

**Code van goede praktijk
– Studie van
ontvangende groeve
en graverij**



**Code van goede praktijk
STUDIE VAN
ONTVANGENDE GROEVE
EN GRAVERIJ**



Documentbeschrijving

1. *Titel publicatie*

Code van goede praktijk – Studie van ontvangende groeve en graverij

2. *Verantwoordelijke Uitgever*

Danny Wille, OVAM, Stationsstraat 110, 2800 Mechelen

3. *Wettelijk Depot nummer*

4. *Aantal bladzijden*

71

5. *Aantal tabellen en figuren*

11 en 3

6. *Prijs**

7. *Datum Publicatie*

24 september 2013

8. *Trefwoorden*

Opvullen van groeves en graverijen, milieuvergunning, VLAREM rubriek 60, gebruik van uitgegraven bodem, code van goede praktijk

9. *Samenvatting*

Code van goede praktijk voor het uitvoeren van een studie i.k.v. de aanvraag van een milieuvergunning voor de opvulling van groeves en graverijen met uitgegraven bodem. De code van goede praktijk geeft richtlijnen voor de karakterisatie, modellering en risico-analyse van de opvulling. De impact op (grond)waterkwaliteit is hierbij het uitgangspunt.

10. *Auteur*

Chris Cammaer, Kristien De Vos en Ingeborg Joris

11. *Begeleidingsgroep*

Ingeborg Joris (VITO), Lieve De Greeff, Dirk Dedecker, Joris Tallon, Filip De Naeyer (OVAM), Ywan De Jonghe (VMM), Bodembeheerorganisaties.

12. *Andere titels over dit onderwerp*

Gegevens uit dit document mag u overnemen mits duidelijke bronvermelding.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website: <http://www.ovam.be>

Inhoudstafel

1	INLEIDING	11
2	OPZET	13
2.1	Algemeen	13
2.2	Hydrogeologisch conceptueel model als basis voor eventuele afwijkingen	15
2.3	Groeve-specifieke toetsingswaarden	15
3	BEGRIPPEN EN DEFINITIES	17
3.1	Wetgeving	17
3.2	Groeve: ontginning en opvulling	17
3.2.1	Oppervlaktedelfstoffen	17
3.2.2	Ontginning	19
3.2.3	Hydrogeologische karakterisatie / conceptueel model	19
3.2.4	Complexiteit	19
3.2.5	Ontvangende groeve	20
3.2.6	Opvulling	20
3.3	Kwetsbaarheid van het grondwater	21
3.4	Bescherming van het grondwater	21
3.4.1	Aquifer	21
3.4.1.1	Verzadigd – onverzadigd	21
3.4.1.2	Freatisch – artesisch	22
3.4.2	Voorkomen en stroming van het grondwater	22
3.4.2.1	Grondwatertafel, stijghoogte en gradiënt.	22
3.4.2.2	Porositeit	23
3.4.2.3	Permeabiliteit, hydraulische geleidbaarheid (k) en doorlaatvermogen (kD)	24
3.4.2.4	Grondwaterbeweging (Wet van Darcy)	25
3.4.2.5	Grondwaterstromingssnelheid	25
3.4.2.6	Interactie grondwater met andere elementen	26
3.5	Stoffen en stofgroepen, geochemie	27
3.5.1	Standaard analyse pakketten en structuurparameters	27
3.5.2	Verdachte stoffen	27
3.5.3	Afbraakparameters	28
3.5.4	Niet gewenste stoffen	28
3.6	Normenkader	28
3.6.1	Vrij gebruik	28
3.6.2	Bodemsaneringsnormen	28
3.6.3	Minerale olie	28
3.6.4	pH	29
3.6.5	Natuurlijke aanrijking	29
3.6.6	Bagger- en ruimingsspecie	30
3.7	Geochemie	30
3.7.1	Vast-vloeibaar verdelingscoëfficiënt Kd	30
3.7.1.1	Kd voor zware metalen en metalloïden	30
3.7.1.2	Kd voor organische verbindingen	33
3.7.2	Dispersie	34
3.7.3	Diffusie	35
3.7.4	Afbraak/sequentiële afbraak, productie, vervluchtiging	35
3.7.5	Dilutie (verduunning)	35
3.7.6	Dichtheid, vochtgehalte, porositeit	36
3.8	Karakterisatie van de aangevoerde grond	36
3.8.1	Chemische en fysische eigenschappen	36
3.8.2	Consolidatie	37
3.8.3	Granulometrie, structuurparameters	37

STUDIE ONTVANGENDE GROEVE - DEEL 1	39
4 ONTVANGENDE GROEVE EN OMGEVING	41
4.1 Ontvangende groeve	41
4.1.1 Ontginning	41
4.1.1.1 Administratief	41
4.1.1.2 Minimale informatie	41
4.1.1.3 Nuttige extra informatie	42
4.1.2 Huidige groeve	42
4.1.2.1 Minimaal terreinwerk	42
4.1.2.2 Nuttige extra observaties	42
4.1.3 Toekomstige opvulling	42
4.2 Omgeving	43
4.2.1 Geografie en hydrologie	43
4.2.1.1 Geografie	43
4.2.1.2 Hydrologie	43
4.2.2 Pedologie en geologie	43
4.2.2.1 Lokale bodems	44
4.2.2.2 Ondiepe ondergrond	44
4.2.3 Hydrogeologie	44
4.2.3.1 Grondwaterkwetsbaarheid en eventuele gekende verontreinigingen	44
4.2.3.2 Voorkomen van het grondwater	45
4.2.3.3 Grondwaterstroming	45
4.2.3.4 Lokale grondwaterkwaliteit	46
4.3 Receptoren	46
4.4 Samenvatting: deelaspecten, aanpak en relevantie	46
5 HYDROGEOLOGISCH CONCEPTUEEL MODEL	49
5.1 Inleiding	49
5.2 Hydrogeologisch conceptueel model	49
5.3 Hiaten in de kennis	50
5.4 Beslissing tot verdere studie / berekening toetsingswaarden	50
5.4.1 Geen afwijking mogelijk (huidige situatie)	50
5.4.2 Afwijking mogelijk zonder berekening van toetsingswaarden (deel 2)	50
5.4.3 Afwijking mogelijk met berekening van toetsingswaarden	51
STUDIE ONTVANGENDE GROEVE - DEEL 2	53
6 BESTAANDE MODELLEN: MOGELIJKHEDEN EN BEPERKINGEN	55
6.1 Inleiding	55
6.2 Methode attenuatiefactoren (VITO / OVAM)	56
6.3 1D rekenbladen voor transportberekening (VITO/OVAM)	57
6.3.1 F-leach	57
6.3.2 Studie ontvangende grond	59
6.4 Overige methodes – numerieke verspreidingsmodellen	60
6.5 Samenvatting	60
6.5.1 Methode AF	60
6.5.2 Methode F-Leach	61
6.5.3 Studie ontvangende grond	62
6.5.4 Overige methodes – numerieke verspreidingsmodellen	63
7 RICHTLIJNEN MODELLERING UITLOGING EN STOFTRANSPORT	65
7.1 Selectie grondwatercriteria	65
7.2 Numeriek grondwatermodel	65
7.2.1 Keuzes	65
7.2.2 Doorstroomschema	66
7.2.3 Enkele aandachtspunten bij de uitvoering van een numerieke modelstudie	66
7.2.3.1 Criteria voor uitvoering van een numeriek modelstudie	66

7.2.3.2	Doel van de numerieke modelstudie	67
7.2.3.3	Aard van het aangevoerde materiaal	67
7.3	Stoftransportmodel en risico-analyse	68
7.4	Interpretatie van de resultaten	68
8	RICHTLIJNEN VOOR RAPPORTERING	69
8.1	Studie ontvangende groeve: inhoud	69
8.2	Besluit ten behoeve van de vergunningsaanvraag	70
8.2.1	Toetsingswaarden en acceptatiecriteria	70
8.2.2	Voorstel bijzondere milieuvergunningsvoorwaarden	70
8.2.2.1	Voorwaarden m.b.t. de aard (structuurparameters) van de aangevoerde bodem	70
8.2.2.2	Voorwaarden m.b.t. de kwaliteit van de aangevoerde grond	71
8.2.2.3	Voorwaarden m.b.t. de omgeving	71
9	REFERENTIES	73

LIJST VAN SYMBOLEN EN AFKORTINGEN

Afkortingen

AF	attenuatiefactor
ALBON	Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen
BBO	beschrijvend bodemonderzoek
BETXS	kleine groep aromatische koolwaterstoffen
BPA	bijzonder plan van aanleg
BSN	bodemsaneringsnorm
CDE	Convectie-dispersie vergelijking
CEC	cation exchange capacity
HCM	hydrogeologisch conceptueel model
MER	milieu effect rapport
MO	minerale olie
MTBE	methyl-tert-butylether
OHH	enkele alkanen
PAK	polyaromatische koolwaterstoffen
PCB	polychloorbiphenyl
RUP	ruimtelijk uitvoeringsplan
TW	toetsingswaarde
VLAREBO	Vlaams reglement rond de Bodemsanering
VLAREM	Vlaams reglement betreffende de milieuvergunning
VOCI	vluchtige organochloor verbindingen
WVG	waarde vrij gebruik

Symbolen

$C_{0,max}$	toetsingswaarde voor totaalconcentratie in de opvulling	(mg/kg DS)
$C_{gw,c}$	kritische grondwaterconcentratie	(mg/l)
$C_{max,receptor}$	maximale concentratie aan receptor	(mg/m ³)
C_o	concentratie in poriënwater opvulmateriaal	(mg/m ³)
D	dispersiecoëfficiënt	(m ² /j)
D_a	diffusiecoëfficiënt in lucht	(m ² /u)
DF	verdunningsfactor	(–)
E_c	elektrische geleidbaarheid	(μS/cm)
f_{nd}	fractie niet-gedissocieerd	(–)
f_{oc}	fractie organische koolstof	(–)
g	graviteitsconstante	(m/s ²)
h	stijghoogte, grondwaterpotentiaal	(m)
H'	dimensieloze Henry coëfficiënt	--
i	hydraulische gradiënt	(m/m)
k	hydraulische geleidbaarheid	(m/d)
kD	doorlaatvermogen, transmissiviteit	(m ² /d)
K_d	vast-vloeibaar verdelingscoëfficiënt	(m ³ /kg)
K_H	Henry coëfficiënt	(Pa.m ³ /mol)
K_{oc}	organische koolstof-water verdelingscoëfficiënt	(m ³ /kg)
K_{ow}	octanol-water verdelingscoëfficiënt	(m ³ /kg)
M_{pw}	concentratie in poriënwater	(mg/m ³)

M_{tot}	totaalconcentratie	(mg/kg)
MW	moleculair gewicht	(g/mol)
n	porositeit als volumetrisch vochtgehalte bij verzadiging	(–)
n_e	effectieve porositeit	(–)
p	vloeistofdruk	(N/m ²)
pH	zuurtegraad	(–)
q	eenheidsdebiet of filtersnelheid, Darcy flux	(m/d)
Q	(doorstroom)debiet	(m ³ /d)
S	oplosbaarheid	(mol/m ³) of (µg/l)
V	volume materiaal	(m ³)
v	stromingssnelheid grondwater (aquifer)	(m/d)
v	poriënwatersnelheid (grond)	(m/j)
V_{por}	poriënvolume	(m ³)
z	plaatshoogte	(m)
θ	volumetrisch vochtgehalte	(m ³ /m ³)
θ_g	gravimetrisch vochtgehalte	(kg/kg)
λ	dispersiviteit	(–)
ρ	specifiek volumegewicht, droge stof dichtheid	(kg/m ³)
ρ_w	dichtheid van water	(kg/m ³)
Φ	porositeit, benaderend via dichtheid kwarts	(cm ³ /cm ³)
ω	hydrostatische druk	(m)

1 INLEIDING

Voor de opvulling van groeves en graverijen met niet-verontreinigde uitgegraven bodem en niet-verontreinigde bagger- en ruimingsspecie gelden de bepalingen van rubriek 60 van de indelingslijst van Bijlage I van VLAREM I en de bepalingen van artikel 5.60.2 van VLAREM II. In deze bepalingen wordt verwezen naar het VLAREBO. De gronden die voor de opvulling worden gebruikt voldoen aan de waarden voor vrij gebruik van uitgegraven bodem als bodem van bijlage V van het VLAREBO. De waarden van bijlage V van het VLAREBO zijn onafhankelijk van het bestemmingstype waarin de groeve zich volgens de nabestemming bevindt.

In bijlage IV van het VLAREBO worden groeves en graverijen, gelegen in natuur- en landbouwgebied, ingedeeld in bestemmingstype III, met uitzondering van groeves en graverijen gelegen in waterwingebied of beschermingszone (type I, II en III).

In de milieuvergunning is het mogelijk om voor de opvulling af te wijken van de waarden voor vrij gebruik van bijlage V van het VLAREBO. De afwijking is beperkt tot de bodemsaneringsnorm III en tot 80% van de bodemsaneringsnorm van het bestemmingstype van de groeve/graverij.

De bouwheer moet door middel van een studie, uitgevoerd door een bodemsaneringsdeskundige volgens een code van goede praktijk, het bewijs leveren dat het gebruik van de uitgegraven bodem als bodem geen verontreiniging van het grondwater kan veroorzaken en dat mogelijke blootstelling aan de verontreinigde stoffen geen extra risico oplevert.

Deze studie betreft het opvullen van groeves met niet-verontreinigde uitgegraven bodem en niet-verontreinigde bagger- en ruimingsspecie die voldoet aan de voorwaarden voor gebruik van uitgegraven bodem als bodem.

De bepalingen van het VLAREBO voor de opvulling van groeven gelden voor uitgegraven bodem, en voor bagger- en ruimingsspecie. De sectorale voorwaarden voor opvulling, beschreven in hoofdstuk 5.60 van VLAREM II, verwijzen hierbij uitdrukkelijk naar steekvaste bagger- en ruimingsspecie.

De bepalingen van het VLAREBO voor de opvulling van groeven zijn dus niet van toepassing voor bijvoorbeeld:

- afval of uitgegraven bodem vermengd met afval (puin, andere bodemvreemde materialen);
- uitgegraven bodem aangerijkt met parameters die niet in de natuur gewenst zijn (asbest, insecticiden, herbiciden, ...);
- uitgegraven bodem aangerijkt met één of meerdere stoffen die 80 % van de bodemsaneringsnorm van het bestemmingstype van de groeve overschrijden.

De studie kan beperkt worden tot de karakterisatie van groeve en omgeving (zonder berekening van toetsingswaarden) in volgende gevallen:

- om afwijking te vragen voor één of enkele parameters die van nature in verhoogde concentratie voorkomen in de aangesneden geologische formaties; als toetsingswaarde geldt dan van nature aanwezige concentratie (beperkt tot maximaal de bodemsaneringsnorm type III);
- indien duidelijk kan aangetoond worden, met feiten en argumenten, dat het opvullen van de groeve met uitgegraven bodem die afwijkt van de waarden voor vrij gebruik van bijlage V van het VLAREBO geen enkel risico inhoudt voor het grondwater. De afwijking is in elk geval beperkt tot de bodemsaneringsnorm III en tot 80% van de bodemsaneringsnorm van het bestemmingstype waarin de groeve/graverij gelegen is.

In alle andere gevallen worden groeve-specifieke toetsingswaarden berekend.

2 OPZET

2.1 Algemeen

Het gecontroleerd opvullen van groeves na ontginning heeft een aantal duidelijke voordelen:

- een tenminste gedeeltelijke reconstructie van een oorspronkelijk landschap;
- het verhogen van de toegankelijkheid;
- verbetering tot herstel van de natuurlijke kwetsbaarheidsklasse van het grondwater;
- het vergroten van potenties voor landgebruik.

Een studie ontvangende groeve is een instrument dat kan bijdragen tot het milieuhygiënisch verantwoord opvullen van de groeve met uitgegraven bodem of steekvaste bagger- en ruimingsspecie. Bescherming van de grondwaterkwaliteit is daarbij prioritair. Bij de opzet van de studie moet de groeve en meer bepaald de relatie of interactie van de groeve met de nabije omgeving zeer goed gekend en beschreven zijn vóór men kan nadenken over de aard van aan te voeren uitgegraven bodem.

Dit inzicht kan via verschillende wegen verworven worden, maar een degelijke geologische en hydrogeologische kennis, gestoeld op een voldoende grote set van lokale metingen is een absolute voorwaarde. Een grondige hydrogeologische karakterisatie vormt immers de basis voor het bepalen van eventuele risico's als gevolg van het opvullen van de groeve met vreemde gronden. Een hydrogeologisch conceptueel model moet toelaten gefundeerd te beslissen of het mogelijk is af te wijken van opvulling van de groeve met enkel gronden die voldoen aan de normen voor vrij gebruik als bodem.

Indien afwijking mogelijk wordt geacht kan deze ook berekend worden. Bij het bepalen van voorwaarden voor de opvulgrond zijn de karakteristieken van deze laatste niet bij voorbaat gekend en moet men rekening houden met een evidente variatie aan bodemkarakteristieken. Het risico op verspreiding kan soms ook niet middels één enkele berekening ingeschat worden. Het is aan de bodemsaneringsdeskundige om gefundeerd en groeve-specifiek een relevant rekenmodel te gebruiken om afwijkingen binnen de wettelijke grenzen te bepalen.

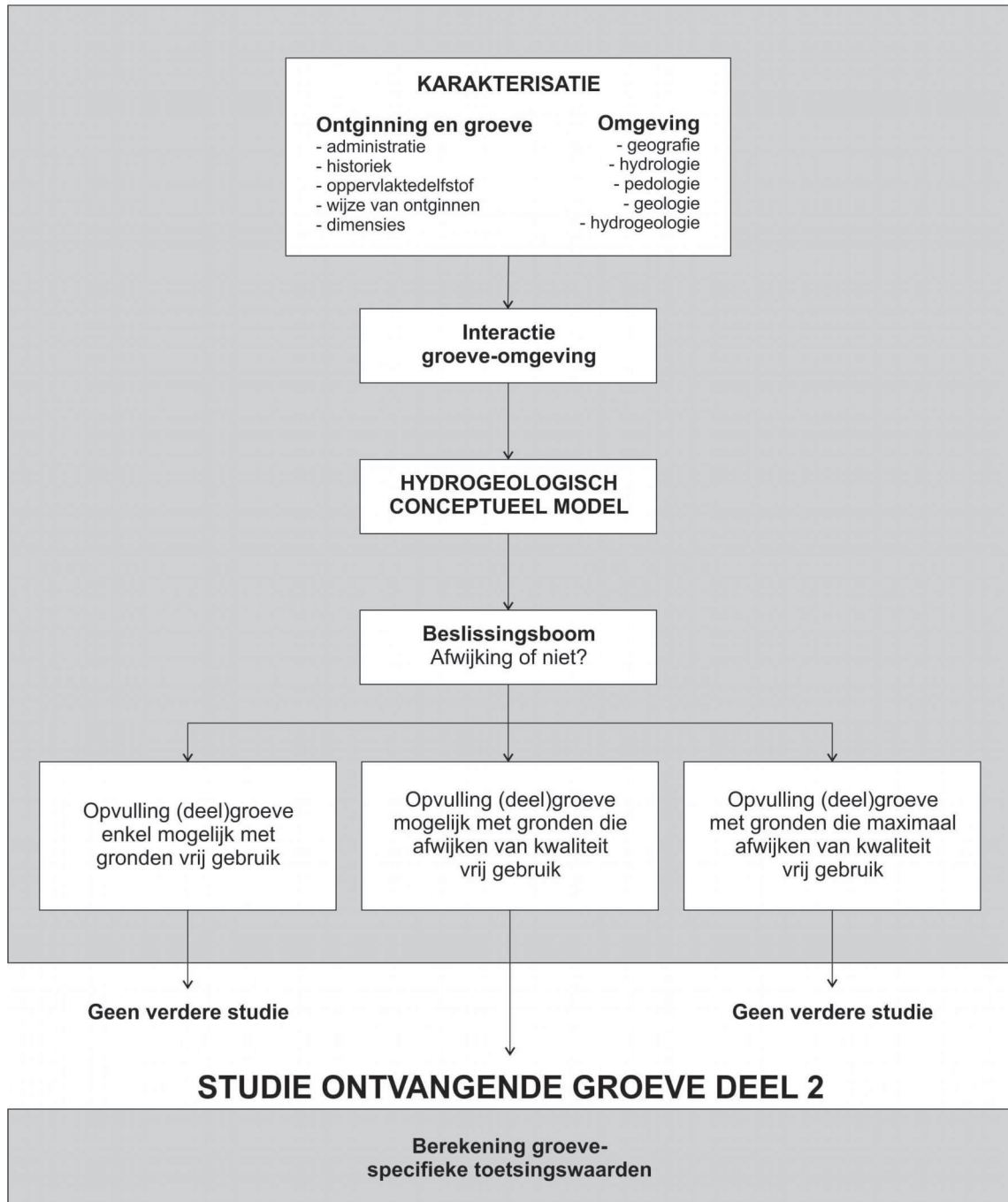
De studie van ontvangende groeve gebeurt daarom in twee stappen:

Deel 1 Karakterisatie van de groeve en van de lokale hydrogeologie; voorstelling ervan in een hydrogeologisch conceptueel model (HCM); geargumenteerde beslissing of het al dan niet mogelijk is om af te wijken van de toetsingswaarden vrij gebruik;

Deel 2 Berekening van groeve-specifieke toetsingswaarden.

