 'mijnbouwkundige voorraden', daar waar de andere auteurs de boorbeschrijvingen gebruiken om rechtstreeks realistisch winbare hoeveelheden steenkool te schatten, en daarbij ook conservatiever te werk lijken te gaan. De schatting van 8.5 miljard ton aan 'mijnbouwkundige voorraad' is best vergelijkbaar met deze van 4 tot 4.5 miljard ton 'in-situ' (range afhankelijk van referentie) volgens de UNECE-methodologie. Het is bediscussieerbaar welke schatting relevanter of betrouwbaarder is, ze grenzen in elk geval min of meer het bereik af van de diverse schattingen die gemaakt werden over resterende steenkoolreserves. Verder is het niet zo dat de concessies met de hoogste percentages aan steenkool reeds werden uitgebaat, de steenkoolrijkdom in het blok Neeroeteren-Rotem is groter dan in de reeds uitgebate concessies (Dusar et al., 1991).

De Kempense steenkoolmijnen waren gericht op de ontginning van steenkool voor aanwending van vetkool (cokeskolen), één van de Europese kritieke grondstoffen, maar er bestaan geen gegevens over de relatieve hoeveelheid ervan ten opzichte van de totale hoeveelheid steenkool waardoor de reserves zonder aanvullende gegevens niet kunnen worden opgesplitst. Wel is het zo dat ontginning weinig selectief is, en dat steenkool als lagen in bulk ontgonnen wordt om pas daarna verder gesorteerd te worden naar kwaliteit en toepassing.

11 POTENTIËLE PROJECTEN VOOR MIJNMETHAAN IN HET KEMPENS SUBVOORLANDBEKKEN

De maatschappij Fluxys, die aan de basis ligt van het Belgische aardgasnetwerk, vindt haar oorsprong in de verzameling van mijnmethaan van verschillende Waalse mijnzetels. De mijnen in Vlaanderen werden hier niet op aangesloten, maar werden wel ontgast via ventilatie en boringen uitgevoerd vanuit de exploitatiefronten. In de mijnen Waterschei, Eisden en Zolder was er een gascaptiesysteem, dat in Waterschei ongeveer $18x10^6$ m³ gas afving per jaar naast de naar schatting 20 tot $60x10^6$ m³/j die in de atmosfeer geloosd werd (volgens Dusar, 1996; in Wenselaers et al., 1996 wordt 6250 m³/u vermeld wat overeenkomt met $55x10^6$ m³/j). Enkel in Waterschei werd het afgevangen methaan gebruikt om twee gasturbines te voeden (elektriciteit en verwarming).

Na de sluiting van de mijnen bleven enkel in Winterslag twee ontluchtingspijpen open die gedurende een tweetal jaar metingen toelieten. De diepste van deze pijpen raakte vrij snel geblokkeerd, waarschijnlijk door stijgend mijnwater na het stopzetten van de bemaling, maar de andere toonde een snelle evolutie naar vrijwel zuiver methaan dat aan een debiet van 800 m³/u ventileerde, en over een periode van 2 jaar kwam er naar schatting $5.5x10^6$ m³ methaan vrij (Dusar, 1996). Na een persbericht met verontrustende titel werden beide pijpen met beton volgestort.

Deze waarnemingen tonen dat de verlaten steenkoolmijnen waarschijnlijk initieel geschikt waren voor de ontginning van mijnmethaan, ook omdat het verschillende decennia duurde voordat ze volledig onderliepen. De inversie van subsidentie toont dat deze optie niet langer bestaat. Wel is het mogelijk dat bij het vollopen van de mijnen methaan geconcentreerd werd in bepaalde delen van de mijn en er gasbellen aanwezig zijn die slechts langzaam verkleinen door oplossing in het formatiewater.

Alhoewel rechtstreekse winning van mijnmethaan niet mogelijk is, zou het als bijproduct gewonnen kunnen worden bij een koude-warmteproject dat de verlaten mijn als reservoir gebruikt. De haalbaarheid hiervan hangt af van de gasconcentratie en de circulatieschema's, en kan op basis van huidige gegevens niet worden ingeschat.

12 KOOLBEDMETHAAN IN HET KEMPENS SUBVOORLANDBEKKEN

Organische koolstofketens worden bij begraving gradueel omgezet, waarbij onder meer methaan vrijkomt. Aangezien methaan bij verhoogde druk vrij goed adsorbeert op organisch materiaal, blijft het gedeeltelijk gevangen in de steenkoollagen. Door deze lagen aan te boren en door, via wateronttrekking, de druk te verlagen, komt dit methaan vrij en kan het ontgonnen worden als koolbedmethaan.

12.1 HISTORISCH PROEFPROJECT

De haalbaarheid van de ontginning van koolbedmethaan werd uitgetest met de proefboring van Peer (062E0276) (Wenselaers et al., 1996), een test die grotendeels door Vlaanderen werd gefinancierd. Deze boring werd in 1992 uitgevoerd tot een diepte van 1346 m met afwerking van de put in 1993. Er werden effectief gasrijke steenkoollagen aangeboord tussen 802 m en 1348 m met een cumulatieve kolendikte van 28,8 m. Een selectie van 4 koollagen werd gestimuleerd. De boring werd uitgevoerd in de nabijheid van de Donderslagbreuk in de hoop op een sterkere natuurlijke fracturatiegraad.

De initiële resultaten leken gunstig, maar het proefproject slaagde er uiteindelijk niet in om stabiel te produceren bij voldoende ontwatering. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de onderschatting van de watervoerendheid van de nabijgelegen Donderslagbreuk en de fracturatiezone daarrond (Wenselaers et al., 1996). Tijdens de testperiode van ruim één jaar werd ongeveer 17000 m³ gas geproduceerd, waarvan ongeveer 10000 m³ methaan. Het lijkt erg waarschijnlijk dat het mislukken van de winning van koolbedmethaan te Peer komt doordat ze nabij de Donderslagbreuk werd ingepland in de hoop dat een verhoogde fracturatiegraad gunstig zou zijn. Maar dit had eveneens tot gevolg dat de watervoerende breuk zelf werd aangetapt, met ongunstige resultaten voor ontwatering en gassamenstelling tot gevolg. Omwille van deze reden is de uitkomst van de test te Peer niet representatief voor andere potentiële projecten.

12.2 POTENTIËLE PROJECTEN

Op verschillende momenten werd interesse getoond voor de ontginning van koolbedmethaan in het Kempens Subvoorlandbekken. Deze initiatieven varieerden van informatieaanvragen tot vergunningsaanvragen, maar bereikten tot nu toe niet het stadium van een effectieve herstart van exploratie.

Informatief wordt hier geïllustreerd hoe een potentieel project sterk kan afwijken van het uitgevoerde proefproject in Vlaanderen dat gebaseerd was op een verticale boring en stimulatie (*fracking*). Bij een alternatieve aanpak, die in Schotland werd ontwikkeld en uitgetest (Composite Energy, testproductie minstens vanaf 2008 nabij Firth of Forth), worden bijna horizontale boringen uitgevoerd doorheen individuele steenkoollagen over een lengte van meer dan één kilometer. Deze boringen worden nauwkeurig uitgevoerd zodat ze een verticale boring doorsnijden, en ze worden als open boorgat uitgevoerd in de steenkool, zonder verdere stimulatie. Voor de stabiliteit van het boorgat is een juiste oriëntatie ten opzichte van het natuurlijk spletensysteem in steenkool belangrijk. Ook moeten breuken, en de daarbij horende stratigrafische sprongen, vermeden worden door deze boringen centraal in te plannen in breukblokken. Eens de horizontale boringen zijn

uitgevoerd, worden ze door wateronttrekking via het verticale boorgat in onderdruk gebracht, zodat ontgassing plaatsvindt. Het gas wordt via het verticale boorgat onttrokken.

Methaanproductie uit steenkool kan gestimuleerd worden door injectie van bijvoorbeeld stikstof of koolstofdioxide, gassen die elk op een andere manier interageren met steenkool. Vooral het gebruik van CO_2 werd initieel voorgesteld omdat er netto meer CO_2 opgeslagen zou kunnen worden dan er bij de verbranding van het onttrokken CH_4 zou worden vrijgezet. Experimenteel werk en proefprojecten stelden echter vragen bij de technische haalbaarheid van dit concept, vooral in relatief weinig doorlatende steenkool zoals ook in Vlaanderen, omdat zwelling van steenkool door adsorptie van CO_2 de doorlatendheid zou doen dalen (Wang et al., 2020). De in dit hoofdstuk gemaakte schattingen houden dan ook geen rekening met dit soort technieken.

12.3 VOLUMETRISCHE SCHATTING

Er werden twee studies uitgevoerd naar het totale gasgehalte van de steenkool in de Kempen. Een eerste studie (van Tongeren et al., 2000) vertrekt van een inventarisatie van de steenkoolgegevens, voornamelijk uit boringen, om via een isopachenkaart en aannames over steenkoolgehaltes en gasconcentraties te komen tot het totale potentieel winbare gasgehalte. Op dit systeem werd verder gebouwd en in Ferket & Laenen (2008) wordt de verder ontwikkelde methodologie uiteengezet die gebruik maakt van een meer gedetailleerde begravings- en gasgeneratie-evaluatie, en de locatie-specifieke schattingen vergelijkt met de gasconcentraties gemeten te Peer. Binnen VITO is deze methode ingebed in een niet-publieke applicatie die een geografisch gegevenssysteem bevraagt. Hieronder worden de schattingen in van Tongeren et al. (2000) besproken.

Voor de berekening van de reserves wordt de hoeveelheid steenkool per oppervlakte vermenigvuldigd met het verwachte gasgehalte. Deze laatste parameter wordt geschat op basis van de 'Stuffken'-curve (Stuffken, 1957), een empirische functie die op basis van een aantal parameters, waarvan de inkolingsgraad van de steenkool de belangrijkste is, het gasgehalte schat. Deze curve werd voor de Nederlandse steenkoolterreinen opgesteld, maar bleek ook voor de Kempense steenkool aannemelijke schattingen op te leveren. Door van Tongeren et al. (2000) werden op deze manier contourkaarten opgesteld waarvan de gebieden binnen de contour van (dus met hogere waarden dan) $250x10^6$ m³/km² aan gas in-situ hier als representatieve reserves worden voorgesteld. Binnen deze gebieden is de totale voorraad aan koolbedmethaan $130x10^9$ m³. In van Tongeren et al. (2000) wordt een derde hiervan uitgesloten, omdat het verondersteld wordt in te dunne of geïsoleerde koollagen voor te komen, waarna nog een winbaarheidsfactor van 60% wordt toegepast. De technisch haalbare reserve wordt daarmee $53x10^9$ m³ aan methaan.

13 SCHALIEGAS IN HET KEMPENS VOORLANDBEKKEN

Bij de internationaal piekende interesse tussen 2011 en 2013 naar schaliegas werd ook in Vlaanderen het potentieel voor zover gekend in kaart gebracht, maar bleef het bij initiële interesse van potentiële investeerders. Er zijn twee mogelijkheden om schaliegas in Vlaanderen te winnen, beiden in het Kempens Voorlandbekken.

De organisch rijke schalies van de Formatie van Chokier vormen het meest voor de hand liggende exploratiedoel. Uit het ontsluitingsgebied in Wallonië is gekend dat deze lokaal geschikte eigenschappen kunnen hebben voor schaliegas-onttrekking, maar ook dat ze qua oorspronkelijke samenstelling en diagenese vrij sterk variëren. Deze formatie is relatief schaars bemonsterd in Vlaanderen, wat het moeilijk maakt om regionale conclusies te trekken. Ze is zeker niet overal even dik aanwezig, maar vertoont lokaal waarschijnlijk wel vrij gunstige eigenschappen. Bij verkennende gesprekken met Wintershall Holding (een groep die verkennend onderzoek uitvoerde in 2012) werd geopperd dat, omdat schaliegasprojecten vrij kortlopend zijn, de productieputten zo uitgevoerd konden worden dat een verdere verdieping voor bijvoorbeeld geothermieprojecten mogelijk zou blijven.

Een andere optie in Vlaanderen is gelinkt aan koolbedmethaan. In een niet vervolledigd doctoraatsonderzoek werden de organisch rijke schalies aan de basis van steenkoollagen uit het Westfaliaan onderzocht. De analyses leken aan te geven dat deze lagen niet enkel geschikt zouden kunnen zijn voor schaliegas, maar dat op basis van het organisch materiaal, en in tegenstelling tot wat verwacht zou worden uit de nabijheid van steenkool, deze schalies potentieel condensaten zouden kunnen produceren (Vandewijngaerde et al., 2016). Omdat deze schalies in continuïteit voorkomen met de steenkoollagen, zouden ze samen geëxploiteerd kunnen worden. Productie van condensaten zou de waarde van dergelijke projecten verhogen, naast het feit dat de reserves aan koolbedmethaan aanzienlijk groter zouden zijn dan geschat op basis van enkel de steenkoolreserves (zie §12.3) omdat gas geadsorbeerd op schalies hierbij werd verwaarloosd. Ook niveaus en gebieden met minder ontwikkelde steenkoollagen zouden interessant kunnen zijn indien de schaliepakketten geotechnisch en lithologisch geschikt en voldoende dik zijn.

Voor geen van beide settings werden ooit volumeschattingen opgemaakt. Recent werd het schaliegaspotentieel van het Namuriaan (Formatie van Chokier) geëvalueerd (voornamelijk op basis van de boring van Turnhout, 017E0225) met de ongunstige conclusie dat ze eerder overmatuur zijn en te gering in dikte (Wei et al., 2023). Daarom kon schaliegas niet meegenomen worden in de uitgevoerde simulatie. Wel werd de gelijkaardige ontginning van steenkoolmethaan gesimuleerd in één scenario (SELF) zodat een algemeen inzicht bekomen wordt. Steenkoolmethaan wordt niet alleen op een gelijkaardige manier gewonnen, er wordt eveneens gas geadsorbeerd aan schalie geproduceerd.

14 MINERALISATIES

Mineralisaties in de diepe ondergrond van Vlaanderen zijn terug te brengen tot twee metallische provincies: deze in het uiterste oosten van het Kempens Post-Brabantisch Bekken (Voeren), en in het Massief van Brabant.

14.1 POTENTIËLE PROJECTEN IN HET KEMPENS POST-BRABANTISCH BEKKEN

Mineralisaties zijn gekend, en werden ontgonnen, ten oosten van de Voerstreek vanaf het midden van de 19de eeuw tot 1936, met uitzondering van sporadische ontginning tijdens de Tweede Wereldoorlog. Het is in hoofdzaak een lood-zink afzetting met lokaal zeer hoge ertsconcentraties. In de huidige context is de associatie met kritieke grondstoffen belangrijk. Er zijn aanwijzingen voor aanrijking in antimoon en germanium, en daarnaast ook zilver. De gekende mineralisaties reiken niet tot in Vlaanderen, maar wel wordt er aangenomen dat de mineralisatie zich voornamelijk in noordwestelijke richting uitstrekt, dus korter bij het Vlaams grondgebied. De geologische setting verandert echter dicht bij de grens met Vlaanderen, wat het bestaan van niet ontdekte ertsafzettingen van dit type in Vlaanderen minder waarschijnlijk maakt.

Lithium komt, waarschijnlijk naast andere elementen, ook voor opgelost in zoutwatervoerende aquifers. Met name werd het gehalte aan lithium in het formatiewater van het Dinantiaan geanalyseerd, maar momenteel zijn er geen concrete initiatieven om dit te winnen.

14.2 POTENTIËLE PROJECTEN IN HET MASSIEF VAN BRABANT

Langs de zuidrand van het Massief van Brabant werd met een bundeling van publieke (voornamelijk Vlaamse) en private financiering een reeks boringen uitgevoerd als exploratie naar ertsafzettingen. Voordien waren inderdaad aanwijzingen gevonden voor de aanwezigheid van ertsen op basis van geofysische metingen en regionale grondwaterchemie. De diepste gekernde boring (114E0100) heeft een diepte van 430 m en bereikt dus niet de diepe ondergrond.

Er werd een polysulfidenmineralisatie aangetroffen in een brede schuifzone die gelinkt kon worden aan migratie van een metamorf fluïdum tijdens de Brabantse Orogenese. De mineralisaties zijn op zich niet economisch, maar mogelijk wel indicatief voor andere, beter ontwikkelde ertslichamen in het Massief van Brabant. De mineralisatie komt immers voor in een zwakhellende schuifzone, wat past in het regionale vervormingspatroon dat zich concentreert tegen en langs de weinig vervormbare, veronderstelde granietlichamen in de diepte. Zwak noord hellende schuifzones tappen niet rechtstreeks de metamorfe fluïda aan, maar zijn waarschijnlijk verbonden, en vormen mogelijk een structureel geheel, met meer verticaal en diep reikende schuifzones in een meer centraal deel van het Brabants Orogeen, ten noorden van het onderzochte gebied. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat hier wel economische ertsafzettingen afgezet werden, die in dat geval een gelijkaardige samenstelling kunnen hebben als de ondiepere: met onder meer koper, antimoon, bismut, zilver en arseen.

De veronderstelde granietlichamen die reeds besproken werden bij geothermische prospectie (paragraaf 2.3.1) zijn ook potentiële gastgesteenten voor ertsen, evenals de schuif- en breukzones die preferentieel nabij het granietcontact ontwikkeld kunnen zijn. Afhankelijk van het type granietlichaam kunnen elementen zoals lithium, tantaal, gallium of germanium verwacht worden, naast andere al dan niet kritieke of strategische grondstoffen. De verwachte geothermische

proefboring in Wielsbeke (zie §2.3.1.1) zou voor het eerst hierover meer informatie kunnen brengen. De financiering van het wetenschappelijke luik van deze boring, dat naast de geothermische aspecten met name ook onderzoek naar mineralisaties zou garanderen, is niet toegekend, en de uitvoering van dit onderzoek is daarom onzeker.

Algemeen is het Massief van Brabant, doordat het een zeer grote maar nauwelijks ontsloten of verkende lithotektonische eenheid is, de belangrijkste onbekende voor het inschatten van mineralisaties in Vlaanderen.

14.3 VOLUMETRISCHE SCHATTING

Aangezien er geen mineralisaties dieper dan 500 m gekend zijn in Vlaanderen kunnen er geen volumeschattingen gemaakt worden. Dit wil niet zeggen dat ze potentieel niet aanwezig kunnen zijn.

In het formatiewater van het Dinantiaan werd wel de concentratie aan opgelost lithium bepaald. Deze wordt geciteerd op 100 mg/l (De Tijd, 2023; Michielsen & Vanverdegem, 2023), het aantal analyses of de variatie tussen individuele resultaten is niet gekend. Deze concentratie is potentieel interessant indien lithium zeer efficiënt en tegen een lage kostprijs gewonnen kan worden. Het winnen van lithium kan gekoppeld worden aan geothermische productie via doubletten. De techno-economische aspecten van de extractie van lithium worden getest en verder ontwikkeld in een aantal buitenlandse proefprojecten (bv. in de Elzas). Belangrijk is dat in deze projecten geothermie niet voorop staat, maar wel de extractie van lithium, waarbij de energie voor de extractie geleverd wordt door geothermie (om CO_2 neutraliteit te verwezenlijken).

In de pers worden voor Vlaanderen cijfers tot 500 tLi_2O/jaar per geothermieproject aangehaald en geëxtrapoleerd naar 15000 t/jaar voor in totaal 30 projecten (Munster, 2024). Deze schatting lijkt erg optimistisch want zelfs met een 100% efficiënte extractie en een ononderbroken productie zou een debiet van 285 m^3/u per doublet nodig zijn. Uitgaande dat een gemiddeld geothermieproject eerder een debiet van 100 tot 200 m^3/u haalt en gedurende 6 maanden produceert (afhankelijk van de toepassing zullen geothermieprojecten op jaarbasis 50% tot 90% operationeel zijn), is een opbrengst van 50 tot 200 tLi_2O/jaar realistischer. Deze schatting overlapt met de input voor de impactstudie met PSS-simulaties, die in de range liggen van 40 tot 180 tLi_2O/jaar).

Een schatting van de totale hoeveelheid lithium die potentieel winbaar is uit het formatiewater van het Dinantiaanreservoir kan gemaakt worden door terug te rekenen vanuit het geothermisch potentieel geschat door Berckmans & Vandenberghe (1998). Dit kan echter niet rechtstreeks omdat volumetrische gegevens onvolledig gepubliceerd werden. Gebruik makend van de formules uit Hurter & Haenel (2002) en aanvullende gegevens uit Veldkamp & HotLime Team (2021) kan geschat worden dat Berckmans & Vandenberghe (1998) impliciet uitgaan van een volume aan formatiewater van $2x10^9$ m^3, waaruit een totale massa opgelost lithium van 200000 ton in Vlaanderen kan worden berekend (ter vergelijking: de wereld jaarproductie van lithium in 2023 bedroeg 180000 ton (U.S. Geological Survey, 2024). Deze schatting houdt rekening met alle veronderstellingen die werden gemaakt bij de berekening van het geothermische potentieel, zoals een windbaarheidsfactor van 33%. Zoals in sectie 2.4 wordt besproken, werd de schatting voor het geothermische potentieel van het Dinantiaan reservoir van Berckmans & Vandenberghe (1998) door Bos & Laenen (2017) naar boven bijgesteld, onder andere omwille van een groter dieptebereik. In dezelfde lijn zou de potentiële massa aan opgelost lithium ook verhoogd kunnen worden (de onderliggende berekening is echter minder eenvoudig omkeerbaar).

Naast lithium komen waarschijnlijk ook andere interessante elementen voor, maar het is op dit moment niet te bepalen of deze winbaar zijn met de huidige techno-economische context.

15 ONTWIKKELING VAN DE DIEPE ONDERGROND DOORHEEN DE TIJD

15.1 HISTORISCHE PROJECTEN

Historisch startte de verkenning van de Vlaamse diepe ondergrond op het einde van de 19de eeuw met verkenningsboringen naar steenkoolreserves, die effectief leidden tot de ontginning van steenkool van 1914 tot 1992. Verdere verkenning, meestal zonder rechtstreeks uitzicht op economische valorisatie, resulteerde in de ontdekking van het Dinantiaan als geothermisch reservoir en de eerste geothermische projecten in de jaren '50 – '80. Geen van deze projecten zijn vandaag nog actief.

15.2 HUIDIGE PROJECTEN

De ontdekking van de koepel van Heibaart, die gebruik maakt van hetzelfde reservoir, leidde in 1977 tot toestemming voor opsporing en exploitatie van de ondergrondse aardgasopslag te Loenhout[12] die ook vandaag nog operationeel is. Veel recenter zijn de geothermieprojecten te Mol[13] en Beerse[14].

15.3 HUIDIGE PROEFPROJECTEN

Een proefproject dat momenteel lopend is, is de test voor opslag van waterstofgas in de koepel van Heibaart[15]. Het ondergrondse laboratorium voor berging van radioactief afval[16] bevindt zich niet in de diepe ondergrond, maar zou wel een voorbereidende stap daarvoor kunnen zijn.

15.4 POTENTIËLE PROJECTEN IN VOORBEREIDING

Verschillende geothermische projecten zijn in directe voorbereiding, al dan niet reeds met een opsporingsvergunning voor diepe aardwarmte, zowel doubletten[17] als éénputssystemen[18].

15.5 POTENTIËLE ACTIVITEITEN TUSSEN NU EN 2050

Het potentieel voor projecten ontwikkeld in de diepe ondergrond voor 2050 ligt gedeeltelijk in lijn met deze huidige initiatieven. Zo kunnen meer diepe doubletten verwacht worden in de Kempen, meer geothermische éénputssystemen in het Massief van Brabant, en opslagprojecten voor waterstofgas of bijkomende voor aardgas. Daarnaast kunnen potentieel ook geothermische éénputssystemen in bijvoorbeeld het Krijtreservoir worden verwacht, warmteopslagprojecten, koude-warmteopslagprojecten in aquifers of in de verlaten steenkoolmijnen in de Kempen, opslagprojecten voor CO_2 in de Kempen, opslag van drinkwater in het Massief van Brabant, berging van hoogwaardig radioactief afval in de Kempen, geothermische coproductie van lithium, en eventueel opslag van potentiële energie.

[12] https://www.fluxys.com/nl/about-us/fluxys-belgium/infrastructure/loenhout-storage
[13] https://vito.be/nl/diepe-geothermie/balmatt-site
[14] https://www.janssen.com/belgium/nl/geothermie
[15] https://www.fluxys.com/nl/hydrogen/activities/loenhout-hydrogen-underground-storage
[16] https://www.sckcen.be/en/infrastructure/hades
[17] https://www.hita.be/projecten/
[18] https://www.ejustice.just.fgov.be/mopdf/2024/04/30_1.pdf#page=243

In de modellering die loopt tot 2050 wordt de meerderheid van deze activiteiten meegenomen (tabel 7). Opslag van drinkwater, warmteopslag in aquifers en opslag van potentiële energie worden niet specifiek gemodelleerd. Hiervoor is hun impact te lokaal of de technologische uitwerking te onzeker.

	Voor 2050 – gemodelleerd	**Voor 2050 – niet gemodelleerd, wel kwalitatief beschreven**	**Na 2050**
Geothermie	Doubletten in Kempen, éénputssystemen		Voor elektriciteits-winning
Warmteopslag		X	
Koude-warmteopslag	In steenkoolmijn	In aquifers	
Opslag aardgas	X		
Opslag waterstof	X		
Opslag CO_2	X		
Ondergrondse berging radioactief afval		X	Massief van Brabant
Ondergrondse opslag potentiële energie		X	
Ondergrondse opslag van drinkwater		X	
Steenkoolontginning			X
Koolbedmethaan	Enkel in SELF scenario		X
Schaliegas			X
Mineralisaties	Li in combinatie met geothermie		X

Tabel 7: Overzicht van verschillende activiteiten in functie van hoe ze onderwerp vormen in deze studie.

15.6 POTENTIËLE ACTIVITEITEN NA 2050

Alhoewel het potentieel bestaat, zijn andere activiteiten onvoldoende matuur om vóór 2050 verwacht gerealiseerd te worden in Vlaanderen, of zou dit een radicale wijziging vragen in de socio-economische context. Hierbij horen zeer diepe geothermische projecten voor elektriciteitswinning, berging van radioactief afval in het Massief van Brabant, ontginning van steenkool, ontginning van schaliegas, ontginning van koolbedmethaan, en diepe ontginning van mineralisaties (anders dan de winning van elementen, vb. Li, opgelost in formatiewater). In één scenario wordt een socio-economische context gesimuleerd die sterk op zelfvoorziening is gericht (SELF scenario, zie deelrapport D4 (beleidsscenario's)) en waar in tegenstelling met andere scenario's de ontginning van koolbedmethaan mogelijk is.

16 REFERENTIES

Areias, L., Craeye, B., De Schutter, G., Van Humbeeck, H., Wacquier, W., Villers, L., Van Cotthem, A., 2010. Half-Scale Test: An Important Step to Demonstrate the Feasibility of the Belgian Supercontainer Concept for Disposal of HLW. ASME 2010 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, Volume 2. Presented at the ASME 2010 13th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ASMEDC, Tsukuba, Japan, 287–296. https://doi.org/10.1115/ICEM2010-40119

Bachu, S., Bonijoly, D., Bradshaw, J., Burruss, R., Holloway, S., Christensen, N.P., Mathiassen, O.M., 2007. CO2 storage capacity estimation: Methodology and gaps. International Journal of Greenhouse Gas Control 1, 430–443. https://doi.org/doi: 10.1016/S1750-5836(07)00086-2

Berckmans, A., Vandenberghe, N., 1998. Use and potential of geothermal energy in Belgium. Geothermics 27, 235–242. https://doi.org/10.1016/S0375-6505(97)10010-4

Bertier, P., Swennen, R., Kemps, R., Laenen, B., Dreesen, R., 2022. Reservoir characteristics and diagenesis of the Buntsandstein sandstones in the Campine Basin (NE Belgium). Geologica Belgica 25, 145–184. https://doi.org/10.20341/gb.2022.004

Bless, M.J.M., Boonen, P., DUSAR, M., Soille, P, 1981. Microfossils and depositional enviroinment of Late Dinantian carbonates at Heibaart (Northern Belgium). Annales de La Société Géologique de Belgique 104, 135–165.

Borremans, M. (Ed.), 2015. Geologie van Vlaanderen.

Bos, S., Laenen, B., 2017. Development of the first deep geothermal doublet in the Campine Basin of Belgium. European Geologist Journal 43, 16–20.

Broothaers, M., Lagrou, D., Laenen, B., Harcouët-Menou, V., Vos, D., 2021. Deep geothermal energy in the Lower Carboniferous carbonates of the Campine Basin, northern Belgium: An overview from the 1950's to 2020. Zeitschrift Der Deutschen Gesellschaft Für Geowissenschaften 172, 211–225. https://doi.org/10.1127/zdgg/2021/0285

De Koninck, R., Hernandez Acevedo, E., Broothaers, M., 2022. . Reservoir simulation data for Flemish geothermal resources (Temperature & Depth data). No. Deliverable D2.1, DESIGNATE project.

De Meyer, F., 1984. TWO STRUCTURAL MODELS FOR THE WESTERN FLANK OF THE BRABANT MASSIF*. Geophysical Prospecting 32, 37–50. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1984.tb00715.x

De Tijd, 2023. Geothermiebedrijf Hita ontdekt lithium in de diepe Kempen., De Tijd.

Dusar, M., 1996. Steenkool. In: Gullentops, F., Wouters, L. (Eds.), Delfstoffen in Vlaanderen. 107–115.

Dusar, M., Bouckaert, J., Verkaeren, P., 1991. The hard coal reserves of the campine mining basin. Brussels, 13-09-1991, 7.

Dusar, M., Bouckaert, J., Verkaeren, P., 1990. The hard coal reserves of the Campine mining basin. Annales de La Société Géologique de Belgique 113, 127–128.

EIG Euridice, 2017. How does one build a supercontainer?

Ferket, H., Laenen, B., 2008. Een methode voor het berekenen van het methaangehalte van steenkoollagen. No. 2008/MAT/R/102.

Goovaerts, T., Burlet, C., 2024. Coking coal. In: Decrée, S. (Ed.), The Critical Raw Materials Atlas of Belgium, Memoirs of the Geological Survey of Belgium. 114–117.

Gringarten, A., 1978. Reservoir Lifetime and Heat Recovery Factor in Geothermal Aquifers used for Urban Heating. Pageoph 117, 297–308.

Grosjean, A., 1954. Mesures de températures aux profondeurs de 2.185 et 2.225 m dans le sondage de Turnhout (Campine Belge). Bulletin de La Société Géologique de La Belgique 63, 193–201.

Heinemann, N., Alcalde, J., Miocic, J.M., Hangx, S.J.T., Kallmeyer, J., Ostertag-Henning, C., Hassanpouryouzband, A., Thaysen, E.M., Strobel, G.J., Schmidt-Hattenberger, C., Edlmann,

K., Wilkinson, M., Bentham, M., Stuart Haszeldine, R., Carbonell, R., Rudloff, A., 2021. Enabling large-scale hydrogen storage in porous media – the scientific challenges. Energy & Environmental Science 14, 853–864. https://doi.org/10.1039/D0EE03536J

Hurter, S., Haenel, R., 2002. Atlas of Geothermal Resources in Europe. No. EUR 17811. European Commission.

IAEA, 2011. Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements. No. SSR-5, Specific Safety Requirements.

International Atomic Energy Agency, 2020. Design Principles and Approaches for Radioactive Waste Repositories. No. STI/PUB/1908.

Khodayar, M., Björnsson, S., 2024. Conventional Geothermal Systems and Unconventional Geothermal Developments: An Overview. Open Journal of Geology 14, 196–246. https://doi.org/10.4236/ojg.2024.142012

Laenen, B., Van Tongeren, P., Dreesen, R., Dusar, M., 2004. Carbon dioxide sequestration in the Campine Basin and the adjacent Roer Valley Graben (North Belgium): an inventory. Geological Society, London, Special Publications 233, 193–210. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.233.01.13

Lagrou, D., Matthijs, J., Van Haren, T., Dirix, K., Laenen, B., 2020. Kansen voor energieopslag in de diepe ondergrond van Vlaanderen. No. 2020/RMA/R/2074. Vlaamse Overheid. Department Omgeving.

Michielsen, T., Vanverdegem, M., 2023. L'entreprise de géothermie Hita découvre du lithium en Campine., l'Echo.

Muhammed, N.S., Haq, M.B., Al Shehri, D.A., Al-Ahmed, A., Rahman, M.M., Zaman, E., Iglauer, S., 2023. Hydrogen storage in depleted gas reservoirs: A comprehensive review. Fuel 337, 127032. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127032

Munster, J.-F., 2024. Les promesses d'un lithium vert made in Europe., Le Soir.

Nelskamp, S., Foeken, J.P.T., Veldkamp, J.G., 2022. Dinantian geothermal potential. Interreg report - DGE-ROLLOUT.

NIRAS, 2008. De huidige toestand van het beheer van radioactief afval in België. No. NIROND 2008-02 N.

Perera, M.S.A., 2023. A review of underground hydrogen storage in depleted gas reservoirs: Insights into various rock-fluid interaction mechanisms and their impact on the process integrity. Fuel 334, 126677. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126677

Piessens, K., 2012. Converting abandoned coal mines into pumped-storage hydroelectric power stations. Moving Plates and Melting Icecaps - Processes and Forcing Factors in Geology. Presented at the 4th International Geologica Belgica Meeting, Brussels, Belgium, 234–234.

Piessens, K., 2011. Quantifying the CO2 storage potential in Belgium: Working with theoretical capacities. Energy Procedia. 4905–4912.

Piessens, K., Dusar, M., 2004. Feasibility of CO2 sequestration in abandoned coal mines in Belgium. Geologica Belgica 4, 165–180.

Piessens, K., Laenen, B., Nijs, W., Mathieu, P., Baele, J.-M., Hendriks, C., Bertrand, E., Bierkens, J., Brandsma, R., Broothaers, M., De Visser, E., Dreesen, R., Hildenbrand, S., Lagrou, D., Vandeginste, V., Welkenhuysen, K., 2009. Policy Support System for Carbon Capture and Storage - Phase 1 (PSS-CCS). No. SD/CP/04A, Research Programme Science for a Sustainable Development. Belgian Science Policy Office.

Piessens, K., Vancampenhout, P., De Vos, W., 2005. Geologische subcropkaart van het Massief van Brabant in Vlaanderen.

Piessens, K., Vandeginste, V., Vancampenhout, P., Dusar, M., 2007. Location-specific evaluation for geological storage of CO2 (LocC). Report of the Geological Survey of Belgium.

Piessens, K., Walstra, J., Willems, A., Barros, R., 2024. Old concepts in a new semantic perspective: introducing a geotemporal approach to conceptual definitions in geology. preprint. Life Sciences. https://doi.org/10.31223/X5RT28

Poulsen, N., Holloway, S., Neele, F., Smith, N.A., Kirk, K., 2014. CO2StoP Executive Summary. Assessment of CO2 storage potential in Europe. European Commission Contract No ENER/C1/154-2011-SI2.611598. DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE RAPPORT 56, 63. https://doi.org/10.22008/GPUB/30624

Raza, A., Arif, M., Glatz, G., Mahmoud, M., Al Kobaisi, M., Alafnan, S., Iglauer, S., 2022. A holistic overview of underground hydrogen storage: Influencing factors, current understanding, and outlook. Fuel 330, 125636. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125636

Rombaut, B., Deckers, J., 2020. Nieuwe geologische 3D-modellen van en inzichten over het boven Westfaliaan en het bovenliggende Perm/Trias/Jura in Vlaanderen. No. 2020/RMA/R/2142.

Safari, A., Zeng, L., Nguele, R., Sugai, Y., Sarmadivaleh, M., 2022. Review on using the depleted gas reservoirs for the underground H2 storage: A case study in Niigata prefecture, Japan. International Journal of Hydrogen Energy S0360319922058244. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.108

Sintubin, M., Everaerts, M., 2002. A compressional wedge model for the Lower Palaeozoic Anglo-Brabant Belt (Belgium) based on potential field data. Geological Society, London, Special Publications 201, 327–343.

Smith, N., Vincent, C., 2022. Geological database report. No. D1.2-0, Hystories report.

Stuffken, J., 1957. De mijngasafgifte van kolenlagen. PhD thesis. TUDelft.

Thiyagarajan, S.R., Emadi, H., Hussain, A., Patange, P., Watson, M., 2022. A comprehensive review of the mechanisms and efficiency of underground hydrogen storage. Journal of Energy Storage 51, 104490. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104490

U.S. Geological Survey, 2024. Mineral commodity summaries 2024. U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/mcs2024

Van Noten, K., Piessens, K., Vanbrabant, Y., 2019. Screening of suitability of pelitic rocks in Belgium for Radio-Active waste disposal. GSB report No. 2019/05.

van Tongeren, P., Dreesen, R., 2004. Residual space volumes in abandoned coal mines of the Belgian Campine Basin and possibilities for use. Geologica Belgica 7, 157–164.

van Tongeren, P., Laenen, B., Dreesen, R., 2000. Het koolbedmethaanpotentieel in Vlaanderen en de mogelijkheden tot geologische opslag van CO2 in relatie tot de winning van deze gasreserves. No. 2000/ETE/R/028.

Vandenberghe, N., Dusar, M., Boonen, P., Fan, L.S., Voets, R., Bouckaert, J., 2000. The Merksplas-Beerse geothermal well (17W265) and the Dinantian reservoir. Geologica Belgica 3, 349–367.

Vandenberghe, N., Fock, W., 1989. Temperature data in the subsurface of Belgium. Tectonophysics 164, 237–250. https://doi.org/10.1016/0040-1951(89)90017-6

Vandewijngaerde, W., Piessens, K., Dusar, M., Bertier, P., Krooss, B.M., Littke, R., Swennen, R., 2016. Investigations on the shale oil and gas potential of westphalian mudstone successions in the campine basin, NE Belgium (Well KB174): Palaeoenvironmental and palaeogeographical controls. Geologica Belgica 19. https://doi.org/10.20341/gb.2016.009

Vangkilde-Pedersen, T., 2009. Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide. No. Final Report D42, Project No. SES6-518318, EU GeoCapacity.

Veldkamp, H., HotLime Team, 2021. Report on play and prospect evaluation in HotLime's case study areas. GeoERA report No. HotLime Deliverable 3.1.

Verniers, J., Pharaoh, T., André, L., Debacker, T.N., De Vos, W., Everaerts, M., Herbosch, A., Samuelsson, J., Sintubin, M., Vecoli, M., 2002. The Cambrian to mid Devonian basin development and deformation history of Eastern Avalonia, east of the Midlands Microcraton: New data and a review, Geological Society Special Publication. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.201.01.04

VITO, Grontmij-Nederland, TNO, 2014. Economische haalbaarheid van intermediaire en diepe geothermie voor het verduurzamen van de warmtevraag bij bouw- en renovatie projecten (GEOHEAT-APP). Interreg Vlaanderen-Nederland.

Vlaamse Overheid, 2024. Besluit van de Vlaamse Regering tot verlening van een opsporingsvergunning voor aardwarmte in de regio Bredene aan S&R Bredene nv.
Vlaamse Overheid, 2023a. Besluit van de Vlaamse Regering tot verlenging van de opsporingsvergunning voor aardwarmte van VITO nv in de regio Mol-Dessel.
Vlaamse Overheid, 2023b. Besluit van de Vlaamse Regering tot verlenging van de opsporingsvergunning voor aardwarmte van Janssen Pharmaceutica nv in de regio Beerse.
Vlaamse Overheid, 2018. Besluit van de Vlaamse Regering tot verlening van een opsporingsvergunning voor aardwarmte aan VITO nv in de regio Mol-Dessel.
Vlaamse Regering, 2022. Besluit van de Vlaamse Regering tot verlenging van een opsporingsvergunning voor aardwarmte in de region Turnhout aand SPV GEO@Turnhout.
Wallace, R.L., Cai, Z., Zhang, H., Zhang, K., Guo, C., 2021. Utility-scale subsurface hydrogen storage: UK perspectives and technology. International Journal of Hydrogen Energy 46, 25137–25159. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.05.034
Wang, R., Wang, Q., Niu, Q., Pan, J., Wang, H., Wang, Z., 2020. CO2 adsorption and swelling of coal under constrained conditions and their stage-change relationship. Journal of Natural Gas Science and Engineering 76, 103205. https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103205
Wei, W., Littke, R., Swennen, R., 2023. Geochemical study of Mississippian to Pennsylvanian Namurian Shale in the Namur Synclinorium and Campine Basin (Belgium and S-Netherlands): Implication for paleo-redox reconstruction and organic matter characteristics. International Journal of Coal Geology 265, 104150. https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.104150
Welkenhuysen, K., Piessens, K., Baele, J.M., Laenen, B., Dusar, M., 2011. CO2 storage opportunities in Belgium. Energy Procedia. 4913–4920.
Welkenhuysen, K., Ramírez, A., Swennen, R., Piessens, K., 2013. Strategy for ranking potential CO2 storage reservoirs : A case study for Belgium. International Journal of Greenhouse Gas Control 17, 431–449.
Wenselaers, P., Dusar, M., van Tongeren, P., 1996. Steenkoollaag methaangaswinning in het Kempisch kolenbekken - Het proefproject te Peer.
Westaway, R., 2018. Deep Geothermal Single Well heat production: critical appraisal under UK conditions. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology qjegh2017-029. https://doi.org/10.1144/qjegh2017-029
Zivar, D., Kumar, S., Foroozesh, J., 2021. Underground hydrogen storage: A comprehensive review. International Journal of Hydrogen Energy 46, 23436–23462. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.138

17 BIJLAGE: LITERATUURLIJST WATERSTOFOPSLAG

Reference	Remark
Alessa, S., Sakhaee-Pour, A., Alipour, M., 2022. Safe pressure for hydrogen storage in subsurface. Energy Reports 8, 15702–15711. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.141	Interfacial tension H2-brine and CH4-brine
Aslannezhad, M., Ali, M., Kalantariasl, A., Sayyafzadeh, M., You, Z., Iglauer, S., Keshavarz, A., 2023. A review of hydrogen/rock/brine interaction: Implications for Hydrogen Geo-storage. Progress in Energy and Combustion Science 95, 101066. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2022.101066	Review
Ebrahimiyekta, A., 2017. Characterization of geochemical interactions and migration of hydrogen in sandstone sedimentary formations: application to geological storage. Université d'Orléans.	Geochemical reactions sandstones, up to 100y
Haddad, P.G., Ranchou-Peyruse, M., Guignard, M., Mura, J., Casteran, F., Ronjon-Magand, L., Senechal, P., Isaure, M.-P., Moonen, P., Hoareau, G., Dequidt, D., Chiquet, P., Caumette, G., Cezac, P., Ranchou-Peyruse, A., 2022. Geological storage of hydrogen in deep aquifers – an experimental multidisciplinary study. Energy Environ. Sci. 15, 3400–3415. https://doi.org/10.1039/D2EE00765G	Sulphate consumption
Heinemann, N., Alcalde, J., Miocic, J.M., Hangx, S.J.T., Kallmeyer, J., Ostertag-Henning, C., Hassanpouryouzband, A., Thaysen, E.M., Strobel, G.J., Schmidt-Hattenberger, C., Edlmann, K., Wilkinson, M., Bentham, M., Stuart Haszeldine, R., Carbonell, R., Rudloff, A., 2021. Enabling large-scale hydrogen storage in porous media – the scientific challenges. Energy Environ. Sci. 14, 853–864. https://doi.org/10.1039/D0EE03536J	Overview, limits for microorganisms…
Iglauer, S., 2022. Optimum geological storage depths for structural H2 geo-storage. Journal of Petroleum Science and Engineering 212, 109498. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109498	Storage depth only
Muhammed, N.S., Haq, B., Al Shehri, D., Al-Ahmed, A., Rahman, M.M., Zaman, E., 2022. A review on underground hydrogen storage: Insight into geological sites, influencing factors and future outlook. Energy Reports 8, 461–499. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.12.002	Review, reactions
Muhammed, N.S., Haq, M.B., Al Shehri, D.A., Al-Ahmed, A., Rahman, M.M., Zaman, E., Iglauer, S., 2023. Hydrogen storage in depleted gas reservoirs: A comprehensive review. Fuel 337, 127032. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127032	Review, modelling
Pichler, M., 2013. Assesment of hydrogen - rock interactions during geoloigcal storage of CH4-H2 mixtures. Department Mineral Resources & Petroleum Engineering.	Thesis, reactions
Yekta, A.E., Pichavant, M., Audigane, P., 2018. Evaluation of geochemical reactivity of hydrogen in sandstone: Application to geological storage. Applied Geochemistry 95, 182–194. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.05.021	Reactions, sandstone
Abid, H.R., Yekeen, N., Al-Yaseri, A., Keshavarz, A., and Iglauer, S., 2022, The impact of humic acid on hydrogen adsorptive capacity of eagle ford shale: Implications for underground hydrogen storage: Journal of Energy Storage, v. 55, p. 105615, doi:10.1016/j.est.2022.105615.	Shale adsorption
Alessa, S., Sakhaee-Pour, A., and Alipour, M., 2022, Safe pressure for hydrogen storage in subsurface: Energy Reports, v. 8, p. 15702–15711, doi:10.1016/j.egyr.2022.11.141.	Pressure safety
Ali, M., Jha, N.K., Al-Yaseri, A., Zhang, Y., Iglauer, S., and Sarmadivaleh, M., 2021a, Hydrogen wettability of quartz substrates exposed to organic acids; Implications for hydrogen geo-storage in sandstone reservoirs: Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 207, p. 109081, doi:10.1016/j.petrol.2021.109081.	Quartz wettability
Ali, M., Pan, B., Yekeen, N., Al-Anssari, S., Al-Anazi, A., Keshavarz, A., Iglauer, S., and Hoteit, H., 2022a, Assessment of wettability and rock-fluid interfacial tension of caprock: Implications for hydrogen and carbon dioxide geo-storage: International Journal of Hydrogen Energy, v. 47, p. 14104–14120, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.02.149.	Seal wettability
Ali, M., Yekeen, N., Pal, N., Keshavarz, A., Iglauer, S., and Hoteit, H., 2022b, Influence of organic molecules on wetting characteristics of mica/H2/brine systems: Implications for hydrogen structural trapping capacities: Journal of Colloid and Interface Science, v. 608, p. 1739–1749, doi:10.1016/j.jcis.2021.10.080.	Wettability
Ali, M., Yekeen, N., Pal, N., Keshavarz, A., Iglauer, S., and Hoteit, H., 2021b, Influence of pressure, temperature and organic surface concentration on hydrogen wettability of caprock; implications for hydrogen geo-storage: Energy Reports, v. 7, p. 5988–5996, doi:10.1016/j.egyr.2021.09.016.	Seal wettability
Al-Mukainah, H., Al-Yaseri, A., Yekeen, N., Hamad, J.A., and Mahmoud, M., 2022, Wettability of shale–brine–H2 system and H2-brine interfacial tension for assessment of the sealing capacities of shale formations during underground hydrogen storage: Energy Reports, v. 8, p. 8830–8843, doi:10.1016/j.egyr.2022.07.004.	Shale sealing, wettability
Al-Yaseri, A., Esteban, L., Yekeen, N., Giwelli, A., Sarout, J., and Sarmadivaleh, M., 2023b, The effect of clay on initial and residual saturation of hydrogen in clay-rich sandstone formation: Implications for underground hydrogen storage: International Journal of Hydrogen Energy, v. 48, p. 5175–5185, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.11.059.	Clay wettability
Al-Yaseri, A., and Jha, N.K., 2021, On hydrogen wettability of basaltic rock: Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 200, p. 108387, doi:10.1016/j.petrol.2021.108387.	Hydrogen wettability

Reference	Remark
Al-Yaseri, A., Wolff-Boenisch, D., Fauziah, C.A., and Iglauer, S., 2021, Hydrogen wettability of clays: Implications for underground hydrogen storage: International Journal of Hydrogen Energy, v. 46, p. 34356–34361, doi:10.1016/j.ijhydene.2021.07.226.	Carbonate reactions
Arif, M., Rasool Abid, H., Keshavarz, A., Jones, F., and Iglauer, S., 2022, Hydrogen storage potential of coals as a function of pressure, temperature, and rank: Journal of Colloid and Interface Science, v. 620, p. 86–93, doi:10.1016/j.jcis.2022.03.138.	Coal sorption
Aslannezhad, M., Ali, M., Kalantariasl, A., Sayyafzadeh, M., You, Z., Iglauer, S., and Keshavarz, A., 2023, A review of hydrogen/rock/brine interaction: Implications for Hydrogen Geo-storage: Progress in Energy and Combustion Science, v. 95, p. 101066, doi:10.1016/j.pecs.2022.101066.	Review, wettability, mica, quartz, calcite, fig. 4 leaked H2
Bai, T., and Tahmasebi, P., 2022, Coupled hydro-mechanical analysis of seasonal underground hydrogen storage in a saline aquifer: Journal of Energy Storage, v. 50, p. 104308, doi:10.1016/j.est.2022.104308.	Geomechanical, cycles
Bensing, J.P., Misch, D., Skerbisch, L., and Sachsenhofer, R.F., 2022, Hydrogen-induced calcite dissolution in Amaltheenton Formation claystones: Implications for underground hydrogen storage caprock integrity: International Journal of Hydrogen Energy, v. 47, p. 30621–30626, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.07.023.	Fossil calcite dissolution in caprock
Bo, Z., Zeng, L., Chen, Y., and Xie, Q., 2021, Geochemical reactions-induced hydrogen loss during underground hydrogen storage in sandstone reservoirs: International Journal of Hydrogen Energy, v. 46, p. 19998–20009, doi:10.1016/j.ijhydene.2021.03.116.	Calcite dissolution
Chai, M., Chen, Z., Nourozieh, H., and Yang, M., 2023, Numerical simulation of large-scale seasonal hydrogen storage in an anticline aquifer: A case study capturing hydrogen interactions and cushion gas injection: Applied Energy, v. 334, p. 120655, doi:10.1016/j.apenergy.2023.120655.	Injection /production strategies
Ershadnia, R., Singh, M., Mahmoodpour, S., Meyal, A., Moeini, F., Hosseini, S.A., Sturmer, D.M., Rasoulzadeh, M., Dai, Z., and Soltanian, M.R., 2023, Impact of geological and operational conditions on underground hydrogen storage: International Journal of Hydrogen Energy, v. 48, p. 1450–1471, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.09.208.	Reservoir simulation, trapping mechanism
Esfandyari, H., Hosseini, M., Ali, M., Iglauer, S., Haghighi, M., and Keshavarz, A., 2023, Assessment of the interfacial properties of various mineral/hydrogen/water systems: Journal of Energy Storage, v. 60, p. 106637, doi:10.1016/j.est.2023.106637.	Wettability, incl shale, dolomite
Esfandyari, H., Sarmadivaleh, M., Esmaeilzadeh, F., Ali, M., Iglauer, S., and Keshavarz, A., 2022, Experimental evaluation of rock mineralogy on hydrogen-wettability: Implications for hydrogen geo-storage: Journal of Energy Storage, v. 52, p. 104866, doi:10.1016/j.est.2022.104866.	Wettability, incl shale, dolomite
Ghasemi, M., Omrani, S., Mahmoodpour, S., and Zhou, T., 2022, Molecular dynamics simulation of hydrogen diffusion in water-saturated clay minerals; implications for Underground Hydrogen Storage (UHS): International Journal of Hydrogen Energy, v. 47, p. 24871–24885, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.05.246.	Diffusion in caprock
Gholami, R., 2023, Hydrogen storage in geological porous media: Solubility, mineral trapping, H2S generation and salt precipitation: Journal of Energy Storage, v. 59, p. 106576, doi:10.1016/j.est.2022.106576.	H2S formation, mineral trapping
Hashemi, L., Boon, M., Glerum, W., Farajzadeh, R., and Hajibeygi, H., 2022, A comparative study for H 2 –CH 4 mixture wettability in sandstone porous rocks relevant to underground hydrogen storage: Advances in Water Resources, v. 163, p. 104165, doi:10.1016/j.advwatres.2022.104165.	Wettability
Higgs, S., Da Wang, Y., Sun, C., Ennis-King, J., Jackson, S.J., Armstrong, R.T., and Mostaghimi, P., 2022, In-situ hydrogen wettability characterisation for underground hydrogen storage: International Journal of Hydrogen Energy, v. 47, p. 13062–13075, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.02.022.	Wettability
Hosseini, M., Ali, M., Fahimpour, J., Keshavarz, A., and Iglauer, S., 2022a, Assessment of rock-hydrogen and rock-water interfacial tension in shale, evaporite and basaltic rocks: Journal of Natural Gas Science and Engineering, v. 106, p. 104743, doi:10.1016/j.jngse.2022.104743.	Interfacial tension in shales
Hosseini, M., Fahimpour, J., Ali, M., Keshavarz, A., and Iglauer, S., 2022c, H2–brine interfacial tension as a function of salinity, temperature, and pressure; implications for hydrogen geo-storage: Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 213, p. 110441, doi:10.1016/j.petrol.2022.110441.	Interfacial tension
Hosseini, M., Fahimpour, J., Ali, M., Keshavarz, A., and Iglauer, S., 2022d, Hydrogen wettability of carbonate formations: Implications for hydrogen geo-storage: Journal of Colloid and Interface Science, v. 614, p. 256–266, doi:10.1016/j.jcis.2022.01.068.	Carbonate rocks: physical reservoir properties
Hou, J., Lin, S., Zhang, M., and Li, W., 2022, Salinity, temperature and pressure effect on hydrogen wettability of carbonate rocks: International Journal of Hydrogen Energy, p. S0360319922024764, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.05.274.	Carbonate rocks: physical reservoir properties
Iglauer, S., 2022, Optimum geological storage depths for structural H2 geo-storage: Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 212, p. 109498, doi:10.1016/j.petrol.2021.109498.	Optimal storage depth: 1100 m
Jahanbani Veshareh, M., Thaysen, E.M., and Nick, H.M., 2022, Feasibility of hydrogen storage in depleted hydrocarbon chalk reservoirs: Assessment of biochemical and chemical effects: Applied Energy, v. 323, p. 119575, doi:10.1016/j.apenergy.2022.119575.	chalk reservoirs, geochemistry
Kiran, R., Upadhyay, R., Rajak, V.K., Gupta, S.D., and Pama, H., 2023, Comprehensive study of the underground hydrogen storage potential in the depleted offshore Tapti-gas field: International Journal of Hydrogen Energy, p. S0360319922058888, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.12.172.	Cap rock, reactions and diffusion

Reference	Remark
Labus, K., and Tarkowski, R., 2022, Modeling hydrogen – rock – brine interactions for the Jurassic reservoir and cap rocks from Polish Lowlands: International Journal of Hydrogen Energy, v. 47, p. 10947–10962, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.01.134.	Alteration and cap rock
Luboń, K., and Tarkowski, R., 2021, Influence of capillary threshold pressure and injection well location on the dynamic CO2 and H2 storage capacity for the deep geological structure: International Journal of Hydrogen Energy, v. 46, p. 30048–30060, doi:10.1016/j.ijhydene.2021.06.119.	Capillary pressure of seal rocks
Luboń, K., and Tarkowski, R., 2023, The influence of the first filling period length and reservoir level depth on the operation of underground hydrogen storage in a deep aquifer: International Journal of Hydrogen Energy, v. 48, p. 1024–1042, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.09.284.	Optimal storage in generic deep aquifer, some useful general statements for optimalisation
Miocic, J., Heinemann, N., Edlmann, K., Scafidi, J., Molaei, F., and Alcalde, J., 2023, Underground hydrogen storage: a review: Geological Society, London, Special Publications, v. 528, p. SP528-2022–88, doi:10.1144/SP528-2022-88.	Cyclical operation
Muhammed, N.S., Haq, M.B., Al Shehri, D.A., Al-Ahmed, A., Rahman, M.M., Zaman, E., and Iglauer, S., 2023, Hydrogen storage in depleted gas reservoirs: A comprehensive review: Fuel, v. 337, p. 127032, doi:10.1016/j.fuel.2022.127032.	Table 9: well integrity
Perera, M.S.A., 2023, A review of underground hydrogen storage in depleted gas reservoirs: Insights into various rock-fluid interaction mechanisms and their impact on the process integrity: Fuel, v. 334, p. 126677, doi:10.1016/j.fuel.2022.126677.	Review paper
Pichler, M., 2013, Assesment of hydrogen - rock interactions during geoloigcal storage of CH4-H2 mixtures: Department Mineral Resources & Petroleum Engineering, 97 p.	Reaction with silicates unkown, pyrite reactions
Raza, A., Arif, M., Glatz, G., Mahmoud, M., Al Kobaisi, M., Alafnan, S., and Iglauer, S., 2022, A holistic overview of underground hydrogen storage: Influencing factors, current understanding, and outlook: Fuel, v. 330, p. 125636, doi:10.1016/j.fuel.2022.125636.	Review study of relevant topics
Raza, A., Glatz, G., Alafnan, S., Mahmoud, M., and Gholami, R., 2023, Depleted shale gas formations as naturally-occurring storage compartments for hydrogen: A molecular-level assessment: Fuel, v. 334, p. 126695, doi:10.1016/j.fuel.2022.126695.	Adsorption of H2 on shales, with and without CH4, theoretical study
Safari, A., Zeng, L., Nguele, R., Sugai, Y., and Sarmadivaleh, M., 2022, Review on using the depleted gas reservoirs for the underground H2 storage: A case study in Niigata prefecture, Japan: International Journal of Hydrogen Energy, p. S0360319922058244, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.12.108.	Seeems to be a good paper on different relevant aspects with new insights
Sambo, C., Dudun, A., Samuel, S.A., Esenenjor, P., Muhammed, N.S., and Haq, B., 2022, A review on worldwide underground hydrogen storage operating and potential fields: International Journal of Hydrogen Energy, v. 47, p. 22840–22880, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.05.126.	Overview of storage sites, cushion gas estimates, sealing mechanisms
Thiyagarajan, S.R., Emadi, H., Hussain, A., Patange, P., and Watson, M., 2022, A comprehensive review of the mechanisms and efficiency of underground hydrogen storage: Journal of Energy Storage, v. 51, p. 104490, doi:10.1016/j.est.2022.104490.	Good review paper, relevant overview of literature and its conclusion on several relevant topics
Wallace, R.L., Cai, Z., Zhang, H., Zhang, K., and Guo, C., 2021, Utility-scale subsurface hydrogen storage: UK perspectives and technology: International Journal of Hydrogen Energy, v. 46, p. 25137–25159, doi:10.1016/j.ijhydene.2021.05.034.	Review pub, general but with interesting statements
Wang, J., Yang, Y., Cai, S., Yao, J., and Xie, Q., 2023, Pore-scale modelling on hydrogen transport in porous media: Implications for hydrogen storage in saline aquifers: International Journal of Hydrogen Energy, p. S0360319922056415, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.11.299.	water saturatin and snap-off effect
Wolff-Boenisch, D., Abid, H.R., Tucek, J.E., Keshavarz, A., and Iglauer, S., 2023, Importance of clay-H2 interactions for large-scale underground hydrogen storage: International Journal of Hydrogen Energy, p. S0360319922061900, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.12.324.	H2 saturation of montmorillonite
Yekeen, N., Al-Yaseri, A., Negash, B.M., Ali, M., Giwelli, A., Esteban, L., and Sarout, J., 2022, Clay-hydrogen and clay-cushion gas interfacial tensions: Implications for hydrogen storage: International Journal of Hydrogen Energy, v. 47, p. 19155–19167, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.04.103.	interfacial tension
Yekta, A.E., Pichavant, M., and Audigane, P., 2018, Evaluation of geochemical reactivity of hydrogen in sandstone: Application to geological storage: Applied Geochemistry, v. 95, p. 182–194, doi:10.1016/j.apgeochem.2018.05.021.	H2 and sandstone (minerals): very little reaction experimentally
Zhang, Z., Liu, W., Guo, Q., Duan, X., Li, Y., and Wang, T., 2022, Tightness evaluation and countermeasures for hydrogen storage salt cavern contains various lithological interlayers: Journal of Energy Storage, v. 50, p. 104454, doi:10.1016/j.est.2022.104454.	Relevance uncertain because of different context (horizontal migration etc.)
Zivar, D., Kumar, S., and Foroozesh, J., 2021, Underground hydrogen storage: A comprehensive review: International Journal of Hydrogen Energy, v. 46, p. 23436–23462, doi:10.1016/j.ijhydene.2020.08.138.	Review paper, also other topics: H2 embrittlement, pyrite reduction to po



D7 Kwalitatieve en kwantitatieve impact-modellering van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Deelrapport 7

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

D7. Kwalitatieve en kwantitatieve impact-modellering van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

In dit deelrapport wordt voor verschillende beleidsvisies (zie ook deelrapport D4 beleidsvisies) onderzocht in welke mate activiteiten in de diepe ondergrond tot ontwikkeling kunnen komen en welke geologische, economische, milieu-, en sociale impacts hiermee gepaard gaan. Deze effecten worden eerst apart onderzocht en vervolgens samengebracht in een spiderdiagram om na te gaan hoe deze impacts scoren op duurzaamheidsindicatoren bepaald in deelrapport D3.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1210 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Tine Compernolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Welkenhuysen – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Hanne Lamberts-Van Assche - UAntwerpen | FBE
Kyra Verbruggen– UAntwerpen | FSW
Anne Bergmans – UAntwerpen | FSW
Kris Piessens – KBIN | Belgische Geologische Dienst

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Compernolle, T., Welkenhuysen, K., Lamberts-Van Assche, H., Verbruggen, K., Bergmans, A., Piessens, K. (2025). D7. Kwalitatieve en kwantitatieve impact-modellering van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond.* Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS







MANAGEMENTSAMENVATTING

Voor de verschillende beleidsvisies bepaald in deelrapport D4 wordt er onderzocht in welke mate activiteiten in de diepe ondergrond in Vlaanderen tot ontwikkeling kunnen komen.

Deze impactanalyse heeft activiteitsmodellen gekoppeld aan een semi-analytisch reservoirmodel en geo-techno-economische simulaties om te onderzoeken wat de kans is dat verschillende types van projecten in de diepe ondergrond tot ontwikkeling komen onder verschillende beleidsscenario's en wat de verwachte geologische, techno-economische, milieu, en sociale effecten hiervan zijn. Deze effecten werden vervolgens afgetoetst aan de duurzaamheidsprincipes die eerder in deelrapport D3 beschreven werden.

Beleidsscenario's (RES, CLIM, BAL, LONG, EXPL) die het gebruik van de diepe ondergrond stimuleren voor toepassingen van diepe geothermieprojecten en eventueel bijkomend productie van lithium, leiden tot een hogere kans dat geothermieprojecten winstgevend zijn en tot ontwikkeling komen, waardoor uitstoot van CO_2 vermeden wordt. De hogere benutting van de ondergrond daarentegen maakt dat er ook aandacht moet zijn voor mogelijke interferenties tussen activiteiten en mogelijke uitputting van de hulpbron op lokaal niveau. Deze scenario's zorgen niet voor projecten met mogelijk maatschappelijk onwenselijke effecten op basis van bevolkingsdichtheid, inkomensniveau, warmtevraag(dichtheid) en aanwezigheid van natuurgebied. Meerdere geothermische projecten kunnen zelfs zorgen voor projecten met mogelijks maatschappelijk wenselijke effecten.

Het beleidsscenario (STOR) dat toepassingen van diepe geothermie uitsluit in de buurt van locaties die geschikt zijn voor opslag van aardgas en waterstofgas, CO_2, of de berging van langlevend en hoogradioactief afval, leidt tot een lagere benutting van de diepe ondergrond en minder vermeden CO_2 uitstoot. Omwille van de geologische omstandigheden is de kans namelijk erg klein dat er CO_2 opslag zou plaatsvinden. Omdat onder deze vorm van beleid niet alle locaties beschikbaar gemaakt worden voor toepassing van geothermie, is de kans op uitputting en mogelijke interferenties tussen activiteiten ook kleiner en worden er meer mogelijkheden voor het gebruik van de diepe ondergrond open gehouden voor toekomstige generaties. Eens deze locaties gebruikt zouden worden voor opslag van aardgas, waterstofgas of CO_2, of de berging van langlevend en hoogradioactief afval, zullen deze locaties wel permanent bestemd zijn waardoor er na een dergelijke beslissing minder flexibiliteit is voor toekomstige generaties om keuzes te maken. Doordat sommige locaties in dit scenario niet beschikbaar gemaakt worden, vallen er enkele projecten met mogelijks maatschappelijk wenselijke effecten weg.

Het beleidsscenario (SELF) dat gericht is op meer zelfvoorziening, laat ook de winning van steenkoolgas toe. Deze activiteit heeft een grote kans winstgevend te zijn, wat maakt dat onder dit beleidsscenario de benutting van de diepe ondergrond het hoogst is. Onder dit beleidsscenario zal er minder CO_2 uitstoot vermeden worden, en moet er ook aandacht zijn voor mogelijke interferenties tussen activiteiten in de ondergrond en een mogelijke uitputting van de hulpbron op lokaal niveau. Bovendien bevindt het CBM-project in Oudsbergen zich in een regio met een relatief grote hoeveelheid natuurgebied (in vergelijking met de andere projecten), wat maatschappelijk onwenselijk is.

Verder verschillen de resultaten van het exploratiescenario (EXPL) niet veel t.o.v. de NUL, RES, CLIM, LONG en BAL scenario's. Echter, op basis van praktijkervaring lijkt het aan te bevelen om dit scenario in meer detail te onderzoeken.

De geïntegreerde modelontwikkeling die hier voorgesteld is, is uniek. Er bestaan momenteel geen andere modellen die toelaten om te onderzoeken hoe de ondergrond zich volgens een vooraf bepaald scenario zal ontwikkelen en wat de daarbij horende geologische, economische, milieu-, en sociale duurzaamheidseffecten zijn. Hoewel dit evaluatiemodel nog beperkingen toont, illustreert het hoe discipline-specifieke resultaten samengebracht kunnen worden in een duurzaamheidsevaluatie.

Het ontwikkelde evaluatiekader, inclusief de hieraan gekoppelde analysemethoden, biedt beleidsmakers en handhavers toepasbare tools om de huidige en toekomstige impact van het gebruik van de diepe ondergrond te onderzoeken. Huidig en toekomstig beleid kan afgetoetst worden in één geïntegreerde analyse voor de economische, sociale en milieu-impact, en de lokale en regionale geologische impact. Verdere ontwikkeling qua methode, data en resultaten worden verwacht in de lopende DIAMONDS en MASSIF FWO projecten.

Ondanks de nog bestaande beperkingen in methode komen uit de resultaten verschillende beleidsrelevante conclusies naar voor. Zo lijkt vooral warmteproductie een grote rol te spelen in de exploitatie van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Stimulatie hiervan heeft steeds een grote impact op verschillende vlakken. Dit wil echter niet zeggen dat andere activiteiten automatisch geweerd dienen te worden. Bijvoorbeeld, de kans dat geologische opslag van CO_2 in Vlaanderen een significante rol zal spelen lijkt klein; echter, indien dit mogelijk blijkt en als wenselijk wordt beschouwd, kan de impact op vermeden CO_2-uitstoot van één project groter zijn dan van verschillende geothermieprojecten samen. De multidisciplinaire evaluatie geeft ook aan dat bepaalde gescoorde indicatoren elkaar balanceren, bijvoorbeeld benutting versus vermijden van uitputting. Met dit evaluatiekader kan een gebalanceerd beleid worden ontworpen en afgetoetst, waarbij beoogde doelstellingen worden gehaald met minimale ongewenste impact.

Er is verdere kennisontwikkeling nodig met betrekking tot het identificeren van bijkomende duurzaamheidsindicatoren, voornamelijk voor het evalueren van het rechtvaardigheidsprincipe. Naarmate generische of specifieke activiteitsmodellen beschikbaar worden, kunnen deze op een werkbare manier ingekanteld worden in de simulatiemethode, om resultaten accurater te maken. Verder is er nood aan geschikte geologische modellen voor het meten van bijvoorbeeld interferenties tussen activiteiten en de kans op uitputting van de hulpbron wat betreft geothermieproductie. Ook een verdere integratie van de verschillende modellen is wenselijk. Zo is bijvoorbeeld per activiteit de locatie gespecifieerd en is er een beeld van de warmtevraagdichtheid, maar is er geen expliciete koppeling gemaakt tussen de warmtevraag op die locatie en de warmteproductie door toepassing van geothermie. Dit kan kaderen in een meer diepgaande studie over potentiële activiteiten over het hele Vlaamse grondgebied.

Momenteel worden de beleidsscenario's gescoord op verschillende duurzaamheidsindicatoren en relatief ten opzichte van elkaar beoordeeld. Deze *a posteriori* evaluatie houdt in dat een scenario als meer of minder duurzaam wordt beschouwd. Deze analyse maakt nog niet inzichtelijk of een bepaalde duurzaamheidsdoelstelling bereikt wordt of niet. Daarom is het belangrijk dat er in de toekomst samen met stakeholders nagedacht wordt over duurzaamheidscriteria op basis waarvan bepaald kan worden of een activiteit al dan niet voldoet aan een duurzaamheidsprincipe. Op deze manier kan bovendien naast winstgevendheid, ook duurzaamheid in de modellering als evaluatiecriterium worden meegenomen.

INHOUDSTAFEL

1 Geologische impactmodellering 7
1.1 Geologische modellering 7
1.2 Activiteitsmodellen 7
1.2.1 Gemodelleerde activiteiten 7
1.2.2 Technische beschrijving en grenscondities van activiteitsmodellen 7
1.2.3 Rol en maturiteit van activiteitsmodellen 12
1.3 Regionaal model 15
1.3.1 Technische achtergrond model en modelleermethode 15
1.3.2 Van geologisch naar reservoir model 15
1.3.3 Regionale reservoirgegevens 17
1.3.4 Mogelijkheden en beperkingen 18
1.4 Geologisch-specifieke resultaten 19
1.4.1 Stabiliteit van de modellering 20
1.4.2 Variatie in hydraulische conductiviteit 20
1.4.3 Verschillen per scenario 24
1.4.4 Regionaal drukherstel 25
1.4.5 Verticale reservoirconnectiviteit 26
2 Economische impactmodellering 27
2.1 Economische modellering 27
2.2 Reële optiemodellen en beslisboomanalyse 27
2.3 PSS simulator 27
2.4 Gesimuleerde activiteiten 28
2.5 Gebruikte techno-economische gegevens 29
2.5.1 Geothermisch doublet 30
2.5.2 Eénputsgeothermie 31
2.5.3 Koude-warmte opslag in steenkoolmijnen 32
2.5.4 Waterstofgasopslag 32
2.5.5 Geologische opslag van CO_2 32
2.5.6 Steenkoolmethaanwinning 33
2.6 Economisch specifieke resultaten 33
2.6.1 Geothermische doubletten 34
2.6.2 Eénputsgeothermie 35
2.6.3 Koude-warmte opslag in steenkoolmijnen 36
2.6.4 Lithiumextractie 37
2.6.5 CO_2-opslag 38
2.6.6 Opslag aardgas en waterstofgas 39
2.6.7 Steenkoolmethaanwinning 39
2.6.8 Overzicht economische impacts voor de verschillende beleidsscenario's 40
3 Modellering van milieu-impact 42
3.1 Levenscyclusanalyse (LCA) 42
3.1.1 Geothermisch doublet 42
3.1.2 Opslag van CO_2 47
3.2 Milieu-impact per scenario 48
3.2.1 Geothermisch doublet 49
3.2.2 Opslag van CO_2 49
3.2.3 Steenkoolmethaanwinning 50
4 Modellering van sociale impact 51
4.1 Nulscenario 57
4.2 Scenario 1: RES 60
4.3 Scenario 2: STOR 62
4.4 Scenario 3: CLIMA 64
4.5 Scenario 4: BAL 64
4.6 Scenario 5: LONG 66
4.7 Scenario 6: EXPL 67

4.8 Scenario 7: SELF 67
4.9 Evaluatie 69
5 Multidisciplinaire evaluatie 72
5.1 Multidisciplinair beoordelingskader 72
5.1.1 Principe 1. Behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen 72
5.1.2 Principe 2. Efficiënte allocatie 73
5.1.3 Principe 3. Rechtvaardige verdeling 73
5.2 Integratie van multidisciplinaire resultaten 74
5.3 Vooruitblik op lange termijn 76
Conclusie 79
6 Referenties 82
7 Bijlage 1 Analytische oplossing voor fluidummigratie door densiteitscontrast 83

1 GEOLOGISCHE IMPACTMODELLERING

1.1 GEOLOGISCHE MODELLERING

De geologische modelleertechniek die in deze studie wordt aangewend, is gekend als 'telescoped modelling', en werd in de jaren 1980 voor het eerst uitgetest door de USGS met grondwatermodelleringen met MODFLOW. Deze techniek voorziet in een koppeling van gedetailleerde modellen (activiteitsmodellen) met een regionaal model, zodat de verschillende schaalniveaus gedeeltelijk afzonderlijk gemodelleerd kunnen worden. In deze studie wordt deze methodologie ook gebruikt om verschillende modellen die niet noodzakelijk direct compatibel zijn, naast elkaar te gebruiken. Een bijkomend belangrijk voordeel is de flexibiliteit om geneste modellen toe te voegen of uit te schakelen, of om ze te vervangen door verbeterde versies. In deze studie laten we de modellen maar op één manier interageren, namelijk van activiteitsmodellen naar regionaal model.

1.2 ACTIVITEITSMODELLEN

Activiteitsmodellen zijn niet-regionale modellen die een gemodelleerde lokale activiteit in de diepe ondergrond vertalen naar een regionaal effect (bijvoorbeeld het drukverloop op een zekere afstand van de activiteit, die dan in een tweede stap door het regionale model als grensconditie wordt gebruikt). Ze dienen meestal ook een tweede doel, namelijk het voorspellen van de technisch-economische performantie en rendement van de activiteit (gebruikt in PSS, zie hoofdstuk 2).

1.2.1 Gemodelleerde activiteiten

De gemodelleerde activiteiten beperken zich tot activiteiten in de diepe ondergrond die momenteel actief zijn, en degene die realistisch voor 2050 verwacht kunnen worden. Dit zijn geothermische doubletten, éénputsgeothermie, co-winning van lithium, koude-warmteopslag in steenkoolmijnen, opslag van aardgas, opslag van waterstofgas, geologische opslag van CO_2, en in bepaalde scenario's steenkoolmethaanwinning (met co-winning van schaliegas). De exacte locaties van de verwachte activiteiten zijn natuurlijk niet gekend, en daarom worden een aantal potentieel geschikte locaties gebruikt voor de modelleeroefening met een bepaalde kans dat ze geschikt zullen blijken. Wat betreft de technische uitvoering van projecten worden zo realistisch mogelijk een aantal technische veronderstellingen gemaakt, meer bepaald de technische keuzes die gemaakt zullen worden om bijvoorbeeld een éénputsgeothermie boorgat in te richten, of de inplanting van boringen bij koolbedmethaangas.

1.2.2 Technische beschrijving en grenscondities van activiteitsmodellen

De gebruikte activiteitsmodellen zijn zowel modellen die overgenomen werden uit andere projecten, soms met slechts lichte aanpassingen, maar ook eenvoudige gelegenheidsmodellen die slechts de essentiële invoer- en uitvoerparameters berekenen. Hieronder een kort overzicht van elk van de gemodelleerde activiteiten.

1.2.2.1 Geothermisch doublet

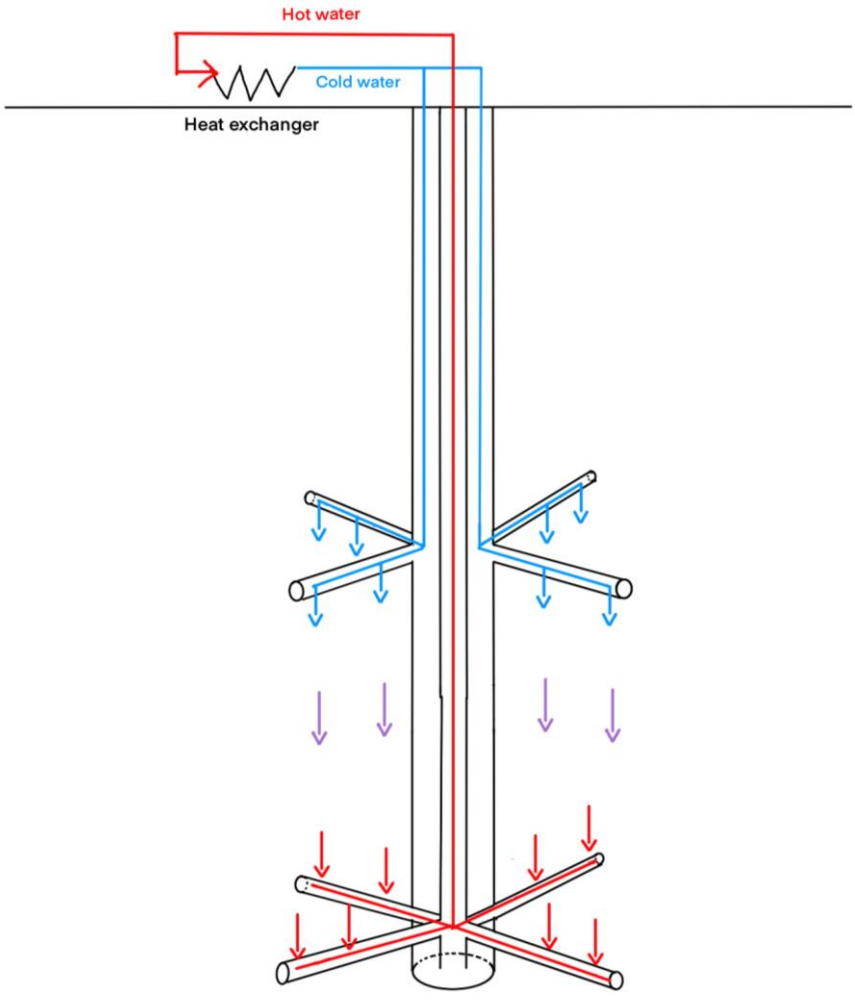
Voor geothermische doubletten werd een analytisch activiteitsmodel gebruikt, ontwikkeld in het DESIGNATE project (Belspo, 2019) door VITO. Dit model is gebaseerd op het model van Gringarten (1978) en berekent temperatuur en flow doorheen de tijd op basis van een twintigtal geotechnische parameters. Het model werd aangepast om te matchen met numerieke Tough2 simulaties voor het Balmatt project, waarbij in het bijzonder viscositeitsveranderingen in rekening werden gebracht

(Pogacnik et al., 2023). Verder kan het model rekening houden met seizoenale productieverschillen, en wordt het moment van thermische doorbraak berekend.

1.2.2.2 Eénputsgeothermie

Voor éénputsgeothermie werden in het DESIGNATE project (Belspo, 2019) numerieke simulaties uitgevoerd door VITO voor een vrij generiek project van ongeveer 1 km diepte in het Krijt ter hoogte van Mol. Het betreft een concentrisch ontwerp waarbij via een centrale buis in het boorgat wordt geproduceerd, en via de omliggende mantel in hetzelfde boorgat wordt geïnjecteerd (tussen *casing* en buis). Op diepte zijn er in vier richtingen laterale injectieboringen op twee dieptes waartussen het water in het reservoir migreert, om productie en capaciteit te verhogen (Figuur 1). De numerieke simulatieresultaten werden omgezet in tabelvorm voor verschillende ranges van de belangrijkste parameters (permeabiliteit, lengte van laterals, productietijd, conductiviteit). In het activiteitsmodel wordt deze tabel geraadpleegd in plaats van het numerieke model telkens te doorlopen, om de simulatiesnelheid te verhogen.

Er bestaan verschillende technische uitwerkingen voor éénputsgeothermie, met verschillende gradaties van interactie met het geothermische reservoir. De verschillen zijn belangrijk voor individuele projecten, het schema in Figuur 1 is uitgewerkt voor relatief ondiepe projecten in het Krijt en verschillend van de projecten die in het Massief van Brabant gepland zijn. Voor de regionale evaluatie zijn deze verschillen minder relevant en zal dit onderscheid niet gemaakt worden.



Figuur 1. Schematische inrichting van een éénputsgeothermie bron

1.2.2.3 Lithium

Lithiumproductie wordt steeds gekoppeld als nevenactiviteit aan geothermische productie (doublet-configuratie). De enige geologische parameter die hiervoor bijkomend ingeschat moet worden, is de concentratie van Li in het formatiewater. Onttrekken van lithium heeft geen verdere gevolgen voor andere activiteiten in de diepe ondergrond. Omwille van het internationale zeer vroege ontwikkelingsstadium en onvoldoende kennis van de verspreiding en herkomst van lithium in Vlaanderen is het vrijwel onmogelijk om een correcte techno-economische inschatting te maken van de haalbaarheid van deze extractie.

1.2.2.4 Permanente geologische opslag van CO_2

CO_2 kan geologisch op verschillende manieren opgeslagen worden. In deze studie wordt voor 'migration assisted storage' of MAS gekozen, waarbij CO_2 migreert in een relatief zwak hellend reservoir onder invloed van de geringere densiteit van CO_2 ten opzichte van het formatiewater. De afleiding van deze formule wordt gegeven in bijlage 1, die resulteert in volgende vergelijkingen:

$$v_{CO_2} = \frac{kg\left(\rho_w - \rho_{CO_2}\right)}{n_e} \frac{d_w}{\mu_w d_{CO_2} + \mu_{CO_2} d_w} sin(\alpha)$$

vereenvoudigd tot:

$$v_{CO_2} = \frac{kg\left(\rho_w - \rho_{CO_2}\right)}{n_e \mu_{CO_2}} sin(\alpha)$$

met

- g: valversnelling (m/s²)
- ρ_x: densiteit van fluïdum (kg/m³)
- k: intrinsieke permeabiliteit (m²)
- μ: viscositeit (Pa.s = kg/m.s)
- n_e: effectieve porositeit (-)
- α: helling top reservoir (°)
- d: dikte van de vloeistofkolom (water of CO_2) (m)

De laatste (vereenvoudigde) formule is degene die in deze studie gebruikt wordt, en die veronderstelt dat de dikte van de aquifer verzadigd met CO_2 verwaarloosbaar is ten opzichte van de totale dikte van de aquifer. Deze formule is conservatiever omdat de migratiesnelheid wordt overschat doordat de migratie van CO_2 bijkomend vertraagd wordt indien het een niet verwaarloosbare dikte heeft en water verplaatst moet worden (de stroming vernauwd moet worden) bij migratie van CO_2 door de aquifer. Deze vergelijking kan als extra term ingebracht worden in de wet van Darcy, maar in deze studie wordt mathematisch een reservoir in rust verondersteld zodat ze rechtstreeks kan worden toegepast.
Deze formule is gevoelig aan de helling van de afsluitende laag (top van het reservoir) en in mindere maar nog steeds relevante mate de eigenschappen van CO_2, in het bijzonder de viscositeit. Recent onderzoek heeft de vergelijkingen voor de viscositeit van CO_2 verbeterd, zoals de MLP-LM vergelijking van Amar et al. (2020) die in deze studie gebruikt wordt.
Vanuit een injectielocatie wordt een migratietraject gekozen dat de maximale helling van het reservoir volgt tot op een diepte van 800 m. Rond deze diepte vermindert de densiteit van CO_2 significant. Er wordt verondersteld dat een succesvol project deze grens niet binnen de 300 jaar mag overschrijden om realistisch voldoende kans te hebben dat migrerend CO_2 immobiel in poriën wordt vastgelegd ('residual trapping'), of eventueel in het formatiewater wordt opgelost.

1.2.2.5 Koude-warmte opslag in steenkoolmijnen

Steenkoolmijnen zijn een uitdagend reservoir om te modelleren waarbij niet enkel productievolumes en temperaturen moeten worden bepaald, maar ook de compartimentalisatie belangrijk is om de communicatie van de koude en warme delen van het reservoir correct in te schatten. Deze studie gaat ervan uit dat deze uitdaging succesvol werd aangegaan en er parallel een optimale vraagzijde wordt gerealiseerd. Op dat moment is er een reservoir dat afwisselend of gelijktijdig warmte en koude kan leveren in functie van het beschikbare volume van het reservoir, dat bepaald wordt door het ontgonnen volume, verminderd met compactie (subsidentie).

Voor het activiteitsmodel wordt verondersteld dat het mijnreservoir bij juiste inplanting van putten beschouwd kan worden als twee gelijkaardige volumes die voldoende van elkaar gescheiden zijn om het ene als een koud, en het ander als een warm reservoir kan worden gebruikt. Tijdens operatie wordt het mijnwater uit één deelreservoir naar de oppervlakte gepompt om warmte of koude te onttrekken, om het daarna in het andere deelreservoir te stockeren. Tijdens de jaarhelft waar warmtevraag domineert (winter) wordt het warme reservoir aangesproken en het koude aangevuld, en tijdens de andere jaarhelft (zomer) het koude. Bij gelijktijdige warmte- en koudeproductie moet de scheiding dynamisch in stand gehouden worden. Het totale volume wordt vermenigvuldigd met een beschikbaarheidsfactor om het werkelijk bruikbare volume te verkrijgen. Dit volume wordt gedeeld door het aantal uren per half jaar (warmte of koude) om het debiet per uur te berekenen. De oorspronkelijke watertemperatuur is afhankelijk van de diepte en de geothermische gradiënt.

Gezien de diepte van de Kempense steenkoolmijnen zal gebruik van warmte belangrijker zijn dan gebruik van koude, en mogelijk zelfs 100% eenzijdig zijn. Deze asymmetrie zorgt voor een systeem dat op zichzelf niet in evenwicht is, en snel meer gecompliceerd wordt omdat de vraagzijde en bijkomende koudebronnen geïntegreerd moeten worden. De totale berekende energie (som van warmte- en koudeproductie) is echter wel indicatie voor de totale geothermische productie van een mijnreservoir.

1.2.2.6 Seizoenale ondergrondse opslag van aardgas

Opslag van aardgas is een complex tweefasig modeleerprobleem, dat voor het doel van deze studie werd vereenvoudigd door het gedrag van methaan niet te modeleren. In plaats daarvan beperkt het model zich tot het reservoir beneden het gas-water contact, waarbij dus enkel de reservoirdruk van het formatiewater wordt gemodelleerd onder de gasbel. Op deze manier kan realistisch verondersteld worden dat de reservoirdruk afhankelijk is van het volume aan gas dat onder reservoircondities wordt geïnjecteerd of geproduceerd. Deze reservoirdruk varieert doorheen de tijd in functie van de productie en injectiecycli, en met afstand tot de injectiepunten.

Op basis van deze veronderstelling werd een model in AnAqSim opgesteld dat vanuit verschillende initiële druksituaties vertrekt voor verschillende debieten, rekening houdend met de maximale injectiedrukken en debieten voor de opslagsite te Loenhout. Met deze verschillende initiële condities kunnen jaarlijkse productieprofielen gemodelleerd worden zonder telkens de voorgaande productiegeschiedenis door te rekenen, wat de rekentijd gevoelig vermindert. De relevante uitkomst van dit model zijn drukgegevens op een vooraf gedefinieerde afstand van het productiecentrum, die overeenkomstig de tijdsresolutie van het regionale model (kwartaalberekeningen) geregistreerd en getabelleerd worden.

Deze tabel laat toe om de productiegegevens die door PSS worden doorgegeven aan het regionale model, om te zetten naar drukwaarden die als een grensconditie gebruikt worden door het regionale model, zonder de activiteit in het regionale model in verder detail te moeten modelleren.

1.2.2.7 Ondergrondse opslag van waterstofgas

Voor het doel van deze studie kan de modellering van de ondergrondse opslag van waterstofgas volledig analoog gebeuren aan deze van de ondergrondse opslag van aardgas, omdat de berekening gebeurt aan de hand van volumes van werkbaar gas die worden geïnjecteerd en geproduceerd.

Natuurlijk worden wel de conversie van volume naar massa, en waar nodig energiedichtheid, toegepast. Technische uitdagingen voor de opslag van waterstofgas wordt besproken in deelrapport D6.

