

Eindrapport

Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest – versie 2

G3Dv2

Johan Matthijs, Timothy Lanckacker, Roel De Koninck, Jef Deckers, David Lagrou en Matsen Broothaers

Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen.



2013/R/ETE/43

September 2013



VERSPREIDINGSLIJST

ALBON: 2 exemplaren
VITO: 2 exemplaren
BGD: 1 exemplaar

INHOUD

Inhoud	I
Lijst van figuren en tabellen	II
Lijst van afkortingen	III
HOOFDSTUK 1. Inleiding	1
HOOFDSTUK 2. Gemodelleerde eenheden	2
2.1. <i>Gemodelleerde hoofdeenheden</i>	2
2.1.1. DEM-VLAKE	2
2.1.2. Gemodelleerde eenheden in het Quartair	2
2.1.3. Gemodelleerde eenheden in het Neogeen en Paleogeen	3
2.1.4. Gemodelleerde eenheden in het Krijt	4
2.1.5. Gemodelleerde eenheden in het Jura-Trias-Perm	5
2.1.6. Gemodelleerde eenheden in het Carboon	5
2.1.7. Model van het Devoon	5
2.1.8. model van de top van het Siluur, Ordovicium, Cambrium	5
2.2. <i>Overzicht</i>	6
HOOFDSTUK 3. Opbouw van het model	8
3.1. <i>Gebruikte gegevens - Boringen</i>	8
3.2. <i>Gebruikte gegevens - Seismiek</i>	8
3.3. <i>Gebruikte geologische concepten</i>	9
3.3.1. De breuken	10
3.3.2. Het paleoreliëf	11
3.3.3. Erosieve en tabulaire lagen in het Neogeen/Paleogeen	12
3.4. <i>Verwerking en modelleren van de gegevens</i>	12
3.4.1. Verwerking en modellering voornamelijk op basis van boorgegevens	13
3.4.2. Verwerking en modellering voornamelijk op basis van seismische gegevens	16
3.4.3. Verwerking en modellering voornamelijk op basis van kaartmateriaal	18
HOOFDSTUK 4. Gebruik van het model	19
Literatuurlijst	20

LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN

→ Lijst van figuren

- Figuur 1. Geologisch profiel ter verduidelijking van het verschil tussen tabulaire (onderaan) en niet-tabulaire (bovenaan) gemodelleerde lagen zoals gedefinieerd in dit rapport. _____ 3
- Figuur 2. De indeling van het Krijt, zoals deze gebruikt werd in het 3D lagenmodel. _____ 5
- Figuur 3. Afhankelijk van de laag waarop men focust, zal de positie van de breuk aan het aardoppervlak verschillen. Hier geeft de linker stippellijn de positie van de breuk ter hoogte van de basis van de Formatie van Boom weer. In dit geval dient de projectie van de breuk dus naar het westen (links) opgeschoven te worden in vergelijking met de positie aan de top van het Krijt. _____ 11
- Figuur 4. Het paleoreliëf aan de top van de sokkel op kaartblad Brussel-Nijvel (Buffel en Matthijs, 2009) _____ 12
- Figuur 5. Het combinatiebestand van de geologische kennis in verband met de relatieve dikte van het Quartair. _____ 14
- Figuur 6. Ligging van seismische campagnes van 1984 (blauwe lijnen) en 2007 (groen gebied). De bruine lijn wordt gevormd door de grensbreuken van de Roerdalslenk met in het zuiden het breukblok afgelijnd door de Rotem en Neeroeteren breuken. Dit is tevens de grens van het op basis van seismiek gemodelleerde gebied. De locatie van boring Molenbeersel (MLB, kb18d49w-B226) is aangegeven met een zwarte stip. _____ 17

→ Lijst van tabellen

- Tabel 1 Gemodelleerde geologische laagvlakken _____ 6

LIJST VAN AFKORTINGEN

ALBON	Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen
BGD	Belgische Geologische Dienst
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières, de Franse geologische dienst
DOV	Databank Ondergrond Vlaanderen
G3Dv2	Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, versie 2
KS	Kempische Steenkoolmijnen
NGI	Nationaal Geografisch Instituut
TAW	Tweede Algemene Waterpassing, Belgisch referentieniveau voor hoogtemeting
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
VLAKO	Vlaams Kenniscentrum voor de Ondergrond
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