De gefaseerde aanpak van de studie wordt geschetst in figuur 1.

STUDIE ONTVANGENDE GROEVE DEEL 1



Figuur 1 Gefaseerde aanpak studie ontvangende groeve

2.2 Deel 1 – Hydrogeologisch conceptueel model als basis voor eventuele afwijkingen

De kern van de studie (en van het rapport) is de voorstelling van een hydrogeologisch conceptueel model (HCM) waaruit duidelijk blijkt dat de interactie groeve / grondwater op basis van de verzamelde data goed is gekend en begrepen. Dit model vormt de basis voor de beslissing of men al dan niet kan afwijken van een opvulling van de groeve met uitgegraven bodem die voldoen aan de normen voor vrij gebruik als bodem.

Voorafgaandelijk aan de studie is het goed om het werkdomein duidelijk af te bakenen (wetgevend kader), om de groeves in Vlaanderen kort te situeren volgens de beschikbare oppervlaktedelfstoffen en de wijze van ontginning, en om een aantal begrippen te definiëren.

Hoofdstuk 3 bundelt de meest relevante begrippen en definities.

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de minimale inzichten en gegevens die nodig zijn voor een goede beschrijving van de groeve, een grondige karakterisatie van de lokale geologie en hydrogeologie en begrip van de interactie tussen beide. Er wordt – niet limitatief – gesuggereerd hoe deze data kunnen verzameld worden en aan welke criteria deze moeten voldoen.

Hoofdstuk 5 omvat richtlijnen in verband met de verwerking en voorstelling van het HCM, de procedure tot besluitvorming en het belang van fundering van dit besluit.

De voorstelling van het HCM en het gefundeerde besluit vormen het sluitstuk van een eerste deel van de studie ontvangende groeve. Tegelijk is duidelijk of een tweede deel al dan niet relevant is:

- indien het risico voor grondwaterverontreiniging bij opvullen van de huidige groeve te groot is, kan niet afgeweken worden van de waarden voor vrij gebruik van uitgegraven bodem en is het niet nodig om toetsingswaarden te berekenen.
- Omgekeerd, indien duidelijk is dat er geen enkel risico te verwachten is voor de kwaliteit van het lokale grondwater, ongeacht de concentraties in de aan te voeren bodem, kan zonder verdere berekening van toetsingswaarden maximaal afgeweken worden binnen het wettelijk kader.
- In alle andere gevallen vormt het HCM de basis voor de berekening van groeve-specifieke toetsingswaarden.

Indien na een initiële aanvulling met uitgegraven bodem die voldoen aan de voorwaarden voor vrij gebruik als bodem en met structuurkenmerken die overeenkomen met deze van de groeve of leiden naar een hogere beschermingsgraad (kleinere korrelgrootte, hoger klei- en/of organisch stofgehalte) wel afwijkingen mogelijk zijn, kan een aangepast, toekomstig HCM voorgesteld worden als basis voor verdere uitwerking.

2.3 Deel 2 – Groeve-specifieke toetsingswaarden

In een tweede deel vormt het huidige of een toekomstig HCM de basis voor de keuze van een rekenmodel om groeve-specifieke toetsingswaarden te bepalen.

Hoofdstuk 6 geeft een selectie van modellen voor bepaling van toetsingswaarden en risico-evaluatie, de mogelijkheden ervan en de beperkingen. Opvulling van groeven en graverijen zijn grootschalige projecten. Het is dan ook belangrijk om in de mate van het mogelijke site-specifiek te werken. Indien de deskundige opteert om conservatief te werken, dan zullen de aannames resulteren in een worstcase evaluatie. Bij niet conservatieve aannames dienen een groot aantal gegevens gekend te zijn. Deze gegevens worden verzameld op basis van metingen of uit relevante literatuur of ervaring.

Hoofdstuk 7 voorziet in enkele richtlijnen voor het uitvoeren van de modelstudie, gaande van de selectie van grondwatercriteria (normenkader) tot keuzes die gemaakt worden en relevante aandachtspunten.

2.4 Rapportage

Hoofdstuk 8 geeft enkele richtlijnen voor rapportering, minimaal vereiste inhoud, ... evenals richtlijnen voor de vergunningsaanvraag en het evalueren van de resultaten van de studie met het oog op het bekomen van een vergunning.

3 BEGRIPPEN EN DEFINITIES

3.1 Wetgeving

Groeven en graverijen zijn opgenomen in de lijst van als hinderlijk te beschouwen inrichtingen (**VLAREM I, Bijlage 1, rubriek 18**).

Het geheel of gedeeltelijk opvullen met niet-verontreinigde uitgegraven bodem en niet verontreinigde bagger- en ruimingspecie van groeves, graverijen, uitgravingen en andere putten, met inbegrip van waterplassen en vijvers is eveneens opgenomen in de lijst van als hinderlijk te beschouwen inrichtingen (**VLAREM I, Bijlage 1, rubriek 60**).

Voor beide inrichtingen gelden sectorale milieuvoorwaarden (**VLAREM II, hoofdstukken 5.18 en 5.60**).

De specificaties voor het opvullen van groeves en graverijen zijn opgenomen in het **VLAREBO**.

Nota: In wat volgt wordt de term '**groeve**' gebruikt voor de volledige lijst met holtes waarvoor de bovenstaande wetgeving van toepassing is: groeves, graverijen, uitgravingen en andere putten met inbegrip van waterplassen en vijvers.

3.2 Groeve: ontginning en opvulling

3.2.1 Oppervlakedelfstoffen

De belangrijkste delfstoffen die in Vlaanderen dicht bij de oppervlakte voorkomen zijn losse sedimenten: klei, leem, zand en grind. Daarnaast zijn er nog ontginningen van zandsteen en van mergel maar ze zijn in Vlaanderen eerder klein en ze vormen een minderheid.

Klei

Klei bestaat vooral uit fijnkristallijne kleimineralen en bevat in mindere mate grovere mineralen als kwarts, veldspaat en mica. Fysisch bestaat klei vooral uit deeltjes die kleiner zijn dan 2 µm. Al naargelang het aandeel van klei, silt en zand in de klei kan men een onderscheid maken tussen lichte en zware klei, tussen silthoudende of zandhoudende klei, enz.

Klei bezit een grote graad van plasticiteit (mate waarin men de klei in een gewenste vorm kan kneden of persen), afhankelijk van de aanwezige kleimineralen en van de hoeveelheid water. Algemeen heeft klei een grote capaciteit om water vast te houden en kationen te adsorberen. Anderzijds is klei eerder slecht doorlatend voor water.

Volgens eigenschappen en gebruik kan men volgende types onderscheiden:

- bruine klei: verweerde klei met een laag zwavelgehalte en typische rode bakkleur;
- blauwe klei: afgezet in een reducerend milieu, rijk aan pyriet en sulfaten;
- vette klei: zonder zand of met een laag zandgehalte;
- magere klei: klei met al dan niet frequent voorkomende zandintercalaties.

Klei kan voorkomen in dikke continue lagen, in lagen afgewisseld met zand of als lenzen tussen zand of grind. Volgens het voorkomen kent men in Vlaanderen:

- Polderklei in de kustvlakte;
- Ieperse klei (Kortemarksilt en Moenklei) in West-Vlaanderen;
- Dakpannen- en baksteenklei in het Kortrijkse;
- Boomse klei in het Waasland;
- Boomse klei in de Rupelstreek;
- Klei van de Kempen;
- Alluviale klei (Schelde en Maas).

Leem (silt)

Leem wordt gekenmerkt door een hoofdaandeel van korrels van siltgrootte (tussen 2 en 63 μm) maar ook nog een belangrijke kleifractie (korrels $<2 \mu\text{m}$ en kleimineralen) waardoor dit sediment qua eigenschappen voor een stuk vergelijkbaar is met klei (capaciteit om water vast te houden, minder goede doorlatendheid voor water, CEC). Eolische leem resulteert in redelijk dikke en homogene afzettingen, herwerkte alluviale leem kan ook voorkomen in dikkere lagen maar is minder homogeen.

Leem vormt, net zoals klei omwille van de plastische eigenschappen, een belangrijke keramische grondstof, waarbij men een verschil maakt tussen:

- roodbakkende leem: door verwerking ontkalkte bovenste leemlaag;
- geelbakkende leem: onderliggende leemlaag met een kalkgehalte groter dan 5%.

Volgens voorkomen onderscheidt men in Vlaanderen:

- leem ten westen van Brussel;
- leem in Limburg en in het oostelijke deel van Vlaams-Brabant.

Leem is van nature kalkhoudend en heeft daardoor een hogere pH. Waar leem aan de oppervlakte voorkomt kan deze geheel of gedeeltelijk ontkalkt zijn. In regio's waar de leem voorkomt op mergel- of krijtafzettingen, kan de pH beduidend hoger zijn (>9),

Zand

Zand bestaat voor het grootste deel uit korrels tussen 63 μm en 2 mm. Mineralogisch bevat het vooral kwarts, en in mindere mate veldspaat en mica. In verband met later gebruik zijn minder gewenste mineralen: calcië en glauconiet, verder organisch materiaal, schelpen, klei en ijzer- en/of mangaanoxiden. De effectieve korrelgrootte, de verdeling van deze korrels (homogeen, heterogeen), de mate van afronding en eventuele bijmenging met klei, silt of organisch materiaal, bepalen de waterdoorlatendheid van zand, die over het algemeen beter is dan leem maar minder goed dan grind. De combinatie van korrelgrootte en mineralogie maakt dat zand kan gebruikt worden als:

- vulzand (aanvul- en ophoogtoepassingen);
- bouwzand (drainage, stabilisatie, metselzand, betontoepassingen);
- kwarts- of glaszand (optische en keramische industrie, abrasieve toepassingen, hittebestendige materialen).

Volgens voorkomen vindt men in Vlaanderen:

- zanden van de kustvlakte;
- kwartzand in Antwerpen en Limburg;
- zanden in Midden- en Zuid-Limburg, eventueel gekoppeld aan grindwinning;
- beton- en metselzanden in Noord-Limburg;
- verspreide lokale zandwinningen in Antwerpen;
- tertiair zand in Vlaams-Brabant, Oost-Vlaanderen en centraal West-Vlaanderen;

- ontginningen in de Vlaamse vallei, Schelde- en Leievallei.

Grind

Wetenschappelijk wordt grind gedefinieerd als een korrelgrootte fractie met een diameter groter dan 2 mm. Het Grinddecreet (1993) legt deze grens op 4 mm. Grind komt in Vlaanderen voor in het Maasbekken en in mindere mate in het Scheldebekken. Enkel in het Maasbekken zijn momenteel nog actieve ontginningen waarbij men een onderscheid maakt tussen:

- valleigrind, arm aan leem en klei en grotendeels onder grondwaterniveau, overwegend grijs van kleur;
- berggrind (of bosgrind), rijk aan klei en leem en roodbruin gekleurd door ijzeroxiden, meestal boven grondwaterniveau.

Het valleigrind komt voor in de Maasvallei, het berggrind wordt ontgonnen bovenop het Kempisch Plateau. Algemeen is grind zeer goed doorlatend voor water; het Maasgrind vormt een belangrijke afzetting voor de (drink)watervoorziening in Vlaanderen.

3.2.2 Ontginning

De oppervlaktedelfstoffen in Vlaanderen zijn vooral losse sedimenten die eenvoudig kunnen gewonnen worden. Het voorkomen boven of onder grondwater bepaalt of men kan afgraven (ontginning in den droge) dan wel moet zuigen of baggeren (natte winning).

In de praktijk worden klei en leem altijd droog ontgonnen. In functie van latere opvulling van de groeve is het dan belangrijk na te gaan waar de grondwatertafel zich bevindt ten opzichte van de groevebodem en/of de klei- of leemlaag over de volledige dikte is verwijderd.

Zand en grind kunnen zowel nat als droog ontgonnen worden. Soms wordt de grondwatertafel verlaagd via een bronbemaling of drainage, ook dit is belangrijke informatie in verband met de latere opvulling van de groeve.

3.2.3 Hydrogeologische karakterisatie / conceptueel model

Een grondige geologische en hydrogeologische kennis en karakterisatie, niet alleen van de groeve en van de omgeving afzonderlijk, maar ook van de relatie / interactie tussen beide, vormt de basis voor het bepalen van eventuele risico's als gevolg van het opvullen van de groeve met vreemde gronden.

De essentie van deze inzichten wordt vertaald in een conceptueel model dat afhankelijk van de situatie op meerdere manieren kan voorgesteld worden (tekstuele beschrijving, plan/doorsnede, schema, tabel, ...). Het conceptueel model moet zodanig duidelijk en transparant zijn dat de beslissing of al dan niet kan afgeweken worden van opvulling met gronden vrij gebruik logisch wordt voor alle betrokken partijen (e.g. eigenaar/uitbater van de groeve, adviserende en vergunningsverlenende instanties, milieuspectie, ...).

3.2.4 Complexiteit

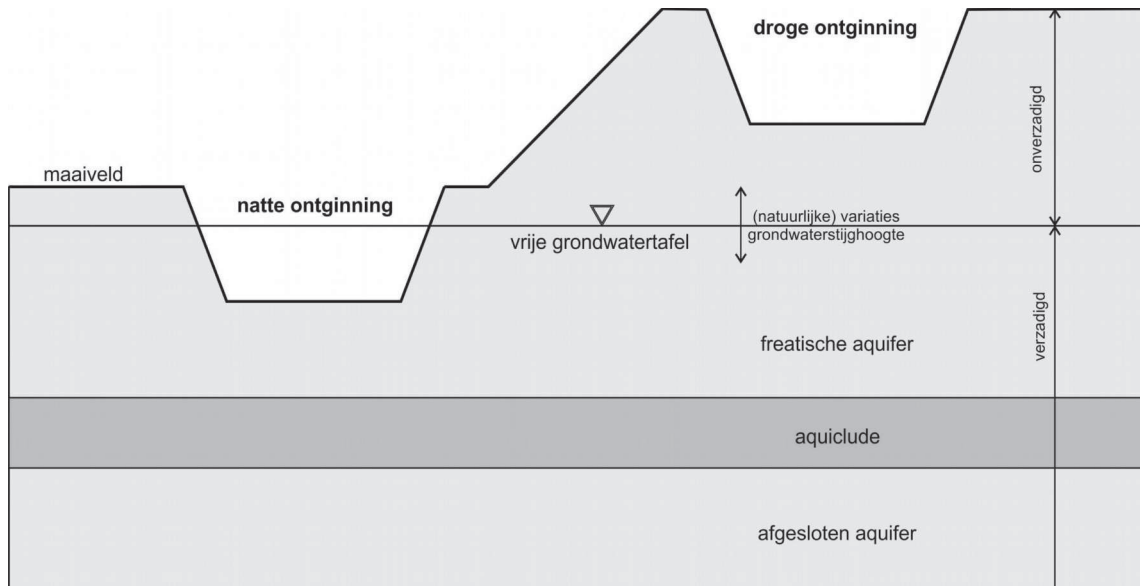
De term complexiteit wordt in de studie van ontvangende groeve indicatief gebruikt naargelang een conceptueel inzicht in de situatie van de groeve ten opzichte van de omgeving en vooral het grondwater ofwel eenvoudig en duidelijk is dan wel complex. In het laatste geval kan extra studiewerk nodig zijn om hiaten in kennis aan te vullen en om de interactie tussen groeve en grondwater beter te begrijpen.

Elementen die meespelen bij de graad van complexiteit zijn bijvoorbeeld: de lokale geologie en hydrogeologie, de aanwezigheid van andere ontginningen, de voorgeschiedenis van de ontginning, een eventuele bestaande gedeeltelijke opvulling, enz.

3.2.5 Ontvangende groeve

Naast de hydrogeologische interactie tussen groeve en grondwater, is de fysische en chemische karakterisatie van de wanden en bodem van de groeve belangrijk:

- porositeit, doorlatendheid, heterogeniteiten, eventuele spleten of breuken, enz. bepalen of en hoe contact tussen autochtone sedimenten / lokale grondwater en de aanvulgrond kan plaatsvinden;
- indien van toepassing is de (minimum) dikte van de onverzadigde zone onder de groeve een belangrijke afschermende factor tussen opvulgrond en grondwater;
- eigenschappen als kleigehalte, organisch stofgehalte, zuurtegraad enz. kunnen potentiële verspreiding van stoffen in de opvulgronden naar het grondwater vertragen of versnellen, bijvoorbeeld via uitloging, verdunning, sorptie, dispersie, diffusie en eventuele afbraak of vervluchtiging;
- stabiliteitsproblemen in de groeve.



Figuur 2 Interactie ontvangende groeve met het grondwater

3.2.6 Opvulling

Los van de fysische en chemische eigenschappen van de grond die zal gebruikt worden voor opvulling, is het relevant na te gaan of deze geheel dan wel gedeeltelijk gebeurt in de verzadigde zone (onder grondwaterpeil). Naast een statisch grondwaterpeil is het belangrijk een goed beeld te hebben van het dynamisch peil, bijvoorbeeld als gevolg van seizoenale schommelingen en variaties over meerdere jaren, effecten van nabijgelegen waterwinningen.

Meestal zijn de aangebrachte gronden deze die niet efficiënt kunnen ingezet worden voor bouwkundig bodemgebruik, waardoor ze eerder fijnkorreliger en lemig/kleig zijn dan de ontvangende groeve. Wanneer dit niet het geval is, bijvoorbeeld indien de opvulling gebeurt in massieve klei, kan het belangrijk zijn om de impact i.v.m. eventuele afwatering of ontwateringsproblemen te bekijken.

3.3 Kwetsbaarheid van het grondwater

Grondwater is van nature in zekere mate beschermd tegen vervuiling omdat de afzetting waarin het zich bevindt en de eventuele bovenliggende lagen fungeren als een filter voor insijpelend water met een andere samenstelling. Anderzijds bestaat er altijd een risico op verontreiniging. Factoren als dikte van de onverzadigde zone, de aard en dikte van eventuele deklagen, en de aard van het watervoerend gesteente zijn indicatief voor de mate van kwetsbaarheid van het grondwater voor eventuele verontreiniging.

Dat het grondwater economisch ontginbaar is¹ of niet, of dat het al dan niet geschikt is voor gebruik als drinkwater, is belangrijk maar ondergeschikt aan het feit dat het grondwater nodig is voor milieu en natuur in het algemeen en dat de goede kwaliteit ervan moet nagestreefd worden.

Het bovenste gedeelte van de ondergrond van Vlaanderen bestaat voor het grootste gedeelte uit gelaagde losse gesteenten (klei, leem, zand, grind, zie eerder). De ontginning ervan via groeves of graverijen betekent bijna altijd een verdunning of verstoring van eventuele beschermende deklagen en van de onverzadigde zone waardoor de kwetsbaarheid toeneemt.

Omgekeerd betekent het opvullen van groeves in de meeste gevallen minstens een verbetering, eventueel zelfs herstel van de oorspronkelijke kwetsbaarheidsgraad en soms een verbetering van de natuurlijke kwetsbaarheid.

Het gebruik van de grondwaterkwetsbaarheidskaarten (schaal 1:100.000) voor de opmaak van deze studie is beperkt. Deze kaarten geven randinformatie en actuele/gemeten gegevens op perceelsniveau zijn ter hoogte van de groeve nodig.

3.4 Bescherming van het grondwater

3.4.1 Aquifer

3.4.1.1 Verzadigd – onverzadigd

Volgens het voorkomen ten opzichte van de grondwatertafel onderscheidt men twee niveaus:

Onverzadigde zone

- bevindt zich boven de watertafel;
- de poriën zijn slechts gedeeltelijk gevuld met water;
- het vochtgehalte is er kleiner dan de porositeit;
- de drukhoogte (*pressure head*) is er kleiner dan de atmosferische druk; de waterspanning of waterdruk (*water pressure*) wordt gemeten door middel van een tensiometer;
- de doorlatendheid is functie van het vochtgehalte.

Verzadigde zone

- bevindt zich onder de watertafel;
- de poriën zijn volledig gevuld met water;
- het vochtgehalte is er gelijk aan de porositeit;
- de waterdruk is er hoger dan de atmosferische druk (of eraan gelijk ter hoogte van de watertafel);
- de drukpotentiaal of stijghoogte (*hydraulic head*) wordt gemeten door middel van een piëzometer of druksonde;
- de doorlatendheid is constant (voor homogeen materiaal).

De dikte van de onverzadigde zone wordt gemeten door de freatisch grondwaterpeil in te meten ten opzichte van het maaiveld. De dikte varieert met de natuurlijke grondwaterschommelingen.

¹ Bij de kwetsbaarheidskaarten gedefinieerd als een capaciteit van minstens 4m³/u.

3.4.1.2 Freatisch – artesisch

Afhankelijk van de situatie van de watervoerende laag (**aquifer**) ten opzichte van andere watervoerende lagen of van waterafsluitende lagen (**aquiclude**), onderscheidt men:

Vrije of freatische watervoerende laag (*unconfined aquifer*)

- bovenaan niet afgesloten;
- hydrostatische druk ter hoogte van de watertafel is gelijk aan de atmosferische druk;
- over het algemeen kwetsbaar.

Afgesloten watervoerende laag (*confined aquifer*)

- bovenaan afgesloten door een ondoorlatende laag (vb. klei of leem indien voldoende dik en homogeen);
- de hydrostatische druk is meestal hoger dan de atmosferische druk als gevolg van een natuurlijke aanvulling vanuit hoger gelegen (freatische) voedingsgebieden;
- over het algemeen minder kwetsbaar (als gevolg van beschermende ondoorlatende laag);
- een afgesloten watervoerende laag noemt men **gespannen** indien de stijghoogte van het grondwater hoger is dan het dak van de laag en **artesisch** indien de stijghoogte hoger is dan het maaiveld.

Gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag (*semi-unconfined, semi-confined*)

- langs boven bedekt met een minder of slecht doorlatende laag (**aquitard**);
- de freatische watertafel bevindt zich ter hoogte van de aquitard of hoger;
- de stijghoogte van het grondwater is hoger dan het dak van de watervoerende laag;
- de relatieve positie van de freatische grondwatertafel t.o.v. de stijghoogte in de gedeeltelijk afgesloten waterlaag is bepalend voor de kwetsbaarheid ervan (onder- of overdruk bepaalt in welke richting het grondwater zich verplaatst).

De meeste groeves in Vlaanderen bevinden zich in een freatische aquifer, maar de situering ten opzichte van (diepere) semi-freatische, semi-artesische of artesische aquifers is mogelijk relevant in verband met het inschatten / bepalen van risico's gekoppeld aan de opvulling van de groeve. Bij klei- en leemgroeves, waarbij een aquiclude of een aquitard wordt ontgonnen, is de dikte van de niet-ontgonnen restlaag cruciaal als afscherming van onderliggende waterlagen onder druk.

Nota: In een heterogene ondergrond, met het voorkomen van lensvormige minder goed doorlatende lagen (vb. klei of veen in alluviale afzettingen) kan **hangwater** voorkomen dat niet in relatie staat met het echte grondwater, maar dat wel een rol kan spelen bij de ontginning / opvulling van de groeve.

3.4.2 Voorkomen en stroming van het grondwater

3.4.2.1 Grondwatertafel, stijghoogte en gradiënt.

De **grondwatertafel** (grondwaterspiegel) is het vlak dat in een vrije of freatische waterlaag de grens vormt tussen de onverzadigde en de verzadigde zone. Bij artesisch grondwater spreekt men van een piëzometrisch oppervlak.

De **stijghoogte** (h) is de hoogte tot waar het grondwater opstijgt in een peilbuis die zowel in open verbinding staat met de atmosfeer als met het grondwater in een watervoerend pakket. De hoogte wordt opgemeten ten opzichte van een referentievlak, bijvoorbeeld het vastgelegde gemiddelde laagwaterpeil in Oostende (m TAW).

De stijghoogte kan ook als volgt uitgedrukt worden:

$$h = z + \omega \quad (1)$$

met:

h stijghoogte (hydraulisch potentiaal, in m)
z plaatshoogte (m)
 ω hydrostatische druk (m)

De hydrostatische druk wordt bepaald door:

$$\omega = p / \rho * g \quad (2)$$

met:

ω hydrostatische druk (m)
p vloeistofdruk (N/m²)
g graviteitsconstante (m/s²)
 ρ specifiek volumegewicht (kg/m³)

De grondwatertafel wordt op kaart voorgesteld via lijnen van gelijke stijghoogte of druk (respectievelijk isohypsen of isopiëzen). Basis voor deze **piëzometrische kaarten** zijn metingen van de relatieve grondwaterpeilen (t.o.v. een referentiepunt op de peilbuis) en berekening van de absolute stijghoogte.

De **hydraulische gradiënt** (i) is de verhouding van een verschil in stijghoogte (Δh) over een afstand (Δs), gemeten loodrecht op de isohypsen / isopiëzen. Het is een maat voor de steilte van het piëzometrisch verhang. De gradiënt wordt gewoonlijk uitgedrukt als een breuk met als referentie de daling van 1m (vb. 1/400) maar kan ook decimaal uitgedrukt worden (vb. 0,0025).

$$i = \Delta h / \Delta s \quad (3)$$

met:

i hydraulische gradiënt
 Δh verschil in stijghoogte (m)
 Δs verschil in afstand (m)

3.4.2.2 Porositeit

De porositeit (n) van de watervoerende laag is de verhouding van het vrije volume (openingen of poriën) tot het totale volume:

$$n = V_{\text{por}} / V \quad (4)$$

met:

n porositeit
 V_{por} poriënvolume
V totaal volume monster.

De porositeit wordt uitgedrukt door een dimensieloos getal (tussen 0 en 1) maar kan ook uitgedrukt worden als een percentage.

Totale en effectieve porositeit

De **totale porositeit** (n) is deze zoals berekend door middel van bovenstaande verhouding tussen poriën- en totaalvolume;

De **effectieve porositeit** (n_e) betreft enkel de poriën waardoor grondwater kan stromen.

Er kan een relatie bestaan tussen porositeit en doorlatendheid van een watervoerende laag, maar deze gaat niet altijd op waardoor effectieve porositeit belangrijk wordt. Klei bezit bijvoorbeeld een totale porositeit tot meer dan 50% (omwille van de open ruimte tussen plaatvormige kleimineralen), maar de effectieve porositeit van klei is veel kleiner (vb. 1 à 3%) omwille van de kleine korrelgrootte. Sortering van de korrels is ook belangrijk: een goed gesorteerd zand heeft een grotere porositeit dan een slecht gesorteerd zand (omdat de kleine korrels de poriën kunnen opvullen).

Tabel 1 Porositeit en effectieve porositeit van enkele losse sedimenten (naar: Morris & Johnson, 1967 en VMM, 2006)

Sediment	Porositeit	Effectieve porositeit
Klei	0,34 - 0,57	<0,03
Silt, leem	0,34 - 0,61	0,03 - 0,20
Fijn zand	0,26 - 0,53	
Medium zand	0,29 - 0,49	0,10 - 0,35
Grof zand	0,31 - 0,46	
Fijn grind	0,25 - 0,39	
Medium grind	0,24 - 0,44	0,20 - 0,30
Grof grind	0,24 - 0,37	

Primaire en secundaire porositeit

De **primaire porositeit** is deze die ontstaat tijdens de afzetting (sedimenten) of vorming van gesteenten (stollingsgesteenten).

Een vast gesteente kan ook een **secundaire porositeit** hebben als gevolg van processen na afzetting of gesteentevorming, fysisch (breuken, diaklazen,...) of chemisch (bv. oplossen van kalksteen). De secundaire porositeit overklast meestal de primaire porositeit. De grondwaterbeweging wordt in deze gevallen sterk beïnvloed door de secundaire porositeit.

3.4.2.3 Permeabiliteit, hydraulische geleidbaarheid (k) en doorlaatvermogen (kD)

De **doorlatendheid of permeabiliteit** (*permeability*) is het vermogen van grond om water (of gas) door te laten.

De **doorlatendheidscoëfficiënt of hydraulische geleidbaarheid** (*hydraulic conductivity*) (k) is een maat voor het vermogen van grond om water (of gas) door te laten, bepaald als de hoeveelheid water die per tijdseenheid en bij een bepaalde temperatuur door een eenheidsoppervlak stroomt en dit onder impuls van een hydraulische eenheidsgradiënt.

$$k = - Q / S * i \quad (5)$$

met:

- k hydraulische geleidbaarheid (m/d)
- Q volumestroom, hoeveelheid water die per tijdseenheid door een bepaalde oppervlakte stroomt (m³/d)
- S eenheidsoppervlakte (1 m²)
- i hydraulische eenheidsgradiënt (1/1)

De doorlatendheid is o.m. afhankelijk van:

- de gemiddelde korrelgrootte van het sediment waarin het grondwater zich bevindt;
- de hoeveelheid fijne deeltjes die in het materiaal aanwezig zijn (klei en silt);
- de homogeniteit van het bodemmateriaal;
- de graad van cementatie;
- primaire en secundaire porositeit;
- de vorm van de korrels (hoekig of rond), enz.

Algemeen kan gesteld worden dat hoe groter de korreldiameter en hoe beter de sortering van de korrels, des te groter de doorlatendheid is. Als gevolg hiervan verschilt de doorlatendheid volgens locatie (soms ook diepte) en kunnen er binnen één watervoerend pakket verschillende watervoerende lagen zijn die gekenmerkt worden door een verschillende doorlatendheid. Deze wordt deze dus best lokaal bepaald (vb. via pompproeven).

Tabel 2 Grootte orde van doorlatendheid voor een aantal losse sedimentgesteenten (naar: Bear, J., 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media, Dover)

Losse sedimenten	k (m/d)
Klei	< 10 ⁻⁵
Zandige klei, leem	1 10 ⁻³ tot 1 10 ⁻⁵
Gelaagde klei	1 10 ⁻³ tot 0,1
Zeer fijn zand, silt, leem	1 10 ⁻³ tot 1
Fijn zand, veen	1 tot 10
Grof zand, goed gesorteerd zand, zand en grind	10 tot 100
Grof zand met grind	50 tot 200
Grind	> 200
Goed gesorteerd grind	> 1000

Het **doorlaatvermogen of transmissiviteit** (transmissivity) (kD of T, in m²/d) is een maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten. De transmissiviteit wordt gedefinieerd als de volumestroom (hoeveelheid water per tijdseenheid) die per breedte-eenheid van het watervoerend pakket (1m) en per eenheid van stijghoogtegradiënt (1/1) door een watervoerende laag stroomt. Deze parameter is recht evenredig met de doorlaatbaarheid (k) en met de dikte van de watervoerende laag (D).

3.4.2.4 Grondwaterbeweging (Wet van Darcy)

De snelheid van grondwater in de verzadigde zone van de bodem hangt af van de doorlatendheid van het gesteente en van de hydraulische gradiënt. De wet van Darcy beschrijft deze beweging als volgt:

$$q = - k i \quad (6)$$

met:

- q eenheidsdebiet of filtersnelheid (dikwijls ook als flux; $\text{m}^3/\text{d}/\text{m}^2 = \text{m}/\text{d}$)
- k hydraulische geleidbaarheid (m/d)
- i hydraulische gradiënt

Algemeen beweegt het grondwater zich steeds van hoge naar lage druk.

3.4.2.5 Grondwaterstromingssnelheid

Uit de flux en de porositeit wordt de grondwatersnelheid als volgt berekend:

$$v = q / n \quad (7)$$

met:

- v stromingssnelheid (m/d)
- q eenheidsdebiet, filtersnelheid of flux (m/d)
- n porositeit

Via de Wet van Darcy kan de stromingssnelheid ook als volgt afgeleid worden:

$$v = Q / (A * n_e) = (k * i) / n_e \quad (8)$$

met:

- Q doorstroomdebiet (m^3/d)
- A te doorstromen oppervlakte (m^2)
- n_e effectieve porositeit
- k hydraulische geleidbaarheid (m/d)
- i hydraulische gradiënt

De flux en de snelheid zijn vectoren en dus gekenmerkt door een grootte en een richting. De grootte wordt berekend via bovenstaande vergelijkingen (7) of (8); de richting is loodrecht op isohypsen / isopiëzen die bepaald worden op basis van stijghoogtemetingen (zie § 4.2.3.3), steeds van hoge naar lage druk. Het pad dat waterdeeltjes hierbij volgen wordt aangeduid als **stroombaan**.

De snelheid komt overeen met de werkelijke snelheid waarmee het grondwater zich verplaatst in de bestudeerde waterlaag. Deze is verschillend van de filtersnelheid q.

Ook de stromingssnelheid is geen constante en kan veranderen in de tijd.

3.4.2.6 Interactie grondwater met andere elementen

De grondwaterstroming (richting, snelheid) wordt algemeen gestuurd door de zwaartekracht en komt neer op een beweging van hoge naar lage stijghoogte. Het grondwater stroomt ook van zones waar het gevoed wordt naar zones waar het wordt onttrokken. Bij freatisch grondwater betekent dit stroming van de hoogste gebieden van het reliëf, waar grondwater kan infiltreren, naar de valleien waar beken en rivieren in contact staan met grondwater en hierdoor gevoed worden (naast regen). Wanneer men grondwater oppompt, zal de stroming binnen een zekere straal rond de put, hier naar toe gericht zijn en is er geen verband meer met de topografie.

Indien de grondwatertafel wordt aangesneden door een groeve (natte ontginning) heeft deze groeve een impact op de lokale grondwaterstroming omdat het wateroppervlak in de groeve zich horizontaal zal zetten. Stroomopwaarts krijgt men daardoor een steilere gradiënt van het grondwater met een stroming naar de groeve toe en stroombanen die convergeren in deze

richting. Lokaal is er een verlaging van het grondwaterpeil. Stroomafwaarts divergeren de stroombanen en ontstaat er een zone waar het grondwater relatief hoger staat. Dit effect is des te groter naarmate de lengte van de groeve in de grondwaterstromingsrichting groter is.

Een droge ontginning die enkel mogelijk is via het wegpompen van grondwater leidt bij stopzetten van de exploitatie vermoedelijk naar een natte groeve. Voor de impact van de opvulling van de groeve moet rekening gehouden worden met deze natuurlijke evenwichtssituatie.

Grondwateronttrekkingen in de omgeving kunnen een impact hebben op de lokale grondwaterstroming (freatisch en/of gespannen). De grootte van deze impact en het al dan niet tijdelijk karakter ervan (toekomst) is relevante informatie om mee te nemen bij het bepalen van risico's bij opvulling van de groeve.

3.5 Stoffen en stofgroepen, geochemie

Bij het opvullen van de groeve wordt gebruik gemaakt van aangevoerde uitgegraven bodem waarvan de conformiteit met het beoogde gebruik nagegaan is. Als dat relevant is, wordt de aangevoerde uitgegraven bodem daartoe op een representatieve wijze bemonsterd en geanalyseerd. De uitgegraven bodem die wordt aangeboden bij de groeve voor opvulling zal dus gekarakteriseerd zijn volgens een minimum standaard set van parameters (standaard analysepakket = SAP), en kan, afhankelijk van de herkomst, bijkomend ook gekarakteriseerd zijn met extra parameters.

Steekvaste bagger- en ruimingsspecie mag in de inrichting slechts worden aanvaard op voorwaarde dat de oorsprong en herkomst ervan bekend zijn en de samenstelling ervan is vastgelegd.

3.5.1 Standaard analyse pakketten en structuurparameters

Als basis van analyses wordt het standaard analysepakket (SAP) uitgevoerd. Het SAP omvat de volgende stofgroepen:

- zware metalen en metalloïden (8)²;
- minerale olie;
- polycyclische aromatische koolwaterstoffen (16 PAK)³;

en structuurparameters nodig om de bodemsaneringsnormen te herrekenen:

- organische stof;
- kleigehalte;
- pH-KCl.

Bij niet gekende herkomst (reeds eerder afgegraven) worden bijkomend op een deel van de stalen volgende parameters bepaald:

- cyanides (niet-chlooroxideerbaar en vrij);
- PCB's (polychloorbifenylyl).

3.5.2 Verdachte stoffen

In functie van de herkomst van de uitgegraven bodem dienen alle verdachte stoffen bepaald te worden. De meest voorkomende zijn:

2 Arseen, cadmium, chroom, koper, kwik, lood, nikkel, zink.

3 PAK: Acenafteen, Acenafteleen, Anthraceen, Benzo(a)anthraceen, Benzo(a)pyreen, Chryseen, Dibenzo(a,h)anthraceen, Fenantreen, Fluorantheen, Fluoreen, Benzo(g,h,i)peryleen, Indeno(1,2,3-cd)pyreen, Naftaleen, Pyreen

- overige (zware) metalen (vb. Ba, Cr-VI, Sr, Se, U, ...);
- VOCI⁴;
- BTEXS⁵;
- Hexaan, Heptaan, Octaan (HHO);
- Methyl-tert-butylether (MTBE);
- Zouten zoals chloriden, sulfaten, nitraten, nitrieten, ...

3.5.3 Afbraakparameters

Parameters die helpen bij de natuurlijke afbraak van stoffen zijn bijvoorbeeld:

- zuurstof;
- ijzer(II);
- mangaan(IV);
- nitraat;
- sulfaat;
- sulfide;
- methaan.

3.5.4 Niet gewenste stoffen

Voorbeelden van stoffen die men niet in de natuur wenst te brengen, en dus ook niet in een groeve: asbest, insecticiden, pesticiden, PCB's, radioactieve elementen, ...

3.6 Normenkader

Standaard normen gelden voor 10% klei, 2% organisch stof en een pH-KCl = 5. Bij de opmaak van het technisch verslag worden de normen voor elk bodemstaal afzonderlijk herrekend volgens het werkelijke gehalte, echter binnen vast gelegde grenzen: 2 tot 50% klei, 1 tot 10% organisch stof en pH-KCl = 4 tot 7.

3.6.1 Vrij gebruik

De normen voor vrij gebruik als bodem zijn opgenomen in bijlage V van het VLAREBO. Ze liggen op hetzelfde niveau als de richtwaarden (Bijlage III). De waarde voor vrij gebruik van uitgegraven bodem als bodem zijn zodanig bepaald dat risico's voor het milieu uitgesloten zijn.

3.6.2 Bodemsaneringsnormen

De bodemsaneringsnormen zijn opgenomen in bijlage IV van het VLAREBO. Ze verschillen volgens het bestemmingstype van de grond. Er is geen saneringsnorm voor de pH. Dit betekent dat voor wat betreft de mogelijkheid tot afwijking van de waarde voor vrij gebruik als bodem andere criteria onderzocht moeten worden teneinde een uitspraak te kunnen doen over de mogelijkheid tot afwijking van de waarde voor vrij gebruik als bodem (zie verder).

Er zijn uiteraard nog meer parameters waarvoor geen normenkader bestaat. Voor elke niet genormeerde parameter die voorkomt in de aan te voeren uitgegraven bodem kan beslist worden tot het berekenen van een groeve-specifieke toetsingswaarden, uiteraard mét de nodige onderbouwing.

4 VOCI: Dichloormethaan, Trichloormethaan, Tetrachloormethaan, Trichlooretheen, Tetrachlooretheen, 1,1-Dichloorethaan, 1,2-Dichloorethaan, 1,1,1-Trichloorethaan, 1,1,2-Trichloorethaan, cis 1,2-Dichlooretheen, trans 1,2-Dichlooretheen.

5 BTEXS: Benzeen, Tolueen, Ethylbenzeen, o-Xyleen, m,p-Xyleen en Styreen.

3.6.3 Minerale olie

Minerale olie neemt een bijzondere plaats in als genormeerde parameter. Minerale olie is een methode bepaalde stof die alle koolwaterstoffen (KWS) omvat die extraheerbaar zijn met aceton-hexaan en een retentietijd hebben tussen C10 en C40. Minerale olie is een complex mengsel van een groot aantal verschillende individuele verbindingen waardoor men in de praktijk vaak typebenamingen gebruikt zoals benzine, diesel, lichte of zware stookolie, teer...

Minerale olie kan verder gekarakteriseerd worden op basis van fracties alifaten (vb. butaan, propaan, hexaan, octaan, dodecaan) en aromaten (BTEXS, PAK). In verband met de evaluatie van de minerale olie kan het daarom aangewezen zijn om ook de aanwezigheid van BTEX, PAK, HHO, enz. na te gaan.

De globale eigenschappen van minerale olie worden bepaald door de eigenschappen van alle individuele componenten. Praktisch zijn vooral fysische en biologische eigenschappen belangrijk: vluchtigheid, oplosbaarheid, adsorptie aan de bodem, naast toxiciteit en afbreekbaarheid. De samenstelling van olie verandert als gevolg van contact met bodem en grondwater en varieert dus ook in de tijd.

3.6.4 pH

De parameter pH is opgenomen in bijlage V van het VLAREBO. Om te voldoen aan de waarde voor vrij gebruik als bodem moet de waarde van de pH lager zijn dan 9 en hoger dan 3.

Er is geen bodemsaneringsnorm voor de pH.

De pH kan een invloed hebben op de uitloogbaarheid van metalen. Indien uitloogtesten aantonen dat voldaan is aan bijlage VII van het VLAREBO, kunnen afwijkende pH-waarden aanvaard worden in groeven. Bij concentraties aan zware metalen en metalloïden, lager dan de waarde voor vrij gebruik als bodem is geen uitloogproef vereist.

In geval de groeve geologische afzettingen ontsluit die van nature gekenmerkt worden door een pH die afwijkt van de waarde voor vrij gebruik als bodem (VLAREBO, bijlage V), dan kan deze achtergrondwaarde voor gelijkaardige uitgegraven bodem (regionaal, dezelfde of vergelijkbare geologische afzetting) gehanteerd worden zonder uitloogproef. Dit op voorwaarde dat het technisch verslag van deze uitgegraven bodemde natuurlijke herkomst ook uitdrukkelijk vermeldt en argumenteert. In alle andere gevallen kan een uitloogproef uitsluitel geven of er zich een probleem stelt in verband met de mobiliteit van de aanwezige metalen.

3.6.5 Natuurlijke aanrijking

Sommige geologische afzettingen bevatten van nature concentraties metalen of metalloïden die hoger zijn dan de waarden voor vrij gebruik van bijlage V van het VLAREBO. Sommige afzettingen tonen een zuurtegraad die afwijkt van de spreiding waarbinnen het vrij gebruik van uitgegraven bodem als bodem wordt toegelaten (zie 3.6.4.).

Bij een groeve kan het aansnijden van dergelijke afzettingengemakkelijk aangetoond worden met beschrijvingen en analyses.

De natuurlijk verhoogde concentraties zijn gekoppeld aan de karakterisatie van de groeve en worden vastgelegd in het conceptueel hydrogeologisch model. De aanvulling van de groeve met uitgegraven bodem afkomstig van deze sedimenten is mogelijk zonder bijkomende berekening van toetsingswaarden.