1.2.2.8 Steenkoolmethaanwinning

Voor steenkoolmethaanwinning (met inbegrip van schaliegas dat in organisch rijke klei in contact met steenkool is vastgelegd) wordt een ontginningsprincipe verondersteld waarbij één of meerdere horizontale of laagparallelle boringen als open boorgat worden uitgevoerd doorheen een voldoende dikke steenkoollaag. Deze boringen eindigen in een verticale boring. De horizontale boringen hellen licht naar het eindpunt, zodat de steenkool ontwaterd en ontgast kan worden door bemaling van de verticale put. Deze techniek werd uitgewerkt voor steenkool in het Noordwest Europese steenkoolbekken, en werd in Schotland als demonstratieproject uitgewerkt, zonder echter te worden gecommercialiseerd (deelrapport D6). Deze techniek veronderstelt dat er over voldoende afstand (enkele kilometers) geen noemenswaardige breukactiviteit de lagen en permeabiliteit verstoort, en dat het spletenpatroon in de steenkool de stabiliteit van het open boorgat niet in gevaar brengt (in de gekozen oriëntatie). Het opgepompte water moet behandeld worden of in een geschikte aquifer opnieuw geïnjecteerd worden.
Uitgaande dat aan deze voorwaarden wordt voldaan, is de vraag hoeveel methaan in totaal geproduceerd wordt, en hoe de productie doorheen de tijd evolueert. De totale hoeveelheid kan worden geschat op basis van de dikte van de steenkoollagen en gekende of berekende gasconcentraties, de lengte van de boring, de invloedstraal voor migratie naar het boorgat, en de fractie van methaangas dat door drukverlaging gemobiliseerd wordt. Deze verschillende factoren vermenigvuldigen geeft de totale hoeveelheid winbaar gas per boring.

$$Winbaar\ gas\ (m^3) = gasgehalte_{\ kool}\left(\frac{m^3}{t}\right).dikte_{kool}\ (m).lengte_{boorgat}\ (m).drainage_{lateraal}\ (m).densiteit_{kool}\left(\frac{t}{m^3}\right).fractie_{winbaar}(-)$$

Een typische productiecurve begint vrij laag (onvolledige ontwatering en initiatie van migratie volgens de drukgradiënt), piekt na zekere tijd met een maximaal debiet, en neemt daarna geleidelijk af tot de economische drempel wordt bereikt. We gebruiken hier een lognormale functie (Welkenhuysen et al., 2017) om dit verloop te modelleren.
De totaal veronderstelde winbare hoeveelheid zal niet worden bereikt, omdat de productie zal afnemen tot een niveau waaronder de operationele kosten de opbrengsten niet meer dekken. Op dit punt zal PSS het project stopzetten.

Deze activiteit wordt enkel in het SELF-scenario (zelfvoorzienend scenario) geïmplementeerd, en het was binnen het tijdsbestek van deze studie niet mogelijk deze activiteit ook in het regionale reservoirmodel in te brengen. De invloedsfeer op andere projecten is waarschijnlijk klein, behalve dan op naburige simultane of opvolgende steenkoolmethaanprojecten. Deze beïnvloeding kan gunstig zijn omdat ontwatering meestal verder rijkt dan ontgassing, zodat latere projecten gebruik kunnen maken van de reeds gedeeltelijke ontwatering.

1.2.2.9 Berging radioactief afval

De berging van hoogradioactief en/of langlevend afval wordt niet als activiteit gemodelleerd, maar omdat berging in plastische klei rond 2050 ontwikkeld zou kunnen worden op een diepte rakend aan, of net in de diepe ondergrond, moet het wel geëvalueerd worden. De berging van radioactief afval is een activiteit die, alhoewel het zelf relatief weinig verstoring in de diepe ondergrond met zich meebrengt, bij uitstek gevoelig is voor andere activiteiten en bijgevolg een voldoende wijde

veiligheidsperimeter zal vereisen. Op die manier kan deze activiteit mogelijk met een aanzienlijk en permanent ondergronds ruimtebeslag gepaard gaan.
Om over deze verstoringen inzicht te vergaren, wordt gekozen om de druk in potentieel geschikte formaties passief te monitoren. Concreet zullen de resultaten ter hoogte van het huidige ondergrondse laboratorium te Mol-Dessel worden berekend en gerapporteerd.

1.2.3 Rol en maturiteit van activiteitsmodellen

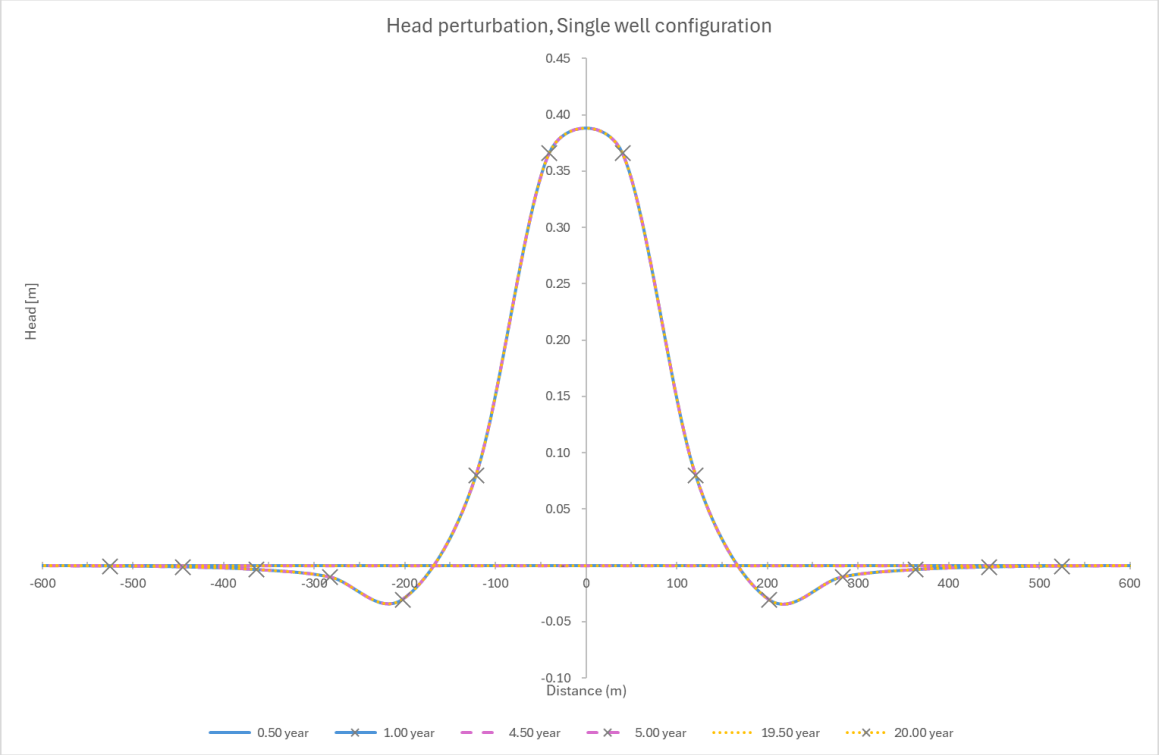
In deze studie wordt voor de eerste keer een model opgebouwd om op regionale schaal van Vlaanderen het gebruik van de diepe ondergrond te evalueren. De activiteitsmodellen spelen hierin een belangrijke rol, en hebben, zoals reeds in de inleiding aangehaald, niet allen dezelfde maturiteit. De invloed hiervan en mogelijkheid tot verbetering worden hier kort besproken. Door de manier waarop de activiteitsmodellen interageren met PSS en met het regionale model, maakt het eenvoudig om ze individueel te verbeteren en vervangen.

1.2.3.1 Geothermisch doublet

Het activiteitsmodel voor geothermische doubletten is goed uitgewerkt. Momenteel is het gekoppeld met het regionale model via de stijghoogtes in de productie- en injectieputten. Het regionale resultaat zou nauwkeuriger zijn indien de koppeling gemaakt zou worden via een drukprofiel op een afstand van enkele honderden meters of meer van het doublet. Binnen deze contour is het site-specifieke activiteitsmodel nauwkeuriger dan het regionale model, maar een dergelijke interactie vraagt een (mogelijk fundamentele) uitbreiding van het activiteitsmodel.

1.2.3.2 Eénputsgeothermie

Het model dat van VITO werd overgenomen, ontwikkeld voor DESIGNATE, is gericht om het rendement van een bepaald type éénputsgeothermie in te schatten, en geeft niet rechtstreeks resultaten die bruikbaar zijn om de drukvariatie op regionale schaal, of de radius van de thermische impact te bepalen. Bij dergelijke projecten wordt echter slechts een beperkte druk- en temperatuurinvloed verwacht. Om dit te verifiëren werd de drukradius berekend met een gedetailleerd AnAqSim model, dat bevestigde dat deze zo minimaal is dat de druk niet regionaal beïnvloed wordt door éénputsgeothermie-projecten (Figuur 2). Deze figuur toont de drukradius op 1, 5 en 20 jaar na inbedrijfstelling, uitgaande van 6 maanden operatie gevolgd door 6 maanden rust, en geeft aan dat de omvang stabiel is doorheen de tijd.
Alhoewel voldoende voor deze doeleinden is een meer nauwkeurigere modellering mogelijk die specifiek de geometrie en omringende geologie van de radiaalboringen in rekening brengt, gebruik makend van het reservoirmodel dat door VITO werd gebruikt om de éénputsberekening te kalibreren.
Een belangrijke kanttekening is dat dit reservoirmodel werd opgesteld voor relatief ondiepe putten in de Krijtaquifer. De berekeningen voor diepere putten, al dan niet in gespleten graniet, liggen buiten de kalibratie enveloppe, en zijn bijgevolg zeker voor verbetering vatbaar. Deze verbeteringen hangen samen met de geplande boring te Wielsbeke naar het ondiepste van deze lichamen (zie deelrapport D6), die de geologische context zal verduidelijken, momenteel de belangrijkste onzekerheid. Hetzelfde project zal bovendien een betere inschatting toelaten van de technische uitwerking van dergelijk project, wat ook in belangrijk mate het activiteitsmodel zal beïnvloeden.
De besproken verbeteringen refereren enkel naar drukmodellering, omdat druk (of in bepaalde gevallen injectie- en productievolumes) de enige parameter is die wordt uitgewisseld met het regionale model. Temperatuursverloop doorheen de tijd is een centrale parameter in het activiteitsmodel van éénputsgeothermie, maar een temperatuursradius wordt momenteel niet berekend.



Figuur 2. Detailberekening van het drukverloop langs een profiel doorheen een actief éénputsgeothermie-project dat 6 maanden actief en 6 maanden inactief is. Deze simulatie toont aan dat zowel de drukradius als het drukeffect klein zijn en dat de druk zich volledig herstelt tijdens de rustperiode. Hierdoor zijn de drukken op het einde van de rustperiode (0.5, 4.5 en 19.5 jaar) gelijk aan nul, en vallen de drukken op het einde van de productieperiode exact samen.

1.2.3.3 Lithium

Door de lage ontwikkelingsgraad van de technologie wordt in de huidige simulatie lithiumproductie sterk vereenvoudigd benaderd, namelijk als bijvangst in een vaste concentratie, aan een verhoogde investerings- en operationele kost. Om de techno-economische haalbaarheid van lithium coproductie, en potentieel andere elementen, enigszins correct in te schatten, is een gerichte studie nodig die de concentraties vergelijkt met een analyse van de voorgestelde extractietechnologieën.

1.2.3.4 CO_2 geologische opslag

De migratie van CO_2 werd op twee manieren conservatief ingeschat, met een overschatting van de migratiesnelheid tot gevolg. Vooreerst werd de dikte van de aquifer oneindig verondersteld, wat voor de gemodelleerde situatie ongeveer in een grootteorde hogere snelheden resulteert. Bovendien werd het migratietraject vereenvoudigd tot één enkel segment met een constante helling. De snelheid verhoudt zich echter niet lineair tot de helling, en indien de berekening opgesplitst zou worden in verschillende segmenten, zou de migratie sterker beïnvloed worden door de zwakst hellende segmenten, zeker indien deze nagenoeg horizontaal zijn. Dit zou ook toelaten om de evolutie van densiteit en viscositeit van CO_2 nauwkeuriger in rekening te brengen.
Deze aanpassingen zijn technisch eenvoudig te maken, maar opent verdere discussie over toelaatbare migratieafstanden, doorlatendheid van breuken, de achterblijvende fractie CO_2 (niet langer mobiel) en andere effecten die bij tweefase migratie een rol kunnen spelen. Als dusdanig is een nauwkeurigere studie naar ‘migration assisted storage’ in deze setting noodzakelijk om het activiteitsmodel te verbeteren.

1.2.3.5 Koude-warmte opslag in steenkoolmijnen

Het model dat de koude-warmte opslag in steenkoolmijnen simuleert is een aangepast doubletmodel. De nauwkeurigheid ervan is onduidelijk en vraagt om bijkomend onderzoek. VITO

heeft een reservoirmodel uitgewerkt voor de mijn van Beringen, waarvan de details voor zover bekend niet publiek werden gemaakt, maar dat waarschijnlijk als basis kan dienen voor verificatie en verbetering.
Echter, de grootste techno-economische onzekerheid ligt waarschijnlijk niet in het gebruikte geologische activiteitsmodel, maar wel bij het investeringsplan aan vraagzijde dat in belangrijke mate de haalbaarheid van dergelijke koude-warmte opslagprojecten bepaalt. De connectie met de vraagzijde kan uitgewerkt worden in PSS, wat een doel is (zij het niet voor deze specifieke site) van het Belspo project DESIGNATE dat dit najaar opgeleverd zal worden.

1.2.3.6 Ondergrondse opslag van aardgas

Het model voor de opslag van aardgas werd gekalibreerd in lijn met door Fluxys mondeling meegedeelde drukgevoeligheid op de injectiesite. Op basis hiervan wordt de druk als grensconditie geschat op een min of meer arbitrair gekozen afstand van de productiesite waar de drukvariaties voldoende uitgevlakt waren om in het regionale model gebruikt te kunnen worden. Recent werden resultaten verkregen voor de peilput in het Dinantiaan in Merksplas, die nabij de grensconditie ligt. Hieruit bleek dat de drukfluctuaties aan de grensconditie vrij sterk werden onderschat (berekende variatie 1 tot 2 meter, waargenomen variatie meer dan 10 meter), en dat een herkalibratie nuttig is. Deze resultaten werden echter te laat doorgegeven om een herberekening binnen de projecttermijn te kunnen uitvoeren.

1.2.3.7 Ondergrondse opslag van waterstofgas

Aangezien de modellen van aardgas en waterstofgas wezenlijk identiek zijn, zijn de verbeterpunten opgesomd voor aardgas ook van toepassing op waterstofgas. Daarnaast werd de overgangssituatie genegeerd waarin, voor Loenhout, aardgas geleidelijk vervangen zou worden door waterstofgas. Zelfs bij een injectie van zuiver waterstofgas, zou dit mengen met het aanwezige methaan waardoor het geproduceerde gas slechts geleidelijk aan meer en meer waterstofrijk zal worden. Dit betekent ook bijkomende investering voor de scheiding van beide gassen.
Van meer fundamenteel belang zijn de potentiële reacties in de ondergrond ten gevolge van de aanwezigheid van het meer reactieve waterstofgas. Naast eerder economische aspecten, zoals de omvorming van H_2 tot CH_4, zijn de mogelijke aantasting van mineralen zoals pyriet in de afdekkende gesteenten, of bijvoorbeeld reactiviteit van cement, bepalend voor het al dan niet slagen van dergelijke projecten. Verder zal ook de permeabiliteit van zowel het reservoirgesteente als de afsluitende lagen t.o.v. waterstofgas anders zijn dan voor aardgas of water. Deze factoren werden momenteel genegeerd. Lopend onderzoek zal over deze aspecten concrete informatie beschikbaar maken die een uitwerking van deze aspecten in het model mogelijk zullen maken.

1.2.3.8 Steenkoolmethaanwinning

Voor de onttrekking van methaan aan steenkool bestaan verschillende empirische en theoretische modellen die gebruikt kunnen worden, en het is nuttig om na te gaan in hoeverre deze het veel eenvoudiger (volumetrische) model dat gebruikt werd kunnen verbeteren. De keuze voor het volumetrische model ligt in lijn met de beschikbare gegevens uit eerdere studies, die voornamelijk aandacht besteden aan begravingsgeschiedenis, gasgeneratie, en gasmigratie. Een volledig model moet bijvoorbeeld ook de ontwatering inschatten of het spletenpatroon in functie van de stabiliteit van de laagparallelle (horizontale) boorrichting. Dit zijn parameters die fundamenteel de slaagkans van een dergelijk project bepalen, een stap waaraan in de huidige berekeningen werd voorbijgegaan.

1.2.3.9 Berging radioactief afval

Wat buiten het bestek van deze studie valt, maar reeds verschillende keren verkennend besproken werd, is het koppelen van de grenscondities van een model van SCK voor berging van radioactief

afval aan een regionaal model zoals uitgewerkt in deze studie. Voor deze specifieke activiteit lijkt dit een meer gewenste oplossing dan het opstellen van een activiteitsmodel. In deze studie wordt enkel de drukvariatie van de diepe ondergrond (in het bijzonder het Dinantiaanreservoir) naar de Formatie van Boom als potentieel gastgesteente voor radioactieve berging berekend.

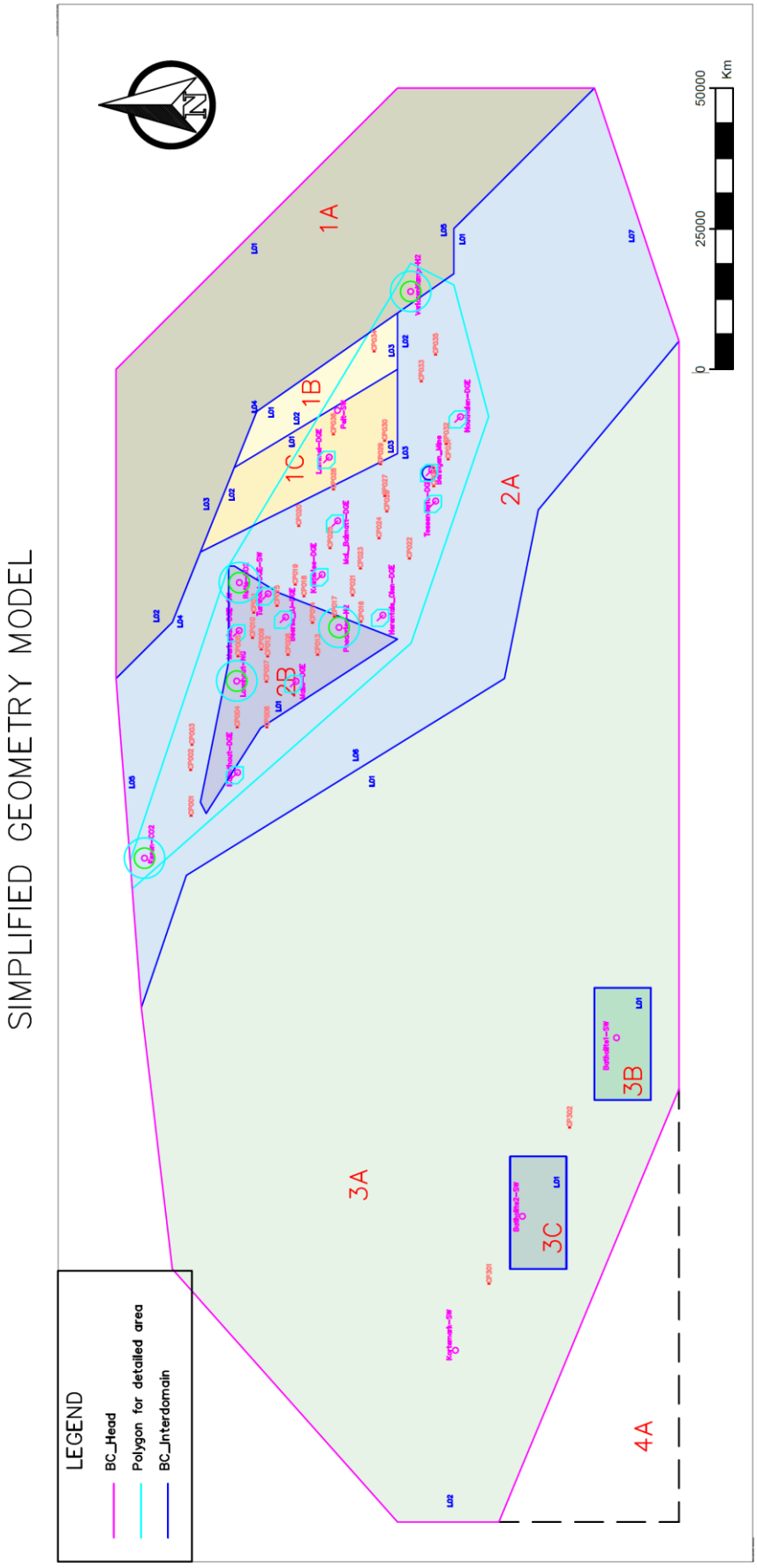
1.3 REGIONAAL MODEL

1.3.1 Technische achtergrond model en modelleermethode

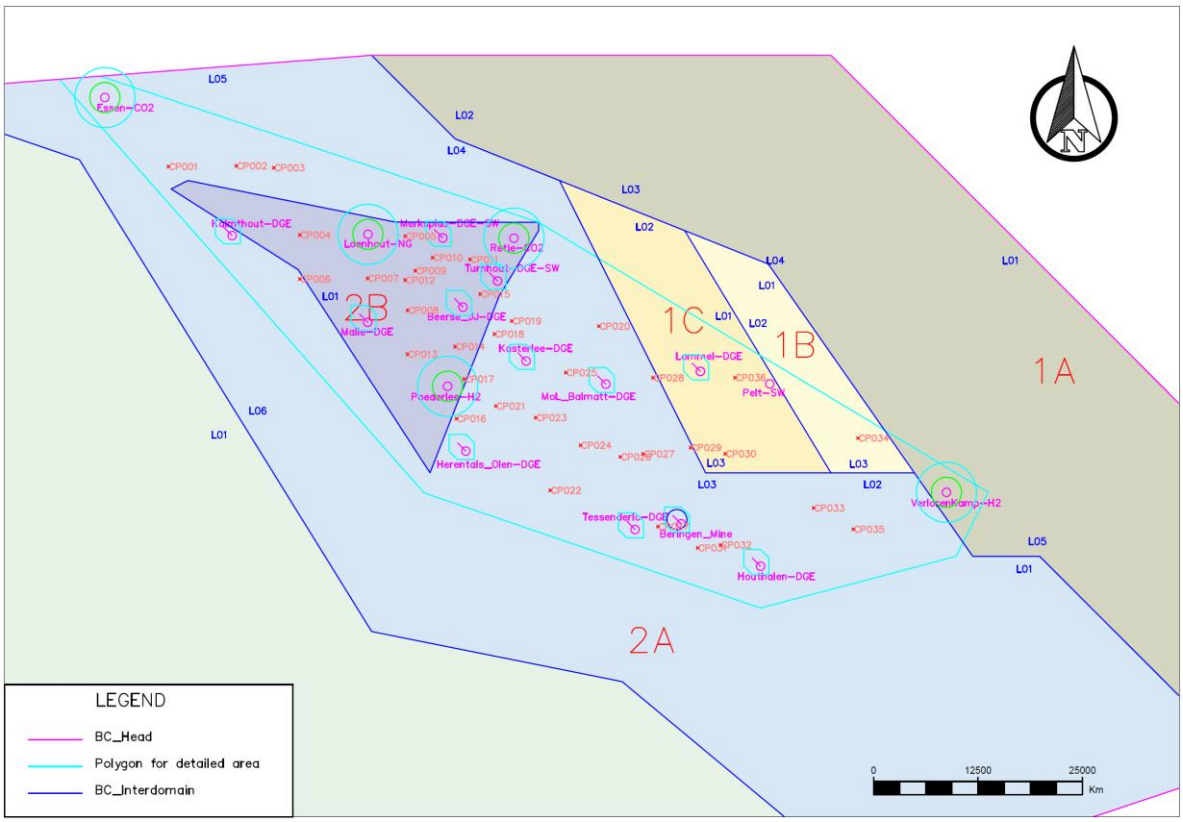
De regionale modellering wordt uitgevoerd met AnAqSim (https://anaqsim.com/), een commercieel pakket dat gebruik maakt van de Analytische Elementmethode (Engelse afkorting AEM). AEM maakt gebruik van analytische vergelijkingen die op een flexibele manier met elkaar gecombineerd kunnen worden tot een stelsel van vergelijkingen. Voor vereenvoudigde of theoretische problemen wordt, net zoals bij klassieke analytische methoden, een exacte oplossing bekomen, maar ook meer praktisch relevante grondwaterproblemen kunnen iteratief worden berekend. Het wordt daarom tot de numerieke modellen gerekend, maar verschilt hiervan omdat het geen representatieve eenheidsvolumes gebruikt, maar wel grondwaterlichamen waarvan het gedrag mathematisch beschreven kan worden. Dit vertrekpunt sluit goed aan bij een regionale modellering met geringe gegevensdichtheid.

1.3.2 Van geologisch naar reservoir model

In deelrapport D6 werden de relevante activiteiten in de diepe ondergrond reeds besproken in functie van de geologische eenheden (lithotektonische eenheden) van de Vlaamse ondergrond. Dezelfde eenheden vormen ook het vertrekpunt bij het opbouwen van het regionale grondwater- of reservoirmodel. Het Massief van Brabant wordt als één reservoireenheid beschouwd, met uitzondering van de twee ondiepste, mogelijk voorkomende granietische intrusies. In Figuur 3 komt dit hoofdzakelijk overeen met modeldomein 3, alhoewel het Onder-Paleozoïcum ook op diepte aanwezig is in de andere modellen.



Figuur 3. Visuele voorstelling van het volledige reservoir model. Projecten hebben een locatienaam en een label voor type project (DGE: diepe geothermische doublet, SW: éénputsgeothermie, CO2: opslagsite CO_2, NG: opslagsite aardgas, H2: opslagsite waterstofgas). Meer technische elementen hebben een specifiek label: zones met verschillende opeenvolging van hydrogeologische eenheden zijn voorzien van een label zoals "1A"; lijnen met externe of interne grenscondities dragen een label in de vorm van "L00", en controlepunten "CP000". Figuur 4 is een uitvergroting van het oostelijk deel van Vlaanderen. Hydrogeologische eenheden benaderen min of meer: 1A – Roerdalslenk, 1B en 1C – Breukblokken, 2A en 2B – Overige deel van Kempens Bekken (2B meer permeabel/opgeheven deel van Dinantiaan), 3A – Massief van Brabant (ondiep gedeelte), 3B en 3C – Vermoede batholieten.



Figuur 4. Detail van de visuele voorstelling van het reservoir model.

1.3.3 Regionale reservoirgegevens

Het model is opgebouwd uit 61 hydrogeologische eenheden waarvan de eigenschappen staan samengevat in de onderstaande tabel. Voor een aantal van deze eenheden wordt de doorlatendheid stochastisch aangepast vanuit PSS, voor deze parameters verschillen de ‘minimum’ en ‘maximum’ waarden. De parameters die constant blijven (i.e. niet aangepast in PSS) tonen dezelfde minimum en maximumwaarden in Tabel 1.

Tabel 1. Eigenschappen van de hydrogeologische eenheden. Hoeken gemeten volgens goniometrische conventie (0° is E, graden tellen op in tegenwijzerzin). Deze tabel is ook beschikbaar als digitale bijlage.

Label	Level	Domain_Type	Top_elevation (m_PAW)	Bottom_elevation (m_PAW)	Porosity (-)	Storativity (-)	Specific_yield (-)	K1_horizontal (m/day)	K2_horizontal (m/day)	Angle_K1 to x_axis (°)	K3_vertical top_half (m/day)	K3_vertical bottom_half	K1_horizontal (m/day)	K2_horizontal (m/day)	Angle_K1_to x_axis (°)	K3_vertical top_half (m/day)	K3_vertical bottom_half
								Minimum					Maximum				
01-Q_NA_PA-1A	1	confined	0	-850	0.1	0.001	0.1	20	20	0	1	1	20	20	0	1	1
01-Q_NA_PA-1B	1	confined	0	-800	0.1	0.001	0.1	20	20	0	1	1	20	20	0	1	1
01-Q_NA_PA-1C	1	confined	0	-400	0.1	0.001	0.1	20	20	0	1	1	20	20	0	1	1
01-Q_NA_PA-2A	1	confined	0	-200	0.1	0.001	0.1	20	20	0	1	1	20	20	0	1	1
01-Q_NA_PA-3A	1	confined	0	-40	0.1	0.001	0.1	20	20	0	1	1	20	20	0	1	1
02-PA_Bm-1A	2	confined	-850	-920	0.1	0.001	0.1	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016
02-PA_Bm-1B	2	confined	-800	-860	0.1	0.001	0.1	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016
02-PA_Bm-1C	2	confined	-400	-520	0.1	0.001	0.1	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016
02-PA_Bm-2A	2	confined	-200	-300	0.1	0.001	0.1	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016
02-PA_Bm-3A	2	confined	-40	-80	0.1	0.001	0.1	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016
03-PAz-1A	3	confined	-920	-940	0.1	0.001	0.1	15	15	0	0.75	0.75	15	15	0	0.75	0.75
03-PAz-1B	3	confined	-860	-900	0.1	0.001	0.1	15	15	0	0.75	0.75	15	15	0	0.75	0.75
03-PA_K-1C	3	confined	-520	-640	0.1	0.001	0.1	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016
03-PAz-2A	3	confined	-300	-400	0.1	0.001	0.1	15	15	0	0.75	0.75	15	15	0	0.75	0.75
03-PAz-3A	3	confined	-80	-120	0.1	0.001	0.1	15	15	0	0.75	0.75	15	15	0	0.75	0.75
04-PAh-1A	4	confined	-940	-1200	0.1	0.001	0.1	3	3	0	0.15	0.15	3	3	0	0.15	0.15
04-PAh-1B	4	confined	-900	-1100	0.1	0.001	0.1	3	3	0	0.15	0.15	3	3	0	0.15	0.15
04-PAh-1C	4	confined	-640	-850	0.1	0.001	0.1	3	3	0	0.15	0.15	3	3	0	0.15	0.15
04-PA_K-2A	4	confined	-400	-460	0.1	0.001	0.1	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016
04-PA_K-3A	4	confined	-120	-160	0.1	0.001	0.1	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016	0.000001	0.000001	0	0.00016	0.00016
05-KR-1A	5	confined	-1200	-1300	0.1	0.001	0.1	11	11	0	0.55	0.55	11	11	0	0.55	0.55
05-KR-1B	5	confined	-1100	-1150	0.1	0.001	0.1	11	11	0	0.55	0.55	11	11	0	0.55	0.55
05-KR-1C	5	confined	-850	-1400	0.1	0.001	0.1	11	11	0	0.55	0.55	11	11	0	0.55	0.55
05-PAh-2A	5	confined	-460	-650	0.1	0.001	0.1	3	3	0	0.15	0.15	3	3	0	0.15	0.15
05-PAh-3A	5	confined	-160	-200	0.1	0.001	0.1	3	3	0	0.15	0.15	3	3	0	0.15	0.15
06-JU-1A	6	confined	-1300	-2000	0.1	0.001	0.1	1	1	0	0.05	0.05	1	1	0	0.05	0.05
06-JU-1B	6	confined	-1150	-1800	0.1	0.001	0.1	1	1	0	0.05	0.05	1	1	0	0.05	0.05
06-TR_PE-1C	6	confined	-1400	-3700	0.1	0.001	0.1	0.001745	0.001745	0	8.72E-05	8.72E-05	0.21158	0.21158	0	0.010579	0.010579
06-KR-2A	6	confined	-650	-1000	0.1	0.001	0.1	11	11	0	0.55	0.55	11	11	0	0.55	0.55
06-KR-3A	6	confined	-200	-600	0.1	0.001	0.1	11	11	0	0.55	0.55	11	11	0	0.55	0.55
07-TR_PE-1A	7	confined	-2000	-4400	0.1	0.001	0.1	0.001745	0.001745	0	8.72E-05	8.72E-05	0.21158	0.21158	0	0.010579	0.010579
07-TR_PE-1B	7	confined	-1800	-4100	0.1	0.001	0.1	0.001745	0.001745	0	8.72E-05	8.72E-05	0.21158	0.21158	0	0.010579	0.010579
07-CAWee-1C	7	confined	-3700	-5400	0.1	0.001	0.1	1	1	0	0.05	0.05	1	1	0	0.05	0.05
07-TR_PE-2A	7	confined	-1000	-2900	0.1	0.001	0.1	0.001745	0.001745	0	8.72E-05	8.72E-05	0.21158	0.21158	0	0.010579	0.010579
07-SI_OR_CM-3A	7	confined	-600	-10000	0.1	0.001	0.1	0.1	0.1	0	0.005	0.005	0.1	0.1	0	0.005	0.005
07-SI_OR_CM-3B	7	confined	-600	-2000	0.1	0.001	0.1	0.1	0.1	0	0.005	0.005	0.1	0.1	0	0.005	0.005
07-SI_OR_CM-3C	7	confined	-600	-2000	0.1	0.001	0.1	0.1	0.1	0	0.005	0.005	0.1	0.1	0	0.005	0.005
08-CAWee-1A	8	confined	-4400	-6400	0.1	0.001	0.1	1	1	0	0.05	0.05	1	1	0	0.05	0.05
08-CAWee-1B	8	confined	-4100	-5900	0.1	0.001	0.1	1	1	0	0.05	0.05	1	1	0	0.05	0.05
08-CANa-1C	8	confined	-5400	-6200	0.1	0.001	0.1	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005
08-CAWee-2A	8	confined	-2900	-4100	0.1	0.001	0.1	1	1	0	0.05	0.05	1	1	0	0.05	0.05
08-Granite-3B	8	confined	-2000	-10000	0.1	0.001	0.1	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005
08-Granite-3C	8	confined	-2000	-10000	0.1	0.001	0.1	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005
09-CANa-1A	9	confined	-6400	-7000	0.1	0.001	0.1	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005
09-CANa-1B	9	confined	-5900	-6600	0.1	0.001	0.1	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005	0.01	0.01	0	0.0005	0.0005
09-CADi-1C	9	confined	-6200	-6600	0.1	0.001	0.1	0.001745	0.000436	-45	8.72E-05	8.72E-05	0.21158	0.21158	0	0.010579	0.010579
09-CANa-2A	9	confined	-4100	-5200	0.1	0.001	0.1	0.005	0.005	0	0.1	0.1	0.005	0.005	0	0.1	0.1
09-CANa-2B	9	confined	-4100	-5200	0.1	0.001	0.1	0.005	0.005	0	0.1	0.1	0.005	0.005	0	0.1	0.1
10-CADi-1A	10	confined	-7000	-7400	0.1	0.001	0.1	0.001745	0.000436	-45	8.72E-05	8.72E-05	0.21158	0.21158	0	0.010579	0.010579
10-CADi-1B	10	confined	-6600	-7000	0.1	0.001	0.1	0.001745	0.000436	-45	8.72E-05	8.72E-05	0.21158	0.21158	0	0.010579	0.010579
10-DE-1C	10	confined	-6600	-7100	0.1	0.001	0.1	1	1	0	0.05	0.05	1	1	0	0.05	0.05
10-CADi-2A	10	confined	-5200	-5600	0.1	0.001	0.1	0.001745	0.000436	-45	9.64E-05	9.64E-05	0.21158	0.21158	0	0.01169	0.01169
10-CADi-2B	10	confined	-5200	-5600	0.1	0.001	0.1	0.001745	0.000436	-45	4.83E-05	4.83E-05	0.21158	0.21158	0	0.005861	0.005861
11-DE-1A	11	confined	-7400	-7900	0.1	0.001	0.1	1	1	0	0.05	0.05	1	1	0	0.05	0.05
11-DE-1B	11	confined	-7000	-7500	0.1	0.001	0.1	1	1	0	0.05	0.05	1	1	0	0.05	0.05
11-SI_OR_CM-1C	11	confined	-7100	-10000	0.1	0.001	0.1	0.1	0.1	0	0.005	0.005	0.1	0.1	0	0.005	0.005
11-DE-2A	11	confined	-5600	-6100	0.1	0.001	0.1	0.005	0.005	0	0.1	0.1	0.005	0.005	0	0.1	0.1
12-SI_OR_CM-1A	12	confined	-7900	-10000	0.1	0.001	0.1	0.1	0.1	0	0.005	0.005	0.1	0.1	0	0.005	0.005
12-SI_OR_CM-1B	12	confined	-7500	-10000	0.1	0.001	0.1	0.1	0.1	0	0.005	0.005	0.1	0.1	0	0.005	0.005
12-SI_OR_CM-2A	12	confined	-6100	-10000	0.1	0.001	0.1	0.1	0.1	0	0.005	0.005	0.1	0.1	0	0.005	0.005
08-Beringen_Mine-2(	8	confined	-2900	-4100	0.1	0.001	0.1	10	10	0	1	1	10	10	0	1	1

1.3.4 Mogelijkheden en beperkingen

Het regionale AEM-model sluit goed aan bij de lage densiteit aan regionale gegevens, en de daarbij horende grote onzekerheid over de hydrologische eigenschappen en connectiviteit tussen de verschillende lichamen. Het flexibel uittesten van veronderstellingen speelt dan een belangrijke rol. Het AEM-model vervolledigt daarnaast goed de totale simulatie, waarbij stochastische gegevens uitgewisseld worden tussen PSS en AnAqSim.

Praktische beperking is het potentiële verlies van convergentie van de iteratieve oplosmethodes. Bij traditionele modellering is dit minder een probleem omdat de oorzaak van verlies van convergentie manueel opgezocht en verholpen kan worden. Bij automatische aanpassing van parameters is dat niet mogelijk, en in 16% van de regionale simulaties convergeerde de oplossing niet. Dit percentage

is acceptabel. Enkel de 217 geconvergeerde simulaties (84% van 257 runs) werden verder geanalyseerd.
Binnen het tijdsbestek van deze studie werd de geometrie van de modelelementen geconceptualiseerd met nadruk op het respecteren van afstanden tussen activiteiten. Door deze vereenvoudiging werden onlap-relaties en geografische verbreiding van eenheden niet strikt gerespecteerd. Dit zijn aanpassingen die vrij eenvoudig in het model aangebracht kunnen worden, maar houdt bijvoorbeeld de invoering van verschillende nieuwe grenscondities in waardoor het model ook opnieuw getest moet worden, wat meer tijd vraagt.
AnAqSim heeft geen ingebouwde algoritmes om densiteit of viscositeit van formatiewater met diepte (temperatuur, saliniteit, druk) te laten variëren. Het is tot op zekere hoogte wel mogelijk om dit manueel in te voeren, wat tot meer nauwkeurige resultaten zou leiden. In deze studie is dit echter nog niet toegepast. Voor de densiteit en viscositeit werden constante waarden aangenomen.
De huidige staat van ontwikkeling van AEM betekent dat dergelijke reservoirmodellen uitgaan van één enkele fase en geen geochemische reacties, densiteitsverschillen of temperatuureffecten in rekening kunnen brengen. Indien deze wel van regionaal belang zijn (dus de activiteitschaal overstijgen) dan moet naar een andere modeleertechniek worden gezocht. Voor de drukmodellering op regionale schaal is deze vereenvoudiging aanvaardbaar.
Momenteel werken de activiteits- en regionale modellen samen op de meest eenvoudige wijze, waarbij resultaten van de activiteitsmodellen worden doorgegeven aan het regionale model zonder feedback. Voor bepaalde configuraties is een meer iteratieve uitwisseling nuttig, alhoewel dit de reeds hoge rekenintensiteit van het volledige model bijkomend zal verhogen.
Bij het nemen van de economische beslissingen op basis van de activiteitsmodellen in de PSS simulaties (§2.4) wordt uitgegaan van een cirkelvormige exclusiezone waarbinnen geen andere activiteiten kunnen plaatsvinden. Dit is een implementatie van het principe dat een investeringsbeslissing genomen wordt op basis van beperkte data. Voor de meeste activiteiten is een cirkelvormige zone een goede benadering indien de eigenschappen van de ondergrond isotroop zijn. Zelfs voor CBM projecten worden telkens 5 parallelle horizontale boringen zodat ze de oppervlakte van een vierkant bestrijken, wat ervoor zorgt dat de invloedzone weerom bij benadering cirkelvormig is. In de regionale drukmodellering met AnAqSim wordt vervolgens het werkelijke resultaat van dit project berekend, wat niet noodzakelijk overeenstemt met de initiële inschatting.

1.4 GEOLOGISCH-SPECIFIEKE RESULTATEN

Hydraulische conductiviteit is een stochastische reservoirparameter die door PSS wordt vastgelegd op activiteitsniveau en wordt overgenomen in het regionale model. Elke uitkomst van PSS wordt regionaal 4 maal doorgerekend, telkens met een andere vertaling van de regionale conductiviteit:

1. *full*: De hydraulische conductiviteit is lokaal (voor de activiteiten) gelijk aan de regionale
2. *red*: De regionale hydraulische conductiviteit wordt lager verondersteld dan voor de lokale activiteiten
3. *iso*: De regionale hydraulische conductiviteit is isotroop
4. *ani*: De regionale hydraulische conductiviteit is anisotroop (beter in de NW-SE richting, dominante richting van grootschalige breuksystemen)

Samen resulteert dit in volgende varianten:

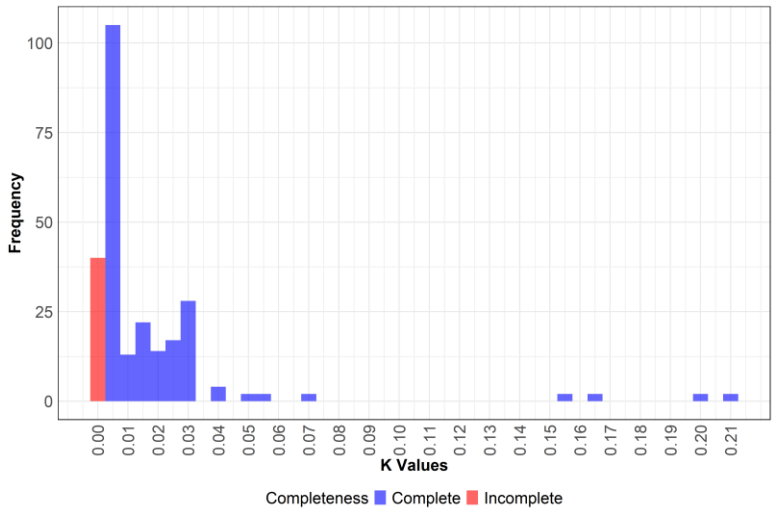
1. full-iso
2. full-ani
3. red-iso
4. red-ani

Zonder activiteit wordt verondersteld dat het reservoir zowel horizontaal als verticaal in rust is, waardoor de aanvangsstijghoogte gelijkgesteld kan worden aan 0. In het model werden 32 controlepunten aangebracht tussen de verschillende activiteiten om de evolutie in stijghoogtes te onderzoeken. Van deze bevinden zich 29 in aquifers waarvan de doorlatendheid stochastisch gewijzigd wordt tussen de verschillende simulaties. Al deze peilputten bevinden zich in het Dinantiaan reservoir.

1.4.1 Stabiliteit van de modellering

Zoals aangehaald in §1.3.4 bereikt de simulatie geen eindresultaat in 16% van de gestarte simulaties. Rekenkundig betekent dit dat het algoritme gekozen om het stelsel van vergelijkingen (waarin het model vertaald wordt) niet convergeert tot een stabiele oplossing. De verhouding tussen de succesvolle en niet-succesvolle simulaties lijkt ruim voldoende hoog, maar voorafgaand aan verdere interpretatie is het belangrijk om na te gaan of er een systematiek zit in de simulaties die niet convergeren.

Daarom wordt de graad van succes in Figuur 5 uitgezet in functie van de regionale hydraulische conductiviteit (K-waarde, K1 voor anisotrope modelering). Hieruit blijkt dat de berekening van het model systematisch faalt voor de laagste categorie van K-waarden (lager dan 0.025 m/d). Deze observatie wordt in de volgende paragraaf verder besproken.

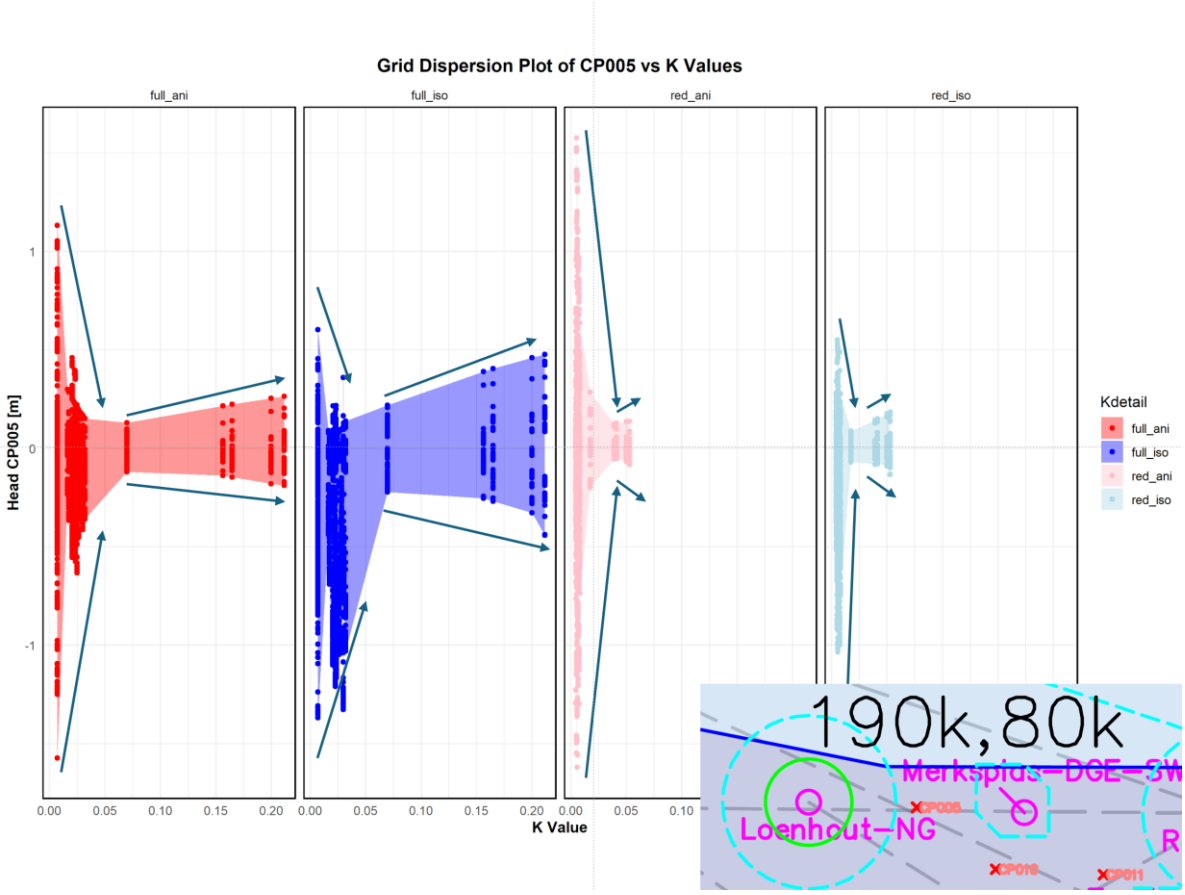


Figuur 5. *Volledig en onvolledige (gefaalde) modelberekeningen uitgezet in functie van de hydraulische conductiviteit.*

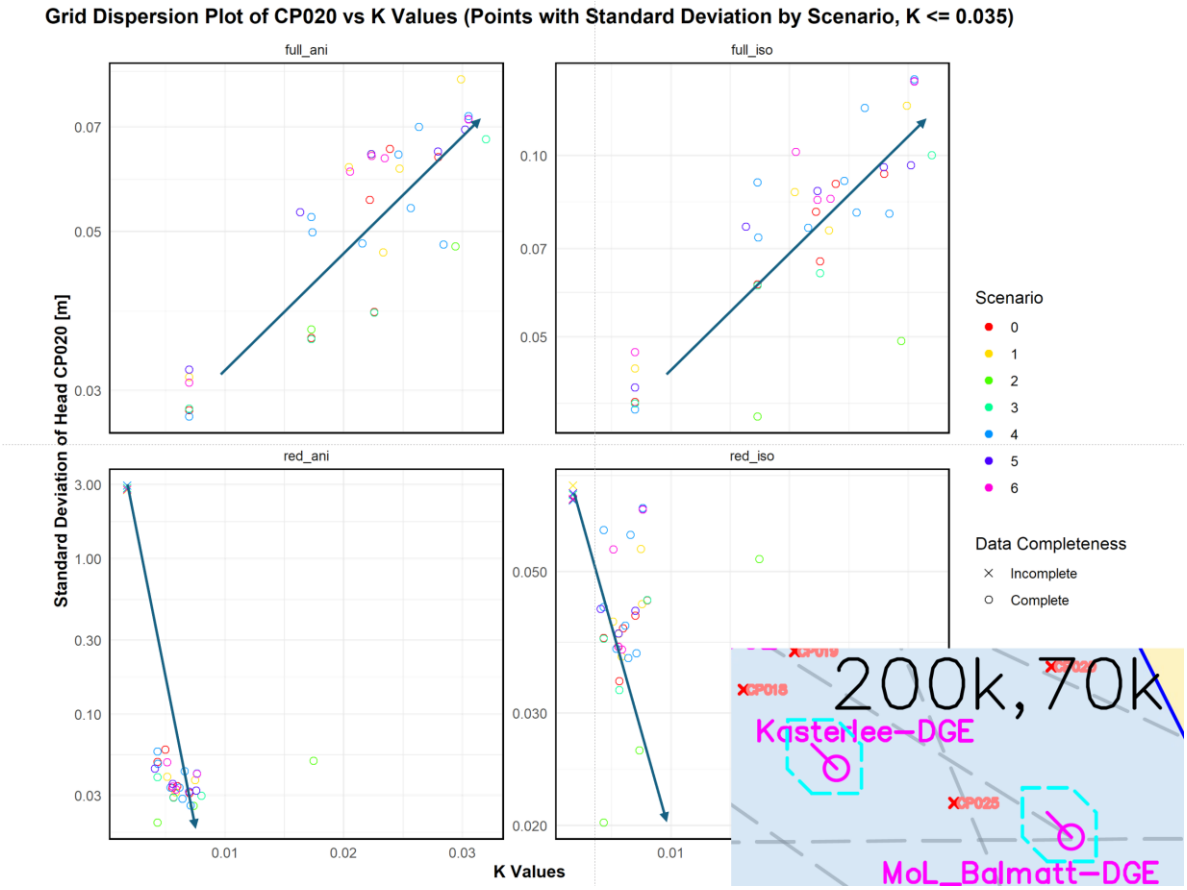
1.4.2 Variatie in hydraulische conductiviteit

Wanneer de regionale hydraulische conductiviteit wordt uitgezet tegen de gemodelleerde niveauverschillen in de 29 controlepunten, dan kunnen doorheen alle scenario's een aantal trends onderscheiden worden. Deze zijn herkenbaar door absolute stijghoogtes uit te zetten tegenover regionale conductiviteit, en ook door de standaarddeviatie van stijghoogtes (resultaten gegroepeerd per simulatie van 2025 tot 2050) uit te zetten tegen de regionale conductiviteit.
Algemeen tonen de resultaten dat bij lagere K-waarden (<0.05 m/d) de drukverschillen in de controlepunten relatief groot zijn in vergelijking met deze bij K-waarden groter dan 0.1 m/d (Figuur 6). Dit is contra-intuïtief en vraagt om een bijkomende verificatie. Het uitzetten van standaarddeviatie verduidelijkt dit beeld omdat dit een vrij stabiele maat is voor de spreiding van, in dit geval, de stijghoogtes. Aangezien de controlepunten tussen potentiële activiteiten gelokaliseerd zijn, is de standaarddeviatie een maat voor de interferentie in die punten.

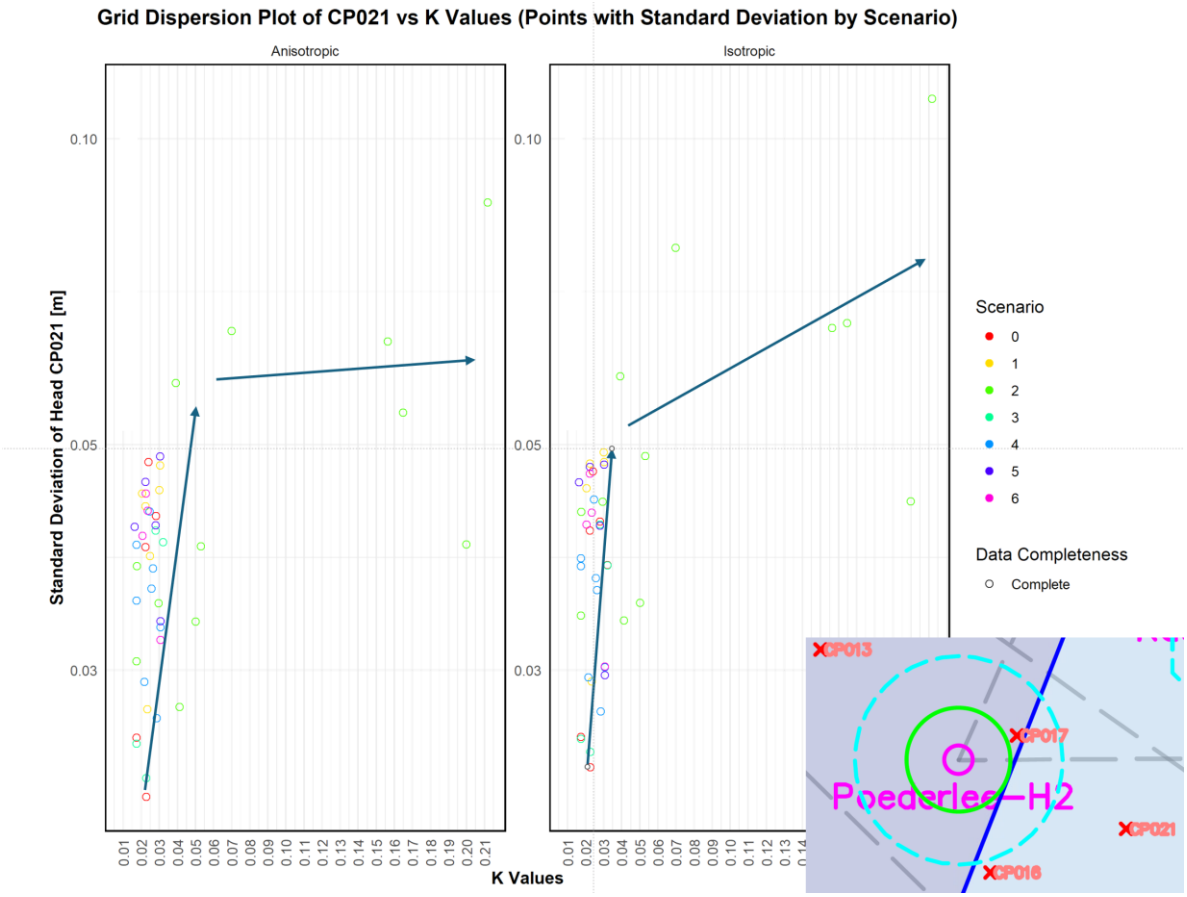
De standaarddeviatie bevestigt en verduidelijkt het vastgestelde patroon. Voor de meerderheid van controlepunten neemt de standaarddeviatie af met toenemende K voor zeer lage waarden van K (K1 kleiner dan 0.01 m/d), en neemt het daarna weer toe. Een verklaring voor de inverse relatie voor kleine K-waarden blijkt wanneer ook de standaarddeviatie van de niet-succesvolle berekeningen (onvolledige berekeningen wijzen op instabiliteit (niet-convergentie) van het reservoirmodel) worden uitgezet (Figuur 7). Deze vervolledigen de inverse trend, en zijn een duidelijke indicatie van onvoldoende stabiliteit van het model voor zeer kleine K-waarden, die verbeterd en goed wordt vanaf ongeveer 0.01 m/d. De inverse trend bij lagere K-waarden wordt daarom als artificieel beschouwd. Bij verdere bespreking worden enkel modelresultaten voor regionale K-waarden hoger dan 0.1 m/dag gebruikt.
Bij deze K-waarden toont de standaarddeviatie eerst een snel, en daarna meer geleidelijke toename van interferentie, zoals getoond wordt in Figuur 8. Alle activiteiten (met uitzondering van CO_2 injectie) in het model produceren niet continu, maar variabel doorheen het jaar. Dat veroorzaakt drukgolven doorheen het reservoir die in de controlepunten worden geregistreerd als variaties in stijghoogte. Met interferentie bedoelen we daarom het gecombineerde effect van alle activiteiten meetbaar in een controlepunt.
In de figuren hier worden de meest typische patronen getoond. Minstens even belangrijk zijn de interferentiepatronen die tussen de verschillende activiteiten ontstaan en die zowel constructief als destructief kunnen zijn, en die een meer gedetailleerde analyse vragen dan hier mogelijk is. Het is in deze interacties dat de voornaamste verschillen tussen de modellen met isotrope en anisotrope hydraulische conductiviteit naar voren komen. Een illustratief voorbeeld is controlepunt 15 dat vrijwel symmetrisch tussen twee doubletten ligt. Bij een isotrope hydraulische conductiviteit wordt een relatief sterke hydrostatische fluctuatie voorspeld, terwijl die bij anisotropie een grootteorde minder is (Figuur 9). Dit is een logische waarneming.



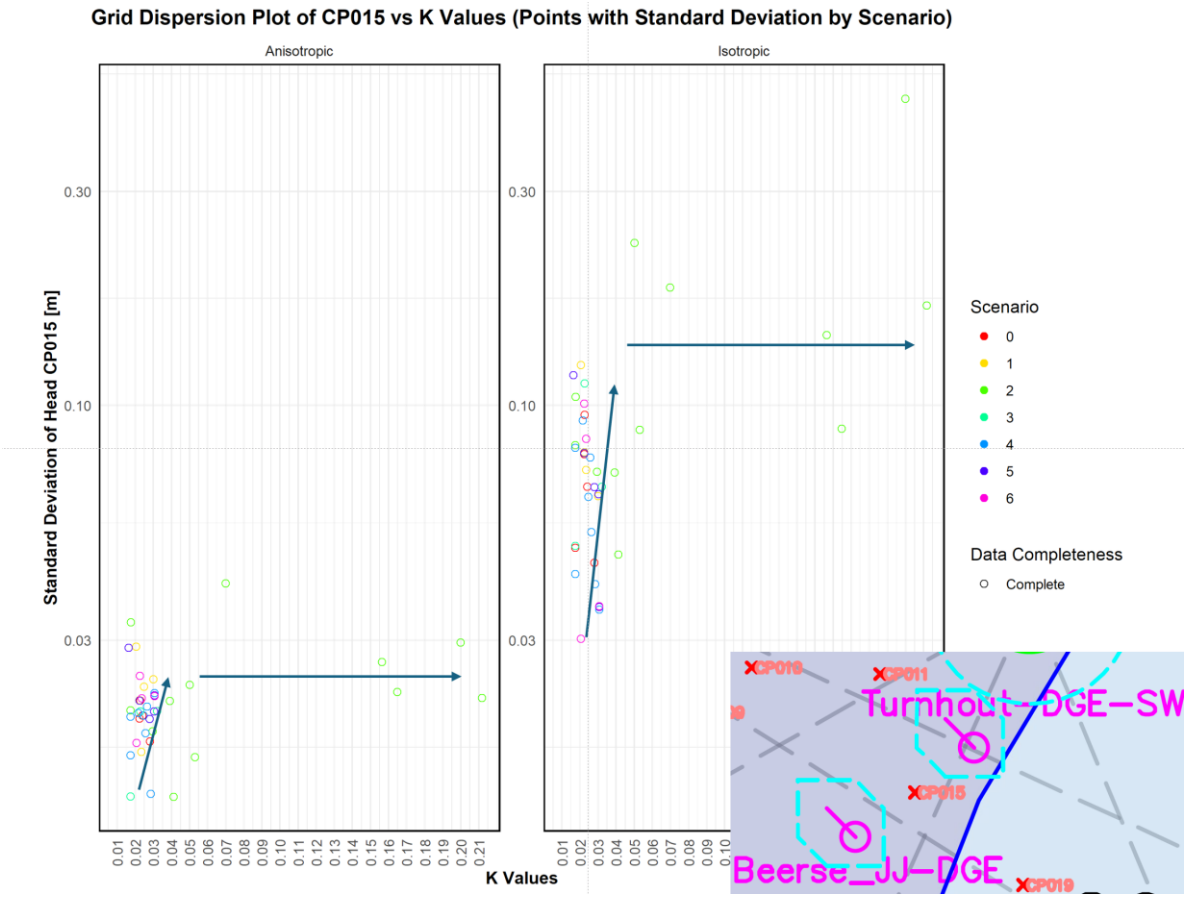
Figuur 6. *Illustratie van het meest algemene patroon in de controlepunten (hier controlepunt 5). De spreiding op de stijghoogtes zijn zonder verdere verwerking uitgezet tegenover de regionale K-waarde (K1 voor anistrope modelering). De pijlen benadrukken de trends tot 0.05 en vanaf 0.1 m/d.*



Figuur 7. *Representatief voorbeeld (controlepunt 20) dat de afname toont van de spreiding op de stijghoogtes voor K-waarden lager dan 0.01 m/d, en een stijging bij hogere waarden. Enkel resultaten voor K-waarden lager dan ~0.03 m/d worden getoond. Scenario's: 0-NUL, 1-RES, 2-STOR, 3-CLIMA, 4-BAL, 5-LONG, 6-EXPL. Data completeness: Incomplete – simulatieresultaten onvolledig door niet-convergentie van modellering.*



Figuur 8. *Patroon van toename van de variabiliteit in stijghoogte voor controlepunt 21. In de meeste gevallen neemt deze eerst scherp toe, en wordt meer geleidelijk bij grotere waarden van K.*



Figuur 9. *Afhankelijk van de locatie is de invloed van anisotropie meer of minder merkbaar. Door de ligging van controlepunt 15 wordt het bij isotrope conductiviteit sterker beïnvloed dan bij anisotropie (hoofdas conductiviteit is NW-SE).*

1.4.3 Verschillen per scenario

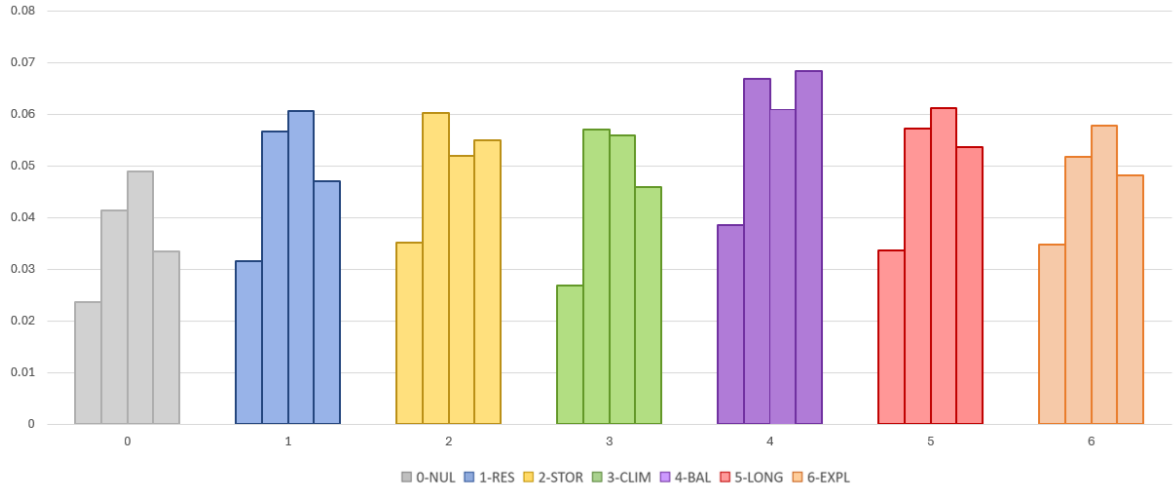
Zoals blijkt uit eerdere figuren zijn er geen opvallende verschillen tussen de verschillende scenario's. Het aantal activiteiten ontwikkeld in de verschillende scenario's is te gelijkaardig om op regionale schaal opvallende verschillen te veroorzaken, zeker in een model waarin parameters ook stochastisch gevarieerd worden.
Indien de standaarddeviatie genomen wordt als maat voor de interferentie in de controlepunten, dan geeft dit per scenario volgende resultaten (stijghoogtes van alle controlepunten gecombineerd, locaties zie Figuur 3):

Scenario	Standaarddeviatie (m)
0-NUL	0.30
1-RES	0.38
2-STOR	0.33
3-CLIMA	0.33
4-BAL	0.38
5-LONG	0.32
6-EXPL	0.35

Sce	SD
0-NUL	0.30

1-RES	0.38
2-STOR	0.33
3-CLIMA	0.33
4-BAL	0.38
5-LONG	0.32
6-EXPL	0.35

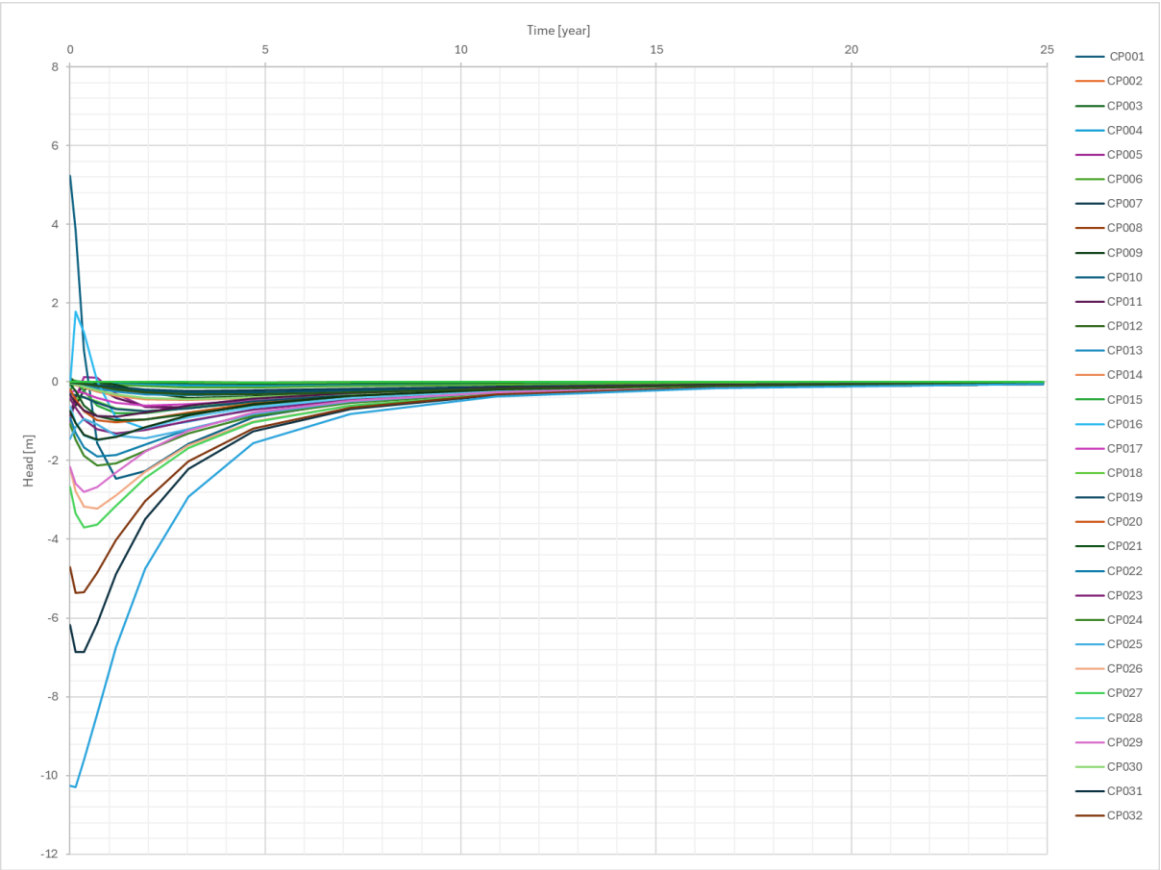
In het NUL scenario is de interferentie het laagst (30 cm), en in het RES en BAL scenario het hoogst (38 cm). De waarden liggen echter kort bij elkaar en de verschillen zijn niet noodzakelijk significant (zie ook Figuur 10).



Figuur 10. Gemiddelde gesimuleerde absolute drukverstoring in alle controlepunten in het Dinantiaan over de periode 2025 tot 2050. De verstoring is geringer in het NUL-scenario, maar verschillen tussen de andere scenario's zijn te gering om statistisch betrouwbaar of betekenisvol te zijn. De standaarddeviatie (zie tabel) is meer betrouwbaar. Verticale as: verstoring in meter, horizontale as: resultaten per kwartaal (doubletten niet actief tijdens eerste en laatste kwartaal).

1.4.4 Regionaal drukherstel

De diverse activiteiten in de diepe ondergrond resulteren in een drukverstoring ten opzichte van de rusttoestand van de reservoirs. Deze verstoringen worden in kaart gebracht via een netwerk van gekozen controlepunten tussen de verschillende activiteiten. Deze laten toe om in te schatten hoe snel de druktoestand normaliseert na stopzetting van de activiteiten. Figuur 11 toont de drukevolutie voor 25 jaar volgend op de stopzetting van alle activiteiten. Binnen de eerste vijf jaar neemt de drukverstoring gevoelig af, en na tien tot vijftien jaar is ze vrijwel geneutraliseerd. Voor netto-injectieprojecten (opslag van CO_2) is dit natuurlijk afhankelijk van de veronderstelde grenscondities, en of deze de effectieve reservoircommunicatie over grote afstanden correct benaderen.



Figuur 11. Drukevolutie voor 25 jaar volgend op de stopzetting van alle activiteiten, en een relatief snelle terugval tot de oorspronkelijke reservoirdrukken. De druk wordt weergegeven voor de 32 (CP001 tot CP32) monitoringspunten die in het model werden geplaatst, meestal tussen de locaties van potentiële activiteiten om interferenties te detecteren. Locatie van controleputten in Figuur 3.

1.4.5 Verticale reservoirconnectiviteit

Om de potentiële interferentie na te gaan van een diep geothermieproject en een ondiepere berging van radioactief afval, werd nabij het geothermieproject van Balmatt een controlepunt (fictieve piëzometer) geplaatst in de Formatie van Boom. Dit is een generische inplanting omdat, alhoewel er een ondergronds onderzoekslaboratorium is voor ondergrondse berging nabij het Balmatt project, er op dit moment nog geen site voor effectieve berging is gekozen. De Formatie van Boom bevindt zich hier ondieper dan de -500 m TAW grens, die pas naar het noordoosten dieper voorkomt.

Op basis van de geologie wordt verwacht dat de verticale connectiviteit zeer gering is, en dit wordt inderdaad bevestigd door modellering. De maximaal gemodelleerde interferentie van het Dinantiaanreservoir tot in de Formatie van Boom is aanzienlijk minder dan 1 millimeter, wat mathematisch niet significant is omdat deze waarden de convergentiecriteria te sterk benaderen.

2 ECONOMISCHE IMPACTMODELLERING

2.1 ECONOMISCHE MODELLERING

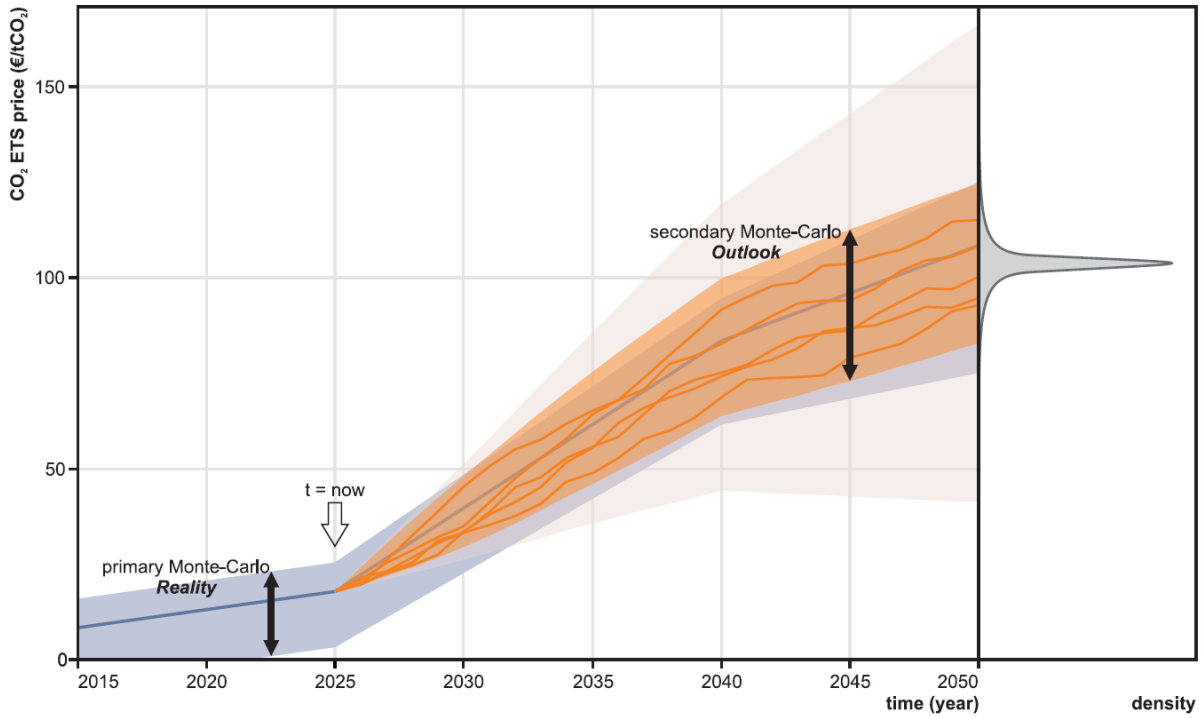
Het opbouwen van een evaluatiekader over het gebruik van de diepe ondergrond vertrekt van een projectie van dat gebruik. Om dit vooruitzicht zo objectief mogelijk op te bouwen, worden de meerderheid van projectbeslissingen economisch gemodelleerd. Belangrijke uitzonderingen hierop zijn activiteiten zoals opslag van aardgas en waterstofgas die vraag-gedreven verondersteld worden, en projecten met een demonstratiestatus. Omdat de economische impactmodellering vertrekt vanuit een gedetailleerde techno-economische simulatie is het tijdsvenster van de simulatie beperkt van 2025 tot en met 2050.

2.2 REËLE OPTIEMODELLEN EN BESLISBOOMANALYSE

Een beslisboommodel vertrekt vanuit de principes van de reële optie theorie om te onderzoeken hoe waarschijnlijk het is dat een projectontwikkelaar zal investeren in een bepaalde toepassing in de diepe ondergrond binnen een bepaalde tijdsperiode, gegeven de huidige toepassingen, opties voor mogelijk toekomstig gebruik van de diepe ondergrond, geologische onzekerheden en een veranderlijke socio-economische context. Dit laat toe om de invloed van verschillende beleidsscenario's te berekenen, rekening houdend met veranderingen in kosten- en prijsprocessen doorheen de tijd, geologische onzekerheden en leereffecten door exploratie. Op deze manier wordt de dynamische context realistisch meegenomen, in tegenstelling tot simulaties gebaseerd op netto contante waarde of maatschappelijke kostenbatenanalyse.

2.3 PSS SIMULATOR

Om een reële optiemodel op te bouwen op schaal van Vlaanderen wordt PSS gebruikt. PSS staat voor Policy Support System, en werkt met twee onzekerheidslagen. De buitenste (primaire) laag wordt klassiek teruggevonden in stochastische modellen, en laat de scenarioparameters binnen onzekerheidsmarges variëren. Door de simulatie herhaaldelijk uit te voeren, worden stochastische resultaten bekomen zodat de waarschijnlijkheid van een resultaat kan worden ingeschat, wat bij hogere graden van onzekerheid even belangrijk of belangrijker is dan de meest waarschijnlijke uitkomst. Deze resultaten kunnen ook gebruikt worden om gevoeligheidsanalyses uit te voeren.
De binnenste (secundaire) onzekerheidslaag is rechtstreeks gelinkt aan de reële optieschema's van de verschillende investeringsmogelijkheden, en dient om investeringsbeslissingen realistisch te simuleren, meer bepaald door een beperkt en niet noodzakelijk correct toekomstperspectief van de verschillende onzekere parameters te creëren. Dit plaatst PSS in de categorie van 'limited foresight' modellen, tegenover de meer traditionele maar potentieel minder realistische modellen die 'perfect foresight' veronderstellen. Deze aanpak wordt geïllustreerd in Figuur 12.



Figuur 12. Illustratie van het principe van 'limited foresight' in een modellering met twee onzekerheidslagen (Welkenhuysen & Piessens, 2017). De primaire (buitenste) Monte Carlo fungeert als een klassieke stochastische berekening. Met de secundaire (binnenste) Monte Carlo wordt een beperkt vooruitzicht van de toekomst gegenereerd, waarmee investeringsbeslissingen genomen worden.

Naast economische parameters, gebruikt PSS ook technische, ruimtelijke en geologische parameters en onzekerheden. Sociale factoren worden niet rechtstreeks meegenomen, maar kunnen wel de scenarioparameters beïnvloeden. Voor deze studie werd generatie vijf (PSS V) gerealiseerd, die een betere integratie van geologische activiteitsmodellen in de beslisbomen mogelijk maakt.
Voor deze simulatie worden verschillende activiteiten in de ondergrond op verschillende locaties in Vlaanderen geëvalueerd. Deze worden in de volgende secties verder besproken[1].

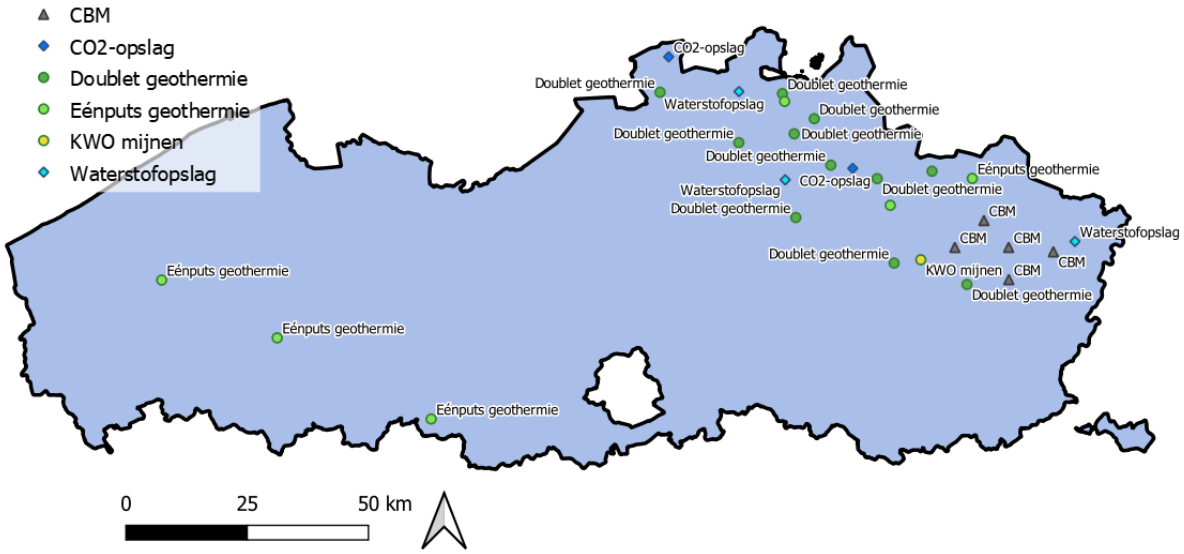
2.4 GESIMULEERDE ACTIVITEITEN

De mogelijke activiteiten (zie tabellen in sectie 2.5) in de diepe ondergrond die in de PSS-simulatie meegenomen worden zijn:

- Geothermie doubletten: 11 projectlocaties
- Eénputsgeothermie: 6 projectlocaties
- Opslag aardgas: 1 projectlocatie
- Opslag waterstof: 3 projectlocaties
- Opslag CO_2: 2 projectlocaties
- Steenkoolmethaanwinning: 5 projectlocaties
- Lithium: kan gewonnen worden op locaties waar een geothermisch doublet actief is
- Berging radioactief afval: wordt geëvalueerd zonder een exacte locatie te bepalen, en zonder techno-economische modellering

[1] Bij eenzelfde evaluatie van twee projecten zullen in principe beide projecten geactiveerd worden. Deze situatie wordt niet verwacht om frequent voor te komen aangezien diepte stochastisch is, en verschillend voor elk project. Activatie van beide projecten is niet het geval als ze binnen elkaars exclusiezone vallen. Indien dit voorvalt, namelijk activatie van twee projecten binnen elkaars exclusiezone in hetzelfde jaar, dan zal de volgorde in de tabel aangehouden worden voor activatie.

Het is niet mogelijk om projecten potentieel in te plannen op alle mogelijk geschikte locaties. In plaats daarvan worden er voldoende mogelijkheden ingepland op logische locaties om besluiten te kunnen trekken over de waarschijnlijkheid waarmee bepaalde types van activiteiten onder bepaalde scenario-condities ontwikkelen.
De locatie van de activiteiten (zie Figuur 13) werd gekozen op basis van verschillende criteria: algemene geologische geschiktheid om de activiteit uit te voeren, locaties waar reeds projecten gepland, in voorbereiding of actief zijn, in geval van geothermie: aanwezigheid van mogelijke afnemers in de directe omgeving (woonwijk, industrie). In deze selectie werd geen rekening gehouden met eigendom of bestemming van de gekozen locaties of de percelen.



Figuur 13. Overzicht van de locaties van de projecten.

2.5 GEBRUIKTE TECHNO-ECONOMISCHE GEGEVENS

Hieronder wordt een getabelleerd overzicht gegeven van de invoerparameters die voor de simulatie van de verschillende activiteiten worden gebruikt. Voor stochastische waarden wordt een minimum en maximumwaarde van de blok- of normaaldistributie gegeven. Een gedetailleerde en coherente set met data over de technische aspecten, en kosten- en opbrengstenstromen voor elk van deze activiteiten in de Vlaamse ondergrond bestaat niet. Het is echter belangrijk dat zowel geologische als techno-economische parameters zijn afgestemd tussen projectfases van exploratie en uitvoering. Hiervoor werd een database gebouwd die in de secties hierna wordt besproken. Verschillende waardes, in voor de geologische en kostendata, zijn inschattingen gebaseerd op onderzoek uit het DESIGNATE Belspo project, waarin kosten voor o.a. het VITO Balmatt project werden verzameld en gebruikt (zie ook Gkousis et al., 2024). Bijvoorbeeld boorkosten per geboorde meter als onderdeel van de investeringskost (capex) worden verondersteld gelijkaardig te zijn tussen verschillende activiteiten, mits schaling voor bijvoorbeeld grote diameters (éénputsgeothermie, ook al kunnen daarbij in sommige gevallen goedkopere casing gebruikt worden door lagere drukken en saliniteit) of horizontale boring (CBM). Investeringskosten per meter diepte voor exploratie worden dan weer geschaald naargelang het type project (vb. kleiner voor éénputsgeothermie in vergelijking met doublet: door de beperktere invloedssfeer moet een kleinere horizontale oppervlakte verkend worden, onafhankelijk van de diepte van de toepassing). Voor het schalen van de operationele kosten (opex) werd de locatie van het project in beschouwing genomen, met 15% van de investeringskosten in de laag-permeabele zone van het Dinantiaan en 8% in de hoog-permeabele

zone, waardoor een reductie in pompkosten verondersteld mag worden. Voor bijkomende lithiumproductie werd de operationele kost voor de laag-permeabele zone gelijk gehouden op de reeds vrij hoge 15% van de investeringskosten (hoewel de totale opex hoger zijn met lithium-bijproductie door de hogere capex), en werd voor de hoog-permeabele zone 13% gebruikt. Op deze manier worden deze variabele operationele kosten toch niet-lineair geschaald om rekening te houden met bepaalde vaste kosten zoals het vervangen van filters en pompen.
Als discontovoet werd gekozen voor 7%, wat een gangbare waarde is voor grote investeringen in industrie, net als een afschrijftermijn van 10 jaar voor grote infrastructuur. Sommige operationele gegevens, zoals re-injectietemperatuur en beschikbaarheidsfactor, zijn sterk project-specifiek. Ook wat betreft deze parameterwaarden werd een inschatting gemaakt van een realistische waarde voor een setting in Vlaanderen. In deelrapport D6 kan bijkomende bespreking gevonden worden van de verschillende activiteiten en hun potentieel in Vlaanderen.
In realiteit kunnen technische/operationele parameterwaardes tussen projecten significant van elkaar verschillen door verschillen in vraag, toepassing, bouw van installatie etc. Naarmate deze waardes beter gespecifieerd worden, kan ook de database geüpdatet worden om accuratere voorspellingen te maken. Bijvoorbeeld, voor diepe geothermische projecten wordt een injectietemperatuur van 55°C verondersteld. Dit is echter afhankelijk van bv. het gevraagde temperatuurbereik in de warmtetoepassing, de technische mogelijkheden, en eventuele beperkingen op temperatuur voor injectie. Voor regionale schattingen wordt voorrang gegeven aan min of meer gestandaardiseerde, gegeneraliseerde parameters die in de relevante literatuur worden voorgesteld (algemeen potentieel, zie deelrapport D6).

In het 2-STOR scenario wordt voorkeur gegeven aan opslagactiviteiten (aardgas, waterstofgas, CO_2 en radioactief afval). Dit beleidsscenario wordt gesimuleerd door *a priori* andere activiteiten die binnen de exclusiezone vallen van deze opslagactiviteiten, uit te schakelen. Concreet betekent dit dat in de onderstaande tabellen, de projecten Mol-Balmatt, Herentals-Olen-DGE, Merksplas-DGE, Kalmthout-DGE, Kasterlee-DGE en Mol-SW niet geactiveerd worden. En hoewel het Mol-Balmatt project reeds actief is als onderzoeksproject, wordt in het 2-STOR scenario verondersteld dat dit project gestopt wordt ten voordele van het openhouden van de mogelijkheid tot opslag van radioactief afval in de diepe ondergrond. Let wel, het uitschakelen van activiteiten wordt gesimuleerd als een beleidskeuze binnen dit scenario. Hiermee wordt geen uitspraak gedaan over het al dan niet mogelijk samengaan van deze projecten in de realiteit.

2.5.1 Geothermisch doublet

De modellering is zo opgebouwd dat als een niet-actief geothermisch doublet geactiveerd zou worden, dat dat ofwel met ofwel zonder winning van lithium gebeurt. Als een geothermisch doublet geactiveerd wordt zonder lithium, is er in de simulatie geen optie voorzien om nadien nog lithium te winnen. Omdat Balmatt en Beerse beschouwd worden als reeds actieve projecten, is er voor deze projecten geen optie voorzien om bijkomend lithium te winnen. Daarom geeft onderstaande tabel aan dat de lithiumconcentratie bij beide projecten niet van toepassing is. Deze en alle volgende tabellen zijn ook beschikbaar als digitale bijlage.

Tabel 2. Invoerparameters gebruikt voor de simulatie van geothermische doubletten

Name	X (Lambert72)	Y (Lambert72)	Depth (m) min	Depth (m) max	Permeability (m²) min	Permeability (m²) max	Porosity (%/100)	Geothermal gradient (°C/km) min	Geothermal gradient (°C/km) max	Injection temprature (°C)	Lithium concentration (g/l)	Flow (m³/h) min
Mol-Balmatt	201776	212961	3100	3600	2.03E-14	5.07E-14	0.2	34.5	40.5	55	na	50
Beerse-JJ	184664	222197	1722	2388	1.01E-14	5.07E-12	0.2	34.5	40.5	55	na	50
TurnhoutNW	188816	225315	1650	2450	1.01E-14	5.07E-12	0.2	34.5	40.5	55	0.1	50
Lommel-DGE	213095	214484	900	3600	1.01E-14	5.07E-13	0.2	34.5	40.5	55	0.1	50
Herentals-Olen-DGE	185004	204941	1733	2466	1.01E-14	5.07E-13	0.2	34.5	40.5	55	0.1	50
Merksplas-DGE	182249	230469	1733	2359	1.01E-14	5.07E-13	0.2	34.5	40.5	55	0.1	50
Kalmthout-DGE	157019	230756	900	1266	1.01E-14	5.07E-12	0.2	34.5	40.5	55	0.1	50
Malle-DGE	173256	220370	1259	1857	1.01E-14	5.07E-12	0.2	34.5	40.5	55	0.1	50
Tessenderlo-DGE	205271	195556	1771	2717	1.01E-14	5.07E-13	0.2	34.5	40.5	55	0.1	50
Kasterlee-DGE	192224	215732	2847	3645	1.01E-14	5.07E-13	0.2	34.5	40.5	55	0.1	50
Houthalen-DGE	220292	191163	2589	3583	1.01E-14	5.07E-13	0.2	34.5	40.5	55	0.1	50

Name	Flow (m³/h) max	Well distance (m)	Exclusion distance (m)	Production capacity (MW)	Capex exploration (€/m depth)	Capex drilling (€/m depth)	Capex production (€/MW)	Opex (%/100 of Capex production)	Capex production+Li (€/MW)	Opex (%/100 of Capex production+Li)	Discount rate (%/100)	Availability factor (%/100)
Mol-Balmatt	200	1500	5000	10	360	5000	1250000	0.15	1500000	na	0.07	0.5
Beerse-JJ	200	1500	5000	4	360	5000	1250000	0.08	1500000	na	0.07	0.5
TurnhoutNW	200	1500	5000	4	360	5000	1250000	0.08	1500000	0.13	0.07	0.5
Lommel-DGE	200	1500	5000	5	360	5000	1250000	0.15	1500000	0.15	0.07	0.5
Herentals-Olen-DGE	200	1500	5000	4	360	5000	1250000	0.15	1500000	0.15	0.07	0.5
Merksplas-DGE	200	1500	5000	4	360	5000	1250000	0.15	1500000	0.15	0.07	0.5
Kalmthout-DGE	200	1500	5000	2	360	5000	1250000	0.08	1500000	0.13	0.07	0.5
Malle-DGE	200	1500	5000	2	360	5000	1250000	0.08	1500000	0.13	0.07	0.5
Tessenderlo-DGE	200	1500	5000	5	360	5000	1250000	0.15	1500000	0.15	0.07	0.5
Kasterlee-DGE	200	1500	5000	9	360	5000	1250000	0.15	1500000	0.15	0.07	0.5
Houthalen-DGE	200	1500	5000	9	360	5000	1250000	0.15	1500000	0.15	0.07	0.5

2.5.2 Eénputsgeothermie

Tabel 3. Invoerparameters gebruikt voor de simulatie van éénputsgeothermische projecten.