In 2007 werd, in samenspraak met VITO, door de Vlaamse overheid beslist om een eerste 3D geologisch basismodel op te stellen voor de Vlaamse ondergrond. Nooit eerder werd de uitdaging aangegaan om de geologie van de Vlaamse ondergrond als een in elkaar passend geheel te modelleren. Het gaat daarbij over een geologisch model dat de belangrijkste lithostratigrafische grensvlakken uit de Vlaamse ondergrond weergeeft. Het onderste gemodelleerde vlak wordt gevormd door de top van de Sokkel (dit zijn de Vroeg-Paleozoïsche en oudere gesteenten die het Massief van Brabant opbouwen), terwijl het bovenste gemodelleerd vlak voor iedereen zeer vertrouwd is, namelijk de natuurlijke topografie oftewel het maaiveld, die het reliëf aan het oppervlak van de aarde met zo weinig mogelijk menselijke ingrepen weergeeft. Daar tussenin worden ook de belangrijkste vlakken (van boven naar onder) uit het Quartair, het Neogeen, het Paleogeen, het Krijt, het Jura, het Trias, het Perm en het Carboon gemodelleerd.

De modellering werd uitgevoerd op basis van de alfanumerieke en ruimtelijke data beschikbaar in DOV, de Databank Ondergrond Vlaanderen (<https://dov.vlaanderen.be>), aangevuld met data uit verschillende andere archieven, zoals de databanken van de Belgische Geologische Dienst (BGD) en VITO zelf. Ook andere beschikbare wetenschappelijke kennis werd in het model meegenomen, zoals talrijke wetenschappelijke artikels die over deze geologische afzettingen gedurende de voorbije twee eeuwen geschreven werden, maar daarnaast bijvoorbeeld ook nieuwe kennis afkomstig van seismische campagnes uit de laatste decennia.

Het 3D model dat uit deze data geconstrueerd werd, tracht een zo volledig mogelijk overzicht te geven van de geologie op eender welke locatie in Vlaanderen. Dit maakt het tot een handige samenvatting van de geologische kennis die doorheen de afgelopen eeuwen over Vlaanderen werd verzameld.

HOOFDSTUK 2. GEMODELLEERDE EENHEDEN

2.1. GEMODELLEERDE HOOFDEENHEDEN

Het geologisch 3D model is in feite een verzameling van verschillende vlakken die de basis van telkens een andere geologische eenheid weergeven. Deze basisvlakken, rasters, zijn opgebouwd uit vierkante cellen van 100m bij 100m waaraan per cel een bepaalde hoogte toegekend is. Door al die cellen aan elkaar te koppelen wordt een vlak verkregen dat de basis van een bepaalde geologische laag in het computermodel weergeeft. De vorm en oriëntatie van dit vlak kan enerzijds in een 'plat' xy-vlak weergegeven worden (bijvoorbeeld op papier) met behulp van kleurschakeringen die aangeven hoe diep (z-waarde) het vlak zich op een bepaalde plaats bevindt. Door de diepte-informatie die het vlak bevat, kan het eveneens in 3D weergegeven worden.

Bij de opbouw van het 3D model werd voor volgende hoofdeenheden een basisvlak, een raster dus, geconstrueerd: de natuurlijke topografie, het Quartair, de formaties binnen het Neogeen, het Paleogeen, het Krijt, het Carboon en het Devoon. Voor het trio Jura-Trias-Perm werd één doorlopend basisvlak getekend, waarbij dat basisvlak afwisselend de basis van het Jura, Trias dan wel het Perm voorstelt. Voor de Sokkel, namelijk het Siluur, Ordovicium en Cambrium, werd geen basisvlak getekend, maar is er wel een topvlak gemodelleerd.

2.1.1. DEM-VLAKE

Het bovenste vlak van het 3D model wordt opgebouwd uit het 3D-vlak dat het maaiveld, het aardoppervlak, de topografie weergeeft. In dit 3D model werd er voor gekozen om een topografisch model op te bouwen dat zo dicht mogelijk de oorspronkelijke geologische werkelijkheid benadert, dit wil zeggen zonder de aanwezigheid van menselijke ingrepen zoals ophogingen of uitgravingen in havens, groeves, terrils, enzoverder.

Bij de constructie van het model van de topografie werd gebruik gemaakt van (de vectorbestanden van) de hoogtelijnen van de topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het NGI. Dat bleek immers de beste wijze om het topografisch oppervlak te kunnen reconstrueren omdat enerzijds de data voor een groot deel van Vlaanderen direct beschikbaar waren en anderzijds het verwerken van de data relatief eenvoudig en op een eenduidige manier kon gebeuren, wat resulteerde in een homogeen eindproduct. Daarnaast had deze manier van werken het bijkomend voordeel dat er weinig artefacten aanwezig waren in deze hoogtelijnen en vooral dat er op deze manier een rechtstreekse link bleef tussen DOV en het reliëf (aangezien de maaiveldhoogte van de DOV boringen op basis van de hoogtelijnen van deze kaarten is vastgelegd). Voor meer detail over de modellering van de topografie wordt verwezen naar het VITO-rapport Matthijs, 2010.