Bij de karakterisatie van de uitgegraven bodem in het technisch verslag wordt steeds aangegeven of gemeten verhoogde concentraties metalen/metalloïden en/of een afwijkende pH al dan niet natuurlijk zijn.

3.6.6 Bagger- en ruimingsspecie

Steekvaste bagger- en ruimingsspecie mag in de inrichting worden aanvaard op voorwaarde dat zij voldoet aan de vereiste samenstellingsvoorwaarden en dat de oorsprong en herkomst ervan bekend zijn en de samenstelling ervan is vastgelegd.

Verder wordt in rubriek 60 van de indelingslijst (VLAREM I, bijlage 1) gespecificeerd dat bagger- en ruimingsspecie kan gebruikt worden die voldoet aan de waarden van bijlage IV van het VLAREBO voor bestemmingstype III, op voorwaarde dat dit bepaald is in de milieuvergunning en dat, indien nodig, aanvullende milieubescherpende voorwaarden garanties geven met betrekking tot het isoleren, beheren en controleren.

3.7 Geochemie

Naast de hydrogeologie bepaalt de geochemie van de watervoerende la(a)g(en) de concentraties aan stoffen die een receptor kunnen bedreigen. Het betreft:

- de oorspronkelijke samenstelling van grondwater (achtergrondconcentratie);
- de karakterisatie van de aquifer: pH, organisch stof, textuur van het aquifermateriaal (vb. grind, zand, leem, klei);
- zuurstofgehalte in het grondwater;
- de redoxtoestand en de aanwezigheid van / evenwicht tussen redoxgevoelige stoffen (vb. $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$; $\text{SO}_4^{2-}/\text{S}^{2-}$; $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$; Mn^{2+}).

Deze kenmerken zijn bepalend voor de processen die zich in de grond en het grondwater afspelen.

3.7.1 Vast-vloeibaar verdelingscoëfficiënt K_d

3.7.1.1 K_d voor zware metalen en metalloïden

Een veelgebruikte geochemische parameter om verspreiding van elementen in het grondwater te berekenen, is de vast-vloeibaar verdelingscoëfficiënt (K_d) die functie is van de pH, het kleigehalte en het organische stofgehalte van het aquifermateriaal.

Het is aan de deskundige om te oordelen of voor de groeve standaard verdelingscoëfficiënten kunnen gebruikt worden en te motiveren waarom deze voldoende de realiteit weergeeft (conservatieve benadering), dan wel of het beter is om site-specifiek K_d -waarden te bepalen.

Conservatieve benadering

De relatie tussen K_d , pH en organische stof werden afgeleid voor een serie verontreinigde Vlaamse bodems, en geven eerder conservatieve K_d -waarden indien toegepast op aquifers (Smolders et al., 2000).

Tabel 4 geeft representatieve waarden voor pH, organische stof en K_d en dit voor aquifers in grind, zand, leem en klei. Voor grind-aquifers zijn de K_d -waarden voor metalen standaard gelijk gesteld aan een zeer lage waarde, aangezien in dit type aquifer nagenoeg geen klei of organische stof aanwezig is en de sorptie verwaarloosbaar.

Tabel 4 Mogelijk representatieve geochemische eigenschappen voor enkele aquifermaterialen

Parameter	Eenheid	Grind	Zand	Leem	Klei
pH	-		5,50	6,00	6,50
Organisch C	%		1	1	1
Klei	%		5	10	20
Kd As	L/kg	20	364	871	2.086
Kd Cd	L/kg	20	219	372	631
Kd Cr	L/kg	20	6.166	8.511	11.749
Kd Cu	L/kg	20	65	85	112
Kd Hg	L/kg	20	5.706	5.706	5.706
Kd Pb	L/kg	20	17.000	29.543	51.339
Kd Ni	L/kg	20	484	646	861
Kd Zn	L/kg	20	184	372	750

Site-specifieke bepaling van K_d

Indien de opvulling gepland is in een groeve in de onverzadigde zone (volledig boven de natuurlijke grondwatertafel) is het nodig om ook de sorptie-eigenschappen te bepalen van de bodemlaag tussen de bodem van de groeve (of niveau van opvulling) en het grondwater.

Voor de bepaling van de vast-water verdelingsfactor voor zware metalen, worden twee manieren vooropgesteld:

- via een schudproef;
- schatting a.h.v. de site-specifieke bodemkenmerken.

Beide methodes steunen op de studie van Smolders et al., 2000, waarin verdelingsfactoren voor zware metalen bepaald zijn voor een reeks verontreinigde bodems in Vlaanderen.

De verdelingsfactor K_d kan bepaald worden door het uitvoeren van een schudproef met 0,01 M CaCl_2 . In eerste instantie wordt de totale metaalconcentratie in de bodem bepaald. Daarnaast wordt aan 2,5 g bodemstaal 25 ml 0,01 M CaCl_2 toegevoegd en het geheel wordt overnacht geschud (*end-over-end shaking*). Vervolgens wordt de suspensie (6.000g) gecentrifugeerd (15 min) en de metaalconcentratie in het supernatans bepaald.

De K_d wordt dan berekend volgens:

$$K_d = M_{\text{tot}} / M_{\text{pw}} \quad (9)$$

met:

- K_d verdelingsfactor (l/kg)
- M_{tot} totale metaalconcentratie in bodem (mg/kg d.s.)
- M_{pw} metaalconcentratie in het poriënwater (mg/l)
- M_{Ca} metaalconcentratie in het 0,01M CaCl_2 extract (mg/l)

Tabel 5 Relatie tussen metaalconcentratie in poriënwater en in een referentie extract (0,01 M CaCl₂)

Metaal / metalloïde	Relatie tussen M_{pw} en M_{Ca}
As	$As_{pw} = 2 As_{Ca}$
Cd	$Cd_{pw} = 0,5 Cd_{Ca}$
Cr	$Cr_{pw} = 4 Cr_{Ca}$
Cu	$Cu_{pw} = Cu_{Ca}$
Hg	$Hg_{pw} = Hg_{Ca}$
Ni	$Ni_{pw} = Ni_{Ca}$
Pb	$Pb_{pw} = 0,045 + 0,08 Pb_{Ca}$
Zn	$Zn_{pw} = Zn_{Ca}$

Alternatief kan de verdelingsfactor bepaald worden op basis van bodemkenmerken. In de studie van Smolders et al., 2000 is getracht de relatie te leggen tussen de bodemkenmerken en de K_d . De resultaten van de studie worden samengevat in Tabel 6. Deze regressievergelijkingen kunnen gebruikt worden om site-specifieke verdelingsfactoren af te leiden op basis van gemeten bodemkenmerken.

Tabel 6 Overzicht van de verdelingsfactoren voor zware metalen en arseen (bron: A = Janssen et al., 1996; B = De Groot et al., 1998, C = Smolders et al., 2000)

Metaal	K_d	R^2 *	# **	Bron	Opmerking
As	$\log K_d = 1,68 + 1,26 \log(\% \text{klei})$	0,49	13	C	Rechtstreekse correlatie tussen totaalconcentratie en poriënwaterconcentratie is lager dan correlatie tussen klei en K_d ($R^2 = 0,15$).
Cd	$\log K_d = -0,19 + 0,46 \text{pH}$ $\log K_d = 0,13 + 0,43 \text{pH} + 0,26 \log(\text{CEC})$	0,73 0,79	23	C	Optioneel
Cr	$\log K_d = 2,25 + 0,28 \text{pH}$	0,79	5	C B	Cr(III) Gelijkaardige resultaten
Cu	$\log K_d = 1,34 + 0,85 \log(\% \text{C}) + 0,24 \text{pH}$	0,81	19	C	
Hg	5706 (mediaan)		4	C	Geen 'Vlaamse' relatie door beperkte dataset Weinig gegevens in literatuur
Pb	$\log K_d = 1,76 + 0,4 \text{pH}$ $\log K_d = -1,64 + 0,48 \text{pH} + \log(Pb_{\text{tot}})$	0,92 T	5	C	pH < 5,5 pH > 5,5 en $\log(Pb)_{\text{tot}} > 3,4 - 0,08 \text{pH}$
Ni	$\log K_d = 1,31 + 0,25 \text{pH}$	0,71	44	B / C	Geen 'Vlaamse' relatie door beperkte dataset
Zn	$\log K_d = -1,09 + 0,61 \text{pH}$	0,75	37	C	

* correlatie; ** aantal observaties; T theoretische correlatie

De relaties in bovenstaande tabel gelden in principe voor een onverzadigde bodem en voor een pH tussen 4 en 9.

Voor de onderliggende bodemkenmerken geldt dat de pH bepaald is in 0,01 M CaCl₂ (L/S 10/1; 24u schudden) en dat de CEC-waarde is bepaald met zilverthioureum (Ag(TU)+).

3.7.1.2 K_d voor organische verbindingen

Voor organische verbindingen wordt de K_d-waarde berekend op basis van literatuur gegevens voor de verdelingscoëfficiënten octanol-water (K_{ow}) en organisch koolstof-water (K_{oc}), en dit volgens volgende relaties:

$$K_{oc} = 0,411 * K_{ow}$$

$$K_d = f_{oc} * f_{nd} * K_{oc} \quad (10)$$

f_{oc} staat voor de fractie organische koolstof (het gehalte organisch materiaal vermenigvuldigd met een factor 0,58) en wordt bepaald op een representatief deel van de grond. f_{nd} staat voor de niet-gedissocieerde fractie en is normaal gezien gelijk aan 1, maar moet voor zuurdissociërende organische verbindingen (vb. fenolen) berekend worden op basis van de pKa en de bodem-pH.

K_{ow}- en K_{oc}-factoren voor de VLAREBO-stoffen zijn, met uitzondering van minerale olie en PCB's, samengevat in Tabel 7. Naast de bodem-water verdelingsfactor zijn in deze tabel ook andere fysico-chemische parameters gegeven, zoals de Henry-coëfficiënt (K_H) en de diffusiecoëfficiënt in lucht (D_a), die nodig zijn om de vervluchtiging te berekenen.

Tabel 7 Fysico-chemische parameters: molecuulair gewicht (MW), oplosbaarheid (S), Henry coëfficiënt (K_H), dimensieloze Henry coëfficiënt (H'), diffusiecoëfficiënt in lucht (D_a) en organische koolstof-water verdelingscoëfficiënt (K_{oc})

Fysico-chemie	MW	S	S	K _H	H'	D _a	K _{oc}
Stof	g/mol	mol/m3	µg/l	Pa.m³/mol	-	m²/u	l/kg
BTEXS / HHO							
Benzeen	78,11	2,27E+01	1,78E+06	5,52E+02	1,64E-01	0,031	7,94E+01
Ethylbenzeen	106,2	1,55E+00	1,65E+05	7,88E+02	2,34E-01	0,0289	2,00E+02
Tolueen	92,13	5,68E+00	5,23E+05	6,55E+02	1,94E-01	0,0257	1,32E+02
o-xyleen	106,2	1,75E+00	1,86E+05	5,48E+02	1,62E-01	0,0248	1,41E+02
m-xyleen	106,2	1,56E+00	1,66E+05	7,10E+02	2,11E-01	0,0248	1,95E+02
p-xyleen	106,2	1,69E+00	1,79E+05	7,13E+02	2,11E-01	0,0248	2,95E+02
Styreen	104,51	2,60E+00	2,72E+05	2,71E+02	8,04E-02	0,0256	7,24E+02
Hexaan	86	1,10E-01	9,46E+03	1,45E+05	4,86E+01	0,0233	8,90E+02
Heptaan	100	3,00E-02	3,00E+03	1,57E+05	5,24E+01	0,027	3,42E+03
Octaan	114	5,79E-03	6,60E+02	2,54E+05	8,49E+01	0,0217	1,13E+04
MTBE	88,15	476,461	4,20E+07	4,38E+01	1,46E-02	0,0334	6,70E+00
PAK							
acenaftteen	154	2,55E-02	3,93E+03	1,48E+01	4,39E-03	0,0253	1,78E+04
acenaftyleen	152	1,06E-01	1,61E+04	1,14E+00	3,38E-04	0,0255	6,17E+03
antraceen	178	4,21E-04	7,50E+01	7,30E+01	2,75E-02	0,0235	3,89E+05
benzo(a)antraceen	228	4,39E-05	1,00E+01	8,13E-01	2,41E-04	0,0208	1,10E+06
benzo(a)pyreen	252	1,19E-05	3,00E+00	3,40E-02	1,01E-05	0,0198	2,04E+06
benzo(b)fluoranteen	252	4,76E-06	1,20E+00	5,10E-02	1,51E-05	0,0198	5,42E+05
benzo(g,h,i)peryleen	276	9,42E-07	2,60E-01	2,70E-02	9,03E-06	0,0189	4,11E+05
benzo(k)fluoranteen	252	3,02E-06	7,60E-01	4,40E-02	1,47E-05	0,0198	4,57E+05
chryseen	228	6,58E-06	1,50E+00	3,95E-02	1,32E-05	0,0208	5,25E+05
dibenz(a,h)antraceen	278	1,80E-06	5,00E-01	7,00E-03	2,08E-06	0,0188	2,04E+06
fenantreen	178	8,99E-03	1,60E+03	3,98E+00	1,18E-03	0,0235	4,07E+04

fluoranteen	202	1,31E-03	2,65E+02	6,50E-01	2,17E-04	0,0221	1,62E+05
fluoreen	166	1,19E-02	1,98E+03	1,01E+01	2,99E-03	0,0244	2,45E+04
indeno(1,2,3-cd)pyreen	276	3,62E-07	1,00E-01	2,90E-02	9,70E-06	0,0189	1,11E+07
naftaleen	128	2,34E+01	3,00E+06	4,89E+01	1,45E-02	0,0231	1,48E+03
pyreen	202	6,68E-04	1,35E+02	1,10E+00	3,26E-04	0,0221	7,59E+04
VOCI							
1,1,1-trichloorethaan	133,41	7,67E+00	1,02E+06	7,26E+02	2,43E-01	0,0272	1,02E+02
1,1,2-trichloorethaan	133,41	3,33E+01	4,44E+06	8,00E+01	2,67E-02	0,0272	6,31E+01
1,1-dichloorethaan	98,96	5,46E+01	5,40E+06	2,49E+02	8,32E-02	0,0374	3,55E+01
1,2-dichloorbenzeen	147	9,50E-01	1,40E+05	2,11E+02	7,04E-02	0,0259	5,17E+02
1,2-dichloorethaan	98,97	8,68E+01	8,59E+06	9,82E+01	3,28E-02	0,0315	2,60E+01
1,3-dichloorbenzeen	147	8,80E-01	1,29E+05	2,27E+02	6,74E-02	0,0259	9,86E+02
1,4-dichloorbenzeen	147	3,30E-01	4,85E+04	2,42E+02	7,72E-02	0,0259	4,89E+02
cis-1,2-dichlooretheen	96,95	8,25E+00	8,00E+05	2,26E+02	7,56E-02	0,0319	4,68E+01
dichloormethaan	85	2,34E+02	1,99E+07	1,16E+02	3,88E-02	0,034	2,30E+01
hexachloorbenzeen	284,79	4,00E-05	1,14E+01	4,75E+01	1,59E-02	0,0195	4,93E+04
monochloorbenzeen	112,6	4,44E+00	5,00E+05	2,64E+02	8,83E-02	0,0296	1,73E+02
pentachloorbenzeen	250,3	2,24E-03	5,61E+02	5,94E+01	1,76E-02	0,0198	6,37E+04
tetrachloorbenzeen	215,9	1,62E-002	3,50E+03	3,30E+01	1,05E-02	0,0214	1,64E+04
tetrachlooretheen	165,8	9,10E-01	1,51E+05	7,33E+02	2,45E-01	0,0244	2,64E+02
tetrachloormethaan	154	5,19E+00	7,99E+05	1,35E+03	4,51E-01	0,0253	1,64E+02
trans-1,2-dichlooretheen	96,95	6,19E+00	6,00E+05	4,49E+02	1,50E-01	0,0319	4,79E+01
trichloorbenzeen	181,5	1,05E-01	1,91E+04	1,78E+02	5,67E-02	0,0233	1,56E+03
trichlooretheen	131,5	1,07E+01	1,41E+06	4,19E+02	1,40E-01	0,0274	8,70E+01
trichloormethaan	119,39	6,79E+01	8,10E+06	2,96E+02	9,89E-02	0,0374	6,80E+01
vinylchloride	62,5	1,79E+01	1,12E+06	1,86E+04	6,23E+00	0,0382	1,20E+01
Cyanides	26	3,85E+04	1,00E+09	5,17E+03	1,73E+00	0,0615	6,87E+002

3.7.2 Dispersie

Dispersie is het gevolg van snelheidsvariëaties van het grondwater op microscopische schaal. Belangrijke factoren hierbij zijn de korrelgrootte, korrelverdeling, poriënwatersnelheid van het grondwater, enz.

Er bestaan analytische oplossingen van de convectie-dispersievergelijking (d.w.z. een concentratiewaarde op afstand x en tijd t). Hiervoor wordt verwezen naar OVAM 2005. Een exacte bepaling blijft echter moeilijk.

De **dispersie-coëfficiënt D** (m^2/j) voor de onverzadigde zone wordt berekend uitgaande van een vaste waarde voor de dispersiviteit λ (OVAM, 2005). De **dispersiviteit λ** ($= D/v$) is een materiaalconstante en is afhankelijk van zowel bodemtextuur als -structuur. De werkelijke waarde kan bepaald worden a.h.v. kolom-uitspoelingsexperimenten.

Op basis van gepubliceerde waarden voor Belgische bodems is een gemiddelde dispersiviteit berekend en is gekozen voor $\lambda = 15\text{cm}$ als representatieve waarde (Mallants et al., 1994; Mallants et al., 1996; Vanderborght et al., 2001). De dispersie-coëfficiënt D (m^2/j) wordt dan:

$$D = 0.15 \cdot v \quad (11)$$

met

v de poriënwatersnelheid ($= q / \theta$) (m/j).

De dispersie-coëfficiënt D (m^2/j) voor de freatische laag kan berekend worden volgens de volgende relatie (Xu and Eckstein, 1995):

$$D = 0.83 (\log_{10} X)^{2.414} \cdot v \quad (12)$$

met:

X de afstand tot de receptor (m)

v de grondwatersnelheid ($=q / \Phi$)(m/j).

3.7.3 Diffusie

Moleculaire diffusie is het verschijnsel van beweging van moleculen in een vloeistof en is afhankelijk van concentratiegradiënten en van de eigenschappen van vloeistof en bodem. Voor bijvoorbeeld chloride is de moleculaire diffusie in poreuze media 10^{-9} m/s bij een temperatuur van 25°C . Diffusie is in grootteorde ondergeschikt aan dispersie.

3.7.4 Afbraak/sequentiële afbraak, productie, vervluchtiging

Bij de studie van eventuele afbraak, productie en vervluchtiging zijn de volgende gegevens nodig:

- halveringstijd;
- stoichiometrische verhouding van zuurstof (verbruikt) tot de aëroob afbreekbare parameters;
- gegevens i.v.m. mobiliteit en afbreekbaarheid van de contaminant;
- redoxpotentiaal.

Benzeen bijvoorbeeld wordt sterk beïnvloed door het volumetrisch vochtgehalte, omwille van de impact van het vochtgehalte op de faseverdeling in de bodem (e.g. vervluchtiging).

Enkele voorbeelden van stoichiometrische verhouding van zuurstof (verbruikt) tot de aëroob afbreekbare stoffen zijn te vinden in Tabel 8.

Tabel 8 Stoichiometrische verhouding verbruikt zuurstof / aëroob afbreekbare stoffen

Brandstof	Verhouding verbruikt zuurstof / brandstof
Aardgas	17,20 : 1
Benzeen	3,14 : 1
Benzine	14,70 : 1
Diesel	14,50 : 1
Ethanol	9,00 : 1
Methanol	6,47 : 1
Propaangas (LP)	15,67 : 1
Waterstof	34,30 : 1

3.7.5 Dilutie (verduunning)

De **verdunningsfactor** (DF) is de verhouding van de concentratie van een bepaalde stof in het bodemwater tot de concentratie van diezelfde stof in het grondwater.

De hydraulische geleidbaarheid en gradiënt hebben de grootste bijdrage in de variatie van de dilutiefactor. De invloed van infiltratie is van ondergeschikt belang (OVAM, 2005).

3.7.6 Dichtheid, vochtgehalte, porositeit

De **droge stofdichtheid** ρ (kg/l) wordt site-specifiek bepaald door een bodemmonster met gekend volume te drogen (24 u bij 105 °C) en het drooggewicht (in gram) te delen door het volume (in cm³). Als conservatieve waarde kan een waarde van 1,5 kg/l gebruikt worden.

Het **volumetrisch vochtgehalte** θ (cm³/cm³) bekomt men door een bodemstaal met gekend volume te wegen vóór en na het drogen (24 u bij 105 °C) en het verschil in gewicht (in gram) te delen door het volume (in cm³). Het volumetrisch vochtgehalte θ (cm³/cm³) kan ook uit het gravimetrisch vochtgehalte θ_g (= massa water/massa droge grond) (g/g) bepaald worden a.h.v. volgende relatie:

$$\theta = (\rho / \rho_w) * \theta_g \quad (13)$$

met ρ_w de dichtheid van water (= 1 g/cm³ of 1 kg/l). Voor de onverzadigde zone kan een conservatieve waarde van 0,20 cm³/cm³ gehanteerd worden. Voor de verzadigde zone is het volumetrisch vochtgehalte gelijk aan de porositeit.