Name	X (Lambert72)	Y (Lambert72)	Depth (m) min	Depth (m) max	Permeability (m²) min	Permeability (m²) max	Geothermal gradient (°C/km) min	Geothermal gradient (°C/km) max	Injection temprature (°C)	Flow (m³/h) min	Flow (m³/h) max	Laterals length (m) min
Mol-SW	204483	207460	588	840	5.07E-14	5.07E-13	34.5	40.5	20	30	80	1
Pelt-SW	221400	213000	800	862	5.07E-14	5.07E-13	34.5	40.5	20	30	80	1
Merksplas-SW	182693	228875	740	1023	5.07E-14	5.07E-13	34.5	40.5	20	30	80	1
Batholite1-SW	109830	163427	1500	5000	5E-15	1E-13	34.5	40.5	20	30	80	1
Batholite2-SW	78083	180150	1000	5000	5E-15	1E-13	34.5	40.5	20	30	80	1
Kortemark-SW	54265	192055	220	5000	5E-15	1E-13	34.5	40.5	20	30	80	1

Name	Laterals length (m) max	Exclusion distance (m)	Production capacity (MW)	Capex exploration (€/m depth)	Capex drilling (€/m depth)	Capex production (€/MW)	Opex (%/100 of Capex production)		Discount rate (%/100)	Availability factor (%/100)		
Mol-SW	100	1000	2	250	2500	500000	0.18		0.07	0.5		
Pelt-SW	100	1000	2	250	2500	500000	0.18		0.07	0.5		
Merksplas-SW	100	1000	2	250	2500	500000	0.18		0.07	0.5		
Batholite1-SW	100	1000	5	250	2500	500000	0.18		0.07	0.5		
Batholite2-SW	100	1000	5	250	2500	500000	0.18		0.07	0.5		
Kortemark-SW	100	1000	2	250	2500	500000	0.18		0.07	0.5		

2.5.3 Koude-warmte opslag in steenkoolmijnen

Tabel 4. Invoerparameters gebruikt voor de simulatie van koude-warmteopslag in steenkoolmijnen.

Name	X (Lambert72)	Y (Lambert72)	Depth (m) min	Depth (m) max	Geothermal gradient (°C/km) min	Geothermal gradient (°C/km) max	Injection temprature (°C)	Volume (m^3) min	Volume (m^3) max	Efficiency factor (%/100)	Exclusion distance (m)	Production capacity (MW)
BeringenMine	210780	196249	550	1050	34.5	40.5	20	3610000	8110000	0.2	5000	2

Name	Capex exploration (€/m depth)	Capex drilling (€/m depth)	Capex production (€/MW)	Opex (%/100 of Capex production)	Discount rate (%/100)	Availability factor (%/100)
BeringenMine	360	5000	1250000	0.1	0.07	1

2.5.4 Waterstofgasopslag

Gegevens voor de opslag van waterstof zijn in de tabel hieronder opgenomen. De opslag van aardgas wordt ook als activiteit gesimuleerd, maar hiervoor zijn geen data nodig in de simulatie omdat enkel conversie naar waterstofgasopslag voorzien wordt.

Tabel 5. Invoerparameters gebruikt voor de simulatie van waterstofgasopslagprojecten.

Name	X (Lambert72)	Y (Lambert72)	Volume H2 (Sm^3)	Exclusion distance (m)
Loenhout-NG	173284	230905	3200000	5000
Poederlee-H2	182822	212714	460000	5000
VerlorenKamp-H2	242558	200013	1.1E+07	5000

2.5.5 Geologische opslag van CO_2

Tabel 6. Invoerparameters gebruikt voor de simulatie van de geologische opslag van CO_2.

Name	X (Lambert72)	Y (Lambert72)	Depth (m) min	Depth (m) max	Permeability (m^2) min	Permeability (m^2) max	Porosity (%/100)	Geothermal gradient (°C/km) min	Geothermal gradient (°C/km) max	Reservoir top dip (°) min	Reservoir top dip (°) max	Travel distance to min depth (m)
Essen-CO2	158797	238055	2600	2800	1.01E-14	5.07E-13	0.2	34.5	40.5	3	4	22000
Retie-CO2	196740	215076	3200	3400	1.01E-14	5.07E-13	0.2	34.5	40.5	2	3	44000

Name	Minium travel time to minium depth (y)	Flow (tCO2/y)	Well number	Exclusion distance (m)	Capex exploration (€/m depth)	Capex drilling (€/m depth)	Capex injection (€/tCO2)	Opex (€/tCO2)	Capture & transport cost (€/tCO2)	Discount rate (%/100)
Essen-CO2	300	500000	5	5000	720	2500	20	20	70	0.07
Retie-CO2	300	500000	5	5000	720	2500	20	20	70	0.07

2.5.6 Steenkoolmethaanwinning

Tabel 7. Invoerparameters gebruikt voor de simulatie van steenkoolmethaanwinning.

Name	X (Lambert72)	Y (Lambert72)	Depth (m)	Gas In Place (MWh5 wells)	Well number	Efficiency factor (%/100) min	Efficiency factor (%/100) max	Production curve mu (lognormal) min	Production curve mu (lognormal) max	Production curve st. dev. (lognormal)	Exclusion distance (m)	
Hechtel-CBM	217792	198786	1000	1795560	5	0.2	0.35	1.2	1.6	0.5	1000	
Peer-CBM	223784	204330	1000	1795560	5	0.2	0.35	1.2	1.6	0.5	1000	
Meeuwen-CBM	228893	198802	1000	1795560	5	0.2	0.35	1.2	1.6	0.5	1000	
Houthalen-CBM	228923	192154	1000	1795560	5	0.2	0.35	1.2	1.6	0.5	1000	
Oudsbergen-CBM	238107	197880	1000	1795560	5	0.2	0.35	1.2	1.6	0.5	1000	

Name	Capex (€/m depth/well)	Opex (%/100 of Capex)	Discountrate (%/100)									
Hechtel-CBM	5000	0.1	0.07									
Peer-CBM	5000	0.1	0.07									
Meeuwen-CBM	5000	0.1	0.07									
Houthalen-CBM	5000	0.1	0.07									
Oudsbergen-CBM	5000	0.1	0.07									

2.6 ECONOMISCH SPECIFIEKE RESULTATEN

Hieronder volgt een korte bespreking van de economische resultaten van de PSS resultaten, die ook rekening houden met de uitkomsten van de geologische activiteitsmodellen. Deze resultaten variëren tussen de scenario's door de verschillen in de scenarioparameters (Monte Carlo-simulatie). De verschillende aangenomen parameters tussen de scenario's werden eerder besproken (zie Deelrapport D4), en worden in volgende tabel 8 kwantitatief samengevat. De inputdata beschreven in §2.5 blijft steeds dezelfde voor het betreffende project over alle scenario's heen, met dien verstande dat er voor sommige parameters binnen de vastgelegde range gevarieerd wordt.

Tabel 8. Invoerparameters voor de verschillende beleidsscenario's. De eerste twee getallen per categorie zijn de onder- en bovengrens van de stochastische range met een uniforme distributie in 2025. De twee volgende getallen zijn de waardes voor 2050. In het EXPL-scenario wordt de geologische onzekerheid gehalveerd, en wordt de exploratiekost met 25% verminderd.

Scenario	Beleidsvisie	Warmteprijs (€/MWh)	Lithiumprijs (€/kg)	CO2-prijs (€/t)	Geo-onzekerheid	Introductie H2
0-NUL	Nulscenario	50-100 - 50-150	10-30 - 10-80	50-150 - 100-300	Normaal	2040
1-RES	Hernieuwbare energie	80-130 - 80-180	10-30 - 10-80	50-150 - 100-300	Normaal	2030
2-STOR	Vrijwaren opslagstructuren	80-130 - 80-180	10-30 - 10-80	50-150 - 100-300	Normaal	2030
3-CLIM	Lage klimaat- en milieuimpact	80-130 - 80-180	10-30 - 10-80	80-180 - 130-330	Normaal	2030
4-BAL	Gebalanceerd en efficiënt gebruik	80-130 - 80-180	20-40 - 20-90	80-180 - 130-330	Normaal	2035
5-LONG	Lange-termijn beschikbaarheid	80-130 - 80-180	10-30 - 10-80	50-150 - 100-300	Normaal	2040
6-EXPL	Exploratie	80-130 - 80-180	10-30 - 10-80	50-150 - 100-300	*0.5, -25% expl cost	2030
7-SELF	Zelfvoorziening	80-130 - 80-180	20-40 - 20-90	50-150 - 100-300	Normaal	2030

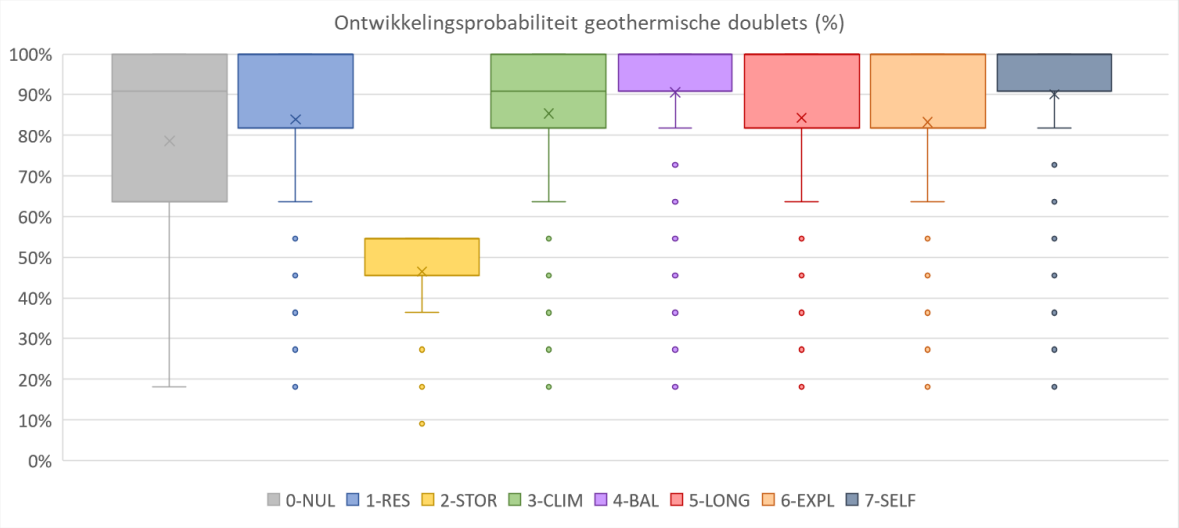
In het SELF-scenario werd eveneens een prijs voor aardgas gebruikt om inkomsten voor CBM-activiteiten te genereren. Deze gasprijs werd vastgelegd op het interval 80-260 €/MWh in 2025 en 80-360 €/MWh in 2050.

Het STOR en het RES-scenario verschillen in die zin dat er in het STOR-scenario slechts op 6 locaties een geothermie doublet geactiveerd kan worden, terwijl in de andere scenario's 11 geothermie doubletten geactiveerd kunnen worden.

2.6.1 Geothermische doubletten

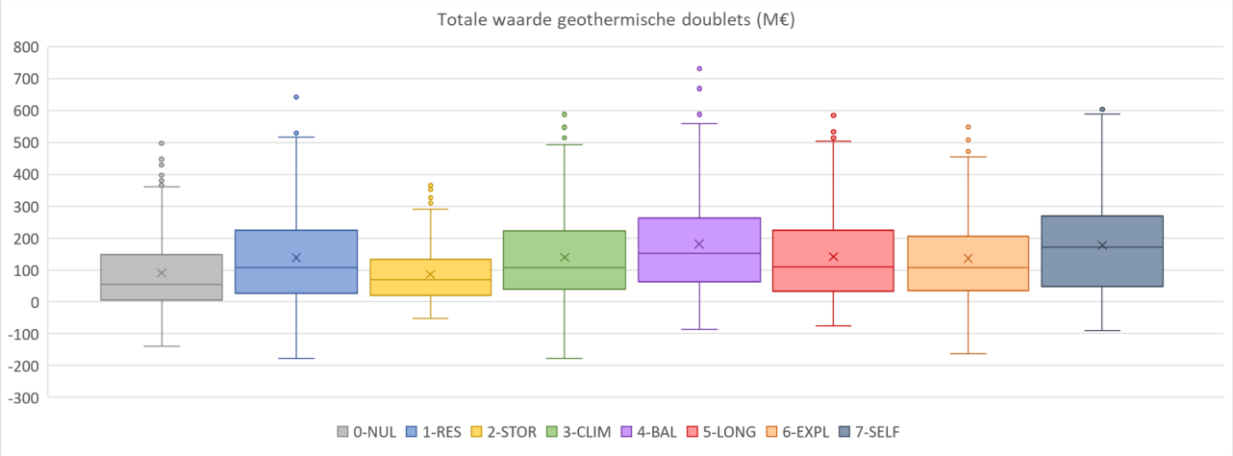
De relatieve ontwikkeling van geothermie wordt in de scenario's hoofdzakelijk bepaald door verschillen in warmteprijs, de beschikbaarheid van productielocaties, en de exploratiekost. Dit vertaalt zich in verschillen in ontwikkelingsprobabiliteit (Figuur 14).

In het NUL scenario ligt het aantal projecten dat wordt geïnitieerd lager door een lagere warmteprijs dan in het RES-scenario en alle andere scenario's (CLIM-LONG-EXPL). Een uitzondering hierop vormt het STOR-scenario waarin het aantal geothermische projecten wordt beperkt omdat a priori voorrang wordt gegeven aan opslag rond potentiële opslaglocaties. De meeste geothermische doubletten worden geactiveerd in het BAL en SELF-scenario, waar de hogere lithiumprijs onrechtstreeks meespeelt als een potentieel bijkomende valorisatieoptie van een doublet. De verminderde onzekerheid en de lagere kosten voor exploratie in het EXPL-scenario lijken geen impact te hebben op de ontwikkelingsprobabiliteit van de doubletten. Hiervoor lijkt de extra stimulans te klein. Wanneer echter de resultaten voor succesratio worden vergeleken (relatief aantal projecten dat een positieve waarde heeft na activatie, hier niet getoond), blijkt dat de stimulans in het EXPL-scenario een gelijkaardig positief effect heeft als de andere stimulansen in de CLIM, BAL, LONG en SELF-scenario's, ten opzichte van het RES-scenario.



Figuur 14. Ontwikkelingsprobabiliteit geothermische doublets. Spreiding van de stochastische simulatieresultaten voor 2025-2050 wordt weergegeven als boxplots, x = gemiddelde.

Kwantitatief wordt in de meeste scenario's tussen de 80 en 90% van de projecten geïnitieerd. Dit is hoog, en het is belangrijk aan te geven dat verschillende aannames vereenvoudigd werden voor deze simulatie, waarbij de nadruk ligt op de relatieve verschillen. Figuur 15 toont de netto-contante waarde, i.e. de totale economische waarde van de geothermische doubletten. Hieruit blijkt dat slechts ongeveer 60% van de geothermische doubletten een positieve netto-contante waarde genereren. De effectief gerealiseerde projecten zullen volgens de voorspellingen van het model gemiddeld maar net winstgevend zijn.

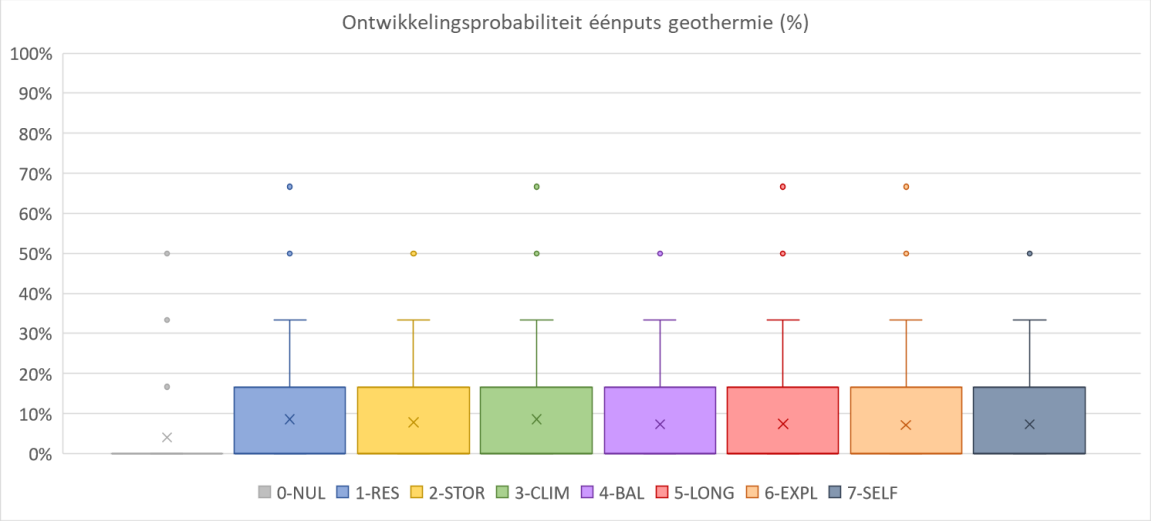


Figuur 15. Totale waarde geothermische doublets (M€). Spreiding van de stochastische simulatieresultaten voor 2025-2050 wordt weergegeven als boxplots, x = gemiddelde.

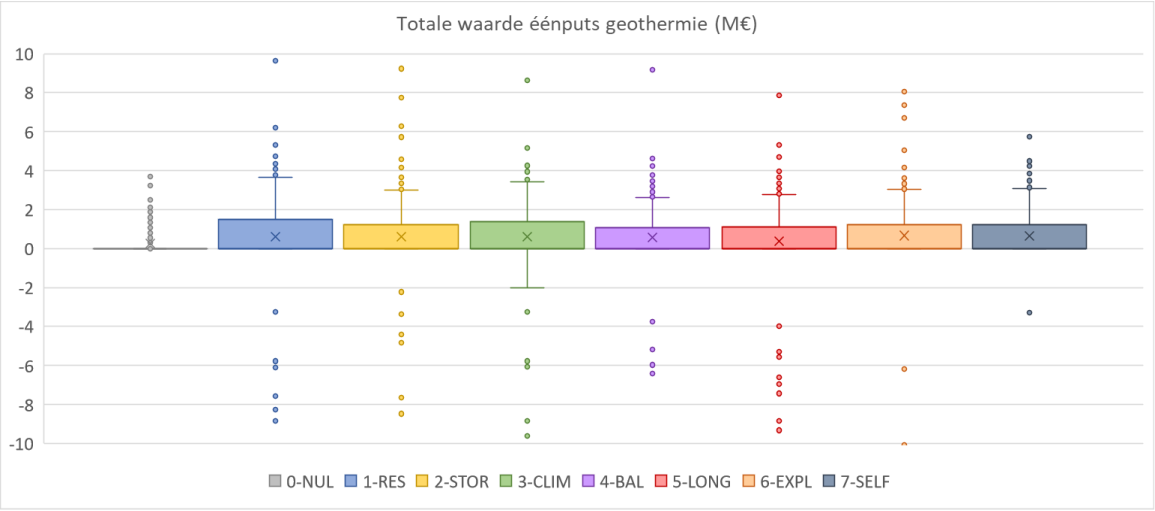
De ontwikkeling van geothermische doubletten wordt duidelijk beïnvloed door de warmteprijs, waarbij een hogere warmteprijs gezien kan worden als een financiële steunmaatregel voor geothermische ontwikkeling. Deze werkt samen met het aantal beschikbare locaties. Dit lijkt een evidente conclusie, maar onderstreept het belang dat om geothermie te stimuleren niet enkel de slaagkans van individuele projecten verhoogd moet worden (verlaging risico, verhoging opbrengst), maar ook een voldoende aantal locaties voor diepe geothermie mogelijk moeten zijn (beleid en ruimtelijke planning).

2.6.2 Eénputsgeothermie

Deze projecten worden door dezelfde parameters maar met verschillende intensiteit beïnvloed als doubletten, en de verschillen zijn veel meer gemaskeerd omdat de projecten maar beperkt tot ontwikkeling komen. Wel duidelijk is dat de lagere warmteprijs in het NUL scenario de ontwikkeling van éénputsgeothermie zeer onwaarschijnlijk maakt (Figuur 16), en ook de economische waarde is beperkt voor alle gesimuleerde scenario's (Figuur 17). Algemeen kan besloten worden dat, hoewel éénputsgeothermie een aantal voordelen biedt, zoals de zeer kleine invloedsfeer en grotere onafhankelijkheid van de lokale geologie, het veel minder evident is om deze kleinere projecten over de economische drempel te tillen. Ondanks deze drempel lijken deze en aanverwante technologieën beloftevol en geschikt als oplossing voor geothermie op beperkte schaal, aangezien er momenteel concrete interesse is in Vlaanderen voor de ontwikkeling van enkele projecten.



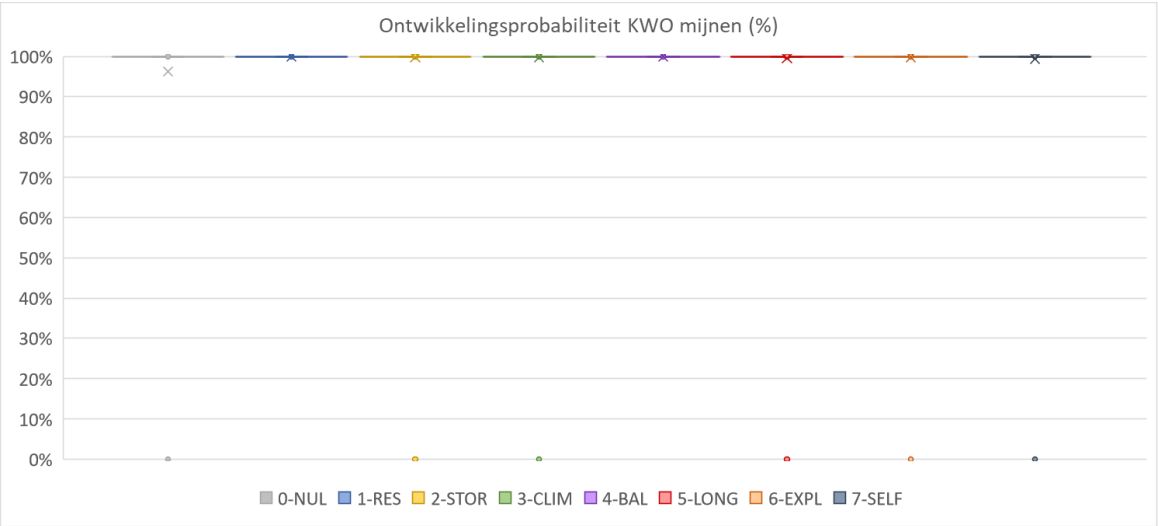
Figuur 16. Ontwikkelingsprobabiliteit éénputsgeothermie (%). Spreiding van de stochastische simulatieresultaten voor 2025-2050 wordt weergegeven als boxplots, x = gemiddelde.



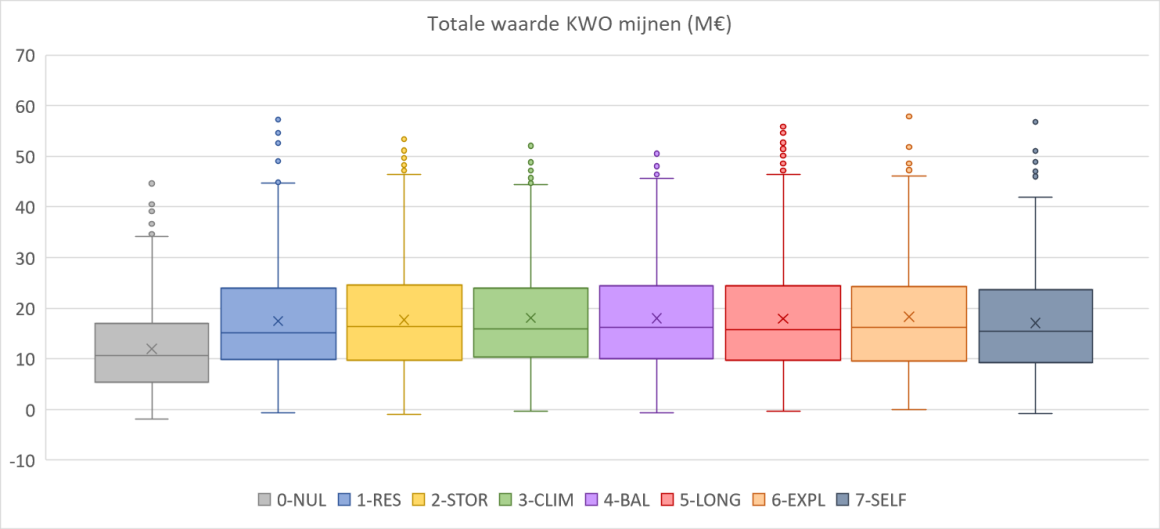
Figuur 17. Totale waarde éénputsgeothermie. Spreiding van de stochastische simulatieresultaten voor 2025-2050 wordt weergegeven als boxplots, x = gemiddelde.

2.6.3 Koude-warmte opslag in steenkoolmijnen

In de simulaties werd één koude-warmte opslagproject meegenomen voor de verlaten en ondergelopen mijn van Beringen. Deze wordt, ongeacht het scenario, met een waarschijnlijkheid van bijna 100 % geactiveerd (Figuur 18). In het NUL scenario is de waarde kleiner omwille van de lagere warmteprijs (Figuur 19). Deze hoge ontwikkelingsprobabiliteit komt niet overeen met de realiteit, en is waarschijnlijk een gevolg van de vereenvoudigde simulatie. Het reservoir is met zekerheid aanwezig en wordt verondersteld geschikt te zijn (mits geotechnische uitdagingen), maar de afstemming met de te realiseren oppervlakte-infrastructuur en de daarmee gepaard gaande investering lijkt in de simulatie onderschat te worden.



Figuur 18. Ontwikkelingsprobabiliteit koude-warmte opslag in steenkoolmijnen (%). Spreiding van de stochastische simulatieresultaten voor 2025-2050 wordt weergegeven als boxplots, x = gemiddelde.

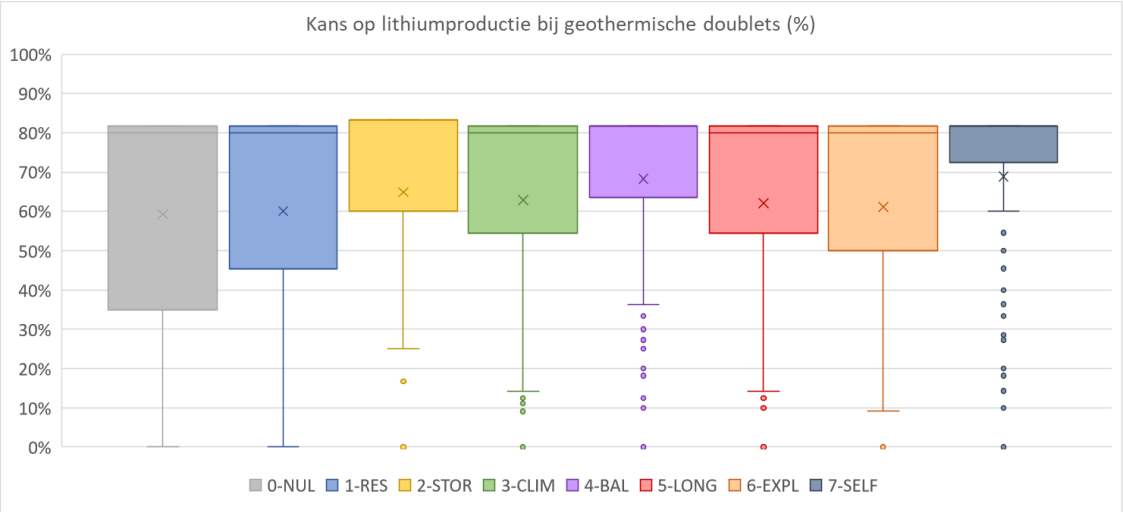


Figuur 19. Totale waarde van koude-warmte opslag in steenkoolmijnen (M€). Spreiding van de stochastische simulatieresultaten voor 2025-2050 wordt weergegeven als boxplots, x = gemiddelde.

2.6.4 Lithiumextractie

De activiteit van lithiumextractie is een investeringsoptie die gekozen kan worden bij de ontwikkeling van geothermische doubletten, en is daarom daaraan gekoppeld. De kans dat lithiumproductie opgestart wordt varieert tussen 60% en 70% voor de verschillende beleidsscenario's. De kans dat lithiumproductie opgestart wordt, is het hoogst in het SELF-scenario en het BAL-scenario omwille van de hogere lithiumprijs die onder deze scenario's verondersteld wordt. De schijnbaar harde bovengrens van ongeveer 80% wordt veroorzaakt doordat de twee reeds actieve projecten (Balmatt en Beerse) de keuze voor lithiumproductie niet meer kunnen maken. In de huidige modellering wordt er namelijk verondersteld dat de investeringsbeslissing geothermie of geothermie+lithium aan het begin van het project genomen wordt. In werkelijkheid kan het mogelijk zijn om lithiumproductie achteraf nog op te starten. Een verdere economische analyse zoals bij de voorgaande bespreking van de activiteiten is hier niet mogelijk, gezien de investeringsbeslissing voor

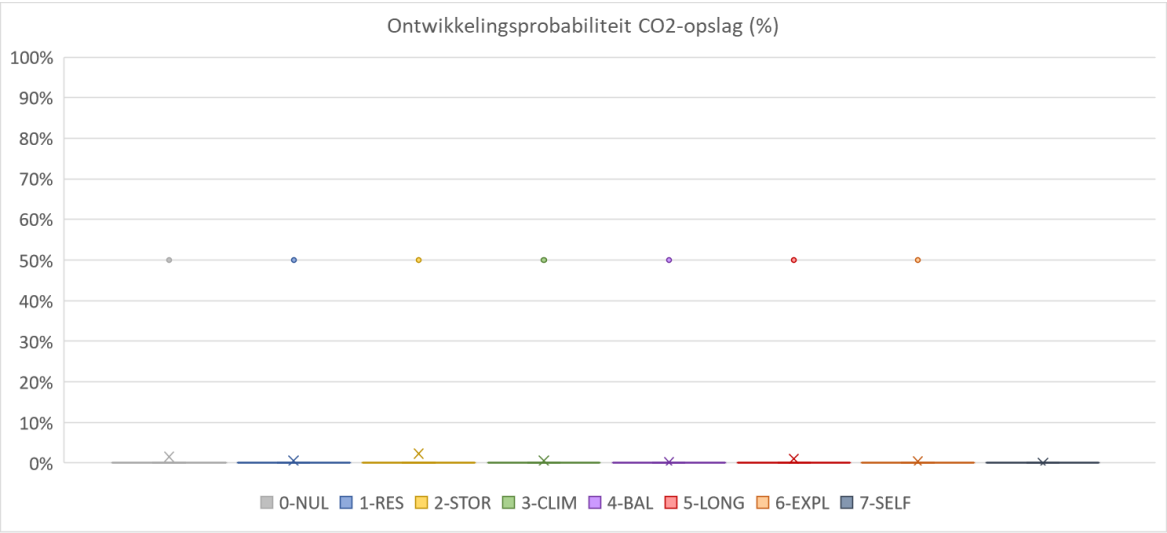
lithiumproductie in de modellering samenhangt met deze voor een doubletsysteem, waardoor deze niet onafhankelijk van elkaar gezien kunnen worden.



Figuur 20. Kans op lithiumproductie bij geothermische doubletten (%). Spreiding van de stochastische simulatieresultaten voor 2025-2050 wordt weergegeven als boxplots, x = gemiddelde.

2.6.5 CO_2-opslag

De gesimuleerde geologische opslag van CO_2 wordt gedreven door de CO_2-prijs voor emissies (ETS) en tegengehouden door geologische haalbaarheid. Uit afzonderlijke berekeningen blijkt dat de ETS prijs hoog genoeg is om opslagprojecten te ontwikkelen (los van andere factoren, waaronder sociale acceptatie). Echter, de berekeningswijze die de geologische haalbaarheid van CO_2-opslag verifieert, verhindert in nagenoeg alle gevallen de activatie van projecten (Figuur 21). De huidige geologische onzekerheid van deze projecten maakt het moeilijk om in te schatten of het geologische model realistisch of te conservatief is. In het SELF-scenario wordt verondersteld dat er geen internationale markt voor CO_2-emissietoelatingen meer is. Het ontbreken van een CO_2-prijs resulteert in geen enkel opslagproject. In het SELF-scenario wordt CO_2-opslag dan ook als irrelevant verondersteld.

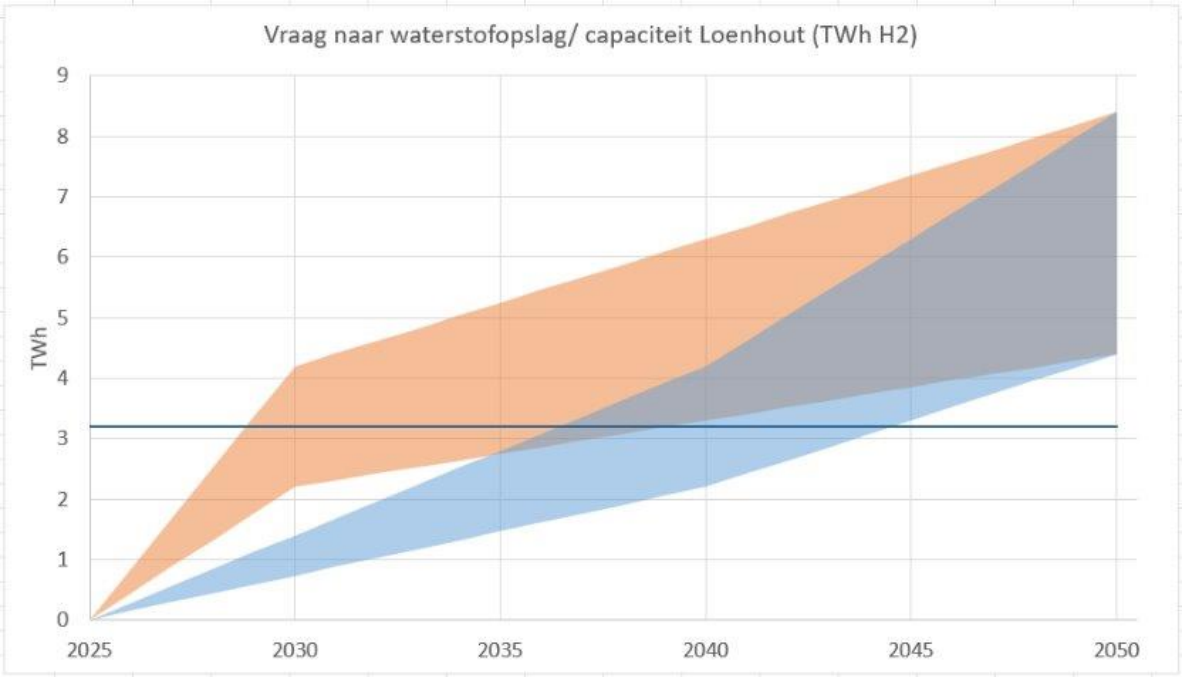


Figuur 21. Ontwikkelingsprobabiliteit CO_2 opslag (%). Spreiding van de stochastische simulatieresultaten voor 2025-2050 wordt weergegeven als boxplots, x = gemiddelde.

2.6.6 Opslag aardgas en waterstofgas

Om reden van uniformiteit wordt in elk scenario uitgegaan van een uitfasering van de opslag van aardgas te Loenhout, waarbij overgeschakeld wordt naar waterstofgas. Het jaar van overschakeling valt, afhankelijk van het scenario, tussen ~2030 en 2045 (Figuur 22). De omschakeling is louter vraag-gestuurd. In werkelijkheid is er grote onzekerheid wanneer en of die omschakeling noodzakelijk zal zijn.

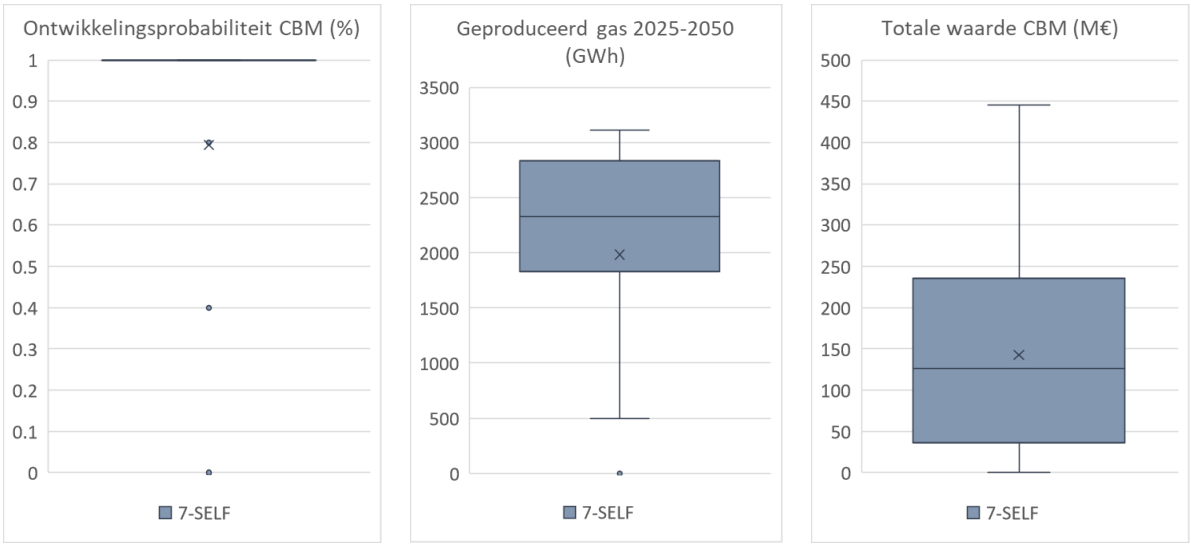
Er wordt steeds van uitgegaan dat de opslagsite te Loenhout als eerste wordt geconverteerd. De vraag neemt daarna, binnen onzekerheidsgrenzen, verder toe zodat ook de potentiële opslagsite te Poederlee voor waterstofopslag wordt geactiveerd. Een derde potentiële structuur, Verloren Kamp, wordt nooit geactiveerd voor 2050 (einde simulatie) omdat het geschatte volume te groot is.



Figuur 22. Gemodelleerde vraag naar waterstofgasopslag snel (rood) en traag (blauw), met de verwachte capaciteit voor waterstof van de opslagstructuur in Loenhout (blauwe lijn). Bij overschrijding van deze capaciteit door de vraag zal conversie van aardgas naar waterstof plaatsvinden. Binnen de rode en blauwe stochastische zone wordt een exacte waarde gekozen per Monte Carlo berekening

2.6.7 Steenkoolmethaanwinning

In het SELF-scenario wordt er verondersteld dat er op 5 locaties steenkoolmethaan gewonnen kan worden. De kans dat er steenkoolmethaan gewonnen worden is gemiddeld 80%. Er wordt gemiddeld genomen ongeveer 2000 GWh aan gas geproduceerd tijdens de periode 2025-2050. De economische waarde van het ontwikkelen van CBM-projecten is positief en bedraagt gemiddeld ongeveer 150 M€ (Figuur 23). Zoals eerder (deelrapport D4) aangegeven, werd deze activiteit niet meegenomen in de andere scenario's, omdat deze activiteit minder past in elk minimaal klimaatbeleid zoals op dit moment algemeen toegepast wordt in Europa.

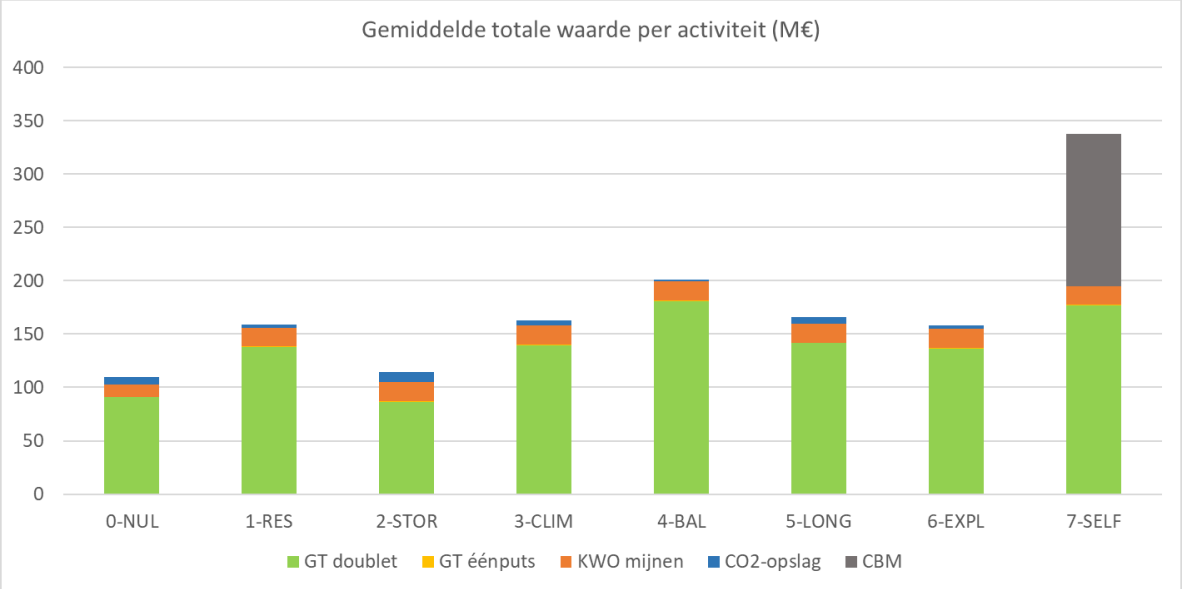


Figuur 23. Ontwikkelingsprobabiliteit, geproduceerde hoeveelheid gas, en totale waarde CBM. Spreiding van de stochastische simulatieresultaten voor 2025-2050 wordt weergegeven als boxplots, x = gemiddelde.

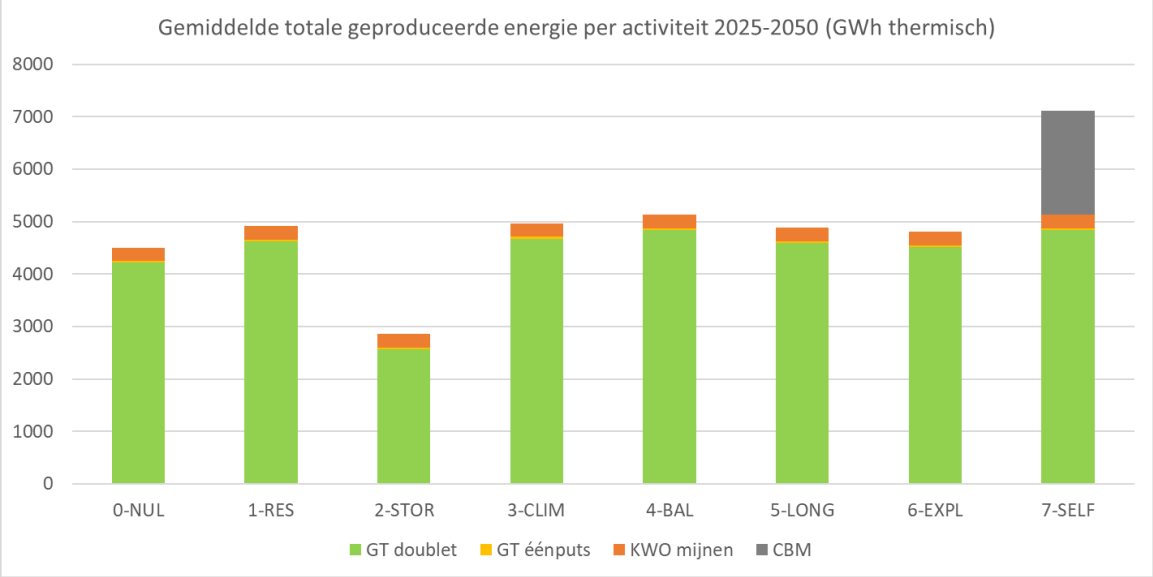
2.6.8 Overzicht economische impacts voor de verschillende beleidsscenario's

Figuur 24 geeft de gemiddelde totale economische waarde weer per scenario, gegroepeerd per type activiteit. Het SELF-scenario als uitzondering buiten beschouwing gelaten, heeft het gebalanceerd scenario gemiddeld de hoogste waarde, voornamelijk veroorzaakt door succesvolle geothermische doubletsystemen. De winning van steenkoolmethaan in het SELF-scenario zorgt voor een sterke toename in economische waarde.
Het NUL- en STOR-scenario scoren hier het minst hoog. Onder het NUL-scenario zijn er geen extra stimulansen voor activiteiten. In het STOR-scenario is het aantal geothermische activiteiten beperkt, terwijl CO_2-opslag slechts zelden mogelijk is.

De gemiddelde totale geproduceerde energie per scenario, gegroepeerd per activiteit is weergegeven in Figuur 25. Enkel het STOR-scenario verschilt beduidend van de andere door de beperking van geothermische activiteiten. Dit ligt in lijn met de resultaten voor de ontwikkelingsprobabiliteit voor geothermische doublets, die gelijkaardig is voor de meeste scenario's. Voor de cijfers van het SELF-scenario wordt de energie bij verbranding van het door CBM geproduceerde gas verondersteld, wat niet noodzakelijk de enige of beste toepassing is.



Figuur 24. Gemiddelde totale waarde voor de scenario's in miljoen euro, gegroepeerd per type activiteit.



Figuur 25. Gemiddelde totale geproduceerde energie voor de scenario's in GWh thermisch, gegroepeerd per type activiteit.

3 MODELLERING VAN MILIEU-IMPACT

3.1 LEVENSCYCLUSANALYSE (LCA)

Een levenscyclusanalyse (LCA) is een methode die wordt gebruikt om de milieu-impact van een technologie of product in te schatten over zijn ganse levenscyclus, van de grondstoffen tot het afvalbeheer. Volgens de ISO 14044:2006 richtlijnen volgt een levenscyclusanalyse vier stappen: (1) het bepalen van het doel en de scope van de analyse, (2) het opstellen van de 'life cycle inventory' (LCI), waarin data over de in- en uitstromen van het proces worden verzameld, (3) de vertaling van de verzamelde data in de LCI naar milieu-impact in de levenscyclus-impactanalyse (LCIA), en (4) de interpretatie van de resultaten.

Deze milieu-levenscyclusanalyse werd uitgevoerd voor twee types activiteiten waarvoor voldoende milieudata beschikbaar is: het geothermisch doublet en de opslag van CO_2. De opslag van CO_2 wordt ook geanalyseerd, om te evalueren of de opgeslagen CO_2 in de ondergrond wel opweegt tegen de extra milieu-impact doorheen de levenscyclus van de opslag. Voor de overige activiteiten (éénputsgeothermie, koude-warmteopslag in mijnen en steenkoolmethaanwinning, gasopslag) kon geen levenscyclusanalyse uitgevoerd worden, omwille van een gebrek aan beschikbare milieudata voor deze activiteiten. Voor de éénputsgeothermie en koude-warmteopslag in mijnen worden wel de vermeden CO_2-emissies meegenomen in ieder scenario, maar zonder rekening te houden met hun bijkomende impact. Dit betekent dat de vermeden CO_2-emissies dankzij deze activiteiten overschat worden in deze analyse. Voor de steenkoolmethaanwinning wordt de impact van het gebruik van de methaan meegenomen, maar niet van de winning van methaan. Dit wordt verder toegelicht in 3.2 Milieu-impact per scenario.

Het bepalen van de doelstelling en scope, het opstellen van de LCI en de uitvoering van de LCIA worden nu kort besproken voor elk van beide activiteiten. Nadien wordt uitgelegd hoe de LCA wordt gekoppeld aan de PSS-simulator in 3.2, om te komen tot de vermeden CO_2-emissies voor ieder scenario.

3.1.1 Geothermisch doublet

Doelstelling & scope
Voor het geothermisch doublet wordt berekend wat de milieu-impact is van **1 MWh geproduceerde warmte**. De milieu-impact die wordt berekend in deze LCA is de *global warming* (GW) impact, die wordt uitgedrukt in kg CO_2-eq en weergeeft in welke mate de technologie bijdraagt aan de klimaatopwarming. Het doel van de levenscyclusanalyse is om een eerste (ruwe) inschatting te krijgen van de milieu-impact die wordt gecreëerd in kg CO_2-eq per kWh geproduceerde warmte door de geothermische doubletten. De berekende impact per MWh geproduceerde warmte kan verschillen tussen geothermische doubletten op verschillende locaties, afhankelijk van de geboorde diepte en het elektriciteitsverbruik. De milieu-impact per MWh geproduceerde warmte is m.a.w. locatie-afhankelijk.

De scope van de levenscyclusanalyse is beperkt tot de twee belangrijkste stappen in de levenscyclus van het geothermisch doublet: het boren van de productieput en de injectieput, en het verbruik van elektriciteit van de compressor tijdens de exploitatiefase. Op basis van de levenscyclusanalyse die werd uitgevoerd door Gkousis et al. (2022) voor geothermische centrales in Noord-België, blijkt dat deze twee stappen het meeste bijdragen aan de GW impact. Daarom worden de overige stappen in de levenscyclusanalyse, zoals de exploratie, het bouwen van het boorplatform en de nodige

pijpleidingen, of het verbruik van *consumables* zoals smeerolie in deze LCA buiten beschouwing gelaten.

LCI

De data over de nodige materialen en grondstoffen voor het boren van beide putten wordt gehaald uit de studie van Gkousis et al. (2022), waarin een levenscyclusanalyse werd uitgevoerd voor het geothermisch doublet van VITO in Mol. De nodige materialen en grondstoffen per geboorde meter worden samengevat in Tabel 9 en Tabel 10 voor respectievelijk de productieput en de injectieput. Voor beide boringen zijn de benodigde hoeveelheden van materialen en grondstoffen verschillend en dit verschil werd in de huidige analyse meegenomen als representatie van de werkelijke variabiliteit.

Tabel 9: LCI voor het boren van de productieput, op basis van Gkousis et al. (2022).

Materiaal/grondstof	Hoeveelheid	Eenheid
Elektriciteit (voor het boren)	500.1	kWh/m
Smeerolie (voor het boren)	0.050541	kg/m
Water (voor het boren)	0.045487	m^3/m
Water (voor de boorvloeistof)	0.050035	m^3/m
Waterstofchloride (HCl) (voor de boorvloeistof)	0.005559	m^3/m
Bentoniet (voor de boorvloeistof)	0.134691	m^3/m
Kaliumchloride (KCl) polymeer (voor de boorvloeistof)	0.290610	m^3/m
Calciumcarbonaat ($CaCO_3$) polymeer (voor de boorvloeistof)	0.095017	m^3/m
Staal (voor de behuizing)	90.41	kg/m
Cement (voor de behuizing)	179.9	kg/m
Water (voor de behuizing)	1.52	m^3/m
Transport	54.1	tkm/m
Afvalwater (output)	1.52	m^3/m
Boorafval (output)	685	kg/m
Transport (output)	22.5	tkm/m

Tabel 10: LCI voor het boren van de injectieput, op basis van Gkousis et al. (2022).

Materiaal/grondstof	Hoeveelheid	Eenheid
Elektriciteit (voor het boren)	791.1	kWh/m
Smeerolie (voor het boren)	0.046211	kg/m
Water (voor het boren)	0.050832	m^3/m
Water (voor de boorvloeistof)	0.045749	m^3/m
Waterstofchloride (HCl) (voor de boorvloeistof)	0.005083	m^3/m
Bentoniet (voor de boorvloeistof)	0.147874	m^3/m
Kaliumchloride (KCl) polymeer (voor de boorvloeistof)	0.237985	m^3/m
Pure bore polymeer (voor de boorvloeistof)	0.182532	m^3/m
Staal (voor de behuizing)	115.6	kg/m
Cement (voor de behuizing)	165.3	kg/m
Water (voor de behuizing)	1.39	m^3/m
Transport	56.2	tkm/m
Afvalwater (output)	1.39	m^3/m
Boorafval (output)	645	kg/m
Transport (output)	22.5	tkm/m

Voor het elektriciteitsverbruik van de compressor wordt uitgegaan van de elektriciteitsmix van België in 2020. De samenstelling van deze elektriciteitsmix is gebaseerd op het EU Reference scenario 2020 (European Commission et al., 2021) en wordt getoond in Tabel 11.

LCIA

De vertaling van de gebruikte materialen en grondstoffen naar de milieu-impact gebeurt voor beide activiteiten (geothermie en CO_2-opslag) met behulp van de SimaPro software en de Ecoinvent database. De ReCiPe 2016 Midpoint (H) methode wordt toegepast voor de vertaling in milieu-impact. Op basis van de data in Tabel 9 en Tabel 10 kan de milieu-impact in kg CO_2-eq per geboorde m worden berekend. Aan de hand van de data in Tabel 11 wordt de milieu-impact in kg CO_2-eq per kWh elektriciteit berekend. De resultaten van deze LCIA worden samengevat in

Tabel 12.

Het aantal geboorde meter en het elektriciteitsverbruik verschilt per locatie. Bovendien betreft het geanalyseerde project een doubletsysteem met één verticale boring (productie) en één gedevieerde boring (injectie). De geologische en deze bijkomende technische variatie verklaren het significante verschil in milieu-impact tussen beide boringen. De berekende milieu-impacts uit

Tabel 12 worden ter illustratie vertaald naar een impact per MWh geproduceerde warmte voor het geothermisch doublet in Mol. Er wordt verondersteld dat deze jaarlijks 18000 MWh produceert, een jaarlijks elektriciteitsverbruik van 3300 MWh heeft, de geboorde afstand (per put) 3350 m bedraagt en een levensduur van 30 jaar heeft. De berekening van de milieu-impact per MWh geproduceerde warmte wordt getoond in Tabel 13. Voor de locatie in Mol wordt zo een milieu-impact berekend van 43.05 kg CO_2-eq per MWh geproduceerde warmte. Deze waarde is vrij hoog voor een doubletsysteem in Vlaanderen, wat wordt veroorzaakt door de beperkte permeabiliteit op deze locatie met als gevolg een hoog verbruik voor het pompen (zie ook Gkousis et al., 2022).

Tabel 11: Elektriciteitsmix van België in 2020 op basis van het EU Reference scenario 2020 (REF).

Energie-input	**Aandeel in de elektriciteitsmix van België (1 kWh)**
Nucleaire energie	0.4127
Biomassa (biogas)	0.0477
Biomassa (huishoudelijk afval)	0.0277
Waterkracht (*pump storage*)	0.0006
Waterkracht (riviercentrale)	0.0036
Windenergie (1-3 MW turbine, onshore)	0.0479
Windenergie (1-3 MW turbine, offshore)	0.0808
Zonne-energie	0.0512
Steenkool	0.0006
Olie	0.0006
Aardgas	0.3266
Totaal	**1 kWh**

Tabel 12: De milieu-impact voor het boren van beide putten en voor het elektriciteitsverbruik van het geothermisch doublet.

Proces	Milieu-impact	Eenheid
Boren – productieput	501	kg CO_2-eq/m
Boren – injectieput	912	kg CO_2-eq/m
Elektriciteitsverbruik	0.187	kg CO_2-eq/kWh

Tabel 13: De milieu-impact per MWh geproduceerde warmte door het geothermisch doublet in Mol.

Proces	Milieu-impact (kg CO_2-eq/MWh)	Berekening
Boren – productieput	3.11	(501 kg CO_2-eq/m*3350 m)/(18000 MWh*30 jaar)
Boren – injectieput	5.66	(912 kg CO_2-eq/m*3350 m)/(18000 MWh*30 jaar)
Elektriciteitsverbruik	34.28	(0.187 kg CO_2-eq/kWh*3300 000 kWh)/18000 MWh
Totaal	**43.05**	

3.1.2 Opslag van CO_2

Doelstelling & scope

Voor de opslag van CO_2 wordt berekend wat de milieu-impact is van **1 ton CO_2 opgeslagen in de ondergrond**. Net zoals bij de geothermische doubletten, wordt enkel de *global warming* (GW) impact berekend. Het doel van de levenscyclusanalyse is om een eerste (ruwe) inschatting te krijgen van de milieu-impact die wordt gecreëerd door het opslaan van 1 ton CO_2 in de diepe ondergrond.

De scope van de levenscyclusanalyse is opnieuw beperkt tot de twee belangrijkste stappen in de levenscyclus van de opslag van CO_2: het boren van de injectieputten, en het verbruik van elektriciteit door de compressor. Dit betekent dat andere stappen, zoals de monitoring die moet gebeuren tijdens de opslagfase van CO_2, niet worden meegenomen in de levenscyclusanalyse. De impact van deze fases zou echter te verwaarlozen zijn.

LCI

Bij gebrek aan accurate gegevens voor CO_2-injectieputten in Noordwest-Europa wordt er verondersteld dat het boren en afwerken van een CO_2-injectieput gelijkaardig is aan een geothermieboring. Daarom is de data over de nodige materialen en grondstoffen voor het boren van de putten gebaseerd op de LCI voor het boren van de productieput bij een geothermisch doublet in de studie van Gkousis et al. (2022). Beide boringen van het doublet in deze studie hebben een significant verschillende milieu-impact per geboorde meter. Er wordt verondersteld dat er voor de injectie van CO_2 geen gedevieerde boring nodig is, waardoor de productieput van het Balmatt project als referentie werd gekozen. De nodige materialen en grondstoffen per geboorde meter werden reeds samengevat in Tabel 9.

Voor het elektriciteitsverbruik van de compressor wordt uitgegaan van de elektriciteitsmix van België in 2020. De samenstelling van deze elektriciteitsmix is gebaseerd op het EU Reference scenario 2020 (European Commission et al., 2021) en werd hierboven getoond in Tabel 11.

LCIA

Tabel 12 toonde reeds de berekende milieu-impact per geboorde meter en per kWh verbruikte elektriciteit. Dit kan vertaald worden naar de milieu-impact in **kg CO_2-eq per ton opgeslagen CO_2** voor iedere locatie. De eigenschappen van beide opslaglocaties worden getoond in Tabel 14. Dit resulteert in een milieu-impact van 19.15 kg CO_2-eq per ton CO_2 in Essen, en 19.25 kg CO_2-eq per ton CO_2 in Retie. De berekening hiervan wordt getoond in Tabel 15 en Tabel 16. Het verschil tussen beide locaties wordt veroorzaakt de verschillende dieptes waarop geboord moet worden.

Tabel 14: De kenmerken van de mogelijke locaties voor de opslag van CO_2.

	Essen	Retie	Eenheid
Opslagcapaciteit	500 000	500 000	t CO_2/jaar
Elektriciteitsverbruik (compressor)	50 000 000	50 000 000	kWh
Diepte boring	2600 - 2800	3200 - 3400	m
Aantal boringen	5	5	#
Levensduur project	30	30	jaar

Tabel 15: De milieu-impact per ton opgeslagen CO_2 in Essen.

Proces	**Milieu-impact Essen (kg CO_2-eq/t CO_2)**	**Berekening**
Boren – 5 putten	0.45	(501 kg CO_2-eq/m * 2700 m * 5 boringen) / (500 000 t CO_2/jaar * 30 jaar)
Elektriciteitsverbruik	18.70	(0.187 kg CO_2-eq/kWh * 50 000 000 kWh/jaar) / 500 000 t CO_2/jaar
Totaal	**19.15**	

Tabel 16: De milieu-impact per ton opgeslagen CO_2 in Retie.

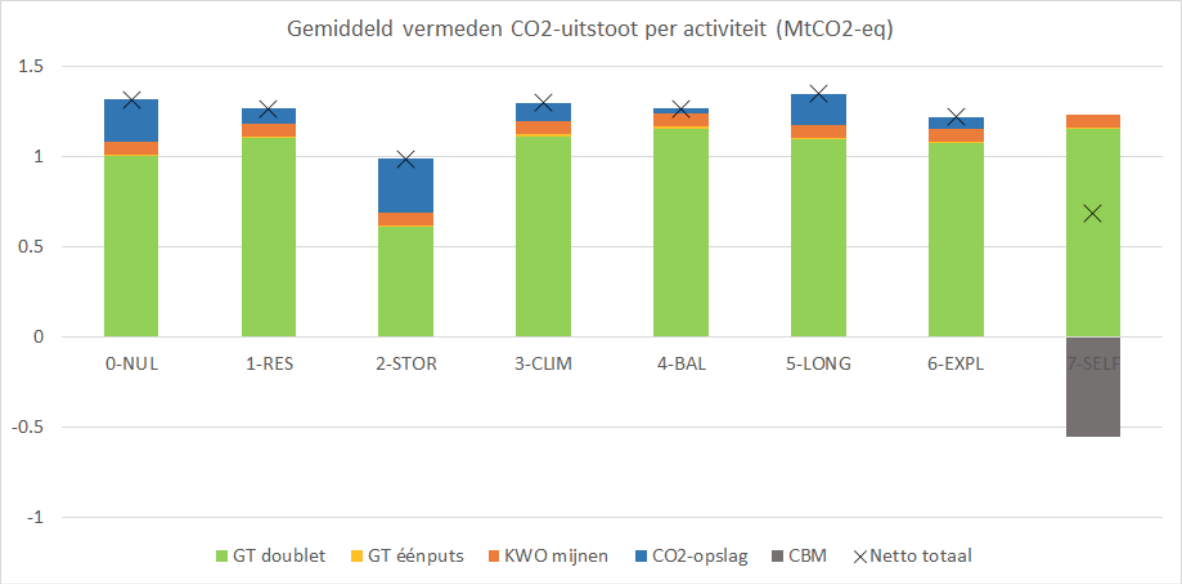
Proces	Milieu-impact Retie (kg CO_2-eq/t CO_2)	Berekening
Boren – 5 putten	0.55	(501 kg CO_2-eq/m * 3350 m * 5 boringen) / (18000 MWh * 30 jaar)
Elektriciteitsverbruik	18.70	(0.187 kg CO_2-eq/kWh * 50 000 000 kWh/jaar) / 500 000 t CO_2/jaar
Totaal	**19.25**	

3.2 MILIEU-IMPACT PER SCENARIO

Na bepaling van de milieu-impact in de levenscyclusanalyse, worden deze resultaten gekoppeld aan de resultaten van de PSS om de (vermeden) milieu-impacts per scenario te kunnen berekenen (*rekenwijze per activiteit wordt toegelicht in de volgende secties*).

Figuur 26 geeft een overzicht van de vermeden CO_2-uitstoot per scenario. In ieder scenario zijn de geothermische doubletten verantwoordelijk voor het bulk van de vermeden CO_2-uitstoot. Ondanks de beperkte toepassing van CO_2-opslag, is de vermeden CO_2-uitstoot dankzij deze activiteit toch significant in de meeste scenario's. Dit komt doordat één CO_2-opslagproject 0.5 Mt CO_2 per jaar opslaat, wat zwaar doorweegt in vergelijking met een geothermieproject. In het SELF-scenario staat de extra uitstoot die gegenereerd wordt door aardgas uit CBM weergegeven als negatieve vermeden

uitstoot. Deze dient afgetrokken te worden van de vermeden uitstoot om de nettowaarde te bekomen.



Figuur 26: Vermeden CO_2 uitstoot per scenario.

3.2.1 Geothermisch doublet

Uit de techno-economische analyse wordt de gemiddelde jaarlijks geproduceerde energiehoeveelheid per project verkregen. Er wordt verondersteld dat elke MWh die met geothermie wordt geproduceerd, niet met aardgas moet opgewekt worden. De global warming impact van 1 MWh geproduceerde warmte met aardgas bedraagt 0.277 t CO_2-eq.[2] Dit betekent dat per MWh geproduceerde warmte met geothermie, er rekening moet gehouden worden met een rechtstreekse vermeden hoeveelheid van 0.277 t CO_2/MWh (omdat deze anders met aardgas zou geproduceerd worden). De netto hoeveelheid vermeden CO_2-emissies voor het geothermisch doublet kan dan berekend worden door de berekende milieu-impact van het doublet zelf (Tabel 13) af te trekken van de vermeden impact.

Voor de andere geothermische toepassingen in deze analyse (éénputsgeothermie en koude-warmte-opslag in mijnen) kon geen milieu-impact berekend worden door een gebrek aan beschikbare data en literatuur voor deze technologieën. De vermeden CO_2-uitstoot kan wel berekend worden, naar analogie met de redenering voor de geothermische doubletten. Iedere MWh warmte die geproduceerd wordt via éénputsgeothermie of koude-warmteopslag in mijnen, hoeft niet langer met aardgas geproduceerd te worden. Opnieuw wordt er dus rekening gehouden met een vermeden CO_2-uitstoot van 0.277 t CO_2/MWh. In de praktijk zal de netto vermeden CO_2-uitstoot voor deze technologieën dus lager liggen, indien de bijkomende milieu-impact van de technologie zelf ook zou meegenomen worden.

3.2.2 Opslag van CO_2

Uit de techno-economische analyse wordt de gemiddelde jaarlijks opgeslagen hoeveelheid CO_2 per project verkregen. Om de vermeden CO_2-uitstoot te berekenen die wordt weergegeven in Figuur 25, wordt van iedere ton opgeslagen CO_2 de berekende milieu-impact per opgeslagen ton CO_2 (Tabel 15 en Tabel 16) afgetrokken. Dit is de netto vermeden CO_2-uitstoot.

[2] Deze impact werd ook berekend met behulp van de Ecoinvent database, voor het proces 'Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland}| market for heat, central or small-scale, natural gas | Cut-off, U'.

3.2.3 Steenkoolmethaanwinning

Voor de winning van steenkoolmethaan (CBM) zelf werd geen milieu-impactanalyse gemaakt. Echter, de impact van het gebruik van het geproduceerde methaan is hoogstwaarschijnlijk veel groter dan de winning zelf, afhankelijk van de toepassing. Voor deze analyse is uitgegaan van de volledige verbranding van methaan, en werd de resulterende CO_2-uitstoot telkens berekend met de factor 0.277 t CO_2/MWh.

4 MODELLERING VAN SOCIALE IMPACT

Dit hoofdstuk bekijkt de socio-economische context van de mogelijke activiteiten in de diepe ondergrond. In het PC&I framework, gepresenteerd in Deelrapport D3 (Principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen), vinden we sociale impact indicatoren (bepalende elementen die bij concrete projecten in rekening dienen te worden gebracht) terug onder de principes van efficiënte allocatie (P2), rechtvaardige verdeling (P3), transparantie (P4), inclusief bestuur (P5) en verantwoord risicobeheer (P6). Het naleven van de principes van rechtvaardige verdeling, transparantie en inclusief bestuur gelden als cruciale randvoorwaarden voor sociale acceptatie. Sociale impact gaat echter veel ruimer dan de aan- of afwezigheid van maatschappelijk draagvlak. Het betreft het in rekening brengen van de relatie tussen een geplande activiteit en het sociale weefsel op lokaal en bovenlokaal niveau, alsook op wereldschaal.

In dit hoofdstuk wordt een eerste impactanalyse uitgevoerd op basis van een vereenvoudigd model. Indicatoren inzake transparantie, inclusief bestuur en verantwoord risicobeheer zijn in overwegende mate proces georiënteerd en daardoor minder eenvoudig generiek mee te nemen in de scenario-modellering zoals hier toegepast. Daarom hebben we ervoor gekozen om sociale acceptatie niet als zodanig mee te nemen in deze eerste modellering. Wel werden een aantal indicatoren gerelateerd aan principes 2 (Efficiënte allocatie) en 3 (Rechtvaardige verdeling) geselecteerd die betrekking hebben op fysieke of kwantificeerbare fenomenen die op basis van bestaande statistische data relatief eenvoudig vergaard konden worden om mee te nemen in de analyse.

Het vereenvoudigd model van de socio-economische context van de mogelijke activiteiten in de diepe ondergrond dat hier wordt gehanteerd, is opgebouwd uit volgende indicatoren:

- Inwonersdichtheid, per hectare (2019)
    - Er wordt binnen een bepaalde straal bekeken welke dichtheid overheerst binnen het gebied en of er hectares met meer inwoners geclusterd zijn in kernen.
- Gemiddeld netto belastbare inkomen per inwoner, per gemeente (2021)
    - De verhouding tussen verschillende inkomenscategorieën (zie Tabel 17) wordt bekeken voor een bepaalde straal (de gehanteerde stralen worden hieronder in meer detail toegelicht) en de overheersende categorie wordt gekozen.
- Warmtevraagdichtheid, per gemeente (2019)
    - Deze indicator werd bekeken op twee manieren: enerzijds voor de gemeente waar de locatie zich bevindt en anderzijds binnen een bepaalde straal (2,5 km). In het tweede geval wordt de verhouding van de verschillende dichtheden (zie Tabel 17) bekeken en de overheersende categorie wordt gekozen. Voor de verdere analyse wordt steeds de warmtevraagdichtheid van de gemeente vermeld, aangezien de overheersende categorie binnen de straal steeds overeenkwam met de warmtevraagdichtheid van de gemeente.
- Warmtevraag grootgebruikers, op locatie (2019)
    - Er wordt binnen een bepaalde straal bekeken welke categorieën van warmtevraag (zie Tabel 17) voorkomen.
- Aanwezigheid van natuurgebied of bos, beheerd door ANB[3] (2021)

[3] De data betreft enkel de natuurgebieden en bossen die beheerd worden door ANB, en dus geen privégroen of -bos. Alternatieven die bekeken werden (en die beschikbaar waren in GIS), waren de digitale boswijzer en de groenkaart. Op de kaart van de digitale boswijzer is er iets meer bos te zien, maar wordt door de Vlaamse overheid zelf aangegeven niet als 100% betrouwbare bron gebruikt te kunnen worden. Op de groenkaart staat nog meer informatie, vooral over landbouwgebied en groen gebied van minder dan 3m, maar de stukken natuur van meer 3m komen grotendeels overeen met de natuurgebieden en bossen die beheerd worden door ANB. Deze data is wel beschikbaar voor eventuele andere analyses in de toekomst.

- Het percentage van het omringende gebied dat natuurgebied of bos bevat, wordt bepaald binnen een straal van 5km.

In wat volgt wordt geduid hoe deze indicatoren werden ingezet. Het betreft hier uitdrukkelijk een eerste verzameling indicatoren, in hoofdzaak geselecteerd op basis van databeschikbaarheid. Voor de meeste indicatoren werd beroep gedaan op Geopunt (www.geopunt.be) of Datavindplaats Vlaanderen (www.vlaanderen.be/datavindplaats). Het gemiddeld netto belastbare inkomen per inwoner, per gemeente werd berekend door het combineren van GIS-data met Statbel-data.

De gekozen indicatoren geven een eerste indicatie van de sociale impact van potentiële projecten in de diepe ondergrond, maar er zijn nog meer en andere indicatoren nodig om een beter beeld te krijgen. Enkele voorbeelden zijn het percentage inwoners met een migratieachtergrond en de percentielen van verschillende leeftijdscategorieën (EEA, 2018; Louis & Magpili, 2002). Tevens willen we benadrukken dat er werd uitgegaan van een realistische doch theoretische inschatting van maatschappelijke wenselijkheid, niet van een empirisch vastgestelde voorkeur op een specifieke locatie.

Inwonersdichtheid en warmtevraag(dichtheid) worden gekozen om het realiteitsgehalte van geothermische projecten te evalueren. Bij een hogere inwonersdichtheid kan een geothermieproject (DGE) of een KWO-project mogelijk een maatschappelijke meerwaarde hebben doordat meerdere mensen zich kunnen aansluiten op een warmtenetwerk. Voor andere activiteiten, zoals opslagprojecten en de winning van steenkoolgas (coalbed methane, CBM) kan een hogere inwonersdichtheid evenwel minder maatschappelijk wenselijk zijn, wegens een lagere hoeveelheid vrije plaats en meer inwoners die negatieve impact kunnen ervaren. Een hogere warmtevraag(dichtheid) biedt mogelijkheden voor de ontwikkeling van geothermie (DGE) en KWO, doordat er voldoende afzet is voor de geproduceerde energie, wat noodzakelijk is voor een DGE- en KWO-project om rendabel te zijn. Voor éénputsgeothermieprojecten is echter een lage warmtevraag(dichtheid) vaak wenselijker, aangezien deze technologie niet tegemoet kan komen aan een te hoge vraag.

Het gemiddeld inkomen per inwoner wordt gekozen om twee redenen. Enerzijds om te bekijken of financieel kwetsbare groepen betrokken kunnen worden bij KWO- of geothermieprojecten (DGE) om energie-armoede te verlagen (Streimikiene & Kyriakopoulos, 2023). Anderzijds om te bekijken of er een mogelijkheid is dat diezelfde groepen getroffen worden door impacts van opslag- of CBM-projecten terwijl zij mogelijk al kwetsbaarder zijn en minder financiële middelen hebben voor mitigatiemaatregelen (EEA, 2018; Peris & Arguelles, 2023).

De oppervlakte van natuurgebieden en bossen in de buurt wordt bekeken om rekening te houden met eventuele impact op de lokale natuur en het aanpassen of verwijderen van die lokale natuur. Mogelijke impacts zijn uiteenlopend, bv. op biodiversiteit, lawaai, esthetische en emotionele waarde of luchtkwaliteit. Er is op dit moment weinig kennis voorhanden over welke impacts effectief een rol zouden spelen ten gevolge van specifieke projecten in de diepe ondergrond. Daarom nemen we hier oppervlakte aan natuur en bos als een algemene indicator mee op.

Om de impact te beoordelen, wordt QGIS gebruikt. De gekozen indicatoren worden op een GIS-kaart geïmporteerd, net als de coördinaten van potentiële locaties voor projecten in de diepe ondergrond, zodat de mogelijke locaties verbonden kunnen worden met de socio-economische factoren in de

omgeving. Voor de kwalitatieve analyse wordt een straal van 2,5 km bepaald (diameter van 5 km). Deze straal wordt gehanteerd omdat de mogelijke locaties niet volledig vaststaan en nog kunnen verschuiven. 2,5 km biedt voldoende buffer daarvoor, maar zorgt er ook voor dat de socio-economische contexten van de verschillende locaties nog te onderscheiden zijn van elkaar. Bij een straal van 5km, bijvoorbeeld, is de socio-economische context per locatie steeds gelijkender en is er gevaar op overlap. Enkel voor Kortemark wordt een radius van 10 km (diameter van 20 km) gebruikt, aangezien deze locatie wordt geplaatst om (een groot deel van) de provincie West-Vlaanderen te vertegenwoordigen en een breder overzicht hierdoor aangewezen is. Met deze straal wordt een groot deel van de provincie vertegenwoordigd. Bij het beoordelen van de aanwezigheid van natuurgebieden of bos wordt een straal van 5 km gehanteerd, om een iets bredere context van natuurgebieden en bossen (ook eventueel rond de gemeente) te beoordelen.

Binnen de straal van 2,5 km (of 10 km voor Kortemark) wordt er gekeken naar de inwonersdichtheden die het meest prominent zijn, het gemiddeld belastbaar inkomen van de gemeentes die zich binnen de straal bevinden, de warmtevraagdichtheid van de gemeente waar de locatie zich in bevindt, en de meest prominente warmtevragen van grootverbruikers binnen de radius. Het percentage van het omringend gebied waar zich natuurgebied of bos bevindt, wordt berekend door binnen een straal van 5 km 200 stippen willekeurig te verspreiden en te tellen hoeveel daarvan zich in een natuurgebied of bos bevinden. Deze resultaten worden verder in deze sectie samengevat in verschillende multicriteria matrices per scenario.

Vervolgens krijgt elke indicator een kleur en worden de resultaten in drie categorieën opgedeeld a.d.h.v. drie kleurschakeringen: licht (laag), midden (gemiddeld/midden), donker (hoog). Of een resultaat op een bepaalde locatie laag of hoog is, is eveneens relatief ten opzichte van de andere locaties; zo is er bijvoorbeeld geen enkele dichtbevolkte locatie, dus wordt donkerblauw gehanteerd om de middenhoogbevolkte locatie (Turnhout) aan te duiden. Bij de aanwezigheid van natuurgebied of bos is het hoogste percentage 10% en worden de categorieën daarom gekozen door die interval in drie gelijke delen op te delen. Deze hoogste categorie is binnen het volledige spectrum (100%) niet hoog maar ten opzichte van de andere locaties wel. De legendes van de verschillende indicatoren worden hieronder (Tabel 17) getoond, om de gebruikte categorieën in context te plaatsen.

Tabel 17: categorieën per socio-economische indicator

Inwonersdichtheid binnen een straal van 2,5/10 km, data per hectare[4]	0	
	1 – 30	
	31 – 60	
	61 – 120	
	121 – 240	
	241 – 360	Komt niet voor
	361 – 762	Komt niet voor
Gemiddeld netto belastbaar inkomen binnen een straal van 2,5/10 km, data per gemeente	10 000 – 13 000	
	13 001 – 16 000	
	16 001 – 19 000	
	19 001 – 22 000	Gemiddelde
	22 001 – 25 000	

[4] Bij deze indicator zijn de drie kleurschakeringen verspreid over meerdere inwonersdichtheden, aangezien de inwonersdichtheden 31-60 inwoners per hectare en 61 – 120 inwoners per hectare voorkomen in zowel de lage categorie als in de midden/gemiddelde categorie, in verschillende kwantiteiten. Verdere toelichting van de samenstelling van de kleurcategorieën is terug te vinden onder de tabel.

	25 001 – 28 000 28 001 – 31 000
Warmtevraagdichtheid in de gemeente van de bovengrondse locatie	<= 1 MWh/m 1 – 2 MWh/m 2 – 3 MWh/m 3 – 4 MWh/m 4 – 5 MWh/m 5 – 6 MWh/m > 6 MWh/m
Warmtevraag grootgebruikers binnen een straal van 2,5/10 km, data per locatie	0,2 – 1 GWh/jaar 1 – 20 GWh/jaar 21 – 200 GWh/jaar > 200 GWh/jaar
Aanwezigheid natuurgebied of bos, beheerd door ANB, binnen een straal van 5 km, percentage op basis van steekproef (n=200)	< 3,33% 3,33% - 6,66% > 6,66% > 10% Komt niet voor

Voor de verschillende indicatoren worden de volgende categorieën gehanteerd:

- **Inwonersdichtheid binnen een straal van 2,5/10 km, data per hectare**
  - Licht: eerder laag → overwegend hectares met 0 en 1-30 inwoners/ha, eventueel (een kleine kern met/een aantal) hectares met 31-60 inwoners/ha (er kunnen ook hectares voorkomen met meer inwoners maar zeer weinig en verspreid)
  - Midden: eerder midden → visueel opvallend aandeel hectares met 31-60 inwoners/ha (meer dan bij de lichtbruine categorie, waar het over maximum enkele hectares of een kleine kern gaat) en/of (middel)grote kern(en) van minstens 31 inwoners/ha en een aanwezigheid van hectares van 61-120 inwoners/ha
  - Donker: eerder midden/hoog → visueel opvallend aandeel hectares met 61-120 inwoners/ha en/of grote kern(en) van minstens 61 inwoners/ha en een aanwezigheid van hectares van 121-240 inwoners/ha
  - Werkelijk dichtbevolkte locaties (>240 inwoners per hectare) komen niet voor nabij de in deze studie gekozen locaties voor projecten in de diepe ondergrond
- **Gemiddeld netto belastbaar inkomen binnen een straal van 2,5/10 km, data per gemeente**
  - Licht: eerder laag → 10000-13000 €/jaar, 13000-16000 €/jaar
  - Midden: eerder gemiddeld → 16000-19000 €/jaar, 19000-22000 €/jaar en 22000-25000 €/jaar
  - Donker: eerder hoog →25000-28000 €/jaar en 28000-31000 €/jaar
- **Warmtevraagdichtheid in de gemeente van de bovengrondse locatie**
  - Licht: eerder laag → <=1 of 1-2 MWh/m
  - Midden: eerder midden → 2-3 MWh/m, 3-4 MWh/m of 4-5 MWh/m
  - Donker: eerder hoog → 5-6 of >6 MWh/m
- **Warmtevraag grootgebruikers, data per gemeente**
  - Licht: eerder laag → enkel 0,2 – 1 GWh/jaar aanwezig binnen straal, of maximum 1 locatie met 1-20 GWh/jaar

    - Midden: eerder midden → 1 – 20 GWh/jaar en/of 20 – 200 GWh/jaar aanwezig binnen straal
    - Donker: eerder hoog → > 200 GWh/jaar aanwezig binnen straal
- **Aanwezigheid natuurgebied of bos, beheerd door ANB, binnen een straal van 5 km, percentage op basis van steekproef (n=200)**
    - Licht: eerder laag → minder dan 3,33% van het gebied met straal 5 km rond de projectlocatie is een natuurgebied of bos
    - Midden: eerder laag → tussen 3,33 en 6,66% van het gebied met straal 5 km rond de projectlocatie is een natuurgebied of bos
    - Donker: eerder laag/midden → meer dan 6,66% van het gebied met straal 5 km rond de projectlocatie is een natuurgebied of bos

Daarna wordt er per scenario bekeken welke projecten geactiveerd worden door de PSS simulator en welke socio-economische context op deze locaties heerst. Tussen scenario's RES, CLIMA, LONG en EXPL zijn geen verschillen op het vlak van de locaties waar actieve projecten in de diepe ondergrond ontwikkeld worden, maar in het nulscenario, het STOR-scenario, het BAL scenario en het SELF-scenario worden minder projecten geactiveerd en verandert de totale socio-economische context.

In het volgende onderdeel worden per project de resultaten getoond, gegroepeerd per activiteit in aparte tabellen per scenario. Deze scenario's werden toegelicht in deelrapport D4. Elk project wordt meer of minder prominent (een langere of minder lange staaf) getoond, afhankelijk van de probabiliteit dat het project op deze locatie geïnitieerd wordt. Elke staaf wordt opgedeeld in vijf gelijke onderdelen, waarin a.d.h.v. de kleuren uit Tabel 17 de socio-economische situatie geduid wordt.

Om de kleurcode te evalueren voor elke activiteit, toont

Tabel 18 voor elke activiteit de sociaal-economische context die het meest sociaal wenselijk is en/of niet sociaal wenselijk is. Voor geothermieprojecten met doublet en voor KWO-projecten zijn een hoge inwonersdichtheid, hoge warmtevraagdichtheid en hoge warmtevraag van grootverbruikers wenselijk. Een hogere inwonersdichtheid is namelijk interessant voor de distributie van de energie en een hogere warmtevraag(dichtheid) geeft een indicatie van de nood aan energie in de regio. Echter, kan een hoge inwonersdichtheid ook sociaal onwenselijk zijn, specifiek bij geothermieprojecten met doublet. Deze activiteit kan namelijk zorgen voor een verhoogde kans op seismiciteit. Hoewel een hoge inwonersdichtheid nog steeds beschouwd wordt als sociaal wenselijk, blijft dit wel een relevante kanttekening. Een omliggend gebied met een ondergemiddeld inkomensniveau is sociaal wenselijk voor geothermieprojecten met doublet en KWO-projecten, aangezien het mogelijkheden biedt om bevolkingsgroepen met een lager inkomen, toegang te geven tot hernieuwbare energie. Bij éénputsgeothermieprojecten zijn inwonersdichtheid en gemiddeld inkomen echter niet relevant, aangezien deze projecten niet voor gebruik door lokale inwoners bedoeld zijn. Voor éénputsgeothermieprojecten is een hoge warmtevraag(dichtheid) geen vereiste; een lage warmtevraag(dichtheid) kan voldoende zijn De aanwezigheid van natuurgebied of bos is voor geen van de geothermieprojecten relevant, aangezien deze projecten steeds dichtbij bebouwd gebied gesitueerd worden.

Voor opslag- en CBM-projecten is een lage inwonersdichtheid wenselijk om eventuele negatieve impact te vermijden en een ondergemiddeld inkomensniveau is onwenselijk, aangezien mensen met een lager inkomen kwetsbaar zijn voor negatieve impact. Bij opslag- en CBM-projecten zijn warmtevraagdichtheid en warmtevraag van grootgebruikers niet relevant. Voor deze activiteiten is de aanwezigheid van natuurgebied of bos wel relevant, deze is best zo klein mogelijk, aangezien opslag- en CBM-projecten het natuurgebied of bos zou kunnen verstoren.

Tabel 18. Sociale (on)wenselijkheid van indicatoren bij verschillende activiteiten in de diepe ondergrond. Een lichte tint is een lage waarde van de indicator, een donkere tint is een hoge waarde van de indicator. Een groene vink duidt aan dat er sprake is van een maatschappelijke wenselijkheid. Het rode kruis duidt een maatschappelijke onwenselijkheid aan.

	Inwoners-dichtheid	Gemiddeld inkomen	Warmtevraag-dichtheid	Warmtevraag groot-gebruikers	Natuurgebied of bos
Geothermie (single-well)	Neutraal	Neutraal	✓	✓	Neutraal
Geothermie (doublet)	✓	✓	✓	✓	Neutraal
KWO	✓	✓	✓	✓	Neutraal
Opslag (CO_2)	✗	✗	Niet relevant	Niet relevant	✗
Opslag (H_2, gas)	✗	✗	Niet relevant	Niet relevant	✗
CBM	✗	✗	Niet relevant	Niet relevant	✗

4.1 NULSCENARIO

Figuur 27Figuur 27 toont de kans dat de verschillende projecten in de diepe ondergrond geactiveerd worden onder het nulscenario en plaatst deze activiteiten in hun socio-economische context volgens de kleurcode voorgesteld in Tabel 17. Socio-economische aspecten die maken dat een project in de diepe ondergrond specifiek maatschappelijk wenselijk is, worden aangeduid met een groen vinkje. Socio-economische aspecten die maken dat een project maatschappelijk onwenselijk is, worden aangeduid met een rood kruis (zie ook

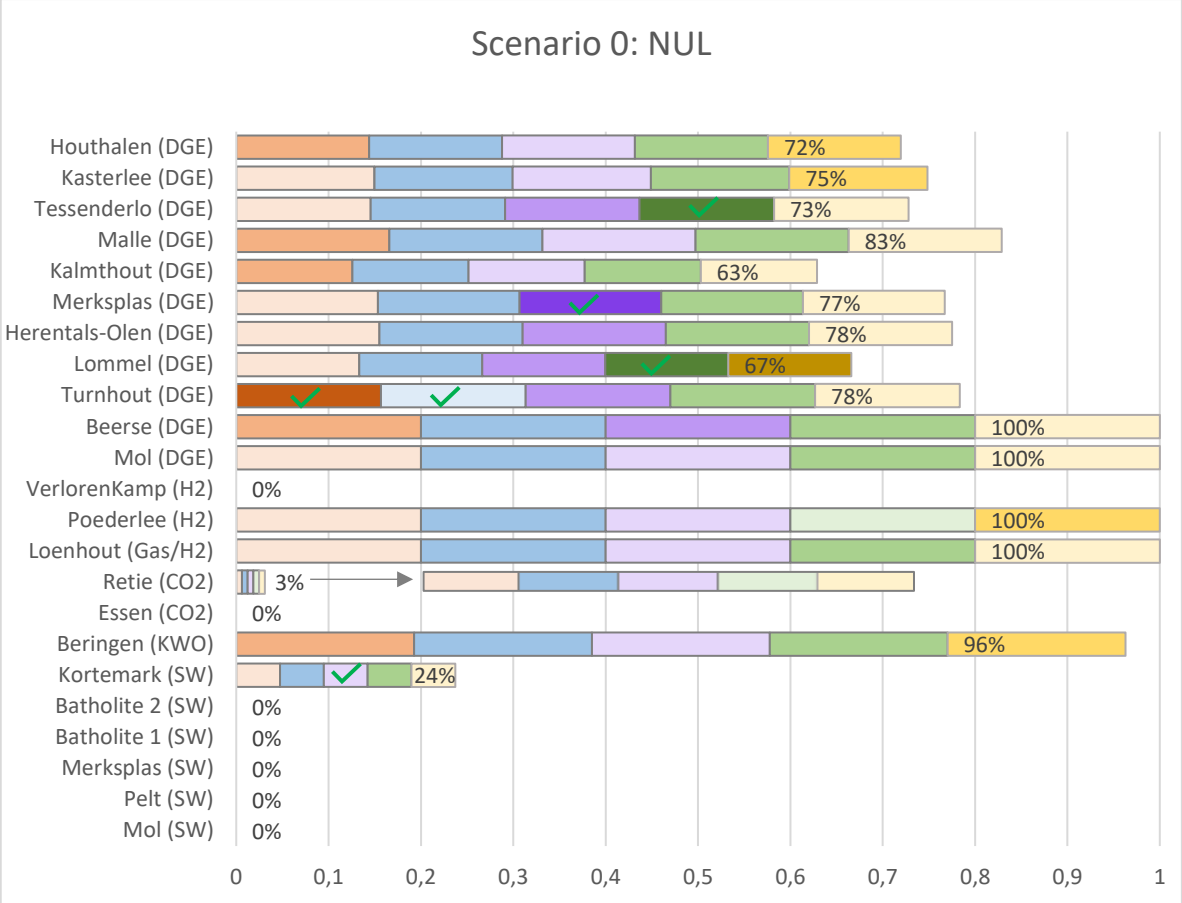
Tabel 18). Het ontbreken van een groen vinkje of een rood kruis geeft een eerder neutrale beoordeling van de maatschappelijke context. Een activiteit is wat betreft deze socio-economische aspecten niet specifiek maatschappelijk wenselijk noch onwenselijk.