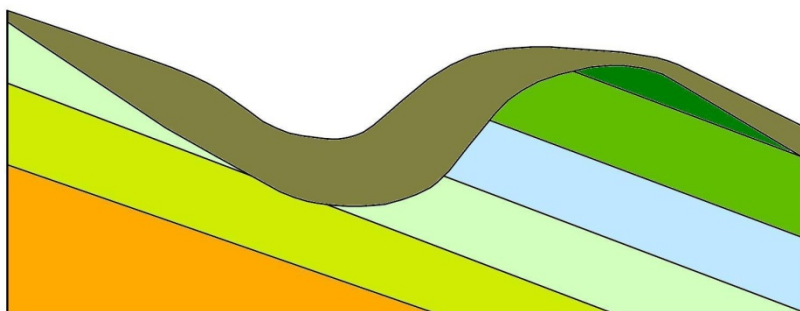
2.1.2. GEMODELLEERDE EENHEDEN IN HET QUARTAIR

Het Quartair is opgebouwd uit afzettingen die sterk kunnen verschillen, zowel wat betreft wijze van afzetten, opbouw als lithologie. Binnen deze heterogene sedimenten kan er evenwel een onderscheid gemaakt worden tussen tabulair afgezette pakketten en niet-tabulair afgezette sedimenten (zie Figuur 1). Deze laatste groep maakt het overgrote deel van de Quartaire afzettingen uit in Vlaanderen. In het noorden van de provincie Antwerpen komen onder deze niet-

tabulaire afzettingen echter nog andere Quartaire afzettingen voor die qua opbouw meer gelijkenissen vertonen met sedimenten uit het Neogeen en Paleogeen. Er werd daarom geopteerd om de tabulaire afzettingen apart te modelleren van de niet-tabulaire Quartaire afzettingen.

De niet-tabulaire afzettingen van het Quartair in Vlaanderen zijn afgezet na het Gelasiaan (de oudste periode van het Quartair). Dit type Quartaire afzettingen komt nagenoeg over heel Vlaanderen voor. De afzettingen uit deze periode zijn qua opbouw fundamenteel verschillend van de oudere afzettingen. De oudere, tabulaire afzettingen hebben veeleer een vlakke basis. De jongste, niet-tabulaire afzettingen hebben een sterk in hoogte veranderend basisvlak, dat bepaald is door het reeds vooraf bestaand reliëf dat ze bedekken. Voor deze afzettingen werd een andere manier van modelleren gehanteerd. Dit resulteerde in één gemodelleerd basisvlak van het Quartair exclusief de formaties van Weelde, Malle en Merksplas. Bij de modellering van dit basisvlak van het niet-tabulaire Quartair werd gewerkt met isopachenkaarten en bijhorende dikterasters die onder het DEM-VLAKO model van de topografie werden geplakt. De isopachenkaarten werden bekomen door een 'geleide' interpolatie van boordata, dit wil zeggen dat bij de interpolatie werd rekening gehouden met de bestaande kennis over een aantal geologische relaties, waardoor een geologisch verantwoord isopachenmodel ontstaat. Voor meer info omtrent de modelleringswijze van dit niet-tabulair Quartair wordt verwezen naar VITO-rapport Matthijs, 2011.

De tabulaire afzettingen in het noorden van de provincie Antwerpen, afgezet tijdens en kort na de overgangperiode tussen het Neogeen en het Quartair kunnen op hun beurt in 3 formaties ingedeeld worden (Bogemans, 2005a en 2005b). Deze 3 formaties (Formatie van Weelde, Formatie van Malle en Formatie van Merksplas) werden afzonderlijk gemodelleerd. Meer info omtrent de modellering van deze pakketten is terug te vinden in VITO-rapport De Koninck et al., 2012.



Figuur 1. Geologisch profiel ter verduidelijking van het verschil tussen tabulaire (onderaan) en niet-tabulaire (bovenaan) gemodelleerde lagen zoals gedefinieerd in dit rapport.