De **porositeit** Φ (cm³/cm³) kan op twee manieren bepaald worden: ofwel als het volumetrisch vochtgehalte bij volledige verzadiging van een bodemstaal (zie § 3.4.2.2), ofwel benaderend met volgende formule:

$$\Phi = 1 - (\rho / 2,65) \quad (14)$$

waarbij 2,65 g/cm³ de specifieke dichtheid van kwarts is.

3.8 Karakterisatie van de aangevoerde grond

Bij het bepalen van de voorwaarden voor de opvulgrond voor een gekende groeve zijn de karakteristieken van de opvulgrond niet bij voorbaat gekend (bij de aanvraag van een vergunning). Evenmin is het evident om in te schatten hoe de aangevoerde grond zich zal gedragen in de groeve zelf, als gevolg van stortingstechnieken, verdichting, ontwatering, ...

3.8.1 Chemische en fysische eigenschappen

De monsternamen van de aangevoerde bodem wordt uitgevoerd overeenkomstig de hiervoor beschikbare bemonsteringsprocedure en analyseprocedure zoals weergegeven in de Standaardprocedure voor de opmaak van een technisch verslag (OVAM, 2012) en in de procedure CMA1/A.1.

Te bepalen parameters zijn:

- totaalconcentratie (alle VLAREBO-stoffen + overige verdachte parameters);
- bodem-water verdelingscoëfficiënt K_d ;
- pH;
- organische stof;
- klei.

De methoden voor de bepaling van totaalconcentraties, pH, organische stof en klei zijn opgenomen in het compendium voor milieu-analysen (CMA).

3.8.2 Consolidatie

Overige belangrijke kenmerken van het opvulmateriaal zijn, naast concentraties en uitloogkarakteristieken ook consolidatie-eigenschappen (zettingscurven), vochtgehalte, hydraulische eigenschappen (hydraulische geleidbaarheid), enz. In rekenbladen kunnen enkele van deze eigenschappen ingegeven worden onder vorm van bulkdensiteit, porositeit en hydraulische geleidbaarheid (zie deel 2).

Consolidatie is een proces waarbij geleidelijk de hydraulische geleidbaarheid en de porositeit van de bodem wijzigt, specifiek verkleint. Tijdens de duur van de consolidatiefase zal de graad van uitloging geleidelijk aan verminderen. De uitgegraven bodem die in een groeve ingebracht wordt is minstens steekvast, doch los gestapeld. De gemiddelde densiteit van de uitgegraven bodems is van de grootte-orde van $1,5 \text{ ton/m}^3$. Ook bagger- en ruimingsspecie dient steekvast gestort te worden.

3.8.3 Granulometrie, structuurparameters

De ervaring leert dat uitgegraven bodem met een overwegend zandige of grindige textuur eerder zelden worden afgevoerd naar een groeve, dit omwille van de mogelijk bouwkundige toepassingen. Vooral voor uitgegraven bodem met een hoger dan gemiddeld gehalte aan klei en organische stof en over het algemeen met een fijnere textuur is er geen andere mogelijkheid dan definitieve opslag, bijvoorbeeld in groeven.

Voor de opvulling van groeven overheerst daardoor materiaal met een eerder fijne korrelgrootte, met meer klei en/of organische stof. Risicogebaseerde toetsingswaarden voor zandige of grindige aanvulgronden zijn dan over het algemeen ook niet representatief voor de werkelijkheid,

Ook voor wat betreft de pH zijn variaties mogelijk. Hierover het volgende:

- Berekenende K_d -waarden voor As en Hg zijn onafhankelijk van de pH;
- Voor alle overige zware metalen is K_d afhankelijk van onder andere de pH;
- De pH van een standaardbodem is relatief laag gesteld (5). In realiteit en op basis van ervaring en de databank uitgegraven bodem⁶ blijkt dat de pH van de meeste gronden hoger is. Statistische analyse van deze databank geeft:
 - 87,5% van de bodems heeft een pH tussen 4 en 9;
 - 1,7% heeft een pH<4;
 - 9,8% heeft een pH<5;
 - 10,1% heeft een pH>9.
- Bij stijgende pH neemt de K_d -waarde van de betrokken metalen toe. Berekeningen van de toetsingswaarden voor de standaardbodem (d.i. bij pH=5) geven aldus voldoende veiligheid.

Omwille van bovenstaande argumenten mag aangenomen worden dat de kenmerken van een standaardbodem representatief en beschermend genoeg zijn voor de berekening van risicogebaseerde toetsingswaarden.

⁶ Deze databank omvat de analyses van 741 bodems die in een periode van 1 maand aangeleverd werden bij de bodembeheerorganisaties, aangevuld met een beperkt aantal analyses, aangeleverd door grondreinigingscentra.

Tabel 9 Bodemeigenschappen voor standaardbodem

Bodemtype	% klei	% organisch stof	pH
Standaardbodem	10	2	5

In het geval van een milieuvergunningsaanvraag voor opvulling van de groeve met specifieke gronden of voor opvulling met bagger- of ruimingsspecie dient door de deskundige nagegaan te worden of de kenmerken van deze gronden / specie effectief aansluiten bij de kenmerken van een standaardbodem. Indien niet, dan dienen risicogebaseerde toetsingswaarden bepaald te worden die rekening houden met de kenmerken van de te gebruiken materialen voor opvulling van de groeve.

Studie ontvangende groeve - DEEL 1

4 ONTVANGENDE GROEVE EN OMGEVING

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de minimale inzichten en gegevens nodig voor:

- een goede beschrijving van de groeve;
- een grondige karakterisatie van de lokale geologie en hydrogeologie;
- inzicht in de interactie tussen beide.

Er wordt – niet limitatief – gesuggereerd hoe deze data kunnen verzameld worden en aan welke criteria deze moeten voldoen, maar het is aan de geoloog / hydrogeoloog / mijnbouwingenieur (erkend bodemsaneringsdeskundige) om te beslissen wat voor de specifieke groeve en de omgeving relevante informatie is en hoe deze best wordt verzameld en opgemeten.

Een checklist aan het einde van dit hoofdstuk geeft aan wat beschouwd wordt als minimum informatie en welke de relevantie is van eventuele extra gegevens.

4.1 Ontvangende groeve

Mogelijke bronnen van informatie:

- vergunningen, plannen, eerdere onderzoeken, MER's;
- nabestemming (gewestplan, RUP, BPA, ...);
- groeve eigenaar / uitbater;
- ALBON;
- groeve zelf (terreinwerk).

4.1.1 Ontginning

4.1.1.1 Administratief

Administratieve gegevens:

- adres, toegang;
- vroegere / huidige eigenaar en uitbater;
- betrokken kadastrale percelen;
- huidige en toekomstige nabestemming groeve + omgeving, bufferzone;
- vroegere / huidige milieuvergunning, algemene en bijzondere voorwaarden.

4.1.1.2 Minimale informatie

De ontgonnen delfstof en de wijze van ontginning verantwoorden het bestaan en de begrenzing van de groeve (horizontaal, diepte). De historie van de uitbating kan bijdragen tot een beter begrip in deze grenzen (ruimte, tijd) en kan een inzicht geven in problemen en hoe deze zijn opgelost. De volgende informatie is relevant als basis voor de verdere studie van de groeve zelf, van de omgeving en van de interactie met deze omgeving, omdat ze mogelijk aangeeft waar eventuele risico's zijn te verwachten bij opvulling van de groeve:

- historiek uitbating (vooral praktisch en gekoppeld aan kwaliteit ontgonnen delfstof, diepte en uitbreidingen, eventuele moeilijkheden en oplossingen);
- karakteristieken ontgonnen oppervlakedelfstof, inclusief ontgonnen volumes;
- wijze van ontginning (methode, droog/nat, grondwaterbemaling of grondwater beheersing);
- dimensies (plannen, doorsneden, diepte, oppervlakte bodem, oppervlakte t.h.v. Maaiveld, enz.);
- gegevens beschikbaar i.v.m. de exploitatie (grondwatermonitoring, stabiliteit).

Dergelijke informatie is voor een groot deel op te vragen bij de huidige / vroegere exploitant en/of eigenaar van de groeve.

4.1.1.3 Nuttige extra informatie

Andere bijkomende informatie zoals:

- moeilijkheden bij ontginning (grondwater, stabiliteit, omgeving, ...) en genomen maatregelen;
- eventuele klachten (relevant voor de ontginning zelf);
- reden stopzetten groeve;
- aanwezigheid van andere groeves in de omgeving + status (actief, verlaten, opgevuld, enz.).

4.1.2 Huidige groeve

4.1.2.1 Minimaal terreinwerk

Enkel op terrein kan men de beschikbare informatie goed controleren, is het mogelijk om de wanden en bodem van de groeve goed te beschrijven (bij een droge winning), wordt het mogelijk om de diepte van het grondwater op te meten en kunnen representatieve stalen genomen worden van de achterblijvende niet-ontgonnen sedimenten die de ontvangende groeve karakteriseren. Het betreft bijvoorbeeld:

- controle beschikbare informatie (dimensies, staat groevewanden en -bodem, toegang, voorkomen van water in de groeve en herkomst hiervan, eventueel nog aanwezige infrastructuur ontginning,);
- beschrijving groevewanden, bodem groeve;
- indien droge bodem en indien de geologie dit toelaat: boring op diepste punt tot grondwaterniveau. Bij een droge vloer is het niet altijd aangewezen om op het diepste punt te gaan boren tot het grondwaterniveau ten gevolge van het risico op doorbraak). De aanwezige peilputten moeten optimaal worden gebruikt (& geëvalueerd of ze nog bruikbaar zijn; CMA1/A.2 §10);
- representatieve bemonstering wanden en/of bodem van de groeve (granulometrie, bepaling kleigehalte, organisch stof gehalte, pH), rekening houdend met de aanwezige gelaagdheid.

Uiteraard is alle beschikbare informatie die kan bijdragen tot een betere beschrijving van de groeve ook nuttig en relevant (vb. bestaande boringen, stalen en analyses, granulometrie, enz.).

4.1.2.2 Nuttige extra observaties

Ook de volgende zaken worden best op terrein nagekeken:

- aanwezigheid gronden die opzij gezet zijn (vb. teelaarde, deklaag, kleig wasresidu bij berggrind, teruggespoten fijne fracties, veen, fossiele bomen, grote grindblokken, enz.) + reden en toekomstig gebruik hiervan (indien lokaal);
- aanwijzingen voor instabiliteiten;
- indicaties en/of informatie i.v.m. vroegere opvulling(en), al dan niet met grond of met bodemvreemde materialen.

4.1.3 Toekomstige opvulling

Relevante vragen zijn bijvoorbeeld (afhankelijk van de lokale situatie):

- Wat verandert de opvulling globaal aan de huidige situatie met niet-opgepaste groeve?
- Wordt de groeve geheel of gedeeltelijk opgevuld (plan, diepte, volume)?
- Zijn er technische moeilijkheden te verwachten bij de opvulling (vb. storten onder water, afwatering, ...)?

- Is de opvulling compatibel met de voorziene nabestemming (vb. voldoende stabiel voor landbouw met zware machines)?
- Zijn er beperkingen m.b.t. de opvulling, bijvoorbeeld met het oog op invulling van de nabestemming, stabiliteit, ruimtelijke ordening, andere milieuaspecten?
- Indien er tijdens de ontginning materialen zijn opzijgezet (e.g. minder goede kwaliteit, teelaarde laag, deklaag, kleiig wasresidu), is het dan de bedoeling om deze ook te gebruiken bij de latere opvulling?
- Is het aangewezen om de groeve gefaseerd op te vullen (vb. andere kwaliteiten volgens diepte of hoogte van de groeve) en waarom?
- Zijn er specifieke maatregelen die van kracht zijn of waarmee men rekening moet houden bij de opvulling van de groeve (grondwaterbemaling, noodzaak tot aanleg tussendijken, verstevigingen, veiligheidsmaatregelen, potentiële hinder naar de omgeving die kan verschillen van eventuele hinder bij de ontginning)?
- Moet er voor de opvulling specifieke wegenis (verharding) in de groeve worden aangelegd? Zo ja met welk materiaal en wat is hiervan de nabestemming (evt. gebruikscertificaat nodig,...)?

4.2 Omgeving

4.2.1 Geografie en hydrologie

Mogelijke bronnen van informatie:

- naslagwerken (geografische streken, landschap, ...);
- topografische kaarten;
- dienst onbevaarbare waterlopen;
- hydronet.

4.2.1.1 Geografie

Een beschrijving van de omgeving met bodemgebruik en landschap is / wordt mogelijk relevant bij de opvulling van de groeve en/of realisatie van de nabestemming. De lokale topografie was mogelijk belangrijk bij de ontginning (in de diepte of zijdelings in een valleiwand) maar kan ook relevant worden bij het opvullen van de groeve als herstel van het oorspronkelijke landschap. Evenzo kunnen hellingen belangrijk zijn i.f.v. de kwetsbaarheid en bescherming van het grondwater (kwel, bronniveaus, infiltratie van hemelwater). Minimale gegevens zijn:

- geografische streek, landschap;
- bodemgebruik omgeving;
- topografie (reliëf, hoogte, natuurlijke hellingen).

4.2.1.2 Hydrologie

De lokale hydrologie wordt best gesitueerd in relatie tot het grondwater. Het kan een aanduiding zijn voor het voorkomen ervan (diep, ondiep, nat, overstromingsgevoelig) en is mogelijk belangrijk bij de interactie tussen oppervlakte- en grondwater (oppervlaktewater als receptor of als voedingsbron). Minimale gegevens zijn:

- relevant stroombekken;
- lokale natuurlijke oppervlaktewaters (+ eventueel categorie);
- eventueel ontbreken van lokaal natuurlijk oppervlaktewater + oorzaak, reden;
- antropogene oppervlaktewaters (kanaal, drainagegrachten, infiltratiesystemen, wateringen, ...)

4.2.2 Pedologie en geologie

Mogelijke bronnen van informatie:

- naslagwerken en bestaande studies;
- bodemkaart;

- geologische kaart (Quartair, Tertiair, ...);
- bestaande boringen, eventueel sonderingen of andere geofysische prospecties (DOVlaanderen, eigenaar / exploitant groeve);
- granulometrische bepalingen of andere analyses van de ontgonnen oppervlakedelfstoffen.

Terreinwerk is noodzakelijk.

4.2.2.1 Lokale bodems

Beschrijving op basis van beschikbare bodemkaarten. Deze zijn dikwijls indicatief voor of bevestigen de onderliggende ondergrond en de vochtigheidsklasse kan relevant zijn voor het voorkomen van hangwater of grondwater. De waarnemingen aan de basis van de opmaak van de bodemkaart zijn echter beperkt in de diepte en dekken niet de volledige oppervlakte (vb. binnen bebouwde kom).

4.2.2.2 Ondiepe ondergrond

De minimum diepte van de waarnemingen wordt bepaald door de bodem van de groeve. De freatische aquifer wordt best in het geheel meegenomen bij de studie, en indien relevant ook de onderliggende (semi-)artesische aquifer. Met het oog op de relatie tussen groeve en omgeving is het belangrijk om de verbreiding van de verschillende lagen goed te situeren in de ruimte: horizontaal voorkomen, afhelling, variaties in dikte en samenstelling, enz. Relevante gegevens:

- stratigrafie, lithologie, dikte (constant of variërend), voorkomen (homogeen, heterogeen), eventuele afhelling lagen;
- samenvatting en interpretatie beschikbare data (lokale boorbeschrijvingen, profielen, prospecties, sonderingen, analyses, structuur- en textuurbepalingen);
- geochemische karakterisatie van de verschillende afzettingen in contact met de groeve en tot aan het grondwaterniveau (e.g. oxido-reductie, natuurlijke zuurtegraad, aanwezigheid van ijzer, organisch materiaal, kalk, natuurlijk verhoogde metaalconcentraties, ...).

Controle op terrein en indien nodig: invullen van hiaten door middel van boringen, bemonstering en analyses.

4.2.3 Hydrogeologie

Mogelijke bronnen van informatie:

- naslagwerken en bestaande studies;
- bestaande piëzometrische kaarten (o.b.v. metingen);
- odometer- en/of permeameter bepalingen van de doorlatendheid;
- pompproeven (eventueel slugtesten);
- infiltratietesten bodem van de groeve;
- bestaande peilputten en controleputten;
- resultaten eventueel bestaand grondwatermodel.

4.2.3.1 Grondwaterkwetsbaarheid en eventuele gekende verontreinigingen

- volgens kwetsbaarheidskaart (omgeving);
- huidige groeve (vermoedelijk grotere kwetsbaarheid);
- potentiële en/of werkelijke bronnen van verontreiniging in de omgeving;
- eventueel reeds vastgestelde verontreinigingen + genomen maatregelen.

4.2.3.2 Voorkomen van het grondwater

Dit is een essentieel onderdeel van de studie. Naast verzamelen en interpretatie van eventuele beschikbare data, is het belangrijk om lokaal voldoende metingen te verzamelen en dus te voorzien in een aantal peil- en/of controleputten, mochten deze nog niet aanwezig zijn. Deze putten kunnen later, bij aanvulling van de groeve ook ingezet worden als monitoringput.

Minimum moet het duidelijk zijn wat het relatief belang is van het lokale grondwater en van de aquifer (economisch, natuur, gebruik) en moet men precies weten waar het grondwater zich bevindt ten opzichte van de groeve. Vooral de diepte ten opzichte van de bodem van de groeve is belangrijk (ook bij natte groeves). Daarbij is het nodig om ook een zicht te hebben op de lokale variaties in grondwaterpeil (vb. seizoen schommelingen) zodat de terreinwaarnemingen ook gekaderd kunnen worden in de tijd en men indien nodig kan opteren voor een worst case situatie voor verdere berekeningen (dikwijls het hoogste waterpeil). In het kort:

- aquifer, hangwater;
- freatisch, gespannen;
- diepte, stijghoogte, enz.;
- natuurlijke schommelingen.

4.2.3.3 Grondwaterstroming

Met focus van de studie op eventuele risico's voor het grondwater bij opvulling van de groeve, is het essentieel om minimum de richting en gradiënt van de freatische grondwatertafel te kennen, eventueel ook de piëzometrie van dieper grondwater indien dit relevant zou zijn voor de betreffende groeve. Minstens even belangrijk is een goed idee van de interactie tussen groeve en grondwater.

Een goede piëzometrische kaart, d.w.z. gebaseerd op een voldoende aantal peilmetingen in en rond de groeve wordt beschouwd als cruciaal, zeker indien de groeve is ontstaan als gevolg van de ontginning van een goed watervoerende delfstof (grind, zand, en alle variaties). Bij een leem- of kleigroeve is het niet-ontgonnen deel van de slecht doorlatende laag (gedeelte onder de bodem van de groeve) belangrijk om in te schatten of contact tussen groeve en grondwater al dan niet mogelijk is. Indien voldoende restbescherming (niet ontgraven klei/leem onder de bodem van de groeve), is kennis van de grondwaterstroming in een artesische aquifer op grotere diepte minder belangrijk.

Indien de groeve rechtstreeks in contact staat met een watervoerende laag, is het noodzakelijk om de watervoerende capaciteiten zo goed mogelijk te karakteriseren. De resultaten van een pompproef kunnen ter zake in belangrijke mate bijdragen tot een goed inzicht in de eventuele risico's voor verandering van de lokale grondwaterkwaliteit.

Minimale gegevens, per relevante aquifer, bij voorkeur te bepalen op terrein via metingen:

- recente piëzometrie + bespreking (e.g. interactie grondwater-groeve, interactie grondwater-lokaal oppervlaktewater, eventuele andere invloeden op de grondwaterstroming);
- grondwaterstromingsrichting + gradiënt;
- hydraulische karakteristieken (doorlatendheid, stromingssnelheid).

Er kan gebruik gemaakt worden van bestaande piëzometrische kaarten indien deze voldoende recent zijn en op basis van voldoende lokale gegevens (schaal!).

Een bestaand grondwaterstromingsmodel dat specifiek voor deze omgeving en inclusief de groeve is opgemaakt, met een celgrootte die ter hoogte van de groeve en onmiddellijke omgeving voldoende klein is en dat voldoende geijkt is op basis van lokale metingen, kan gebruikt worden als een zinvol instrument. Een grootschalig model dat lokaal niet of onvoldoende geijkt is, kan indicatief zijn maar is niet geschikt als bron voor een berekende stijghoogtekaart, zeker niet voor de freatische aquifer.

In veel groeves is er een bemaling actief om het grondwater weg te pompen (die soms ook dieper gelegen is dan de groeve bodem met bijkomende risico's). Bij natte ontginningen moet in de mate van het mogelijke een waterbalans worden opgesteld, waarbij zoveel als mogelijk gebruik gemaakt wordt van effectieve metingen:

- Wordt er 'hemelwater' afgevoerd?
- Is er oppervlaktewater in de buurt dat een invloed heeft op de waterhuishouding?

Door een duidelijk inzicht in de volumes water die er worden verpompt kunnen eventuele onregelmatigheden worden opgespoord (vb. doorbraken). Of de ontginning (& bijhorende bemaling) tijdens het opvullen verdergaat, dan wel dat deze worden gestopt moet in dit kader worden bekeken (relatie tot potentieel later of hoger grondwaterpeil in de bestaande en nieuwe sedimenten).