In het nulscenario worden er 16 van de 23 projecten geactiveerd. Nog 5 extra projecten, rond CBM, werden nog niet meegenomen in de analyse, die komen erbij in het SELF-scenario. Alle doublet geothermieprojecten (11) worden geactiveerd, in tegenstelling tot slechts één (van zes) single well geothermieproject. Dit ene éénputsgeothermieproject, in Kortemark, is het enige project waarbij naar een grotere straal gekeken werd, namelijk een straal van 10 km, om een groter deel van de provincie West-Vlaanderen mee te nemen in de analyse.

Twee (van de drie) opslagprojecten voor waterstof, het ene project rond KWO en één van de twee opslagprojecten voor CO_2 worden geactiveerd, maar deze laatste heeft een zeer lage ontwikkelingskans. In Loenhout zal mogelijk waterstofgas opgeslagen worden, maar hier wordt momenteel al aardgas opgeslagen. Deze activiteit moet dus ook beoordeeld worden en houdt specifieke risico's in: Fluxys LNG, dat de gasopslag beheert, is momenteel een Seveso-bedrijf. Dit project bevindt zich in een regio met een lage bevolkingsdichtheid, met een gemiddeld inkomensniveau en met een lage hoeveelheid natuurgebied in omliggend gebied, wat allemaal maatschappelijk wenselijk is.

Het geothermieproject (DGE) in Turnhout heeft als enige een context van hogere inwonersdichtheid dan de andere projecten, wat specifiek maatschappelijk wenselijk is voor geothermie. De andere projecten (overheen alle activiteiten) wisselen tussen laag- en middenbevolkt. Opvallend is dat de twee geactiveerde projecten voor H_2-opslag een lage bevolkingsdichtheid hebben, wat ook specifiek sociaal wenselijk is voor die activiteit. Het enige geactiveerde opslagproject voor CO_2 (in Retie) ligt ook in een gebied met een lage inwonersdichtheid, wat sociale wenselijke kenmerken zijn, maar het heeft een lage kans op ontwikkeling.

Het project in Turnhout is ook bij het bekijken van de gemiddelde inkomens de enige uitschieter, de locatie valt als enige binnen de laagste inkomenscategorie zoals gedefinieerd in Tabel 17; dat geeft mogelijkheden voor geothermie om gemeenschappen met een lager dan gemiddeld inkomen toegang te geven tot hernieuwbare energie.



Figuur 27: Socio-economische impact voor het nulscenario. Alle locaties opgenomen in het regionaal model zijn weergegeven in deze grafiek, ook wanneer de activiteit op een bepaalde locatie niet geïnitieerd wordt (0%). Oranje is inwonersdichtheid, blauw is het gemiddeld inkomen, paars is de warmtevraagdichtheid, groen is de warmtevraag van grootverbruikers en geel is natuurgebied of bos. Telkens is de lichtste tint de laagste categorie en de donkerste tint de hoogste categorie. Zie Tabel 17. Het groene vinkje geeft aan dat een activiteit een specifiek, maatschappelijk gewenste bijdrage heeft. Het ontbreken van een vinkje geeft aan dat het maatschappelijk aspect neutraal beoordeeld wordt (dus niet specifiek sociaal wenselijk of onwenselijk). Socio-economische aspecten die maken dat een activiteit maatschappelijk onwenselijk is, worden aangeduid met een rood kruis. Zie

Tabel 18.

De drie opslagprojecten (aardgas, H_2 en CO_2) die in het nulscenario geactiveerd zijn, liggen in gebieden (Poederlee, Loenhout en Retie) met een lage warmtevraagdichtheid. Bij de geothermieprojecten is er ongeveer een gelijke verdeling tussen locaties met een lage en locaties met een 'midden' warmtevraagdichtheid, met een uitschieter bij het project in Merksplas (DGE), waar een hoge warmtevraagdichtheid te zien is (ondanks de lage inwonersdichtheid). Dat is sociaal wenselijk voor een geothermieproject met doublet. Het geothermieproject met single well in Kortemark wordt als enige beoordeeld binnen een straal van 10 km; dat gebied heeft een eerder lage warmtevraagdichtheid en middenhoge warmtevraag van grootgebruikers. Dat is wenselijk voor een geothermieproject met single well, aangezien een hogere warmtevraagdichtheid de locatie eerder geschikt zou maken voor een geothermieproject met doublet. Het KWO-project in Beringen heeft ook een lage warmtevraagdichtheid. De warmtevraag van grootgebruikers komt niet altijd overeen met de warmtevraagdichtheid. Bij de projecten in Tessenderlo en Lommel zien we een hoge warmtevraag, wat specifiek wenselijk is voor geothermieprojecten. Enkel bij de projecten in Poederlee en Retie is er een lage warmtevraag.

Bij de meerderheid van de geactiveerde locaties is minder dan 3,33% van de omringende straal natuurgebied of bos. Er zijn echter ook vier projecten, met een iets hogere kans (3,33-6,66%). Drie van deze vier zijn geothermieprojecten. Het geothermieproject in Lommel heeft als enige een oppervlakte van meer dan 6,66% (namelijk 10%) natuurgebied of bos in het omliggend gebied. Echter is de aanwezigheid van natuurgebied of bos voor geothermieprojecten niet relevant om te beoordelen of het project sociaal wenselijk is of niet, in de veronderstelling dat deze projecten zo kort mogelijk bij de warmtevraag ingepland worden, wat dus in woon -of industriegebied zal zijn.

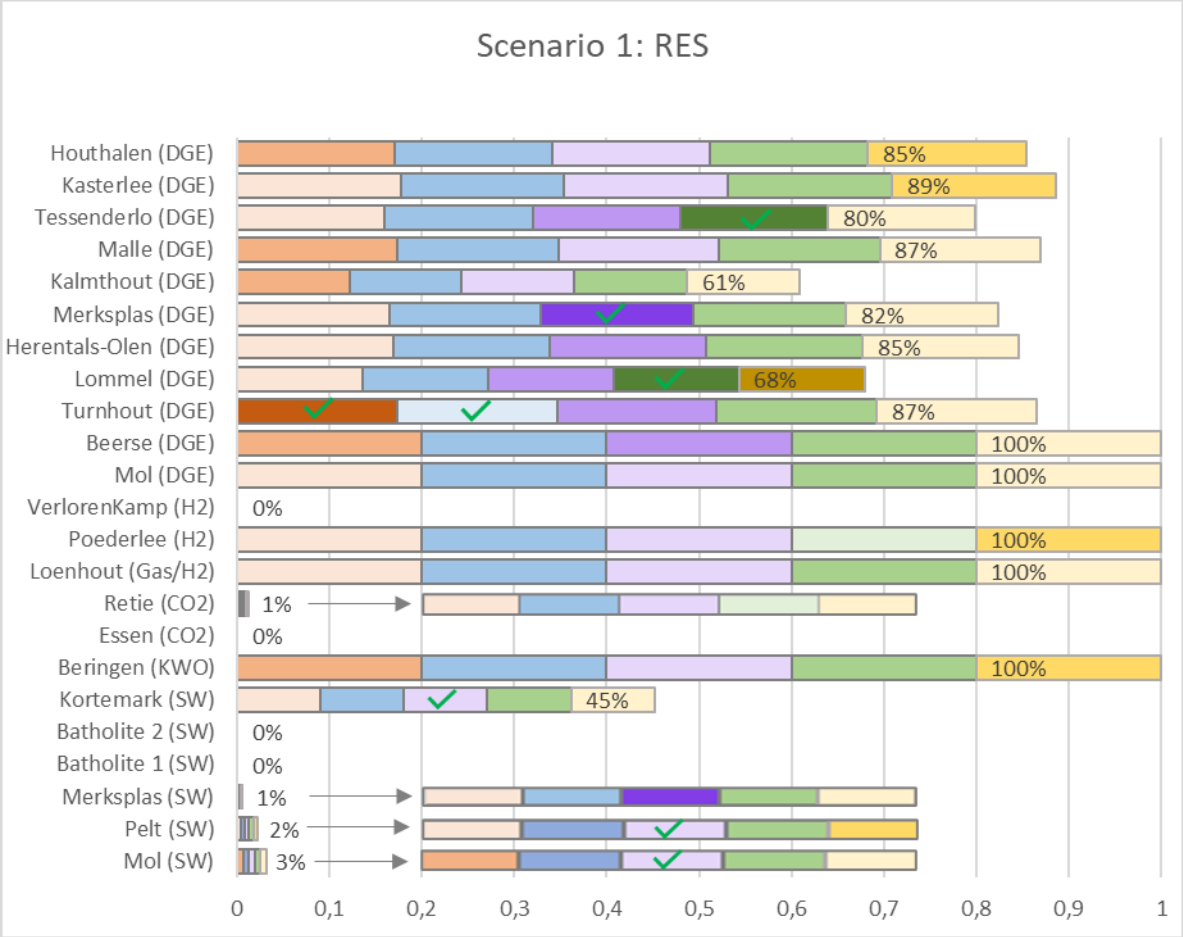
4.2 SCENARIO 1: RES

In het RES-scenario worden er drie extra projecten geactiveerd, namelijk de geothermieprojecten (SW) in Mol, Pelt en Merksplas (zie Figuur 28). Een belangrijke nuance is wel dat deze drie projecten ook in het RES-scenario een lage kans hebben om ontwikkeld te worden. De kans op ontwikkeling van de andere geothermieprojecten stijgt over het algemeen. Dat is ook zo voor Turnhout, waar de bevolking gemiddeld in een lage inkomenscategorie zit, waardoor een geothermieproject een positieve maatschappelijke impact zou kunnen hebben. De kans op ontwikkeling van de overige activiteiten blijft ongeveer gelijk ten opzichte van het nulscenario.

In het RES-scenario wordt een extra geothermieproject (SW) geactiveerd waarbij meer dan 3,33% van het omringende gebied natuurgebied of bos is. Echter heeft dit project, in Pelt, maar een kans van 2% om ontwikkeld te worden en is er dus weinig verschil ten opzichte van het nulscenario. Bovendien is de aanwezigheid van natuurgebied of bos voor geothermieprojecten weinig relevant. Het nieuw geactiveerde geothermieproject (SW) in Merksplas is gesitueerd in een gebied met een hoge warmtevraagdichtheid, maar heeft een zeer lage kans om zich te ontwikkelen in het RES-scenario.

Ook in dit scenario heeft het opslagproject (CO_2) in Retie een zeer lage kans om ontwikkeld te worden, en de drie bijkomende geothermieprojecten (SW) ook. Het opslagproject in Retie ligt in een gebied met een lage inwonersdichtheid, warmtevraag(dichtheid) en aanwezigheid van natuurgebied of bos, en een gemiddeld inkomensniveau. De éénputsgeothermieprojecten in Kortemark, Pelt en Mol zijn specifiek wenselijk omdat ze een lage warmtevraagdichtheid hebben.

Desondanks hebben de projecten in Pelt en Mol door de lage probabiliteit weinig kans om de socio-economische context van dit gebied te beïnvloeden.



Figuur 28: Socio-economische impact voor het RES-scenario. Alle locaties opgenomen in het regionaal model zijn weergegeven in deze grafiek, ook wanneer de activiteit op een bepaalde locatie niet geïnitieerd wordt (0%). Oranje is inwonersdichtheid, blauw is het gemiddeld inkomen, paars is de warmtevraagdichtheid, groen is de warmtevraag van grootverbruikers en geel is natuurgebied of bos. Telkens is de lichtste tint de laagste categorie en de donkerste tint de hoogste categorie. Zie Tabel 17. Het groene vinkje geeft aan dat een activiteit een specifiek, maatschappelijk gewenste bijdrage heeft. Het ontbreken van een vinkje geeft aan dat het maatschappelijk aspect neutraal beoordeeld wordt (dus niet specifiek sociaal wenselijk of onwenselijk). Socio-economische aspecten die maken dat een activiteit maatschappelijk onwenselijk, worden aangeduid met een rood kruis. Zie

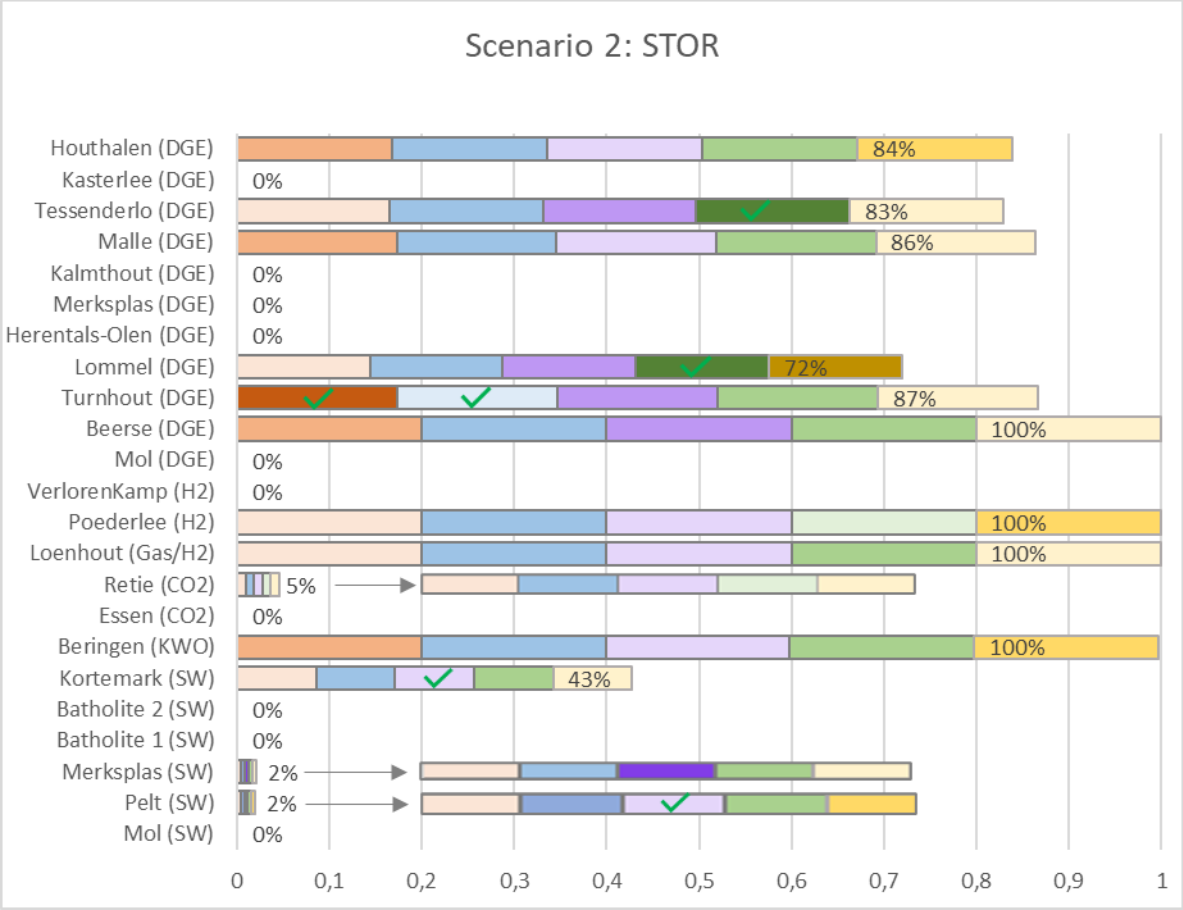
Tabel 18.

4.3 SCENARIO 2: STOR

Scenario's 2 – 7 bouwen verder op het RES-scenario en worden daarom telkens met het RES-scenario vergeleken. In het STOR-scenario worden er 13 projecten geactiveerd, 6 minder dan in het RES-scenario (zie Figuur 29). De projecten die niet geactiveerd worden, zijn de geothermieprojecten in Kasterlee, Kalmthout, Merksplas (enkel DGE, niet het SW project), Herentals-Olen en Mol (DGE én SW). Deze projecten werden uitgeschakeld in de PSS simulator omdat ze zouden plaatsvinden binnen de exclusiezone van de opslagprojecten (berging nucleair afval, CO_2 opslag en opslag van aardgas en waterstofgas; zie exclusiezones in Tabel 2 tot Tabel 7).

Het geothermieproject (DGE) in Turnhout, dat het grootste potentieel heeft om een positieve impact te hebben (volgens de gebruikte indicatoren voor inkomensdichtheid en inkomen), blijft actief met een even hoge probabiliteit. Het geothermieproject (DGE) in Merksplas, dat een hoge warmtevraagdichtheid heeft en dus maatschappelijk wenselijk is, valt weg. Ook het éénputsgeothermieproject in Mol, wenselijk wegens de lage warmtevraagdichtheid, valt weg ten opzichte van het RES-scenario, maar heeft in de andere scenario's ook steeds een zeer lage kans om ontwikkeld te worden. Het geothermieproject met doublet in Mol wordt vervangen door opslag van kernafval; deze regio heeft geen specifiek onwenselijke kenmerken voor een opslagproject: het heeft geen hoge inwonersdichtheid, geen ondergemiddeld inkomensniveau en de regio errond bestaat niet in hoge mate uit natuurgebied.

De opslagprojecten van het RES-scenario blijven actief; de probabiliteit van het project in Retie stijgt naar 5%. De probabiliteit van het opslagproject in Poederlee, het enige dat een middenhoge aanwezigheid van natuurgebied en bos heeft, blijft hetzelfde ten opzichte van het RES-scenario. Ook het KWO-project in Beringen blijft actief met dezelfde probabiliteit. De geothermieprojecten die actief blijven, zijn in 4/7 gevallen (de locaties met 2% probabiliteit niet meegeteld) midden- of dichtbevolkt en hebben in 4/7 gevallen een middenhoge warmtevraagdichtheid. De twee projecten met doublet met een hoge warmtevraag van grootverbruikers (in Tessenderlo en Lommel) blijven beide actief. De éénputsgeothermieprojecten in Kortemark en Pelt, wenselijk wegens de lage warmtevraagdichtheid, blijven actief. Wederom heeft het project in Pelt echter door de lage probabiliteit weinig kans om de socio-economische context van dit gebied te beïnvloeden.

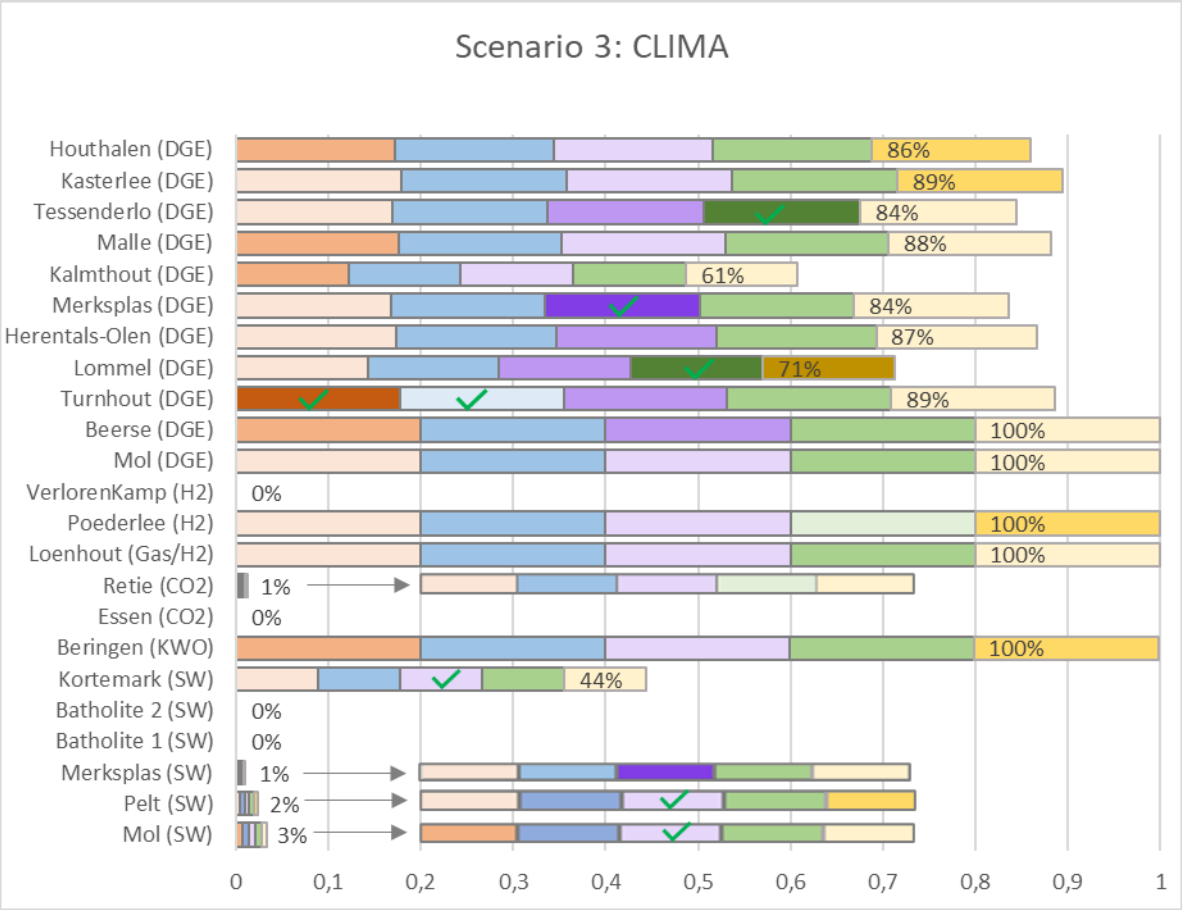


Figuur 29: Socio-economische impact voor het STOR-scenario. Alle locaties opgenomen in het regionaal model zijn weergegeven in deze grafiek, ook wanneer de activiteit op een bepaalde locatie niet geïnitieerd wordt (0%). Oranje is inwonersdichtheid, blauw is het gemiddeld inkomen, paars is de warmtevraagdichtheid, groen is de warmtevraag van grootverbruikers en geel is natuurgebied of bos. Telkens is de lichtste tint de laagste categorie en de donkerste tint de hoogste categorie. Zie Tabel 17. Het groene vinkje geeft aan dat een activiteit een specifiek, maatschappelijk gewenste bijdrage heeft. Het ontbreken van een vinkje geeft aan dat het maatschappelijk aspect neutraal beoordeeld wordt (dus niet specifiek sociaal wenselijk of onwenselijk). Socio-economische aspecten die maken dat een activiteit maatschappelijk onwenselijk, worden aangeduid met een rood kruis (zie ook

Tabel 18).

4.4 SCENARIO 3: CLIMA

In het CLIMA-scenario worden dezelfde projecten geactiveerd als in het RES-scenario. Ook alle ontwikkelingsprobabiliteiten blijven ongeveer hetzelfde.

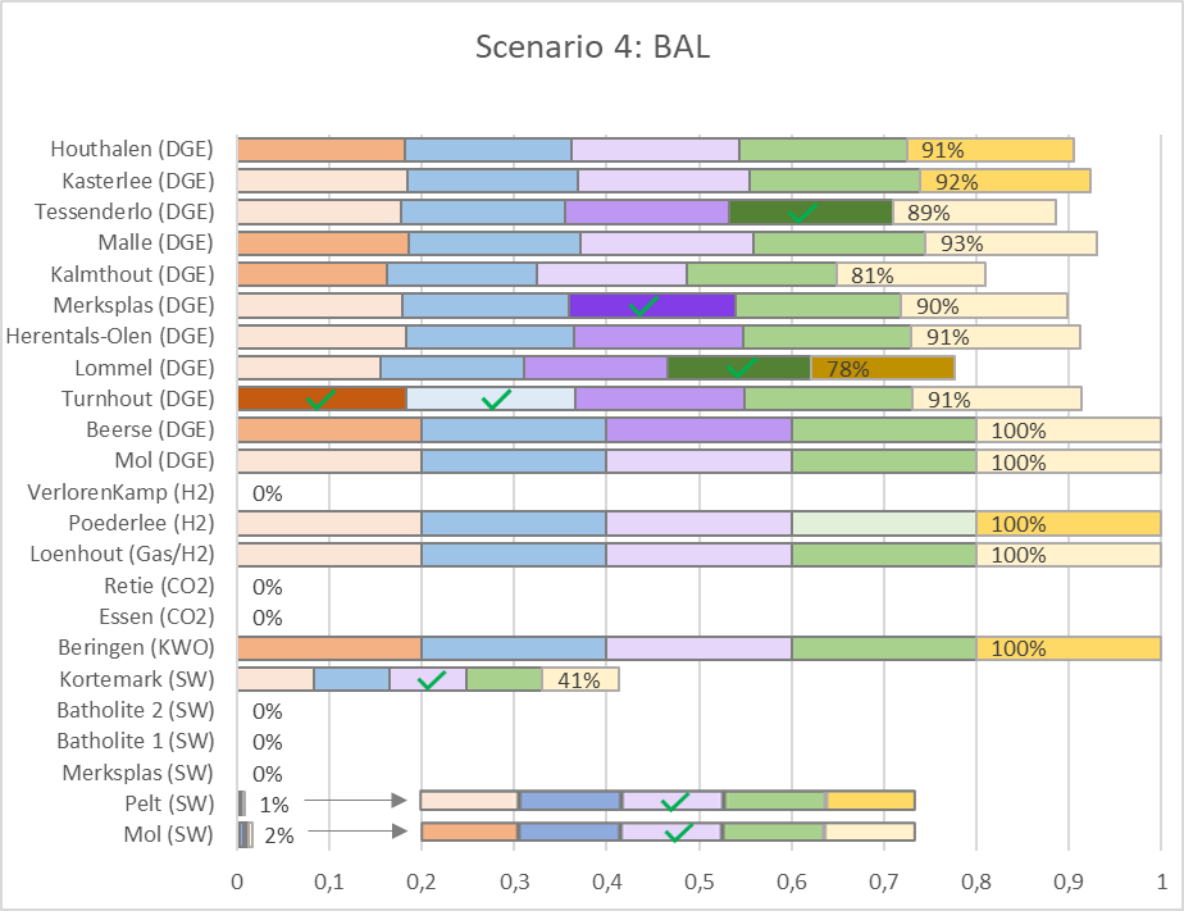


Figuur 30: Socio-economische impact voor het CLIMA-scenario. Alle locaties opgenomen in het regionaal model zijn weergegeven in deze grafiek, ook wanneer de activiteit op een bepaalde locatie niet geïnitieerd wordt (0%). Oranje is inwonersdichtheid, blauw is het gemiddeld inkomen, paars is de warmtevraagdichtheid, groen is de warmtevraag van grootverbruikers en geel is natuurgebied of bos. Telkens is de lichtste tint de laagste categorie en de donkerste tint de hoogste categorie. Zie Tabel 17. Het groene vinkje geeft aan dat een activiteit een specifiek, maatschappelijk gewenste bijdrage heeft. Het ontbreken van een vinkje geeft aan dat het maatschappelijk aspect neutraal beoordeeld wordt (dus niet specifiek sociaal wenselijk of onwenselijk). Socio-economische aspecten die maken dat een activiteit maatschappelijk onwenselijk, worden aangeduid met een rood kruis.

4.5 SCENARIO 4: BAL

In het BAL scenario worden twee projecten gedeactiveerd ten opzichte van het RES-scenario, namelijk het CO_2 opslagproject in Retie en het geothermieproject (SW) in Merksplas. Echter zorgt dit niet voor aanzienlijke verschillen, aangezien beide projecten in het RES-scenario een beperkte kans hebben (1%) om ontwikkeld te worden. De kans op ontwikkeling van alle overige geactiveerde projecten stijgt. Enkel de kans op ontwikkeling van het project in Kortemark daalt met 4 procentpunten. Dit geothermieproject (SW) is relevant voor een bredere regio dan de andere

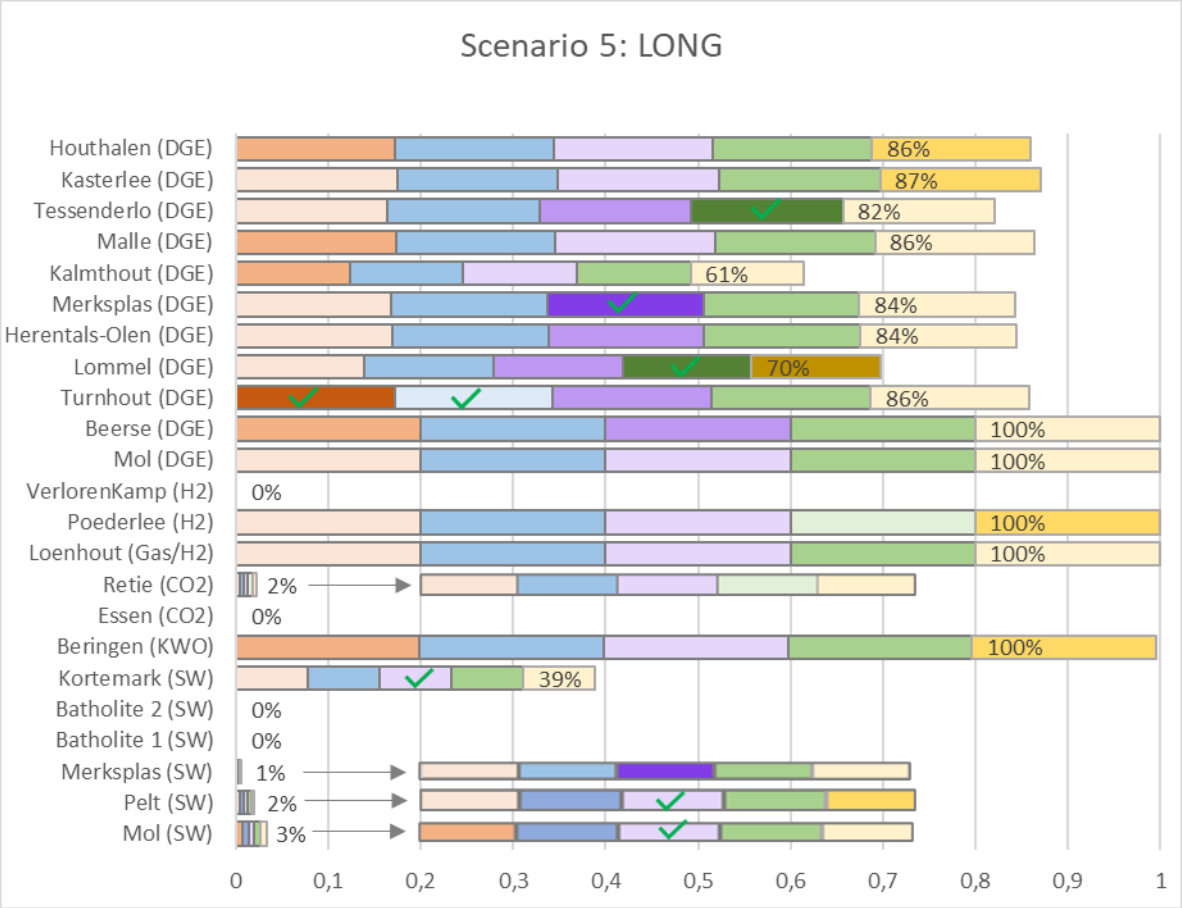
projecten (namelijk een straal van 10 km); het gebied heeft een wenselijke lage warmtevraagdichtheid.



Figuur 31: Socio-economische impact voor het BAL scenario. Alle locaties opgenomen in het regionaal model zijn weergegeven in deze grafiek, ook wanneer de activiteit op een bepaalde locatie niet geïnitieerd wordt (0%). Oranje is inwonersdichtheid, blauw is het gemiddeld inkomen, paars is de warmtevraagdichtheid, groen is de warmtevraag van grootverbruikers en geel is natuurgebied of bos. Telkens is de lichtste tint de laagste categorie en de donkerste tint de hoogste categorie. Zie Tabel 17. Het groene vinkje geeft aan dat een activiteit een specifiek, maatschappelijk gewenste bijdrage heeft. Het ontbreken van een vinkje geeft aan dat het maatschappelijk aspect neutraal beoordeeld wordt (dus niet specifiek sociaal wenselijk of onwenselijk). Socio-economische aspecten die maken dat een activiteit maatschappelijk onwenselijk, worden aangeduid met een rood kruis.

4.6 SCENARIO 5: LONG

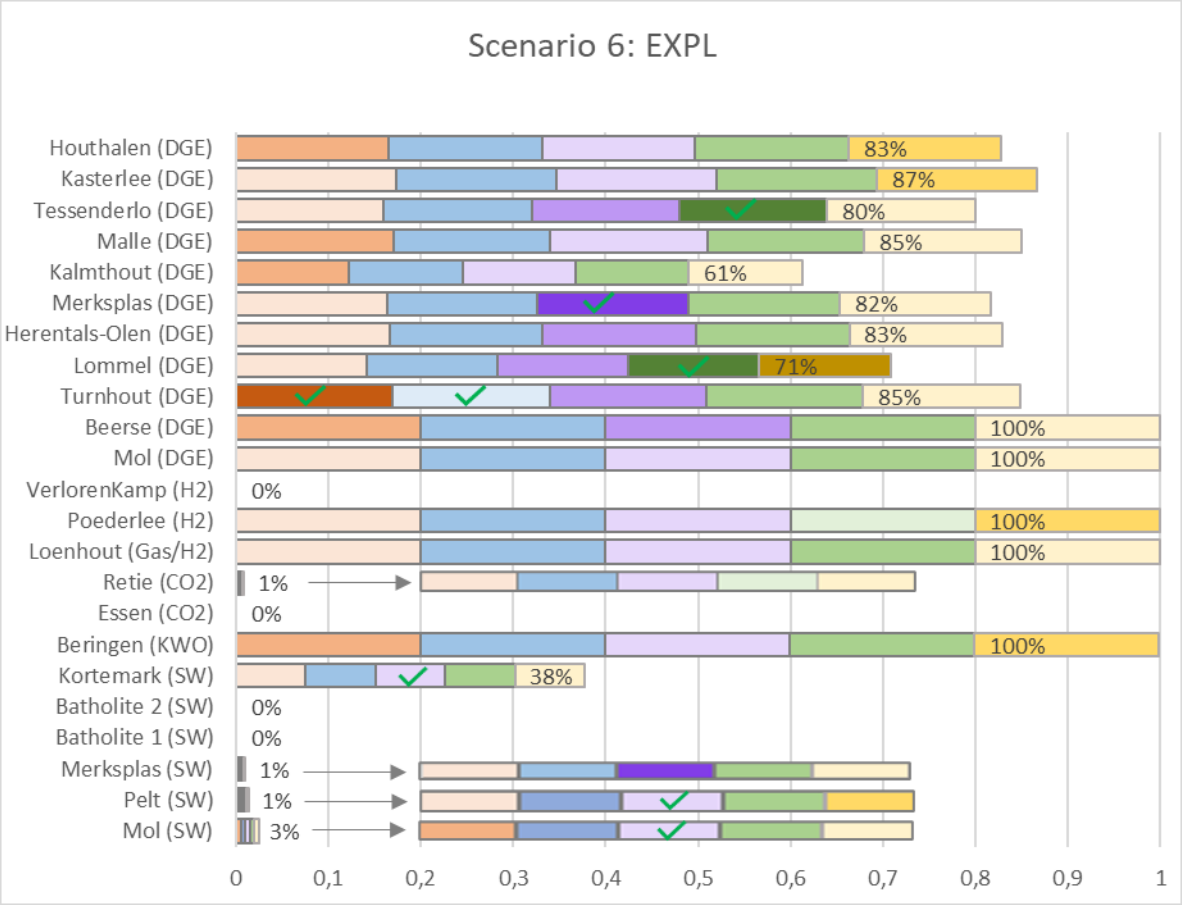
In het LONG scenario blijven dezelfde locaties geactiveerd als in het RES-scenario. Er zijn geen aanzienlijke verschillen tussen de ontwikkelingsprobabiliteiten.



Figuur 32: Socio-economische impact voor het LONG scenario. Alle locaties opgenomen in het regionaal model zijn weergegeven in deze grafiek, ook wanneer de activiteit op een bepaalde locatie niet geïnitieerd wordt (0%). Oranje is inwonersdichtheid, blauw is het gemiddeld inkomen, paars is de warmtevraagdichtheid, groen is de warmtevraag van grootverbruikers en geel is natuurgebied of bos. Telkens is de lichtste tint de laagste categorie en de donkerste tint de hoogste categorie. Zie Tabel 17. Het groene vinkje geeft aan dat een activiteit een specifiek, maatschappelijk gewenste bijdrage heeft. Het ontbreken van een vinkje geeft aan dat het maatschappelijk aspect neutraal beoordeeld wordt (dus niet specifiek sociaal wenselijk of onwenselijk). Socio-economische aspecten die maken dat een activiteit maatschappelijk onwenselijk, worden aangeduid met een rood kruis.

4.7 SCENARIO 6: EXPL

Ook in het EXPL scenario blijven dezelfde locaties geactiveerd als in het RES scenario. Wederom blijven alle probabiliteiten ongeveer gelijk.



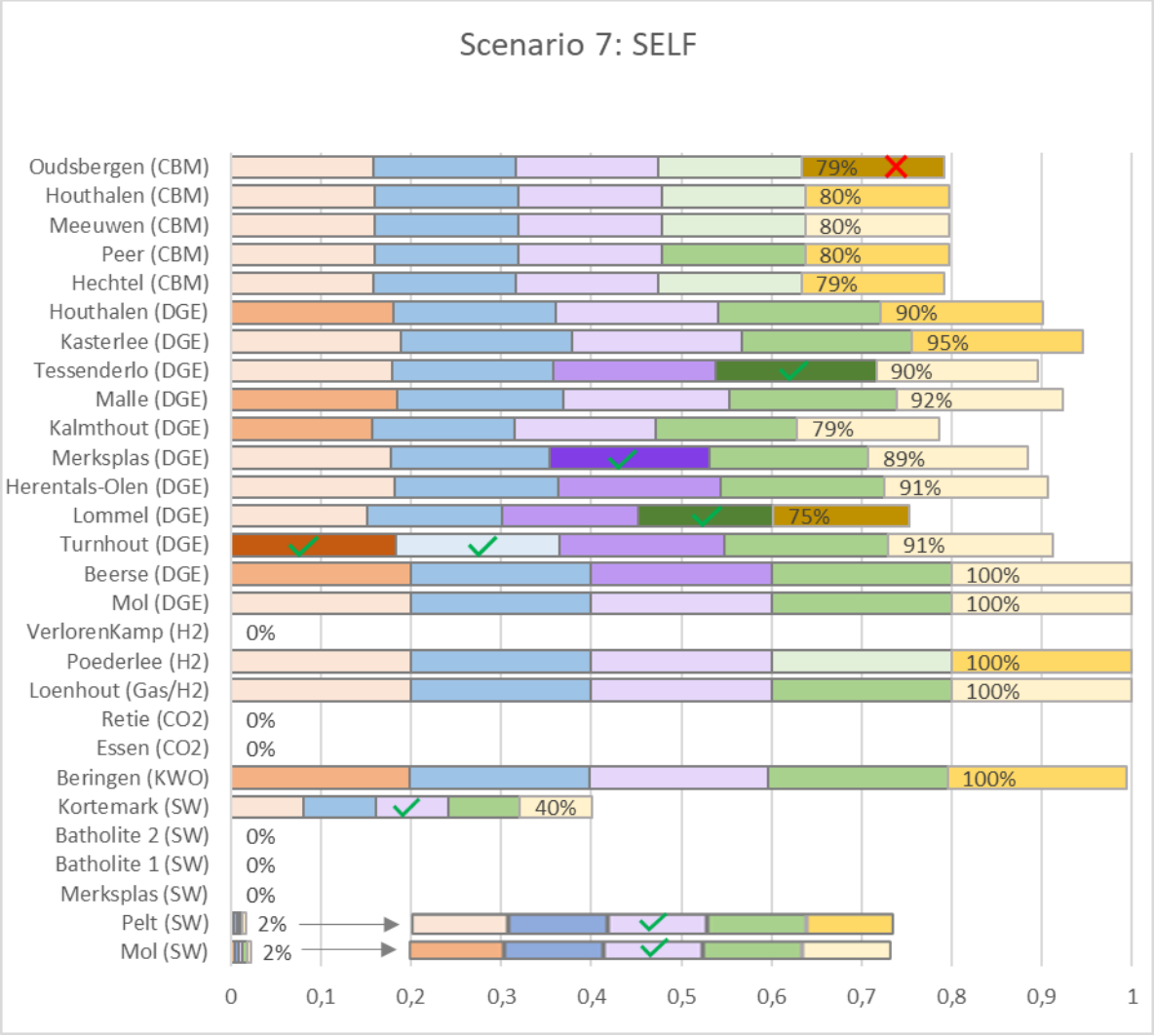
Figuur 33: Socio-economische impact voor het EXPL scenario. Alle locaties opgenomen in het regionaal model zijn weergegeven in deze grafiek, ook wanneer de activiteit op een bepaalde locatie niet geïnitieerd wordt (0%). Oranje is inwonersdichtheid, blauw is het gemiddeld inkomen, paars is de warmtevraagdichtheid, groen is de warmtevraag van grootverbruikers en geel is natuurgebied of bos. Telkens is de lichtste tint de laagste categorie en de donkerste tint de hoogste categorie. Zie Tabel 17. Het groene vinkje geeft aan dat een activiteit een specifiek, maatschappelijk gewenste bijdrage heeft. Het ontbreken van een vinkje geeft aan dat het maatschappelijk aspect neutraal beoordeeld wordt (dus niet specifiek sociaal wenselijk of onwenselijk). Socio-economische aspecten die maken dat een activiteit maatschappelijk onwenselijk, worden aangeduid met een rood kruis.

4.8 SCENARIO 7: SELF

In het SELF-scenario, ten slotte, worden het CO_2 -opslagproject in Retie en het geothermieproject in Merksplas (SW) niet geactiveerd. Deze projecten hebben in het RES-scenario allebei een beperkte ontwikkelingsprobabiliteit van 1%, dus wat de impact op de socio-economische context betreft, verandert er weinig. Voor alle andere projecten stijgt de kans op ontwikkeling, met uitzondering van de projecten die reeds een ontwikkelingsprobabiliteit van 100% hadden. De kans dat geothermie ontwikkeld wordt in Tessenderlo (DGE) en Kalmthout (DGE) stijgt het meest, met respectievelijk 10 en 18 procentpunten. Het geothermieproject in Merksplas (DGE) heeft een hoge warmtevraagdichtheid, wat positief is voor de ontwikkeling van geothermie. De

ééputsgeothermieprojecten in Kortemark, Pelt en Mol, wenselijk wegens de lage warmtevraagdichtheid, blijven geactiveerd.

Bovendien worden er in het SELF-scenario vijf nieuwe projecten geactiveerd, die in geen van de andere scenario's voorkomen. Deze locaties worden gekozen voor de winning van steenkoolgas (CBM). Deze projecten hebben alle vijf een ontwikkelingskans van ongeveer 80%. De locaties van de projecten hebben een lage inwonersdichtheid in het omringend gebied, wat positief is voor deze activiteit. Het inkomensniveau is telkens gemiddeld (wenselijk) en de warmtevraagdichtheid laag (niet relevant voor de sociale wenselijkheid). Het omringend gebied van Oudsbergen bestaat wel voor meer dan 6,6% uit natuurgebied of bos, waardoor de ontwikkeling van CBM daar minder sociaal wenselijk kan zijn.



Figuur 34: Socio-economische impact voor het SELF-scenario. Alle locaties opgenomen in het regionaal model zijn weergegeven in deze grafiek, ook wanneer de activiteit op een bepaalde locatie niet geïnitieerd wordt (0%). Oranje is inwonersdichtheid, blauw is het gemiddeld inkomen, paars is de warmtevraagdichtheid, groen is de warmtevraag van grootverbruikers en geel is natuurgebied of bos. Telkens is de lichtste tint de laagste categorie en de donkerste tint de hoogste categorie. Zie Tabel 17. Het groene vinkje geeft aan dat een activiteit een specifiek, maatschappelijk gewenste bijdrage heeft. Het ontbreken van een vinkje geeft aan dat het maatschappelijk aspect neutraal beoordeeld wordt (dus niet specifiek sociaal wenselijk of onwenselijk). Socio-economische aspecten die maken dat een activiteit maatschappelijk onwenselijk, worden aangeduid met een rood kruis.

4.9 EVALUATIE

Samengevat lijken de potentiële geothermieprojecten grotendeels wenselijke kenmerken te bezitten (geen kruisjes en bij meerdere DGE- en SW-projecten vinkjes), met een specifieke kans voor het project in Turnhout om een positieve sociale impact te hebben (groene vinkjes bij zowel de bevolkingsdichtheid als het gemiddeld inkomen). De kans dat er een geothermisch doublet ontwikkeld wordt in Turnhout is hoog in alle scenario's. Andere geothermieprojecten met groene vinkjes zijn die in Tessenderlo (DGE) en Lommel (DGE) met beide een hoge warmtevraag van grootgebruikers, dat in Merksplas (DGE) met een hoge warmtevraagdichtheid en deze in Kortemark, Pelt en Mol (alledrie SW) met een lage warmtevraagdichtheid. De projecten in Tessenderlo en Lommel zijn geactiveerd in alle scenario's met steeds een grote kans om ontwikkeld te worden. Het project in Merksplas (DGE) wordt gedeactiveerd in het STOR-scenario, maar heeft in de andere scenario's ook steeds een grote kans om ontwikkeld te worden. Het geothermieproject in Kortemark (SW) heeft een kans om ontwikkeld te worden tussen 24% en 45%, met de laagste kans in het nulscenario en circa 40% kans in alle andere scenario's. De projecten in Pelt en Mol hebben in elk scenario slechts een zeer kleine kans om ontwikkeld te worden (maximum 2% voor Pelt en 3% voor Mol).

De meerderheid van de projecten met een (midden)hoog percentage natuurgebied of bos in het omringende gebied, zijn geothermie- of CBM-projecten, alle met een hoge ontwikkelingsprobabiliteit. Bij de geothermieprojecten is de aanwezigheid van natuurgebied of bos niet relevant, maar bij de CBM-projecten is dit sociaal onwenselijk. Het CBM-project in Oudsbergen heeft een rood kruis, omdat het gesitueerd is in een gebied met de hoogste categorie van aanwezigheid van natuurgebied en bos (zie Tabel 17). Het is dus belangrijk hiermee rekening te houden als er gekozen wordt voor het SELF-scenario. Voor de rest zijn de CBM-projecten in het SELF scenario gesitueerd in gebieden met grotendeels sociaal wenselijke kenmerken. Ook het KWO-project in Beringen heeft consistent een hoge probabiliteit en enkele wenselijke kenmerken, namelijk een middenhoge bevolkingsdichtheid en een middenhoge warmtevraag van grootgebruikers.

De locaties voor opslag van H_2 hebben (met uitzondering van het project in Verloren Kamp, dat in geen enkel scenario actief is) over alle scenario's heen een ontwikkelingsprobabiliteit van 100% en bezitten ook maatschappelijk wenselijke kenmerken (lage inwonersdichtheid en warmtevraag(dichtheid) en geen ondergemiddeld inkomen). Op de locatie van het project in Loenhout (opslag H_2) wordt momenteel aardgas opgeslagen, maar ook voor deze activiteit bevat de locatie wenselijke kenmerken.

De kans dat de opslag van CO_2 geactiveerd wordt, is erg laag over de verschillende projecten en scenario's heen.

Voor de integratie van de multidisciplinaire resultaten (in 5.2Integratie van multidisciplinaire resultaten) wordt onderzocht in welke mate de activiteit in een bepaald gebied als sociaal wenselijk of sociaal onwenselijk beschouwd kan worden. Deze evaluatie gebeurt echter enkel aan de hand van het gemiddeld inkomen in het omringende gebied. De bevolkingsdichtheid, warmtevraag(dichtheid) en aanwezigheid van natuurgebied of bos worden niet in rekening genomen. De reden hiervoor is dat het gemiddeld inkomen de enige gehanteerde indicator is die inzichten geeft rond principe 3 (rechtvaardige verdeling). De andere indicatoren zijn gelinkt aan de economische en de milieu-impactevaluatie die in eerdere hoofdstukken besproken werden. Deze

laatste indicatoren horen bij principe 2 (efficiënte allocatie). Dit principe wordt in hoofdstuk 5.2 verder geëvalueerd.

Wanneer een opslag- of CBM-project zich bevindt in een gebied in een inkomenscategorie onder het gemiddelde, krijgt het project een rood kruisje en wordt het dus beschouwd als sociaal onwenselijk (zie

Tabel 18). Het geeft een indicatie dat opslag en winning van gevaarlijke stoffen proportioneel meer terechtkomen in gebieden met een armere bevolking. Wanneer een geothermieproject zich bevindt in gebied waar een inkomenscategorie lager dan gemiddeld is, krijgt het project een groen vinkje en wordt het dus beschouwd als sociaal wenselijk. In een dergelijke situatie zouden armere bevolkingscategorieën toegang kunnen krijgen tot hernieuwbare energie. Van de gesimuleerde activiteiten zijn er geen activiteiten die als 'sociaal onwenselijk' geïdentificeerd zijn wat betreft inkomenscategorie (dus geen activiteiten met een rood kruisje). Geen enkele opslagactiviteit of CBM-activiteit bevindt zich in een gebied waar het inkomen lager is dan gemiddeld; zij worden allen gezien als sociaal wenselijk. Eén geothermieproject heeft een groen vinkje (in Turnhout), ook dat project wordt gezien als sociaal wenselijk.

5 MULTIDISCIPLINAIRE EVALUATIE

5.1 MULTIDISCIPLINAIR BEOORDELINGSKADER

Dit hoofdstuk illustreert hoe verschillende discipline-specifieke resultaten samengebracht kunnen worden per beleidsscenario en hoe deze resultaten gekoppeld kunnen worden aan de duurzaamheidsprincipes opgenomen in Deelrapport D3. De duurzaamheidsindicatoren die per principe gekozen zijn, kunnen in de toekomst nog verder uitgebreid worden om zo per principe een beter totaalbeeld te verkrijgen.

5.1.1 Principe 1. Behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen

Dit principe stelt dat de voorraad hulpbronnen behouden moet blijven voor toekomstige generaties en dat ook het assimilatievermogen van de aarde als eco/geosysteem behouden moet blijven voor toekomstige generaties.

Om dit principe te beoordelen, zou er per locatie data beschikbaar moeten zijn omtrent het beschikbaar volume en de mate waarin de beschikbare hulpbron gebruikt wordt (vb. voor opslagprojecten). Voor geothermie is er ook data nodig met betrekking tot de mate waarin de geothermische hulpbron zich kan regenereren. De modellen die ontwikkeld zijn in kader van deze opdracht, laten nog niet toe om dergelijke gegevens te verzamelen. Dit zal voorwerp zijn van opvolgstudies in kader van andere lopende projecten. Desalniettemin geven de resultaten van de modellering al wel waardevolle inzichten. De volgende indicatoren worden gebruikt en kwalitatief geëvalueerd:

Indicator 1.1 – Het openhouden van ontwikkelingsopties voor toekomstige generaties. Om deze indicator te beoordelen wordt er nagegaan in welke mate er binnen een bepaald beleidsscenario ontwikkelingsopties opengehouden worden voor de toekomstige generatie. Deze indicator wordt kwalitatief geëvalueerd door na te gaan in welke mate de ondergrond ontwikkeld wordt. Hoe meer ontwikkeling nu, hoe minder ontwikkelingsopties er zijn voor de toekomstige generatie. De beoordeling van deze indicator is gebaseerd op de hoeveelheid locaties die gebruikt worden in verhouding tot de hoeveelheid locaties die gebruikt zouden kunnen worden (ook al laat het scenario dit niet toe in de periode 2025-2050). De scenario's worden kwalitatief gescoord op waarbij 0 = scenario's met meeste locaties in gebruik in de simulatie, 100% = scenario's met de minste locaties, en 50% = scenario's met gemiddeld aantal locaties. Verder onderzoek is nodig om deze indicator te kunnen kwantificeren, bijvoorbeeld door het aantal mogelijke projectlocaties te verhogen en eventueel hergebruik van volumes toe te laten. Op dit moment wordt geen onderscheid gemaakt tussen permanent of tijdelijk beslag van een volume in de diepe ondergrond.

Indicator 1.2 – Vermijden van uitputting. Om deze indicator te beoordelen wordt er nagegaan in welke mate er binnen een bepaald beleidsscenario niet-hernieuwbare hulpbronnen (extractie van lithium, CO_2-opslag en methaanproductie) geactiveerd worden, en in welke mate hernieuwbare hulpbronnen (geothermieprojecten) geïnitieerd worden. Een intensief gebruik van geothermie binnen een tijdsschaal van 25 jaar, brengt mogelijks de hernieuwbaarheid van deze hulpbron binnen deze tijdsschaal in het gedrang. Net zoals de voorgaande indicator, wordt deze indicator kwalitatief beoordeeld. Deze indicator geeft niet aan of en in welke mate er uitputting komt, maar wel hoe waarschijnlijk er in de richting van overbevraging van de ondergrond wordt gegaan. De beoordeling van deze indicator is gebaseerd op de hoeveelheid locaties die gebruikt worden voor duurzame activiteiten in verhouding tot het totaal aantal activiteiten. De scenario's worden gescoord op 0, 50

of 100 % (zie indicator 1.1). Door beperkte variatie in de 50%-groep werd deze visueel uit elkaar getrokken zodat de rangschikking duidelijk wordt.

5.1.2 Principe 2. Efficiënte allocatie

Dit principe stelt dat indien de ontwikkeling van de diepe ondergrond wenselijk wordt geacht, dit gepland en uitgevoerd moet worden met het hoogste netto voordeel voor de samenleving. De huidige modellering laat toe om een vijftal indicatoren te evalueren.

Indicator 2.1 – benutting. Deze indicator geeft een beeld van de mate waarin het potentieel van de ondergrond benut wordt maar geeft zelf geen indicatie van de netto-baat van deze benutting. De beoordeling van deze indicator is gebaseerd op de resultaten van sectie 2.6 en wordt berekend als het percentage van de beschikbare projecten dat geactiveerd wordt onder elk scenario.

Indicator 2.2 – economische waarde. Deze indicator meet de totale economische waarde van een beleidsscenario en is eveneens gebaseerd op de resultaten opgenomen in sectie 2.6.

Indicator 2.3 – milieu-impact. Deze indicator meet de vermeden CO_2-uitstoot per scenario en is gebaseerd op de resultaten opgenomen in sectie 0.

Indicator 2.4 – aanwezigheid interferenties. Deze indicator meet de mate waarin er interferenties tussen activiteiten optreden op basis van de drukverschillen (in meters stijghoogte veroorzaakt door activiteiten) die gemodelleerd worden in de controlepunten (tussen de activiteitenlocaties) van het regionaal model. De beoordeling van deze indicator is gebaseerd op de resultaten van sectie 1.4.3. Omdat de resultaten kort bij elkaar liggen, worden ze gespreid over een interval van 40 tot 60% (in plaats van 0-100%) zodat de verschillen visueel beter te raadplegen zijn.

Indicator 2.5 – aanwezigheid opslag-belemmerende activiteiten. Deze indicator meet het aantal geactiveerde niet-opslagprojecten in elk scenario die mogelijke opslagactiviteiten hinderen. De beoordeling van deze indicator is gebaseerd op de resultaten van sectie 2.6. De beïnvloeding van niet-opslagprojecten onderling wordt eerder onder interferenties meegenomen, omdat deze elkaar niet noodzakelijk uitsluiten maar wel hinder kunnen ondervinden.

5.1.3 Principe 3. Rechtvaardige verdeling

Dit principe stelt dat het gebruik van de ondergrond gepaard moet gaan met een eerlijke verdeling van kosten en baten binnen en tussen generaties.

De huidige modellering is momenteel te beperkt om inzichten te bieden met betrekking tot de verdeling van de kosten en baten over de verschillende beleidsscenario's. Dit principe houdt onder andere in dat sociaal niet-wenselijke activiteiten (zoals CO_2-opslag of andere activiteiten die mogelijks hard ingrijpen op bovengronds landgebruik), niet disproportioneel meer gelokaliseerd mogen zijn in gebieden met kwetsbare bevolkingsgroepen. Sociaal wenselijke activiteiten kunnen daarentegen ingezet worden om meer kwetsbare bevolkingsgroepen te ondersteunen. Hoewel het hier niet mogelijk is om de verdeling van kosten en baten te beoordelen, kan er wel een beeld gegeven worden van het aantal sociaal wenselijke activiteiten die binnen een bepaald scenario geactiveerd worden. De evaluatie van dit principe is gebaseerd op de resultaten van de sociale impactanalyse (sectie 4). De volgende indicator wordt geëvalueerd:

Indicator 3.1 – aantal sociaal wenselijke activiteiten. Sociaal wenselijke activiteiten zijn geothermische projecten die geactiveerd worden in gebieden waar het gemiddelde inkomen eerder laag is. Hoewel een vrij ruwe benadering, met mogelijkheid tot verfijning tussen en binnen activiteiten, werd deze aanpak gekozen om aan te geven dat duurzaam en gecentraliseerd geproduceerde warmte met warmtenet de mogelijkheid biedt om een rechtvaardige verdeling van de voordelen te verwezenlijken.

5.2 INTEGRATIE VAN MULTIDISCIPLINAIRE RESULTATEN

Onderstaand spiderdiagram toont hoe de verschillende beleidsscenario's scoren op elk van deze duurzaamheidsindicatoren. Hoe dichter tegen de buitenste rand, hoe beter de duurzaamheidsscore.

Wat betreft de indicatoren verbonden aan principe 1 worden de percentages bepaald op basis van een kwalitatieve beoordeling omdat de modellering momenteel nog geen kwantitatieve beoordeling toelaat.

Wat betreft de beoordeling van principe 2, geldt voor de indicatoren 'economische waarde' en 'vermeden CO_2-impact' dat hoe hoger de waarde is, hoe beter. Het scenario met de hoogste absolute waarde krijgt een waarde van 100%. De andere scenario's worden relatief t.o.v. het best scorende scenario beoordeeld. 'Benuttig' is het percentage van de beschikbare projecten dat geactiveerd wordt onder elk scenario. Voor de indicatoren 'aanwezigheid opslag-belemmerende activiteiten' en 'aanwezigheid interferenties' gebeurt de beoordeling relatief ten opzichte van het best en het slechtst scorende scenario. In de techno-economische simulaties wordt interferentie symmetrisch verondersteld. In realiteit impliceert 'belemmerend' vaak een richting, of een asymmetrie in de interactie tussen twee activiteiten. Deze twee indicatoren worden 'omgedraaid' ingezet in de spider, en herbenoemd naar 'afwezigheid opslag-belemmerende activiteiten' en 'afwezigheid interferenties'.

De indicator 'aanwezigheid sociaal wenselijke activiteiten' (principe 3) geeft het percentage van het aantal sociaal wenselijke activiteiten ten opzichte van het totaal aantal geactiveerde activiteiten. Figuur 35 toont hoe de verschillende beleidsscenario's scoren voor de verschillende indicatoren.

Het spider diagram toont dat een aantal beleidsscenario's vergelijkbaar scoren voor de verschillende duurzaamheidsindicatoren. Onder het NUL-scenario worden verschillende geothermische activiteiten geactiveerd. Het verhogen van de warmteprijs in het RES, CLIM, LONG, en EXPL-scenario verhoogt de benutting (I.2.1) van geothermie slechts met een paar percentpunten, maar resulteert wel in hogere inkomsten (I2.2). Onder het BAL-scenario worden de inkomsten verder verhoogd door de veronderstelde hogere inkomsten voor de winning van lithium. Onder deze scenario's wordt ook de meeste CO_2-uitstoot vermeden (I.2.3). Een hogere benuttingsgraad gaat gepaard met een vermindering aan mogelijkheden voor toekomstige generaties (I.1.1), meer kans op uitputting (I.1.2) en op interferenties tussen activiteiten (I.2.4). Ook zijn er bij een hogere benuttingsgraad meer niet-opslagactiviteiten die opslagprojecten kunnen belemmeren (I.2.5). De mogelijke toepassing van diepe geothermie (doubletsysteem) in stedelijke omgeving heeft een sociaal wenselijke impact. Dit verandert niet over de verschillende scenario's heen. Een hogere benutting leidt in deze modellering niet tot meer sociaal wenselijke activiteiten (I.3.1), waardoor het BAL en het SELFscenario het laagst scoren op deze indicator.



Figuur 35. Spider diagram waarin de beleidsscenario's gescoord worden op verschillende duurzaamheidsindicatoren. Hoe dichter de score bij de groene stippellijn, hoe hoger de duurzaamheidsscore. Het STOR-scenario scoort goed op de indicatoren I1.1 en I1.2. Dit is niet intuïtief. Reden is dat er omwille van de ongunstige geologische omstandigheden, de modellering van dit scenario aangeeft dat de kans zeer klein is dat CO_2 opslag plaatsvindt. In het geval dat er wel CO_2-opslag zou gebeuren, zal de score op deze indicatoren lager liggen dan dat dit nu het geval is. De score op deze indicatoren zou wel hoger liggen dan bij de andere scenario's omdat er onder het STOR-scenario ook locaties voor opslag van H_2 en berging van nucleair afval gevrijwaard blijven binnen een termijn van 25 jaar. Daardoor komen er minder andere activiteiten tot ontwikkeling (en dus ook minder kans op opslag-belemmerende activiteiten, uitputting of het afnemen van ontwikkelingsopties voor toekomstige generaties)

Het SELF-scenario toont een afwijkend patroon. Onder dit scenario is de benuttig en de economische waarde het hoogst, omwille van de hogere warmteprijs, de hogere lithiumprijs, en vooral de bijkomende gaswinning uit de steenkoollagen. Deze laatste activiteit is tegelijkertijd ook de reden waarom dit scenario het slechtst scoort met betrekking tot milieu-impact (I2.3), het openhouden van ontwikkelingsopties (I1.1), het vermijden van uitputting van geologische hulpbronnen (I1.2), aanwezigheid belemmerende activiteiten (I1.2.5), en aanwezigheid sociaal wenselijke activiteiten (I3.1).

Ook het STOR-scenario vertoont een andere patroon op het spiderdiagram dan de andere scenario's. Ten eerste scoort dit scenario lager dan de andere beleidsscenario's wat betreft de vermeden hoeveelheid CO_2-uitstoot. De reden hiervoor is tweeledig: er werden in dit scenario zes plaatsen uitgesloten om geothermie toe te passen en bijkomend tonen de simulaties dat, onder de veronderstelde randvoorwaarden, de ondergrond geologisch onvoldoende geschikt lijkt te zijn voor de opslag van CO_2, waardoor CO_2 opslagprojecten slechts beperkt geactiveerd worden en er meestal geen bijkomende CO_2-uitstoot vermeden wordt. Ten tweede komen er in het STOR-scenario geen niet-opslagactiviteiten tot ontwikkeling die opslag van aardgas, waterstofgas of CO_2 zouden kunnen hinderen en zijn er geen interferenties tussen deze activiteiten. Dit komt ook tot uiting in de 'lagere' score op de indicator 'benutting' (I2.1) voor dit scenario. Omdat de kans dat er CO_2 opslag plaatsvindt, klein is, scoort het STOR-scenario bijgevolg het beste op het P1-duurzaamheidsprincipe.

Let wel, stel dat de kans op CO_2 opslag hoger zou zijn, dan zou de benutting hoger liggen en dan zou dit scenario slechter scoren op duurzaamheidsprincipe 1, omdat CO_2 opslag beschouwd kan worden als een activiteit die niet-hernieuwbaar is en dus de geologische hulpbron zou uitputten (I1.2), en omdat CO_2 opslag de mogelijkheden voor het gebruik van de diepe ondergrond door toekomstige generaties zou beperken (I1.1). Anderzijds worden onder het STOR-scenario ook locaties gevrijwaard voor de berging van nucleair afval en de opslag van H_2, wat maakt dat, ook indien er CO_2 opslag toegepast zouden worden, dit scenario beter zal scoren op de indicatoren I.1.1 en I.1.2 dan de andere scenario's binnen de termijn van 25 jaar die gesimuleerd werd. Wanneer op langere termijn een locatie bestemd wordt voor de berging van nucleair afval, zal dit gebruik permanent zijn en zullen toekomstige generaties minder mogelijkheden hebben om de ondergrond bijkomend te ontwikkelen. Meer algemeen kan er gesteld worden dat het STOR-scenario kan beschouwd worden als een beleidsscenario waarbij er meer omzichtig met het gebruik van de ondergrond omgesprongen wordt door niet alle locaties tegelijk beschikbaar te stellen voor verschillende types van gebruik.

5.3 VOORUITBLIK OP LANGE TERMIJN

Welke activiteiten op lange termijn, specifiek na 2050, ontwikkeld kunnen worden houdt verband met welke activiteiten ontwikkeld zullen worden tussen 2025 en 2050, en op welke schaal ze zullen plaatsvinden. De toekomst na 2050 ligt te ver om hierover (via onzekerheidsmodellering) kwantitatieve uitspraken toe doen, maar het is wel mogelijk om dit meer algemeen te bespreken. We vertrekken hiervoor vanuit de conclusies van het spider diagram (zie vorige sectie). Voor 2050 onderscheiden we verschillende beleidsscenario's, maar trekken deze niet door na 2050 omdat we veronderstellen dat de socio-economisch of politieke situatie daarna gewijzigd zal zijn.
De lange termijn beschouwing laten we starten rond 2050 omdat 25 jaar overeenkomt met één generatie van gebruik van de diepe ondergrond (dus van 2025 tot 2050). Er wordt geen specifiek eindjaar geplaats op de lange termijn periode, behalve dan dat deze meer dan één generatie duurt. Een gevolg hiervan is dat potentiële uitputting (de kans op lokale of regionale uitputting) een relevante factor wordt, omdat deze bepaalt in welke mate toekomstige generaties in dezelfde mate gebruik kunnen maken van de ondergrond. Het plaatje is echter complexer, omdat interesse in de ondergrond op middellange termijn ook de kennis van de ondergrond zal vergroten voor toekomstige generaties, die er dan makkelijker gebruik van kunnen maken.

Het huidige zwaartepunt voor de ontwikkeling van diepe toepassingen ligt in het Bekken van de Kempen, omdat de opbouw van de geologie zich hier meer leent tot de toepassing van klassieke technologieën voor de opslag of winning van grondstoffen of warmte. Hierdoor ontstaat tevens het zelfversterkend effect dat verdere exploratie en exploitatie door een verhoging van het kennisniveau van de ondergrond voornamelijk in deze regio zal plaatsvinden. Door de beperkte uitgestrektheid in vergelijking met de gehele Vlaamse diepe ondergrond, en door de ontwikkeling van nieuwe technologieën, lijkt het opportuun toepassingen in het overige deel van de diepe ondergrond ook te onderzoeken. Het Massief van Brabant is een mogelijke kandidaat voor verschillende toepassingen, zoals éénputsgeothermie, diepe geothermie op basis van horizontale en/of gesloten systemen, en geologische opslag (zie lange termijntoepassingen hieronder).

Wat betreft de activiteiten die gemodelleerd werden op middellange termijn (2025-2050) is het belangrijk om onderscheid te maken tussen exploitatie van grondstoffen die niet regenereren (CO_2-opslag, lithiumextractie, steenkoolmethaanwinning) en andere die dat minstens gedeeltelijk wel doen (geothermie en seizoensgebonden opslag van gassen). Op basis van de huidige modelleringen en bijhorende veronderstellingen is de verwachte impact van de eerste groep vrij beperkt omdat

CO_2-opslagprojecten in Vlaanderen vrijwel niet verwacht worden op basis van de momenteel veronderstelde migratiesnelheden, steenkoolmethaanwinning enkel in het SELF-scenario voorkomt, en lithium enkel in coproductie gewonnen wordt bij geothermieprojecten (en dus in eerder beperkte mate). De extra activiteit in het SELF scenario betekent wel dat de waarde van de ondergrond in dit scenario op lange termijn het meest vermindert. Dit is temeer zo omdat het gewonnen methaan waarschijnlijk eenmalig gebruikt zal worden, terwijl bijvoorbeeld lithium duidelijker in aanmerking komt voor recyclage en dus, indien ontgonnen, meer dan één generatie in omloop kan blijven.

Tijdelijke opslagactiviteiten kunnen in principe onbeperkt doorgaan, en op middellange termijn ontwikkelde projecten kunnen ook op lange termijn voortgezet worden. Het is zelfs niet onwaarschijnlijk dat ze succesvol geconverteerd kunnen worden voor nieuwe toekomstige noden, zoals nu reeds geïllustreerd wordt door plannen om de opslagsite voor aardgas te converteren voor de opslag van waterstofgas. Beperkingen zouden eventueel kunnen ontstaan indien andere activiteiten op of in de nabijheid van opslagprojecten ontwikkeld zouden worden (door interferentie, of door de onmogelijkheid om kussengas volledig te onttrekken). Algemeen kunnen opslagprojecten voor aard- of waterstofgas echter als nuttig beschouwd worden op lange termijn.
Voor geothermische projecten (met uitsluiting van zuiver gebalanceerde koude-warmte opslag) is dit minder duidelijk. Geothermie is een hernieuwbare activiteit, maar in de geologische context van Vlaanderen waar lokaal meer aardwarmte onttrokken wordt dan er natuurlijk wordt aangevoerd, kunnen individuele projecten uitgeput raken. Er bestaat daardoor een geothermisch schaalniveau waarboven uitgeputte projecten niet meer binnen enkele generaties vervangen kunnen worden door nieuwe projecten. Hoeveel projecten er in Vlaanderen uitgevoerd kunnen worden (volgens de verschillende technologieën in de verschillende gebieden) is momenteel onbekend en werd in deze studie ook niet bepaald. De huidige ontwikkelingsplannen vallen waarschijnlijk wel binnen deze schaal. Het blijft echter een aandachtspunt om toekomstige generaties een gelijkwaardige toegang tot de ondergrond te garanderen. Vrijwel alle scenario's zijn hiervoor even gevoelig, met uitzondering van het STOR-scenario omdat hier gebieden gevrijwaard worden van de ontwikkeling van geothermie ten voordele van opslagprojecten. CO2-opslag komt, omwille van geologische redenen, niet tot ontwikkeling binnen de termijn van de simulaties (tot 2050), waardoor dus automatisch meer ondergrondse ruimte gevrijwaard blijft voor toekomstige generaties.
Sommige mogelijke activiteiten, als ze al in Vlaanderen ontwikkeld worden, worden pas op de lange termijn verwacht (verder dan 25 jaar in de toekomst, zie ook deelrapport D6). De impact van huidige activiteiten en deze die op de middellange termijn verwacht kunnen worden, en de impact van deze lange-termijn activiteiten op de maatschappij verschillen onderling sterk. De ontwikkeling van zeer diepe geothermie (>5km) bijvoorbeeld zal eerder een beperkte invloed ondervinden van bestaande projecten, net doordat de doellagen op grotere diepte liggen. Verder worden de verwachte voordelen voor de maatschappij groter ingeschat door het hoger energetisch vermogen, en het bijhorende groter potentieel om de uitstoot van broeikasgassen te vermijden. Waar dit voor geothermie nu enkel mogelijk is voor warmteproductie, zal dan ook elektriciteitsproductie hierdoor beïnvloed worden. Door het aanspreken van daarvoor onbenutte lagen wordt ook de economische waarde en de benuttingsgraad van de diepe ondergrond verhoogd.
Ondergrondse berging is de huidige langetermijn beleidsoptie voor het hoogradioactief afval in België[5]. De Nationale Instelling voor Radioactief Afval en Verrijkte Splijtstoffen (NIRAS) belast met de uitwerking en tenuitvoerlegging van deze beleidskeuze, hanteert op dit moment een doelhorizon voor realisatie vanaf 2050. Vooralsnog werd hiervoor geen locatiekeuze werd genomen (krachtens het KB van 28/10/2022 dient dit voorwerp te zijn van een besluitvormingsproces met raadpleging

[5] Koninklijk Besluit van 28 oktober 2022 tot vaststelling van het eerste deel van de Nationale Beleidsmaatregel met betrekking tot het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval en tot verduidelijking van het stapsgewijze proces voor de vaststelling van de andere delen van deze Nationale Beleidsmaatregel (BS 22 november 2022: 2022034019).

van de betrokken belanghebbenden, op nationaal, regionaal en lokaal vlak). Wel zijn de plastische kleien in de Kempen daarvoor tot op heden de meest bestudeerde optie. Indien zulk een project daar zou worden gerealiseerd is er een beperkte kans dat dit gedeeltelijk dieper dan 500 m zal worden uitgevoerd. De berging van hoogradioactief afval buiten de Cenozoïsche kleien, bijvoorbeeld in het Massief van Brabant, zou een alternatief kunnen zijn, maar werd tot nu toe niet expliciet als mogelijke optie bekeken. Ongeacht de locatie kan het plannen van andere activiteiten in de ondergrond nadelig beïnvloed worden door de aanwezigheid van zo'n opslagsite. Aangezien er momenteel weinig tot geen activiteiten in het Massief van Brabant plaatsvinden, is de invloed van de mogelijke activiteiten op middellange termijn op de inplanting van een opslagsite op dat vlak beperkt. Doch, door het zeer lange termijn karakter is het van belang om reeds vroeg rekening te houden met de inplanting van een opslagsite. De mogelijkheid van de toepassing van kernenergie op de lange termijn heeft ook een sterk reductiepotentieel voor broeikasgassen.

De opslag van potentiële energie als "pumped storage" in het Massief van Brabant heeft een relatief beperkte ruimtelijke invloed ondergronds, maar bovengronds een relatief grote impact. Gezien de huidige evolutie in landgebruik zal binnen enkele decennia het innemen van bovengrondse ruimte een nog belangrijkere impact veroorzaken (zie deelrapport D1). Anderzijds bezit deze activiteit een groot potentieel om schommelingen in duurzaam opgewekte energie op te vangen. Voor dit type project zal de afweging van maatschappelijke belangen bijzonder belangrijk zijn.

Ook zouden opslagprojecten voor drinkwater mogelijk zijn in het Massief van Brabant. Het vrijwaren van de doellagen van contaminaties is hiervoor belangrijk bij het plannen van kortere-termijn projecten en de ruimtelijke planning van lange termijnprojecten. Met een toenemend gebruik van drinkwater en de invloed van klimaatverandering op de aanvoer van grondwater kan de economische waarde van en de maatschappelijke nood aan dit type project belangrijk worden.

De toekomstige ontginning van koolwaterstoffen (steenkoolontginning, mijnmethaan, koolbedmethaan, schaliegas) kan mogelijk worden indien er een belangrijke shift in de socio-economische context plaatsvindt. Op de middellange termijn werd dit reeds beperkt onderzocht in het SELF-scenario. Uiteraard wordt verwacht dat het uitvoeren van dergelijke activiteiten een zeer belangrijke maatschappelijke impact heeft, op vrijwel elk vlak (economisch: positief; klimaat: negatief; uitputting, belemmering, interferentie: negatief; sociale wenselijkheid: momenteel negatief, maar mogelijk noodzakelijk).

De toekomstige ontginning van mineralisaties in het Massief van Brabant lijkt gelijkaardig, maar door het verschil in toepassing zijn in het bijzonder de klimaatimpact en de socio-economische omstandigheden voor ontwikkeling verschillend (bv. ontginning van elementen voor toepassing in hernieuwbare energieopwekking). Anderzijds is de impact op uitputting van de hulpbron gelijkaardig, net als mogelijke belemmeringen van andere activiteiten en interferenties.

Al deze toepassingen kunnen mogelijk een grote positieve impact hebben op de maatschappij op de lange termijn, maar een extra inspanning is nodig om de bestaande onzekerheden en blinde vlekken te verkleinen. Gezien het huidige kennisniveau en de lage ontwikkelingsgraad van deze technologieën, en het feit dat de simulatieresultaten uitwijzen dat er tussen de scenario's weinig verschillen zijn voor deze ontwikkelingen, lijkt een extra inspanning zoals een algemene, regionale exploratiecampagne (EXPL-scenario) aangewezen. Specifiek voor geothermie is er reeds interesse in het ontwikkelen van toepassingen in het Massief van Brabant. Gezien geothermie volgens de simulatieresultaten op de middellange termijn een belangrijke rol kan spelen, lijkt het exploreren voor en ontwikkelen van deze activiteit in de rest van Vlaanderen een interessante piste. Beperkte cofinanciering van private en andere projecten kan tevens zorgen voor een extra verkenning, zoals in het verleden reeds gebeurde met federale financiering[6].

[6] Via 'verdiepingen' werden boringen gepland tot in het Massief van Brabant systematisch gekernd verdiept via financiering van de Belgische Geologische Dienst. Dit is een voorbeeld van hoe met een beperkt publiek budget een grote hoeveelheid van informatie werd gewonnen die een generatie later nog steeds relevant blijft.

CONCLUSIE

Deze impactanalyse heeft activiteitsmodellen gekoppeld aan een semi-analytisch reservoirmodel en geo-techno-economische simulaties om te onderzoeken wat de kans is dat verschillende types van projecten in de diepe ondergrond tot ontwikkeling komen onder verschillende beleidsscenario's en wat de verwachte geologische, techno-economische, milieu, en sociale effecten hiervan zijn. Deze effecten werden vervolgens afgetoetst aan de duurzaamheidsprincipes die eerder in Deelrapport D3 beschreven werden.

Beleidsscenario's die het gebruik van de diepe ondergrond stimuleren voor toepassingen van diepe geothermieprojecten en eventueel bijkomend productie van lithium (RES, CLIM, BAL, LONG, EXPL) tonen onderling weinig verschillen. Deze beleidsscenario's leiden tot een hogere kans dat geothermieprojecten winstgevend zijn en tot ontwikkeling komen, waardoor uitstoot van CO_2 vermeden wordt. De hogere benutting van de ondergrond daarentegen maakt dat er ook aandacht moet zijn voor mogelijke interferenties tussen activiteiten en mogelijke uitputting van de hulpbron op lokaal niveau. Deze scenario's veroorzaken geen vermoede, maatschappelijk onwenselijke effecten op basis van bevolkingsdichtheid, inkomensniveau, warmtevraag(dichtheid) en aanwezigheid van natuurgebied. Meerdere geothermische projecten kunnen zorgen voor mogelijks maatschappelijk wenselijke effecten.

Het beleidsscenario (STOR) dat toepassingen van diepe geothermie uitsluit in de buurt van locaties die geschikt zijn voor opslag van aardgas en waterstof, CO_2, of de berging van nucleair afval, leidt tot een lagere benutting van de diepe ondergrond en minder vermeden CO_2 uitstoot. Omwille van de geologische omstandigheden is de kans namelijk erg klein dat er CO_2 opslag zou plaatsvinden. Omdat onder deze vorm van beleid niet alle locaties beschikbaar gemaakt worden voor toepassing van geothermie, is de kans op uitputting en mogelijke interferenties tussen activiteiten ook kleiner en worden er meer mogelijkheden voor het gebruik van de diepe ondergrond opengehouden voor toekomstige generaties. Eens deze locaties gebruikt zouden worden voor opslag van aardgas, waterstofgas of CO_2, of de berging van nucleair afval, zullen deze locaties wel permanent bestemd zijn waardoor er na een dergelijke beslissing minder flexibiliteit is voor toekomstige generaties om keuzes te maken. Doordat sommige locaties in dit scenario niet beschikbaar gemaakt worden, vallen er enkele maatschappelijk wenselijke projecten weg; echter zijn er in dit scenario ook geen onwenselijke projecten.

Het beleidsscenario (SELF) dat gericht is op meer zelfvoorziening, laat ook de winning van steenkoolgas toe. Deze activiteit heeft een grote kans winstgevend te zijn, wat maakt dat onder dit beleidsscenario de benutting van de diepe ondergrond het hoogst is. Onder dit beleidsscenario zal er minder CO_2 uitstoot vermeden worden, en moet er ook aandacht zijn voor mogelijke interferenties tussen activiteiten in de ondergrond en een mogelijke uitputting van de hulpbron op lokaal niveau. Bovendien bevindt het CBM-project in Oudsbergen zich in een regio met een relatief grote hoeveelheid natuurgebied (in vergelijking met de andere projecten), wat als maatschappelijk onwenselijk wordt ingeschat.

De modelleringsresultaten van het exploratiescenario (EXPL) tonen aan dat verschillen met de andere scenario's wat betreft de onderzochte indicatoren beperkt zijn. Echter, op basis van praktijkervaring wordt aanbevolen om dit scenario in meer detail te onderzoeken.

Als we de resultaten van de gesimuleerde activiteiten doortrekken naar de lange termijn (voorbij 2050) is het belangrijk erover te waken dat ook toekomstige generaties evenwaardige toegang tot de diepe ondergrond kunnen hebben. Bijvoorbeeld, bij toepassing van diepe geothermie kan de bron lokaal uitgeput geraken en is het belangrijk om nog voldoende capaciteit in de ondergrond te hebben om een vervangend geothermieproject in de nabijheid op te starten. De schaal waarop diepe geothermie in de ondergrond op een duurzame manier ontwikkeld kan worden, werd niet bepaald in kader van deze opdracht. De meeste activiteiten die gemodelleerd werden, bevinden zich in het Kempens Bekken. Andere activiteiten die niet gesimuleerd werden voor de periode 2025-2050 maar die mogelijk wel op langere termijn toegepast kunnen worden, situeren zich ook in het Massief van Brabant. De ontwikkeling van deze activiteiten zal afhangen van socio-economische ontwikkelingen. Gezien het Massief van Brabant minder gekend is dan het Kempens Bekken, en gezien het potentieel op lange termijn lijkt het aangewezen kennis en exploratie van de diepe ondergrond uit te breiden van het Bekken van de Kempen naar de rest van Vlaanderen.

De geïntegreerde modelontwikkeling die hier voorgesteld is, is uniek. Er bestaan momenteel geen andere modellen die toelaten om te onderzoeken hoe de ondergrond zich in verwachting zal ontwikkelen en wat de daarbij horende geologische, economische, milieu-, en sociale duurzaamheidseffecten zijn. Hoewel dit evaluatiemodel nog beperkingen toont, illustreert het hoe discipline-specifieke resultaten samengebracht kunnen worden in een duurzaamheidsevaluatie.

Het ontwikkelde evaluatiekader, inclusief de hieraan gekoppelde analysemethoden, biedt beleidsmakers en handhavers toepasbare tools om de huidige en toekomstige impacts van het gebruik van de diepe ondergrond te onderzoeken. Huidig en toekomstig beleid kunnen afgetoetst worden in functie van beoogde resultaten in één geïntegreerde analyse voor de economische, sociale en milieu-impact, en de lokale en regionale geologische impact. Verdere ontwikkeling qua methode, data en resultaten worden verwacht in de lopende DIAMONDS en MASSIF FWO projecten. Ondanks de nog bestaande beperkingen in methode komen uit de resultaten verschillende beleidsrelevante conclusies naar voor. Zo lijkt vooral warmteproductie een grote rol te spelen in de exploitatie van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Stimulatie hiervan heeft steeds een grote impact op verschillende vlakken. Dit wil echter niet zeggen dat andere activiteiten automatisch geweerd dienen te worden. Bijvoorbeeld, de kans dat geologische opslag van CO_2 in Vlaanderen een significante rol zal spelen lijkt klein; echter, indien dit mogelijk blijkt en als wenselijk wordt beschouwd, kan de impact op vermeden CO_2-uitstoot van één project groter zijn dan van verschillende geothermieprojecten samen. Het aantal activiteiten ontwikkeld in de verschillende scenario's is te gelijkaardig om qua interferentie op regionale schaal opvallende verschillen te veroorzaken. De multidisciplinaire evaluatie geeft ook aan dat bepaalde gescoorde indicatoren elkaar balanceren, bijvoorbeeld benutting versus vermijden van uitputting. Met dit evaluatiekader kan een gebalanceerd beleid worden ontworpen en afgetoetst, waarbij beoogde doelstellingen worden gehaald met zo weinig mogelijk ongewenste impact.

Er is verdere kennisontwikkeling nodig met betrekking tot het identificeren van bijkomende duurzaamheidsindicatoren, voornamelijk voor het evalueren van het rechtvaardigheidsprincipe. Naarmate generische of specifieke activiteitsmodellen en relevante gegevens beschikbaar worden, kunnen deze op een werkbare manier ingekanteld worden in de simulatiemethode, om resultaten accurater te maken. Verder is er nood aan geschikte geologische modellen voor het meten van bijvoorbeeld interferenties tussen activiteiten, de kans op uitputting van de hulpbron wat betreft geothermieproductie en het achterblijven van infrastructuur en stoffen in de ondergrond. Ook een verdere integratie van de verschillende modellen is wenselijk. Zo is op dit moment bijvoorbeeld per activiteit de locatie gespecifieerd en is er een beeld van de warmtevraagdichtheid, maar is er geen

expliciet koppeling gemaakt tussen de warmtevraag op die locatie en de warmteproductie door toepassing van geothermie. Dit kan kaderen in een meer diepgaande studie over potentiële activiteiten over het hele Vlaamse grondgebied.

Momenteel worden de beleidsscenario's gescoord op verschillende duurzaamheidsindicatoren en relatief ten opzichte van elkaar beoordeeld. Deze *a posteriori* evaluatie houdt in dat een scenario als meer of minder duurzaam wordt beschouwd. Deze analyse maakt nog niet inzichtelijk of een bepaalde duurzaamheidsdoelstelling bereikt wordt of niet. Daarom is het belangrijk dat er in de toekomst samen met stakeholders nagedacht wordt over duurzaamheidscriteria op basis waarvan bepaald kan worden of een activiteit al dan niet voldoet aan een duurzaamheidsprincipe. Op deze manier kan bovendien naast winstgevendheid, ook duurzaamheid in de modellering als evaluatiecriterium worden meegenomen.

6 REFERENTIES

Amar, M.N., Ghriga, M.A., Ouaer, H., El Amine Ben Seghier, M., Pham, B.T., Andersen, P.Ø., 2020. Modeling viscosity of CO2 at high temperature and pressure conditions. Journal of Natural Gas Science and Engineering 77, 103271. https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103271

EEA. (2018). *Unequal exposure and unequal impacts: social vulnerability to air pollution, noise and extreme temperatures in Europe*.

European Commission, Directorate-General for Climate Action, Directorate-General for Energy, Directorate-General for Mobility and Transport, De Vita, A., Capros, P., . . . Kalokyris, T. (2021). *EU reference scenario 2020 : energy, transport and GHG emissions : trends to 2050*: Publications Office.