2.1.3. GEMODELLEERDE EENHEDEN IN HET NEOGEEN EN PALEOGEEN

Ook het Neogeen en Paleogeen werden verder onderverdeeld tot op formatieniveau. Omdat bepaalde formaties elkaars lateraal equivalent vormen, werden deze formaties samen gemodelleerd en werd hun basis als één doorlopend vlak gekarteerd. Dit resulteerde in volgende gemodelleerde vlakken:

- het basisvlak van de equivalente Formaties van Lillo, Poederlee, Mol en Kiezeloöliet
- het basisvlak van de equivalente Formaties van Kattendijk en Kasterlee
- het basisvlak van de Formatie van Diest
- het basisvlak van de equivalente Formaties van Berchem en Bolderberg
- het basisvlak van de Formatie van Voort
- de Formatie van Eigenbilzen

- de Formatie van Boom
- de Formatie van Bilzen
- de Formatie van Borgloon
- het basisvlak van de equivalente Formaties van Zelzate en Sint-Huibrechts-Hern
- het basisvlak van de Formatie van Maldegem
- de Formatie van Lede
- de Formatie van Brussel
- de Formatie van Aalter
- de Formatie van Gentbrugge
- de Formatie van Tielt
- de Formatie van Kortrijk
- de Formatie van Tienen
- de Formatie van Hannut
- de Formatie van Heers
- de Formatie van Opglabbeek
- en de Formatie van Houthem.

Meer details over de gekarteerde formaties uit het Neogeen en Paleogeen zijn terug te vinden in VITO-rapporten Lanckacker, 2010; De Koninck et al., 2011 en 2012; Broothaers et al., 2012; Deckers et al., 2013. De Formatie van Houthem werd, wegens lithologische gelijkenissen, samen met het Krijt gekarteerd. Voor meer details over deze formatie wordt dan ook naar de rapporten over het Krijt doorverwezen (Matthijs & Lagrou, 2007 en 2010).

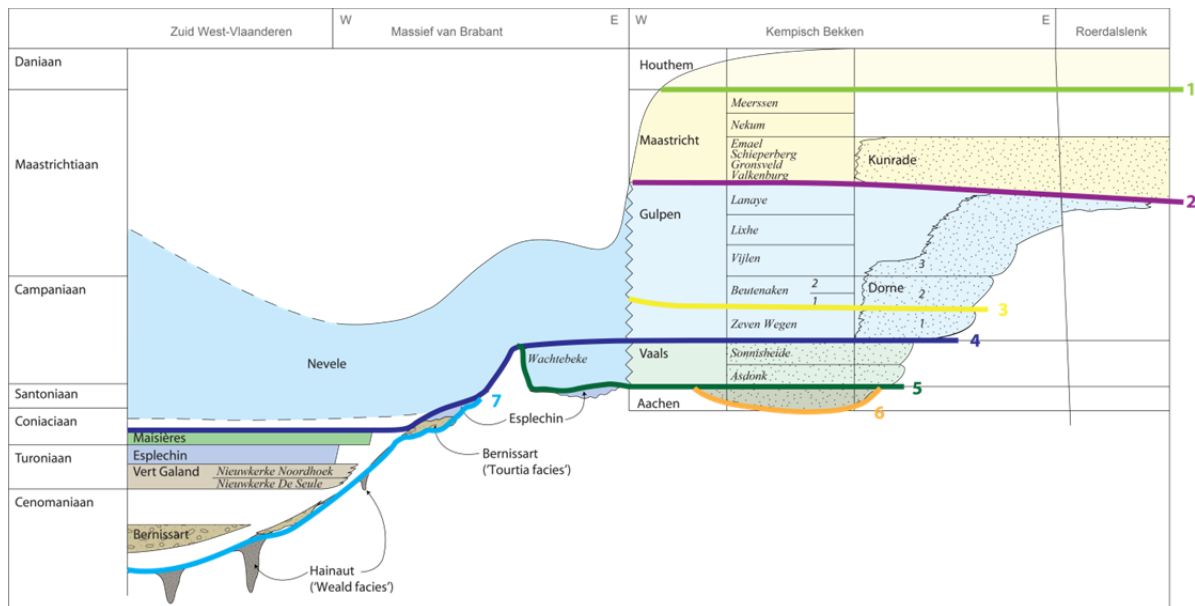
2.1.4. GEMODELLEERDE EENHEDEN IN HET KRIJT

Het Krijt werd eveneens verder ingedeeld. De opbouw van de sedimenten uit het Krijt is vrij complex en bovendien werd tijdens de modellering – na aftoetsing met de Nationale Commissie voor Stratigrafie – een nieuwe indeling voor het Krijt aangehouden. Deze nieuwe indeling wijkt gedeeltelijk af van de klassieke indeling, met name het invoeren van de Formatie van Nevele in het westen en het centrum van het land is hierbij belangrijk. Voor een duidelijk overzicht wordt verwezen naar Figuur 2. Verder kunnen voor meer details ook de VITO-rapporten Matthijs & Lagrou, 2007 en 2010 geraadpleegd worden.