4.2.3.4 Lokale grondwaterkwaliteit

De samenstelling van het lokale grondwater is, zeker indien er een grote kans is op contact tussen groeve en grondwater of indien stoffen via uitloging en infiltratie vanuit de opvulgronden kunnen terecht komen in het grondwater, belangrijk om te kennen. Deze kennis vormt een referentie naar de toekomst (nultoestand voor opvulling van de groeve), geeft een inzicht in eventuele natuurlijke aanrijkingen of afwijkingen (vb. arseen en chroom in glauconietzanden, een lage Ec in kwartszanden, verzilting in kustgebieden, een verhoogde pH als gevolg van de aanwezigheid van calciet, ...) en/of antropogene verontreinigingen (regionaal verhoogde concentraties zware metalen, effecten van overbemesting, ...).

Beschikbare gegevens kunnen voldoende zijn, maar in het geval van mogelijke risico's voor het grondwater als gevolg van opvulling van de groeve, wordt best voorafgaandelijk aan de start van de opvulling een nultoestand vastgelegd via grondwaterbemonstering van lokale controleputten (later te gebruiken als monitoringput) en analyse van dit water op een relevante set van parameters. Door de deskundige kunnen hiertoe aanbevelingen geformuleerd worden.

4.3 Receptoren

Bij de studie van eventuele effecten ten gevolge van de opvulling van de groeve met gronden waarvan de kwaliteit afwijkt van deze voor vrij gebruik, moet rekening gehouden worden met de volgende receptoren:

- het grondwater zelf (freatisch, al dan niet rechtstreeks in contact met de opvulling, eventuele onderliggende semi-artesische of artesische waterlagen, indien relevant);
- oppervlaktewater indien dit in relatie staat met het grondwater (drainage);
- gebruikers van het grondwater (mens en natuur, als drinkwater of voor andere doeleinden).

Werkelijke receptoren zijn altijd de belangrijkste om mee rekening te houden, maar gezien het opvullen van de groeve mogelijk gebeurt over een lange periode, kan het relevant zijn om rekening te houden met eventuele toekomstige (potentiële) receptoren.

4.4 Samenvatting: deelaspecten, aanpak en relevantie

Tabel 10 geeft een samenvatting van de verschillende deelaspecten die te maken hebben met de vroegere ontginning, de huidige groeve, de toekomstige opvulling en de omgeving.

Daarbij is aangegeven of deze informatie essentieel is voor de studie (+++), dan wel eerder wenselijk (++) of interessant (+). Ook de wijze waarop deze informatie of data best worden bekomen is aangeduid: via bestaande documenten, studies en literatuur (D), via terreinwerk (T) of via metingen in een laboratorium (L). Tenslotte is gepoogd om de relevantie van deze data te duiden, die echter kan verschillen volgens de lokale situatie.

Tabel 10 Overzicht deelaspecten studie van ontvangende groeve - deel 1, relatief belang van de bekomen informatie en data, aard van de studieaanpak en relevantie

Studie (deel) aspecten	Info/data	Studie	Relevantie
1 Ontginning			
1.1 Administratief	++	D	situering, eigenaar/exploitant, ruimtelijke ordening, milieuvergunning, ...
1.2 Historiek uitbating	+++	D	verantwoording contouren / grenzen huidige groeve, problemen en oplossingen
1.3 Karakteristieken oppervlakedelfstof	+++	D	aard, basiskarakteristieken, kwaliteiten en kwaliteitsvereisten
1.4 Wijze van ontginnen	+++	D	droog / nat, controle grondwater, problemen en oplossingen
1.5 Dimensies	+++	D/T	oppervlakte, diepte, plannen, doorsnedes, ...
1.6 Moeilijkheden bij ontginning	++	D	grondwater, stabiliteit, ...
1.7 Eventuele klachten	+	D	hinderaspecten i.v.m. grondwater, stabiliteit, ...
1.8 Reden stopzetten groeve	+	D	beschikbaarheid delfstof, administratieve grenzen, waterbeheersing
1.9 Aanwezigheid andere groeves in omgeving	++	D/T	actief, verlaten, opgevuld, interactie tussen groeves
2 Huidige groeve			
2.1 Controle beschikbare informatie	+++	T	staat wanden en bodem groeve, toegang, voorkomen water, ...
2.2 Beschrijving groevewanden, bodem	+++	T	enkel mogelijk bij droge ontginning
2.3 Diepte grondwater onder bodem groeve	+++	T	enkel mogelijk bij droge ontginning, boring
2.4 Representatieve bemonstering wanden/bodem	+++	T/L	enkel mogelijk bij droge ontginning, granulometrie, kleigehalte, organisch stofgehalte, pH
2.5 Aanwezigheid gronden die opzij gezet zijn	++	T/L	teelaarde, deklaag, ...: reden + toekomstig gebruik, kwaliteit
2.6 Aanwijzingen instabiliteiten	++	D/T	mogelijk relevant bij latere opvulling (prioriteiten, preventieve maatregelen)
2.7 Vroegere opvullingen	++	D/T/L	voorkomen, dimensies, textuur, beschrijving, analyses

Studie (deel) aspecten	Info/data	Studie	Relevantie
3 Toekomstige opvulling			
3.1 Geheel of gedeeltelijk?	+++	D	plan, diepte, volume (zie ook 1.5)
3.2 Technische haalbaarheid?	+	D	praktisch, i.v.m. te realiseren nabestemming (zie ook 1.1)
3.3 Beperkingen?	+	D	nabestemming, stabiliteit, ruimtelijke ordening, andere milieuaspecten (zie ook 1.1, 1.6 t/m 1.9)
3.4 Reeds beschikbare gronden?	++	D	deklaag, teelaardelaag (zie ook 2.5)
3.5 Gefaseerde opvulling?	++		i.f.v. reeds aanwezige opvulling, aanwezige gronden, beoogde kwaliteit aan te voeren gronden, diepte grondwater t.o.v. bodem groeve of natte ontginning, gelaagdheid groevewanden (zie ook 1.3-1.4, 2.2-2.5, 2.7, 4.4- 4.5)
3.6 Preventieve maatregelen?	+	D	i.v.m. beheersing grondwater, stabiliteit, enz. (zie ook 1.4, 1.6, 2.6)
4 Omgeving			
4.1 Geografie	+	D/T	topografie, reliëf, bodemgebruik
4.2 Hydrologie	++	D/T	lokale natuurlijke oppervlaktewaters, antropogene oppervlaktewaters
4.3 Pedologie	+	D/T	textuur, vochtigheidsgraad natuurlijke toplaag
4.4 Geologie	+++	D/T	stratigrafie, lithologie, dikte nog aanwezige grondlagen, geochemie
4.5 Hydrogeologie	+++	D/T	kwetsbaarheid, voorkomen grondwater, grondwaterstroming, hydraulische karakterisatie, lokale / achtergrond grondwaterkwaliteit
4.6 Receptoren	+++	D/T	grondwater, gebruikers van grondwater, oppervlaktewater

5 HYDROGEOLOGISCH CONCEPTUEEL MODEL

5.1 Inleiding

De verwerking van de informatie betreffende de ontginning, de groeve, de hydrogeologie en de interactie tussen groeve en omgeving gebeurt door interpretatie van de verzamelde informatie (hoofdstuk 4). Deze kennis en interpretatie ervan vormen de basis voor het bepalen van eventuele risico's als gevolg van het opvullen van de groeve met vreemde gronden.

De essentie van deze inzichten wordt vertaald in een conceptueel model dat afhankelijk van de situatie op meerdere manieren kan voorgesteld worden. Het moet echter zodanig duidelijk en transparant zijn dat de beslissing of al dan niet kan afgeweken worden van opvulling met uitgegraven bodem die voldoet voor vrij gebruik een logisch gegeven is voor alle betrokken partijen. Deze beslissing betekent in de praktijk of en hoe een eventuele bijkomende studie wordt uitgevoerd om groeve-specifieke toetsingswaarden te berekenen die afwijken van de waarden voor vrij gebruik.

5.2 Hydrogeologisch conceptueel model

Een hydrogeologisch conceptueel model is in het kader van een studie ontvangende groeve een denkmodel waarin een beschrijving en/of visualisatie wordt gegeven van:

- de huidige groeve in relatie tot de geologie en hydrogeologie waarvan deze deel uitmaakt;
- de opvulling van de groeve met gronden als een potentiële bron van wijziging in kwantiteit en kwaliteit van het lokale grondwater, inclusief eventuele blootstellingsroutes, verspreidingsroutes, potentiële risico's en receptoren.

Het conceptueel model heeft een dubbel gebruik: het helpt bij de studie zelf, vooral bij het nakijken van eventuele onzekerheden en hiaten in de kennis en het belang om deze op te lossen, en het kan gebruikt worden als een communicatiemiddel naar en tussen alle betrokken partijen (eigenaar / exploitant, auteur van de studie, adviesverlenende instanties).

In de meest eenvoudige vorm is het conceptueel model een schets met twee lagen:

- De basis geeft het beeld van de groeve in de omgeving met aanduiding van alle mogelijke interacties tussen beide, eventuele onzekerheden en/of hiaten in de kennis en de consequenties indien de groeve niet zou opgevuld worden;
- Een tweede niveau toont de opvulling van de groeve met aanduiding van alle mogelijke routes via dewelke het grondwater en eventuele andere receptoren in contact zouden kunnen komen met stoffen die kunnen vrijkomen uit de opvulling en eventuele verdere verspreidingsroutes.

Deze schets kan als basis dienen voor het invullen van eventuele onzekerheden en hiaten in de kennis. Pas als dit beeld duidelijk is (en eventuele overgebleven hiaten zijn aangeduid als niet van die aard dat ze de conclusies zouden wijzigen), kan dit model gefinaliseerd worden en vertaald naar een concretere visualisatie met behulp van een plan (bovenaanzicht) en één of meerdere dwarsdoorsneden waarbij, indien van toepassing, ook een eventuele fasering van de gewenste opvulling kan verduidelijkt worden. Bij de beschrijving van dit model kunnen interacties, eventuele blootstellingsroutes en verspreidingswegen verduidelijkt worden, eventueel met aanduiding van de relatieve belangrijkheid ervan.

Het conceptueel model is per definitie uniek voor de bestudeerde groeve. Een standaard conceptueel model bestaat met andere woorden niet en het is aan de auteur van de studie om dit op te maken cfr. de locatiespecifieke situatie van de groeve.

Het model wijzigt en wordt ingevuld naarmate de studie vordert.

5.3 Hiaten in de kennis

Zoals eerder aangegeven kan het conceptueel model helpen bij het aanduiden van eventuele onzekerheden of hiaten in de kennis. Het moet de bedoeling zijn om het grootste deel hiervan in te vullen of op te lossen tijdens de studie zelf. Even belangrijk is het om te argumenteren waarom eventuele overblijvende onzekerheden / hiaten in de kennis niet verder worden ingevuld, bijvoorbeeld omdat deze wetenschap niet relevant is voor de genomen beslissing (zie verder) of omdat deze niet in verhouding staat tot de reeds beschikbare kennis en inzichten.

5.4 Beslissing tot verdere studie / berekening toetsingswaarden

Op basis van de beschikbare gegevens, de verwerking ervan en een helder inzicht en begrip van de huidige situatie, en op voorwaarde dat alle relevante hiaten zijn ingevuld (en de overblijvende geargumenteed als niet nuttig om verder op te lossen), kan beslist worden tot het al dan niet verder berekenen van toetsingswaarden die afwijken van de normen voor vrij gebruik.

5.4.1 Geen afwijking mogelijk (huidige situatie)

In het geval het hydrogeologisch conceptueel model toont dat de huidige groeve niet zonder risico kan opgevuld worden met uitgegraven bodem met concentraties stoffen die hoger zijn dan de waarden voor vrij gebruik, is verdere studie niet nuttig. Opvulling van de huidige groeve is dan enkel mogelijk met uitgegraven bodem die voldoet aan de voorwaarden voor vrij gebruik.

Het is aan de deskundige om dit op basis van het hydrogeologisch conceptueel model voldoende te argumenteren.

5.4.2 Afwijking mogelijk zonder berekening van toetsingswaarden (deel 2)

De studie kan beperkt worden tot de karakterisatie van groeve en omgeving (deel 1, zonder berekening van toetsingswaarden zoals voorzien in deel 2) in volgende gevallen:

- om afwijking te vragen voor één of enkele parameters die van nature in verhoogde concentratie voorkomen in de aangesneden geologische formaties; als toetsingswaarde geldt dan de natuurlijke achtergrond (beperkt tot bodemsaneringsnorm type III);
- indien er duidelijke elementen / feiten / argumenten zijn dat het opvullen van de groeve met om het even welke gronden geen enkel risico inhoudt voor het grondwater.

Het is evident dat de deskundige deze conclusie grondig onderbouwt en dat het voorgestelde hydrogeologisch conceptueel model dit op een overtuigende manier aantoonst.

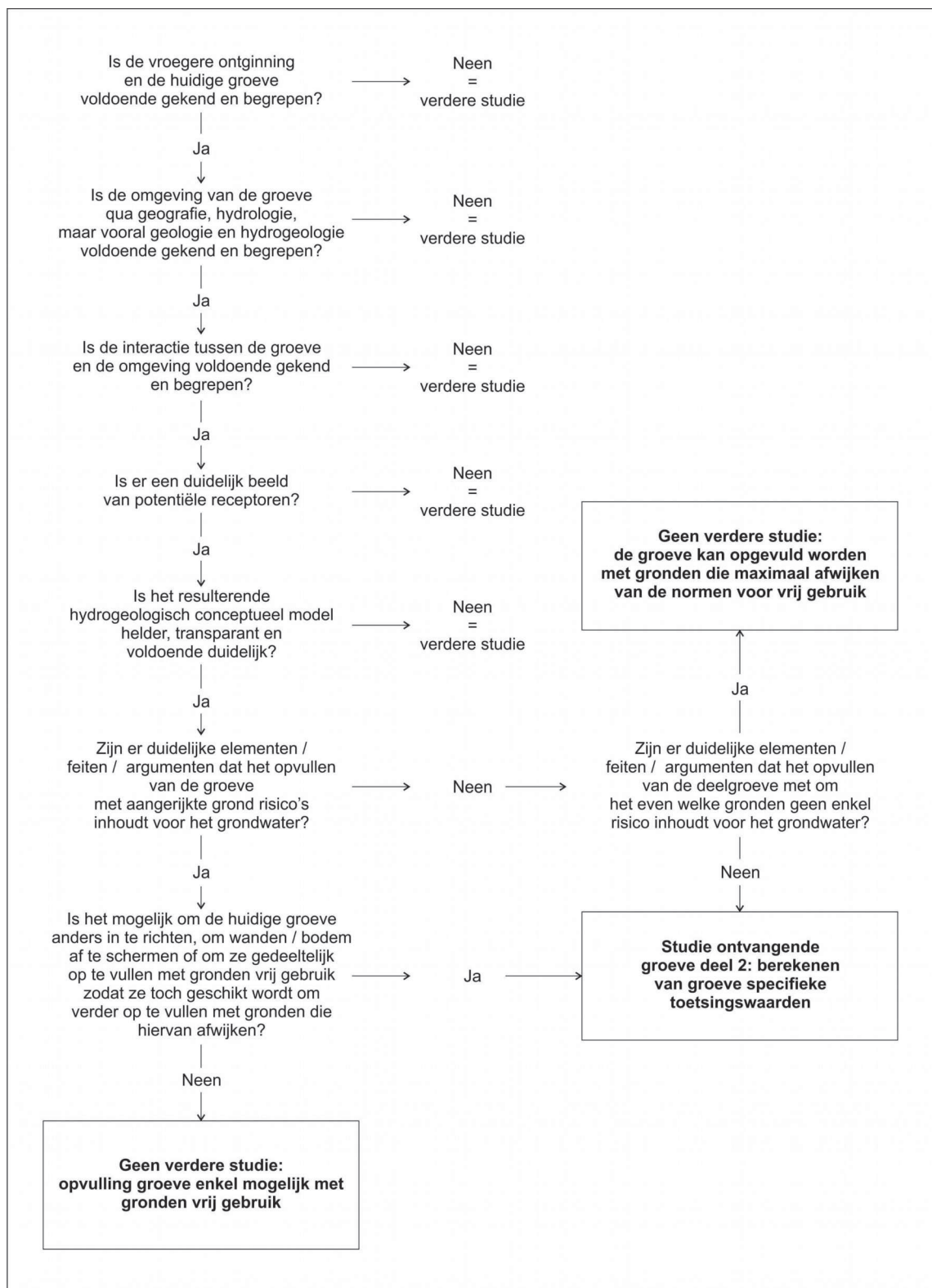
5.4.3 Afwijking mogelijk met berekening van toetsingswaarden

In alle andere gevallen kunnen groeve-specifieke toetsingswaarden berekend worden. Dit geldt zowel voor groeves waarvan het hydrogeologisch conceptueel model toont dat het mogelijk is

om verder op te vullen met gronden die afwijken van de waarden van vrij gebruik, als voor sommige groeves die vandaag niet geschikt worden bevonden.

Het is immers mogelijk dat men op basis van het hydrogeologisch conceptueel model de groeve na een gedeeltelijke opvulling met gronden vrij gebruik of door andere maatregelen in een toestand terecht komt die verdere opvulling met gronden die afwijken van vrij gebruik wél mogelijk maakt.

Ook hier is het aan de deskundige om dit grondig te argumenteren en om een 'toekomstig' conceptueel model voor te stellen op basis waarvan het berekenen van toetsingswaarden ter afwijking van de waarden van vrij gebruik relevant wordt. Het is nuttig om in dat geval het model te onderbouwen met een duidelijk stappenplan en eindvoorwaarden om tot deze nieuwe situatie te komen. Een goed uitgewerkt praktisch voorstel kan in dat geval deel uitmaken van de milieuvergunningsaanvraag en een gefaseerd werkplan.



Figuur 3 Beslissingsboom studie ontvangende groeve: evaluatie deel 1 en overstap naar deel 2

Studie ontvangende groeve - DEEL 2

6 BESTAANDE MODELLEN: MOGELIJKHEDEN EN BEPERKINGEN

6.1 Inleiding

Het doel van de modelberekeningen is de uitloging te kwantificeren voor de aangebrachte bodem en toetsingswaarden te bepalen voor de verschillende parameters.

Dit omvat een risico-evaluatie met aandacht voor verspreiding van verontreiniging naar en via het grondwater, dus met het grondwater als receptor en als transportmiddel.

Een methodiek voor kwantificering van uitloging in de onverzadigde zone en bepaling van toetsingswaarden, conservatief of site-specifiek, is gegeven in: *OVAM (2005) Bepaling risico uitloging en evolutie bodemkwaliteit (2 delen)*.

Een methodiek voor kwantificering van uitloging in zowel de onverzadigde als verzadigde zone is gegeven in: *OVAM (2008) Standaardprocedure studie van de ontvangende grond*. Een methode die was voorgesteld in de vorige versie van de Code van Goede Praktijk is gebundeld in een afzonderlijk document: *OVAM (2013) Methode attenuatiefactoren* (in opmaak). Met beide methodes kunnen eveneens toetsingswaarden bepaald worden.

Indien nodig of wenselijk geacht kan voor een doorgedreven numeriek verspreidingsmodellering gekozen worden, gebruik makend van modellen voor waterbeweging en stoftransport in variabel gesatureerde media (bodem en overgang naar grondwater) en in gesatureerde media. Voor een overzicht van de belangrijkste numerieke modellen en benodigde parameters wordt verwezen naar: *OVAM (2005), deel 1*.

Belangrijk is om van elke methode de specifieke toepassingsmogelijkheden en beperkingen te kennen en om hiermee rekening te houden bij de keuze van het model en de interpretatie van de resultaten.

Nota i.v.m. ontwatering en consolidatie

Ontwatering en consolidatie zijn geomechanische processen die niet kunnen gesimuleerd worden met een hydrogeologisch model. Ook de stabiliteit van de aangevulde gronden kan niet worden afgeleid uit een hydrogeologisch model. Het doel van de studie ontvangende groeve en graverij is toetsingswaarden te berekenen en risico-berekeningen uit te voeren die te maken hebben met stoffen in de aangevoerde bodem. Het aspect stabiliteit maakt dus geen deel uit van de studie ontvangende groeve en graverij.

Tijdens ontwatering, zal het opgevuld terrein (opvulling boven de grondwaterstand) gekenmerkt worden door een opbollende watertafel met een min of meer radiaal uitstromingspatroon. Op basis van de gemeten grondwaterstanden kan de richting van de grondwaterstroming worden bepaald. Stroming in een losgepakt, niet geconsolideerd materiaal is verschillend van de klassieke grondwaterstroming in geconsolideerde poreuze media. De verandering van de piëzometrie/grondwaterstand in een opgevuld terrein zal dan de resultante zijn van twee bewegingen:

- natuurlijke grondwaterstroming in het terrein: de klassieke diffusiviteitsvergelijking, waarbij water dat binnenkomt in het omschreven volume = hoeveelheid die uittreedt;
- drainage van het opvulmateriaal, waarbij de eigenschappen van het materiaal zelf wijzigen (porositeit, permeabiliteit).

Een overgangsfase waarin beide fenomenen aanwezig zijn, overstijgt de mogelijkheden van het hydrogeologische model.

Een hydrogeologisch model kan wel een beeld geven van:

- het verloop van de grondwaterstijghoogte, eventueel in functie van de tijd;
- de grondwaterstromingsrichting;
- de stromingssnelheden;
- de grondwatervoeding (verticale stromingscomponent);
- stroombanen en stroomtijden;
- eventuele interacties tussen verschillende watervoerende lagen;
- eventuele interacties met oppervlaktewater, grondwaterwinningen, e.d.;
- het regionale grondwaterstromingspatroon (indien het studiegebied groot genoeg gedefinieerd werd).