Gkousis, S., Harcouët-Menou, V., Damen, L., Welkenhuysen, K., Laenen, B., & Compernolle, T. (2022). Life cycle assessment of geothermal plants targeting the lower carboniferous limestone reservoir in northern Belgium. Journal of Cleaner Production, 376, 134142. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134142

Gkousis, S., Welkenhuysen, K. Harcouët-Menou, V., Pognacik, J., Laenen, B. & Compernolle, T., 2024. Integrated geo-techno-economic and real options analysis of the decision to invest in a medium enthalpy deep geothermal heating plant. A case study in Northern Belgium. Energy Economics, 134, 107611. ISSN 0306-2619 IF2022 12.8 https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107611

Louis, G. E., & Magpili, L. M. (2002). Representing inequities in the distribution of socio-economic benefits and environmental risk [Article]. Environmental Monitoring and Assessment, 79(2), 101-119. https://doi.org/10.1023/a:1020221530393

Peris, E., & Arguelles, M. (2023). Small-area analysis of social inequalities in exposure to environmental noise across four urban areas in England [Article]. Sustainable Cities and Society, 95, 20, Article 104603. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104603

Streimikiene, D., & Kyriakopoulos, G. L. (2023). Energy Poverty and Low Carbon Energy Transition [Article]. *Energies*, *16*(2), 15, Article 610. https://doi.org/10.3390/en16020610

Welkenhuysen, K., Meyvis, B., Piessens, K., 2017. A Profitability Study of CO<inf>2</inf>-EOR and Subsequent CO<inf>2</inf> Storage in the North Sea under Low Oil Market Prices, in: Energy Procedia. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1848

7 BIJLAGE 1 ANALYTISCHE OPLOSSING VOOR FLUIDUMMIGRATIE DOOR DENSITEITSCONTRAST

The deduced model basically starts from the principles of flow (law of Darcy and law of Bernouilli), mass conservation (law of continuity) and the buoyancy force generated by the density difference between CO_2 and water, known as the law of Archimedes.
Considering in a first instance a situation of a vertical conduit (layer), in which CO_2 flows as a layer with thickness d_{CO_2} adjacent to the border of the conduit, whereas the rest of the conduit, a zone with thickness d_w, is occupied by water (Figure 1). The law of continuity can then be expressed as follows, assuming that the fluids are incompressible:

$$q_{CO_2} d_{CO_2} = q_w d_w \tag{1}$$

with q_{CO_2} : specific flow rate of CO_2 (m/s)

d_{CO_2} : thickness of CO_2 layer (m)

q_w: specific flow rate of formation water (m/s)
d_w: thickness of formation water zone (m)

Considering now two points (or sections) in the system, the law of Bernouilli can be written, assuming uniform velocities at both sections, for CO_2 flow:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho_{CO_2} g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho_{CO_2} g} + J_{CO_2} \tag{2}$$

with z: elevation height (m)
p: pressure (Pa)
g: gravity acceleration (m/s²)

ρ_{CO_2} : CO_2 density (kg/m³)

J_{CO_2} : head loss for CO_2 flow (m)

and similarly for formation water flow:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho_w g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho_w g} + J_w \tag{3}$$

with ρ_w: density of formation water (kg/m³)
J_w: head loss for formation water flow (m)

The head losses can be rewritten, using the law of Darcy:

$$J_{CO_2} = -\frac{q_{CO_2}}{K_{CO_2}} \Delta z \tag{4}$$

$$J_w = \frac{q_w}{K_w} \Delta z \tag{5}$$

with K: hydraulic conductivity (m/s)

Equations (4) and (5) can be used in equations (2) and (3) to obtain:

$$\Delta z + \frac{\Delta p}{\rho_{CO_2} g} = -\frac{q_{CO_2}}{K_{CO_2}} \Delta z \tag{6}$$

$$\Delta z + \frac{\Delta p}{\rho_w g} = \frac{q_w}{K_w}\Delta z \tag{7}$$

After multiplying equation (6) by $\frac{\rho_{CO_2} g}{\Delta z}$ and equation (7) by $\frac{\rho_w g}{\Delta z}$, the equations can be rewritten as:

$$\rho_{CO_2} g + \frac{\Delta p}{\Delta z} = -\frac{q_{CO_2}\rho_{CO_2} g}{K_{CO_2}} \tag{8}$$

$$\rho_w g + \frac{\Delta p}{\Delta z} = \frac{q_w \rho_w g}{K_w} \tag{9}$$

Subtracting equation (8) from equation (9), the following is obtained:

$$\rho_w g - \rho_{CO_2} g = \frac{q_w \rho_w g}{K_w} + \frac{q_{CO_2}\rho_{CO_2} g}{K_{CO_2}} \tag{10}$$

Here, q_w can be substituted using equation (1):

$$\rho_w g - \rho_{CO_2} g = q_{CO_2}\left(\frac{\rho_w g d_{CO_2}}{K_w d_w} + \frac{\rho_{CO_2} g}{K_{CO_2}}\right) \tag{11}$$

The specific flow rate for CO_2 can then be expressed as follows:

$$q_{CO_2} = \frac{\rho_w - \rho_{CO_2}}{\frac{\rho_w d_{CO_2}}{K_w d_w} + \frac{\rho_{CO_2}}{K_{CO_2}}} \tag{12}$$

Incorporating now the intrinsic permeability by replacing the hydraulic conductivity $\left(K = \frac{k\rho g}{\mu}\right)$ in the equation:

$$q_{CO_2} = kg\left(\rho_w - \rho_{CO_2}\right)\frac{d_w}{\mu_w d_{CO_2} + \mu_{CO_2} d_w} \tag{13}$$

with k: intrinsic permeability (m²)
μ: viscosity (Pa.s = kg/m.s)

This equation is in the assumption of a vertical aquifer. To calculate this for an aquifer under an angle α, we can multiply this formula by sin(α). The velocity can then be calculated from:

$$v_{CO_2} = \frac{kg\left(\rho_w - \rho_{CO_2}\right)}{n_e}\frac{d_w}{\mu_w d_{CO_2} + \mu_{CO_2} d_w}\sin(\alpha) \tag{14}$$

with n_e: effective porosity

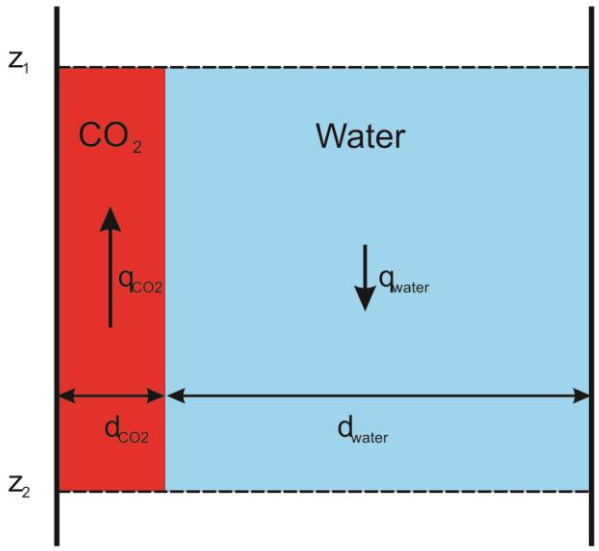


Figure 1. Schematic presentation of a vertical conduit with a CO2 layer and water.



D8 SWOT analyse voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Deelrapport 8

D8. SWOT analyse voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de sterkten, zwakten, opportuniteiten en bedreigingen met betrekking tot het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen, met specifieke aandacht voor die aspecten die van belang zijn voor een duurzaam gebruik en beheer. De resultaten van deze SWOT analyse zijn tot stand gekomen op basis van de resultaten van de voorgaande deliverables en in samenspraak met de leden van de stuurgroep.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1210 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Anne Bergmans | UAntwerpen | Faculteit Sociale Wetenschappen
Kris Welkenhuysen – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Hanne Lamberts-Van Assche – UAntwerpen | Faculteit Bedrijfswetenschappen en Economie
Kyra Verbruggen | UAntwerpen | Faculteit Sociale Wetenschappen
Kris Piessens – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Tine Compernolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Bergmans, A., Welkenhuysen, K., Lamberts-Van Assche, H., Verbruggen, K., Piessens, K., Compernolle, T. (2025). D8. SWOT analyse voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond.* Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS

MANAGEMENTSAMENVATTING

In dit deelrapport wordt een SWOT-analyse gemaakt op basis van de inzichten uit de impactanalyse (zie ook deelrapport 7) en een reflectie daarop met de stuurgroep. Sterkten en zwakten (*Strenghts & Weaknesses*) zijn aspecten intern aan de organisatie – die men zelf in de hand heeft. In dit geval werd ook de aanwezigheid van het natuurlijk kapitaal in de diepe ondergrond als intern onderdeel beschouwd van het Vlaams beleid ter zake. Opportuniteiten en bedreigingen (*Opportunities & Threats*) zijn aspecten extern aan de organisatie – die men niet zelf in de hand heeft, zoals socio-economische parameters, de vraag naar grondstoffen, evoluties in technologie en geopolitieke ontwikkelingen. Om invulling te geven aan elk van deze aspecten werd eerst gekeken naar het gebruik van de Vlaamse diepe ondergrond in het algemeen en vervolgens naar die aspecten die als cruciaal beschouwd worden voor een 'duurzaam' gebruik van de Vlaamse diepe ondergrond.

Samengevat bracht de SWOT-analyse volgende inzichten aangaande een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen:

STERKTEN	**ZWAKTEN**
De diepe ondergrond in Vlaanderen biedt mogelijkheden om activiteiten te ontwikkelen die kunnen bijdragen aan belangrijke maatschappelijke doelstellingen (o.a. met betrekking tot klimaat, energiezekerheid, het bestrijden van energiearmoede, en de voorzieningszekerheid van (kritieke) grondstoffen). Op basis van een eerste, eerder beperkte, modellering kan worden geconcludeerd dat het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen (i) kan bijdragen aan het verminderen van de CO_2-uitstoot; (ii) economisch haalbaar is onder bepaalde voorwaarden; en (iii) maatschappelijk wenselijk en haalbaar kan zijn, naargelang de omstandigheden. Waar de diepe ondergrond in Vlaanderen over een hoge doorlatendheid beschikt, heeft deze een belangrijk potentieel voor ontwikkeling van de meeste activiteiten, zoals bv. diepe geothermie of opslag van aardgas en waterstof. De modellering bevestigt dat onder bepaalde omstandigheden dit geologisch potentieel kan omgezet worden in haalbare projecten, die in de korte termijn mits goede planning andere activiteiten weinig belemmeren. De huidige beleidscontext wordt gekenmerkt door meerdere samenwerkingsverbanden op Vlaams niveau en tussen de meest relevante Vlaamse en federale beleidsactoren. De opmaak van een structuurvisie voor een planmatig en duurzaam beheer van de diepe ondergrond is decretaal bepaald sinds 2016. Via Databank Ondergrond Vlaanderen worden alle gegevens over de (diepe) ondergrond waarover Vlaanderen vrij beschikt, alsook de ontwikkelde 3D- en voxelmodellen, publiek gedeeld. Zo wordt beoogd de drempel voor maatschappelijk en ecologisch gunstige investeringen in de diepe ondergrond te verlagen. Het is belangrijk om op dit elan door te gaan en kennis gezamenlijk verder te ontwikkelen en te delen opdat activiteiten in de diepe ondergrond op een kostenefficiënte manier gepland en ontwikkeld kunnen worden binnen de grenzen van sociale en ecologische *duurzaamheid*.	Om te komen tot een werkelijk *duurzaam* gebruik van de diepe ondergrond dient met volgende elementen rekening gehouden: Uit de modellering blijkt dat in bepaalde scenario's (m.n. bij de winning van koolwaterstoffen) het gebruik van de diepe ondergrond kan leiden tot een toename aan CO_2-uitstoot. Bepaalde activiteiten zijn gevoeliger voor beïnvloeding door andere activiteiten, en interferentie is duidelijker bij een hoge doorlatendheid van de diepe ondergrond. De beschikbare kennis over de diepe ondergrond in Vlaanderen beperkt zich in grote mate tot de Kempen. Het hoge potentieel daar houdt tevens een risico in op overbevraging. De ruimte in Vlaanderen is immers zowel bovengronds als ondergronds beperkt. Voor heel wat potentiële activiteiten zijn op dit moment nog technische, wetenschappelijke of financiële barrières te overwinnen. Het ontplooien van activiteiten in de diepe ondergrond vergt een groot investeringsrisico. Op dit moment zijn er onvoldoende middelen om de kansen voor en impact van toekomstig gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen volledig in te schatten. Tal van waardevolle gegevens zijn nog niet publiek beschikbaar of zitten versnipperd bij andere instellingen en private eigenaars. Dit houdt risico's in voor de beleidsvoering (o.a. advisering en opvolging van vergunningen, inschatten kansen en risico's, kwaliteit ondergrondmodellen) en zet een rem op nieuwe investeringen. Naast versnippering van middelen, stellen we versnipperde bevoegdheden en een versnipperde aandacht voor de ondergrond vast. Hoewel de diepe ondergrond in Vlaanderen één dynamisch, samenhangend geheel vormt, geldt daarvoor vandaag een verschillend bevoegdheidskader met eigen regelgeving afhankelijk van de activiteit en kijken verscheidene private en publieke actoren nog te vaak vanuit een specifieke activiteit naar de ondergrond en niet vanuit die dynamische samenhang.

OPPORTUNITEITEN	**BEDREIGINGEN**
Uit de eerste modellering blijkt dat meerdere scenario's wijzen op de maatschappelijke, ecologische en ook economische meerwaarde van benutting van de diepe ondergrond. Om de kansen en risico's voor een duurzame valorisatie van de diepe ondergrond te verkennen, zou een gerichte exploratie het meest efficiënt zijn. De recente uitbouw van de Vlaamse Geotheek als referentiebibliotheek voor de ondergrond kan daarbij ondersteuning bieden, maar ook de kennis en data bij private actoren zouden nog verder ontsloten kunnen worden. Verdere verkenning van de diepe ondergrond in de Kempen, maar zeker ook in de rest van Vlaanderen, is nodig om een nog meer realistisch beeld te krijgen van de reële mogelijkheden en om op niveau van Vlaanderen een zo evenwichtig mogelijke spreiding na te streven van activiteiten die elkaar mogelijks zouden belemmeren, zowel in ruimte als in tijd. Aanwezigheid van bestaande ondergrondse infrastructuur (bv. verlaten steenkoolmijnen) biedt kansen voor verdere exploratie en ontwikkeling. Voor een *duurzaam* gebruik van de diepe ondergrond is het belangrijk om een visie te ontwikkelen waarbij de diepe ondergrond beschouwd wordt als een publiek goed en duurzaam handelen centraal gesteld wordt. De ontwikkeling van een Structuurvisie Diepe Ondergrond in Vlaanderen, zoals decretaal voorzien, biedt daartoe een expliciete kans. Regelgeving op maat, het uitbreiden van samenwerkingsverbanden en zo breed mogelijk ontsluiten van bestaande kennis zijn van cruciaal belang voor een geharmoniseerde aanpak van boven- en ondergrondse milieuzorg.	Een overbenutting van de diepe ondergrond kan leiden tot conflicterende situaties, uitputting en beperkingen voor toekomstige generaties. Activiteiten als diepe geothermie die we vandaag maatschappelijk en ecologisch gunstig achten, vragen hoge investeringen en zijn daardoor economisch (nog) niet interessant voor private investeerders. Een niet-geharmoniseerde regelgeving (m.n. tussen het Vlaamse en federale niveau) alsook het ontbreken van een exploratieplan of structuurvisie belemmeren een efficiënte bundeling van interne en externe middelen. De historische ontwikkeling op vlak van ruimtelijke ordening kan een hinderpaal vormen voor bijvoorbeeld het uitrollen van warmtenetten. Het bestaan van een *de facto first come first served* principe bemoeilijkt een collectief bewustzijn en een duurzaam beheer van de ondergrond als publiek goed. Indien niet tijdig een algemene visie en beleidskader wordt ontwikkeld dat benutting en beheer van de diepe ondergrond toelaat, maar binnen de grenzen van wat sociaal en ecologisch wenselijk is, bestaat het risico trends in te zetten die op termijn tot een *niet-duurzaam gebruik* kunnen leiden.

INHOUDSTAFEL

1 Inleiding 7
2 Resultaten SWOT-analyse 8
2.1 Sterkten 8
2.2 Zwakten 10
2.3 Opportuniteiten 13
2.4 Bedreigingen 15
3 Conclusie 17

1 INLEIDING

Deze SWOT-analyse vormt het sluitstuk van de impactanalyse van het gebruik en het beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen. De SWOT-inzichten zijn algemene inzichten en vloeien in hoofdzaak voort uit de impactanalyse die werd uitgevoerd in het kader van deze studie (zie ook Deelrapport 7) en een reflectie daarop met de stuurgroep. De impactanalyse integreert voor de eerste keer activiteitmodellen met reservoirmodellering en dynamische economische analyse en geeft een eerste beeld van te verwachten duurzaamheidsimpacten van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Wel blijft het noodzakelijk om in de toekomst deze analyse verder te verbeteren en te verfijnen. De SWOT inzichten moeten aldus beschouwd worden binnen het kader van deze impactanalyse. Daarnaast werd er op 10 juni 2024 een overleg gehouden tussen de uitvoerders van deze opdracht en de leden van de stuurgroep om de sterkten, zwakten, opportuniteiten en bedreigingen voor het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond te bespreken vanuit een beleidscontext. Ook die inzichten werden meegenomen in deze globale SWOT-analyse.



Sterkten en zwakten zijn aspecten, intern aan de organisatie – die men zelf in de hand heeft. ‘Intern’ betekent in dit geval het Vlaams beleid met betrekking tot het gebruik van de diepe ondergrond, met inbegrip van het natuurlijk kapitaal (kenmerken van de diepe ondergrond) waarover Vlaanderen beschikt. Dit wijkt enigermate af van de klassieke interpretatie bij een SWOT-analyse, maar valt methodisch te verantwoorden, omdat de karakteristieken van de diepe ondergrond op zich niet veranderen en de basis vormen van (mogelijk) beleid. Opportuniteiten en bedreigingen zijn aspecten, extern aan de organisatie – die men niet zelf in de hand heeft. ‘Extern’ omvat in dit geval: socio-economische parameters, vraag naar grondstoffen of andere ‘geosysteemdiensten’ die de diepe ondergrond zou kunnen leveren, maatschappelijk draagvlak/vertrouwen, evoluties in technologie, geopolitieke ontwikkelingen, beslissingen van andere (beleids)actoren, … .

Om invulling te geven aan elk van deze aspecten werd telkens eerst gekeken naar het gebruik van de Vlaamse diepe ondergrond in het algemeen en vervolgens naar die aspecten die als cruciaal beschouwd worden voor een ‘duurzaam’ gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. De vraagstelling werd als volgt voorgesteld:

- Wat zijn de **sterktes** voor het (duurzaam) **gebruik van de diepe ondergrond** in Vlaanderen? Welke troeven heeft de diepe ondergrond in Vlaanderen en hoe kan het Vlaamse beleid hierop inspelen?
- Wat zijn de **zwaktes** bij het (duurzaam) **gebruik van de diepe ondergrond**? Wat maakt het minder evident om de diepe ondergrond in Vlaanderen te ontwikkelen en hoe kan het Vlaamse beleid hierop inspelen?
- Wat zijn de **opportuniteiten** voor het (duurzaam) **gebruik van de diepe ondergrond** in Vlaanderen? Hoe kan het Vlaamse beleid hierop inspelen?
- Wat zijn de **bedreigingen** voor het (duurzaam) **gebruik van de diepe ondergrond**? Hoe kan het Vlaamse beleid hierop inspelen?

2 RESULTATEN SWOT-ANALYSE

Waar relevant, wordt in onderstaande steeds verwezen naar de verschillende beleidsscenario's die bekeken werden in de impactanalyse (zie Deelrapporten 4 en 7):

NUL: nulscenario, geen specifieke visie omtrent het gebruik van de diepe ondergrond
RES: maximale inzet op hernieuwbare energie (m.n. diepe geothermie, koude-warmte-opslag en ondergrondse opslag voor (groene) waterstof); geen ontginning van fossiele brandstoffen
STOR[1]: maximale inzet op behoud van opslagstructuren (voor CO_2, aardgas, waterstofgas en langlevend hoogradioactief afval van huidige kernenergieprogramma), bovenop inzet op hernieuwbare energie
CLIMA: maximale inzet op beperking klimaatimpact en bescherming milieu (m.n. door stimuleren van diepe geothermie, koude-warmte-opslag, opslag van groene waterstof en de opslag van CO_2); geen ontginning van fossiele brandstoffen
BAL: gebalanceerd gebruik (m.n. aanmoediging van lithiumwinning in combinatie met diepe geothermie); geothermie enkel toegelaten in gebieden zonder gekende mogelijkheden voor opslag van aardgas, waterstofgas, CO_2 en langlevend hoogradioactief afval
LONG: inzetten op lange termijn beschikbaarheid van hulpbronnen in de diepe ondergrond; bouwt voort op RES, maar verbod op CO_2-opslag en vertraagde vraag naar ondergrondse opslag voor waterstofgas
EXPL: inzetten op exploratie in functie van het reduceren van de onzekerheid met betrekking tot de beschikbaarheid en inzetbaarheid van hulpbronnen; bouwt verder op RES, met kleinere onzekerheidsrange van geologische parameters
SELF: maximale inzet op zelfvoorziening en beperken van afhankelijkheid van import van energie en materialen (aanmoedigen van diepe geothermie, koude-warmteopslag en lithiumproductie); verhoogde vraag naar waterstofgasopslag; winning van fossiele brandstoffen toegelaten in de vorm van coalbed methane (CBM); geen CO_2 emissietaks

Het modelleren op basis van deze scenario's bood zinvolle inzichten (in detail besproken in Deelrapport 7). Echter, omdat de achterliggende aannames bij een aantal scenario's niet fundamenteel verschillen (zo bouwt EXPL bijvoorbeeld voort op RES), zijn de resultaten onderling op een aantal punten onvoldoende afwijkend om in deze SWOT-oefening consequent vergelijkende uitspraken te kunnen doen.

2.1 STERKTEN

Sterkten van (het gebruik van) de diepe ondergrond in Vlaanderen

Alvast in de Kempen is er groot potentieel voor het gebruik van de diepe ondergrond. Op basis van de huidige kennis, kan worden aangenomen dat de eigenschappen van de diepe ondergrond in de Kempen minstens lokaal geschikt zijn voor diverse toepassingen, zoals diepe doubletsystemen (geothermie), opslag van aardgas en waterstof, en de berging van radioactief afval.

Op basis van de eerste modellering, kunnen we voorlopig concluderen dat het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen:

[1] In het STOR scenario werd in de simulatie op een aantal locaties diepe geothermie niet toegelaten opdat die locaties behouden zouden blijven voor mogelijke opslagprojecten (zowel binnen de tijdshorizon van de modellering alsook verder in de toekomst). De berging van langlevend hoogradioactief afval werd niet gemodelleerd omdat dit buiten de tijdshorizon van het simulatiemodel valt. Het vrijwaren van een mogelijke locatie voor de berging hiervan werd wel opgenomen in het STOR scenario.

Kan bijdragen aan het beperken van de CO_2-uitstoot. Door toepassing van diepe geothermie kan, onder de meeste beleidsscenario's (NUL-RES-CLIM-BAL-LONG-EXPL), het gebruik van de diepe ondergrond helpen om CO_2-uitstoot te vermijden. Wanneer diepe geothermie wordt ingeperkt om ruimte in de diepe ondergrond te vrijwaren voor andere activiteiten (STOR) wordt er minder CO_2-uitstoot vermeden, mede omdat de modelleringsresultaten aantonen dat er, ongeacht het gekozen scenario, weinig kans is dat er aan CO_2-opslag gedaan wordt. Inzetten op zelfvoorziening (SELF) zal door CBM-winning de vermeden uitstoot nog verder verlagen.

Economisch haalbaar is onder bepaalde voorwaarden. Wanneer er volop ingezet wordt op het gebruik van de diepe ondergrond (SELF) is de economische waarde van het gebruik van de diepe ondergrond groter dan wanneer de winning van koolwaterstoffen uitgesloten wordt (RES-CLIM-BAL-LONG-EXPL). Wanneer ook geothermie beperkt wordt, vermindert de economische waarde (STOR).

Maatschappelijk wenselijk en haalbaar kan zijn, afhankelijk van de situatie. De activiteiten zoals ze gelokaliseerd werden in de modellering, vertonen geen onwenselijke sociale aspecten in die zin dat opslagprojecten en de winning van koolwaterstoffen niet gelokaliseerd zijn in natuurgebied, of in gebieden gekenmerkt door een relatief hoge bevolkingsdichtheid of een lager dan gemiddeld inkomensniveau. Dit is een vereenvoudigde veronderstelling van sociale (on)wenselijkheid en geeft dus slechts een eerste beeld.

Voorts kon worden vastgesteld dat:

De hoge doorlatendheid van de diepe ondergrond een troef is. De impactanalyse bevestigt dat voor de meeste activiteiten een hogere doorlatendheid van de diepe ondergrond een (economisch) voordeel is bij uitbating, omdat een groter volume van het reservoir gebruikt kan worden met minimale energiekosten. Met een hoge doorlatendheid kunnen activiteiten mogelijks dichter bij elkaar gepland worden omwille van een kleiner benodigd volume, echter rekening houdend met mogelijk sterkere interferenties (zie 'Zwakten').

Er vandaag weinig kans is op belemmerende activiteiten. Er zijn slechts een beperkt aantal opslagactiviteiten in de diepe ondergrond die andere activiteiten onmogelijk maken (zie verder bij 'Zwakten').

Ontwikkelingsopties op langere termijn niet gehinderd lijken door het ontwikkelen van activiteiten vandaag. De meeste drukverstoringen door activiteiten in de diepe ondergrond lijken volgens de uitgevoerde modellering geneutraliseerd na 10 tot 20 jaar. Indien correct, introduceert drukverstoring geen beperkingen voor toekomstige activiteiten.

Sterkten van de beleidscontext voor het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Samenwerkingen. Samenwerkingsverbanden zijn er intern binnen Departement Omgeving, over de afdelingen heen (vb. juridische ondersteuning bij beleidsuitvoerende taken zoals vergunningverlening). Er zijn ook samenwerkingen binnen het Vlaamse beleidskader, bijvoorbeeld met VMM en VEKA, en met het federale beleidsniveau, zoals de ambtelijke stuurgroep diepe ondergrond (NIRAS, FANC, FOD economie en VPO). Omwille van deze samenwerkingen wordt beleid met betrekking tot de diepe ondergrond niet 'geïsoleerd' ontwikkeld, maar afgestemd met andere beleidstakken.

Visieontwikkeling. Het gebruik van de diepe ondergrond staat vandaag op de agenda van de Vlaamse administratie, die ernaar streeft een veilig, coherent en efficiënt beleid te voeren inzake het gebruik van de diepe ondergrond. Ook het Decreet Diepe Ondergrond[2] stelt uitdrukkelijk voorop dat de Vlaamse Regering een structuurvisie dient op te stellen *"met het oog op een planmatig en duurzaam beheer van de diepe ondergrond"* (Art. 63/26 §1.) (zie ook 'Opportuniteiten').

Kennisontwikkeling. VPO bereidt niet alleen het beleid m.b.t. de diepe ondergrond voor, maar voert als onderzoeksafdeling van het Vlaams Departement Omgeving ook eigen onderzoek uit, stuurt onderzoek aan en participeert in Europese projecten. Zo wordt de nodige geologische kennis ter voorbereiding, uitvoering en monitoring van het Vlaamse ondergrondbeleid (grondstoffen, energie, klimaat, omgeving) opgebouwd. Ook worden specifieke tools ontwikkeld voor een open en gebruiksvriendelijke publicatie op de Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV) van ondergronddata, 3D modellen, specifieke voxelmodellen die zicht geven op kansen en risico's voor tal van ondergrondtoepassingen, en zo meer. Het centraliseren en toegankelijk maken van ondergronddata is van cruciaal belang voor zowel gebruikers van de ondergrond als beleidsmakers en andere stakeholders en faciliteert een duurzamer en planmatig beheer. In de Geotheek worden ondergrondstalen bewaard om een bovengrondse referentiebibliotheek samen te stellen die verder beleidsondersteunend onderzoek kan faciliteren. Ook binnen verschillende Vlaamse universiteiten en onderzoekscentra wordt kennis ontwikkeld aangaande het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond.

Inspelen op sterkten voor een *duurzaam* gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

De diepe ondergrond in Vlaanderen biedt mogelijkheden om activiteiten te ontwikkelen die kunnen bijdragen aan maatschappelijke doelstellingen (o.a. klimaatdoelstellingen, doelstellingen met betrekking tot energiezekerheid en bestrijden van energiearmoede, of de voorzieningszekerheid van (kritieke) grondstoffen). De opmaak van een structuurvisie voor een planmatig en duurzaam beheer van de diepe ondergrond is decretaal bepaald sinds 2016. Via Databank Ondergrond Vlaanderen worden gegevens waarover Vlaanderen vrij beschikt , alsook specifieke tools en 3D-modellen zo toegankelijk mogelijk publiek gedeeld. Zo wordt beoogd de drempel voor investeringen in de diepe ondergrond te verlagen. Het is belangrijk om kennis gezamenlijk verder te ontwikkelen en te delen, opdat activiteiten in de diepe ondergrond op een kostenefficiënte manier ontwikkeld kunnen worden binnen de grenzen van sociale en ecologische *duurzaamheid*.

2.2 ZWAKTEN

Zwakten van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Op basis van de modellering, werd vastgesteld dat het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen:

Niet vrij is van CO_2-uitstoot. De winning van koolwaterstoffen zal leiden tot meer CO_2 uitstoot (SELF) en een mogelijk verhoogde druk op het gebruik van de diepe ondergrond.

[2] Geconsolideerde versie van 16-01-204, geconsulteerd via de Navigator Wetgeving Leefmilieu, Natuur en Energie: https//navigator.emis.vito.be.

Sommige activiteiten het potentieel van andere activiteiten belemmeren. Er zijn een beperkt aantal activiteiten die de toepassing van andere potentiële activiteiten beperken (bv. berging van langlevend hoogradioactief afval en CO_2-opslag).

Voorts mag niet uit het oog verloren worden dat:

Een hoge doorlatendheid van de diepe ondergrond gepaard gaat met een hoge kans op interferenties. Laterale interferenties (binnen één reservoirgesteente) zijn duidelijker en omvangrijker indien de doorlatendheid van het reservoirgesteente hoger is, in het bijzonder bij periodieke activiteiten (bv. seizoensgebonden productie). Dit betekent dat ook in zones met hogere doorlatendheid, die aantrekkelijker zijn om activiteiten te ontwikkelen (zie 'Sterkten'), er planmatig aandacht gegeven moet worden aan de configuratie van de activiteiten om ongunstige interferenties te voorkomen. Ook eventuele anisotropie van de diepe ondergrond moet gekend zijn om interferentiepatronen te kunnen voorzien.

De ruimte in Vlaanderen zowel bovengronds als ondergronds beperkt is. Voor verschillende vormen van activiteiten (opslag van aardgas en waterstofgas, opslag van CO_2, geothermische doubletsystemen) is het Kempisch Bekken het enige volume in de diepe ondergrond in Vlaanderen waarvan bekend is dat deze activiteiten er mogelijk zijn.

Er nog weinig bekend is over de diepe ondergrond in Vlaanderen buiten de Kempen. De diepe ondergrond van Vlaanderen buiten de Kempen is maar zeer gedeeltelijk verkend, en reservoireigenschappen lijken daar minder gunstig of voorspelbaar (bv. Massief van Brabant). Desondanks liggen in deze regio mogelijks opportuniteiten verborgen die door verdere kennisvergaring aan het licht gebracht kunnen worden (zie 'Opportuniteiten').

Heel wat activiteiten in de diepe ondergrond een groot investeringsrisico met zich meebrengen. Investeringen in grote hydrothermale aardwarmteprojecten zoals de ontwikkelingen in de Kempen gaan gepaard met grote onzekerheid in zones waar de reservoireigenschappen vandaag nog moeilijk voorspeld kunnen worden (geologisch risico). Het gros van de investeringen gebeuren bovendien up front en de terugverdientermijnen zijn zeer lang. De ervaring in andere landen waar geothermie reeds meer ontwikkeld is, leert dat voldoende financiële steun en flankerende maatregelen cruciaal zijn om de inzet van deze hernieuwbare energiebron te stimuleren.

Er nog een aantal aspecten zijn die de implementatie van activiteiten in de ondergrond bemoeilijken. Voor veel activiteiten in de diepe ondergrond zijn op dit moment nog technische, wetenschappelijke of financiële barrières te overwinnen. Bijvoorbeeld, CO_2-opslag lijkt geotechnisch gezien moeilijk haalbaar, maar meer onderzoek en exploratie zijn nodig omtrent opslagmechanismen om dit verder uit te klaren. De winning van koolwaterstoffen draagt niet bij tot het behalen van klimaatdoelstellingen. Omwille van het onderzoekslaboratorium van SCK focuste het onderzoek met betrekking tot de geologische berging voor langlevend hoogradioactief afval in België de laatste decennia vooral op de Boomse klei en is er minder kennis over andere mogelijke formaties voorhanden.

Zwakten van de beleidscontext voor het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Beperkte interne middelen. De budgettaire middelen van de Vlaamse overheid voor exploratie en kennisverzameling over de eigenschappen van de diepe ondergrond zijn beperkt, en bijgevolg is er

nog onvoldoende overzicht wat betreft kansen en beperkingen. Dit heeft tot gevolg dat ook de visie op het duurzaam en planmatig beheer van de diepe ondergrond voorlopig gestoeld is op onvolledige inzichten. Exploratie hangt vandaag sterk af van private projecten, maar die focussen op een eigen specifiek doel en beperkte locatie, terwijl er ook een Vlaanderen-breed overzicht nodig is. Diepboringen en seismiek zijn duur. Een regionaal exploratieplan zou gericht leemtes kunnen invullen, maar is tot dusver nog niet voorhanden. Indien het gebruik van de diepe ondergrond verder toeneemt in de toekomst is ook een groei in personeelscapaciteit noodzakelijk om de vergunningverlening en handhaving verder te blijven opvolgen.

Juridische uitdagingen. Er is vandaag nog geen specifieke wetgeving voor kritieke grondstoffen en warmteopslag. Ten laatste wanneer die toepassingen concreet worden, zal de wetgeving daarop uitgebreid moeten worden met een technisch adequaat en up-to-date stelsel, zoals dat in 2016 is gebeurd voor diepe geothermie. Daarnaast wordt onderzocht hoe een extra juridisch kader voor het delen van private ondergronddata in Vlaanderen kan vormgegeven worden, zodat alle beschikbare ondergronddata (na verloop van tijd en zonder strategische belangen te schaden) publiek gemaakt kan worden voor belanghebbenden.

Versnipperde aandacht en bevoegdheden. Het gebruik van de diepe ondergrond staat vandaag weliswaar op de agenda van beleidsmakers en private ondernemers, maar gebeurt doorgaans vanuit het perspectief van technologische innovatie voor een specifieke (bovengrondse) maatschappelijke uitdaging, zoals klimaatbeleid of de vergroening van de warmtevraag (zie bv. Vlaams Regeerakkoord 2024-2029: p.14 en 53) en met focus op een specifieke activiteit, zoals CCS of geothermie. Hoewel het Departement Omgeving de diepe ondergrond in Vlaanderen beschouwt als één dynamisch, samenhangend geheel en streeft naar een integraal beheer, ontbreekt voorlopig nog een duidelijke overkoepelende visie. Uit de stakeholder mapping (Deelrapport 2) kwam naar voor dat haast alle respondenten zich uitten als voorstander van een multifunctioneel gebruik van de ondergrond, maar was het animo om data te delen bij sommigen dan weer beperkt. M.b.t. het streven naar een overkoepelende visie over de diepe ondergrond in Vlaanderen moet het volgende worden gesteld:
Er geldt vandaag een verschillend bevoegdheidskader met eigen regelgeving afhankelijk van de activiteit in de diepe ondergrond. Het opsporen en winnen van natuurlijke rijkdommen en de geologische berging van koolstofdioxide zijn, evenals het wetenschappelijk onderzoek, Vlaamse bevoegdheden. De strategische aard- en waterstofgasopslag in ondergrondse structuren en de ondergrondse berging van langlevend en hoogradioactief afval zijn federale bevoegdheden. Zowel de federale staat als het Vlaamse Gewest kunnen apart voor wat hun bevoegdheden betreft beleid voeren over dezelfde ondergrond. Interferenties tussen en overlappingen van Vlaamse en federale vergunningsgebieden kunnen dus mogelijks een probleem vormen en belangenconflicten doen ontstaan. De verschillende wetgevingen kennen geen hiërarchie, maar zijn niet gestoeld op dezelfde principes waardoor rechtsonzekerheid kan ontstaan. De uitwerking van een overkoepelende visie en daaruit volgend beleid is bijgevolg een verantwoordelijkheid die gedeeld moet worden door zowel het Vlaamse als het federale beleidsniveau.

Aanpakken van zwakten die een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen belemmeren

Er zijn op dit moment onvoldoende middelen om de kansen voor en impact van toekomstig gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen volledig in te schatten. Tal van waardevolle ondergrondgegevens zijn nog niet publiek beschikbaar of zitten versnipperd bij verschillende instellingen en private eigenaars. Dit houdt risico's in voor de beleidsvoering (o.a. advisering en opvolging van vergunningen, inschatten kansen en risico's, kwaliteit ondergrondmodellen) en zet

een rem op nieuwe investeringen. Naast versnippering van middelen, stellen we versnipperde bevoegdheden en een versnipperde aandacht voor de ondergrond vast.
Voor een *duurzaam* gebruik van de diepe ondergrond, is het belangrijk om voldoende middelen vrij te maken, zodat de impact van toekomstig gebruik van de diepe ondergrond op een kritische manier ingeschat kan worden. Er is nood aan een structuurvisie die de ondergrond erkent als één dynamisch, samenhangend geheel en aan het verder verankeren van bestaande initiatieven omtrent samenwerking tussen beleidsdomeinen en de uitwisseling van data in juridische kaders.

2.3 OPPORTUNITEITEN

Opportuniteiten van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Meerdere scenario's wijzen op de meerwaarde van benutting van de diepe ondergrond. Een hogere benutting van de diepe ondergrond biedt economische, milieu, of sociale opportuniteiten (zie 'Sterkten'). Hogere benutting kan verwezenlijkt worden door het ondersteunen van geothermie (RES-CLIM-LONG-EXPL) of het toelaten van de winning van koolwaterstoffen (SELF). Winning van koolwaterstoffen zal daarentegen ook leiden tot meer CO_2-uitstoot (zie 'Zwakten' en 'Bedreigingen').

Voorwaarden voor sociale wenselijkheid. Uit de wetenschappelijke literatuur en uit de stakeholderbevraging en interacties met de klankbordgroep kwam naar voren dat de toepassing van geothermie een bijkomend sociaal voordeel kan opleveren wanneer het ingepland wordt in gebieden met een lager dan gemiddeld inkomen om zo lokale kwetsbare gemeenschappen toegang te geven tot hernieuwbare energie.

Verdere verkenning van de diepe ondergrond van de Kempen (cf. interferenties, conflicten, overbevraging) zal inzicht bieden in realistische verwachtingen. De diepe ondergrond van de Kempen houdt met zekerheid mogelijkheden in, maar verdere succesvolle en planmatige ontwikkeling vraagt om gestage kennisvergaring (bv. isotrope versus anisotrope regionale simulaties).

Verkenning van de diepe ondergrond buiten de Kempen (cf. uitputting) kan tot nog toe ongekende opportuniteiten blootleggen. De gunstige reservoireigenschappen die in delen van de Kempen aanwezig zijn en kansen bieden voor ondergrondtoepassingen zijn niet op dezelfde manier aanwezig in de overige twee derde van Vlaanderen. Toch is een betere verkenning van de diepe ondergrond buiten de Kempen noodzakelijk om ook daar kansen te detecteren (bv. technisch aangepaste winning van aardwarmte, grondstoffen, opslag van drinkwater, …) en een zo evenwichtig mogelijke spreiding na te streven van moeilijker te verenigen activiteiten (zowel in ruimte als in tijd).

Opportuniteiten van de beleidscontext voor het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Externe kennis en data bij private partijen. Private partijen die gebruik maken van de diepe ondergrond bezitten data en kennis over de geologische kenmerken van de diepe ondergrond. Dit schept mogelijkheden om publieke kennis verder aan te vullen om zo de voorheen genoemde zwakte met betrekking tot ontbrekende kennis en beperkte middelen gedeeltelijk op te vangen.

Uitbreiding van samenwerkingen. Extern worden er nog bijkomende opportuniteiten gezien om vergelijkbare samenwerkingen uit te bouwen met andere publieke en private actoren op het Vlaamse en federale beleidsniveau. Zo zijn er naast bestaande samenwerkingsovereenkomsten ook overeenkomsten in opmaak met de Koninklijke Sterrenwacht van België voor uitwisseling van data en kennis.

Aanwezigheid van bestaande infrastructuur in de diepe ondergrond. Activiteiten in de diepe ondergrond uit het verleden hebben infrastructuur achtergelaten en kennis opgeleverd die mogelijkheden bieden tot verdere ontwikkeling. In het bijzonder hebben de verlaten steenkoolmijnen en de bijhorende sites potentieel om totaaloplossingen te ontwikkelen waarbij ondergronds potentieel en bovengrondse noden op elkaar afgestemd kunnen worden, naar het voorbeeld van het Mijnwaterproject in Heerlen (NL) waar warmte en koude wordt gewonnen uit en opgeslagen in verlaten mijngangen.

Europese regelgeving. Beleid en regelgeving op Europees niveau kunnen op Vlaams niveau de ontwikkeling en uitvoering van beleid aangaande de diepe ondergrond sturen en stimuleren. Voorbeelden zijn de Green Deal, Fit for 55 en de CRMA (Critical Raw Material Act). Zo wordt er in kader van de CRMA gevraagd aan lidstaten om een exploratieprogramma voor kritieke grondstoffen op te maken. Ook de suggestie in de EU regelgeving rond koolwaterstoffen, CCS en schaliegas tot het afbakenen van zones die niet opengesteld kunnen worden voor bepaald gebruik van de ondergrond, bieden ruimte om het gebruik van de diepe ondergrond meer te sturen. Het Decreet Diepe Ondergrond bevat sinds haar inwerkingtreding in 2009 een bepaling die de Vlaamse Regering toelaat om bepaalde gebieden niet open te stellen voor opsporing of winning. Dit is een juridische grond die toelaat om de doordachte ondergrondvisie die in meerdere EU instrumenten gevraagd wordt concreet te implementeren.

Regelgeving op maat. De rubricering van VLAREM werd recent aangepast zodat die beter afgestemd is op diepe aardwarmteprojecten. Dit laat toe om in de toekomst regels op maat uit te werken.

Decreet Diepe Ondergrond. Het decreet betreffende de diepe ondergrond (8 mei 2009) biedt de juridische rechtsgrond om aan initiatiefnemers voor toepassingen in de diepe ondergrond, via opsporings- en vervolgens winningsvergunningen, een exclusief recht toe te kennen voor een bepaald volumegebied in die diepe ondergrond, wat erg belangrijk is in de context van mededinging en financiële risico's. Verder biedt dit decreet de mogelijkheid om strategische krijtlijnen uit te tekenen in een Structuurvisie Diepe Ondergrond. Binnen deze structuurvisie kunnen economische, sociale, en milieu gerelateerde duurzaamheidsafwegingen geïntegreerd worden. Omdat dit vandaag nog niet als beleidsinstrument voor handen is, wordt dit beschouwd als een opportuniteit. Een structuurvisie geeft aanleiding tot een strategische beleidsvoering. Ze biedt de mogelijkheid om naast individuele bepalingen per type van activiteit ook een integrale visie uit te schrijven en handvaten te bieden voor beleidsmakers. Hoewel niet expliciet vooropgesteld in het decreet, biedt zo'n structuurvisie, ook zonder juridisch bindend kader, de mogelijkheid om eveneens aandacht te besteden aan de samenhang tussen boven- en ondergrond en zo bij te dragen aan een geharmoniseerde aanpak inzake milieuzorg, waarbij de ondergrond niet als substituut wordt gezien om bovengrondse milieuproblemen op af te wentelen.

De diepe ondergrond als publiek goed. Als we de diepe ondergrond als gebruiksgoed bekijken, zouden we dit kunnen beschouwen als een collectief of publiek goed, en meer bepaald als een gemeenschappelijk gebruiksgoed. De structuurvisie biedt de mogelijkheid om de krijtlijnen uit te zetten voor hoe dit publieke goed binnen ecologische en sociale duurzaamheidsgrenzen ontwikkeld

kan worden. Daarnaast biedt het huidige Vlaamse beleidskader mogelijkheden om gericht ondersteunend beleid te voeren (i) met betrekking tot financiële aspecten voor het gebruik van de ondergrond (vb. Waarborgregeling) en (ii) het transport van energie door middel van warmtenetten (Call Groene Warmte). In aparte beleidsinitiatieven, zoals de uitrol van diepe aardwarmte gestuurd door de overheid, ligt dus zeker ruimte om meer te sturen.

Inspelen op opportuniteiten voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen
Om de kansen en risico's voor een duurzame valorisatie van de diepe ondergrond te verkennen, zou een gerichte exploratie het meest efficiënt zijn. Voor een *duurzaam* gebruik van de diepe ondergrond is het belangrijk om een visie te ontwikkelen waarbij de diepe ondergrond beschouwd wordt als een publiek goed en duurzaam handelen centraal gesteld wordt. Verdere verkenning van de Vlaamse diepe ondergrond, het delen van bestaande kennis en het uitbreiden van samenwerkingsverbanden spelen daarbij een cruciale rol.

2.4 BEDREIGINGEN

Bedreigingen van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Overbenutting. Een hogere benutting van de diepe ondergrond door winning van koolwaterstoffen kan tot minder vermeden CO_2 uitstoot leiden (cf. SELF-scenario en 'Zwakten'). Een hogere benutting in het algemeen (los van de specifieke activiteit) kan evenwel leiden tot meer uitputting, interferenties en beperkte mogelijkheden voor toekomstige generaties. Deze drie aspecten zijn hieronder in meer detail uitgewerkt.

Conflicten omtrent ondergronds ruimtegebruik. Door de beperkte ruimte in de diepe ondergrond en de beperkte ruimte bovengronds zouden er conflicten kunnen optreden bij het veelvuldig gebruik van de diepe ondergrond. Dergelijke conflicten kunnen verschillende vormen aannemen: tussen activiteiten onderling, tussen activiteiten en stakeholders, tussen huidige activiteiten en potentieel toekomstige activiteiten, tussen voorrang geven aan gebruik of voorrang geven aan niet-gebruik, tussen huidige en toekomstige generaties.

Uitputting van de hulpbron. Door de beperkte ruimte (en dan vooral wat betreft het Kempisch Bekken) zou de diepe ondergrond in functie van maatschappelijke doelstellingen overbevraagd kunnen worden, en dit zowel geotechnisch, ruimtelijk als sociaal.

Belemmeren van ontwikkelingsopties. Hoewel het geen deel uitmaakte van de kwalitatieve simulaties, hebben alle activiteiten die mogelijk de chemie van het formatiewater veranderen (geochemisch: opslag van CO_2, dan wel biochemisch: opslag van H_2), breuken induceren of reactiveren (injectieprojecten inclusief geothermie), of afsluitende lagen op kritieke plekken penetreren (bv. opslag van aardgas) potentieel invloed op toekomstige ontwikkelingsopties. Deze bedreiging is het grootst in het SELF scenario, en het kleinst in het STOR-scenario. Daar worden de locaties voor opslagcomplexen gevrijwaard van enig ander gebruik (waardoor relatief minder projecten geactiveerd worden, en het cumulatieve risico dus kleiner is).

Bedreigingen van de beleidscontext voor het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Beperkte geologische kennis. Het nemen van beslissingen op basis van onvoldoende informatie vormt een bedreiging voor het gebruik van de diepe ondergrond.

Beperkte externe middelen. Exploratieprogramma's voor de diepe ondergrond zijn erg kostelijk (zie "Zwakten") en er zijn weinig private investeerders die financiering kunnen voorzien om deze te ondersteunen. Het is daarom belangrijk om externe middelen zo veel mogelijk te bundelen en een plan te hebben of visie te ontwikkelen over hoe deze middelen efficiënt in te zetten.

Niet-geharmoniseerde regelgeving. Door de verschillende principes in de federale en Vlaamse wetgeving voor ondergrondtoepassingen bestaat er risico op rechtsonzekerheid. Een harmonisatie van de wetgevende stelsels op vlak van omgaan met potentiële interferenties en een gedeelde monitoringstrategie met uitwisseling van gegevens zou problemen kunnen vermijden.

Bovengrondse ruimtelijke ordening (historisch). Vlaanderen heeft een patrimonium dat bestaat uit gebouwen met een grote variatie in leeftijd en energievraag. Daarnaast is er ook slechts een beperkte uitrol van warmtenetten. Er zal rekening gehouden moeten worden met de bestaande ruimtelijke ordening wat het gebruik van de diepe ondergrond bemoeilijkt.

First come first serve principe hindert het 'collectief' denken. De facto bestaat er een 'first come first serve' principe. Het is niet eenvoudig om een collectief bewustzijn te creëren rond het beheer van de diepe ondergrond. Een structuurvisie diepe ondergrond biedt de mogelijkheid daaraan tegemoet te komen door inzicht te geven in de kansen en randvoorwaarden en te streven naar efficiëntie, planmatig beheer en samenwerking onder betrokken actoren.

Aanpakken van bedreigingen voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Overbenutting van de diepe ondergrond kan leiden tot conflicterende situaties, uitputting en beperkingen voor toekomstige generaties. Activiteiten als diepe geothermie die we vandaag maatschappelijk en ecologisch gunstig achten, vragen hoge investeringen en zijn daardoor economisch nog vaak minder interessant voor private investeerders zonder bijkomende steun.
Met betrekking tot het *duurzaam* gebruik van de diepe ondergrond, is het belangrijk om tijdig de nodige visie en beleidskaders te ontwikkelen opdat de diepe ondergrond benut kan worden, maar binnen de grenzen van wat sociaal en ecologisch wenselijk is. Een exploratieplan dat hierop afgestemd is, samen met een collectieve denkwijze, kan helpen om ondanks soms ongunstige bovengrondse ruimtelijke ordening en schaarste van middelen, toch vooruitgang te boeken en mogelijke conflictsituaties te beheren.

3 CONCLUSIE

De diepe ondergrond biedt mogelijkheden om activiteiten te ontwikkelen die kunnen bijdragen aan specifieke maatschappelijke doelstellingen, zoals klimaatdoelstellingen, het verzekeren van energiezekerheid en het bestrijden van energiearmoede. De gekende en bruikbare ruimte in de diepe ondergrond is echter schaars. Het is daarom belangrijk om deze activiteiten met voldoende (locatie-specifieke) kennis op een kostenefficiënte manier te ontwikkelen binnen de grenzen van sociale en ecologische duurzaamheid. Enerzijds bieden bestaande infrastructuur, reeds opgebouwde kennis, en het decreet diepe ondergrond handvaten om hierop verder in te zetten. Anderzijds wordt dit bemoeilijkt door een nog steeds grote nood aan (locatie-specifieke) kennis, hoge investeringskosten, een gebrek aan harmonisatie tussen federale en Vlaamse wetgeving en een overwegend *'first-come first-serve'* principe. De geplande uitwerking van een structuurvisie aangaande een verantwoord gebruik van de diepe ondergrond biedt de mogelijkheid om dit hoger op de beleidsagenda te zetten en om de diepe ondergrond te benaderen als één dynamisch, samenhangend geheel en een publiek goed dat op een duurzame manier kan ontwikkeld worden, waarbij erover gewaakt wordt dat de ondergrond niet als substituut wordt gezien om bovengrondse milieuproblemen op af te wentelen.



Participatietraject met stakeholders: Verslagen van de Klankbordgroep

Deelrapport 9

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

Participatietraject met stakeholders: Verslagen van de Klankbordgroep
Dit rapport is een bundeling van de verslagen van de Klankbordgroep, die drie keer bijeenkwam in het kader van dit onderzoek.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever
Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs
Alexandra Van Cammeren – UAntwerpen | FBE & FSW
Anne Bergmans – UAntwerpen | FSW
Hanne Lamberts-Van Assche – UAntwerpen | FBE
José Rodriguez – Belgische Geologische Dienst
Kris Piessens – Belgische Geologische Dienst
Kris Welkenhuysen – Belgische Geologische Dienst
Kyra Verbruggen – UAntwerpen | FSW
Tine Compernolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst

Publicatiedatum
2 juni 2025

Depotnummer
D/2025/3241/122

ISBN nummer
9789040304781

Wijze van citeren
Van Cammeren, A., Bergmans, A., Lamberts-Van Assche, H., Rodriguez, J., Piessens, K., Welkenhuysen, K., Verbruggen, K., Compernolle, T. (2025). D9. Participatietraject met stakeholders: Verslagen van de Klankbordgroep. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond.* Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS







MANAGEMENTSAMENVATTING

Tijdens de onderzoeksopdracht werden drie workshops gehouden met een klankbordgroep, waarin verschillende stakeholders en experten van de diepe ondergrond in Vlaanderen verzameld werden. De bedoeling van de workshops met de Klankbordgroep was om de stakeholders te informeren over de resultaten van het onderzoek, en ook hun input en feedback te krijgen tijdens het traject.

De samenstelling van de Klankbordgroep wordt eerst besproken. Nadien wordt een uitgebreid verslag gegeven van iedere workshops, waarvan de eerste plaatsvond op 19 juni 2023 en de laatste workshop op 26 maart 2024.

INHOUDSTAFEL

1 Samenstelling klankbordgroep 6
2 Workshop 1 – 19 juni 2023 7
2.1 Aanwezigen 7
2.2 Inleiding 7
2.3 Rondje principes 8
2.3.1 Principe 1. principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen 8
2.3.2 Principe 2. Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling 10
2.3.3 Principe 3. Principe van efficiënte allocatie 11
2.3.4 Principe 4. Principe van transparantie 14
2.3.5 Principe 5. Principe van inclusief bestuur 15
2.3.6 Principe 6. Principe van verantwoord risicobeheer 16
2.4 Rondje randvoorwaarden 17
2.4.1 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 1. Principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen 17
2.4.2 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 2. Principe van eerlijke (rechtvaardige) verdeling 18
2.4.3 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 3. Principe van efficiënte allocatie 19
2.4.4 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 4. Principe van transparantie 20
2.4.5 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 5. Principe van inclusief bestuur 20
2.4.6 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 6. Principe van verantwoord risicobeheer 21
2.5 Reality check 22
2.5.1 Afsluiting van de workshop 24
2.6 Nabeschouwing 24
2.6.1 Praktische toepasbaarheid principe 1 24
2.6.2 Bijkomende reflecties van de opdrachtgever 26
2.6.3 Afstemming tussen de overheidsopdracht en de duurzaamheidsprincipes 26
2.6.4 Overzicht van verdere actiepunten 28
3 Workshop 2 – 22 september 2023 29
3.1 Aanwezigheden 29
3.2 Inleiding 29
3.3 Recapitulatie workshop 1 30
3.3.1 Verslag workshop 1 30
3.3.2 Werkbaarheid P1 30
3.3.3 Algemeen onderzoeksopzet 31
3.4 Impactanalyse (I): Lijst van activiteiten 32
3.4.1 Geothermal activities 33
3.4.2 Geological storage and disposal activities 34
3.4.3 Raw material extraction activities 35
3.4.4 Groundwater activities 35
3.4.5 Hydrocarbon extractive activities 35
3.4.6 Combined geological activities 35
3.4.7 Extractive dominant activities 35
3.4.8 Additive dominant activities 35
3.5 Impactanalyse (II): Methode 35
Pauze 37
3.6 Impactanalyse (III): Beleidsvisies 37
3.6.1 Voorstel van beleidsvisies (BV) 37
3.6.2 Denkoefening 38
3.7 Impactanalyse (IV) 43
3.8 afsluiting van de workshop 44
4 Workshop 3 – 26 maart 2024 44
4.1 Aanwezigheden 44
4.2 Inleiding 44
4.3 Stakeholdermapping 45
4.4 Beleidsscenario’s 45
4.5 Impactanalyse 45
4.5.1 Methode 45

4.5.2 Resultaten 45
4.6 Multicriteria analyse 48
4.6.1 Nulscenario 48
4.6.2 Scenario 1 RES 48
4.6.3 Scenario 2 STOR 48
4.6.4 Scenario 3 CLIMA 49
4.7 Plenaire bespreking modelresultaten 49
4.7.1 Belang en relevantie 49
4.7.2 Verwachting 49
4.7.3 Ontbrekende scenario's/elementen 49
4.7.4 Toetsing principes 51
4.7.5 Betere beoordeling 51
5 Slotwoord VPO 51
Bijlagen 53
Bijlage 1 – Presentatie Workshop 1 53
Bijlage 2 – Presentatie Workshop 2 87
Bijlage 3 – Presentatie Workshop 3 114
Bijlage 4 – Resultaten Polleverywhere 1

1 SAMENSTELLING KLANKBORDGROEP

Organisatie	Leden
Bond Beter Leefmilieu	Almut Bonhage
Departement Omgeving, afdeling BJO	Shana Debrock
Departement Omgeving, afdeling SIDO	Sofie Troch
Departement Omgeving, afdeling VPO	Ann Pisman
	Anneloes Van Noordt
	Isabelle Loris
	Helga Ferket
	Jan Van Roo
	Johanna Van Daele
	Natahlie Vallet
FANC	Boris Dehandschutter
	Guillaume Pochet
Fluvius	Danny Nauwelaerts
Fluxys	Dominique Ceursters
	Jan Van de Vyver
FOD Gezondheid (Klimaat.be)	Fre Maes
	Vincent Van Steenberghe
Gemeente Mol	Frederik Loy
HITA	Stijn Bos
	Ann Elen
	Geert De Meyer
IOK	Stijn Sneyers
Janssen Pharmaceutica	Hans Claes
	Dieter Verheyen
	Stijn Kuypers
	Gianni Cuinen
NIRAS	Laurent Wouters
	Maarten Van Geet
POM Limburg	Maxime Corvilain
Provincie Antwerpen	Tahnee Vansteenbrugge
Provincie Limburg	David Michiels
	Griet Maes
SCK CEN	Koen Beerten
Streekplatform Kempen	Thea Denissen
Tuinbouwcluster Merksplas	Frans De Nayer
VITO	Ben Laenen
Vlaams Energie- en Klimaatagentschap (VEKA)	Caroline Vermeulen
Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)	Cis Slenter
	Ywan Dejonghe

2 WORKSHOP 1 – 19 JUNI 2023

Dit hoofdstuk is een verslag van de eerste workshop met de Klankbordgroep, die plaatsvond op 19 juni 2023.

2.1 AANWEZIGEN

Uitvoerders (onderzoeksteam KBIN-UA):

- Tine Compernolle (Belgisch Geologische Dienst & Universiteit Antwerpen)
- Kris Welkenhuysen (Belgische Geologische Dienst)
- Kris Piessens (Belgische Geologische Dienst)
- Anne Bergmans (Universiteit Antwerpen)
- Sophie Van Schoubroeck (Universiteit Antwerpen)
- Gwendy Bonte (Universiteit Antwerpen)

Opdrachtgever:

- Jan Van Roo (Vlaams Planbureau voor Omgeving), opdrachtgever
- Helga Ferket (Vlaams Planbureau voor Omgeving)
- Johanna Van Daele (Vlaams Planbureau voor Omgeving), DB van de opdracht

Klankbordgroep:

- Nathalie Vallet (Universiteit Antwerpen/Vlaams Planbureau voor Omgeving)
- Shana Debrock (Departement Omgeving, Afdeling beleidsontwikkeling …)
- Sofie Troch (Departement Omgeving, Afdeling strategie, …)
- Ywan Dejonghe (VMM)
- Griet Maes (provincie Limburg)
- Frans De Nayer (Tuinbouwcluster Merksplas)
- Koen Beerten (SCK)
- Maarten Van Geet (NIRAS)
- Dominique Ceursters (Fluxys)
- Jan Van de Vyver (Fluxys)
- Danny Nauwelaerts (Fluvius – Synductis)
- Jeroen Vandael (Johnson & Johnson)
- Ben Laenen (VITO)
- Stijn Bos (HITA)
- Ann Elen (HITA)
- Raphael De Plaen (Koninklijke Sterrenwacht)
- Manuel Sintubin (KULeuven, Departement Aard- en Omgevingswetenschap)
- Noël Vandenberghe (KULeuven, Faculteit Wetenschappen)
- Brent Bleys (UGent, Centrum voor Duurzame Ontwikkeling)
- Thomas Hermans (UGent, Departement Geologie)
- Paul Vansteenlandt (geoloog en mijningenieur op rust)

2.2 INLEIDING

- Welkom door Tine Compernolle (TC) in naam van het onderzoeksteam
- Toelichting van de opdracht door de opdrachtgevers
- Toelichting van de uitvoering door TC
- Toelichting bij de workshop door TC

De PowerPoint presentatie die gebruikt werd tijdens de workshop is toegevoegd in Bijlage 1 – Presentatie Workshop 1.

2.3 RONDJE PRINCIPES

Voor de start van de workshop hebben de leden van de klankbordgroep een overzicht ontvangen met een voorstel voor 6 principes van een duurzaam beheer van de diepe ondergrond. Deze lijst van principes werd opgesteld op basis van wetenschappelijke literatuur en een Delphi-bevraging onder nationale en internationale experten, waaronder enkele leden van de klankbordgroep. Alle aanwezigen kregen tijdens deze ronde de kans om hun opmerkingen op deze principes te geven. Dit verliep in korte discussiesessies in kleine groepjes (3 à 4 deelnemers), gemodereerd door één van de onderzoekers.

2.3.1 Principe 1. principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen

2.3.1.1 Voorgestelde formulering P1

Het 'Principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen' (*principle of conserving resources and assimilative capacity*) vertrekt van het beginsel dat hulpbronnen en het assimilatievermogen van het ecosysteem aarde integraal beschikbaar moeten blijven voor toekomstige generaties, oftewel rechtstreeks, oftewel door een actief opbouwen van hernieuwbare capaciteit. Bij de formulering wordt het als volgt uitgesplitst:

Principe van het behoud van hulpbronnen

De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties. Voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn, betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (behoud van hulpbronnen). Voor niet-hernieuwbare geologische hulpbronnen moet de extractie van hulpbronnen gepaard gaan met de creatie van hernieuwbare equivalenten (koppeling van hulpbronnen).

The resource stock needs to be conserved for future generations. For geological resources that are renewable, this implies that the extraction rate is limited to regeneration rates (resource preservation). For non-renewable geological resources, the extraction of resources needs to be matched with creation of renewable equivalents (resource pairing).

Principe van het behoud van het assimilatievermogen

Het assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem moet behouden blijven voor toekomstige generaties. De ontginningsschaal van geologische hulpbronnen dient beperkt te worden zodat de gerelateerde afvalstromen het hernieuwbare assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem niet overschrijden (behoud van assimilatievermogen). Als assimilatieprocessen te traag zijn om hernieuwbaar afvalstoffen te verwerken, dan moet het tekort aan assimilatievermogen gepaard gaan met een actief herstel van dat vermogen (koppeling van herstel).

Assimilative services of ecosystem Earth need to be conserved for future generations. Extraction scale of geological resources is limited so that related waste streams do not exceed the renewable assimilative capacity of ecosystem Earth (assimilative capacity preservation). If assimilation processes are too slow to be renewable, then loss of assimilative capacity needs to be matched with active restoration of that capacity (restoration pairing).

De oorspronkelijke Engelstalige versie wordt hier mee vermeld omwille van opmerkingen die terug te brengen zijn op een vertaalfout.

2.3.1.2 Samenvatting opmerkingen P1

Elk van de zes groepen kreeg een algemene toelichting over het principe, en daarna gelegenheid om opmerkingen te formuleren. Hierbij werd gelet op het verzamelen van de opmerkingen en vragen

naar verduidelijking, en werd er niet overgegaan tot discussie. De verzamelde opmerkingen worden hieronder weergegeven zoals ze ontvangen werden. Er wordt in dit verslag niet gepoogd om tegenstellingen tussen gemaakte opmerkingen weg te werken.

Als fundamentele bezorgdheden bij dit principe (P1) werd geopperd dat het ingaat tegen de wetten van de thermodynamica, dat het principe onrealistisch is voor nagenoeg elke geologische hulpbron (in het bijzonder voor mijnbouw), en vrijwel algemeen werd aangegeven dat het 'pairing-principle' geen realistische uitweg biedt. Ook lijkt P1 niet compatibel met dringende transitiemaatregelen die genomen moeten worden om het overschrijden van planetaire grenzen tegen te gaan.

Als bevestiging werd aangegeven dat het concept 'duurzaam' strikt maar juist gedefinieerd wordt, dat met andere woorden iets niet duurzaam genoemd mag worden als het niet aan dit principe voldoet.

Dit leidt ook tot de bemerking dat het bestempelen van specifiek geologische hulpbronnen als niet-duurzaam een politiek argument kan vormen om activiteiten in de diepe ondergrond tegen te gaan, of kan leiden tot een overreglementering of tot het opleggen van onrealistisch strikte voorwaarden.

De schaal van toepassing werd ook aangehaald, waarbij werd aangegeven dat een lokale overschrijding van P1 zou kunnen bijdragen tot meer duurzaamheid op regionale of internationale schaal.

Verdere bezorgdheden of onduidelijkheden gingen in de richting van criteria en indicatoren, zoals wie de regeneratie van geothermie zou moeten inschatten (overheid of exploitant), en de gevolgen van dergelijke keuzes. Hieraan gekoppeld is ook de meer fundamentele bespiegeling dat technologische evoluties zulke inschattingen beïnvloeden, bijvoorbeeld door het verlagen van de minimaal nuttige productietemperatuur van geothermie, of andere verbeteringen in productie efficiëntie. Ook werd opgeworpen dat het in praktijk brengen van P1 uiterst moeilijk zou zijn omwille van onzekerheden, en daarmee gerelateerde verschuivingen van *planetary boundaries*.

De algemene toepasbaarheid van P1 werd ook in vraag gesteld omwille van het zeer verschillend karakter van ondergrondse activiteiten.

Er werd ook aangegeven dat het onduidelijk was hoe P1 toegepast moest worden op secundaire hulpbronnen, en op bijproducten als Lithium bij geothermie (is dit een efficiënte meerwaarde, of is het niet-hernieuwbaar en daarom niet wenselijk?).

Ook bestond er onduidelijkheid over hoe de termen hernieuwbaar en duurzaam zich tot elkaar verhouden, of hoe duurzaamheid in een algemene betekenis onderscheiden moest worden van duurzame geologische extractie. Of werd er aangegeven dat 'hernieuwbaar' toepasbaar was op aardwarmte, zon en wind, maar 'cyclisch' gebruikt moest worden voor opslag van methaan of waterstof, en nog ander taalgebruik nodig was voor extractieve ontginning of opslag van radioactief afval.

Er werd ook tegenkanting geopperd tegen de algemene aanpak om beleid en discussie rond beleid te stoelen op principes.

2.3.2 Principe 2. Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling

2.3.2.1 Voorgestelde formulering P2

Het gebruik van de ondergrond moet gepaard gaan met een eerlijke verdeling van kosten en baten binnen en tussen generaties.

Eerlijke verdeling betekent het voorkomen dat kosten worden afgewenteld op kwetsbare groepen of actoren die geen baat hebben bij een bepaalde ontwikkeling, en het streven naar extra voordelen voor behoeftige groepen.

De oorspronkelijke Engelstalige versie (met duiding) wordt hieronder mee vermeld omwille van opmerkingen bij de formulering van het principe.

Utilization of the subsurface should be guided by a fair distribution of costs and benefits within and across generations.

The development of subsurface activities and related below and above ground infrastructure can generate issues of fairness and justice, concerning how the benefits and burdens of these developments are divided between various groups in society and across generations. Distributional justice is about striking a balance between equity (outcomes should be proportional to inputs provided by different stakeholders), equality (everyone should have an equal share in an outcome), and need (those in need should get a larger share). There is no straightforward, one fits all answer to where that balance lies, as views on what is fair or unfair are contextual, and will differ between concerned actors, but also across space and time. Taken the baseline for the UN's Sustainable Development Goals as a reference point: a call to action to end poverty, protect the planet and improve the lives and prospects of everyone, everywhere; fair distribution is interpreted here as to avoid costs being offloaded on vulnerable groups or actors not benefitting from a particular development, and to strive for assuring additional benefits for those in need (e.g. explicitly include poor households in geothermal energy projects).

2.3.2.2 Samenvatting opmerkingen P2

Algemeen was er soms verwarring of gemaakte opmerkingen eerder vallen onder principe 2 of principe 3. Er werd toegelicht dat principe 3 de bepaling van kosten en baten omvat, terwijl principe 2 focust op wie de kosten en baten ondervindt. Hoe de kosten en baten verdeeld zijn tussen stakeholders (waaronder ook de maatschappij in het algemeen).

Principe 2 en 3 kunnen misschien beter gewisseld worden

Wat betreft de formulering, was er de opmerking dat het niet nodig is om 'kwetsbare groepen' expliciet te vernoemen. Het woord 'kwetsbaar' mag geschrapt worden. 'kwetsbare groepen' zou ook 'kwetsbare bedrijven' moeten omvatten. Kwetsbaarheid evolueert doorheen de tijd. Wie nu niet kwetsbaar is, is dat in de toekomst misschien wel.

Het is moeilijk om te bepalen wat 'eerlijk' is. Is dit iets 'absoluut' of 'proportioneel/relatief'? Wat nu als eerlijk beschouwd wordt, wordt in de toekomst misschien niet meer beschouwd als eerlijk. Ook kosten en baten evolueren doorheen de tijd. Wat nu een kost is, wordt misschien een baat in de toekomst. Soms zijn er ook enkel maar kosten (vb. berging radioactief afval). Het is ook moeilijk op voorhand te weten hoe groot de baten zullen zijn.

Sommige stakeholders geven aan dat dit principe valt onder de taak van de overheid. Een bedrijf kan hiervoor niet verantwoordelijk gesteld worden. Sommige stakeholders geven aan dat dit principe 'communistisch' aanvoelt.

Dit is een principe dat moeilijk 100% haalbaar lijkt.

Als een bedrijf bereid is om zoveel kosten te maken, moet dit bedrijf ook de baten kunnen ontvangen. Bij het beoordelen van een eerlijke verdeling moet er ook gekeken worden naar indirecte kosten en baten (milieubesparing als indirecte baat, anderzijds zijn er misschien indirecte kosten voor aanpassingen aan de infrastructuur). Het is moeilijk te bepalen hoever je hierin gaat.

Erover waken dat iedereen kans krijgt om de ondergrond te benutten. Sommige lijken nu geen kans te krijgen omdat het tijdskader waarin ontwikkelingen vergund kunnen worden, krap is.

Een aantal deelnemers geven aan dat baten verder moeten gaan dan het niveau van de exploitant. Als er ook voordelen, sociale baten zijn voor de verdere maatschappij dan individuele baten voor de exploitant, is dat meer rechtvaardig.

De vervuiler betaalt.

Hoe rechtvaardig is het als één activiteit de ondergrond claimt? Sommige deelnemers geven aan dat een bepaalde toepassing geen andere activiteiten mag uitsluiten. Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen tijdelijke en permanente activiteiten.

Wie de kosten en baten ontvangt, zal grotendeels bepaald worden door de geologische omstandigheden. De geologie is bepalend voor wat er waar ontwikkeld kan worden. De impacts zijn locatie gebonden. Ook de hoeveelheid baat wordt bepaald door de geologische omstandigheden en is moeilijk op voorhand in te schatten. Eens de baat gekend is, volgt de vraag: ‘voor wie’.

Hoe komen tot een rechtvaardige verdeling als het gebruik collectief is? Moet er een onderscheid gemaakt worden tussen publiek gebruik en privaat gebruik? Wat prioriteit geven? Voor een gemeente is het soms zo dat de gemeente de kost draagt, maar dat de baten niet toekomen aan alle inwoners van de gemeente.

Op voorhand al financiële middelen voor eventuele compensatie aan de kant zetten. Vergelijkbaar met een mijnschadefonds. Ook de herontwikkeling van de vroegere mijnsites wordt beschouwd als een goed voorbeeld.

Compensatie mag niet te ver gaan, want zou kunnen leiden tot chantage. Een bedrijf zou allerlei zaken kunnen beloven, de ontwikkeling van de omgeving te sterk opwaarderen om zo de lokale gemeenschap te overtuigen mee in het project in te stappen.

Er werd ook een opmerking geformuleerd om suboptimale versnippering te voorkomen. Deze opmerking valt eerder onder principe 3.

2.3.3 Principe 3. Principe van efficiënte allocatie

2.3.3.1 Voorgestelde formulering P3

Ontwikkeling van de ondergrond moet worden gepland en uitgevoerd met het hoogste (positieve) netto voordeel voor de samenleving.
Baten en kosten hebben zowel betrekking op economische, milieu- en sociale effecten, en dit over de hele levenscyclus van de ontwikkeling.

2.3.3.2 Samenvatting opmerkingen P3

Iedereen is het eens met het principe van allocatieve efficiëntie, er zijn echter zaken in de definitie die moeilijk te vatten zijn. Het merendeel van de opmerkingen zijn terug te leiden naar het probleem van onzekerheid. Elke beslissing moet immers genomen worden met onvolledige kennis.

Algemene opmerking: de principes zouden veel meer gebaseerd moeten zijn op de bestaande wetgeving, die is immers al aan debat onderworpen.

Allocatieve efficiëntie: economisch/theoretisch gezien een fantastisch principe, er is echter onduidelijkheid waar de markt in de praktijk allocatief efficiënt is. Is het dan een taak van de overheid om vraag en aanbod op elkaar af te stellen?

Ontwikkeling van de ondergrond → hoogste netto voordeel voor de samenleving: Op dit moment ontbreekt 'de bovengrond' tussen 'de ondergrond' en 'de samenleving'.

Dit principe mist het accent van planmatig en efficiënt gebruik van de ondergrond, wat in het decreet Diepe Ondergrond een zeer belangrijk principe is dat streng getoetst wordt omwille van de ondergrondse ruimtedruk en te vermijden suboptimale versnippering; de beknopte omschrijving hier leidt tot een andere of engere invulling die focust op het prioriteren van toepassingen. Dat laatste is niet evident (kan variëren doorheen de tijd in functie van noden en omstandigheden) en is in se al een beleidskeuze (bv. exergetische waarde als norm nemen?). De structuurvisie wenst enkel een afwegingskader te bieden, geen keuzes vast te leggen.

<u>Plannen & uitvoeren</u>:

> Dit principe lijkt zeer sterk op principe 2 (merk op dat de deelnemers net van principe 2 kwamen), daarom zou het beter zijn moest dit principe focussen op het 'plannen' (een taak van de overheid). Het uitvoeren is dan een taak voor anderen.
> Overheden (met hulp van experten) kunnen nog zo goed plannen, de samenleving moet deze plannen ook willen volgen. Er is nog al te vaak protest vanuit de samenleving omdat mensen enkel de nadelen zien van een bepaalde actie of bepaald beleid (mensen zijn conservatief). Daarom is het belangrijk dat de overheid goed communiceert over alle voordelen die zullen ontstaan door de maatregel.
> Verder moet ook nagedacht worden in welke mate van de plannen afgeweken kan worden.

Bijv. First Come, First Served principe: wat als de planning zegt dat activiteit X het grootste voordeel oplevert op locatie A, maar niemand is bereid om op die locatie die activiteit op te starten. Aan de andere kant heb je een organisatie die activiteit Y zou willen opstarten op locatie A dit zal ook een netto voordeel opleveren maar minder groot. Gaat de overheid dan een wachtrij creëren? En hoe lang mag die wachtrij dan zijn (in termen van tijd en projecten).

De opdrachtgever vult hierbij aan dat de structuurvisie het first come first served principe niet zal vermijden; de basisprincipes van de EU regelgeving (o.a. vrije markt met mededinging, exploitatierecht e.d.) blijven gelden. Er kan dus een aanvraag gedaan worden voor een vergunning in een gebied dat niet uitgesloten is en als alle vastgelegde criteria positief geëvalueerd worden, kan de Vlaamse Regering de vergunning in principe niet weigeren. Dit principe lijkt uit te gaan van een ondergrondkadaster waarbij de overheid een bestemmingsplan opmaakt (o.b.v. ideeën van de huidige generatie). Dat kan niet. Het is wel goed om na te denken over welke kansen waar in concurrentie gaan en dat te laten meewegen bij het beoordelen van een "efficiënt en planmatig beheer".

Op het zelfde moment is het belangrijk dat initiatiefnemers ook beloond worden, m.a.w. hun project kunnen uitvoeren.

Hoogste (positieve) netto voordeel:

Taalkundig: '(positieve)' moet weg, vermits een 'netto voordeel' altijd positief is.

De vraag kan ook gesteld worden wanneer het 'hoogste voordeel' bereikt is, we kunnen misschien wel met de technologie en kennis van vandaag de dag het grootste voordeel bepalen, maar wie zegt dat dit voor de toekomst ook nog het grootste voordeel zal zijn?

Hoe ga je het hoogste netto voordeel bepalen, kan je economische baten afwegen t.o.v. milieuvoordelen of maatschappelijke voordelen?

Samenleving

Wat met spanningen tussen het lokaal – regionaal – nationaal – mondiaal niveau van de samenleving?

Het is onduidelijk over wie dit exact gaat, gaat het dan over de Vlaamse bevolking in het algemeen die er op vooruit moet gaan? Of mag er geen enkele Vlaming op achteruit gaan?

Grensoverschrijdende invloed van projecten: wat als een beslissing zeer optimaal is voor Vlaanderen maar een enorm negatieve impact heeft op de rest van de wereld, mogen we dan de kosten afwenden op het buitenland en de baten zelf houden (is nu nog te vaak dat ons 'duurzaam' gedrag een effect heeft op andere landen). Of omgekeerd: "mag Vlaanderen van de kaart geveegd worden voor een super oplossing?"

Baten en kosten:

Hoe bepaal je de kosten en baten van 'onmeetbare' zaken zoals welzijn?

Hoe definieer/bepaal je wat een voor-/nadeel is, wat voor de ene een voordeel is, kan voor de andere een nadeel zijn.

De ondergrond is nog voor een zeer groot deel onbekend, hoe kan men dan bepalen wat de impact van een activiteit zal zijn.

Milieueffecten:

'veiligheid' zit mogelijks al vervat in 'milieu' maar zou beter als op zichzelf staand aspect worden opgenomen. Of worden omschreven als 'milieu incl. veiligheid' waarbij men het grotere, algemeen kader in het achterhoofd houdt (bijv. klimaatafspraken).

Wie bepaalt de kosten en de baten voor de natuur? Want elke menselijke ingreep is in se negatief voor de natuur.

Versnippering van de ondergrond moet ten allen tijde vermeden worden, dit zou explicieter moeten opgenomen worden.

Sociale effecten:

De locatie is ook zeer belangrijk, er moet aandacht zijn voor ongelijkheid die resulteert vanuit het gebruik van de ondergrond en een ongelijke verdeling van lokale, bovengrondse effecten die het gebruik van de ondergrond met zich meebrengt.

Het potentieel van de ondergrond kan variëren, waardoor bepaalde regio's ontwikkelingskansen zullen krijgen die niet mogelijk zijn in andere regio's.

Bovengronds is Vlaanderen zeer complex, er moet dus ruimte zijn om de ondergrond te kunnen bereiken. Waardoor opnieuw bepaalde regio's meer potentieel hebben dan andere.

Levenscyclus/tijdshorizon:

Hoe langer de periode die men meeneemt in de berekening, hoe beter, maar ook hoe meer onzekerheid?
Hoe gaan de kosten en de baten voor de toekomst bepaald worden?
De technologie zal evolueren en zal dus waarschijnlijk zorgen voor onvoorziene wijziging, hoe kan hier rekening mee gehouden worden?
Ook de effecten evolueren doorheen het leven, hoe zijn we zeker dat bepaalde effecten zullen verdwijnen (bijv. zeggen dat er enkel effect is bij de boring maar niet bij de uitbating).
De end-of-life kost moet ook meegenomen worden, nu te vaak vergeten.

Overige opmerkingen:

Ideologische/waarde kaders ontbreken nog in de definitie.
Geologie ontbreekt nog in de definitie, want dit is de belangrijkste factor die bepaalt wat mogelijk is. De geologische omstandigheden variëren naargelang de diepte, en naargelang de locatie wat een indirect effect heeft op de economie en de haalbaarheid van het project.

2.3.4 Principe 4. Principe van transparantie

2.3.4.1 Voorgestelde formulering P4

Planning en ontwikkeling van de ondergrond moeten op een transparante manier plaatsvinden. Dit omvat passende communicatie met alle huidige en toekomstige belanghebbenden, en goed gegevensbeheer, geleid door zowel het FAIR-principe (vindbaar, toegankelijk, uitwisselbaar en herbruikbaar: *Findable, Accessible, Interoperable and Reusable*) als het principe "zo open als mogelijk, zo gesloten als nodig".

2.3.4.2 Samenvatting opmerkingen P4

* De laatste zin blijkt van groot belang te zijn. Het benadrukt de balans tussen zo open mogelijk zijn en zo gesloten als nodig.

Als exploitant brengt het verzamelen van data natuurlijk kosten met zich mee, en tijdens de studie- en planningsfase wordt deze informatie niet meteen openbaar beschikbaar gesteld. Pas nadat er een vergunning is verkregen en het einde van de vergunning is bereikt, zou dit kunnen gebeuren. Op dat moment zou de overheid verantwoordelijk moeten zijn voor het beheer en de monitoring van de data, en deze op gepaste wijze ter beschikking moeten stellen. Bij voorkeur op een zo centraal mogelijke manier. Er werd ook opgemerkt dat sommige informatie zeer interessant is, maar niet openbaar beschikbaar is. Echter, het zou mogelijk moeten zijn om deze informatie te delen zonder dat dit economische gevolgen heeft op het gebied van concurrentie.

Voor dit hele vraagstuk is ook een wettelijk kader nodig, dat op dit moment nog ontbreekt. Bijvoorbeeld met betrekking tot het tijdsaspect van wanneer data beschikbaar kan worden gesteld.

Aan de andere kant werd er ook feedback gegeven over het feit dat we praten over 'alle' stakeholders. Het is belangrijk om dit geleidelijk aan te pakken. Het betrekken van alle stakeholders is belangrijk voor draagvlak, maar iedereen heeft verschillende communicatiebehoeften, zowel qua vorm als inhoudelijk.

En als het gaat om beschikbare data, is het belangrijk om te bespreken op welke manier deze wordt verstrekt. Data wordt gegenereerd op basis van modellen die bepaalde aannames bevatten. In die

zin is het belangrijk om ook te communiceren over de metadata en andere relevante informatie. Daarnaast is het van belang om goed te identificeren wat momenteel 'onbekend' is en wat er nodig is om deze onbekende aspecten te begrijpen (“identifying the unknowns”).
Er is een groot verschil tussen communicatie en participatie. Communicatie verloopt voornamelijk eenzijdig, terwijl participatie een ander principe omvat (i.e. principe 5).

2.3.5 Principe 5. Principe van inclusief bestuur

2.3.5.1 Voorstel formulering P5

Zij die (mogelijk) gevolgen ondervinden van het gebruik van de ondergrond moeten op passende wijze worden geïnformeerd, geraadpleegd en betrokken bij het besluitvormingsproces tijdens de planning, implementatie- en ontmantelingsfasen van activiteiten in de ondergrond.

Ter verduidelijking werd hierbij meegegeven: "Passend" betekent in deze context dat verschillende groepen moeten worden betrokken op basis van hun behoeften en capaciteiten, zodat ze op een rechtvaardige manier kunnen deelnemen aan de besluitvorming.

2.3.5.2 Samenvatting opmerkingen P5

Over het algemeen konden de deelnemers zich wel vinden in dit principe (P5). Het belang van draagvlak creëren en het onderhouden van goede relaties met de sociale omgeving (stakeholder management als onderdeel van duurzaam en verantwoord ondernemen) werd daarbij benadrukt.
Wel werd meermaals gewezen op een zekere overlap met principe 4 (P4) en voorgesteld de formulering aan te passen. Concreet verkozen meerder deelnemers om in P4 de passage “passende communicatie met alle huidige en toekomstige belanghebbenden” te schrappen en in dat principe de nadruk op de data te leggen.

Ter verduidelijking van de verduidelijking, stipten meerdere deelnemers aan dat “passend” niet enkel dient af te hangen van kenmerken van de betrokkenen, maar ook afhankelijk is van de fase waarin een project zich bevindt. Wie en hoe te betrekken, kan verschillen naargelang de situatie: dit zal anders lopen, mogelijks ook met (deels) andere betrokken, in de planningsfase (hierbij werd door enkelen verwezen naar de studiefase en opsporingsvergunning) of implementatiefase (gelinkt aan de omgevingsvergunning); in de exploitatie- en ontmantelingsfase. Enkele deelnemers merkten op dat de exploitatiefase best ook uitdrukkelijk vermeld wordt. Tevens werd opgemerkt dat “betrokken worden bij het besluitvormingsproces” niet betekent mee oordelen over een concrete vergunning, maar wel betrokken worden in het traject vooraf.

In een aantal groepjes werd aangehaald dat “gevolgen ondervinden” niet noodzakelijk enkel moet slaan op negatieve gevolgen en het ondervinden van schade. Rollen en verantwoordelijkheden van betrokken actoren moeten duidelijk gemaakt worden, wat niet belet dat deze kunnen variëren doorheen het proces. In dat verband werd door meerdere deelnemers naar de overheid gekeken als bewaker van dit principe en zodoende ook degene die bepaalt wie kan/moet deelnemen. Het opzetten van een proces van inclusief bestuur zagen velen veeleer als verantwoordelijkheid van de initiatiefnemer.

Tot slot merkten meerdere deelnemers op dat het betrekken van “stakeholders” niet als primair doel mag hebben individuele particuliere belangen met elkaar te confronteren, maar dat daarmee een collectief bewustzijn, inzet voor de gemeenschap en een visie op de toekomst wordt beoogd.

2.3.6 Principe 6. Principe van verantwoord risicobeheer

Principe 6 is opgedeeld in twee sub-principes:

- *Voorzorgsprincipe*: activiteiten met een onzeker potentieel voor significante schade moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat de risico's voldoende gekwantificeerd zijn.
- *Preventieprincipe*: activiteiten die significante schade met zich meebrengen, moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat er geen significante risico's of schade aan verbonden zijn.

De deelnemers aan de workshop hadden veelal de neiging om dit principe te willen beoordelen, toepassen of uitwerken op gedetailleerd projectniveau, minder op een overkoepelend niveau van duurzaamheid. Vanuit VPO werd erop gewezen dat dit principe eigenlijk al wordt toegepast en deel uitmaakt van de huidige wetgeving (decreet diepe ondergrond, milieuwetgeving). Voor sommige parameters zijn er ook bevoegde autoriteiten die dit monitoren en reguleren, bijvoorbeeld NIRAS voor radioactiviteit en de Sterrenwacht voor seismiciteit.

De belangrijkste opmerkingen die werden geformuleerd gaan over de vage formulering: wat betekent risico, schade, significant? Uit de beschrijving van het principe zou duidelijk moeten zijn welke risico's bedoeld worden. Dit zou duidelijk moeten worden uit de criteria. Daarnaast zou ook de terminologie van risico en schade herbekeken moeten worden, en afgewogen worden met gevaar, hazard, impact, afhankelijk van of er sprake is van een schadegeval, een kans op schade of andere.

Het is ook belangrijk om te weten wat de draagwijdte is van dit principe: fysieke schade, omgeving, gezondheid, economisch, sociaal? In ieder geval is het belangrijk dat het voorzorgsprincipe gehonoreerd wordt en de locatieafhankelijke parameters ondervangen worden door het centraal stellen van een principe in plaats van een normwaarde (vb. een bepaalde magnitude). Wat op locatie X te hoog is, is dat niet noodzakelijk op locatie Y. Het principe zou kunnen zijn om "geen schade" steeds voorop te stellen als doel (is al zo) en daarop omwille van onzekerheid een buffer te nemen door "geen voelbare beving" als criterium te hanteren. Dan kan er een peak ground velocity voorop gesteld worden die dat vermijdt en deze eventueel (mits nodige kennis) vertalen in functie van de lokale geologie naar een magnitude.

Er werd ook aangegeven dat dit principe ("verbieden") een verlamming kan vooroorzaken. Beter zou zijn om het te herdefiniëren naar een "proactief principe", gestoeld op een actief en adaptief risicobeheer, waarbij een gevaren-kans analyse wordt beoordeeld door een onafhankelijk orgaan.
In het principe wordt de bewijslast bij de initiatiefnemer gelegd, om kosten en risico's niet af te wentelen op de maatschappij. Dit wordt gesteund door sommigen, anderen geven aan dat het mogelijk moet zijn voor de overheid om onzekerheden en risico's voor het algemeen belang te verlagen, zoals de waarborgregeling voor geothermie (technologiesteun in lijn met beleid), of baseline geologische exploratie. De opdrachtgever vult hierbij aan dat de waarborgregeling enkel het geologisch risico dekt als blijkt dat op basis van de huidige kennis toch niet het gewenste resultaat (P90) bekomen wordt omwille van onzekerheid op geologische parameters (premature marktsituatie). Alle andere risico's (technische, milieu, veiligheid,...) etc. vallen niet onder deze waarborg. De waarborgregeling is gelinkt aan een investeringsrisico en dus niet aan risico's zoals bedoeld onder P6.

Er zijn verschillende meningen over of elk project op dezelfde manier, door dezelfde groep, met dezelfde parameters of dezelfde grenswaarden moet beoordeeld worden. Sommigen geven aan dat een case-by-case beoordeling nodig is, omdat projecten verschillen in doel, technologie, locatie etc. Anderen achten het noodzakelijk dat het evaluatiekader voor elke activiteit en ieder project gelijk zijn, op voorhand gekend en toegankelijk voor iedereen. Dit principe zou daarom hand in hand moeten gaan met het principe van transparantie.

Het is belangrijk om rekening te houden met de tijdsdimensie, de langdurige en eventueel nog ongekende gevolgen, en de verantwoordelijkheid.

Finaal is er ook een probleem met wetenschappelijke aantoonbaarheid. Dit is niet zaligmakend, en er zijn steeds tegenstrijdige wetenschappelijke meningen en inzichten. Beter zou zijn om een onafhankelijk orgaan te laten beoordelen op basis van wetenschappelijke en andere input.

2.4 RONDJE RANDVOORWAARDEN

De opmerkingen op elk principe werden plenair besproken. Vervolgens werd de groep opnieuw ingedeeld met de bedoeling om de principes te vertalen naar randvoorwaarden.

2.4.1 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 1. Principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen

Algemene bedenkingen bij het opstellen van criteria, is dat dit dient te gebeuren in een breed debat, gebaseerd op een vastgelegd kader waarin alle elementen worden meegenomen, zodat P1 afgewogen kan worden tegenover andere elementen. De uitkomst hiervan moet een maatschappelijke consensus zijn.
Geopperde criteria:

- Hoeveelheden en eigenschappen van de (geëxploiteerde) hulpbron
- CO_2 uitstoot
- Verwachte en bestaande vraag, lokaal, EU en internationaal (en een bespiegeling over wat duurzame grenzen kunnen zijn)
- Herkomst van hulpbronnen (belang van hulpbronnen uit eigen bodem, *red. minstens overlappend met P2*)
- Gekende hoeveelheden (reserves)
- Optioneel gebruik van de ondergrond (alternatieven voor duurzamer gebruik van de ondergrond)
- Holistisch beeld met aandacht voor indirecte effecten (respecteren van complexiteit en keten van gerelateerde activiteiten)
- Tijd: tijdschaal van impact per activiteit, en waar relevant ook de omkeerbaarheid (met als indicatorvoorbeeld een parallel met grondwaterreglementering: verplichte stopzetting van pompactiviteit om de recuperatie doorheen de tijd te testen)
- Onzekerheid: onzekerheid speelt mee bij het beoordelen van diverse aspecten van activiteiten in de diepe ondergrond, en dient meegenomen te worden bij de (beoordeling van) diverse criteria (*red. meer integraal dan via bv. het voorzorgsprincipe onder P6*)
- Er wordt aangegeven dat bepaalde activiteiten de ondergrond opwaarderen (bv. opslag van warmte)

- Verspilling en verkwisting: het niet ontginnen van bijproducten, met verwijzing naar de CRM-A (*red. minstens overlappend met P3*)
- Herhaalde inventaris van de ondergrond, zowel van gekende voorraden als van geëxploiteerde hoeveelheden, zodat een evolutie kan worden vastgesteld (*red. zoals UNFC*)
- Gelijkaardige inventaris voor afvalstromen en assimilatieprocessen (cf. voetafdruk)
- Vastleggen van een referentiesituatie
- Vastleggen van minimale duur van bepaalde activiteiten (indicator: operationele tijd)
- Lijst die toelaat om a-priori of gegroepeerd activiteiten uit te sluiten als deze principieel niet duurzaam zijn
- Criteria die in kaart brengen hoe bestendig een activiteit is, met als argument dat een langer lopende activiteit meer duurzaam is dan een van korte duur

2.4.2 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 2. Principe van eerlijke (rechtvaardige) verdeling

- Vertrekken vanuit een behoefte eerder dan vertrekken vanuit een potentieel
- Er moet eerst onderzocht worden welk gebied geschikt is voor welke activiteit en of een gebied geschikt is voor slechts 1 activiteit of meerdere activiteiten
- Vergunningen dienen beperkt te zijn in de tijd
- Langzaam ontwikkelen en de tijd nemen om effecten op te volgen om zo geen kansen te hypothekeren voor toekomstige generaties
- Periodiek monitoren van bijvoorbeeld druk en temperatuur effecten en op basis daarvan bijsturen om lange termijn gebruik te vrijwaren en geen kansen te hypothekeren
- Periodiek rapporteren over permanente veranderingen
- In kaart brengen van mogelijke synergiën waarvan toekomstige generaties kunnen profiteren
- Exclusiviteitregels verschillend bepalen al naargelang de activiteit (verschil tussen berging nucleair afval en diepe geothermie)
- Regels vastleggen over hoe de concessie achter te laten om hergebruik mogelijk te maken
- Bepaalde gebieden als studiegebied beschouwen
- Geharmoniseerde regelgeving nodig om conflicten tussen exploitanten te vermijden
- Periodiek beslissen. Er zal een evenwicht gezocht moeten worden tussen periodiek her-evalueren/beslissen en het behouden van rechtszekerheid
- Het beheer van de asset scheiden van het beheer van de commodity
- Aanpassingen aan infrastructuur (netwerken voor warmte, renovatie van gebouwen)
- Diepe geothermie/warmtenetwerk: belangrijk dat iedereen aan boord is zodat de kosten gedeeld kunnen worden onder velen. Kosten voor iedereen draagbaar maken
- Aardwarmte: vaste prijs voor energie (niet onderhevig aan marktschommelingen)
- Participatie van lokale gemeenschappen en de overheid binnen het bedrijfsmodel
- Elke ontwikkeling heeft overheidsparticipatie nodig
- Kostenbesparing door warmtenetten te leggen (het wegvallen van uitgaven aan subsidies), gebruiken om te investeren in sociale woonwijken
- Billijke vergoeding voor de investeerder
- Baten richten op sociale groepen
- Belastingen gebruiken om toekomstige generaties te compenseren
- Er moet een schadefonds opgezet worden

- Het bepalen van een realistische duurtijd van een compensatiefonds. Men kan zich niet indekken tegen wat men niet weet
- Grens stellen aan indirecte kosten die gecompenseerd moeten worden
- Overheid moet zwakkere groepen betrekken
- Indicator van rechtvaardigheid: te meten via een openbaar debat op regelmatige basis

2.4.3 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 3. Principe van efficiënte allocatie

Over het algemeen hadden de deelnemers moeite met het formuleren van criteria, vooral door de onzekerheid die ook bij het bespreken van principe 3 aan bod kwam.
Algemeen kan gesteld worden dat het netto effect van de ondergrond op de bovengrond positief moet zijn, waarbij het publieke voordeel moet vergroot worden eerder dan het private voordeel. Dit betekent dus ook dat milieu, sociale en economische voordelen elkaar kunnen compenseren. De deelnemers stellen voor dat hiervoor een goed afwegingskader ontworpen wordt, hoe dit er moet uitzien is echter niet duidelijk.
Allereerst werd voorgesteld om na te gaan welke duurzaamheid criteria al bestaan en op welke manier deze kunnen aangepast worden aan de diepe ondergrond.
Er zijn drie zaken die in kaart gebracht moeten worden: (1) bestaande en potentiële projecten, (2) het potentieel van de ondergrond, en (3) de noden van de maatschappij/bovengrond. Daarbij is het belangrijk dat de **overheid zelf ook doelstellingen heeft**, zoals wij willen X% van de Vlaamse gezinnen van geothermische energie voorzien tegen 20XX etc. Hierbij moet vooral goed nagedacht worden hoe men de toekomst van Vlaanderen ziet.
Nadien kunnen deze drie aspecten op elkaar afgestemd worden, zodat voor elk project:

- **Zo min mogelijk natuurlijke hulpbronnen worden gehypothekeerd,**
- **De moeilijkste/beperkt toewijsbare activiteiten als eerste worden toegewezen, en**
- **De bovengrondse vraag en de ondergrondse activiteit zo efficiënt mogelijk worden afgesteld**.

Daarnaast moeten de projecten afgestemd worden op de **ruimtelijke ordening**, putten mogen enkel geplaatst worden in zones die nu al zijn aangeduid voor industrie. Landbouw en woongebied moeten gevrijwaard blijven.
Verder moeten projecten geografisch zo goed mogelijk op elkaar aansluiten **waarbij interferentie tot een minimum beperkt** wordt en **synergie tussen projecten gemaximaliseerd** wordt. Daarenboven moeten projecten verplicht worden om een meerwaarde te creëren. Zo moet een regio er op **vooruitgaan**, o.a. in termen van werkgelegenheid, economische groei etc. daarnaast mag de **leefbaarheid** van de regio niet in het gedrang komen (het moet bewoonbaar blijven). Om dit te verzekeren moet elke ontwikkeling gebeuren in **samenspraak met de lokale besturen**.
Bovendien moeten **putten slim geplaatst** worden, zodat ze niet leiden tot een suboptimale versnippering van het potentieel van de ondergrond.
Eveneens moet het gebruik van de **best beschikbare technieken** opgenomen worden in de vergunningsvoorwaarden.
Ten slotte stelden enkele deelnemers voor om de evaluatie van de milieu, sociale en economische impact als waarschijnlijkheden uit te drukken (zoals 5de percentiel, 95ste percentiel en mediaan), bijv. de kans op werkgelegenheid, de kans op toename van het verkeer, de kans op verlies aan biodiversiteit etc. Waarbij men deze dan aftoetst aan benchmarks die op basis van theorie worden bepaald.

2.4.4 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 4. Principe van transparantie

Criteria en principes zijn afhankelijk van de fase van het project en de stakeholder naar dewelke je communiceert:
Enkele voorbeelden van criteria en indicatoren:

- **Criterium voor stakeholderbetrokkenheid**. Er moet een communicatieportfolio zijn, voor verscheidene stakeholders met verschillende communicatie kanalen (bv. brochures, websites, etc.).
    - Een contactpersoon kan worden aangesteld waar geïnteresseerden/betrokkenen bij terecht kunnen. Een meldingspost.
    - Er moet continuïteit zijn. Een soort van permanente voorlichtingsstructuur afhankelijk van de duur van je project
    - Infosessies organiseren voor de brede bevolking
    - Communicatie m.b.t. verantwoord risicobeheer via verschillende kanalen
    - Aantal samenwerkingen met andere partners (samenwerkingscontracten)

    ➔ Let op voor overlap met principe 5
- **Criterium van toegankelijkheid**:
    - Aangeven waar informatie staat zoals op DOV, Geopunt, in plaats van dubbel publiceren. Promoten van kanalen
    - Digitaal maken van data
- **Criterium van rapportage**:
    - Bepaalde data moet minimum verplicht worden aangegeven
    - Rapportering over hele planningsfase: waar staat het project?
    - Onafhankelijke controles van data
    - Herbruikbaarheid: metadata en documentatie m.b.t. data
    - Zijn er data-gaps (“unkowns”) ingelost? en worden die ook gecommuniceerd?
    - Is er standaardisatie?
    - Persoon of instelling moet verantwoordelijk zijn voor beheer databank

2.4.5 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 5. Principe van inclusief bestuur

Hieronder volgt een reeks randvoorwaarden die bij dit principe werden geformuleerd. Soms werden (binnen eenzelfde groep, dan wel door een andere groep) aanvullende opmerkingen of bedenkingen bij een randvoorwaarde geformuleerd. Deze worden telkens per randvoorwaarde meegegeven.

- Mensen zijn op de hoogte van initiatieven, zoals geothermie en weten wat dit inhoudt
- Mensen hebben basiskennis van de ondergrond en weten wat er mogelijk is

  <u>Bedenkingen voor beide</u>:
    - gaat het om feitelijke kennis (hoe vast te stellen en waar de lat te leggen) of om bewustzijn (bv. mensen geven aan dat ze weten welke activiteiten er in hun streek in de ondergrond zijn of mogelijk zijn)?
    - Hieronder niet enkel burgers verstaan, maar ook politici

- Blijk van vertrouwen:
    - De overheid voorziet in een duidelijk kader (richtlijnen voor het betrekken van stakeholders)

      <u>Opmerking</u>: hierover waren de meningen verdeeld. Sommige deelnemers verwachten duidelijke regels over wie en hoe, of advies bindend is, of niet, etc. Anderen verkiezen een algemeen richtinggevend, maar niet te stringent kader. Sterk geformaliseerde inspraakprocedures houden een risico in op verharde standpunten, zo werd geredeneerd

- de initiatiefnemer toont bereidheid tot dialoog
    - heeft alle relevante stakeholders in kaart gebracht en hernieuwt regelmatig deze analyse om niemand te vergeten en veranderingen in de maatschappij en in percepties te monitoren
    - communiceerde correcte en relevante informatie naar voldoende betrokken partijen

    Bedenking: met "relevante informatie" wordt bedoeld dat niet alles gedeeld kan worden (mag concurrentie niet schaden)
    - voorziet in een aanspreekpunt voor het uiten van bezorgdheden, het melden van eventuele schade, etc.
    - voorziet in continuïteit van engagement naar betrokken, ook na het bekomen van een vergunning
    - voorziet in een opvolgsysteem voor klachten
- mensen zijn bereid deel te nemen aan het proces
- tegenstanders verkiezen de dialoog boven vertragingsmaneuvers
- de overheid staat garant voor gelijke belangenbehartiging en bemiddelt waar nodig
- alle relevante stakeholders werden geconsulteerd
- proces werd gedocumenteerd en aan bevoegde overheid (vergunningsverlener) overgemaakt
- overheid geeft justificatie bij genomen beslissing

- Initiatiefnemer lanceert tijdig proces om betrokkenen te informeren over mogelijke impact van een op til staand initiatief
    - Tijdig = van zodra zichtbare activiteit (bv. proefboringen, terreinverkenningen)
      Bedenking: wat met planningsfase?

Tot slot gaven de deelnemers nog enkele suggestie mee die iets moeilijker als criterium kunnen worden aangeduid

- Voor elk project een adviescomité oprichten met daarin experten ter zake en vertegenwoordigers van de betrokken gemeente(n), de Vlaamse overheid en de lokale bevolking; het delen van gevoelige (commerciële) informatie kan middels confidentialiteitsclausule
- Een controle organisme instellen à la CREG of VREG vanaf het moment dat meerdere dossiers gaan spelen
- Een citizen science project opzetten (bv. verzamelen seismologische gegevens) om burgers actief te betrekken en als stimulans voor de initiatiefnemer om goed te presteren
- Wellicht meer nood aan participatie in "onontgonnen gebied"

2.4.6 Randvoorwaarden gekoppeld aan principe 6. Principe van verantwoord risicobeheer

Enkele criteria of parameters werden vernoemd, zoals seismiciteit, vervuilende stoffen, grondbeweging (uplift, subsidentie), reservoirdrukverlaging/verschillen, radioactiviteit, voorkomen van gas. Het uitgangspunt moet steeds zijn dat er geen schade is. Het belang van een baseline wordt opnieuw vernoemd.

In de huidige milieueffectenrapportage (MER) worden reeds veel (alle?) criteria voor de impact aan de oppervlakte en ondiep opgenomen. Voor seismiciteit in Vlaanderen wordt momenteel gewerkt aan een nieuw algemeen kader, samen met de Sterrenwacht. Voor fysieke schade bij seismiciteit

bestaat er een aftoetsingskader met DIN normering voor gebouwen. Voor grondwaterkwaliteit bestaan er ook grondwaternormen (in verband met contaminatie).

Voor dergelijke analyses wordt doorgaans een risicomatrix gebruikt, opgebouwd uit de criteria en grenswaarden. Het uiteindelijke resultaat is de maatschappelijke kost. Naast deze risicomatrix vormt ook het opstellen van het plan, opvolging en eventuele bijsturing (handhaving) deel van de evaluatie. Bij schade zijn rapportering en maatregelen nodig. Dit kan resulteren in een traffic light system, hoewel sommige activiteiten niet dynamisch zijn (heropstart), maar statisch, zoals bij grondverzakking.

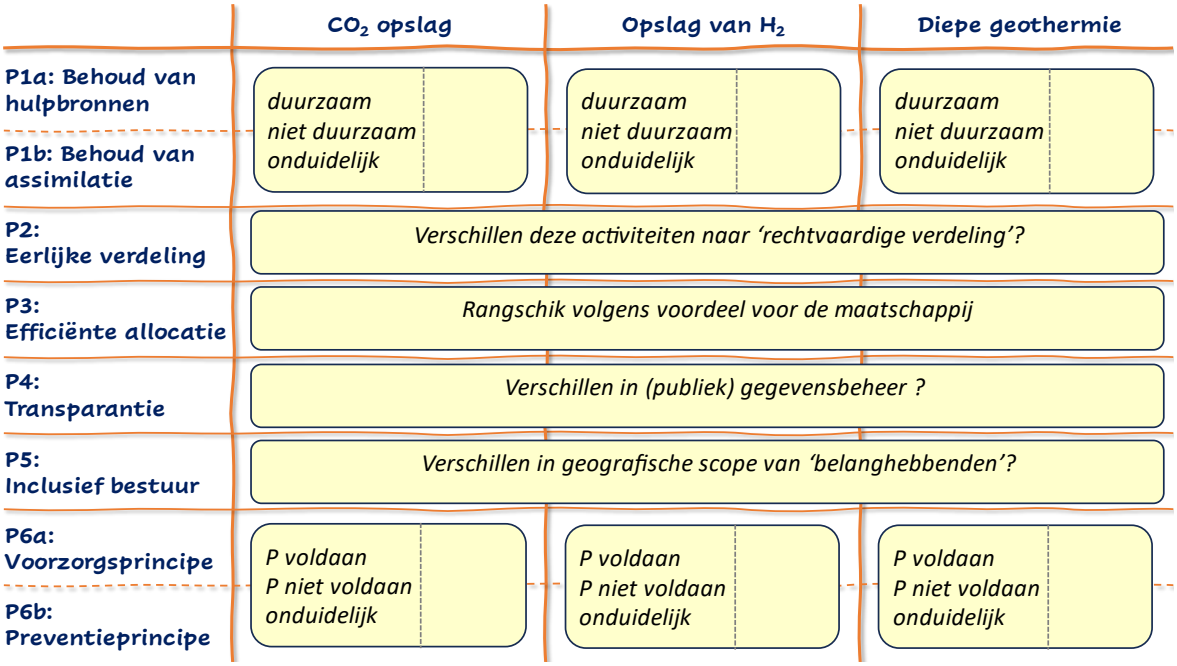
Ook in deze discussie zijn de meningen uiteenlopend of de beoordeling moet gebeuren op een case-by-case basis, of in een vooropgesteld, duidelijk en transparant kader met grenswaarden die universeel gelden (eventueel voorwaardelijk, of dynamisch afhankelijk van andere parameters). De beoordeling moet gebeuren door een onafhankelijk orgaan, bijvoorbeeld een overheid of certificatiebedrijf.

Bij de ontwikkeling en beoordeling is een participatief traject nodig om draagvlak te creëren.

Er werd ook geopperd dat de principes zouden moeten gelden voor alle overheidsniveaus (regionaal, federaal) zodat (delen van) activiteiten die onder verschillende bevoegdheden vallen en elkaar kunnen beïnvloeden, op een optimale manier beoordeeld en opgevolgd kunnen worden.

2.5 REALITY CHECK

Op het einde van de workshop deden 16 deelnemers nog een korte 'reality check': lukt het om met deze principes en mogelijke criteria aan de slag te gaan? Verdeeld in 4 groepjes werd hen gevraagd 3 ondergrondse activiteiten (ondergrondse opslag van CO_2 - ondergrondse opslag van H_2 - diepe geothermie) 'intuïtief' te beoordelen op hun duurzaamheid en vervolgens tegen elkaar af te wegen.



Discussie omtrent principe 1

- De meeste groepen zijn het er over eens: CO_2 opslag is de niet-duurzame optie. Weinig mogelijkheden in Vlaanderen. Finaliteit/éénmalig.

- Opslag H_2: duurzamer want omkeerbaar? Toch onduidelijkheid over hernieuwbare karakter.
- Diepe geothermie: hernieuwing mogelijk (tijdsschaal). Duurzaam met nodige randvoorwaarden.
- Let op: alle drie kunnen duurzaam zijn (of niet) als je groter kader meeneemt.
- Opmerking: waar is het voorbeeld van 'niet hernieuwbaar'. Zijn er geen betere voorbeelden? Opslag wordt gezien als 'apart geval'.

Discussie omtrent principe 2

- Diepe geothermie en waterstof: afhankelijk van locatie en technologie
- Geothermie: lokale kosten en baten. Eenduidiger dan bij H_2; ook afhankelijk van de situatie
- Risico waterstof is heel lokaal, baten zijn eerder regionaal
- Hoe breed kijk je? Je kan alleen op de vraag antwoorden als je er een bepaalde ideologie bij zet/ een bepaald model volgt.
- Geen eerlijke verdeling CO_2 opslag over generaties heen (maar 1 generatie heeft voordeel). CO_2 opslag: hierbij hebben vooral grote spelers een belang; is niet intergenerationeel rechtvaardig

Discussie omtrent principe 3

- Interferenties kunnen positief zijn of geen impact hebben; er is een concrete situatie nodig om dit in te schatten
- Voor groep 1 en 3 is dit niet te bepalen zonder context
- Groep 2 zag desondanks een voorkeur voor H_2 (mits de technologie op punt staat): meer gebiedspecifieke voordelen dan voor Vlaanderen als geheel
- Groep 4 gaf ook de voorkeur aan H_2 opslag boven CO_2; wel locatie afhankelijk; opslag CO_2 en geothermie kunnen wel samen, maar de groep is niet zeker dat dit beter is dan H_2
- CO_2 opslag valt weg. Schaalgrootte Vlaanderen
- Is er geen toekomstscenario nodig om hierover een oordeel te vellen?
- H_2: zal van technische haalbaarheid afhangen. Er is voordeel voor maatschappij o.w.v. energiesysteem voor heel Vlaanderen.
- Moeilijk rangschikken. Is er een combinatie van de drie opties mogelijk?
- Waterstof hoger rangschikken dan CO_2. Geothermie is heel locatieafhankelijk. CO_2 opslag en geothermie samen?
- Zeer theoretisch. Meer concrete situatie nodig om oordeel te vellen.

Dit principe zou moeten gaan om het efficiënt en planmatig beheer, versnippering vermijden en geen kansen verspelen in de ondergrond; wat hier in deze oefening aan bod komt lijkt meer op beleidskeuzes (bv. voorrang voor deze of andere toepassing). Dat is niet wat de opdrachtgever beoogt met de structuurvisie.

Discussie omtrent principe 4 en 5

Verschillen in gevoeligheid/publieke dimensie van gegevens is afhankelijk van wie de data verzamelt en beheert; private actoren onder de deelnemers geven aan dat het normaal is dat de regulator alle informatie krijgt die nodig is

- P4 maakt geen verschil tussen de verschillende opties: zelfde kader volgen
- Tijdsaspect en economische waarde
- Regulerende overheid misschien wel meer nood aan gegevens dan het publiek
- Geothermie heeft meer directe belanghebbenden in aantal (directe afnemers warmte). Anderen eerder overheden en grote bedrijven
- Wie financiert de verzameling? Wie heeft gegevens verzameld?

Discussie omtrent 6a en b:

- Voorzorgprincipe zit al in de wetgeving. Als daaraan niet voldaan is, kan een activiteit sowieso niet plaatsvinden.

Deze reality check liet ook merken dat de toepasbaarheid van deze duurzaamheidsprincipes niet voor de hand liggend is, zeker als men niet over concrete projecten spreekt waarvan (nog) geen gedetailleerde info beschikbaar is. Het is dus nog uitdagender om dit toe te passen op een algemeen/conceptueel niveau.
Bovendien is het niet duidelijk hoe sommige principes helpend kunnen zijn voor het bedoelde afwegingskader. Elke toepassing moet bv. voldoen aan transparantie, inclusief bestuur, voorzorgsprincipe enz. Ze gaan dus gelijkwaardig scoren qua duurzaamheid op die aspecten? Tegelijk wordt de grootste uitdaging "het efficiënt matchen van ondergronds potentieel met bovengrondse noden" onderbelicht. Het gevaar bestaat dat het snel afglijdt naar principiële keuzes: wat wordt hoogwaardiger bevonden: CO_2-opslag, H_2-opslag of geothermie terwijl dat uiteindelijk grotendeels afhangt van de context.

2.5.1 Afsluiting van de workshop

De workshop wordt afgesloten. Ook op het einde van dit verslag willen we alle deelnemers graag uitdrukkelijk bedanken voor hun waardevolle bijdrage. De resultaten van de workshop worden samen met een literatuurstudie verwerkt tot een rapport omtrent principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Een **volgende workshop** staat gepland voor **vrijdag 22 september** in de **namiddag**. Een save-the-date werd hiervoor rondgestuurd.

2.6 NABESCHOUWING

In deze sectie maken de uitvoerders van de opdracht een reflectie over de praktische toepasbaarheid van principe 1 en worden er bijkomende reflecties van de opdrachtgever meegegeven. Verder wordt er toegelicht hoe deze eerste workshop omtrent duurzaamheidsprincipes kadert binnen de overheidsopdracht, waarbij eveneens een doorkijk naar workshop 2 gegeven wordt.

2.6.1 Praktische toepasbaarheid principe 1

Tijdens de workshop gaven meerdere deelnemers aan dat principe 1 in praktijk moeilijk toepasbaar is.

De uitvoerders van de opdracht merken dat de principes op (minstens) twee verschillende manieren geformuleerd worden: P3, P4 en P5 zijn ‘streef-’principes, m.a.w. ze zijn zo geformuleerd dat ze aangeven dat ze vragen om een uitgangsprincipe (maximaal) te benaderen. Ze zijn daarom flexibel en bijgevolg altijd realistisch.

Het probleem met P1 is volgens de uitvoerders niet het uitgangspunt, maar wel het (onmiddellijke) besef bij vele deelnemers dat dit zo ver weg ligt van de huidige praktijk en toekomstplannen van de maatschappij, dat het in realiteit niet haalbaar is. Dat resulteert in een fundamenteel conflict, bijvoorbeeld: wat als we ertsen nodig hebben, maar we ze per definitie niet duurzaam kunnen ontginnen? De enige optie die de formulering van P1 toelaat is om P1 te respecteren en niet te

ontginnen (maar is dat daarom de juiste keuze?), of te negeren. In het laatste geval blijft er geen richtinggevend element over, omdat P1 'hard' of niet-flexibel is in zijn huidige vorm (niet-duurzaam komt zonder grijsschakeringen).

Dit wordt versterkt door het feit dat het 'pairing-principle' theoretisch interessant is, maar in de meeste 'geologische' gevallen niet relevant.

Daarom stellen de uitvoerders voor om een extra element aan P1 toe te voegen dat verduidelijkt dat indien hernieuwbare extractie niet mogelijk is, deze op zodanige wijze moet gebeuren dat de 'lange-termijn' beschikbaarheid van hulpbronnen wordt gemaximaliseerd.

In onderstaande herformulering van principe 1 werd de eerder vermelde vertaalfout ook reeds aangepast (groen) en dit extra element toegevoegd (rood)

Principe van het behoud van hulpbronnen
De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties. Voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn, betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (behoud van hulpbronnen). Voor niet-hernieuwbare geologische hulpbronnen moet de extractie van hulpbronnen gepaard gaan met de creatie van hernieuwbare equivalenten (koppeling van hulpbronnen). Als een winning van hulpbronnen (hernieuwbaar of niet) noodzakelijk is maar niet duurzaam kan zijn, dient deze winning de beschikbaarheid van hulpbronnen op de lange termijn te maximaliseren (verlenging van hulpbronnen).

The resource stock needs to be conserved for future generations. For geological resources that are renewable, this implies that the extraction rate is limited to regeneration rates (resource preservation). For non-renewable geological resources, the extraction of resources needs to be matched with creation of renewable equivalents (resource pairing). If in either case it is necessary that resources extraction is non-sustainable, then extraction needs to maximise long-term resource availability (resource prolongation).

Principe van het behoud van het assimilatievermogen
Het assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem moet behouden blijven voor toekomstige generaties. De ontginningsschaal van geologische hulpbronnen dient beperkt te worden zodat de gerelateerde afvalstromen het hernieuwbare assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem niet overschrijden (behoud van assimilatievermogen). Als assimilatieprocessen te traag zijn om hernieuwbaar beschouwd te worden, dan moet het verlies aan assimilatievermogen gepaard gaan met een actief herstel van dat vermogen (koppeling van herstel). Indien activiteiten onvermijdelijk leiden tot niet-duurzame afvalstromen, dan moeten deze het verlies aan assimilatieve capaciteit op de lange termijn minimaliseren (assimilatieve capaciteitsverlenging).

Assimilative services of ecosystem Earth need to be conserved for future generations. Extraction scale of geological resources is limited so that related waste streams do not exceed the renewable assimilative capacity of ecosystem Earth (assimilative capacity preservation). If assimilation processes are too slow to be renewable, then loss of assimilative capacity needs to be matched with active restoration of that capacity (restoration pairing). If in either case activities necessarily result in non-sustainable waste streams, then these need to minimise long-term loss of assimilative capacity (assimilative capacity prolongation).

Het begrip 'lange-termijn' verwijst naar lange termijn in menselijke (niet geologische) context, en kan in criteria verduidelijkt worden als bv. x generaties.

Deze uitbreiding verenigt twee noodzakelijke elementen: dwingen tot optimalisatie op lange termijn, maar toch toelaten om hulpbronnen in te zetten om huidige, dringende problemen aan te pakken; zij het enkel indien dit integraal, over lange-termijn de meest efficiënte en dus correcte

oplossing is. Het zou dus duidelijkheid brengen over wat meer of minder duurzaam betekent, indien volledig duurzaam niet haalbaar is.

De uitvoerders beschouwen het al-dan-niet strikt hanteren van P1 als een beleidskeuze die gemaakt kan worden. Beide varianten zullen opgenomen worden als beleidsscenario bij de modellering van mogelijke ontwikkelingspaden voor het gebruik van de ondergrond in Vlaanderen en de berekening van de bijhorende geologische, economische, milieu en sociale impacts.

2.6.2 Bijkomende reflecties van de opdrachtgever

Met betrekking tot principe 2 (eerlijke verdeling): als een vergunning gevraagd wordt voor een ondergrondtoepassing (onder Vlaams Decreet Diepe Ondergrond) moet er op voorhand ingeschat en duidelijk gemaakt worden welke baten er voor wie in zitten; het principe "de mate waarin de gewonnen aardwarmte efficiënt en duurzaam zal worden aangewend" is één van de gunningscriteria die getoetst worden in het kader van de vergunningverlening. Dit heeft vooral betekenis wanneer twee of meer concurrerende dossiers beoordeeld moeten worden. Als alle andere criteria gelijkwaardig scoren zou het dossier dat de grootste meerwaarde op dit principe aantoont, winnen.

Met betrekking tot principe 4 (inclusief bestuur): bij dit principe lijken de positieve aspecten van het delen van data vooralsnog te ontbreken (lager risico bij volgende projecten indien ondersteund door meer kennis/gegevens, hogere kostenefficiëntie, groter draagvlak bij omwonenden, …).

Met betrekking tot randvoorwaarden bij principe 3 (efficiënte allocatie): het lijkt moeilijk om woon- en landbouwgebied te vrijwaren en tegelijkertijd woningen/gezinnen te voorzien van geothermische warmte.

In het algemeen was de tweede discussieronde over de criteria/randvoorwaarden/indicatoren minder concreet of specifiek. Een groot deel van de benoemde punten tijdens deze ronde hadden nog eerder betrekking op de definitie en inhoud van de principes.

2.6.3 Afstemming tussen de overheidsopdracht en de duurzaamheidsprincipes

Tijdens en bij afloop van de workshop bleek het onvoldoende duidelijk hoe de duurzaamheidsprincipes een antwoord bieden op de onderzoeksvraag van de overheidsopdracht. Hieronder lichten de uitvoerders toe op welke manier de principes, criteria, en indicatoren gebruikt zullen worden bij de ontwikkeling van het afwegingskader en de evaluatie van beleidsscenario's. Tot slot geven we hier ook al even kort mee welke aspecten het onderwerp zullen vormen van de tweede workshop.

Zoals door de opdrachtgever werd toegelicht, beoogt deze opdracht bij te dragen aan het uitwerken van een afwegingsystematiek opdat het beperkt, ondergronds volume in Vlaanderen zo optimaal mogelijk aangewend zou kunnen worden. Dit afwegingskader moet helpen om na te denken over toekomstig gebruik van de ondergrond en inzicht te geven in mogelijk maatschappelijke impacts van het meervoudig gebruik van de ondergrond. Impacts kunnen zowel kwantitatief als kwalitatief bepaald worden. Het is daarbij belangrijk dat dit afwegingskader elke toepassing objectief en gelijkwaardig behandelt. De impactanalyse wordt geënt op de Vlaamse situatie en het Vlaamse beleid.

Om concreet te maken wat ‘optimaal gebruik van de ondergrond’ precies inhoudt, stellen de uitvoerders van de opdracht voor om een duurzaamheidskader van principes, criteria en indicatoren uit te werken. Indicatoren zijn daarbij de maatstaven waarmee de impacts van het gebruik van de ondergrond gemeten kunnen worden. Deze indicatoren vloeien voort uit de duurzaamheidsprincipes -en criteria. De workshop leverde een bevestiging en verfijning van de voorgestelde principes en een eerste aanzet tot mogelijke criteria en daaraan gekoppelde indicatoren. Hierop zal door de uitvoerders verder worden gereflecteerd en middels verdere literatuurstudie verwerkt worden tot een meer concreet voorstel van principes, criteria en indicatoren voor de opmaak van een afwegingskader waarbij de duurzaamheid van mogelijke ontwikkelingen in de diepe ondergrond geëvalueerd kan worden. Hierover wordt gerapporteerd in deliverable 4 waarop vervolgens opnieuw een consultatie zal plaats hebben middels een tweede workshop en gesprekken met betrokken actoren.

Het afwegingskader dat ontwikkeld wordt, bestaat uit twee onderdelen: een beslisboommodel op basis waarvan mogelijke activiteiten in de ondergrond geselecteerd worden en een multicriteria-analyse om de impacts van de geselecteerde activiteiten gestructureerd voor te stellen en met elkaar af te wegen.

Het beslisboommodel is gestoeld op de reële optietheorie. Deze theorie laat toe om rekening te houden met onzekerheden en flexibiliteit doorheen de ontwikkeling van activiteiten in de ondergrond. Er wordt vertrokken van alle activiteiten die mogelijks op specifieke locaties in de ondergrond toegepast kunnen worden binnen een tijdshorizon van 25 jaar. Op basis van voorgestelde criteria, geeft het model aan welke activiteiten met een bepaalde kans tot ontwikkeling kunnen komen, binnen deze tijdshorizon. De criteria op basis waarvan het model de selectie maakt, zijn gelinkt aan het PC&I raamwerk en kunnen bovendien gekoppeld worden aan verschillende beleidsscenario’s, gaande van beleid dat het gebruik van de ondergrond stimuleert tot beleid dat het gebruik van de ondergrond beperkt. De uitkomst van dit model zijn sets van activiteiten die simultaan en/of opeenvolgend met een bepaalde waarschijnlijkheid tot ontwikkeling kunnen komen. Een set van activiteiten wordt door de uitvoerders een ontwikkelingspad (OP) genoemd. Al naargelang de criteria (het beleid) aangepast wordt, zullen de sets van activiteiten (mogelijke ontwikkelingspaden) verschillen. Op deze manier kunnen we inzichtelijk maken hoe verschillende beleidsscenario’s de ontwikkeling van de ondergrond sturen.

Het tweede onderdeel van het model is het afwegingskader. Voor elke set van activiteiten geselecteerd door het model zullen meerdere impacts gemeten worden en gestructureerd in een multicriteria analyse. Daarbij wordt onder meer gedacht aan impacts als:

- Geologische ‘reserve’ beschikbaar na toepassing van de activiteiten (gelinkt aan principe 1; indicator nog te bepalen). Het begrip ‘reserve’ zal verder verfijnd worden.
- Winstgevendheid (gelinkt aan principe 3; indicator: gemiddelde netto contante waarde)
- Klimaatimpact (gelinkt aan principe 3; indicator: global warming potential)
- Impact op materialengebruik (gelinkt aan principe 3; indicator nog te bepalen)
- Aantal personen die impact ondervinden (gelinkt aan principe 2; indicator: bevolkingsaantal dat impact ondervindt)

De voorgestelde impactcategorieën of indicatoren zijn een eerste selectie van geologische, economische, milieu en sociale indicatoren, gelinkt aan principes 1, 2 en 3. Deze lijst kan nog aangevuld worden met andere indicatoren die relevant lijken voor de klankbordgroep en die gegeven het tijdsbestek van de opdracht kunnen meegenomen worden door de uitvoerder. Het afwegingskader zal sowieso voldoende flexibel zijn om later indicatoren toe te voegen.

Deze criteria en beleidsscenario's zullen bediscussieerd worden in workshop 2. Aan de hand van een illustratief voorbeeld met een beperkt aantal activiteiten zal deze aanpak nader worden toegelicht, alvorens dieper in te gaan op prioritering van criteria en te modeleren scenario's opdat het model een zo realistisch mogelijke inschatting kan maken van mogelijke activiteiten die minder tot meer waarschijnlijk tot ontwikkeling kunnen komen en de daarbij horende verwachte impacts.

2.6.4 Overzicht van verdere actiepunten

Ter afronding overlopen we hier nog even schematisch de volgende stappen in dit project.

Van principes naar criteria en indicatoren
Op basis van de eerste workshop en een lopende internationale Delphi bevraging (een parallel initiatief naast deze opdracht) werden de 6 voorgestelde principes op zich niet in vraag gesteld. Wel werd de formulering ervan bijgesteld.
Randvoorwaarden voor het bewaken van deze principes (criteria en daaraan gekoppelde indicatoren) gesuggereerd tijdens de workshop werden in dit verslag opgelijst en worden vervolgens door de uitvoerders van de opdracht nader bekeken, getoetst aan de literatuur en geconcretiseerd als onderdeel van taak 4. Het (voorlopige) resultaat van deze oefening wordt gerapporteerd in deliverable D4 en daarna nog eens in de diepte afgetoetst middels interviews met stakeholders (tussen eind september en eind oktober).

Opbouw van het model - Er wordt een model opgebouwd dat bestaat uit twee onderdelen.
Het eerste onderdeel omvat een beslisboomanalyse gebaseerd op de reële optie theorie. Het model selecteert welke mogelijke activiteiten minder of meer waarschijnlijk toegepast zullen worden in Vlaanderen binnen de 25 jaar. Deze selectie gebeurt door het model op basis van een aantal beslissingscriteria. Deze criteria zijn gelinkt aan verscheidene beleidsscenario's. Zo wordt er onderzocht welke impact een beleidsscenario zal hebben op de kans dat een bepaalde activiteit ontwikkeld wordt in Vlaanderen binnen 25 jaar.
Het tweede onderdeel omvat het afwegingskader. In dit afwegingskader worden de verwachte geologische, economische, milieu en sociale impacten opgelijst voor de verschillende geselecteerde activiteiten.

Selectie van criteria als input voor het model
Tijdens WS 2 (20 september 2023) zal er besproken worden welke criteria kwantitatief ingebracht kunnen worden in de modelering (eerste onderdeel) en welke criteria toegepast kunnen worden bij de evaluatie van de geselecteerde activiteiten in het multi-criteria afwegingskader (onderdeel 2).
Wat betreft het multi-criteria afwegingskader, zullen niet alle geologische, milieu, economische, en sociale impacten geëvalueerd kunnen worden. De selectie van geologische, milieu, economische, en sociale indicatoren die opgenomen zal worden in dit afwegingskader wordt eveneens besproken in WS2.

Verdere verfijning en testen van het model
Met de verkregen feedback op deliverable D4 en uit WS2 zullen de onderzoekers verschillende modelsimulaties uitvoeren, zodat er inzichten verkregen worden omtrent (i) type van activiteiten die meer of minder waarschijnlijk opgestart zullen worden in Vlaanderen onder verschillende vormen van beleid en (ii) de verwachte geologische, milieu, economische, en sociale impacten die daarmee gepaard gaan.
In WS 3 (februari 2024) worden de modelresultaten voorgesteld en besproken met de klankbordgroep.

3 WORKSHOP 2 – 22 SEPTEMBER 2023

3.1 AANWEZIGHEDEN

Uitvoerders (onderzoeksteam KBIN-UA):

- Tine Compernolle (TC, Belgisch Geologische Dienst & Universiteit Antwerpen)
- Kris Welkenhuysen (KW, Belgische Geologische Dienst)
- Kris Piessens (KP, Belgische Geologische Dienst)
- Anne Bergmans (AB, Universiteit Antwerpen)
- Hanne Lamberts-Van Assche (HLVA, Universiteit Antwerpen)
- Alexandra Van Cammeren (AV, Universiteit Antwerpen)
- Alexander Van Overmeiren (AO, Universiteit Antwerpen)

Opdrachtgever:

- Jan Van Roo (JR, Vlaams Planbureau voor Omgeving), opdrachtgever
- Helga Ferket (HF, Vlaams Planbureau voor Omgeving)
- Johanna Van Daele (JD, Vlaams Planbureau voor Omgeving), dagelijks bestuur van de opdracht)

Klankbordgroep:

- Nathalie Vallet (Universiteit Antwerpen/Vlaams Planbureau voor Omgeving)
- Fre Maes (FOD Gezondheid (Klimaat))
- Tahnee Vansteenbrugge (Provincie Antwerpen)
- Frans De Nayer (Tuinbouwcluster Merksplas)
- Koen Beerten (SCK-CEN)
- Maarten Van Geet (NIRAS)
- Dominique Ceursters (Fluxys)
- Hans Claes (Johnson & Johnson)
- Stijn Kuypers (Johnson & Johnson)
- Ben Laenen (VITO)
- Stijn Bos (HITA)
- Raphael Deplaen (Sterrenwacht)
- Thomas Hermans (UGent)
- Paul Vansteelandt (geoloog en mijningenieur op rust)
- Etienne Schouterden (IPAS)
- Paul Boutsen (Transit-Lab)

3.2 INLEIDING

- Welkom door Tine Compernolle (TC) in naam van het onderzoeksteam
- Toelichting van de uitvoering door TC
- Toelichting bij de workshop door TC
- Welkom door Jan Van Roo (JR) in naam van opdrachtgever
- Aankondiging workshop Dinantiaan op vrijdag 6 oktober door Johanna Van Daele (JD)
- Voorstellingsronde leden klankbordgroep

De PowerPoint presentatie die gebruikt werd tijdens de workshop is toegevoegd in Bijlage 2 – Presentatie Workshop 2.

3.3 RECAPITULATIE WORKSHOP 1

3.3.1 Verslag workshop 1

Toelichting TC.

- Wat zijn indicatoren, principes om duurzaamheid te meten in de ondergrond?
- Verslag van de workshop = 'ruwe data'
- Wordt verwerkt in rapport omtrent de randvoorwaarden voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond
    - Oplijsting van principes
    - Per principe: criteria en indicatoren op basis van de workshop en literatuur
- Rapport wordt naar de leden van de klankbordgroep gestuurd met de vraag om feedback te geven. (Mail met rapport werd verstuurd op dinsdag 21 november, door HL.) Feedback kan schriftelijk doorgestuurd worden of mondeling tijdens de individuele interviews die gepland zijn in November, in het kader van een stakeholder mapping.

3.3.2 Werkbaarheid P1

Toegelicht door Kris Piessens (KP).
P1: "*De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties.*
Voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn, betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (behoud van hulpbronnen)."

- Zeer fundamenteel uitgangspunt, gaat over kansen van onze soort
- Maar ook een moeilijk principe, vaak niet haalbaar
- Daardoor terechte vragen:
    - Wat indien 'reserves' zeer groot zijn?
    - Wat indien de huidige noden groter zijn dan de toekomstige?

Werkbaarheid & haalbaarheid van P1 werd in vraag gesteld tijdens de eerste workshop. Duurzaamheid staat in de opdracht, maar als we dit toepassen op ondergrond, lijkt de betekenis van duurzaamheid nog moeilijker te vatten.
"*De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties.*"
P1 impliceert dus dat als we iets ontginnen, we ook aan toekomst moeten denken, en zorgen dat er nog iets overblijft voor volgende generaties. Moeilijk principe in deze context! Wat zat er niet in formulering P1?

- Wat indien reserves zeer groot? (Is het dan nodig om hier duurzaam mee om te gaan?)
- Wat indien huidige noden groter zijn dan toekomstige? Is het dan verantwoord om niet duurzaam mee om te gaan?
- Wat als je niet duurzaam bent of niet duurzaam kan zijn, hoe kan je dan toch nog het meest duurzaam zijn?

Daarom P1 uitgebreid, met een 'grijze' zone: wat is het meest duurzame, in het geval dat we de definitie van 'duurzaamheid' niet strikt kunnen toepassen.
*Als een winning van hulpbronnen (hernieuwbaar of niet) noodzakelijk is maar **niet duurzaam** kan zijn, dient deze winning de beschikbaarheid van hulpbronnen op de lange termijn te maximaliseren (verlenging van hulpbronnen).*
"Niet duurzame" ontginning: soms noodzakelijk, maar kijk dan voorbij de noden van vandaag.

Het begrip *lange termijn* is hier ook heel belangrijk: menselijke tijdschaal (aantal generaties; niet in miljoenen jaren). Indien de reserves zeer groot zijn, vallen restricties met betrekking tot de ontginning weg.
Voorbeelden:
Grondwater

- Voorbeeld van grondstof waar we duurzaam mee omgaan, wordt heel strikt opgevolgd

Geothermie met co-productie van lithium

- Voorbeeld waarbij voor niet duurzame winning (van Li) gekozen kan worden, om urgente problemen op te lossen (nood aan Li vandaag)
- Uitputting moet echter beperkt blijven
- Lithium is een eindige hulpbron en na winning onderstaat er mogelijks een nieuw chemisch evenwicht tussen het gesteente en de geïnjecteerde (Li-uitgeputte) vloeistof (brijnwater)
- In combinatie met geothermie, is dit wel een efficiënte manier om lithium te ontginnen
- Daarom zit coproductie van Li bij geothermie in die 'grijze' zone

Niet-kritische grondstoffen

- Bepaalde voorraden worden (bij huidige vooruitzichten) niet uitgeput

3.3.3 Algemeen onderzoeksopzet

Toelichting door TC.
Doel: aanleveren van bouwstenen voor een afwegingskader om het gebruik van de diepe ondergrond te evalueren

- Hoe de diepe ondergrond *optimaal* aanwenden, gegeven beperkte volume?
- Wat zijn maatschappelijke *impacts* verbonden aan dit gebruik?

Wat is '*optimaal*'? En welke *impacts*, welke aspecten?

→ Indicatoren: winst, milieu-impact, maatschappelijke impact en draagvlak, …?

→ Duurzaamheidskader

- Literatuur: er bestaan wel duurzaamheidskaders voor diepe ondergrond, maar vertrekken steeds vanuit 1 specifieke activiteit, niet vanuit de hulpbron zelf. Omdat bestaande kaders steeds focussen op 1 activiteit, willen wij stap terugzetten en proberen kijken naar geheel.
- Beginsel -> vertrekken van de principes
- Beoordeling? -> we moeten dan ook criteria identificeren, waaraan moeten we dan 'voldoen'

- PC&I

Algemeen onderzoeksopzet
Lijst activiteiten -> individuele impacts
PSS simulatie -> inzicht in multifunctioneel gebruik | tijd – ruimte | beleid

- PSS-simulatie = ontwikkeld door Geologische Dienst van België

Impactanalyse -> inzicht impacts multifunctioneel gebruik | tijd – ruimte | beleid
Lijst van activiteiten

- Voor alle mogelijke activiteiten die kunnen opgestart worden in diepe ondergrond
- Wat zijn dan mogelijke economische, milieu en sociale impacts daaraan verbonden?
  - Economische en milieu = kwantitatief

- Sociale impacts: kwalitatief

Context: welke impact kan een bepaalde beleidsvisie hebben op de ontwikkeling van de diepe ondergrond?

PSS-simulatie

- Input voor PSS:
  - Lijst van activiteiten
  - Geologische, economische, en milieu impacts gelinkt aan elke individuele activiteit
  - Geologische randvoorwaarden
  - Randvoorwaarden m.b.t. welke activiteiten gezamenlijk uitgevoerd kunnen worden, of opeenvolgend in de tijd
  - Andere criteria waaraan voldaan moet zijn (zoals bv. winstgevendheid, of milieurandvoorwaarden)
  - Beleidsvisies
  - Onzekerheden: geologische onzekerheden en marktonzekerheden
- Output
  - Mogelijke ontwikkelingspaden voor de diepe ondergrond, gegeven de opgelegde randvoorwaarden en veronderstelde beleidsvisie
  - Kansverdeling van de geologische, economische en milieu-impacts
  - Kwalitatieve bespreking van de verwachte sociale impacts

PCI

- Principes worden samen met beleidsvisies vertaald naar criteria en randvoorwaarden.
- Criteria: input voor de PSS simulator, de randvoorwaarden waaraan voldaan moet worden opdat een ontwikkeling geïnitieerd zou worden
- Indicatoren: maatstaven die gebruikt worden om de geologische, economische, milieu en sociale impacts te bepalen

Impactanalyse

Multi-criteria analyse (MCA): kwantitatieve + kwalitatieve criteria

- Per beleidsvisie andere ontwikkelingspaden en impacts
- Instrument ter reflectie, ter discussie
- Resultaten kunnen afgetoetst worden met PCI-kader, om wenselijkheid van bepaalde ontwikkelingspaden te beoordelen

3.4 IMPACTANALYSE (I): LIJST VAN ACTIVITEITEN

Toelichting door KP.

- Lijst van mogelijke activiteiten, samengevat in thesaurus
- Eerste ontwerp
  - Aan te vullen
  - Ook tijdens interviews (stakeholder mapping) nog terugkomen op deze lijst
- Lijst van mogelijke activiteiten…
  - Enkel in diepe ondergrond
  - Specifiek voor Vlaanderen
- Open voor input
  - Hoe zaken benoemen
  - Hoe activiteiten groeperen

- Activiteiten in de lijst worden meegenomen in de simulatie, dus belangrijk dat deze zo volledig mogelijk is

Lijst van activiteiten overlopen door KP. *Activity status* geeft aan wanneer activiteiten kunnen plaatsvinden/ontwikkeld worden.

- Active: vindt plaats vandaag
- Future < 2050: binnen 25 jaar
- Future > 2050: langer dan 25 jaar
  → veel onzekerheid over tijd + onzekerheid over ondergrond en wat mogelijk is

3.4.1 Geothermal activities

Opgedeeld in open (geothermal open systems), gesloten (geothermal closed or semiclosed systems) systemen, en warmteopslag (geothermal heat storage systems).

- Open systemen
  - = meer traditionele systemen (doublet) (twee projecten actief anno 2023)
  - Direct heat use = verwarming residentieel
- Gesloten systemen
- Warmteopslag
  - Cold and heat storage: meestal < -500m
  - Potentieel bestaat wel voor diepe ondergrond > -500m (mijnprojecten of hoge temperatuuropslag)

Vraag Kris Welkenhuysen (KW): wat met enhanced geothermal systems? Staan nog niet op lijst.

→ KP: zou er in principe moeten tussen staan, maar wanneer verwachten we die technologie? Nog niet meteen.
→ Ben Laenen (BL): zou beter passen in downhole heat exchanger?

Helga Ferket (HF): zou single weglaten bij ‘single borehole with (horizontal) laterals’.
Vragen/reacties vanuit klankbordgroep over gekozen tijdshorizon:

- Dominique Ceursters (DC): Future < 2050 -> wil zeggen dat we binnen 25 jaren concrete activiteiten zien?
- Tahnee Vansteenbrugge (TV): Heel wat beleidsvisies hebben ook 2030 als tussentijdse mijlpaal. Dat kan heel wat dingen in beweging zetten, richting 2050. Bepaalde technologieën kunnen zo vanaf 2030 al meer naar voorgrond komen. Kunnen we 2030 toevoegen (als intermediaire horizon)?
- Beleidsvisie heeft ook grote impact op welke activiteiten en op de tijdspanne van de activiteiten
- Paul Vansteelandt (PV): exploratie van 4/5 van Vlaanderen moet nog beginnen. Zal toch zeker 25 jaar nodig hebben vooraleer we activiteiten beginnen doen

→ KP: Future < 2050 wil niet per se zeggen dat activiteit al volledig is opgestart, maar minstens Final Investment Decision (FID).
  - Reactie klankbordgroep: groot verschil tussen een project van TRL 2 – 3 en project in FID.
→ KP: Gekozen tijdshorizon is belangrijk. We spraken steeds over een simulatie van 25 jaar, maar die paar jaar die we hebben toegevoegd (tot aan 2050) zijn heel belangrijk. Veel

projecten die anders zouden missen. Keuze voor tijdshorizon van 2050 is heel belangrijk in ons model; als de technologie niet voor 2050 gebruikt wordt, wordt hij niet meegenomen in de simulatie. (Terwijl 2030 geen threshold is om activiteit wel/niet mee te nemen.)

→ KP: Er is een hoge geologische onzekerheid, hoe gaan we daar mee om? (Onzekerheid over kennis van de ondergrond, die voor een groot deel in Vlaanderen nog niet gekend is.)
    - Reactie klankbordgroep: beleidsvisie = verhaal van het kip of het ei. Beleidsvisie kan impact hebben op ontwikkelingspaden.

→ KP: we houden rekening met heel wat activiteiten, en met de mogelijke interacties tussen deze activiteiten. Daarom is de simulatie nodig.

- BL: rekening houden met TRL? TRL zien evolueren in de simulatie zelf?

→ KW: kunnen overwegen rekening te houden met learning curves in de simulatie

3.4.2 Geological storage and disposal activities

Afval = wat we onder de grond willen steken om er vanaf te zijn. Activiteiten in grijs werden al eerder vermeld.

- Chemical energy storage activities
    - Discussie in klankbordgroep waar natural gas hoort.
- Waste storage and disposal activities
    - CO_2 staat hier tussen, ook al ziet niet iedereen dat als afval
- Resource storage activities
    - Discussie in klankbordgroep waar natural gas hoort.
    - Discussie in klankbordgroep of drinkwater in de diepe ondergrond moet gestockeerd moet worden.
- Potential energy storage activities
    - Lined-rock cavity-based hydropower = zelf ruimte maken in ondergrond. Tunnels creëren in gesteente om als reservoir te gebruiken. Discussie in klankbordgroep: wat met ruimtebeslag. Moet dit gecompenseerd worden? Vraag voor beleid?

Discussie over natural gas binnen klankbordgroep.

- HF: waarom natural gas by chemical energy storage activities?
- KP: kun je inderdaad over discussiëren. Er is geen verschil – ze verwijzen naar zelfde activiteit – gewoon verschil dat we ze categoriseren als chemical storage of resource storage.

Discussie over aquifer storage.

- JR: aquifer storage op die diepte – gevolgen voor kwaliteit?
- HF: opslag water in diepe ondergrond = moeilijk voor te stellen. Er is geen capaciteit voor. Raar om het in diepe ondergrond op te slaan, terwijl er nog depletion is in ondiepe. Aanvulling van onderaan = vreemd.
- KP: huidige proefprojecten focussen zich allemaal op massief van Brabant. Die activiteit wordt daar momenteel echt onderzocht.

Discussie over lined-rock cavity-based hydropower

    - HF: onrealistisch in mijnen voor Vlaanderen (want staan momenteel onder water)
    - KP: deze activiteit staat na 2050, dus zou niet opgenomen worden in simulatie.

3.4.3 Raw material extraction activities
3.4.4 Groundwater activities
3.4.5 Hydrocarbon extractive activities

KP: dit nemen we op omdat dat naar voren komt in specifieke scenario's, waar die gepusht worden.

3.4.6 Combined geological activities
3.4.7 Extractive dominant activities

Activiteiten die zaken ontginnen

3.4.8 Additive dominant activities

Activiteiten die zaken toevoegen aan de ondergrond. Allemaal grijs -> activiteiten die al in andere categorieën werden vernoemd.

3.5 IMPACTANALYSE (II): METHODE

Toelichting door KP.

De Grote Vragen voor Vlaanderen

Kleine vragen

- Impact van één enkele activiteit?
- Hoe vergroten we de rol van de ondergrond?
- Vooruitgang op korte termijn?
- Wat is wenselijke uitkomst?

Grote vragen

- Hoe beïnvloeden alle activiteiten elkaar?
    - Hoe zien we gebruik van de ondergrond dan evalueren?
- Hoe benutten we de ondergrond optimaal?
- Duurzame vooruitgang over verschillende generaties?
    - Ook langere termijn!
- Hoe beïnvloedt onzekerheid de uitkomst?
    - Je kan plannen naar wenselijke uitkomst toe, maar belangrijk om te weten wat de kans is dat je op die wenselijke uitkomst komt

Reactie klankbordgroep (Stijn Bos – SB):

- Als *Hoe vergroten we de rol van de ondergrond?* Een 'kleine' vraag is, kunnen we ook de 'grote' vraag stellen *Willen we een grotere rol voor de ondergrond?*

Wat hebben we nodig?

- Reële optie analyse: PSS

→ voorspelt gedrag van investeerders (constante factor)

    - Welke beslissingen zullen investeerders nemen in de bepaalde context die we invoeren in model?

→ + ook andere criteria dan economische

- Portfolio-keuze
- Reservoir model voor heel Vlaanderen: ELL

→ de grote uitdaging voor ons: dit is nog niet gebeurd

- Ontwikkelingscenario's

→ simulatie overheidsbeleid (= variabele factor)

- We gaan 6 verschillende scenario's draaien en zien hoe die zich tot elkaar verhouden

PSS + ELL werken samen om één grote forecast te maken

Na simulatie

- Invloed van beleid op ontwikkeling van de ondergrond:
  Hoe effectief is beleid?
- Afweging van de uitkomst:
  Wordt het beoogde/verwachte effect bereikt?

Optimaal of waarschijnlijk

- Optimization: perfect foresight
  - Waar willen we eindigen in 2050? En zo terugwerken tot nu.
- Forecasting: limited foresight = onze manier van werken
  - Waar zijn we nu, welke maatregelen plannen we, en waar eindigen we dan?

De twee modellen op deze slide kregen dezelfde input, en toch geven ze heel andere output. Met perfect foresight eindigen we perfect op ons doel, met limited foresight ligt het doel in het bereik, maar eindigen we niet per se perfect op het doel.

Een beslisboom bouwen

We hebben een zak geld – wat doen we er mee? 3 mogelijkheden (voorbeeld):

(0) niets doen (= wachten)
(1) fabriek bouwen (en optie openhouden om later nog CO_2 captatie bij te bouwen)
(2) fabriek + later CO_2 captatie (na (1))
(3) fabriek + meteen ook CO_2 captatie
-> Opties mappen doorheen de tijd

- Als je (3) kiest -> zit je vast, keuze gemaakt
- Als ik kies voor (1), (2) of (3) volgend jaar, wat is dan de verwachte winst?

En een beslissing nemen

Grafiek: winst vs. risico voor de verschillende opties. Optie 1 = beste, grootste winst (average) tegenover risico (variance).
Beslissingen combineren
Optimal portfolio theory: verschillende technologieën kiezen om risico's te spreiden.

Onzekerheid verandert met de tijd

Economisch principe = je hebt vandaag onzekerheid over olieprijs binnen 10 jaar. Om die onzekerheid op te lossen, kunnen we simpelweg 10 jaar wachten, en dan weten we de olieprijs zeker. Maar dat werkt niet voor geologische onzekerheden, je kan niet wachten. Je moet actief iets ondernemen om die onzekerheden op te lossen! Deze onzekerheid moet dus anders benaderd worden.

Geologische onzekerheid

Niet enkel investeringsbeslissingen simuleren, maar ook exploratie. In simulatie zal ook een exploratie-stap zitten.

Het belang van stochastische berekeningen

Deze figuur toont waarom je onzekerheden moet meenemen in je simulaties. Het gemiddelde valt niet samen met de meest waarschijnlijke waarde.

Geologische realiteit en onzekerheid
We werken met telescoped analytical model. Voor de 1e keer een regionaal model.
Regionaal model: hydrostatische druk

- AEM-model: manier om grondwater te simuleren op analytische manier

Geneste modellen
Temperatuur, druk, … kunnen we niet meenemen in dat regionaal model. Daarom een tweede model nodig!

Waarom al deze moeite?

- Niet om beleid uit te stippelen, keuzes liggen bij de overheid
- Wel om fundamenteel inzicht te geven in beleidskeuzes en -instrumenten:
    - Impact: Hoe reageert de maatschappij
    - Efficiëntie: Hoe optimaal wordt de ondergrond gebruikt
    - Effect en richting: Welke totale uitkomst wordt bekomen (geo, milieu, eco, soc)
    - Onzekerheid op uitkomst: Welke risico's worden genomen
- Maatschappij en ondergrond zijn complex, maar kunnen gemodelleerd worden

Simulaties geven niet aan welk beleid moet gevolgd worden, maar geven aan wat de gevolgen zijn van bepaalde keuzes die gemaakt worden, geven inzicht in beleidskeuzes en instrumenten.

PAUZE

Opmerkingen die de uitvoerders kregen tijdens de koffiepauze:

- *Het is misschien beter te spreken van beleidsscenario's i.p.v. beleidsvisies*
- *Scenario toevoegen waar beleid geen stimulansen en geen beperkingen oplegt voor activiteiten in ondergrond (0-situatie)*

3.6 IMPACTANALYSE (III): BELEIDSVISIES

Toelichting door TC.

Denkoefening: wat als…

- Welke activiteiten worden mogelijks opgestart zonder beleidsvisie?
- Welke beleidsvisies kunnen er toegepast worden?
- Hoe zal de mogelijke opstart van activiteiten anders zijn, onder verschillende beleidsvisies?

Benchmark = wat als er geen beleid is, wat als we de markt (investeerders) gewoon z'n ding laten doen? (= 0-situatie). Hoe is de opstart van activiteiten anders, afhankelijk van beleidsvisies?

3.6.1 Voorstel van beleidsvisies (BV)

1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie
2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren
3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu
4. Maximaal inzetten op zelfvoorziening
5. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond
6. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de hulpbron

➔ 1e vier BVs: extremen opzoeken – maximaal inzetten op specifieke toepassing van ondergrond

BV 1: maximaal inzetten op hernieuwbare energie
Reactie klankbordgroep (TV): opslag aardgas stond in BV 1 – past dit wel onder een beleidsvisie die inzet op 'hernieuwbaar'?
BV 2: maximaal inzetten op behoud van opslagstructuren

➔ Zou kunnen dat we dan zien dat opslag van CO_2 al sneller gebeurt (in vergelijking tot andere BVs)

Discussie in klankbordgroep bij BVs en de voorbeelden:

- (DC) Beleidsvisie meenemen in model, maar het zijn de instrumenten die ingezet worden die dit soort effecten kunnen geven – en de marktsituatie verandert heel snel.
- Economische drivers veranderen heel snel – investeringshorizon is veranderd

→ KW: we kijken wat de impact is van verschillende impulsen, hoe richtinggevend beleid kan zijn.

→ HF: de oefening is niet om beleid te maken – dat is voor nadien. Oefening is: wat komt eruit als we zo'n of zo'n beleid voeren? Beleidsvisies worden karikaturaal in model gestopt

- Frans De Nayer (FDN) Worden economische kosten meegenomen?

→ TC: kosten zijn gelinkt aan de activiteiten en worden meegenomen in model

- (FDN) Kan je het model laten lopen 'zonder' beleid?

→ TC: dat is de '0', de benchmark, die we niet getoond hebben, maar die we ook gaan simuleren.

- (PV) Er zou ook een beleidsvisie rond 'exploratie' moeten zijn. Vandaag wordt het in Vlaanderen allemaal overgelaten aan privé.

→ KP: we kunnen een scenario laten draaien waarin we geologische onzekerheid laten oplossen, door exploratie te stimuleren vanuit overheid.

3.6.2 Denkoefening

De leden van de klankbordgroep werden onderverdeeld in drie groepen (één groep bij TC, één groep bij AB, één groep bij KW). Er was onvoldoende tijd voor de drie groepen om de 6 beleidsvisies te bediscussiëren. Elke beleidsvisie werd wel minstens door één groep besproken.

Samenvatting Input groep KW

In het scenario om maximaal in te zetten op hernieuwbare energie werd gekozen om de meeste aardwarmte-gerelateerde activiteiten te stimuleren, behalve wanneer gecombineerd met fossiele-brandstof-gerelateerde activiteiten (aardgas, CO_2). Verder zouden ook waterstofopslag en hydropower gestimuleerd worden. Nuclear waste disposal werd in alle scenario's beperkt, met de argumentering dat dit in de praktijk enkel wanneer noodzakelijk toegepast mag worden. Gelijkaardig werd ook industrial water extraction meestal beperkt, aangezien zo'n drukverlaging een negatief effect kan hebben op de productie-efficiëntie van de meeste andere activiteiten. Specifiek voor het hernieuwbaar scenario zou de oorsprong van het opgeslagen gas (methaan, waterstof, CO_2) gekend moeten zijn om te weten of dit gestimuleerd kan worden.
Het doel van het scenario voor het behoud van opslagstructuren is niet geheel duidelijk. Worden onder dit scenario de structuren zelf behouden, of wordt het gebruik van deze structuren zoveel mogelijk aangemoedigd? Voor de invulling van deze oefening is van het laatste uitgegaan. Daarom worden ook alle pure opslagactiviteiten gestimuleerd onder dit scenario. Gecombineerde en de

meeste andere activiteiten krijgen geen specifiek beleid, vermits ze misschien wel nodig zijn maar het gebruik van de opslagstructuren minder efficiënt maken. Indien deze buiten opslagstructuren vallen kunnen ze nog gestimuleerd worden. “Stimulatie” kan ook op basis van een voorkeur indien er keuze is tussen activiteiten, in plaats van stimulatie via bijvoorbeeld financiering.
Het scenario voor zelfvoorziening is het enige scenario waar de winning van koolwaterstoffen gestimuleerd zou kunnen worden. Verder zouden hier alle productie-gerelateerde activiteiten gestimuleerd worden, terwijl de pure opslag beperkt zou worden (de opslag van zelfgeproduceerde waterstof kan wel worden gestimuleerd).
Het toewijzen van activiteiten bij een gebalanceerd gebruik van de ondergrond bleek een moeilijke oefening. Hier is het moeilijk om absolute keuzes te maken, behalve waar het gaat om gecombineerde activiteiten, die een hogere efficiëntie naar ruimte/resourcegebruik hebben (bijvoorbeeld lithiumextractie gecombineerd met geothermie). Zowel de ruimtelijke als de tijdsdimensie zijn van belang om overexploitatie tegen te gaan.

Ruwe input (posters) – per beleidsvisie:

BV 1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie (volledig behandeld)

Opmerkingen: Wat is de oorsprong van het opgeslagen gas?
Te stimuleren: Multi-well geothermal heat with heat pump; Multi-well geothermal for direct heat use; Multi-well geothermal for power and heat; Mine geothermal project; Geothermal closed or semi closed systems; Cold and heat storage; High temperature storage; Open geothermal system with Li extraction; Hydrogen storage; Lined-rock cavity-based hydropower
Te beperken: CO_2 dissolved geothermal systems (gedeeld); Industrial water extraction; Natural gas storage; Nuclear waste disposal; CO_2 geological storage; Aquifer storage and recovery (groundwater)
Geen beleid: CO_2 dissolved geothermal systems (gedeeld); Mine geothermal system with CH_4 coproduction; Hybrid natural gas and hydrogen storage; Abandoned mine gas extraction

BV 2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren (volledig behandeld)

Opmerkingen: Geothermie kan gestimuleerd worden waar geen opslagstructuren aanwezig zijn. Als er keuze is tussen verschillende activiteiten voor een opslagstructuur dan krijgt de activiteit die nood heeft aan een invangstructuur voorrang, los van welke activiteiten steun genieten.
Te stimuleren: Natural gas storage; Hydrogen storage; CO_2 geological storage; CO_2 dissolved geothermal systems; Cold and heat storage; High temperature storage
Te beperken: Nuclear waste disposal; Industrial water extraction
Geen beleid: Alle andere

BV 3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu (niet behandeld)

BV 4. Maximaal inzetten op zelfvoorziening (volledig behandeld)

Opmerkingen: Enkel hier zou koolwaterstofwinning aan bod komen.
Te stimuleren: Open geothermal system with Li extraction; Mine geothermal system with CH_4 coproduction; Industrial water extraction; Multi-well geothermal for direct heat use; Multi-well geothermal heat with heat pump; Multi-well geothermal for power and heat; Mine geothermal project; Geothermal closed or semi closed systems; Cold and heat storage; High temperature storage; Lined-rock cavity-based hydropower; CO_2 dissolved geothermal systems (gedeeld); Aquifer storage and recovery (groundwater); CO_2 dissolved geothermal systems (gedeeld); Abandoned mine gas extraction

Te beperken: Natural gas storage; Hybrid natural gas and hydrogen storage; Nuclear waste disposal; CO_2 geological storage
Geen beleid: Hydrogen storage (behalve als het lokaal geproduceerd wordt, dan stimuleren)

BV 5. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond (deels behandeld)
Opmerkingen: Dit heeft ook te maken met langetermijnperspectief (ruimte + tijdsaspect), bv. Overexploitatie geothermie = korte win, maar geeft een tekort voor volgende 30 jaar. Win-wins maximaliseren.
Te stimuleren: Open geothermal systems with Li extraction

BV 6. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de grondstof (niet behandeld)

Samenvatting input groep TC

Bij de BV maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu wordt de berging van nucleair afval beschouwd als een activiteit die gestimuleerd moet worden om zo het milieu (bovengronds) te beschermen. CO_2 geological storage en Lined-rock cavity-based hydropower worden gezien als activiteiten die onder deze visie geen specifiek beleid nodig hebben. De milieu-impact van deze activiteiten worden beschouwd als onzeker. De leden van de klankbordgroep vragen zich af of CO_2 geological storage wel past binnen een koolstofarme economie, bovendien is het onzeker of CO_2 geological storage zou leiden tot een verzuring van de aquifer. Volgens de leden van deze groep zou het merendeel van de voorgestelde activiteiten gestimuleerd moeten worden onder deze visie. Gegeven dat het beschikbare volume in de ondergrond beperkt is, rijst de vraag of er binnen deze groep alsnog prioriteiten gesteld moeten worden. Alle activiteiten gekenmerkt door de opslag of winning van fossiele energiebronnen, hebben beperkend beleid nodig.
Bij de BV 'gebalanceerd gebruik' hebben de leden van deze groep de oefening gemaakt vanuit 'efficiëntie overwegingen' en minder vanuit 'het behalen van verschillende duurzaamheidsdoelstellingen'. Activiteiten die een gecombineerde output met zich meebrengen worden onder deze visie gestimuleerd. Activiteiten die slechts één output hebben, dienen beperkt te worden in het geval ze de activiteiten met gecombineerde output zouden verhinderen. De activiteiten die opgelijst staan bij 'te stimuleren' worden beschouwd als een alternatief voor de activiteiten die opgelijst staan bij 'te beperken'. Anders 'geen beleid'. Er zou daarbij ook rekening gehouden moeten worden met het specifieke reservoir dat getarget wordt.
Bij de BV 'lange termijn beschikbaarheid' stellen de leden van de groep dat alle activiteiten die uitputbaar zijn of die blijvende effecten hebben waardoor ze niet meer beschikbaar zijn op lange termijn, beperkt moeten worden onder deze visie. Enkel activiteiten met betrekking tot exploratie zouden onder deze visie gestimuleerd mogen worden. Alle andere activiteiten worden gecategoriseerd onder 'geen specifiek beleid nodig'.

Ruwe data groep TC

BV 1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie (niet behandeld)

BV 2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren (niet behandeld)

BV 3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu (volledig behandeld)

Opmerkingen: activiteiten waarbij impact op milieu onzeker is, of niet uitsluitend positief worden geplaatst bij 'geen specifiek beleid nodig'. Als er zo veel activiteiten te stimuleren zijn, moeten er misschien wel prioriteiten gesteld worden.
Te stimuleren activiteiten: Open geothermal system with Li extraction ; Multi-well geothermal for direct heat use; Multi-well geothermal heat with heat pump; Multi-well geothermal for power and heat; Mine geothermal project; Geothermal closed or semi closed systems; Cold and heat storage; High temperature storage; CO_2 dissolved geothermal systems; hydrogen storage; Nuclear waste disposal
Te beperken activiteiten: Mine geothermal system with CH_4 coproduction; Abandoned mine gas extraction; natural gas storage
Geen specifiek beleid nodig: Industrial water extraction; Lined-rock cavity-based hydropower; Aquifer storage and recovery (groundwater); hybrid natural gas and hydrogen storage; CO_2 geological storage

BV 4. Maximaal inzetten op zelfvoorziening (niet behandeld)

BV 5. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond (volledig behandeld)
Opmerkingen: De leden van deze groep hebben deze oefening gemaakt vanuit 'efficiëntie overwegingen' en minder vanuit 'het behalen van verschillende duurzaamheidsdoelstellingen'. Activiteiten die een gecombineerde output met zich meebrengen worden onder deze visie gestimuleerd. Activiteiten die slechts één output hebben dienen beperkt te worden in het geval ze de activiteiten met gecombineerde output zouden verhinderen. Anders 'geen beleid'. Er kan daarbij ook rekening gehouden worden met het specifieke reservoir dat getarget wordt. Geothermal closed or semi-closed system zou onder deze visie gestimuleerd kunnen worden als de target locatie het Massief van Brabant is, maar moet misschien beperkt worden als deze op een andere locatie een activiteit zou hinderen die een gecombineerde output kan opleveren.
Te stimuleren activiteiten: Mine geothermal system with CH_4 coproduction; Open geothermal system with Li extraction; Multi-well geothermal for power and heat; hybrid natural gas and hydrogen storage; CO_2 dissolved geothermal systems; Geothermal closed or semi closed systems (Massief v. Brabant);
Te beperken activiteiten: Mine geothermal project; Abandoned mine gas extraction; Multi-well geothermal for direct heat use; Multi-well geothermal heat with heat pump; CO_2 geological storage
Geen specifiek beleid nodig: Industrial water extraction; Lined-rock cavity-based hydropower; Aquifer storage and recovery (groundwater); Cold and heat storage; High temperature storage; Nuclear waste disposal; hydrogen storage; natural gas storage

BV 6. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de grondstof (volledig behandeld)
Opmerkingen: De leden van de groep stellen bij deze visie dat alle activiteiten die uitputbaar zijn of die blijvende effecten hebben waardoor ze niet meer beschikbaar zijn op lange termijn, beperkt moeten worden onder deze visie. Enkel activiteiten met betrekking tot exploratie zouden onder deze visie gestimuleerd mogen worden. Alle andere activiteiten worden gecategoriseerd onder 'geen specifiek beleid nodig'.
Te stimuleren activiteiten: exploratie
Te beperken activiteiten: Industrial Water extraction; Mine geothermal system with CH_4 coproduction; Natural gas storage; Hybrid natural gas and hydrogen storage; Nuclear waste disposal; CO_2 dissolved geothermal systems; Abandoned mine gas extraction; CO_2 geological storage; Lined-rock cavity-based hydropower;

Geen specifiek beleid nodig: Aquifer storage and recovery (groundwater); Cold and heat storage; High temperature storage; hydrogen storage; Open geothermal system with Li extraction; Multi-well geothermal for power and heat; Geothermal closed or semi closed systems; Mine geothermal project; Multi-well geothermal for direct heat use; Multi-well geothermal heat with heat pump.

Samenvatting input groep AB

Binnen de groep waren er verschillende interpretaties over wat een scenario of beleidsvisie is of zou moeten zijn. Uit de discussie daarover kwamen drie alternatieve "scenario's" naar boven:

1. Nadrukkelijke keuze voor overheidsinvestering in exploratie om de geologische onzekerheid te verminderen:
   Meer nog dan als scenario, zagen de deelnemers dit als een voorwaarde voor een duurzaam / verantwoord / haalbaar gebruik van de ondergrond.
2. Minimaal gebruik van de ondergrond als uitgangspunt in plaats van maximaal gebruik:
   Een deelnemer stelde de vraag "Wat als je de ondergrond niet kan inzetten?". Vanuit duurzaamheidsoogpunt werd vooropgesteld dat minimum verstoring te verkiezen is als uitgangspunt boven maximum verstoring, en spaarzaamheid boven overexploitatie.
3. Accenten leggen in functie van bovengronds gebruik en maatschappelijk voordeel:
   Enkele deelnemers hadden de indruk dat de 6 scenario's en de beoogde modellering sterk vanuit de ondergrond vertrokken. Zij bepleiten een sterkere link tussen bovengronds gebruik en de daaruit volgende beperkingen richting ondergrond enerzijds en specifieke noden/verwachtingen richting ondergrond anderzijds.

Om dit dan te vertalen naar de zes voorliggende beleidsvisies, koos de groep ervoor om BV5 (inzetten op gebalanceerd gebruik) te herdefiniëren als de combinatie van het maximaal inzetten op hernieuwbare energie (BV1) met een maximaal behoud aan ondergrondse opslagstructuren (BV2). Daarbij werd de kanttekening gemaakt dat de voorkeur diende te gaan naar natuurlijke opslagstructuren (het benutten van de host rock en diens specifieke kenmerken).
Onder dit gecombineerde "scenario" oordeelde de groep dat een veelheid aan diverse activiteiten stimulering verdiende, maar werd wel bepleit voorrang te geven aan gekende technieken. Opnieuw werd gewezen op de wenselijkheid van overheidsinvestering in exploratie.
Opvallend: de groep besliste resoluut dat CO_2 geological storage onder alle beleidsvisies diende beperkt te worden (ook onder BV3 en BV6 die verder wegens tijdsgebrek niet besproken werden).

Ruwe data groep AB

BV 1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie (deels behandeld)
Opmerkingen: als onderdeel beschouwd van BV5
Te stimuleren activiteiten: idem BV5
Te beperken activiteiten: CO_2 geological storage
Geen specifiek beleid nodig: idem BV5

BV 2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren (deels behandeld)
Opmerkingen: als onderdeel beschouwd van BV5; nadruk op benutten van natuurlijke opslagstructuren (host rock), binnen de context van bovengrondse noden
Te stimuleren activiteiten: idem BV5
Te beperken activiteiten: CO_2 geological storage
Geen specifiek beleid nodig: idem BV5

BV 3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu (niet behandeld)
Te beperken activiteiten: CO_2 geological storage

BV 4. Maximaal inzetten op zelfvoorziening (deels behandeld)
Op het einde bekeek de groep nog deze optie en zette vooral in op het benoemen van activiteiten
Te stimuleren activiteiten: ongeveer alles wat niet als "te beperken" of "geen specifiek beleid voor nodig" werd gezien
Te beperken activiteiten: CO_2 geological storage
Geen specifiek beleid nodig: Aquifer storage and recovery (groundwater); Industrial water extraction; Nuclear waste disposal; Abandonned mine gas extraction

BV 5. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de ondergrond (deels behandeld)
Opmerkingen: BV5 = BV1 + BV2
met als bijkomende voorwaarden: overheidsinvestering in exploitatie; bepalen ontwikkelingszones vanuit combinatie boven- en ondergrond; voorrang voor gekende technieken
Te stimuleren activiteiten: Multi-well geothermal heat with heat pump; Multi-well geothermal for direct heat use; Multi-well geothermal for power and heat; Geothermal closed or semi closed systems; High temperature storage; Hydrogen storage
Te beperken activiteiten: CO_2 geological storage
Geen specifiek beleid nodig: Mine geothermal project; CO_2 dissolved geothermal systems; Cold and heat storage; Natural gas storage

BV 6. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de hulpbron (niet behandeld)
Te beperken activiteiten: CO_2 geological storage

3.7 IMPACTANALYSE (IV)

Toelichting door TC.

Impactanalyse van de projecten die door het model geselecteerd worden.
Voorstel beperkte set van indicatoren:

- Geologische impact: evolutie geologische 'reserve' na toepassing van de activiteiten → P1
- Economische impact: verwachte NCW (winstgevend)→ P2
- Milieu impact: verwachte GWP (CO_2-uitstoot/besparing van CO_2-uitstoot) → P2
- Sociale impact: bevolkingsaantal dat bepaalde maatschappelijke kost of baat ondervindt → P3
- Andere principes/indicatoren worden kwalitatief besproken (vb. seismiciteit)

Voor deze set van indicatoren:

- Voor iedere indicator wordt er een kansverdeling gemaakt, bij de verschillende BVs
- Analyseren hoe de kansverdeling verschilt per BV
- PC&I framework wordt dan gebruikt als referentiekader

Er was onvoldoende tijd tijdens de workshop om de impactanalyse in de diepte te bespreken met de leden van de klankbordgroep. Feedback op deze set van indicatoren vanuit klankbordgroep is nog steeds welkom en mogelijk via de interviews die afgenomen zullen worden in November 2023.

3.8 AFSLUITING VAN DE WORKSHOP

Aankondiging workshop 3:
26 maart 2024, 13u, KBIN
modellering + MCA-matrix als onderwerp van discussie

4 WORKSHOP 3 – 26 MAART 2024

4.1 AANWEZIGHEDEN

Uitvoerders (onderzoeksteam KBIN-UA):

- Tine Compernolle (TC, Belgisch Geologische Dienst & Universiteit Antwerpen)
- Kris Welkenhuysen (KW, Belgische Geologische Dienst)
- Kris Piessens (KP, Belgische Geologische Dienst)
- Anne Bergmans (AB, Universiteit Antwerpen)
- Hanne Lamberts-Van Assche (HLVA, Universiteit Antwerpen)
- Alexandra Van Cammeren (AV, Universiteit Antwerpen)
- Alexander Van Overmeiren (AO, Universiteit Antwerpen)
- Kyra Verheyen (KV, Universiteit Antwerpen)
- Kenechi Eze (stagiair Belgische Geologische Dienst), als observator

Opdrachtgever:

- Jan Van Roo (JR, Vlaams Planbureau voor Omgeving), opdrachtgever
- Helga Ferket (HF, Vlaams Planbureau voor Omgeving)
- Johanna Van Daele (JVD, Vlaams Planbureau voor Omgeving), dagelijks bestuur van de opdracht)

Klankbordgroep:

- Ben Laenen (VITO)
- Boris Dehandschutter (FANC)
- David Michiels (Provincie Limburg)
- Dominique Ceursters (Fluxys)
- Frans De Nayer (Tuinbouwcluster Merksplas)
- Gianni Cuinen (Johnson & Johnson)
- Hans Claes (Johnson & Johnson)
- Koen Beerten (SCK-CEN)
- Laurent Wouters (NIRAS)
- Paul Vansteelandt (geoloog en mijningenieur op rust)
- Shana Debrock (BJO)
- Stijn Kuypers (Johnson & Johnson)

4.2 INLEIDING

- Welkom door Tine Compernolle (TC) in naam van het onderzoeksteam

- Voorstellingsronde leden klankbordgroep

De PowerPoint presentatie die gebruikt werd tijdens de workshop is toegevoegd in Bijlage 3 – Presentatie Workshop 3.

4.3 STAKEHOLDERMAPPING

Voorstelling tussentijdse resultaten door Hanne Lamberts (HL). Zie slides 3 – 24.
Geen vragen tijdens Klankbordgroep.

4.4 BELEIDSSCENARIO'S

Toelichting door TC. Zie slides 25 – 32.

- Bespreking internationale bevraging
- Bespreking beleidsscenario's voor Vlaanderen
    - Wat zijn de verschillen?

4.5 IMPACTANALYSE

Toelichting door Kris Piessens (KP). Zie slides 33 – 58.

4.5.1 Methode

Ell – Digitale tweeling

- Vraag Dominique Ceursters (DC): een laag = een diepte ?
- Antw. KP: Neen, het is conceptueel. De werkelijkheid verdeel je onder in elementen waarvan jij vindt dat ze zich uniform gedragen. Een 'element' in het model = een deel van de geologie (bv. een laag) die zich uniform gedraagt. De modelleerder bepaalt zelf welke elementen met elkaar in verbinding staan, wat anders is dan bij andere modelleertechnieken waar de geometrie dat dicteert.

Ell – extra geologische onzekerheid

- Vraag DC: Het is om die onzekerheid te verminderen, dat jullie nog meetpunt in Merksplas willen?
- Antw. KP: Ja, klopt. Belangrijk om op strategische plekken, tussen twee projecten, meetpunten te voorzien.

4.5.2 Resultaten

4.5.2.1 GT doubletten

Economische waarde (slide 40 – 41)

Exploratie scenario (rood/oranje scenario)

- Vlaanderen verkent z'n eigen bodem -> daardoor daalt geologische onzekerheid
- Hoge verwachtingen van dit scenario -> maar lijkt weinig op te leveren

Indirecte effecten Li (slide 42)

- Niet gebaseerd op mature data. -> dit zijn waarschijnlijk optimistische cijfers
- Vraag DC: Li productie beschouwd als bijproductie van doubletten?

- Antw. KP: Ja, assumptie in case is dat er doubletten zijn, en dan de beslissing moet/kan genomen worden of er bijwinning van Li moet gebeuren of niet

4.5.2.2 GT single well

Economische waarde (slide 43 – 44)

- Vraag Frans Denayer (FD): Wat is verschil in de subsidies bij de verschillende gesubsidieerde scenario's (1 – RES, 2 – STOR, 3 – CLIMA, 6 – EXPL)?
- Antw. KW: voor warmte is subsidie gelijk; voor andere scenario's verschilt subsidie
- Vraag FD: Hoe gebeurt die steun?
- Antw. KW: Premie op geproduceerde warmte.
- Aanvulling KP: niet per se beste manier, wel eenvoudigste om mee te nemen in modellering.
    - (gewoon kijken of de steun een effect heeft, in welke vorm die steun dan best gegeven wordt = voer voor andere studie)

4.5.2.3 KWO mijnen

- Model 'houdt' hiervan -> hoge probabiliteit! (onder huidige modelaannames)
- ~ gebeurt in Heerlen, bij ons in principe betere mijnen voor KWO (want dieper)

4.5.2.4 CO_2 opslag

Economische waarde – CO_2 opslag (slide 48 – 49)

- CO_2 opslag wordt vrij makkelijk gekozen
- Verschil tussen nulscenario en RES: in RES-scenario wordt CO_2 opslag minder geactiveerd dan in nulscenario (voor CO_2 opslag is geen beleid beter dan RES-beleid)
- Vraag David Michiels (DM): Is dat dan omdat er concurrentie is tussen die activiteiten?
- Antwoord KP: Ja, sommige locaties komen heel dicht bij elkaar. In STOR-scenario, manueel geothermie-projecten in buurt van potentiële opslagsites uitgezet, zodat die opslagprojecten gevrijwaard worden. Motivatie voor STOR-scenario: opslagsites zijn vrij unieke sites – wat als we die gaan vrijwaren?
- In CLIMA-scenario: hogere CO_2 prijs -> bepaalt mee de probabiliteit van opslag CO_2
    - NUL-scenario: startprijs tussen 50 en 150 €/t CO_2 – tot 50 – 250 €/t CO_2 in 2050 <-> in CLIMA scenario: 30 €/t CO_2 bijgerekend (t.o.v. NUL)
- CO_2 opslag gebeurt vandaag nog niet, maar er is op basis van de modelresultaten eigenlijk geen economische reden voor

Klimaatimpact

- Klimaat 'winsten' veel groter bij CO_2 opslag dan geothermie
- Vraag DC: Hoeveelheden CO_2 opslag = bepaald door model of input voor model?
- Antw. KP: Input, we zeggen dat er 0.5 miljoen t CO_2/jaar in Vlaanderen wordt opgeslagen
- Reactie DC: Plannen om tegen 2050 30 miljoen t CO_2 uit Vlaanderen te exporteren
- Vraag HF: CO_2 opslag moet geologisch én vergunningstechnisch mogelijk zijn in Vlaanderen (~exclusiezones rond opslagsites, Europese wetgeving)
- Reactie KP: We zijn hier uitgegaan van Migration Assisted Storage, een optie die open gelaten wordt in Europese wetgeving (los van het feit of deze gewenst is in Vlaanderen)
- Reactie HF: Opslag van CO_2 -> laat geen andere activiteiten toe. Dan lastig dat dit in een scenario zit – want alle andere activiteiten verdwijnen die iets positief doen voor klimaat
- Reactie KP: Vandaag wordt geen CO_2 opslag gedaan in Vlaanderen, omdat we het niet willen, niet omdat het niet zou kunnen. Het is geologisch mogelijk, en economisch haalbaar. Of het duurzaam is -> zegt model niet. De resultaten van model worden

meegenomen in de duurzaamheidsevaluatie (want dit is iets heel anders dan diepe geothermie -> opslag van CO_2 reserveert per definitie een gebied voor lange tijd voor die activiteit)

- Reactie DC: Model geeft dus aan dat opslag van CO_2 in theorie kan in Vlaanderen, indien toegelaten in wetgeving en indien condities juist zitten
- Reactie HF: Opslag van CO_2 -> verandert de ondergrond, heeft een impact
- Reactie KP: Model = testomgeving; wat gebeurt als we dit doen? Als we niet blij zijn met wat we zien -> parameters aanpassen. Model houdt soort spiegel voor. Als je niet blij bent met wat die spiegel toont, kan je bijsturen, en anders kan je het zo houden.