6.2 Methode attenuatiefactoren (VITO / OVAM)

Deze methode is gebaseerd op berekeningen met een 1D-transportmodel. Ze laat toe om attenuatiefactoren te bepalen voor diverse types en afmetingen van groeven die de basis vormen voor de berekening van toetsingswaarden berekend voor de meeste parameters die opgenomen zijn in het VLAREBO (uitz.: minerale olie, complexe cyanides, PCB's en pH).

De AF-aanpak voor groeven biedt de mogelijkheid om de attenuatie van concentraties die uitlogen uit de opvulgrond naar een receptor in te schatten op basis van type aquifer, afstand tot de receptor, afmeting van de groeve en de eigenschappen van de aanvulgrond. Bijkomend kan bij een opvulling boven grondwaterniveau attenuatie door de onderliggende onverzadigde zone in rekening gebracht worden, dit in functie van dikte van de opvulling en eigenschappen van de geologische laag. De aanpak gaat uit van gestandaardiseerde modelscenario's met vier types aquifer: grind, zand, leem of klei.

Randvoorwaarden/beperkingen: De toepassing van de methode met bepaling van de attenuatiefactor is geschikt indien de lokale condities aansluiten bij de waarden die opgenomen zijn in tabel 11.

Tabel 11 Gebruikte parameterwaarden voor de bepaling van de attenuatiefactor

Parameter	Symbool (eenheid)	grind	zand	leem	klei
Aquifer eigenschappen					
Hydraulische geleidbaarheid	kD (m/j)	10000	3070	1840	1690
	kD (m/d)	27	8	5,04	4,63
Zuurtegraad	pH (-)		5,5	6	6,5
klei	(%)		5	10	20
Verhang	i (m/m)			0,001	
Porositeit	n (-)			0,4	
Fractie organisch C	f _{oc} (-)	0,001 (komt overeen met 0,17% organische stof)			
Onverzadigde zone					
Infiltratieflux	q (mm/j)			265	
Vochtgehalte	θ (-)			0,2	
Dikte onverzadigde zone onder bodem groeve	D (m)		maximum 1		

6.3 1D rekenbladen voor transportberekening (VITO/OVAM)

6.3.1 F-leach

Ref: OVAM (2005), Bepaling van risico's door uitloging en beschrijving evolutie van de bodemkwaliteit – Deel 1: Opstellen methodiek en Deel 2: Handleiding uitloging. Model zelf is te downloaden van site OVAM.

Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van een onderzoeksmethodiek voor de bepaling van de verspreidingsrisico's ten gevolge van uitloging en voor de bepaling van de evolutie van de bodemkwaliteit. De methodiek bestaat uit twee luiken: het opstellen van een toetsingswaarde, die in geval van overschrijding een aanwijzing is van risico op verspreiding door uitloging, en een bron-pad-receptor analyse die het risico voor een receptor en de evolutie van de bodemkwaliteit kwantificeert.

De methodes zijn bruikbaar voor de parameters die opgenomen zijn in het VLAREBO, met uitzondering van minerale olie, complexe cyanides, Cr-IV en Cr-VI.

Het grote voordeel van deze methode is dat veel site-specifieke parameters ingegeven kunnen worden. Een aantal parameters blijven evenwel conservatief benaderd.

Voor de **onverzadigde zone** worden de volgende site-specifieke parameters gebruikt:

- infiltratieflex;
- dikte van de onverzadigde zone;
- droge stofdichtheid;
- vochtgehalte;
- lengte van de bronzone;
- tijdsduur van de berekening.

Het model levert een indicatieve waarde voor de tijdsduur maar de gebruiker kan deze aanpassen a.h.v. de modelresultaten zodanig dat de doorbraak van de betrokken stof volledig binnen de tijdsduur van de berekening valt.

Voor de **verzadigde zone** worden de volgende site-specifieke parameters gebruikt:

- verhang (i);
- verzadigde conductiviteit (k);
- droge stofdichtheid;
- porositeit;
- afstand tot receptor;
- dikte van de freatische laag
- tijdsduur van de berekening.

De dispersie coëfficiënt en de dilutiefactor worden door de software berekend.

Voor de karakterisatie van de specifieke stof (in de aanvulgrond) moet minstens de K_d (voor de onverzadigde zone en indien van toepassing, voor de verzadigde zone) gegeven worden voor zware metalen en de K_{oc} en de dimensieloze Henry coëfficiënt voor organische verbindingen.

Indien er afbraak is, moeten de gepaste constanten ook geleverd worden en eventuele afbraak kan voor de onverzadigde en verzadigde zone apart gedefinieerd worden.

Voor de initiële concentratie van de stof wordt de verticale verdeling in de onverzadigde zone gevraagd en/of de initiële horizontale spreiding in het grondwater. Een homogene verdeling van

de stof in de onverzadigde of verzadigde zone kan ingegeven worden als één laag of één stap met als concentratie de initiële concentratie (of maximale afwijking). Een verticale heterogene verdeling van gronden kan ingegeven worden als meerdere lagen.

Het resultaat:

- een berekening van toetsingswaarden voor de onverzadigde zone, die de garantie vormen voor de bescherming van het grondwater. Deze toetsingswaarde gaat uit van een oneindige bron. Dit is een conservatieve en worstcase benadering;
- een berekening van het risico op uitloging en de impact op het grondwater overeenkomstig een gefaseerde benadering. Bij deze berekeningen wordt de bron niet als oneindig beschouwd en wordt rekening gehouden met vermindering door uitloging, vervluchtiging en natuurlijke afbraak;
- een berekening van de evolutie van de bodemkwaliteit, rekening houdend met de processen, die in een bodem plaatsvinden (vervluchtiging, uitloging, omzettingen).

Uitgangspunten voor de modelberekeningen:

- de bron is afgebakend: zowel een initieel aangerijkte bodem of grondwater (concentratiebron: eerste type randvoorwaarde) als een aanrijking die wordt toegediend aan de bodem of grondwater (fluxbron: derde type randvoorwaarde) worden beschouwd; de bron zich kan bevinden in de onverzadigde zone of in de verzadigde zone;
- het transport is ééndimensionaal (analytische oplossingen voor ééndimensionale CDE). In realiteit is het transport drie-dimensionaal: een ééndimensionale weergave is conservatief omdat verondersteld wordt dat de pluim geen dispersie heeft in de vlakken loodrecht op de stromingsrichting;
- de stof op de weg tussen bron en receptor wordt geattenuëerd door vervluchtiging en afbraak in de onverzadigde zone en door afbraak in de verzadigde zone;
- het stromings- en transportdomein is homogeen en isotroop; conservatieve modelparameters worden gebruikt voor de berekening van de verspreiding (d.w.z. de parameters van de meest gevoelige laag, i.c. de laag met de grootste doorlatendheid en geringste sorptie).

Randvoorwaarden voor gebruik en beperkingen

F-LEACH biedt de mogelijkheid een bron-pad-receptor analyse te doen en attenuatie door transport door aquifer en/of onverzadigde zone in te schatten. Het is echter niet mogelijk verschillende sorptiefactoren te definiëren binnen de onverzadigde zone of binnen de verzadigde zone.

Bij toepassing voor een groeve kan er dus geen verschillende K_d voor de aangevoerde grond en voor de aanwezige aquifer/onderliggende bodem gebruikt worden. Door de groeve te beschouwen als gelaagd en voor elke gelaagdheid afzonderlijk de berekeningen uit te voeren kunnen verschillende K_d -waarden in rekening gebracht worden voor de aangevoerde grond en voor de aanwezige aquifer/onderliggende bodem.

De deskundige dient bij aanvang van de studie na te gaan welke soorten gronden of baggerspecie in hoofdzaak aangeleverd zullen/kunnen worden. De bijhorende karakteristieken kunnen dan gebruikt worden voor de berekeningen met F-leach.

6.3.2 Studie ontvangende grond

Door de VITO is een tool uitgewerkt ter ondersteuning van de 'studie ontvangende grond'. In deze tool zijn de receptoren vast gedefinieerd als het grondwater onder de ophoging (bij een ophoging) of het grondwater 30m stroomafwaarts (bij een opvulling, al dan niet onder de grondwaterstand). Het rekenblad geeft als uitvoer de relatieve aanrijking in concentratie.

Het resultaat bestaat aldus uit een berekening van het risico op uitloging en de impact op het grondwater.

Site-specifieke invoergegevens voor een ophoging

Voor de **onverzadigde zone**:

- dikte van de aangevoerde laag, van de aangerijkte en van de onderliggende laag van de ontvangende grond;
- concentratie in de aangevoerde laag, in de aangerijkte en onderliggende laag van de ontvangende grond;
- de bulk densiteit van aangevoerde en ontvangende grond;
- het vochtgehalte van aangevoerde en ontvangende grond;
- de lengte van de ophoging;
- de K_d of fractie organische stof van aangevoerde en ontvangende grond;
- de tijdsduur van de berekeningen (standaard 500 jaar).

Voor de **verzadigde zone**:

- potentiaalgradiënt;
- verzadigde conductiviteit;
- dikte freatische laag;
- initiële concentratie in grondwater.

Site-specifieke gegevens voor opvulling (al dan niet deels boven de grondwaterstand)

Voor wat betreft de bodem die gebruikt wordt voor opvulling:

- droge stofdichtheid en porositeit;
- concentratie van de contaminant in de opvulling;
- fractie organische koolstof;
- K_d van het opvulmateriaal;
- lengte van de opvulling;
- dikte van de voorziene opvulling boven de grondwatertafel.

Voor wat betreft de aquifer:

- potentiaalgradiënt;
- verzadigde conductiviteit;
- dikte freatische laag;
- initiële concentratie in grondwater;
- indien relevant de halfwaardetijd van de contaminant.

Beperkingen

Deze tool sluit qua modelconcept aan bij de berekeningsmethode AF maar biedt geen mogelijkheid om een receptor te selecteren. De receptoren zijn vast gedefinieerd als het grondwater onder de ophoging (bij een ophoging) of het grondwater 30 m stroomafwaarts (bij een opvulling). Andere uitvoer dan de relatieve aanrijking moet onrechtstreeks uit de modeluitvoer afgeleid worden.

De toetsing gebeurt ten opzichte van de bodemsaneringsnormen voor grondwater. Toetsing aan andere normen dienen bijkomend te gebeuren.

6.4 Overige methodes – numerieke verspreidingsmodellen

Er bestaan vele publieke en commerciële software voor de berekening van verspreiding van stoffen in bodem en grondwater die, omdat ze veelal internationaal worden aangeboden, uitgebreid zijn getest.

Enkele van deze modellen worden kort besproken in het document OVAM (2005), deel 1. Voor andere modellen wordt verwezen naar de literatuur en de handleidingen van de modellen. Het opnemen van een lijst hiervan geeft geen meerwaarde aan de huidige code van goede praktijk.

Het voordeel van dergelijke numerieke oplossingen is dat site-specifieke eigenschappen zeer gedetailleerd in rekening gebracht kunnen worden en dat een heterogene omgeving en wijzigende randvoorwaarden in de tijd gesimuleerd kunnen worden.

6.5 Samenvatting

Onderstaande lijst geeft een overzicht van een aantal mogelijke modellen/rekentools die gebruikt kunnen worden voor de berekening van toetsingswaarden voor de opvulling van groeven en graverijen.

6.5.1 Methode AF

Type model: gebaseerd op 1D-transportmodel

Toepassingsgebied

- voor groeven waarvan de kenmerken zich situeren binnen de waarden die opgenomen zijn in tabel 10 (hydraulische geleidbaarheid, pH, kleigehalte, fractie organische koolstof, verhang, porositeit, infiltratieflux en dikte tussen aanvulgrond en onderliggende aquifer);
- geschikt voor berekeningen voor opvulling zowel boven als onder de grondwaterstand;
- bij één grootte-orde van verhang (0,001 m/m) van de freatische watervoerende laag;
- enkel bij een fractie organisch C = 0,001 (0,17% organische stof);
- een vaste infiltratieflux van 265 mm/j;
- in geval van opvulling in de onverzadigde zone is afstand tussen de grondwatertafel en de opvulling is 1 m gesteld;
- de berekeningen gaan uit van worst-case aannames. Indien de karakteristieken van de groeve afwijken van deze aannames (verhang 0,001 m/m; fractie organisch C in de aquifer van 0,001) leidt dat tot een overschatting van het risico.

Resultaat van de berekeningen

- een toetsingswaarde voor de meeste parameters die opgenomen zijn in bijlage IV van het VLAREBO;
- ter bescherming van het grondwater wordt gerefereerd naar de saneringsnorm voor grondwater of de milieukwaliteitsnormen uit het VLAREM.

Voordelen

- er kan een algemeen beeld gevormd worden van de mogelijke risico's van opvulling;
- de methode is ontworpen als een screening waarbij het risico eerder hoog ingeschat wordt.

Nadelen

- door een aantal conservatieve aannames zijn de berekeningen enkel geldig wanneer voldaan is aan de voorwaarden van het toepassingsgebied. De berekeningen gaan uit van een worst-case benadering. Daardoor kan het risico overschat worden voor gevallen waar de karakteristieken van de groeve sterk afwijken van de aannames;
- geen berekeningsmogelijkheden voor minerale olie;
- geen methode voor afwijkende pH;
- er kan geen rekening gehouden worden met meerdere lithologische eenheden onder en rond de groeve. Hierdoor zijn enkel de berekeningen waarbij de meest strenge voorwaarden gelden te weerhouden;
- de methode is opgesteld binnen enge randvoorwaarden: groeves mogen onbeperkt groter zijn (in grondwaterstromingsrichting) dan 200m, een onverzadigde zone dikker dan 1m

- onder de bodem van de groeve maakt geen verschil, de afstand voor een receptor is beperkt tot 200m;
- het grootste nadeel is dat de methode omslachtig is en dus een bron van (reken)fouten levert. De resultaten zijn daardoor ook moeilijk controleerbaar, een gefaseerde aanpak van opvulling is niet eenvoudig en arbeidsintensief met deze methode;
 - het model vertrekt van een som van worstcase benaderingen, waardoor als resultaat het verschil tussen een ‘veilige’ en ‘minder veilige’ groeve onrealistisch klein is.

6.5.2 Methode F-Leach

Type methode: gebaseerd op 1D-transportmodel

Toepassingsgebied

- de tool kan toegepast worden voor alle groeven die voorkomen in of op één homogene lithologische laag, ongeacht de lithologische kenmerken, dikte, e.d.;
- de berekeningen gelden voor opvulling boven de grondwaterstand.

Resultaat van de berekeningen

- in eerste instantie wordt een toetsingswaarde berekend bij conservatieve (worstcase) aanname van continue bron;
- bij verdere berekeningen wordt rekening gehouden met een afnemende concentratie in de bronzone;
- evolutie van de grondwaterkwaliteit onder en rond de groeve;
- evolutie van de bodemkwaliteit;
- de toetsing gebeurt ten opzichte van de bodesaneringsnormen voor het grondwater. Indien getoetst dient te worden aan andere normen, dan kan deze norm ingegeven worden in de F-Leach tool.

Voordelen

- er kan rekening gehouden worden met een groot aantal site-specifieke kenmerken;
- de effectieve dikte van de onverzadigde zone onder de bodem van de groeve kan ingegeven worden;
- in verticaal profiel kunnen meerdere lagen met verschillende concentraties ingegeven worden, zowel in de opvulgrond als in de onderliggende natuurlijke bodem boven de grondwaterstand;
- ook de evolutie van de bodemkwaliteit wordt berekend;
- de afstand tot de dichtst bijzijnde receptoren kan ingegeven worden.

Nadelen

- er kan geen rekening gehouden worden met meerdere lithologische eenheden onder en rond de groeve. Er wordt dan ook nogal snel een worstcase berekening geëist waarbij de meest strenge voorwaarden weerhouden moeten worden. Ook de aanvulgrond wordt verondersteld dezelfde structuurkenmerken (sorptie-eigenschappen) als de groeve te hebben;
- de methode is enkel geschikt voor opvulling boven de grondwaterstand;
- berekeningen gebeuren per parameter, en de resultaten worden gegeven als afzonderlijke omvangrijke pdf-documenten. Er is wat redactiewerk om alles mooi samen te vatten in een tabel.

6.5.3 Studie ontvangende grond

Type methode: gebaseerd op 1D-transportmodel

Toepassingsgebied

- de tool kan toegepast worden voor alle groeven die voorkomen in of op één homogene lithologische laag, ongeacht de lithologische kenmerken, dikte, e.d.

Resultaat van de berekeningen

- de berekeningen hebben als doel om aan te tonen welke procentuele stijging (relatieve aanrijking) er kan voorkomen ten gevolge van uitloging. Indien deze meer dan 10% is, dan wordt op de output 'niet toegestaan' vermeld;
- de berekeningen toetsen de stijging aan de bodemsaneringsnormen voor grondwater. Indien aan andere normen getoetst moet worden, dan dient dit bijkomend te gebeuren;
- indien deze tool gebruikt wordt voor de berekening van de toetsingswaarden voor opvulling van groeven, dan dient de output vertaald te worden waarbij het doel is om na te gaan of er verontreiniging van het grondwater veroorzaakt kan worden tot concentraties die leiden tot bijkomende risico's.

Voordelen

- er kan rekening gehouden worden met een groot aantal site-specifieke kenmerken.

Nadelen

- de aangevoerde bodem wordt beschouwd als één homogeen lithologisch pakket met over de ganse hoogte dezelfde waarden voor de contaminant;
- de freatische laag waarop of waarin de groeve zich bevindt wordt beschouwd als één lithologisch pakket;
- de dichtst bijgelegen receptor is vast gedefinieerd en is gelegen op een afstand van 30m;
- de output geeft een procentuele stijging van de concentraties in het grondwater in de tijd, evenals een absolute concentratie ten opzichte van de bodemsaneringsnormen.

6.5.4 Overige methodes – numerieke verspreidingsmodellen

Type methode

- Modellen voor 1D-transport
- Modellen voor 2D-transport
- Modellen voor 3D-transport

Resultaat van de berekeningen

- Concentratie van de stoffen in het grondwater zowel in ruimte als in tijd.

Voordelen

- Een heterogene en complexe omgeving kan in rekening gebracht worden.

Nadelen

- om zinvol toe te passen moet de lokale situatie (grondwater, ondergrond) zeer goed gekend zijn om het gebruik van standaard waarden tot een minimum te beperken;
- zeer arbeidsintensief;
- sommige parameters kunnen slechts bij benadering ingeschat worden;
- calibratie van het model is nodig, evenals validatie achteraf, hetgeen niet (altijd) mogelijk is aangezien een hypothetische toekomstige situatie gesimuleerd wordt;
- toepassing van dergelijke modellen vereist de nodige expertise.

7 RICHTLIJNEN MODELLERING UITLOGING EN STOFTRANSPORT

7.1 Selectie grondwatercriteria

Vooreerst dienen de kritische concentraties in grondwater geselecteerd te worden. De berekening die hierop volgt, heeft als uitgangspunt dat deze kritische concentratie in grondwater ter hoogte van de receptor niet overschreden wordt.

In VLAREBO bijlage IV zijn de bodemsaneringsnormen voor grondwater opgenomen. De bodemsaneringsnormen beantwoorden aan een niveau van bodemverontreiniging dat een risico inhoudt van negatieve effecten voor de mens of het milieu, gelet op de kenmerken van de bodem en de functies die deze vervult. Een overschrijding van de bodemsaneringsnormen is een signaal om een beschrijvend bodemonderzoek uit te voeren. De bodemsaneringsnormen voor grondwater liggen op het niveau van de drinkwaterkwaliteitsnorm.

In VLAREM II bijlage 2.4.1 zijn milieukwaliteitsnormen voor grondwater opgenomen. Voor een lijst van fysisch-chemische parameters, ongewenste stoffen, toxische stoffen en microbiologische parameters zijn er richtwaarden opgenomen (art. 1). Daarnaast zijn er voor een aantal metalen en kationen per grondwaterlichaam achtergrondniveaus (art. 2) en drempelwaarden (art. 3) vastgelegd. Als milieukwaliteitsnormen voor de beoordeling van de chemische toestand van grondwater gelden de minst strenge van de richtwaarden uit artikel 1 en de achtergrondniveaus uit artikel 2. Drempelwaarden zijn zodanig vastgesteld dat, als de meetresultaten in een representatief meetpunt de drempelwaarden overschrijden, dat wijst op een risico dat er niet is voldaan aan een of meer van de voorwaarden voor een goede chemische toestand van het grondwaterlichaam.

7.2 Numeriek grondwatermodel

De informatie die nodig is om een hydrogeologische studie uit te voeren is duidelijk gedefinieerd en omschreven in Deel 1.

De hydrogeologische modelstudie bepaalt in eerste instantie of de groeve kan opgevuld worden met grond die niet voldoet aan de normen voor vrij gebruik, en levert de nodige parameters om na te gaan of een bepaalde opvulling al dan niet een risico kan vormen. Uit de hydrogeologische modelstudie moet ook blijken of er receptoren bedreigd worden, welke deze zijn en waar deze receptoren zich bevinden (afstand, grondwaterstromingsrichting, welke aquifer).

7.2.1 Keuzes

Het hydrogeologisch conceptueel model (HCM, zie Deel 1) laat onder meer toe om verspreidings-karakteristieken te bepalen en begroten. Met deze gegevens wordt beslist of het nodig is om toetsingswaarden te berekenen. Dit kan gebeuren met één of meerdere van de eerder vermelde tools of met numerieke modellen.