4.5.2.5 Waterstofopslag

Vraaggestuurd (slide 53)

- H_2 opslag beschouwen we als dienstverlening
- Vraag David Michiels (DM): Wat zit er aan de basis achter die vraag naar waterstofopslag? Prognose naar vraag?
- Reactie DC: Veel van die vraaggestuurde discussies zijn in feite economische discussies. Vanaf dat er overshoot van elektriciteit is -> kan die elektriciteit gebruikt worden om H_2 te produceren -> die dan kan opgeslagen worden -> wordt het wel economische discussie

Interferentie (slide 54 – 56)

- (hoe lager, hoe beter)
- Alles ziet er ongeveer hetzelfde uit in de scenario's
- Behalve in STOR -> minder dan in NUL -> omdat er in STOR minder diepe geothermie projecten worden ontwikkeld
- Schaal = waterdruk

Hydraulische conductiviteit

- Vraag Ben Laenen (BL): Hoe zeker ben je dat het model de druk correct simuleert?
- Reactie KP: Verschillende drukpatronen die het genereert doorheen het reservoir zijn minder zeker en verificatie is zeer belangrijk
- Vraag BL: Hoe zit het met de kalibratie van dit model?
- Reactie KP: Dit is een analytisch model, maar zuiver gebaseerd op fysische wetten die niet empirisch moeten worden bijgestuurd. Er zijn zeer weinig regionale gegevens om het model te kalibreren of verifiëren, maar indien de aannames realistisch zijn, zouden de uitkomsten van het model dat ook moeten zijn
- Reactie DC: Iets richtinggevend, niet als dé waarheid, maar kan ons inzichten brengen

- Toelichting KP: had zelf verwacht dat hydraulische conductiviteit veel richtinggevender zou zijn voor de interferenties en druk, maar blijkt dus niet geval te zijn. Vraag is: is er een fout in model? Of zijn aannames KP fout?

- Vraag (?): Hoe werden locaties voor de single wells bepaald?
- Antwoord KW: Naast een grootverbruiker.
- Reactie HF: Per toepassing de voetafdruk bepalen en dan kijken wat kan
- Reactie DC: Als er al een warmtevraag is die via andere "leveranciers" wordt gevoed -> moeten we niet daarvan vertrekken en zoeken naar mogelijke substituering?

4.6 MULTICRITERIA ANALYSE

Toelichting door TC. Samenvatting resultaten van model + toetsing met enkele sociale indicatoren.

4.6.1 Nulscenario

(slide 60)

- 1e rij = resultaten model
- Volgende rijen = indicatoren om af te toetsen of dit een (sociaal) wenselijke uitkomst is, of niet
- Vraag DM: Raar dat er GT doubletten op locaties met warmtevraagdichtheid van < 1 MWh/m.
- Reactie KW: Gebaseerd op reële locaties en mogelijke locaties. Bv. locatie van HITA, ergens tussen twee dorpskernen. Hangt dus ook af van de perimeter die je kiest
- Vraag Ben Laenen (BL): Hoe worden die locaties bepaald?
- Vraag HF: Wat is nut van natuurgebied zien als indicator? Andere vraag kan zijn: wat is grondgebruik van die activiteit?
- Vraag FD: Nog steeds niet duidelijk hoe locaties voor model gedefinieerd worden?
- Antw. TC: Locaties zijn voor gedefinieerd: er zijn 11 mogelijke locaties van GT doubletten. Model toont ons welke locaties worden geactiveerd en welke niet.
- Vraag HF: Wat met interferentie? Bv. Merksplas staat bij single well – waarschijnlijk ook bij doubletten – veel activiteiten dicht bij elkaar – mogelijke interferenties?
- Reactie KW: In NUL: sluiten ze elkaar niet uit
- Reactie KP: Hoe meer activiteiten, hoe meer (mogelijke) interferentie
- Vraag DC: Technisch sluiten de single well en doubletten elkaar niet uit, maar economisch misschien wel?
- Reactie KP: Neen, toch niet

4.6.2 Scenario 1 RES

slide 61

- Vraag DC: Hoe verklaar je dat kans geothermie doublet in Kalmthout daalt t.o.v. NUL?
- Vraag HF: Exclusiezones anders in NUL dan in RES – kan ook belangrijke impact hebben
    - Waarom verschil? NUL: 2.5 km, RES: 5 km. In Nederland stelt met overal 1km.
- Reactie KW: NUL = geen beleid; bij RES zal overheid meer regels opleggen
- Bedenking HF: doublets verder uit elkaar leggen lijkt tegenstrijdig aan idee dat je in RES zoveel mogelijk hernieuwbare energie wil stimuleren. Je zou verwachten dat er dan net meer projecten worden toegekend
- Reactie FD: Jammer dat je effect niet ziet van (1) wat is impact van cirkel die je groter maakt, (2) beleid dat je aanpast? Het zou interessant zijn om ook het verschil te zien tussen louter stimulans of niet (zonder dat meteen te koppelen aan veranderingen in afstand).
- Reactie KP: Die info kunnen we wel zien; effect is ook zichtbaarder in STOR

4.6.3 Scenario 2 STOR

slide 62

- Minder doubletten en single wells – want exclusiezones opslag op 10 km gezet

4.6.4 Scenario 3 CLIMA

slide 63

- Geothermie > CO_2 opslag

4.7 PLENAIRE BESPREKING MODELRESULTATEN

De resultaten van de poll zijn bijgevoegd in het document '2024.03.26 Klankbordgroep 3 Resultaten Poll everywhere' in Bijlage 4. Enkel de discussie bij de resultaten wordt hieronder weergegeven.

4.7.1 Belang en relevantie

Welke beleidsvisie is voor het meest relevant/belangrijk?

- Geen van bovenstaande = populair antwoord
- Reactie HF: omdat combinatie van scenario's net relevant zou zijn, niet focussen op 1 ding
- Reactie DC: want NUL scenario leek al redelijk aannemelijk

4.7.2 Verwachting

Komen de modelresultaten van de verschillende beleidsvisies overeen met uw verwachting?

- Reactie BL: helemaal, rekening houdend met aannames in model
- Reactie HF: de cirkels (exclusiezones) zouden consistent moeten zijn. Slechts 1 parameter per scenario veranderen. Moeilijk om daardoor te kijken.
    - TC: Cirkel = beleidskeuze
    - HF: Je neemt nooit meer dan wat je nodig hebt. Gebeurt ad hoc. Gasopslag: case per case bekijken, in functie van interferentie (gasopslag: voorzichtig, gas water druk). Je kan natuurlijk wel vuistregels gebruiken per activiteit. Stelt voor te redeneren vanuit wat een activiteit minimaal nodig heeft en op die basis exclusiezones te bepalen
- Reactie DM: Perimeter van 1 km in Nl = heel weinig

4.7.3 Ontbrekende scenario's/elementen

Ontbreken er nog scenario's/elementen?

Groep 1 (HF, Stijn Kuypers (SK), Laurent Wouters (LW))

- SK: Welke activiteiten kunnen we doen om de ondergrond te maximaliseren? Wat is de winst? Wat verliezen we als we het niet doen?
- HF: Scenario om te zien 'Hoe ver kunnen we springen?'

Groep 4 (Shana Debrock (SD), Koen Beerten (KB), Hans Claes (HC), Paul Vansteelandt (PVS))

- PVS:
    - Het massief van Brabant = 4/5 van Vlaanderen, maar men moet nog starten met exploratie. Accent leggen op exploratie.
    - Ertsen -> nog niet ter sprake gekomen. In Wallonië is er wetgeving rond ontginning van ertsen, in Vlaanderen nog niet. Omgeving Geraardsbergen – Halle - … : er zijn opsporingen geweest, en ertsen gevonden -> er zijn aanwijzingen dat dit interessante ontginningsgebieden zijn.
    - Single well: kunnen evengoed geplaatst worden in hartje Brussel bij Koninklijk Paleis – waarom ruimtelijke beperking opleggen. België wordt toch heel interessant voor diepe geothermie.

- Reactie KP:
    - Resultaten besproken t.e.m. 2050. Ertsontginning = voorzien na 2050 -> wordt enkel kwalitatief besproken
    - Single well: zitten erin – vooral om te testen hoe ze overeenkomen met de doubletten. Momenteel lopen ze achter op de doubletten.
    - Technologie is nog niet volledig matuur; technology learning kan hier invloed hebben
- SD:
    - Stel dat je een scenario doorrekent met beleid rond bovengrond, dat bouwshift meeneemt -> beleid voor bovengrond dat dicteert waar activiteiten in ondergrond kunnen komen (bv. Concentratie geothermie in stedelijk gebied)
- Reactie KP
    - Zeker relevant, maar is een vraag met een extra laag
- SD:
    - Kansenkaart van VITO waar je ziet waar meer kans is op verdichting
- Aanvulling HF: Verwijzing naar voetafdruk (bovengronds landgebruik) van de activiteiten kan zinvol zijn. Sommige activiteiten hebben niet veel ruimte nodig bovengronds -> kunnen in stedelijk gebied. Sommige hebben wel veel ruimte nodig -> moeilijker te linken aan dichtbevolkt gebied.

<u>Groep 2 (Jan Van Roo (JR), DM, DC, BL)</u>

- DM: Link met bovengrondse vraag (naar warmte); suggestie om ook begrenzing in de tijd te stellen
- BL: Meer aandacht schenken aan wat we op dit moment verwachten als mogelijkheden in de toekomst?
- Reactie KP: Als je zou kijken naar beleid van 10 – 20 jaar geleden -> zie je heel wat zaken die nu gerealiseerd zijn, maar ook heel veel zaken die totaal niet gerealiseerd zijn. Moeilijk om dat mee te nemen in lange termijn analyse.

<u>Groep 3 (Johanna Van Daele (JVD), FD, Boris Dehandschutter (BD), Gianni Cuinen (GC))</u>

- Vraag JVD: Nu maar 6 single wells in simulatie -> kan simulatie niet meer locaties voor single wells toelaten, want technologie die niet veel ruimte-beslag heeft, dus mogelijk dat er daar veel meer van gaan zijn in toekomst?
    - Reactie KP: Begrijp vraag, maar dat zou simulatie nog verder vertragen. Maar resultaten die we zien voor die 6 kan je extrapoleren –> kans voor die 6 ≈ kans voor 15 single wells
    - Vraag JVD: Kan je dan ook milieu-impact etc. voor 15 single wells berekenen?
- Vraag FD: Hoe wordt dit uiteindelijk vertaald naar het beleid? Welke investering vraagt dit van beleid en wat krijgen ze daar dan voor terug? Activatiepercentage stijgt, maar wat staat er tegenover? Wat was de kost/investering voor overheid?
    - Reactie KP: Vraag project = hoe pak je duurzaam beleid van de diepe ondergrond aan? Hoe begin je daar aan? Is een soort van leertraject. Simulaties enerzijds, beoordelingskader anderzijds. Wij doen geen uitspraken over welk scenario de overheid zou moeten volgen. Het gaat over het geven van inzichten
    - Reactie KW: warmtepremie = 30 €/MWh -> totale kost voor overheid kan je berekenen ruwweg, op basis van # MWh

4.7.4 Toetsing principes

4.7.4.1 Principe 1 | behoud van hulpbronnen en assimilatievermogen

- Reactie DC: Kan je dat hier wel uit halen?
- "Geen van bovenstaande" werd door meerderheid gekozen, omdat ze vinden dat er momenteel te weinig info is om te kunnen oordelen of een visie P1 respecteert (of niet)
- Opm. HF: geen interferentie als je om de 50 meter een single well plaatst; maar dan moet je die wel elke 30 jaar laten regenereren

4.7.4.2 Principe 2 | Efficiëntie

- Reactie JR/DM: De vraag die wordt gesteld is 'welke beleidsvisie respecteert P2?' -> de vraag zou moeten zijn 'welke beleidsvisie respecteert P2 **het meest**?'
- Daarom bij P1 geantwoord 'geen van bovenstaande'

Waarom EXPL?

- KB: je hebt data nodig
- JVD: exploratie heeft argument dat je activiteiten beter kunt kiezen, efficiënter. Maar nadeel dat je pas na 10 jaar gaat beginnen ontwikkelen – vertraging.
    - Reactie KP/KW: vertraging zit niet in het model
- Reactie van ?: exploratie hoeft korte termijn ontwikkeling niet tegen te houden
- FD: mooi voorbeeld is de Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN). De overheid biedt zo seismisch onderzoek aan om bedrijven en burgers te stimuleren om in te zetten op het gebruik van de ondergrond (https://scanaardwarmte.nl/)

4.7.4.3 Principe 3 | Rechtvaardige verdeling

- DM: Bij wie zitten de kosten, bij wie de baten? Ieder scenario kan daar goed of slecht op scoren, afhankelijk van juridische structuren => geen a priori uitspraken mogelijk
- FD: Op welk niveau bekijk je het voordeel of nadeel dat je genereert?
    - TC: Indicatoren rond winstgevendheid (= private); Indicatoren rond CO2 impact (= maatschappelijk); Bevolkingsdichtheid; …
- DC: In de matrix; afstand tot woonkern is niet per se parameter die je moet meenemen. Is niet per se negatief
- DM: Berging nucleair afval -> verontwaardiging -> daling waarde woning -> onrechtmatige verdeling lasten en baten

4.7.5 Betere beoordeling

- JVD: Zou het niet duidelijker zijn als je de scenario's zou vergelijken enkel obv milieu-impact - economische indicator - sociale indicator? Ipv die principes?
    - TC: Die indicatoren vallen binnen die principes, zijn wel gelinkt. Maar aanvoelen nu is dat we nog te weinig indicatoren hebben om die principes te gaan beoordelen.
    - KP: Voor milieu: CO2-emissies nemen we mee. Maar enkel dat -> kan conflicten geven. Dat is onvoldoende om duurzaamheid te beoordelen.

5 SLOTWOORD VPO

De leden van Klankbordgroep worden bedankt voor hun medewerking.

Rapport zal online gezet worden op onderzoeksportaal in de loop van de zomer ’24. Iedereen zal verwittigd worden van zodra rapport online staat.

Iedereen mag aansluiten bij technische meeting met vragen over model: vrijdag 19 april, 9u30, Ferraris-gebouw.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1 – PRESENTATIE WORKSHOP 1





Agenda

- **13:00** Rondjes randvoorwaarden: formuleren van criteria en indicatoren
    - 13u05 Rondje 1
    - 13u25 Rondje 2
    - 13u45 Rondje 3
    - 14u05 Rondje 4
    - 14u25 Rondje 5
    - 14u45 Rondje 6
- ***15:10*** *Koffie*
- **15:25** Plenaire bespreking resultaten en *reality check*
- **16:45** Einde

Voorstellingsrondje

Toelichting door de opdrachtgever

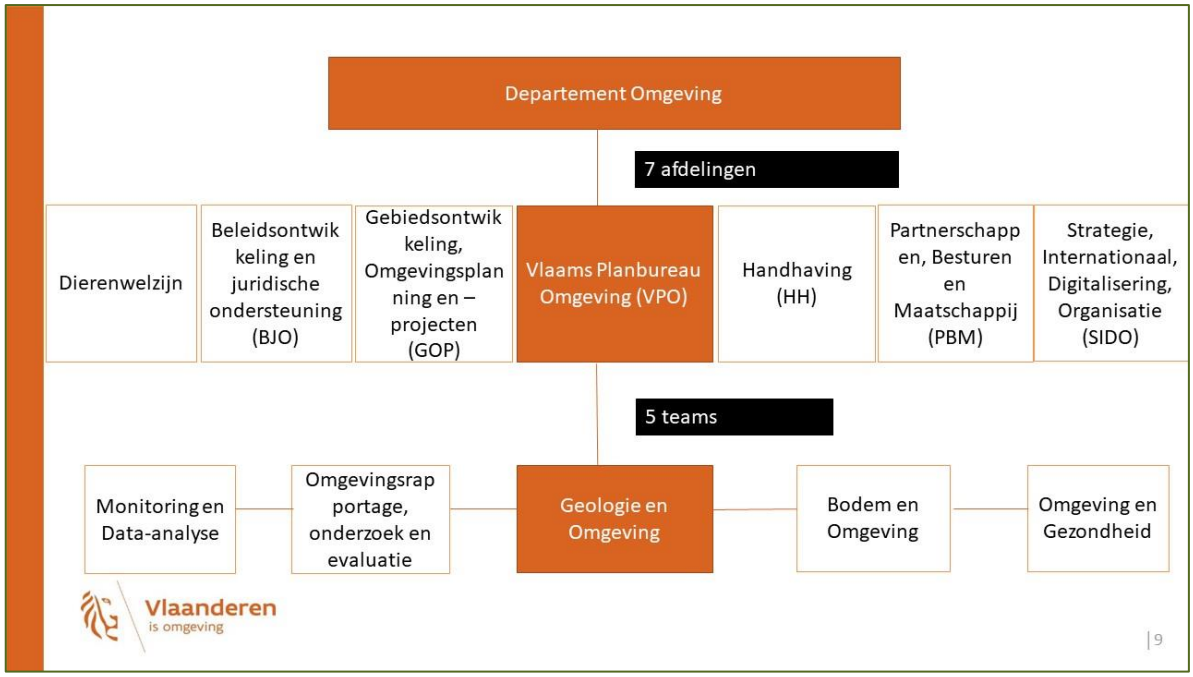


Welkom

1. Departement Omgeving – rol VPO
2. Decreet diepe ondergrond
3. Maatschappelijke impactstudie

Vlaanderen
is omgeving

1. Departement Omgeving – rol VPO



Wat drijft ons?

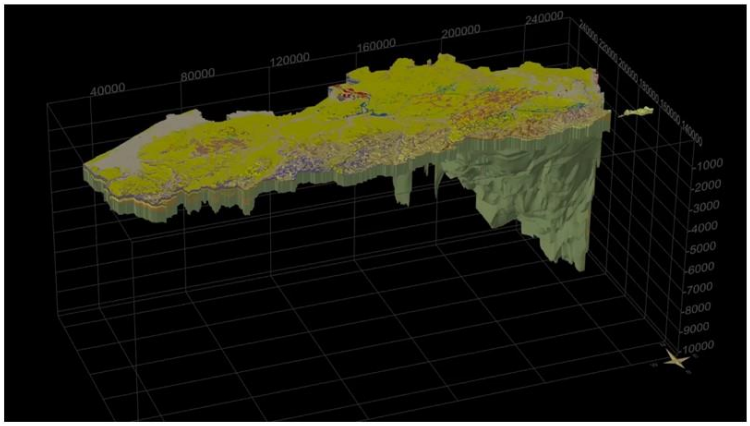
- Geologisch onderzoek en monitoring
- Leveren van expertise, data, kaarten, modellen en onderzoeksresultaten (Databank Ondergrond Vlaanderen)
- Ter onderbouwing van een kwalitatief en duurzaam beheer van de Vlaamse ondergrond (ondiep en diep) en van een duurzame grondstoffenbevoorrading
- De resultaten worden gezien in samenhang met de bovengrond en ten dienste van vele beleidsvelden zoals groene en circulaire economie, ondergronds ruimtegebruik, energie, klimaat, natuur en milieu
- Samenwerking en overleg met stakeholders (FOD Economie, FANC, Koninklijke Sterrenwacht, NIRAS, Fluxys, …)

Vlaanderen
is omgeving

10

Geologisch luik van de Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV)

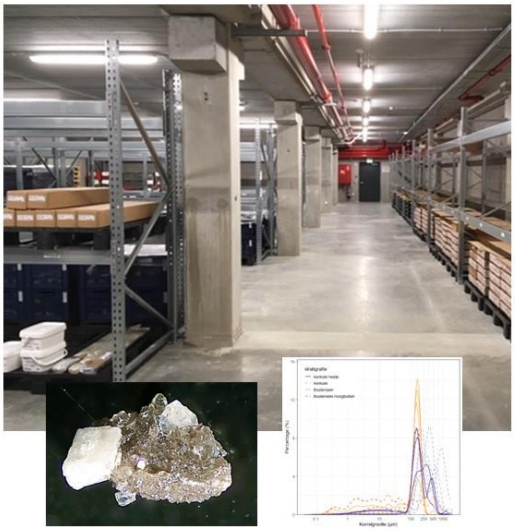
3D Geologisch model – VLAKO referentietaak



Vlaanderen
is omgeving

De Vlaamse Geotheek te Vilvoorde

- Investering waarderen
- Duurzaam stockeren
- Documenteren, koppelen met DOV
- Kwalitatieve, representatieve set
- Toekomstgericht
- Toegankelijk, ook voor derden
- Bijkomend onderzoek faciliteren
- Eigen onderzoek (microscopie, analyses)



Vlaanderen
is omgeving

2. Decreet diepe ondergrond

Een Vlaamse mijnbouwwet

NEDERLAND
Mijnbouwwet (sinds 2002)



DUITSLAND
Bundesberggesetz (sinds 1982)



DENEMARKEN
Lov undergrund (sinds 1981)



- ✓ Meestal integraal: delfstoffen, KWS, aardwarmte,…
- ✓ Eigendom → gemeenschap
- ✓ Vergunningstelsel vanaf bep. diepte

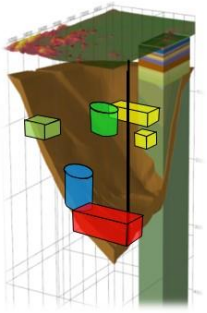
- Staatshervorming 1980 → NR regionale bevoegdheid
- Oud stelsel opheffen en conform EU regelgeving aanpassen
- Decreet betreffende de diepe ondergrond van 8 mei 2009 (DDO)
- Toepassingsgebied: -100m MV (2009) → -500m TAW (2016)
- Eigendom declaratief geëxpliciteerd in DDO (MAAR niet voor aardwarmte omdat géén zaakrecht van toepassing; cf NL)

Vlaanderen
is omgeving

Evolutie in rechtsleer
Romeins recht: verticale kolom (abstract)
Moderne tijd: "normale uitoefening recht"

Enkele krachtlijnen

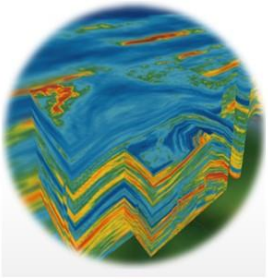
- Opsporen en winnen van KWS
- Opsporen van ondergrondse bergruimten voor + opslaan van CO2
- Opsporen en winnen van aardwarmte
- Structuurvisie diepe ondergrond
- (niet: strategische opslag van brandbare gassen in grote structuren én geologische berging van nucleair afval), BWHI



3D begrensde volumes



mededinging



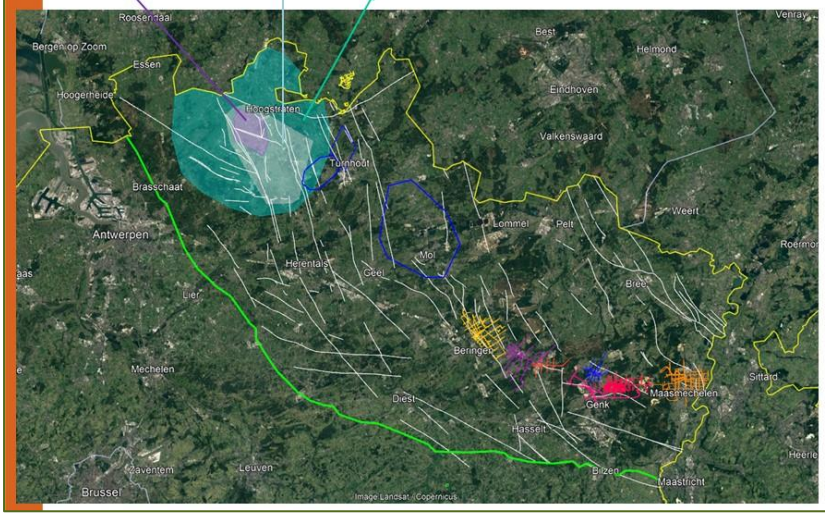
vermijden neg. interferenties



Efficiënt en planmatig

Vergunningen onder federale wetgeving

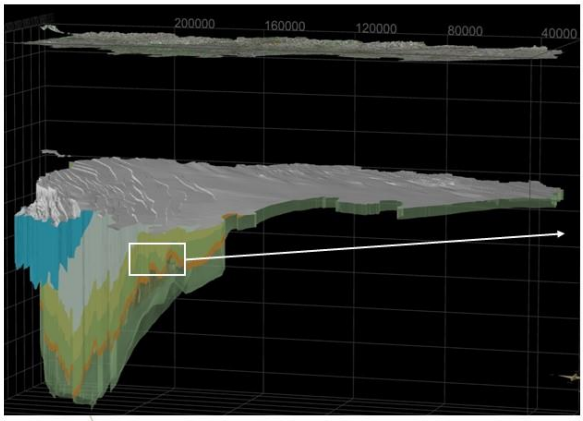
exploitatie opsporen extra zone met voorwaarden voor derden



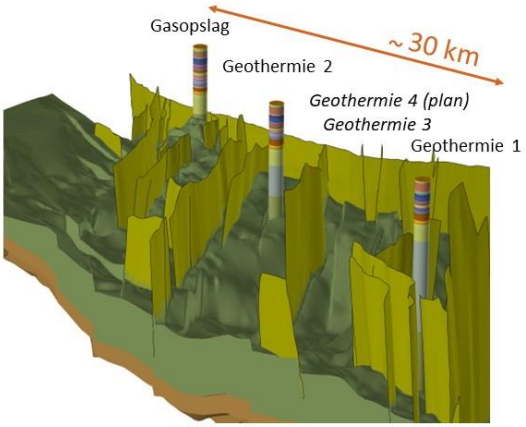
- dynamisch 1 geheel
- beide wetgevingen staan naast elkaar
- andere principes

Kansen en uitdagingen ondergrond

Ondergrond als **bron** en **buffer**
In een beperkt volume…



Situatie 2023



berging hoogradioactief afval?

Structuurvisie diepe ondergrond

- Voor ALLE toepassingen
- Inzicht in valorisatiemogelijkheden
- Inzicht in randvoorwaarden toepassingen
- Afwegingssystematiek als kader om beleidskeuzes te maken
- Geen juridisch bindend karakter (geen kadaster of RUP)
- Vaststellingsprocedure

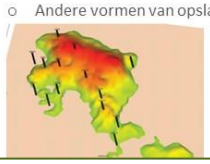
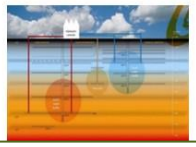
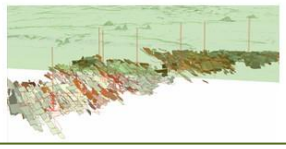
Stavaza ontwerp

- Inleiding
- VL Beleid en juridisch kader inzake ondergrond
- Beknopt geologisch overzicht
- Overzicht actieve vergunningen
- Inventaris van mogelijke toepassingen
- Tijd- en ruimteaspecten
- *Handvaten voor een afwegingssystematiek*
- Aanbevelingen
- Bibliografie

Vlaanderen
is omgeving

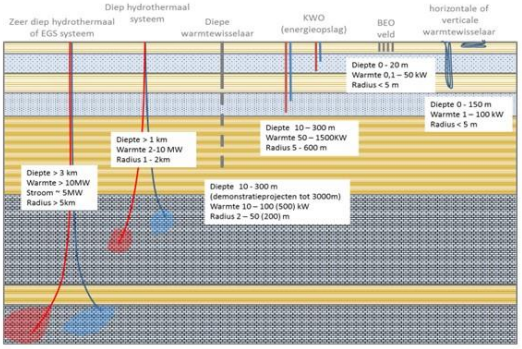
Inventaris toepassingen

- **Winnen van koolwaterstoffen**
  - Steenkool
  - Conventionele olie- en gaswinning
  - Mijngas (AMM) en steenkoolgas (CBM)
  - Schaliegas en *tight gas*
  - Ondergrondse vergassing
- **Diepe geothermie**
  - Hydrothermale systemen
  - Petrothermale systemen
  - Diepe aardwarmtesondes
  - Innovaties
- **Diepe energieopslag**
  - Brandbare gassen (aardgas, waterstof,…)
  - Opslag van warmte
  - Andere vormen van opslag
- **Mijnwatertoepassingen**
- **Geologische opslag van CO_2 (CCS)**
- **Diepe metallische mineralisaties**
  - Ertsen
  - Li-winning tijdens geothermie
- **Diepe grondwaterwinning**
- **Diepe geologische berging hoogradioactief afval**
- **Andere toepassingen**


Tijd- en ruimteaspecten

- Welke toepassingen kunnen wel / niet gecombineerd worden in tijd en ruimte
- Permanente keuzes
- Keuzes die een volgorde inhouden
- Hergebruik van de ondergrond
- Synergieën en concurrerend gebruik
- Bovengronds ruimtebeslag
- Ondergronds ruimtebeslag
- Efficiënt ruimtegebruik
  - afbakenen volumegebieden
  - strategische planning
- Potentiële interferenties



Geeft inzicht, maar vermijdt niet de *first come first serve* bij concrete aanvragen die zoals steeds geëvalueerd worden op de vastgestelde vergunningscriteria, - waaronder “planmatig beheer” en “interferenties” - ; beleidsinitiatieven zijn nodig om werkelijk te sturen in functie van beleidsscenario’s

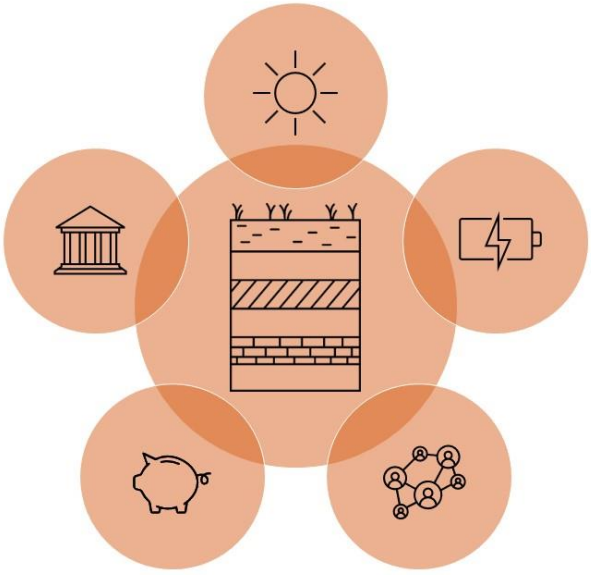
3. Maatschappelijke impactstudie

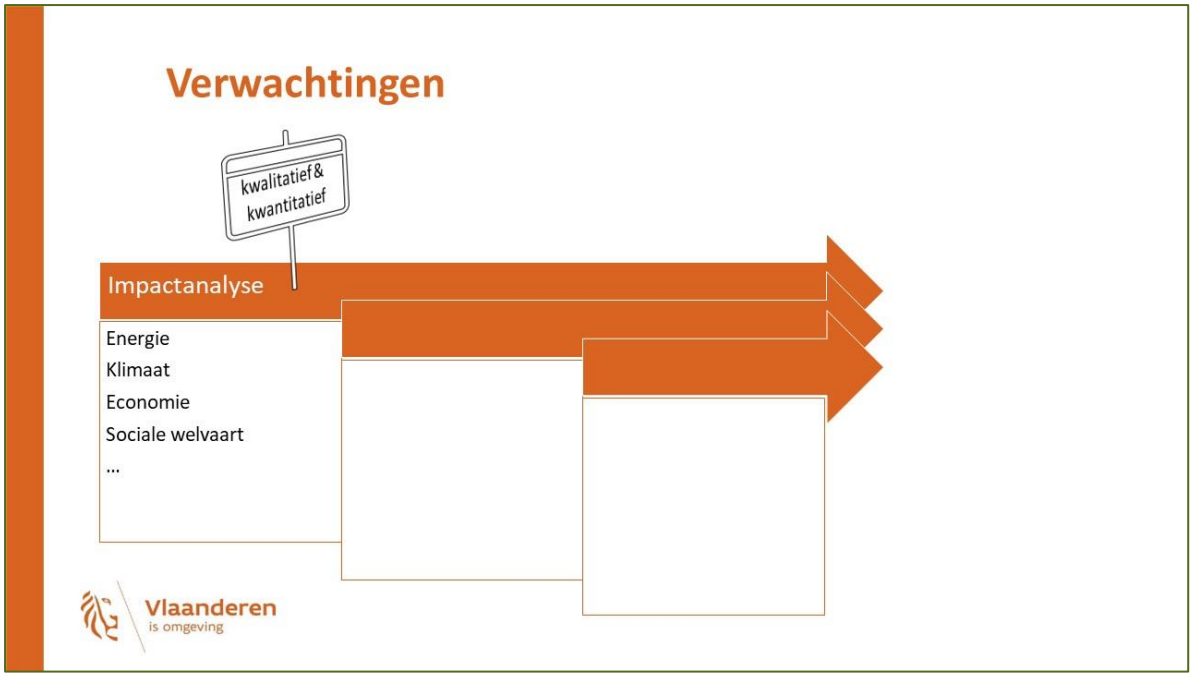
Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond

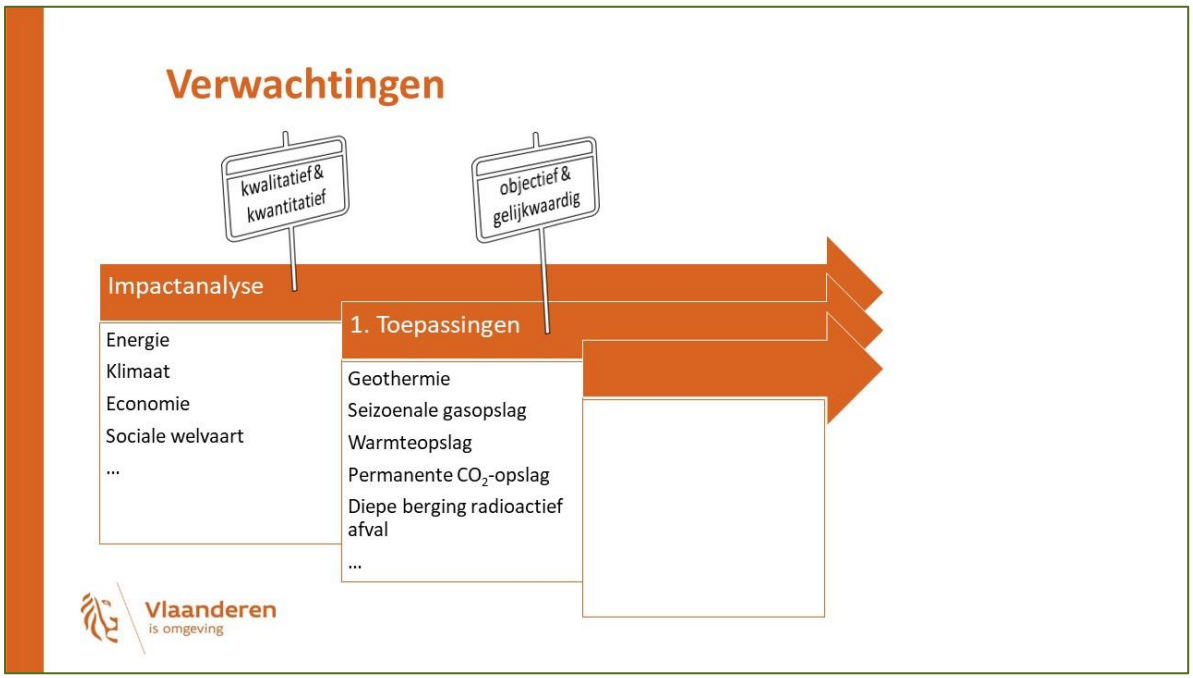
januari 2023 – april 2024

Doel & focus

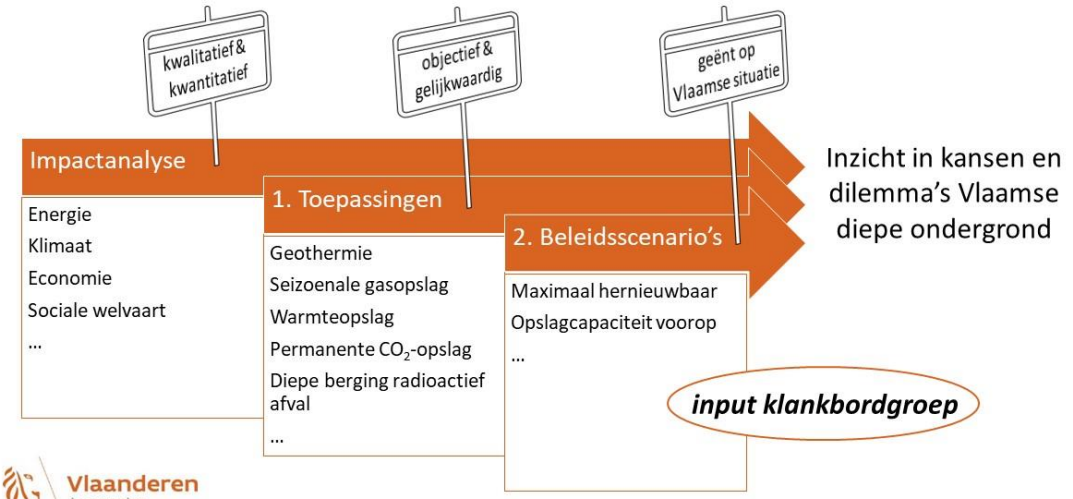
- **Input voor hoofdstuk afwegingssystematiek**
  - → Handvaten voor optimale aanwending beperkt ondergronds volume in Vlaanderen
  - → Toekomstreflectie
- **Maatschappelijke impact?**




Verwachtingen
kwalitatief & kwantitatief
Impactanalyse
Energie
Klimaat
Economie
Sociale welvaart
...
Vlaanderen
is omgeving


Verwachtingen
kwalitatief & kwantitatief
objectief & gelijkwaardig
Impactanalyse
1. Toepassingen
Energie
Klimaat
Economie
Sociale welvaart
...
Geothermie
Seizoenale gasopslag
Warmteopslag
Permanente CO_2-opslag
Diepe berging radioactief afval
...
Vlaanderen
is omgeving

Verwachtingen



Vlaanderen
is omgeving

Waarom een klankbordgroep?

- **Reeds in vroeg stadium gelegenheid voor input alle belanghebbenden**
- **Op basis van deze workshop(s):**
  - → Jullie mening over het gebruik en beheer van de diepe ondergrond?
  - → Waar zien jullie meerwaarde in (impacttype/indicator –> beleidsscenario)?
  - → Andere belangrijke/relevante aspecten mee te nemen in het verdere onderzoekstraject?
- **Breed gedragen Structuurvisie Diepe Ondergrond, specifiek het hoofdstuk afwegingssystematiek**

Vlaanderen
is omgeving

26

Bedankt!

27

Toelichting door het onderzoeksteam

Algemeen onderzoeksopzet

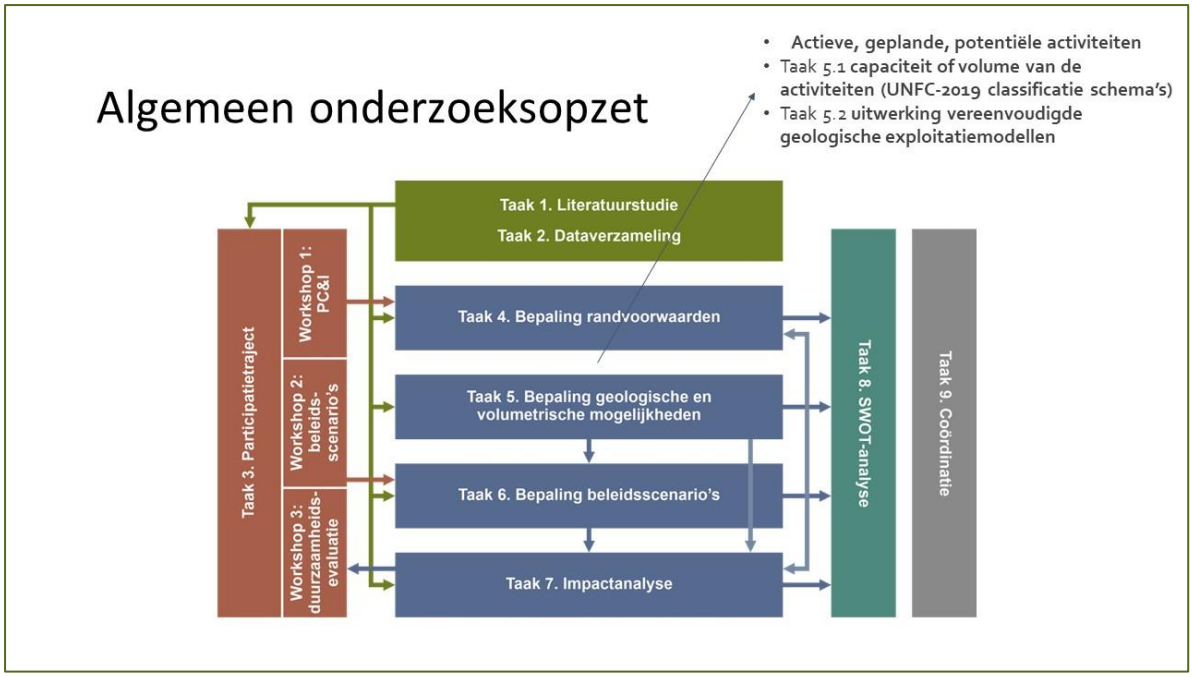
- Start: 1 januari 2023
- Einde: 31 maart 2024
- **Doel van de opdracht: duurzaam beheer van de ondergrond**
  - Indicatoren en randvoorwaarden voor duurzame ontwikkeling van de ondergrond
  - Geologische mogelijkheden en impacts
  - Bovengrondse milieu-economische en sociale effecten

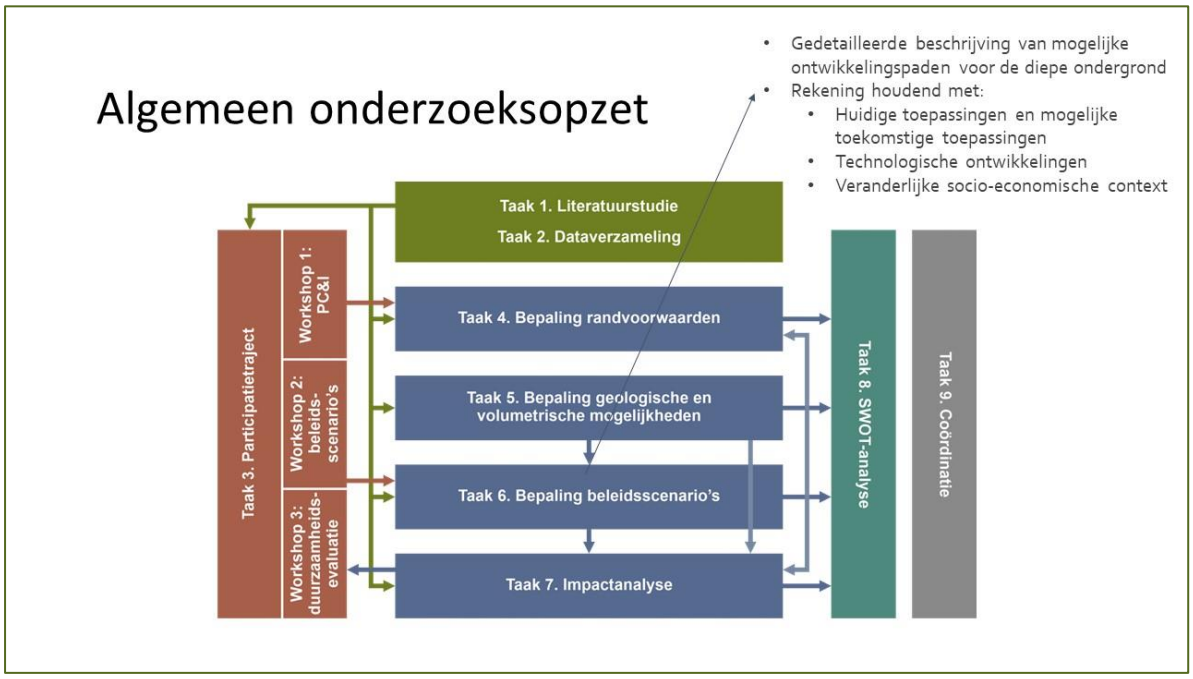
→ **Disciplines geologie (BGD), milieu-economie (BGD/UA) en sociologie (UA)**

- Literatuurstudie
  - D1.1 Energie –en klimaatuitdagingen en het belang van de diepe ondergrond
  - D1.2 Benchmarkstudie methodes voor bepaling impact van het gebruik van de diepe ondergrond
- Dataverzameling voor de bepaling van de geologische, economische, milieu, en sociale impacts

Algemeen onderzoeksopzet

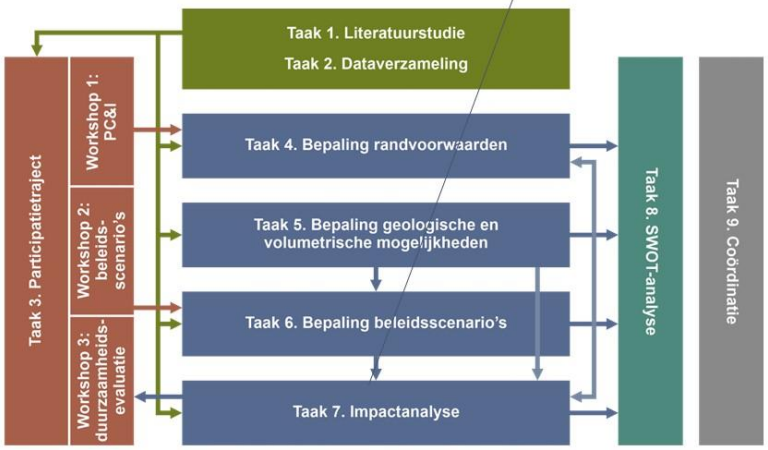



Algemeen onderzoeksopzet
Actieve, geplande, potentiële activiteiten
Taak 5.1 capaciteit of volume van de activiteiten (UNFC-2019 classificatie schema's)
Taak 5.2 uitwerking vereenvoudigde geologische exploitatiemodellen
Taak 1. Literatuurstudie
Taak 2. Dataverzameling
Taak 3. Participatietraject
Workshop 1: PC&I
Workshop 2: beleids-scenario's
Workshop 3: duurzaamheids-evaluatie
Taak 4. Bepaling randvoorwaarden
Taak 5. Bepaling geologische en volumetrische mogelijkheden
Taak 6. Bepaling beleidsscenario's
Taak 7. Impactanalyse
Taak 8. SWOT-analyse
Taak 9. Coördinatie

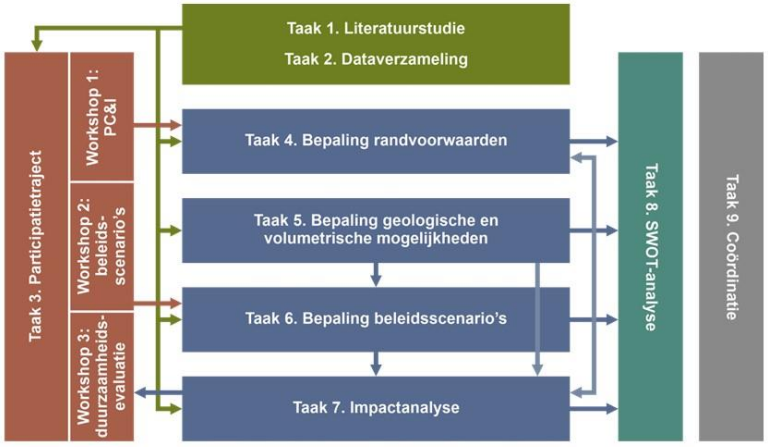

Algemeen onderzoeksopzet
Gedetailleerde beschrijving van mogelijke ontwikkelingspaden voor de diepe ondergrond
Rekening houdend met:
Huidige toepassingen en mogelijke toekomstige toepassingen
Technologische ontwikkelingen
Veranderlijke socio-economische context
Taak 1. Literatuurstudie
Taak 2. Dataverzameling
Taak 3. Participatietraject
Workshop 1: PC&I
Workshop 2: beleids-scenario's
Workshop 3: duurzaamheids-evaluatie
Taak 4. Bepaling randvoorwaarden
Taak 5. Bepaling geologische en volumetrische mogelijkheden
Taak 6. Bepaling beleidsscenario's
Taak 7. Impactanalyse
Taak 8. SWOT-analyse
Taak 9. Coördinatie

Algemeen onderzoeksopzet

- Afbakening scope
- Analyse op middellange termijn (25 jaar)
- Lange termijn perspectief (100 jaar)
- Integratie van impacts



Rol van de klankbordgroep



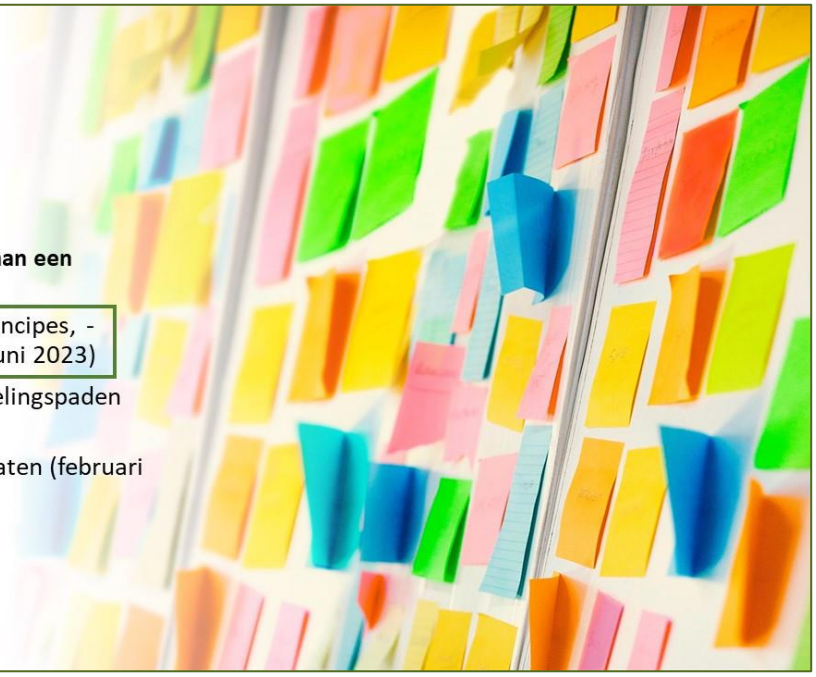
Samenstelling klankbordgroep

ORGANISATIES	Vertegenwoordigers	
FOD Gezondheid (Klimaat)	Fre	Maes
	Vincent	Van Steenberghe
VMM	Cis	Slenter
	Ywan	Dejonghe
Provincie Limburg	David	Michiels
	Griet	Maes
POM Limburg	Maxime	Corvilain
Provincie Antwerpen	Tahnee	Vansteenbrugge
Gemeente Mol (schepencollege)	Frederik	Loy
IOK	Stijn	Sneyers
Streekplatform Kempen	Rhea	Denissen
Tuinbouwcluster Merksplas	Frans	De Nayer
	Hartwin	Leen
SCK-CEN	Koen	Beerten
NIRAS	Laurent	Wouters
	Maarten	Van Geet
FANC	Boris	Dehandschutter
	Guillaume	Pochet
Fluxys	Dominique	Ceursters
	Jan	Van de Vyver
Fluvius	Danny	Nauwelaerts
Johnson & Johnson	Jeroen	Vandael
VITO (onderzoek)	Ben	Laenen
HITA	Stijn	Bos
	Geert	De Meyer
	Ann	Elen
BBL	Almut	Bonhage

INDIVIDUELE EXPERTEN		
Sterrenwacht	Koen	Van Noten
KULeuven	Manuel	Sintubin
	Noël	Vandenberghe
UGent	Brent	Bleys
	Thomas	Hermans
gepensioneerd afdelingshoofd ANRE	Paul	Vansteelandt

STUURGROEPLEDEN		
VPO	Ann	Pisman
	Anneloes	Van Noordt
	Isabelle	Loris
	Helga	Ferket
	Jan	Van Roo
	Johanna	Van Daele
	Nathalie	Vallet
BJO	Shana	Debrock
SIDO	Sofie	Troch
VEKA	Caroline	Vermeulen

De workshops



3 workshops (WS), gelinkt aan een specifieke taak

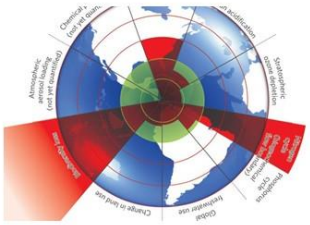
- WS1: duurzaamheidsprincipes, -criteria en -indicatoren (juni 2023)
- WS2: bepaling ontwikkelingspaden (september 2023)
- WS3: bespreking resultaten (februari 2024)

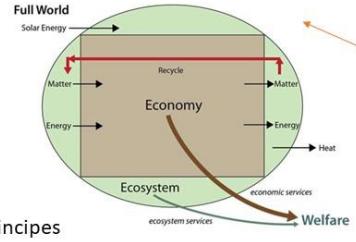
Duurzaamheidsprincipes

Gebruik diepe ondergrond

Wetenschappelijke achtergrond

- Ecologische Economie





+ power relations, hidden interests, social participation, cultural constraints, and other 'soft' values

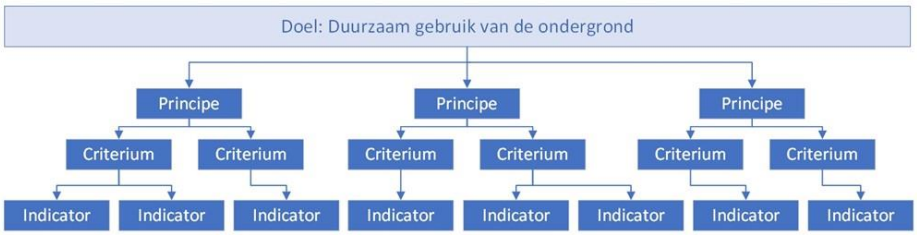


Ecologische economie: 3 beleidsprincipes

Duurzame schaal → **Komt eerst**
Rechtvaardige verdeling
Efficiëntie

Vooraf – opstart Delphi studie

- Ontwikkelen van een PC&I (principes, criteria, en indicatoren) framework om duurzaam gebruik van de ondergrond te evalueren in een Vlaamse context.
- Via een participatief process, consensus bereiken over een complex onderwerp.
- Een delphi studie: online, anonieme vragenlijst met verschillende rondes, tot er een vorm van consensus is bereikt.



Ronde 1

- Verstuurd in januari 2023
- Doel: definiëren van principes voor PC&I framework
- 6 principes werden voorgelegd, o.b.v. literatuur, een vragenlijst en een workshop
- 55 respondenten
- >30 doctoraat
- Expertise

Duurzaamheid (sustainability)
Geologische hulpbronnen
Milieu-impact analyse
Economische evaluaties
Stadsplanning/stedenbouw (urban planning)
Beleidsvorming
Technologieontwikkeling
Andere

Doel Workshop 1

- Bespreking van de principes
- Van principes naar randvoorwaarden en indicatoren

- Doel van het PC&I raamwerk:
  - Evalueren in welke mate ontwikkelingen in de diepe ondergrond (op zich en in relatie tot andere) kunnen beschouwd worden als duurzaam of niet.
  - Niet-duurzame praktijken herkennen.
  - Een zo duurzaam mogelijke samenleving creëren.

PC&I raamwerk

- Principes: dit zijn de fundamentele regels waaraan een gebruik van de ondergrond moet voldoen om als duurzaam te worden beschouwd. Principes worden geformuleerd als een gebod. Op die manier definiëren de principes duurzaam gebruik van de ondergrond.

- Criteria (randvoorwaarden): elk principe kan meerdere criteria bevatten. Deze criteria zijn de voorwaarden waaraan voldaan moet worden om te voldoen aan het principe waarmee ze verbonden zijn. De criteria worden geformuleerd om een oordeel mogelijk te maken.

- Indicatoren: elk criterium kan meerdere indicatoren bevatten. Indicatoren zijn de meetbare variabelen die het mogelijk maken om te beoordelen of al dan niet aan een bepaald criterium of randvoorwaarde wordt voldaan. Indicatoren kunnen kwantitatief, kwalitatief, continu of discreet zijn. Over het algemeen gaat de definitie van indicatoren gepaard met de definitie van een norm/drempel die een grens stelt tussen naleving en niet-naleving van een criterium, en de definitie van een methode, tool of instrument dat wordt gebruikt om de indicator te meten.

Principes

- 6 principes
- De eerste 3 principes kunnen omschreven worden als ‘inhoudelijk’. Zij hebben in hoofdzaak betrekking op de inhoud van de activiteit(en) in kwestie.
- De laatste 3 principes zijn meer ‘procesmatig’. Zij hebben betrekking op bestuurlijke en beheeraspecten bij de ontwikkeling en uitvoering van de activiteit(en) in kwestie.

3 inhoudelijke principes

Principe 1:Principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen

Principe van het behoud van hulpbronnen

De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties. Voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (behoud van hulpbronnen). Voor niet-hernieuwbare geologische hulpbronnen moet de extractie van hulpbronnen gepaard gaan met de creatie van hernieuwbare equivalenten (koppeling van hulpbronnen).

Principe van het behoud van het assimilatievermogen

Het assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem moet behouden blijven voor toekomstige generaties. De ontginningsschaal van geologische hulpbronnen dient beperkt te worden zodat de gerelateerde afvalstromen het hernieuwbare assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem niet overschrijden (behoud van assimilatievermogen). Als assimilatieprocessen te traag zijn om hernieuwbaar afvalstoffen te verwerken, dan moet het tekort aan assimilatievermogen gepaard gaan met een actief herstel van dat vermogen (koppeling van herstel).

3 inhoudelijke principes

Principe 1: principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen

- Dit principe stelt scherpe grenzen die gerespecteerd moeten worden om aan de duurzaamheidsdoelstelling te voldoen (planetaire grens)
- Dit principe zegt niet dat we ten alle kosten binnen deze grenzen moeten blijven
- Als we de grenzen overschrijden, kunnen we de activiteit niet als duurzaam beschouwen (nooit compenseerbaar door het beter te doen op niveau van een ander principe)

3 inhoudelijke principes

Principe 2: principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling

Het gebruik van de ondergrond moet gepaard gaan met een eerlijke verdeling van kosten en baten binnen en tussen generaties.

Eerlijke verdeling betekent het voorkomen dat kosten worden afgewenteld op kwetsbare groepen of actoren die geen baat hebben bij een bepaalde ontwikkeling, en het streven naar extra voordelen voor behoeftige groepen.

3 inhoudelijke principes

Principe 3: principe van efficiënte allocatie

Ontwikkeling van de ondergrond moet worden gepland en uitgevoerd met het hoogste (positieve) netto voordeel voor de samenleving.

Baten en kosten hebben zowel betrekking op economische, milieu- en sociale effecten, en dit over de hele levenscyclus van de ontwikkeling.

3 procesmatige principes

Principe 4: principe van transparantie

Planning en ontwikkeling van de ondergrond moeten op een transparante manier plaatsvinden. Dit omvat passende communicatie met alle huidige en toekomstige belanghebbenden, en goed gegevensbeheer, geleid door zowel het FAIR-principe (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable; vindbaar, toegankelijk, uitwisselbaar en herbruikbaar) als het principe "zo open als mogelijk, zo gesloten als nodig".

3 procesmatige principes

Principe 5: principe van inclusief bestuur

Zij die (mogelijk) gevolgen ondervinden van het gebruik van de ondergrond moeten op passende wijze worden geïnformeerd, geraadpleegd en betrokken bij het besluitvormingsproces tijdens de plannings-, implementatie- en ontmantelingsfasen van activiteiten in de ondergrond.

"Passend" betekent in deze context dat verschillende groepen moeten worden betrokken op basis van hun behoeften en capaciteiten, zodat ze op een rechtvaardige manier kunnen deelnemen aan de besluitvorming.

3 procesmatige principes

Principe 6: principe van verantwoord risicobeheer

Voorzorgsprincipe: activiteiten met een onzeker potentieel voor significante schade moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat de risico's voldoende gekwantificeerd zijn.

Preventieprincipe: activiteiten die significante schade met zich meebrengen, moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat er geen significante risico's of schade aan verbonden zijn.

Koffie

Rondje principes

Rondje principes

- Bespreking principes in kleine groepjes (van poster naar poster):
  - 1 uur de tijd voor (12u10)
- Verzamelen van opmerkingen, vragen en aanvullingen

Van principes naar randvoorwaarden

Van principes naar randvoorwaarden

Korte recapitulatie van opvallende vaststellingen tijdens 'rondje principes'

Van principes naar randvoorwaarden

Toelichting verloop namiddag

- Behoud zelfde groepje
- Elk groepje kiest 1 principe om bij te starten
  - Formuleren van criteria en indicatoren
  - Aangeven in welke mate het niet halen van een criterium gecompenseerd kan worden via een ander criterium
- Doorschuifsysteem
  - 20 minuten per principe

13:00 Rondjes randvoorwaarden: formuleren van criteria en indicatoren

13u05 Rondje 1
13u25 Rondje 2
13u45 Rondje 3
14u05 Rondje 4
14u25 Rondje 5
14u45 Rondje 6

Lunch

Rondjes randvoorwaarden

Koffie

Plenaire bespreking resultaten

Reality check

Toepassen van principes en randvoorwaarden

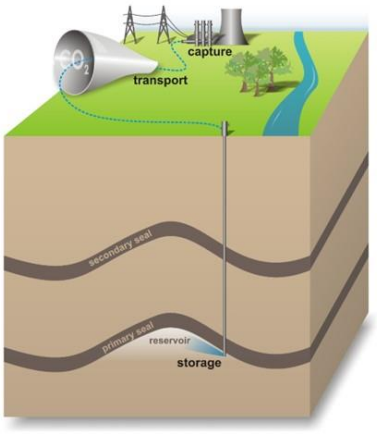
- Wat
  - Beoordelen van ondergrondse activiteiten op duurzaamheid
  - Vergelijken van P&C uitkomst met intuïtief aanvoelen
- Doel:
  - Uittesten van principes en randvoorwaarden
  - Verzamelen van feedback

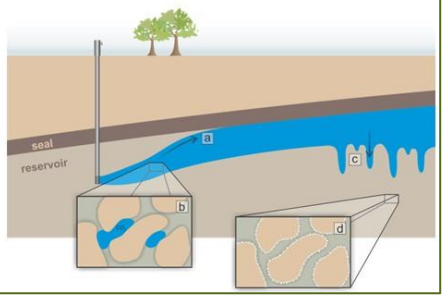
Toepassen van principes en randvoorwaarden

- Concreet
  - Drie activiteiten
  - Concrete vraag per principe
  - Eén groepje, één stem
  - Snel

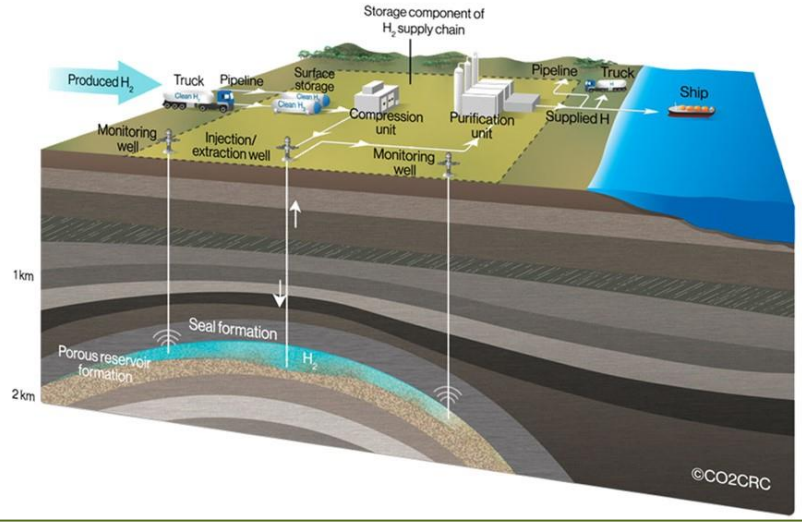
Ondergrondse opslag van CO_2



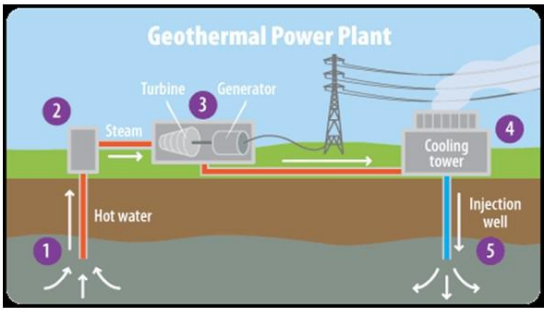


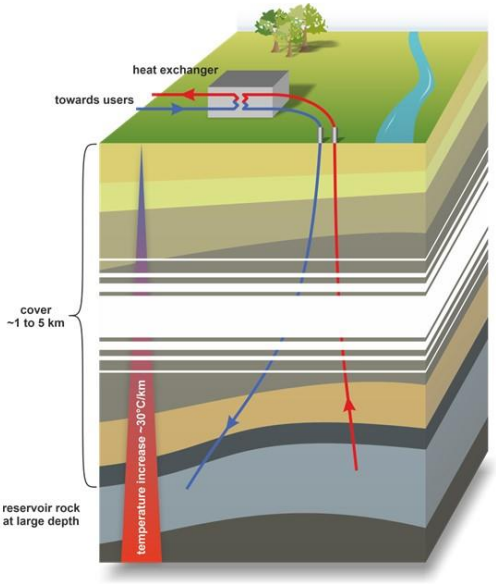


Ondergrondse opslag van H_2



Diepe geothermie





	CO_2 opslag	Opslag van H_2	Diepe geothermie
P1a: Behoud van hulpbronnen P1b: Behoud van assimilatie	*duurzaam* *niet duurzaam* *onduidelijk*	*duurzaam* *niet duurzaam* *onduidelijk*	*duurzaam* *niet duurzaam* *onduidelijk*
P2: Eerlijke verdeling	*Verschillen deze activiteiten naar 'rechtvaardige verdeling'?*		
P3: Efficiënte allocatie	*Rangschik volgens voordeel voor de maatschappij*		
P4: Transparantie	*Verschillen in (publiek) gegevensbeheer ?*		
P5: Inclusief bestuur	*Verschillen in geografische scope van 'belanghebbenden'?*		
P6a: Voorzorgsprincipe P6b: Preventieprincipe	*P voldaan* *P niet voldaan* *onduidelijk*	*P voldaan* *P niet voldaan* *onduidelijk*	*P voldaan* *P niet voldaan* *onduidelijk*

Einde

BIJLAGE 2 – PRESENTATIE WORKSHOP 2

Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond

Workshop 2 – 22 september 2023, Brussel

Universiteit Antwerpen

Geological Survey of Belgium

Vlaanderen

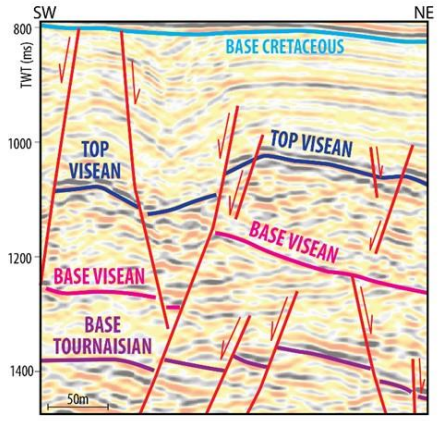
Agenda

- ***13:00*** *Inloop en koffie*
- **13:30** Welkom en voorstellingsrondje
- **13:45** Recapitulatie workshop 1
- **14:15** Impactanalyse (1): lijst van activiteiten
- **14:45** Impactanalyse (2): methode
- ***15:15*** *Koffie*
- **15:30** Impactanalyse (3): beleidsscenario's
- **16:00** Denkoefening beleidsscenario's
- **16:45** Impactanalyse (4): indicatoren
- **17:30** Einde

Welkom en voorstellingsrondje

Workshop Dinantiaan
Bekken van de Kempen

- Georganiseerd door VLAKO en VPO
- Vrijdag 6 oktober, 9u30 – 16u (Engelstalig)
- Toelichting aanpak modellering, data, context en nieuwe inzichten (Tournaisiaan, Viseaan & overgang Namuriaan)
- Eigen interpretatie blanco seismische secties
- Open discussie over:
  - Noordelijke platformrand
  - Instortingsstructuren
  - Aanpak 3D-modellering
- Graag inschrijven vóór 22 september



Recapitulatie workshop 1

Verwerking workshop 1

Werkbaarheid P1

Algemeen onderzoeksopzet

Verwerking workshop 1

- Verslag van de klankbordgroep = 'ruwe data'

→Rapport omtrent de randvoorwaarden voor een duurzaam gebruik van de ondergrond

- Oplijsting van principes
- Per principe: criteria en indicatoren op basis van de workshop en literatuur

→Rapport wordt naar de leden van de klankbordgroep gestuurd met de vraag om feedback (tijdens individueel interview in November)

Recapitulatie workshop 1

Verwerking workshop 1

Werkbaarheid P1

Algemeen onderzoeksopzet

Werkbaarheid P1: behoud van hulpbronnen

- Zeer fundamenteel uitgangspunt, gaat over kansen van onze soort
- Maar ook een moeilijk principe, vaak niet haalbaar

- Daardoor terechte vragen:
  - Wat indien 'reserves' zeer groot zijn?
  - Wat indien de huidige noden groter zijn dan de toekomstige?

De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties.

Voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn, betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (behoud van hulpbronnen).

Werkbaarheid P1: behoud van hulpbronnen

Principe nu uitgebreid, geeft aan wat te doen indien het niet gerespecteerd kan worden. M.a.w.: wat is het 'meest duurzame'.

*Als een winning van hulpbronnen (hernieuwbaar of niet) noodzakelijk is maar **niet duurzaam** kan zijn, dient deze winning de beschikbaarheid van hulpbronnen op de lange termijn te maximaliseren (verlenging van hulpbronnen).*

Niet duurzame ontginning:

soms noodzakelijk,
maar kijk dan voorbij de noden van vandaag.

Werkbaarheid P1: behoud van hulpbronnen

*Als een winning van hulpbronnen (hernieuwbaar of niet) noodzakelijk is maar niet duurzaam kan zijn, dient deze winning de beschikbaarheid van hulpbronnen op de **lange termijn** te maximaliseren (verlenging van hulpbronnen).*

Lange termijn:

- *Aantal generaties (menselijke tijdschaal)*
- *Indien reserves zeer groot zijn, vallen restricties weg*

Werkbaarheid P1: behoud van hulpbronnen

- *Grondwater:*
  - *Voorbeeld van activiteit die met correcte monitoring strikt behouden kan worden*
- *Geothermie met co-productie van lithium:*
  - *Voorbeeld waarbij voor niet duurzame winning gekozen kan worden, om urgente problemen op te lossen*
  - *Uitputting moet echter beperkt blijven*
- *Niet-kritische grondstoffen (buiten Vlaanderen):*
  - *Bepaalde voorraden worden (bij huidige vooruitzichten) niet uitgeput*

Werkbaarheid P1: behoud van hulpbronnen

Volledig formulering van principe 1 wordt afzonderlijk verdeeld

Principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen
Principe van het behoud van hulpbronnen
De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties. Voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn, betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (*behoud van hulpbronnen*). Voor niet-hernieuwbare geologische hulpbronnen moet de extractie van hulpbronnen gepaard gaan met de creatie van hernieuwbare equivalenten (*koppeling van hulpbronnen*). Als een winning van hulpbronnen (hernieuwbaar of niet) noodzakelijk is maar niet duurzaam kan zijn, dient deze winning de beschikbaarheid van hulpbronnen op de lange termijn te maximaliseren (*verlenging van hulpbronnen*).
Principe van het behoud van het assimilatievermogen
Het assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem moet behouden blijven voor toekomstige generaties. De ontginningsschaal van geologische hulpbronnen dient beperkt te worden zodat de gerelateerde afvalstromen het hernieuwbare assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem niet overschrijden (*behoud van assimilatievermogen*). Als assimilatieprocessen te traag zijn om hernieuwbaar beschouwd te worden, dan moet het verlies aan assimilatievermogen gepaard gaan met een actief herstel van dat vermogen (*koppeling van herstel*). Indien activiteiten onvermijdelijk leiden tot niet-duurzame afvalstromen, dan moeten deze het verlies aan assimilatieve capaciteit op de *lange termijn* minimaliseren (*assimilatieve capaciteitsverlenging*).

Recapitulatie workshop 1

Verwerking workshop 1

Werkbaarheid P1

Algemeen onderzoeksopzet

Algemeen onderzoeksopzet: PC&I

- Doel

→Structuurvisie diepe ondergrond

- **Input voor hoofdstuk afwegingssystematiek**
  - → Handvaten voor **optimale aanwending** beperkt ondergronds volume in Vlaanderen
  - → Toekomstreflectie
- **Maatschappelijke impact**

Algemeen onderzoeksopzet: PC&I

- Optimaal?
- Welke aspecten?

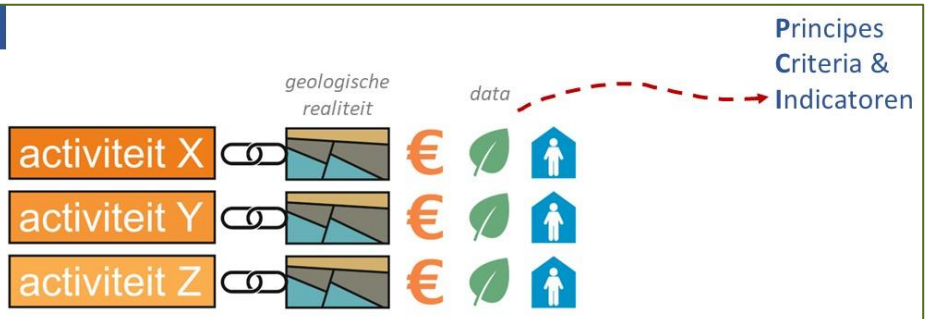
→Indicatoren: winst, milieu-impact, maatschappelijke impact en draagvlak, … ?



→ Duurzaamheidskader
  - Literatuur? → gefocust op één activiteit (niet vanuit de hulpbron)
  - Beginsel? → principes
  - Beoordeling? → criteria

→ PC&I

Lijst van activiteiten



Hoe zou de ondergrond zich kunnen ontwikkelen?

Rekening houden met:
- Objectieve criteria
- *Subjectieve criteria*
- Onzekerheid

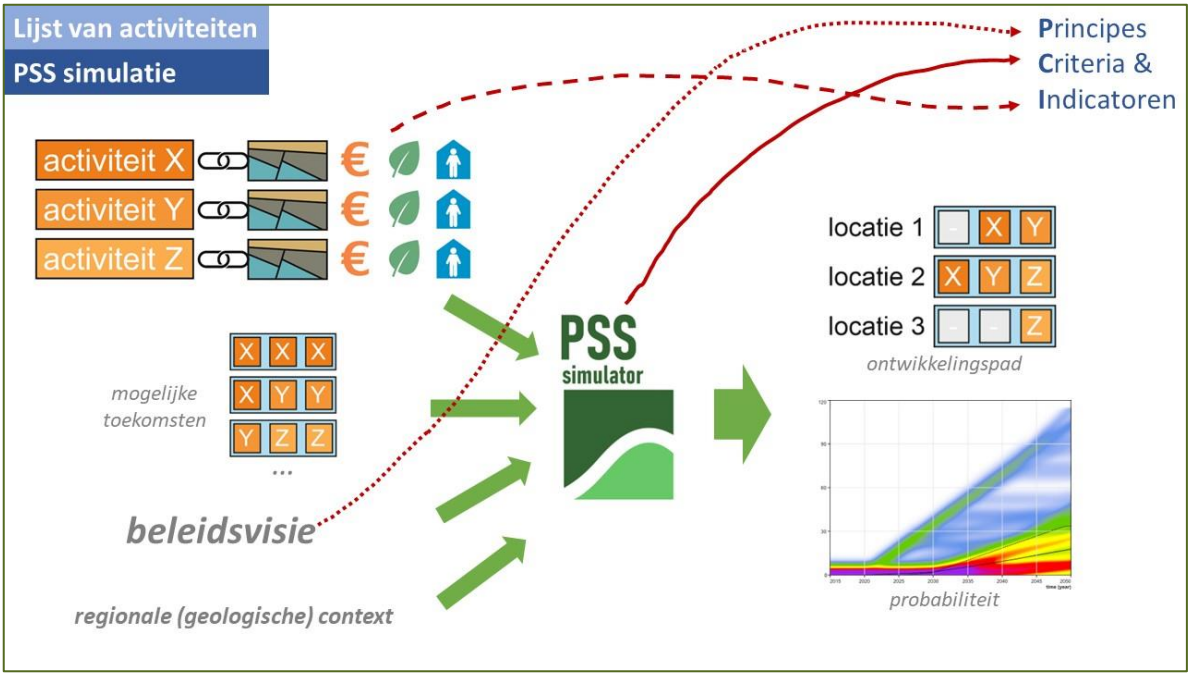
Context:
- Tijdsdimensie
- Ruimtelijke aspecten
- Multifunctioneel gebruik
- Beleidsvisies

Algemeen onderzoeksopzet

Lijst van activiteiten → individueel | impacts

PSS simulatie → inzicht in multifunctioneel gebruik | tijd – ruimte | beleid

Impactanalyse → inzicht impacts multifunctioneel gebruik | tijd – ruimte | beleid

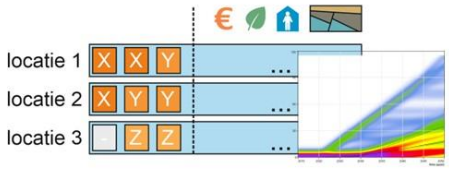


Lijst van activiteiten
PSS simulatie
Impactanalyse

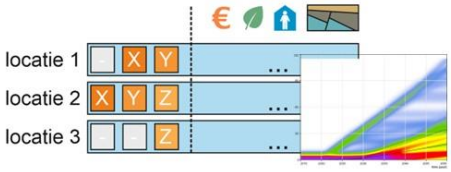
Principes
Criteria &
Indicatoren

Multicriteria-analyse
(kwantitatieve + kwalitatieve criteria)

beleidsvisie 1



beleidsvisie 2



...

Instrument ter reflectie / discussie

Impactanalyse

Lijst van activiteiten
Methode
Pauze
Beleidsvisies
Impactanalyse

Lijst van activiteiten (diepe ondergrond, -500m TAW)

- Activiteiten samengevat in thesaurus:
  - 'Lijst', maar koppelbaar aan semantische datasystemen
  - Multi-hiërarchisch
- Eerste ontwerp
- Enkel activiteiten:
  - Diepe ondergrond
  - Relevant voor Vlaanderen
- Open voor (individuele) input:
  - Heel wat opinies over hoe zaken te benoemen
  - En hoe ze te groeperen

Group	Subgroup	Activity	Activity status
Geothermal activities			
	Geothermal open systems		
		Multi-well geothermal heat with heat pump	Future <2050
		Multi-well geothermal for direct heat use	Active
		Multi-well geothermal for power and heat	Future <2050
		Mine geothermal project	Future <2050
		CO_2 dissolved geothermal systems	Future <2050
	Geothermal closed or semi closed systems		
		Downhole looped heat exchanger	Future <2050
		Downhole open heat exchanger	Future <2050
		Vertical fluid circulation	Future <2050
		Single borehole with (horizontal) laterals	Future <2050
		...	
	Geothermal heat storage systems		
		Cold and heat storage	Future <2050
		High temperature storage	Future <2050

Group	Subgroup	Activity	Activity status
Geological storage and disposal activities			
	Chemical energy storage activities		
		Natural gas	Active
		Hydrogen	Future <2050
		Hybrid natural gas and hydrogen	Future <2050
	Waste storage and disposal activities		
		Long lived nuclear waste type B	Future <2050
		High-active nuclear waste type C	Future <2050
		High-active and long-lived nuclear waste type B&C	Future <2050
		CO_2 geological storage in structural traps	Future <2050
		Dynamic CO_2 geological storage	Future <2050
	Resource storage activities		
		Aquifer storage and recovery	Future <2050
		Natural gas	
	Potential energy storage activities		
		Lined-rock cavity-based hydropower	Future <2050
		Mine cavity based hydropower	Future >2050

Group	Subgroup	Activity	Activity status
Raw material extraction activities			
		Brine production (Li)	Future <2050
		Coal mine	Future >2050
		Abandonned mine gas	Future >2050
		Shale gas and condensates	Future <2050
		Coal bed methane	Future <2050
		Low impact ore extraction	Future >2050
Groundwater activities			
		Drinking water	Future >2050
		Industrial water	Future <2050
		Aquifer storage and recovery	
Hydrocarbon extractive activities			
		Coal mine	
		Abandonned mine gas	
		Shale gas and condensates	
		Coal bed methane	
Combined geological activities activities			
		CO_2 dissolved geothermal systems	
		Open geothermal with Li extraction	Future <2050
		Mine geothermal system with CH4 coproduction	Future <2050
		CO_2 enhanced coal bed methane	Future >2050
		Shale gas in coal sequences	Future <2050
		Hybrid natural gas and hydrogen	

Group	Subgroup	Activity
Extractive dominant activities		
		Multi-well geothermal heat with heat pump
		Multi-well geothermal for direct heat use
		Multi-well geothermal for power and heat
		Mine geothermal project
		CO_2 dissolved geothermal systems
		Downhole heat exchanger
		Vertical fluid circulation
		Brine production (Li)
		Coal mine
		Abandonned mine gas
		Shale gas and condensates
		Coal bed methane
		Drinking water
		Industrial water
		Open geothermal with Li extraction
		Mine geothermal system with CH4 coproduction
		CO_2 enhanced coal bed methane

Group	Subgroup	Activity
Additive dominant activities		
		Cold and heat storage
		High temperature storage
		Natural gas
		Hydrogen
		Hybrid natural gas and hydrogen
		High active long lived nuclear waste
		CO_2 geological storage in structural traps
		Dynamic CO_2 geological storage
		Aquifer storage and recovery
		Lined-rock cavity-based hydropower
		Mine cavity based hydropower

Impactanalyse

Lijst van activiteiten

Methode

Pauze

Beleidsvisies

Impactanalyse

De Grote Vragen voor Vlaanderen

Kleine vragen	Grote vragen
• Impact van één enkele activiteit?	• Hoe beïnvloeden alle activiteiten elkaar?
• Hoe vergroten we de rol van de ondergrond?	• Hoe benutten we de ondergrond optimaal?
• Vooruitgang op korte termijn?	• Duurzame vooruitgang over verschillende generaties?
• Wat is wenselijke uitkomst?	• Hoe beïnvloedt onzekerheid de uitkomst?
• …	• …

Wat hebben we nodig?

- Reële optie analyse
  → voorspelt gedrag van investeerders (constante factor)
  → + andere criteria dan economische
- Portfolio-keuze
- Reservoir model voor heel Vlaanderen
  → de grote uitdaging voor ons
- Ontwikkelingsscenario's
  → simulatie overheidsbeleid (variabele factor)



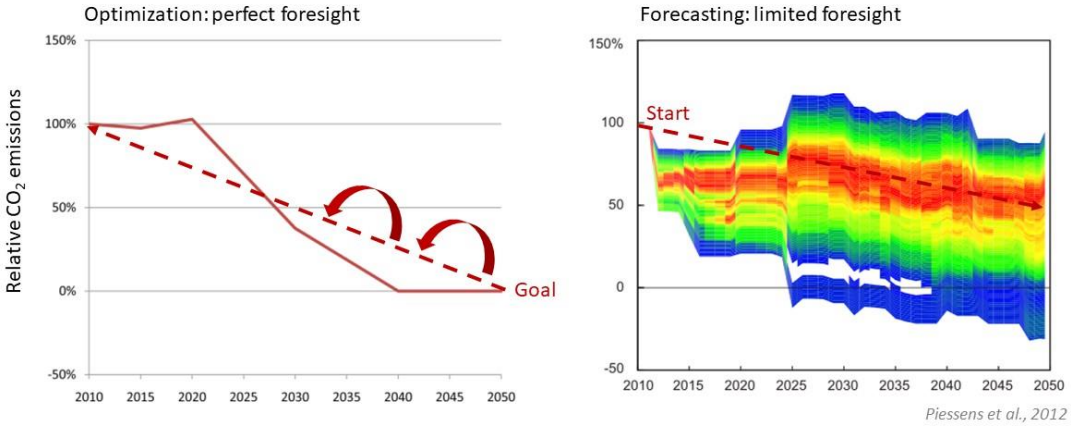


Na simulatie

- Invloed van beleid op ontwikkeling van de ondergrond:
  Hoe effectief is beleid?
- Afweging van de uitkomst:
  Wordt het beoogde/verwachte effect bereikt?

Optimaal of waarschijnlijk?

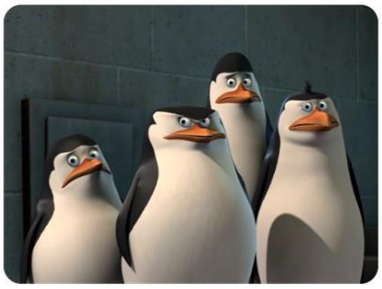
PSS



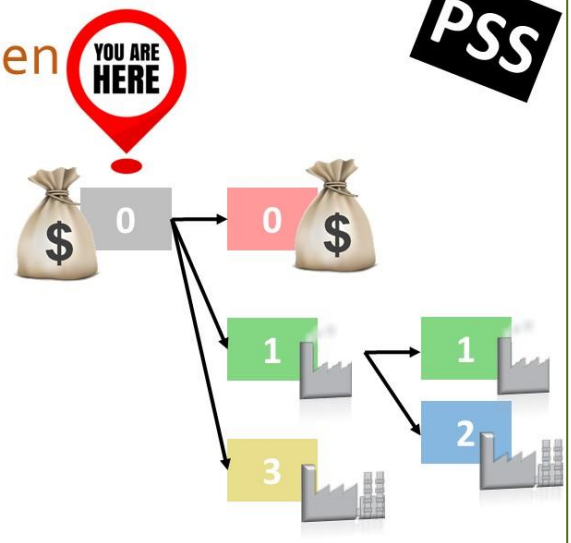
Piessens et al., 2012

Een Beslisboom Bouwen

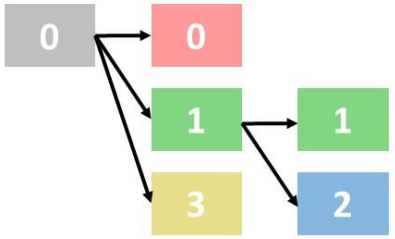
options are an answer to uncertainty



Give me options Kowalski



Een Beslisboom Bouwen



1. Map the options

	2022	2023	2024	2025	2026
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	3
4	0	0	0	1	1
5	0	0	0	1	2
6	0	0	0	3	3
7	0	0	1	1	1
8	0	0	1	1	2
9	0	0	1	2	2
10	0	0	3	3	3
11	0	1	1	1	1
12	0	1	1	1	2
13	0	1	1	2	2
14	0	1	2	2	2
15	0	3	3	3	3

branch

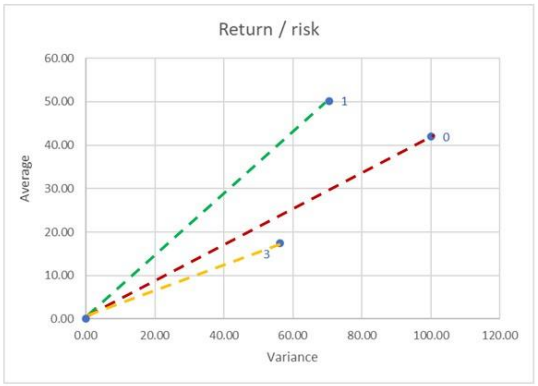
En dan een Beslissing nemen

4. Make a decision

3. Compare the options

	VAR	AVG
0	100.00	42.00
1	70.47	50.17
2	0.00	0.00
3	56.25	17.50

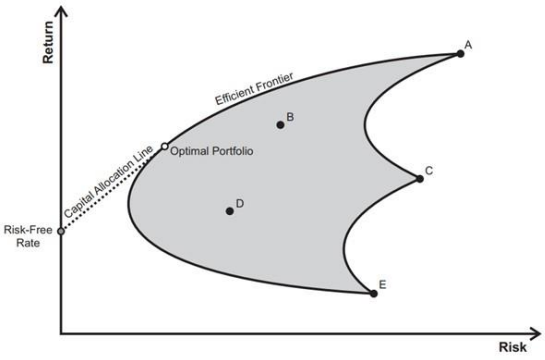


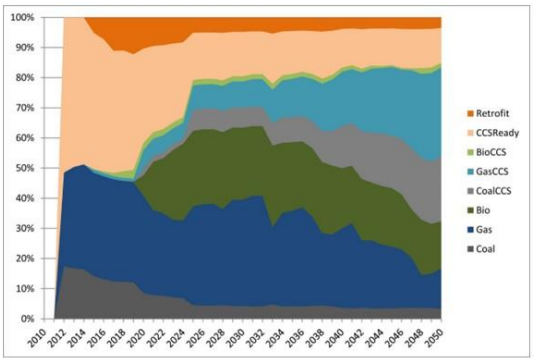


Risk-return analysis

Beslissingen combineren

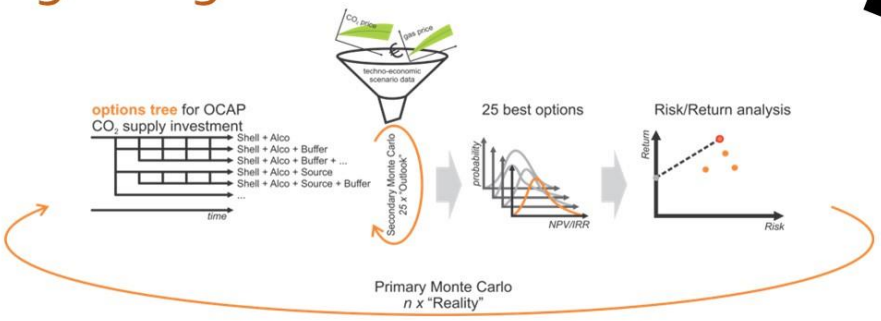
Optimal Portfolio Theory (Markowitz, 1987)

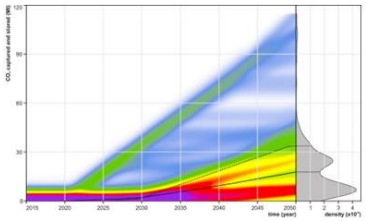




Markowitz, H.M., 1987. Mean-Variance Analysis in Portfolio Choice and Capital Markets. Wiley, Milton Keynes, pp. 379.

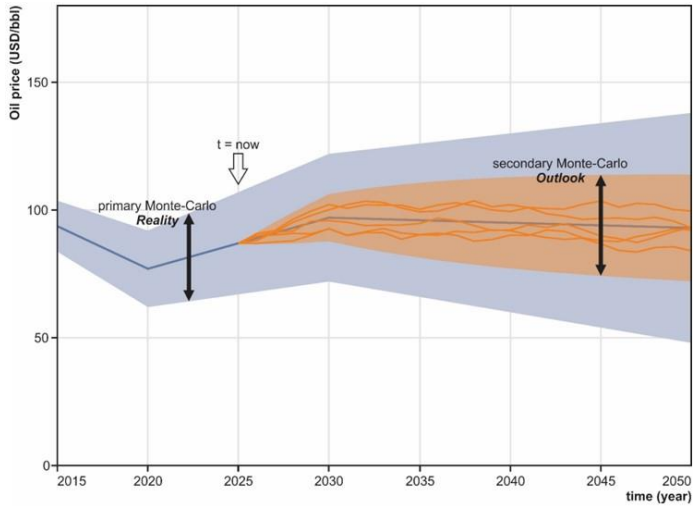
Een geïntegreerde simulatie





Onzekerheid verandert met de tijd

Standard sensitivity analysis Nested Monte Carlo

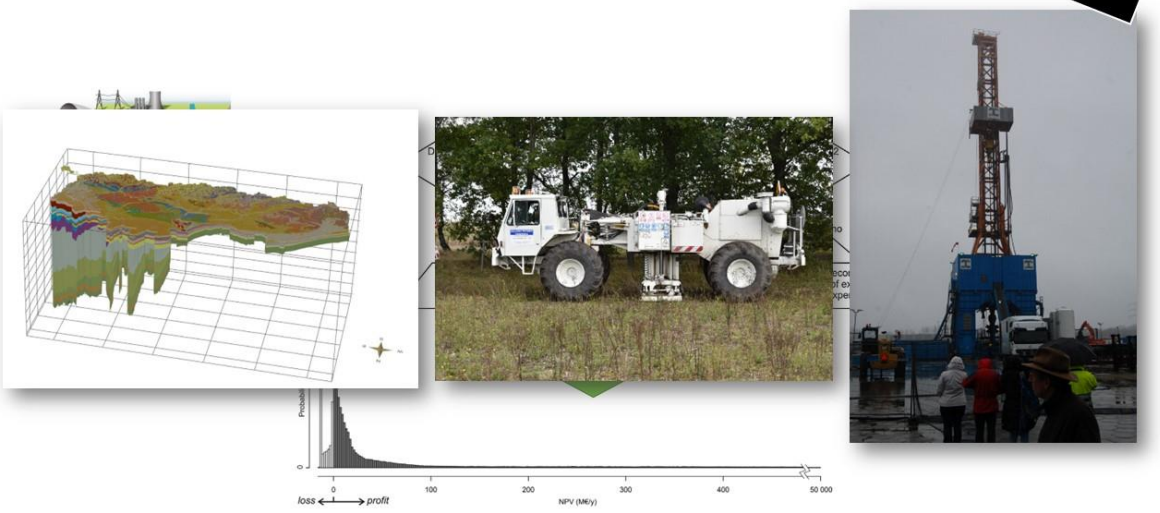


Maar...
niet alle onzekerheid lost op met de tijd

Een belangrijk voorbeeld: geologische onzekerheid

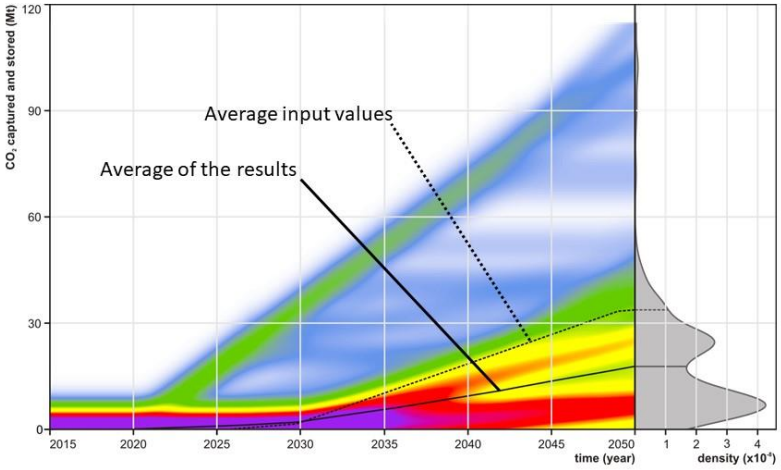
Geologische onzekerheid

Working with geological uncertainty: exploration



Het belang van stochastische berekeningen

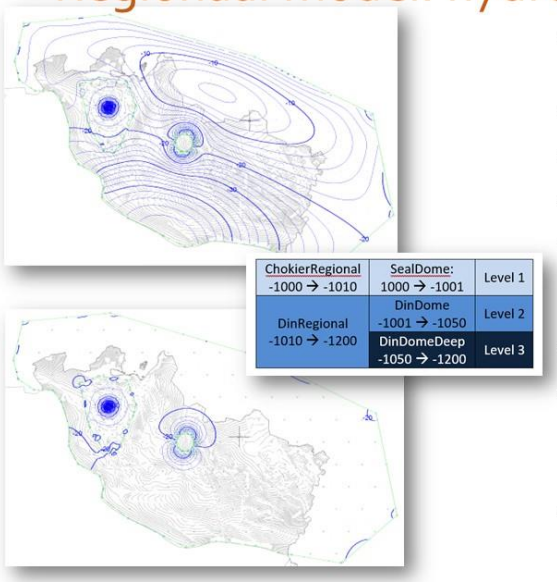
CO_2 stored in Austria



Geologische realiteit en onzekerheid

	1. Expert input	2. Analytical approximation	3. Analytical reservoir model	4. Numerical reservoir model	5. Telescoped analytical models
Method	**Collect expert input on a reduced reservoir concept**	**Equations mimicking reservoir behavior**	**Reservoir model describing physical processes**	**Gridded simulation model**	**Regional and activity specific models**
Strengths	Any reservoir type Any uncertainty range	Fast method Ease of use	Accurate representation Faster than numerical	Most accurate representation	Faster and more flexible than super model
Challenges	Not common in Earth sciences Social sciences expertise needed	Certain knowledge level is needed Only an approximation	High knowledge level is needed Practical implementation	Only case-specific Practical implementation Calculation speed	Never been done

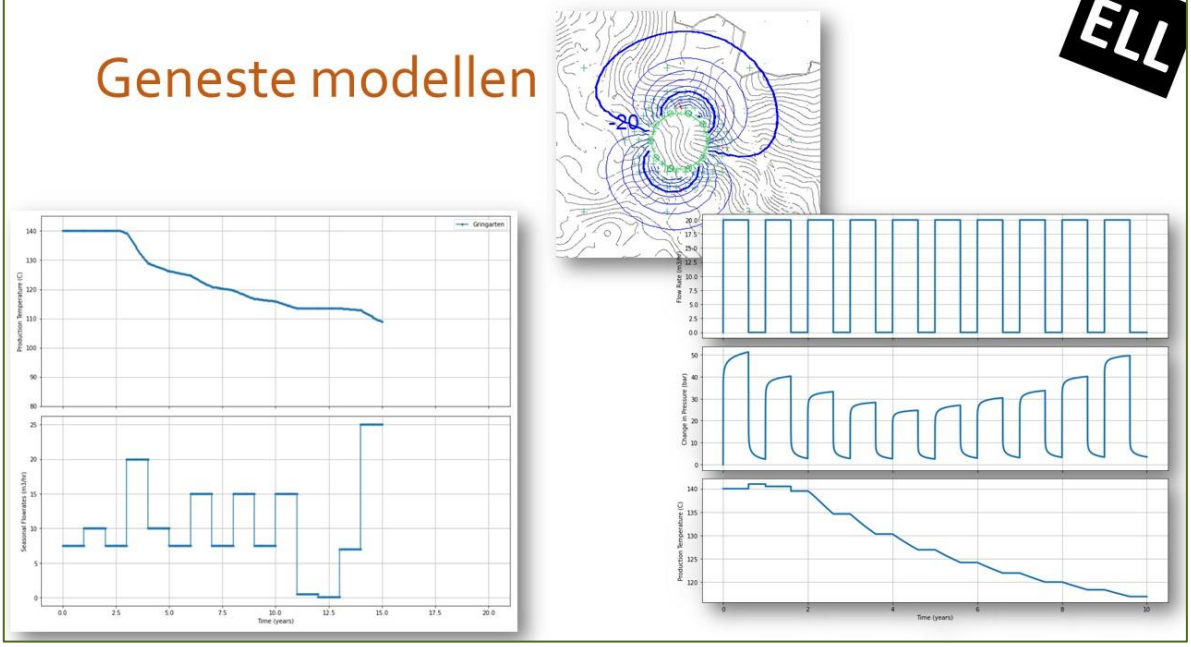
Regionaal model: hydrostatische druk



- AEM model: Analytical Element Model
- Software: AnAqSim
- Transient and steady-state
- Stochastische modelering
- 3D-geometrie:
  - Conceptueel, not reëel
  - 15 lagen
- Externe en interne grenscondities
- Interne grenzen laten 'telescoping' toe

- Belangrijkste beperking:
  - Domeinen hebben uniforme eigenschappen

Geneste modellen



Waarom al deze moeite?

- Niet om beleid uit te stippelen,
  keuzes liggen bij de overheid
- Wel om fundamenteel inzicht te geven in beleidskeuzes en -instrumenten:
  - Impact: Hoe reageert de maatschappij
  - Efficiëntie: Hoe optimaal wordt de ondergrond gebruikt
  - Effect en richting: Welke totale uitkomst wordt bekomen (geo, milieu, eco, soc)
  - Onzekerheid op uitkomst: Welke risico's worden genomen
- Maatschappij en ondergrond zijn complex,
  maar kunnen gemodelleerd worden

Impactanalyse

Lijst van activiteiten
Methode
Pauze
Beleidsvisies
Impactanalyse

Impactanalyse

Lijst van activiteiten
Methode
Pauze
Beleidsvisies
Impactanalyse

Beleidsvisies

- Denkoefening: wat als…

- Welke activiteiten worden mogelijks opgestart zonder beleidsvisie?
- Welke beleidsvisies kunnen er toegepast worden?
- Hoe zal de mogelijke opstart van activiteiten anders zijn, onder verschillende beleidsvisies?

Voorstel van beleidsvisies (BV)

1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie
2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren
3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu
4. Maximaal inzetten op zelfvoorziening
5. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond
6. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de hulpbron

BV 1 – maximaal inzetten op hernieuwbare energie

- Activiteiten die gestimuleerd zouden kunnen worden onder deze visie: geothermie (G1-6); opslag van mix aardgas en waterstof (NG/H_2); opslag warmte (HS)
- Ook alle andere activiteiten blijven opgenomen in het model: bv. ook CGS (CGS1-2)

Mogelijke 'meest waarschijnlijke' uitkomst van het beslisboommodel:

BV	2024	2025	2029	2034	...
1	G_{1expl} + NG	G_{1op}+ G_{6expl} + NG + HS_{3expl}	G_{1op} + G_{3expl} + G_{6op} + NG/H_{2_expl} + HS_{3op}	G_{1op} + G_{3op} + NG/H_{2_op} + HS_{3op} + CGS_{2expl}	

BV2 – behoud opslagstructuren

- Activiteiten die gestimuleerd worden/gevrijwaard moeten blijven: CO_2-opslag, opslag van warmte (HS1-4), opslag van mix aardgas en waterstof (NG/H_2); geologische opslag CO_2 (CGS)
- Ook alle andere activiteiten blijven opgenomen in het model: bv. ook geothermie (G1-6)

Mogelijke 'meest waarschijnlijke' uitkomst van het beslisboommodel:

BV	2024	2025	2029	2034	...
1	G_{1expl} + NG	G_{1op}+ G_{6expl} + NG + HS_{3expl}	G_{1op} + G_{3expl} + G_{6op} + NG/H_{2_expl} + HS_{3op}	G_{1op} + G_{3op} + G_{6op} + NG/H_{2_op} + HS_{3op} + CGS_{2expl}	
2	G_{1expl} + NG	G_{1op}+ NG + HS_{3expl}+ CGS_{2expl}	G_{1op} + NG/H_{2_expl} + HS_{3op}+ HS_{2expl}+ CGS_{2op}	G_{1op} + G_{6expl} + NG/H_{2_op} + HS_{3op}+ HS_{2op}+ CGS_{2op}	

Voorstel van beleidsvisies (BV) - feedback

- Omschrijving per visie (A1-papier → 6 + 1)

Visie 7?

  - Opmerkingen bij deze visie?
  - Activiteiten die onder deze visie gestimuleerd worden?
  - Activiteiten die onder deze visie beperkt worden?
  - Activiteiten waarvoor geen specifiek beleid nodig is?

Impactanalyse

Lijst van activiteiten
Methode
Pauze
Beleidsvisies
Impactanalyse

Impactanalyse

Impactanalyse van de projecten die door het model geselecteerd worden.

Voorstel beperkte set van indicatoren:

- Geologische impact: evolutie geologische 'reserve' na toepassing van de activiteiten → P1
- Economische impact: verwachte NCW (winstgevend)→ P2
- Milieu impact: verwachte GWP (CO_2-uitstoot/besparing van CO_2-uitstoot) → P2
- Sociale impact: bevolkingsaantal dat bepaalde maatschappelijke kost of baat ondervindt → P3
- Andere principes/indicatoren worden kwalitatief besproken (vb. seismiciteit)

→Kansverdeling per impact

→Multicriteria matrix

→PC&I raamwerk als referentiekader

→Workshop 3 (26 maart om 13u @KBIN): modellering + MCA-matrix als onderwerp van discussie

Impactanalyse – feedback (plenair)

Andere indicatoren die kwantitatief/kwalitatief meegenomen kunnen worden?

- Geologische impact: evolutie geologische 'reserve' na toepassing van de activiteiten
- Economische impact: verwachte netto contante waarde (winstgevend)
- Milieu impact: verwachte Global Warming Potential (CO_2-uitstoot/besparing van CO_2-uitstoot)
- Sociale impact: bevolkingsaantal dat bepaalde maatschappelijke kost of baat ondervindt

Andere indicatoren worden kwalitatief besproken (bv. seismiciteit)

Einde

BIJLAGE 3 – PRESENTATIE WORKSHOP 3

Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond

Workshop 3 – 26 maart 2024, Brussel

Universiteit Antwerpen

Geological Survey of Belgium museum

Vlaanderen

Agenda

- ***12:30*** *Inloop en koffie*
- **13:00** Welkom en voorstellingsronde
- **13:10** Voorstelling resultaten stakeholder mapping
- **13:40** Voorstelling beleidsscenario's
- ***14:00*** *Koffie*
- **14:20** Voorstelling impactanalyse van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen voor de 6 beleidsscenario's
- **15:20** Korte pauze en verdeling in groepen
- **15:30** Bespreking van modelresultaten in kleinere groepen: modelresultaten voor verschillende beleidsscenario's worden naast de principes/criteria van duurzaamheid gelegd (D4)
- **17:00** Einde – slotwoord VPO

Stakeholdermapping

3

Doel

- Beleidsvisie ontwikkelen voor het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen
- Gedragen door de stakeholders
  - Stakeholders in kaart brengen
  - Wat is hun visie?

➔ **Bevragen en in kaart brengen van de visies van stakeholders over het duurzaam beheer van de diepe ondergrond in Vlaanderen**

4

Wie is stakeholder?

Stakeholders worden gedefinieerd als
"*eender welke groep of individu die beïnvloedt wordt door of zelf invloed heeft op de diepe ondergrond in Vlaanderen*".*



* Gebaseerd op de definitie van GSEU (https://www.geologicalservice.eu/about-us)

5

KLIMAAT.BE · VLAAMS ENERGIE- & KLIMAATAGENTSCHAP · WE MAKE TOMORROW BEAUTIFUL OVAM · Vlaanderen is omgeving · VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ

VERENIGING VLAAMSE PROVINCIES · west-vlaanderen de gedreven provincie · Provincie Antwerpen · provincie Limburg · vvsg · Herentals · Gemeente mol PITTIG & ATTRACTIEF

TURNHOUT · Streekplatform Kempen Sterke regio. Slim netwerk · bIOK · NIRAS · FANC FEDERAAL AGENTSCHAP VOOR NUCLEAIRE CONTROLE · Royal Observatory of Belgium

MINARAAD milieu & natuur · Vlaanderen · frdo cfdd · SERV sterk door overleg · BOND BETER LEEF MILIEU · ode organisatie duurzame energie

HiTA · janssen · PHARMACEUTICAL COMPANIES OF Johnson&Johnson · fluxys · LAGO Heer water meer plezier · Tuinbouwcluster Koekhoven · Port of Antwerp Bruges · ArcelorMittal

pidpa · De Watergroep · fluvius. · KU LEUVEN · sck cen · vito · GSEU GEOLOGICAL SERVICE FOR EUROPE



Deel I

Wat is de rol van de stakeholder?

8


Deel I
Vlaanderen
is omgeving
Provincie Antwerpen
provincie Limburg
FANC
NIRAS
Royal Observatory of Belgium
VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ
HITA
janssen
Johnson & Johnson
fluxys
LAGO
Tuinbouwcluster Koekhoven
BOND BETER LEEF MILIEU
pidpa
fluvius.
KU LEUVEN
sck cen
vito
GSEU
9


Deel I
Rollen
Drager
ervaart de gevolgen van activiteiten in de diepe ondergrond
Onderzoeker
analyseert/meet/ onderzoekt de activiteiten/hulp-bronnen in de diepe ondergrond
Beleidsadviseur
verleent advies aan beleidsmakers m.b.t. de diepe ondergrond
Beleidsmaker
stelt het beleid op m.b.t. de diepe ondergrond
10

Deel I

Rollen

Vergunning-verlener



heeft de bevoegdheid om vergunning te verlenen voor exploitatie van de diepe ondergrond

Vergunning-houder



heeft een vergunning voor exploitatie van de diepe ondergrond

Gebruiker



consumeert goed of dienst, afkomstig uit de diepe ondergrond

Toezichthouder



controleert en monitort
- de activiteiten en/of hulpbronnen in de diepe ondergrond,
- gevolgen op leefomgeving

11

Deel I

Rollen

Toezichthouder



controleert en monitort
- de activiteiten en/of hulpbronnen in de diepe ondergrond,
- gevolgen op leefomgeving

- Regulator / handhaver / toezichthouder?
- Niet één centrale toezichthouder voor alle activiteiten in de diepe ondergrond
- Onduidelijkheid over wie toezichthouder is
- Toezichthouder zou ook bevoegdheid moeten hebben om tussen te komen bij conflict

12


Deel I
Rollen van bevraagde stakeholders
Drager
Onderzoeker
Beleidsadviseur
Beleidsmaker
BOND BETER LEEF MILIEU
VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ
fluvius.
pidpa
KU LEUVEN
sck cen
vito
NIRAS
FANC
FEDERAAL AGENTSCHAP VOOR NUCLEAIRE CONTROLE
Vlaanderen
is omgeving
Provincie Antwerpen
provincie Limburg
13


Deel I
Rollen van bevraagde stakeholders
Vergunning-verlener
Vergunning-houder
Gebruiker
Toezichthouder
Vlaanderen
is omgeving
FANC
FEDERAAL AGENTSCHAP VOOR NUCLEAIRE CONTROLE
janssen
Johnson & Johnson
fluxys
HiTA
LAGO
Meer water, meer plezier
vito
Tuinbouwcluster Koekhoven
VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ
Royal Observatory of Belgium

Deel II

Wat is de visie van deze stakeholder?

- Activiteiten
- Netwerk
- Data
- Beleid
- Duurzaam beheer

15

Prioritaire activiteiten

Deel II - Activiteiten

- Geen (voor iedere activiteit bestaat alternatief)
- Diepe geothermie
- Drinkwaterwinning
- Grondwaterwinning
- Opslag van aardgas
- Berging nucleair afval

16

Niet-wenselijke activiteiten

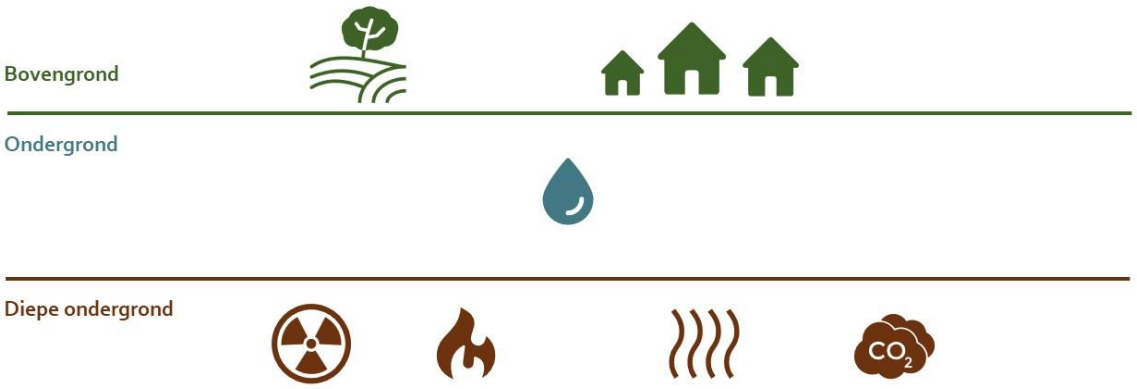
Deel II - Activiteiten

- Geen (bij voorbaat geen activiteiten uitsluiten)
- Ontginning van fossiele brandstoffen
- Boringen in drinkwaterwinningzones
- Activiteiten die gebruik van ondergrond door toekomstige generaties uitsluiten

17

Ondergrond – bovengrond

Deel II - Activiteiten



18

Deel II - Data

Toegang tot data *(as is)*

- Toegang tot data is OK
- Er is een gebrek aan data
- Geen overzicht van bestaande data

Data is versnipperd!

19

Deel II - Data

Toegang tot data (*should be*)

- Volledige transparantie en openbaarheid
- Zo transparant mogelijk (voorzichtigheid)
- Publiek vs. private data
  - Publiek: toegankelijk voor iedereen
  - Private: confidentialiteit eerste x # jaren, nadien ook openbaar
- Duidelijker (wettelijk) kader voor data-uitwisseling met Geologische Dienst
- Data delen op centraal niveau
  - Vandaag: regionaal vs. federaal

20

Beleid

Deel II - Beleid

- Divers!
- Participatie
- Proactieve rol van overheid
- *First come, first served* principe in vraag stellen
- De rol van regulator

21

Duurzaam beheer

Deel II – Duurzaam beheer

- Begrip duurzaamheid
  - Ervoor zorgen dat gebruik diepe ondergrond ook nog mogelijk is voor toekomstige generaties
  - Hernieuwbaarheid
- Hoe meer info je hebt voor opstart activiteit, hoe beter
  - Nood aan onderzoek & exploratie
- Zo optimaal mogelijk koppelen met bovengrond
- Alternatieven tegenover elkaar afwegen

22

Wat nu?

- Terugkoppelen naar bevraagde stakeholders
  - Zelf gerapporteerde rol vs. toegekende rol
  - Stakeholderfiche
- Workshops
  - Maatschappelijk middenveld: MINAraad, SERV
  - Lokale besturen: Streekplatform Kempen
- Finaal rapport
  - Zomer '24

23

Tot slot…

Bedankt voor jullie medewerking aan de interviews!

Vragen?

24

Beleidsscenario's

25

Context

- Nood aan beheerplannen voor meervoudig gebruik van de diepe ondergrond
- Huidige Europees beleid:
  - Gericht op individuele activiteiten
- Wetenschappelijke literatuur
  - Planning van ondergrondse infrastructuur
  - Ondiepe ondergrond

→ Bevraging: hoe wordt er in Europese landen omgegaan met meervoudig gebruik van de diepe ondergrond en mogelijke conflictsituaties

26

Methode

- Eerste contact via e-mail
- Interview
- Vragenlijst

1. Hoe belangrijk is het gebruik van de diepe ondergrond in uw land?
2. Is er een (wettelijk) onderscheid tussen ondiepe en diepe ondergrond?
3. Is er een algemeen beleid, regelgeving of langetermijnvisie op het gebruik van de ondergrond?
4. Is er aandacht voor multifunctioneel gebruik van de diepe ondergrond, en voor mogelijke interferenties die daarmee samenhangen (bijvoorbeeld in plan- of vergunningprocedures)?
5. Zijn mogelijke grensoverschrijdende effecten van het gebruik van de diepe ondergrond een uitdaging in uw land?

27

Stand van zaken

Geen relevantie/geen problematiek	Relevantie / geen beleid	Relevantie/beleid	In opvolging/nog geen antwoord ontvangen
Liechtenstein	Denemarken / fc-fs	Noorwegen (bilateraal/internationaal)	Bulgarije, Cyprus, Duitsland, Estland, Griekenland, Hongarije Ierland, Italië, Kroatië, Letland, Litouwen, Nederland, Oostenrijk, Polen, Roemenië, Slovenië, Slowakije, Tsjechië, VK, Zweden,
Luxemburg (diepe geothermie →)	Finland / beleid ondiep	Zwitzerland - Genève een 'underground resources management plan' in ontwikkeling met focus op geothermie en grondwater	
Malta	Frankrijk / fc-fs /int. diepe geothermie Elzas		
Portugal (conflict vermijden)	Spanje / fc-fs		

Samenvatting van de resultaten

- Problematiek wordt erkend, en beschouwd als meer en meer relevant
- Weinig tot geen beleid aanwezig voor de coördinatie van meervoudig gebruik van de ondergrond
  - Nederland – Structuurvisie Ondergrond (contact nog in opvolging)
  - Noorwegen: bilaterale afspraken, gecoördineerd door een overheid + bilaterale afspraken VK/Noorwegen
    - Geen gestandaardiseerd evaluatiekader
    - Case-by-case
    - Voornamelijk op basis van economische overwegingen

29

Beleidsvisies voor Vlaanderen

- BV 0. Nulscenario (0-NUL)
- BV 1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie (1-RES)
- BV 2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren (2-STOR)
- BV 3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu (3-CLIM)
- BV 4. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond (4-BAL)
- BV 5. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de grondstof (5-LONG)
- BV 6. Inzetten op exploratie (6-EXPL)
- BV 7. Maximaal inzetten op zelfvoorziening (7-SELF)

30

Beleidsvisies voor Vlaanderen

- BV 0. Nulscenario (0-NUL)
- BV 1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie (1-RES)
- BV 2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren (2-STOR)
- BV 3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu (3-CLIM)
- BV 4. Inzetten op een gebalanceerd gebruik van de diepe ondergrond (4-BAL)
- BV 5. Inzetten op lange termijn beschikbaarheid van de grondstof (5-LONG)
- BV 6. Inzetten op exploratie (6-EXPL)
- BV 7. Maximaal inzetten op zelfvoorziening (7-SELF)

31

Beleidsvisies Vlaanderen

- BV 0. Nulscenario (0-NUL)

Referentie – geen stimulering – kleine exclusiezone (2.5 km)

- BV 1. Maximaal inzetten op hernieuwbare energie (1-RES)

Stimulering diepe geothermie en KWO – versnelde vraag naar opslag waterstof – verbod op ontginning KWS - normale exclusiezone (5 km)

- BV 2. Maximaal inzetten op het behoud van opslagstructuren (2-STOR)

BV1 + verbod op winningsactiviteiten in structuren geschikt voor opslag – grote exclusiezone voor opslagactiviteiten (10 km)

- BV 3. Maximaal inzetten op de beperking van klimaatimpact en bescherming van het milieu (3-CLIM)

BV1 + stimulering CO_2-opslag (hoge CO_2 prijs) – normale exclusiezone (5 km)

- BV 6. Inzetten op exploratie (6-EXPL)

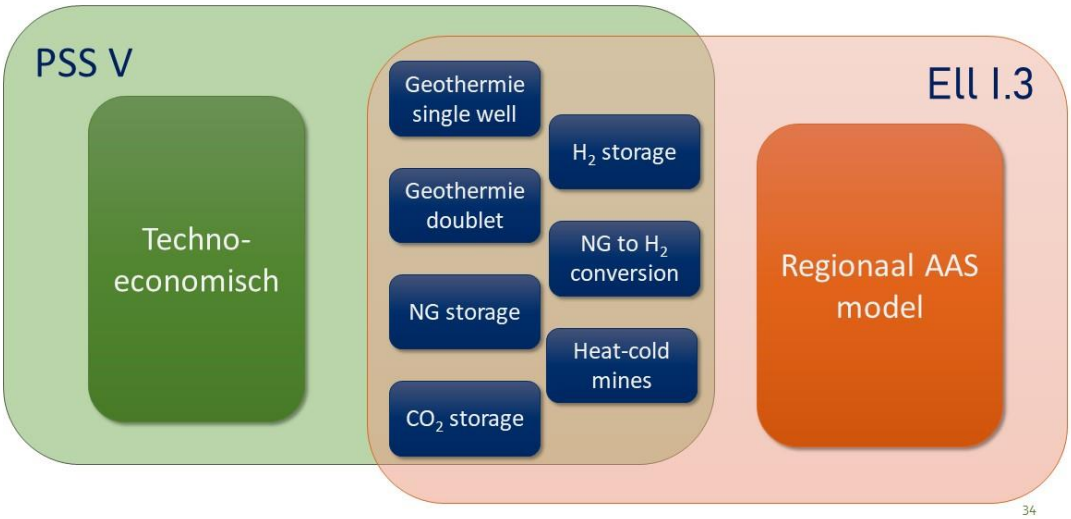
BV1 + beperking geologische onzekerheid – normale exclusiezone (5 km)

32

Impactanalyse

33

Kwantitatieve model

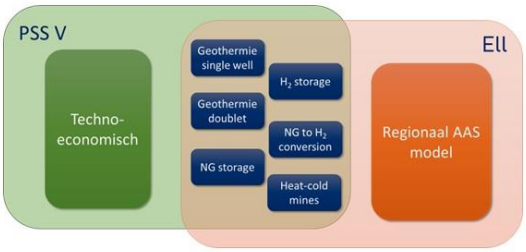


34

Kwantitatieve model – Betekenis

- In opbouw sinds 2017
- First-of-its-kind
- 'LEGO' opbouw

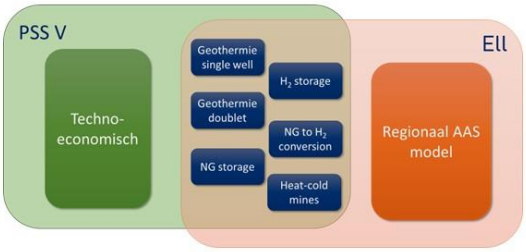
- Eén stochastische uitkomst
  - PSS V: ~x uur
  - AAS: ~x uur
- Parallelle berekeningen:
  - PSS: 25-50 simulaties
  - AAS: 3-5 simulaties



35

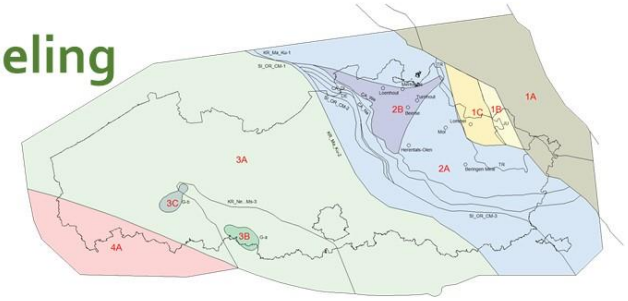
Kwantitatieve model - Methodologie

- Doel:
  - Beleid simuleren
    → *learn by seeing*
  - Flexibel model
  - Universele methodologie

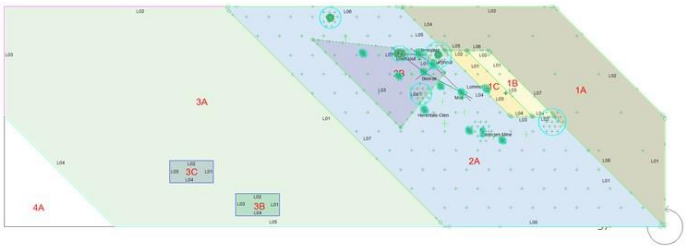


36

Ell – Digitale tweeling

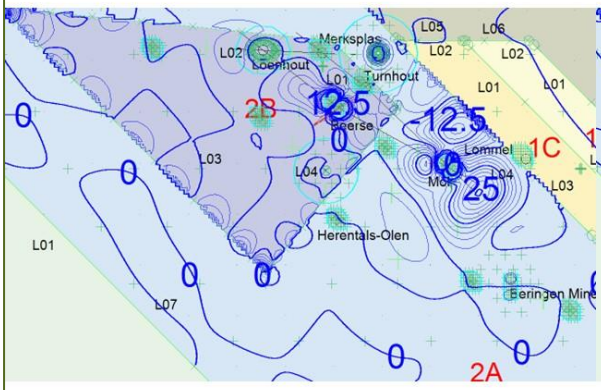


- 14 lagen model
- 61 analytische reservoirelementen
- geometrie vereenvoudigd
- afstanden en richtingen realistisch

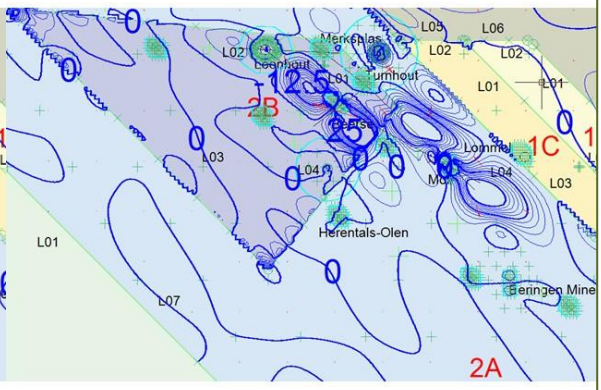


Ell – Extra geologische onzekerheid

isotrope eigenschappen

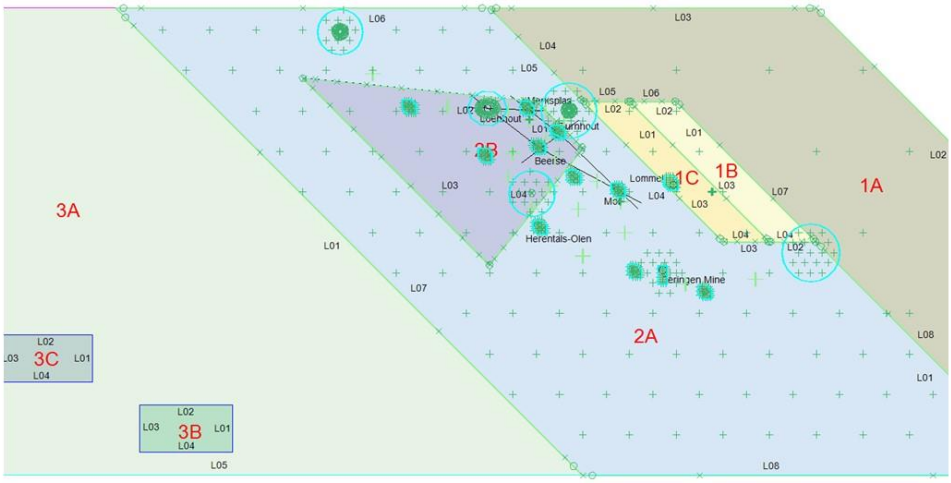


anisotrope eigenschappen



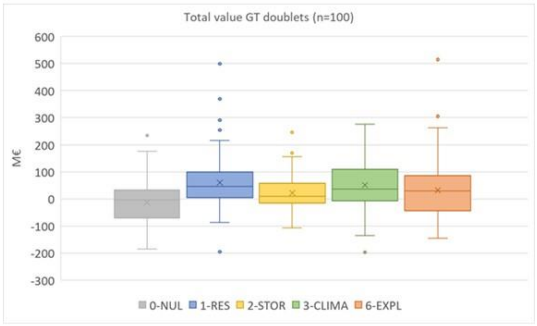
38

GT doubletten



39

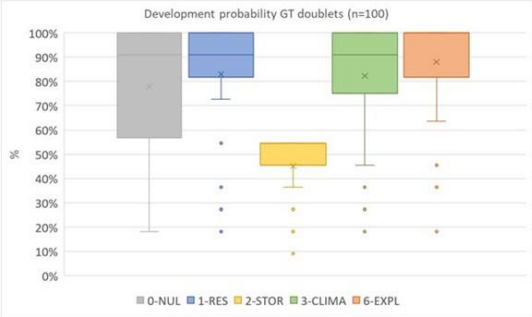
Economische waarde: GT doubletten

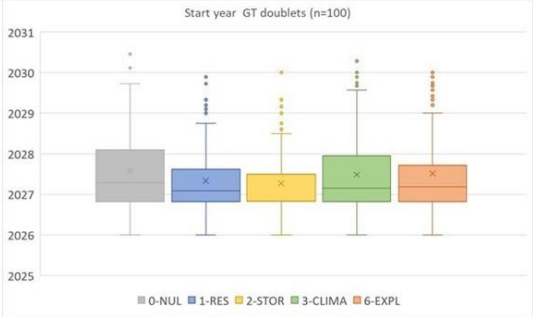




40

Economische waarde: GT doubletten

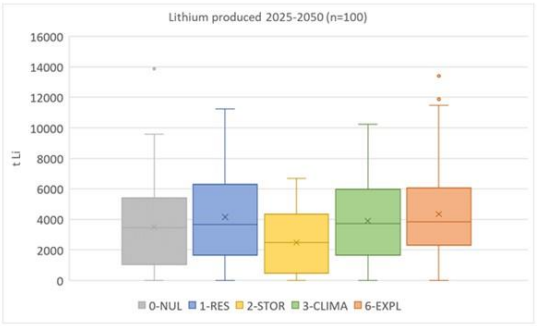


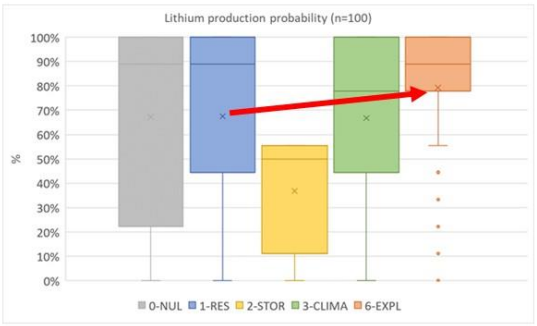


- Hoogste succesratio in opslagscenario door uitsluiting en competitie
- Geen voordeel in exploratiescenario

41

Indirecte effecten: lithiumproductie

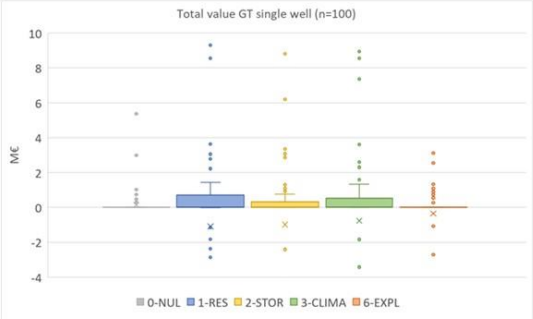


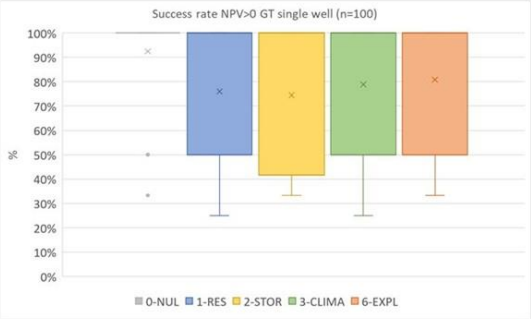


- Mits technologieoptimalisatie kan lithiumproductie haalbaar zijn.
- Voordeel van algemene exploratie *(<-> geothermieactiviteit zelf)*

42

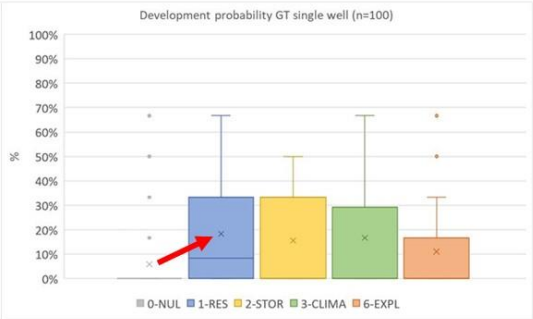
Economische waarde: GT single well

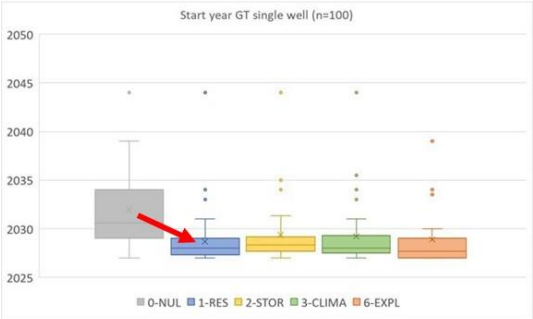




43

Economische waarde: GT single well

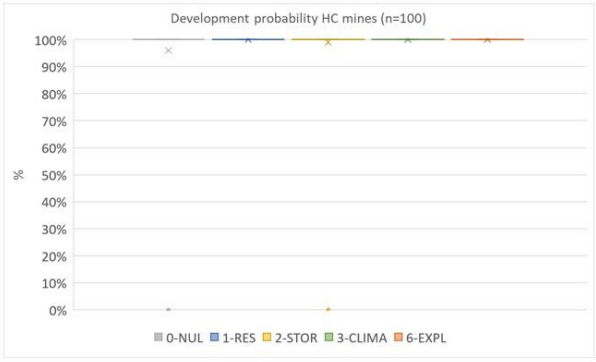




- Single well projecten hebben grootste voordeel van stimulatie geothermie

44

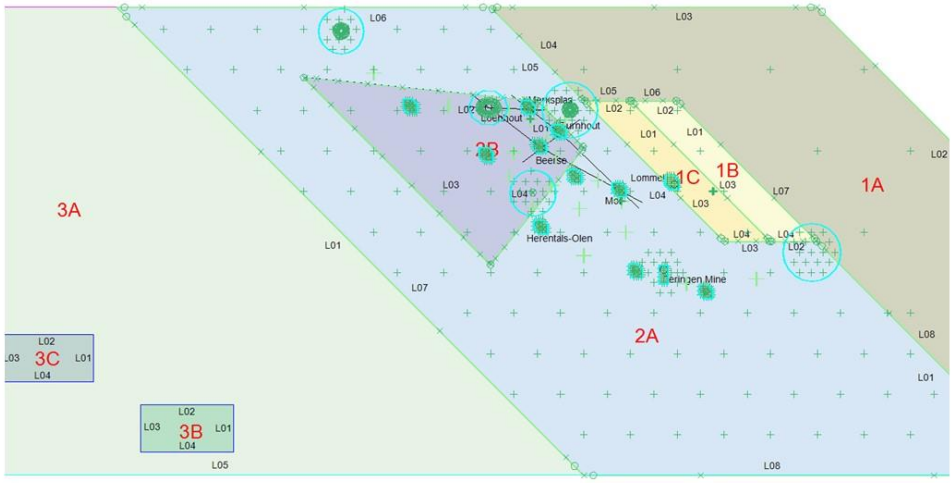
Economische waarde: KWO mijnen



- Onder modelaannames steeds economisch interessant

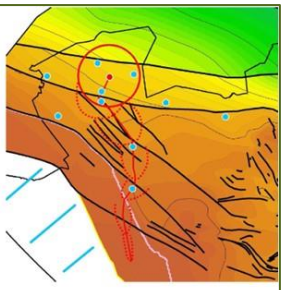
45

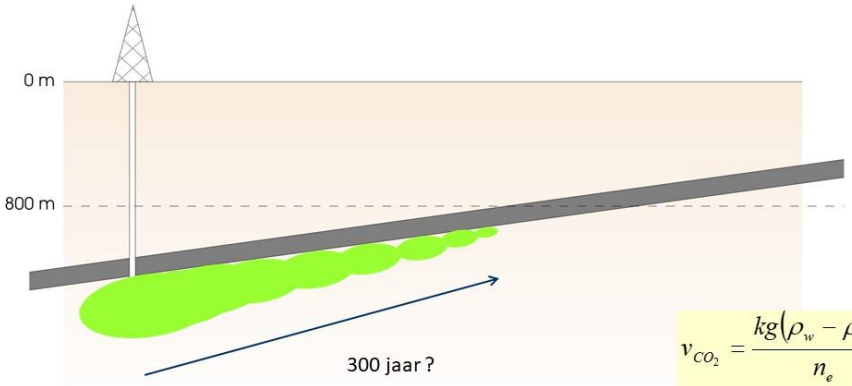
CO_2 opslag



46

CO_2 opslag

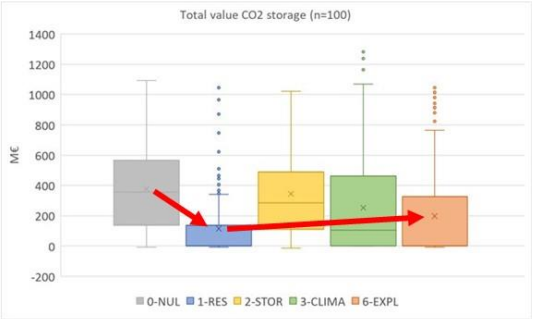


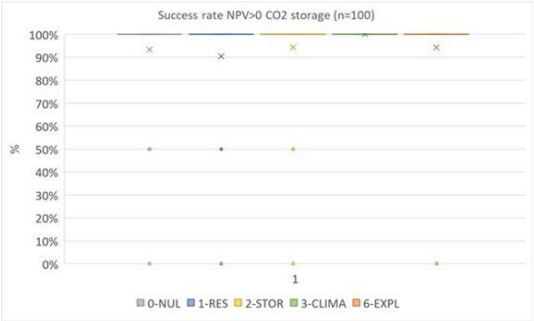


$$v_{CO_2} = \frac{kg(\rho_w - \rho_{CO_2})}{n_e} \frac{d_w}{\mu_w d_{CO_2} + \mu_{CO_2} d_w} \sin(\alpha)$$

47

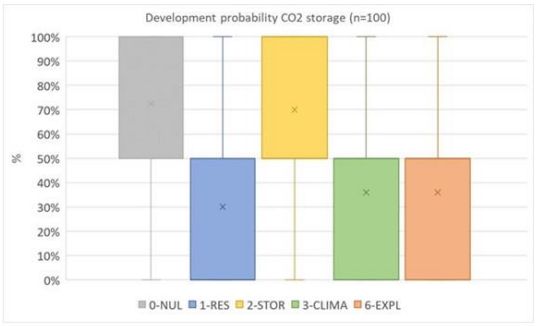
Economische waarde: CO_2 opslag

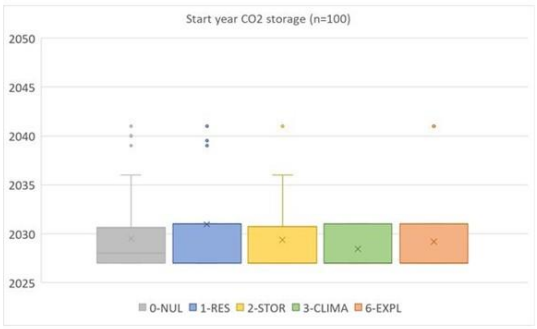




48

Economische waarde: CO_2 opslag

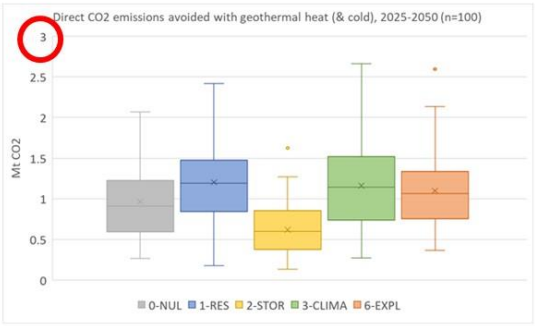




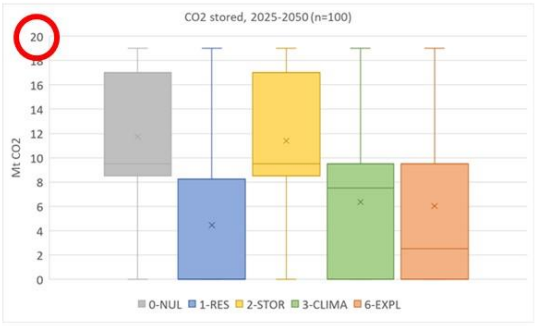
- CO_2-opslag is economisch haalbaar, beleidskeuzes zijn cruciaal
- Voordeel van algemene exploratie

49

Klimaatimpact



Vermeden directe emissies t.o.v. gasverbranding

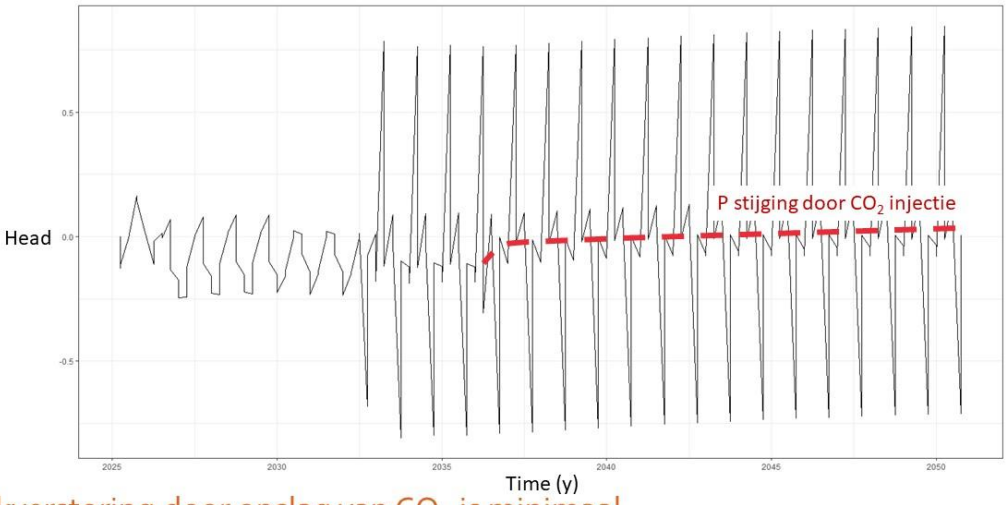


Opgeslagen CO_2

- Competitie tussen geothermie en CO2-opslag bepaalt klimaatimpact

50

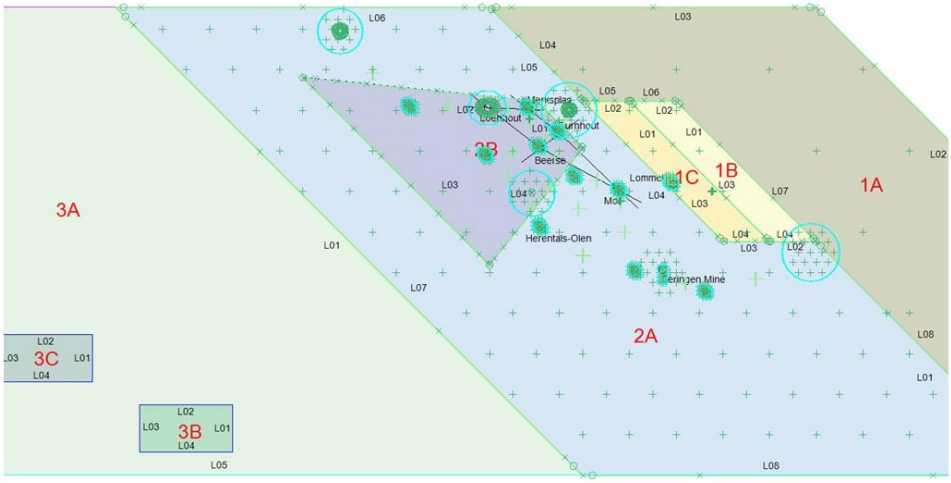
Reservoir impact CO_2 opslag



Drukverstoring door opslag van CO_2 is minimaal

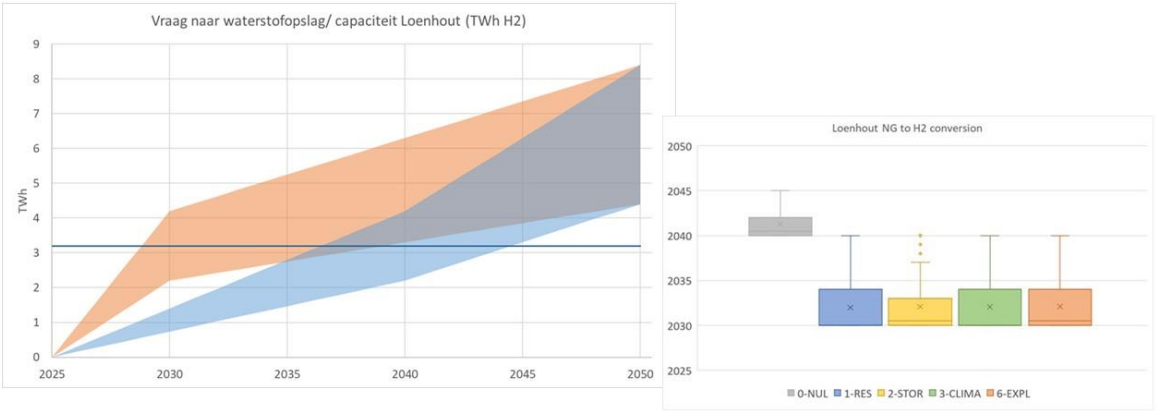
51

Waterstofopslag



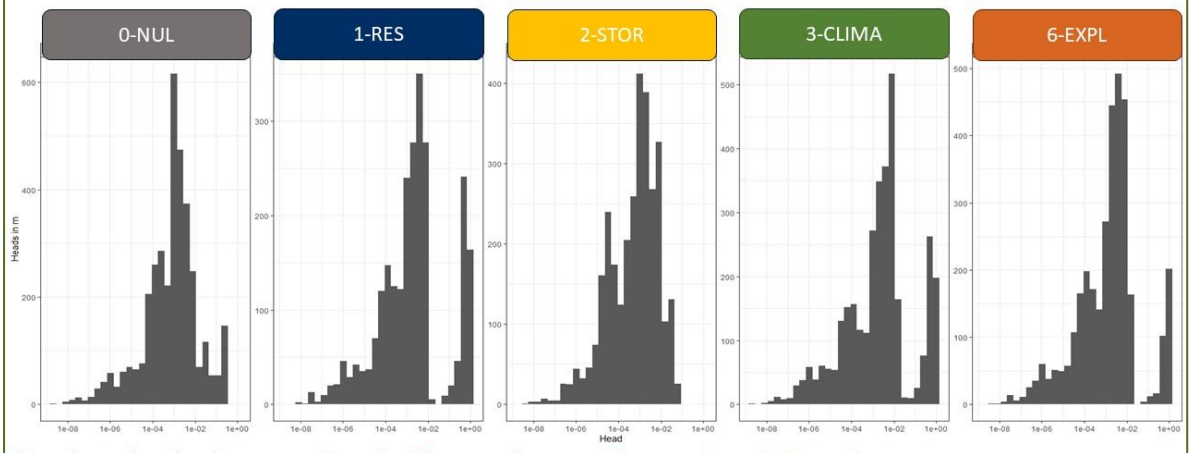
52

Waterstofopslag: vraaggestuurd



53

Interferentie potentiële bergingssite Mol

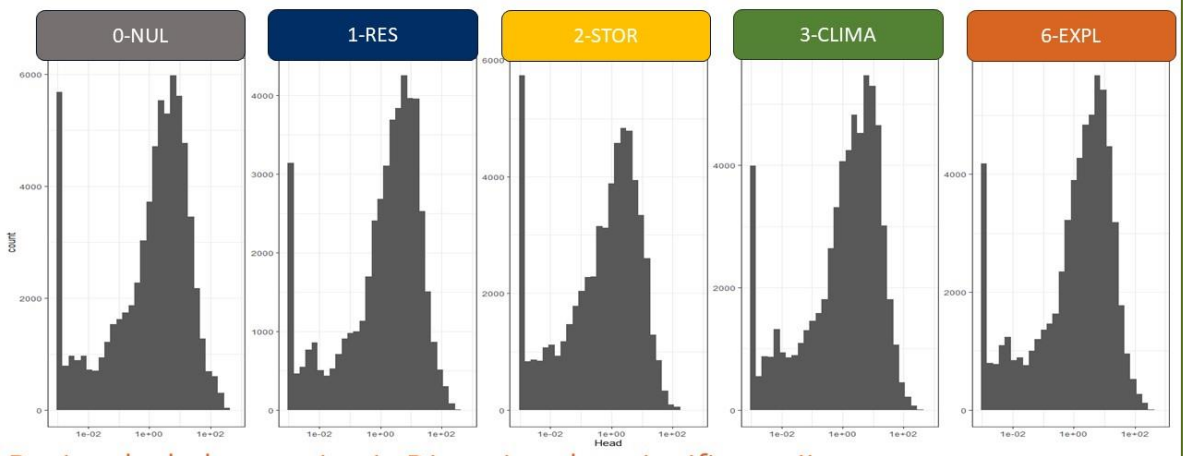


Regionale drukverstoring in Formatie van Boom is minimaal

Geothermie on-site kan potentieel invloed hebben

54

Interferentie in Dinantiaan

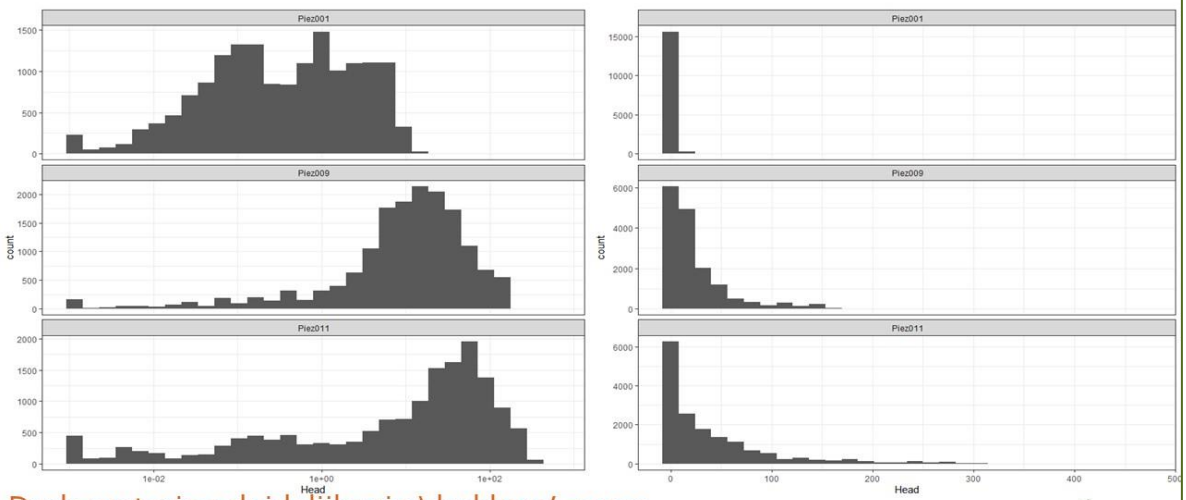


Regionale drukverstoring in Dinantiaan kan significant zijn

Geothermie is eerste oorzaak

55

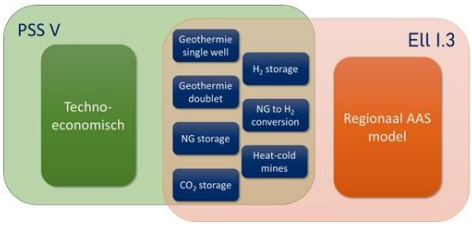
Interferentie in Dinantiaan

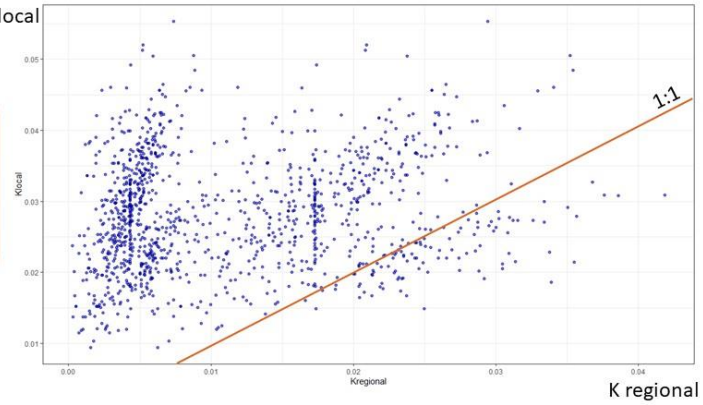


Drukverstoring duidelijker in 'drukkere' zones

56

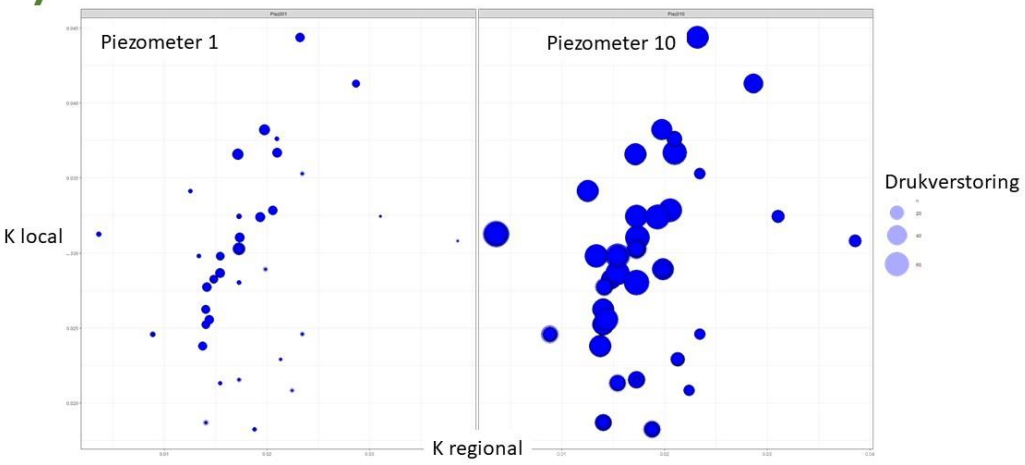
Interferentie en Hydraulische conductiviteit





57

Interferentie en Hydraulische conductiviteit



Hydraulische conductiviteit van secundair belang voor drukverstoring

58

Multicriteria analyse

59

Nulscenario

	Geothermie Doublet (11)	Geothermie single well (6)	KWO (1)	Opslag waterstof (3)	Opslag CO2 (2)
Geselecteerde activiteit binnen een periode van 25 jaar	11 activiteiten Kans varieert tussen Kalmthout met 65% en Malle met 84%	4 activiteiten Kans varieert tussen Merksplas met 1% en Kortemark met 22%	1 activiteit Beringen: 96% kans	2 activiteiten Loenhout en Poederlee: beide 100% kans	2 activiteiten Essen: 47% Retie: 98%
Bewonersdichtheid < 1km	Eerder middenbevolkt (31-120 inw/ha)	Merksplas en Kortemark: eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha) Mol en Pelt: eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha)	Retie: eerder laag-bevolkt (0-30 inw/ha) Essen: eerder midden -bevolkt (31-120 inw/ha)
Warmtevraag-dichtheid	2 locaties: <=1 MWh/m 3 locaties: 1 - 2 MWh/m 2 locaties: 2 - 3 MWh/m 1 locatie: 3 – 4 MWh/m 2 locaties: 4 – 5 MWh/m 1 locatie: >6 MWh/m	2 locaties: 1 - 2 MWh/m 1 locatie: 2 - 3 MWh/m 1 locatie: >6 MWh/m	1 - 2 MWh/m	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m
Natuurgebied	6 locaties: natuurgebied < 1 km 4 locaties: natuurgebied > 1 km 1 locatie: in een natuurgebied	3 locaties: natuurgebied < 1 km 1 locatie: natuurgebied > 1 km	Ligt in een natuurgebied	1 locatie: natuurgebied < 1 km 1 locatie: natuurgebied > 1 km	Natuurgebied < 1 km

Scenario 1: RES

	Geothermie Doublet (11)	Geothermie single well (6)	KWO (1)	Opslag waterstof (3)	Opslag CO2 (2)
Activiteit	11 activiteiten Kans varieert tussen Kalmthout met 53% en Turnhout met 88%	4 activiteiten Kans varieert tussen Merksplas met 7% en Kortemark met 50%	1 activiteit Beringen: 100% kans	2 activiteiten Loenhout en Poederlee: beide 100% kans	2 activiteiten Retie: 20% Essen: 40%
Bewoners-dichtheid < 1km	Eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Merksplas en Kortemark: eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha) Mol en Pelt: eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha)	Retie: eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha) Essen: eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)
Warmtevraag-dichtheid	2 locaties: <=1 MWh/m 3 locaties: 1 - 2 MWh/m 2 locaties: 2 - 3 MWh/m 1 locatie: 3 – 4 MWh/m 2 locaties: 4 – 5 MWh/m 1 locatie: >6 MWh/m	2 locaties: 1 - 2 MWh/m 1 locatie: 2 - 3 MWh/m 1 locatie: >6 MWh/m	1 - 2 MWh/m	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m
Natuurgebied	6 locaties: natuurgebied < 1 km 4 locaties: natuurgebied > 1 km 1 locatie: in een natuurgebied	3 locaties: natuurgebied < 1 km 1 locatie: natuurgebied > 1 km	In een natuurgebied	1 locatie: natuurgebied < 1 km 1 locatie: natuurgebied > 1 km	Natuurgebied < 1 km

61

Scenario 2: STOR

	Geothermie Doublet (11)	Geothermie single well (6)	KWO (1)	Opslag waterstof (3)	Opslag CO2 (2)
Activiteit	6 activiteiten Kans varieert tussen Lommel met 67% en Houthalen met 87%	2 activiteiten Kans varieert tussen Pelt met 19% en Kortemark met 45%	1 activiteit Beringen: 99% kans	1 activiteit Loenhout: 100% kans	2 activiteiten Essen: 43% Retie: 97%
Bewonersdichtheid < 1km	Eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Kortemark: eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha) Pelt: eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha)	Retie: eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha) Essen: eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)
Warmtevraag-dichtheid	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m 2 locaties: 2 - 3 MWh/m 2 locaties: 4 – 5 MWh/m	1 locatie: 1 - 2 MWh/m 1 locatie: 2 - 3 MWh/m	1 - 2 MWh/m	1 - 2 MWh/m	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m
Natuurgebied	3 locaties: natuurgebied < 1 km 2 locaties: natuurgebied > 1 km 1 locatie: in een natuurgebied	Natuurgebied < 1 km	Ligt in een natuurgebied	Natuurgebied > 1 km	Natuurgebied < 1 km

62

Scenario 3: CLIMA

	Geothermie Doublet (11)	Geothermie single well (6)	KWO (1)	Opslag waterstof (3)	Opslag CO2 (2)
Activiteit	11 activiteiten Kans varieert tussen Kalmthout met 58% en Turnhout met 87%	4 activiteiten Kans varieert tussen Merksplas met 7% en Kortemark met 48%	1 activiteit Beringen: 100% kans	2 activiteiten Loenhout en Poederlee: beide 100% kans	2 activiteiten Retie: 22% Essen: 50%
Bewonersdichtheid < 1km	Eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Merksplas en Kortemark: eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha) Mol en Pelt: eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha)	Retie: eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha) Essen: eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)
Warmtevraag-dichtheid	2 locaties: <=1 MWh/m 3 locaties: 1 - 2 MWh/m 2 locaties: 2 - 3 MWh/m 1 locatie: 3 – 4 MWh/m 2 locaties: 4 – 5 MWh/m 1 locatie: >6 MWh/m	2 locaties: 1 - 2 MWh/m 1 locatie: 2 - 3 MWh/m 1 locatie: >6 MWh/m	1 - 2 MWh/m	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m
Natuurgebied	6 locaties: natuurgebied < 1 km 4 locaties: natuurgebied > 1 km 1 locatie: in een natuurgebied	3 locaties: natuurgebied < 1 km 1 locatie: natuurgebied > 1 km	Ligt in een natuurgebied	1 locatie: natuurgebied < 1 km 1 locatie: natuurgebied > 1 km	Natuurgebied < 1 km

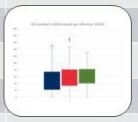
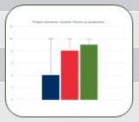
Scenario 6: EXPL

	Geothermie Doublet (11)	Geothermie single well (6)	KWO (1)	Opslag waterstof (3)	Opslag CO2 (2)
Activiteit	11 activiteiten Kans varieert tussen Lommel met 72% en Turnhout met 94%	4 activiteiten Kans varieert tussen Merksplas met 4% en Kortemark met 33%	1 activiteit Beringen: 100% kans	2 activiteiten Loenhout en Poederlee: beide 100% kans	2 activiteiten Retie: 25% Essen: 47%
Bewonersdichtheid < 1km	Eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Merksplas en Kortemark: eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha) Mol en Pelt: eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)	Eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha)	Retie: eerder laagbevolkt (0-30 inw/ha) Essen: eerder midden-bevolkt (31-120 inw/ha)
Warmtevraag-dichtheid	3 locaties: 1 - 2 MWh/m 2 locaties: <=1 MWh/m 2 locaties: 2 - 3 MWh/m 2 locaties: 4 – 5 MWh/m 1 locatie: 3 – 4 MWh/m 1 locatie: >6 MWh/m	2 locaties: 1 - 2 MWh/m 1 locatie: 2 - 3 MWh/m 1 locatie: >6 MWh/m	1 - 2 MWh/m	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m	1 locatie: <=1 MWh/m 1 locatie: 1 - 2 MWh/m
Natuurgebied	6 locaties: natuurgebied < 1 km 4 locaties: natuurgebied > 1 km 1 locatie: in een natuurgebied	3 locaties: natuurgebied < 1 km 1 locatie: natuurgebied > 1 km	Ligt in een natuurgebied	1 locatie: natuurgebied < 1 km 1 locatie: natuurgebied > 1 km	Natuurgebied < 1 km

Samenvatting van de resultaten

	NUL	RES	STOR	CLIM	EXPL
Activiteiten	Geothermie Opslag waterstof Opslag CO_2	Geothermie: kans stijgt (tov NUL) Opslag: kans daalt	Geothermie: minder maar kans stijgt Opslag: ≈ kans het hoogst (excl. NUL)	Geothermie: kans stijgt Opslag: kans daalt	Geothermie: kans stijgt; kans is het hoogst Opslag: kans daalt
Bevolkings-dichtheid	Geothermie: eerder midden Opslag: eerder laag	=	≈	=	=
Warmtevraag-dichtheid	Geothermie: eerder hoog Opslag: eerder laag	=	Geothermie: ↓ Opslag: ≈	=	=
Natuurgebied	Meerderheid <1km	=	≈	=	=
Indirecte effecten (Li)		+	-	+	+
Winstgevendheid		GT+ CGS-	GT+ CGS=	GT+ CGS=	GT+ CGS=
CO_2 emissies		↑	=	↑	↑
Timing		Doublet sneller SW sneller CGS trager	Doublet sneller SW sneller	SW sneller	Doublet sneller SW sneller

65

Dimensie (principe)	Indicator	Resultaat zonder beleid (waarde)	Resultaat beleidsscenario 1 (waarde)	Eenheid
Geologisch (P1)				
Socio-eco impacten (P2)				
	Winstgevendheid			
	Warmtevraag			
	CO_2 impact			
	Indirecte effecten			
	Bovengronds landgebruik			
	Bevolkingsdichtheid			
Rechtvaardige verdeling (P3)				
	Publiek goed karakter			
	Inkomens/welvaartsverdeling			

Dimensie (principe)	Indicator	Resultaat zonder beleid (waarde)	Resultaat beleidsscenario 1 (waarde)	Eenheid
Geologisch (P1)				
Socio-eco impacten (P2)				
	Winstgevendheid			
	Warmtevraag			
	CO_2 impact			
	Indirecte effecten			
	Bovengronds landgebruik			
	Bevolkingsdichtheid			
Rechtvaardige verdeling (P3)				
	Publiek goed karakter			
	Inkomens/welvaartsverdeling			

7

Plenaire bespreking modelresultaten

68

Groepsverdeling

G1
Helga Ferket (VPO)
Cis Slenter (VMM)
Laurent Wouters (NIRAS)
Stijn Kuypers (J&J)
Vera De Martelaere (Prov Antwerpen)

G2
Jan Van Roo (VPO)
David Michiels (Prov Limburg)
Dominique Ceursters (Fluxys)
Ben Laenen (VITO)

G3
Johanna Van Daele (VPO)
Frans De Nayer (Tuinbouw Merksplas)
Boris Dehandschutter (FANC)
Gianni Cuinen (J&J)
Fee Maes (FOD Gezondheid)

G4
Shana Debrock (BJO)
Koen Beerten (SCK)
Hans Claes (J&J)
Paul Vansteelandt (expert)

69

Belang en relevantie

Hoe belangrijk/relevant zijn de beleidsvisies?

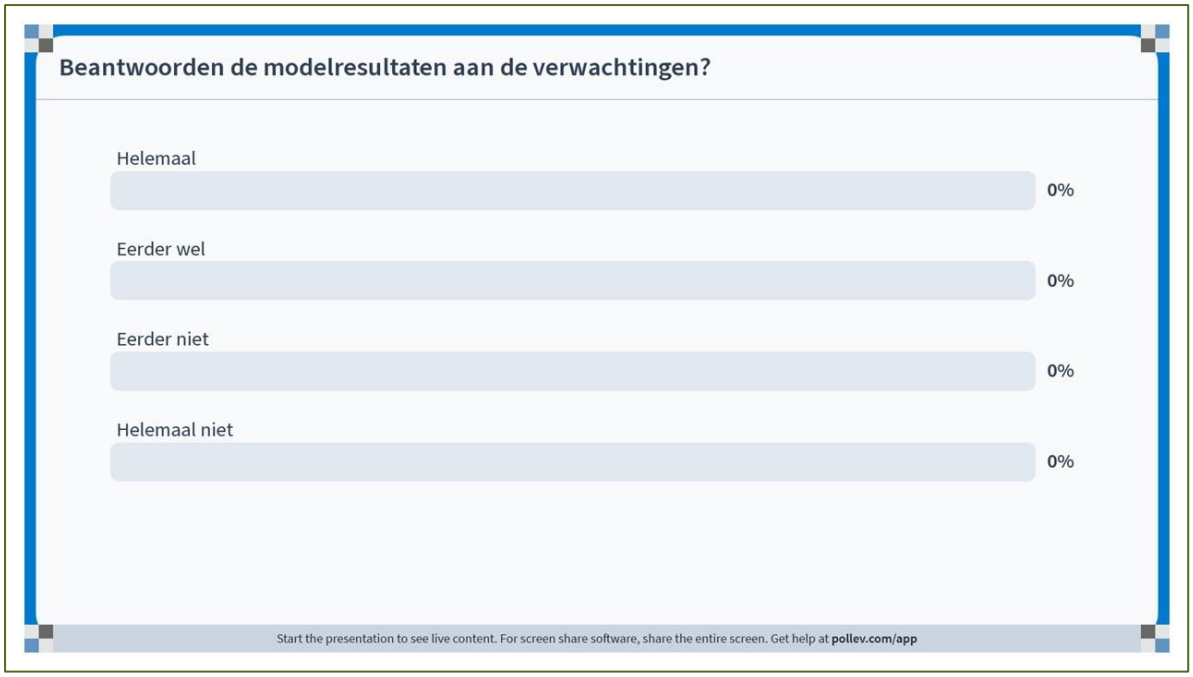
70



Verwachting

Komen de modelresultaten van de verschillende beleidsvisies overeen met uw verwachting?

72



Ontbreken er nog scenario's / elementen?

Open vraag

74

Toetsing P1

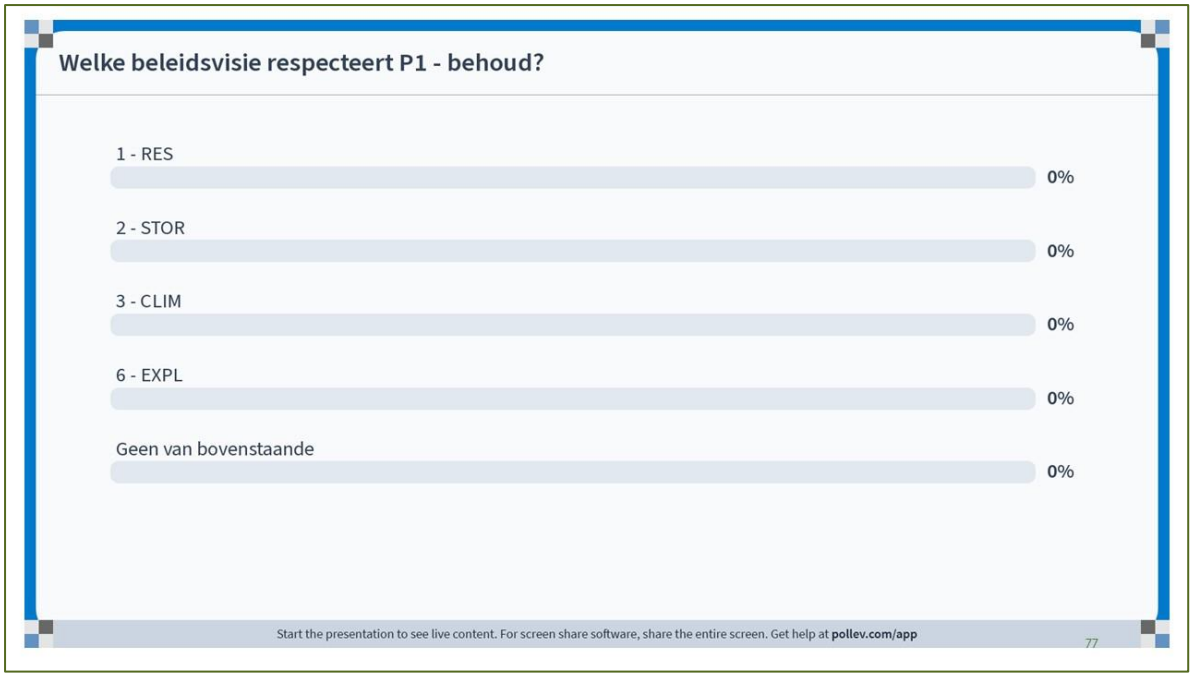
P1 | behoud van hulpbronnen en assimilatievermogen

75

Samenvatting van de resultaten

	NUL	RES	STOR	CLIM	EXPL
Activiteiten	Geothermie Opslag waterstof Opslag CO_2	Geothermie: kans stijgt (tov NUL) Opslag: kans daalt	Geothermie: minder maar kans stijgt Opslag: ≈ kans het hoogst (excl. NUL)	Geothermie: kans stijgt Opslag: kans daalt	Geothermie: kans stijgt; kans is het hoogst Opslag: kans daalt
Bevolkings-dichtheid	Geothermie: eerder midden Opslag: eerder laag	=	≈	=	=
Warmtevraag-dichtheid	Geothermie: eerder hoog Opslag: eerder laag	=	Geothermie: ↓ Opslag: ≈	=	=
Natuurgebied	Meerderheid <1km	=	≈	=	=
Indirecte effecten (Li)		+	-	+	+
Winstgevendheid		GT+ CGS-	GT+ CGS=	GT+ CGS=	GT+ CGS=
CO_2 emissies		↑	=	↑	↑
Timing		Doublet sneller SW sneller CGS trager	Doublet sneller SW sneller	SW sneller	Doublet sneller SW sneller

76



Toetsing P2

P2 | Efficiëntie

78

Samenvatting van de resultaten

	NUL	RES	STOR	CLIM	EXPL
Activiteiten	Geothermie Opslag waterstof Opslag CO_2	Geothermie: kans stijgt (tov NUL) Opslag: kans daalt	Geothermie: minder maar kans stijgt Opslag: ≈ kans het hoogst (excl. NUL)	Geothermie: kans stijgt Opslag: kans daalt	Geothermie: kans stijgt; kans is het hoogst Opslag: kans daalt
Bevolkings-dichtheid	Geothermie: eerder midden Opslag: eerder laag	=	≈	=	=
Warmtevraag-dichtheid	Geothermie: eerder hoog Opslag: eerder laag	=	Geothermie: ↓ Opslag: ≈	=	=
Natuurgebied	Meerderheid <1km	=	≈	=	=
Indirecte effecten (Li)		+	-	+	+
Winstgevendheid		GT+ CGS-	GT+ CGS=	GT+ CGS=	GT+ CGS=
CO_2 emissies		↑	=	↑	↑
Timing		Doublet sneller SW sneller CGS trager	Doublet sneller SW sneller	SW sneller	Doublet sneller SW sneller

79

Welke beleidsvisie respecteert P2 | Efficiëntie?

1 - RES 0%

2 - STOR 0%

3 - CLIM 0%

6 - EXPL 0%

Geen van bovenstaande 0%

Start the presentation to see live content. For screen share software, share the entire screen. Get help at **pollev.com/app**

80

Toetsing P3

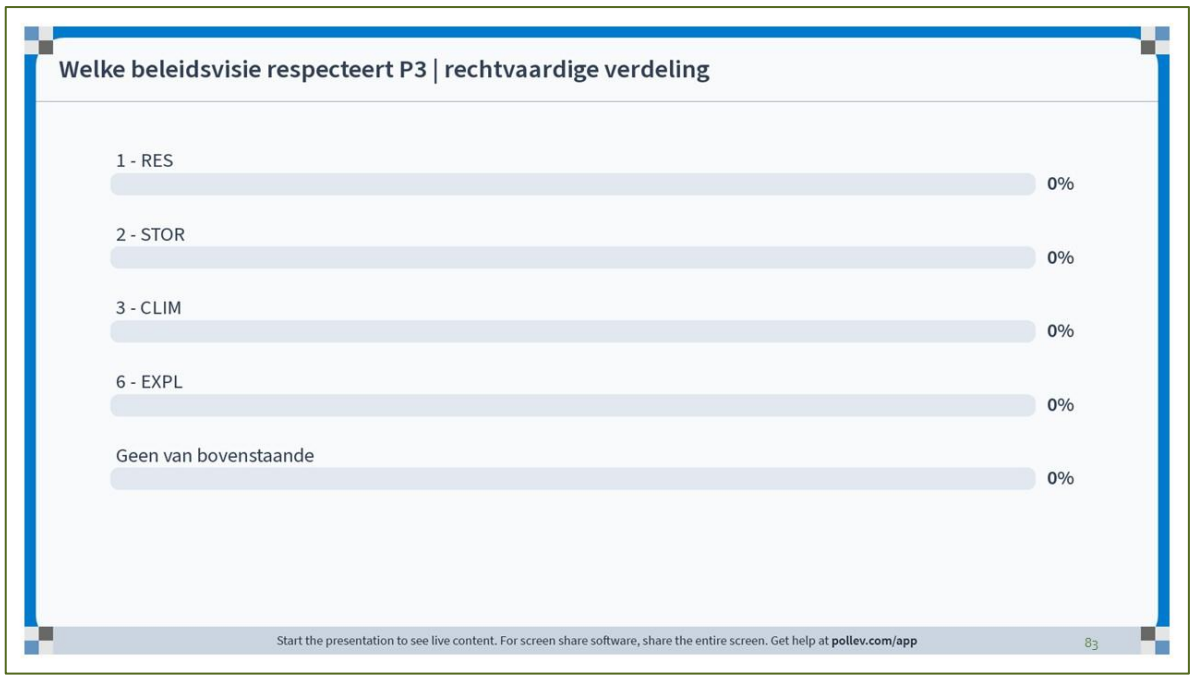
P3 | Rechtvaardige verdeling

81

Samenvatting van de resultaten

	NUL	RES	STOR	CLIM	EXPL
Activiteiten	Geothermie Opslag waterstof Opslag CO_2	Geothermie: kans stijgt (tov NUL) Opslag: kans daalt	Geothermie: minder maar kans stijgt Opslag: ≈ kans het hoogst (excl. NUL)	Geothermie: kans stijgt Opslag: kans daalt	Geothermie: kans stijgt; kans is het hoogst Opslag: kans daalt
Bevolkings-dichtheid	Geothermie: eerder midden Opslag: eerder laag	=	≈	=	=
Warmtevraag-dichtheid	Geothermie: eerder hoog Opslag: eerder laag	=	Geothermie: ↓ Opslag: ≈	=	=
Natuurgebied	Meerderheid <1km	=	≈	=	=
Indirecte effecten (Li)		+	-	+	+
Winstgevendheid		GT+ CGS-	GT+ CGS=	GT+ CGS=	GT+ CGS=
CO_2 emissies		↑	=	↑	↑
Timing		Doublet sneller SW sneller CGS trager	Doublet sneller SW sneller	SW sneller	Doublet sneller SW sneller

82



Betere beoordeling

Open vraag

Welke info / indicatoren ontbreken om de beoordeling te verbeteren?

84

Slotwoord VPO

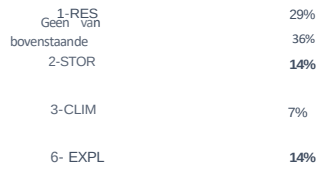
85

BIJLAGE 4 – RESULTATEN POLLEVERYWHERE

Presented by: Tine Compernolle
Current run (last updated Apr 24, 202410:54am)

5	14	11	76%
Activities	**Participants**	**Average responses**	**Average engagement**

Welke beleidsvisie is voor u het meest relevant/belangrijk?



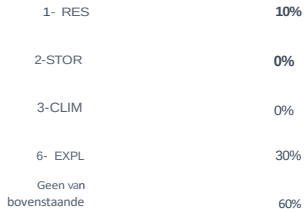
Response options	Count	Percentage
1- RES	4	29%
2- STOR	2	14%
3- CLIM	1	7%
6- EXPL	2	14%
Geen van bovenstaande	**5**	**36%**

Engagement

14

Responses

Welke beleidsvisie respecteert Pl - behoud?



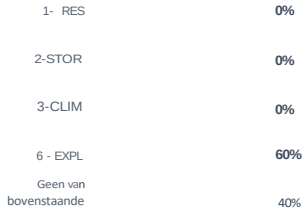
Response options	Count	Percentage
1- RES	1	10%
2- STOR	0	0%
3- CLIM	0	0%
6- EXPL	3	30%
Geen van bovenstaande	**6**	**60%**

Engagement

10

Responses

Welke beleidsvisie respecteert P2 I Efficientie?



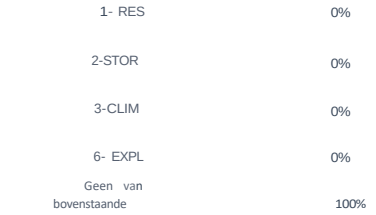
Response options	Count	Percentage
1- RES	0	0%
2- STOR	0	0%
3- CLIM	0	0%
6- EXPL	**6**	**60%**
Geen van bovenstaande	4	40%

Engagement

10

Responses

Welke beleidsvisie respecteert P3 I rechtvaardige verdeling

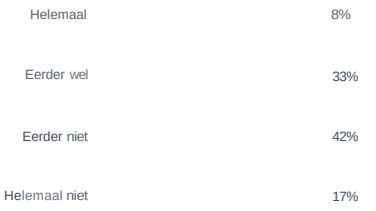


Response options	Count	Percentage
1- RES	0	0%
2- STOR	0	0%
3- CLIM	0	0%
6- EXPL	0	0%
Geen van bovenstaande	**7**	**100%**

Engagement

7

Responses



Beantwoorden de modelresultaten aan de verwachtingen?

Response options	Count	Percentage
Helemaal	1	8%
Eerder wel	4	33%
Eerder niet	**5**	**42%**
Helemaal niet	2	17%



Engagement

12

Responses