Het is aan de deskundige om aan te geven of het HCM volstaat om de toetsingswaarden te bepalen of dat er dient overgegaan te worden tot numerieke modellering. Een numeriek model wordt gemaakt wanneer het conceptueel model, bijv. omwille van een complexe geologische opbouw of variabele hydrodynamische condities niet zou toelaten om het gedrag van het aquifersysteem met de nodige vereiste nauwkeurigheid te beschrijven.

Een dergelijk model kan verschillende vormen aannemen, namelijk:

- één of een combinatie van meerdere analytische formules;
- softwarematig, i.e. de systeembepalende parameters worden ingebracht in een numerieke code (Modflow, Aqua, ...).

Code of model

Er wordt in de literatuur gesproken over codes en modellen. De code van een berekeningstoepassing is het programma dat opgesteld werd waarmee de berekeningen uitgevoerd worden. Voor de meeste hedendaags uitgevoerde berekeningen wordt deze code echter in een hulpprogramma opgenomen zodat het voor de gebruiker eenvoudiger wordt om de input en output te behandelen. Deze combinatie kan men verder definiëren als software, tool of 'model'.

Het is aan de deskundige om na te gaan en te motiveren welke code het best gebruikt kan worden om de modelstudie uit te voeren, rekening houdende met site-specifieke kenmerken en gegevens.

7.2.2 Doorstroomschema

De opbouw van een numeriek model is niet nodig indien het hydrogeologisch conceptueel model voldoende duidelijk is en de interactie tussen groeve en omgeving voldoende gekend en beschreven is (metingen). Bij een complexere situatie kan een numeriek model een meerwaarde zijn voor het conceptueel model, echter op voorwaarde dat voldoende metingen en gegevens voorhanden zijn.

Een hulp bij het bepalen van de keuze of er al dan niet een numeriek model uitgewerkt wordt kan vastgesteld worden in de vorm van het doorstroomschema gegeven in Figuur 1 en een beslissingsboom (Figuur 3).

7.2.3 Enkele aandachtspunten bij de uitvoering van een numerieke modelstudie

7.2.3.1 Criteria voor uitvoering van een numeriek modelstudie

Om aan te geven of een conceptueel model de mogelijkheid biedt om de hydrogeologie in die mate te beschrijven dat er karakterisatie van het risico voor de receptoren mogelijk wordt moet er minstens met de volgende criteria rekening gehouden worden:

- de omvang van de groeve;
- de aard van de opvulling (gedeeltelijk of volledig);
- aanwezigheid van meerdere groeven die elkaar beïnvloeden;
- interactie poriënwater groeve – grondwater;
- complexiteit van de geologische opbouw.

Naast het uitvoeren van een hydrodynamische studie, waarbij de grondwaterstroming wordt berekend, kunnen tevens transportberekeningen uitgevoerd worden. Dergelijke berekeningen zijn, in het kader van de onderhavige studie, echter enkel noodzakelijk indien een verfijning van het transport naar een receptor noodzakelijk zou zijn. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn indien de situatie zeer complex is, of de resultaten van de 1 dimensionale berekening te conservatief zouden blijken en er bijkomende informatie betreffende het transport nodig is om dit te verfijnen.

7.2.3.2 Doel van de numerieke modelstudie

Alvorens men een modellering uitvoert is het nodig om goed te weten wat men wenst te leren van de modeleringsoefening. Welke vragen wenst men te beantwoorden?

Zal het uitvoeren van de modellering het beste antwoord geven op de te onderzoeken situatie? M.a.w. kan een antwoord op de gestelde vragen of een oplossing voor de problemen ook op een andere wijze bekomen worden? Het mag niet de bedoeling zijn om aan de hand van een model resultaten te produceren die op een eenvoudige wijze en rechtstreeks via terreinmetingen kunnen bekomen worden. Voor het opmaken van een piëzometrische kaart (ter hoogte van het onderzochte terrein) zijn veldmetingen nodig. In dat geval moet er niet overgegaan worden tot het toepassen van een modelstudie maar is het opstellen van een conceptueel model meer dan voldoende.

Indien men wenst over te gaan tot het uitvoeren van een numerieke modelstudie kan best gewerkt worden volgens een aantal stappen:

- Bepaal duidelijk het doel van de modellering, dit zal toelaten om de juiste code te selecteren;
- Ontwerp een “conceptueel model” van het systeem. Hierbij is het van belang de veldsituatie goed te kennen en correcte grensvoorwaarden vast te leggen;
- Selecteer de rekencode die voor de berekening van het probleem zal gebruikt worden;
- Werk het model uit: bepaal invoer- en berekeningsparameters;
- Voer een kalibratie uit rekening houdend met alle meetgegevens;
- Voer indien nodig een sensitiviteitsanalyse uit.

Voor complexe veldsituaties is het aan te raden of zelfs noodzakelijk om een numerieke modellering uit te voeren. Hierbij kan simultaan gewerkt worden met een grondwaterstromingsmodel (=hydrogeologisch model) en een stoffentransportmodel (verspreidingsmodel).

7.2.3.3 Aard van het aangevoerde materiaal

Algemeen mag aangenomen worden dat de kenmerken van een **standaardbodem** representatief en beschermend genoeg zijn voor de berekening van risicogebaseerde toetsingswaarden. Berekeningen van toetsingswaarden gebeuren met de waarden die gelden voor een standaardbodem. De resultaten gelden voor alle aangevoerde grond, tenzij er grote hoeveelheden specifieke gronden aangevoerd zullen worden waarvan de structuurkenmerken beduidend afwijken van een standaardbodem (vb. bij bagger- en ruimingsspecie).

Met betrekking tot het **vochtgehalte**. Wanneer het een groeve betreft waarvan de opvulling boven het grondwater gebeurt mag men ervan uitgaan dat er geen overmaat aan water is in de opvulgrond aangezien deze steekvast en onverzadigd aangeleverd wordt. Uitzondering hierop is de aanlevering van baggerspecie die weliswaar ontwaterd en steekvast aangeleverd moet worden, maar die toch nog steeds oververzadigd is aan water. Dit water zal geleidelijk en tenminste gedeeltelijk vrijkomen tijdens het compactieproces (consolidatieproces).

Wanneer het een groeve betreft, waarvan de volledige **opvulling** voor een groot gedeelte **onder water** gebeurt zal de los gepakte aanvulgrond water opnemen, dat tijdens het compactieproces geleidelijk aan weer vrij gegeven wordt.

Belangrijke variabelen waarmee rekening gehouden moet worden zijn:

- Welk opvulmateriaal wordt gebruikt? De aard van het opvulmateriaal is niet alleen bepalend voor de uiteindelijke permeabiliteit van het vervangend poreus massief, maar geeft ook aan in welke mate het gestort materiaal zal draineren. Er dient dus rekening gehouden te worden met het doel van de opvulling, namelijk, zal opgevuld worden met voornamelijk uitgegraven kleiige bodem, zal opgevuld worden met ontwaterde baggerspecie, ...?
- Hoe kan de ontwatering gebeuren, zijn er bijvoorbeeld draineringsgrachten voorzien?

7.3 Stoftransportmodel en risico-analyse

Aan de hand van een verspreidingsmodellering wordt de evolutie van de concentratie ter hoogte van de receptor bepaald.

Het receptor criterium is de bodemsaneringsnorm (VLAREBO Bijlage 4) of de milieukwaliteitsnorm (VLAREM II bijlage 2.4.1) voor grondwater indien de impact op grondwater of een drinkwaterwinning geëvalueerd wordt. Het receptor criterium is de milieukwaliteitsnorm voor oppervlaktewater (VLAREM II bijlage 2.3.1) indien de impact op oppervlaktewater bepaald wordt. Indien geen milieukwaliteitsnorm voor handen is, wordt getoetst aan de bodemsaneringsnorm voor grondwater.

Als richtlijn voor de uitvoering van een risico evaluatie kan verwezen worden naar de procedure voor de uitvoering van een BBO en kunnen de tools die ontwikkeld werden door de VITO gebruikt worden.

Overige geschikte codes voor verspreidingsberekeningen zijn bijvoorbeeld Modflow-MT3D, Hydrus-1D en Hydrus-2D. Soms moet een combinatie van codes gehanteerd worden zoals in het geval waar de opvulling zich geheel in de onverzadigde zone bevindt, dan kan bijvoorbeeld Hydrus-1D gebruikt worden voor de berekening van uitloging uit de (gelaagde) opvulling naar het grondwater en als invoer gebruikt worden voor het gekozen grondwaterverspreidingsmodel.

Het is aan de deskundige om de voor het te onderzoeken probleem geschikte code te selecteren en toe te passen.

7.4 Interpretatie van de resultaten

Indien de voorspelde maximale grondwaterconcentratie ter hoogte van de receptor binnen een periode van 500 jaar voor minstens één parameter groter is dan de bodemsaneringsnorm voor grondwater of de milieukwaliteitsnorm voor oppervlaktewater, betekent de opvulling een risico voor de receptor.

Indien dit scenario het resultaat is van de berekeningen, dan is het aan de deskundige om na te gaan of er door een specifieke inrichting en/of exploitatie van de groeve deze alsdan nog in aanmerking komt voor het gebruik van uitgegraven bodem die afwijkt van de normen voor vrij gebruik als bodem.

8 RICHTLIJNEN VOOR RAPPORTERING

8.1 Studie ontvangende groeve: inhoud

Het rapport dient de resultaten te geven van de karakterisatiefase, de modelstudie en de risico-analyse. De omschrijving van de benodigde karakteristieken, modelparameters, conceptueel model van de groeve werd in voorgaande hoofdstukken gegeven. Het rapport kan beperkt zijn tot deel 1, maar zal in de meeste gevallen bestaan uit een volledige studie (beide delen).

Deel 1 Karakterisatie van ontvangende groeve en omgeving

- 1.1 Ontginning en huidige groeve
- 1.2 Omgeving en receptoren
- 1.3 Hydrogeologisch conceptueel model
- 1.4 Besluit deel 1

Deel 2 Berekening van de toetsingswaarden en risico-analyse

- 2.1 Karakterisatie van de aangevoerde bodem (standaardbodem, bagger- en ruimingsspecie)
- 2.2 Modelberekeningen
 - Argumentatie keuze conceptueel hydrogeologisch model/1-D berekeningen/numerieke hydrogeologische modellering
 - Bepaling receptoren en grondwatercriteria
 - Argumentatie gekozen modelberekeningen en vermelding van beperkingen
 - Bepaling toetsingswaarden
- 2.3 Risico-analyse
- 2.4 Besluit deel 2

Het rapport moet alle informatie bevatten (of de nodige referenties naar bestaande data) die gebruikt werd bij de verwerking van de gegevens. Daarbij moet ook duidelijk melding gemaakt worden van de software (code) waarvan gebruik gemaakt werd en waarom deze gekozen werd.

Van groot belang zijn de gegevens betreffende de opbouw en de randvoorwaarden die gebruikt werden. Bij gebruik van modelberekeningen moet de wijze waarop de interpretatie en evaluatie van de modelresultaten gebeurt grondig omschreven worden.

De randvoorwaarden die gebruikt werden door de deskundige en die moeten opgegeven worden in het rapport omvatten minstens:

- een zeer goed en duidelijk omschreven conceptueel model van de site (HCM);
- een duidelijke keuze over de modelopbouw en discretisatie (grootte van de gebruikte elementen, aantal lagen, overeenkomst geologische opbouw, ...);
- hydrologische en hydrogeologische karakteristieken (drainage, rivieren, effectieve neerslag, hydraulische geleidbaarheid, dikte van de lagen, porositeiten, ...);
- randvoorwaarden van het te modelleren gebied (vaste potentialen , flux-grenzen, ...);

- toestand waarvoor er gemodelleerd wordt: meestal is een tijdsafhankelijke (“steady state”) berekening voldoende;
- alle overige relevante basisparameters nodig voor de uitvoering van de studie.

Bij de evaluatie van de modelresultaten worden de resultaten van het model getoetst aan de terreintoestand. Daarbij worden de gemeten en berekende waarden geïnterpreteerd en vergeleken. De wijze waarop de uiteindelijke validatie van de resultaten uitgevoerd werd dient duidelijk omschreven te worden in het eindrapport.

Zowel de veldmetingen als de berekende gegevens zullen gebruikt worden om de risico's van verspreiding van de stoffen met het grondwater op te maken. In het rapport wordt dan ook duidelijk omschreven welke parameters bepaald werden en hoe deze gemeten of berekend werden. Er wordt ook opgegeven of er voldoende gegevens gekend zijn en waarom deze informatie voldoet om een goede evaluatie op te maken. Ook welke informatie er aan de hand van het model werd bekomen en die niet aan de hand van de veldmetingen kon bepaald of afgeleid worden dient opgegeven te worden. Bij het toepassen van een modellering, gebruik makend van een combinatie van een grondwaterstromingsmodel en een verspreidingsmodel, zal de deskundige een risico evaluatie uitvoeren en rapporteren zoals gebruikelijk is bij de uitvoering van beschrijvende bodemonderzoeken.

8.2 Besluit ten behoeve van de vergunningsaanvraag

Naast de berekende toetsingswaarden en eventuele vertaling ervan naar praktische acceptatiecriteria, kan de studie ontvangende groeve ook besluiten met een voorstel voor bijzondere milieuvergunningsvoorwaarden die mee kunnen opgenomen worden in de milieuvergunning.

8.2.1 Toetsingswaarden en acceptatiecriteria

De in de studie berekende of afgeleide toetsingswaarden zijn absolute concentraties die, afzonderlijk voor elke bestudeerde parameter, óf gelijk zijn aan de waarden voor vrij gebruik, óf overeenkomen met de maximaal toegelaten concentratie volgens de nabestemming (80% of 100% BSN-III), óf gesitueerd zijn tussen beide.

Deze parameter afhankelijke absolute toetsingswaarden kunnen in de praktijk neerkomen op een tijdrovende controle van de technische rapporten die horen bij de aangeboden partijen grond. Het is aan de bodemsaneringsdeskundige om gefundeerd en geargumenteed desgewenst een voorstel te doen om de absolute parameter afhankelijke toetsingswaarden te vertalen naar praktische richtlijnen o.v.v. procentuele waarden van de bodemsaneringsnorm type I, II of III, en dit liefst per stofgroep.

8.2.2 Voorstel bijzondere milieuvergunningsvoorwaarden

8.2.2.1 Voorwaarden m.b.t. de aard (structuurparameters) van de aangevoerde bodem

Bij de evaluatie van vergunningsaanvragen worden voor een gekende groeve de voorwaarden bepaald waaraan opvulgrond moet voldoen. Bij het bepalen van voorwaarden voor opvulgrond voor een gekende groeve zijn de karakteristieken van deze opvulgrond echter niet bij voorbaat gekend. Er wordt in de studie ontvangende groeve geen rekening gehouden met een variatie aan bodemkarakteristieken die de opvulgrond kan hebben. De berekeningen worden uitgevoerd voor een standaardbodem die, overeenkomstig de 'databank grondverzet' en ervaring bij het opvullen van groeven en graverijen representatief is voor de grootste hoeveelheid van het opvulmateriaal. Uiteraard dienen de aangevoerde bodems individueel getoetst te worden,

rekening houdend met hun specifieke structuurkenmerken, overeenkomstig de bepalingen voor de opmaak van een technisch verslag.

Het is toegestaan om gronden aan te voeren die niet noodzakelijk overeenkomen met de structuurkenmerken en pH van een standaardbodem, tenzij uitdrukkelijk vermeld is in de studie van de ontvangende groeve dat de aangevoerde bodems specifieke kenmerken zullen hebben (vb. bagger- en ruimingsspecie).

In uitzonderlijke gevallen kan een opvulling enkel dienen voor bijvoorbeeld bagger- en ruimingsspecie of gronden die van specifieke regio's afkomstig zijn en waarvoor geen andere toepassing gevonden wordt. Deze informatie dient in de studie opgenomen te zijn en kan gebruikt worden als bijzondere voorwaarde in de milieuvergunning.

8.2.2.2 Voorwaarden m.b.t. de kwaliteit van de aangevoerde grond

In de vergunningsaanvraag worden als acceptatiecriteria geen absolute waarden, maar procentuele waarden van de bodemsaneringsnorm voor terreinen met bestemmingstype III voorgesteld. Deze acceptatiecriteria komen overeen met de berekende toetsingswaarden.

In sommige gevallen kunnen de berekende toetsingswaarden vertaald worden naar praktische richtlijnen (bijvoorbeeld volgens stofgroep in plaats van per parameter).

De bepaling van de kwaliteit van de aan te voeren grond gebeurt per staal en rekening houdend met de bijhorende gemeten structuurparameters. In het technisch verslag gebeurt de toetsing aan een waaier van normen, o.m. ook deze voor vrij gebruik, 80% en 100% BSN-III en de voorwaarden voor bouwkundig bodemgebruik.

De aangevoerde grond dient bijkomend getoetst te worden aan de acceptatiecriteria van de groeve.

Bij de vergunningsaanvraag kan een stapsgewijze opvulling voorgesteld worden, rekening houdend met bijvoorbeeld het opvullen met een eerste laag bodem die voldoet aan de kwaliteit voor vrij gebruik als bodem en vervolgens het verder opvullen met bodem waarvan de kwaliteit voldoet aan de berekende toetsingswaarden. Deze stapsgewijze opvulling kan vertaald worden naar een voorstel van gefaseerd werkplan en in criteria bij de start van een volgende fase die deel kunnen uitmaken van bijzondere milieuvergunningsvoorwaarden.

Hoe de partijafbakening (indien verschillende kwaliteiten van opvulgronden in de groeve worden gebruikt) op terrein moet worden uitgevoerd/geregistreerd, wordt vermeld (handhaafbaarheid) of duidelijk omschreven in het aangehaalde werkplan (en concreet afgebakend op een plan). De ervaring leert dat gedurende de periode van een opvulling er vaak omstandigheden wijzigen. Een update van het werkplan (indien hiervoor wordt gekozen in de bijzondere voorwaarden van de milieuvergunning) in dergelijke gevallen is wellicht aangewezen.

Bij afwijking van de pH van de aangevoerde grond (<3 of >9) dient bijkomend de uitloging van zware metalen bepaald te worden en dient voldaan te worden aan bijlage VII van het VLAREBO, tenzij:

- de concentraties aan zware metalen kleiner zijn dan de norm voor vrij gebruik als bodem;
- van nature gelijkaardige afwijkende pH-waarden in de ondergrond van de groeve voorkomen;
- dezelfde zware metalen aanwezig zijn in de aangerijkte bodem zoals van nature voorkomen in de groeve en dit in dezelfde grootteorde van concentraties, zelfs indien deze hoger zouden zijn dan de berekende toetsingswaarden en voor zover dit vermeld is in de milieuvergunning.

8.2.2.3 Voorwaarden m.b.t. de omgeving

Het kan aangewezen zijn om, zeker in het geval van een groeve in contact met een goed watervoerende aquifer, voorwaarden met betrekking tot monitoring van het grondwater te voorzien.

Zowel voorstellen voor de monitoring als de concrete registratie ervan zijn van belang zodat zowel de exploitant als de (toezichthoudende) overheid een goed overzicht behoudt van de opvulling en zijn mogelijke gevolgen. Voorstellen i.v.m. monitoring van de stabiliteit van de opvulling (al dan niet gekoppeld aan de grondwaterstand), waterbalans,...kunnen ook in deze studie worden opgenomen.

9 REFERENTIES

Bear, J. (1979). Hydraulics of Groundwater, McGraw-Hill, New York, 569pp.

Domenico, P.A. and F.W. Schwartz (1990). Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York, 824pp.

CMA1/A.1, 2012. Compendium voor monsterneming en analyse (CMA) - Staalname van het vaste deel van de aarde, versie 2012, Ministerieel besluit van 19 februari 2013 en B.S. van 13 maart 2013. 43 pp.

CMA1/A.2, 2012. Compendium voor monsterneming en analyse (CMA) - Grondwater, versie 2012, Ministerieel besluit van 19 februari 2013 en B.S. van 13 maart 2013. 39 pp.

Morris, D.A. and A.I. Johnson (1967). Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1839-D, 42pp.

OVAM (2005). Bepaling van risico's door uitloging en beschrijving evolutie van de bodemkwaliteit - Deel 1: Opstellen methodiek. 154pp.

OVAM (2005). Bepaling van risico's door uitloging en beschrijving evolutie van de bodemkwaliteit - Deel 2: handleiding uitloging. 73pp.

OVAM (2008). Leidraad bij grondverzet. 57pp.

OVAM (2008). Standaardprocedure Studie van de ontvangende grond. 50pp.

OVAM (2012). Standaardprocedure voor de opmaak van een technisch verslag. 27pp.

OVAM (2013). Methode attenuatiefactoren

Smolders, E., Degryse, F., De Brouwere, K., Van Den Brande, K., Cornelis, C., Seuntjens, P. (2000). Bepaling van veldgemeten verdelingsfactoren van zware metalen bij bodemverontreiniging in Vlaanderen. Rapport in opdracht van OVAM.

Suthersan, S.S. (1996). Remediation Engineering. Lewis Publishers Inc., 384pp.

Todd, D.K. (1980). Groundwater Hydrology, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 535pp.

VITO (2004). Best beschikbare technieken voor de ontginning van zand, grind, leem en klei. Studie uitgevoerd door het Vlaams kenniscentrum voor Best Beschikbare Technieken in opdracht van het Vlaamse Gewest. 159pp.

VMM (2006). Grondwaterbeheer in Vlaanderen - het onzichtbare water doorgrond, 16pp.