Het Krijt werd grotendeels ingedeeld tot op het niveau van de formaties. Dit resulteerde in de gemodelleerde basislagen, van boven naar onder:

1. de Formatie van Houthem (eigenlijk nog Paleogeen, maar werd samen met het Krijt gemodelleerd)
2. de Formatie van Maastricht en de equivalente Kunrade Formatie
3. de Formatie van Gulpen (exclusief het Lid van Zeven Wegen) en de equivalente Formatie van Dorne (exclusief het Lid “Dorne 1”)
4. de Leden van Zeven Wegen en “Dorne 1” en het equivalente deel van de Formatie van Nevele
5. de basis van de Formatie van Nevele en het equivalente basispakket van de Formatie van Vaals
6. en eindigend bij het basisvlak van de Formatie van Aken.
7. In het zuiden van West-Vlaanderen werden bovendien ook nog de basisvlakken van de bij het Bekken van Mons horende Formaties van Maisières, Esplechin, Vert Galand en Bernissart gemodelleerd.

Voor meer details betreffende de modellering van het Krijt wordt verwezen naar VITO-rapport Matthijs en Lagrou, 2010.



Figuur 2. De indeling van het Krijt, zoals deze gebruikt werd in het 3D lagenmodel.

2.1.5. GEMODELLEERDE EENHEDEN IN HET JURA-TRIAS-PERM

De basis van Perm-Trias-Jura werd als 1 vlak gekarteerd. Meer informatie omtrent het modelleren van deze pakketten is terug te vinden in VITO-rapport Matthijs, 2008.

2.1.6. GEMODELLEERDE EENHEDEN IN HET CARBOON

In het Carboon werden 3 onderverdelingen gekarteerd: de basis van het Westfaliaan, de basis van het Namuriaan en de basis van het Dinantiaan. Hoewel het Carboon in de Roerdalslenk wel aanwezig is, werd het er toch niet gemodelleerd. Dit is eveneens het geval in de Vlaamse Voerstreek en ten noorden van de breuk van Hoogstraten. Door de grote diepte waarop het Paleozoïcum voorkomt in de Roerdalslenk is er te weinig data voorhanden om een degelijk model op te stellen. De geologie van de Vlaamse Voerstreek is structureel zeer complex en er is weinig data beschikbaar in de regio. Het Paleozoïcum in deze regio werd dan ook niet gemodelleerd. Over het Paleozoïcum in de regio ten noorden van de breuk van Hoogstraten is weinig bekend. Ook omtrent de breuk van Hoogstraten zelf bestaat nog de nodige onduidelijkheid. Ten noorden van deze breuk werd het Paleozoïcum om deze reden niet gemodelleerd. Meer details over de modellering van het Carboon kan teruggevonden worden in VITO-rapport Matthijs, 2008.

2.1.7. MODEL VAN HET DEVOON

Binnen het Devoon werd geen opdeling gemaakt binnen het model, enkel de basis ervan werd in kaart gebracht. Het Devoon werd niet gemodelleerd in de Vlaamse Voerstreek, in de Roerdalslenk en ten noorden van de breuk van Hoogstraten. Voor meer details over hoe dit werd uitgewerkt wordt verwezen naar VITO-rapport Matthijs, 2008.

2.1.8. MODEL VAN DE TOP VAN HET SILUUR, ORDOVICIUM, CAMBRIUM

Voor de afzettingen uit het Siluur, Ordovicium en Cambrium werd enkel een samengesteld topvlak aangemaakt. Dit gebeurt op basis van het combineren van de basissen van de onmiddellijk bovenliggende lithostratigrafische eenheden. In de praktijk is dit een combinatie van de basis van het Paleogeen centraal op het Brabant Massief, de basis van het Krijt op de flanken van dit Brabant Massief en de basis van het Devoon in het Bekken van de Kempen en in het zuiden van West-Vlaanderen. De top van de Sokkel is niet beschikbaar ten noorden van de breuk van Hoogstraten, in de Roerdalslenk en in de Vlaamse Voerstreek omdat de nodige modellen in die regio's niet werden aangemaakt.

2.2. OVERZICHT

In onderstaande Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de geologische laagvlakken die bij de opbouw van het 3D lagenmodel werden geconstrueerd.

Tabel 1 Gemodelleerde geologische laagvlakken

Periode	Naamgeving	Gemodelleerde geologische eenheid (basisvlak, tenzij anders vermeld)	Rapport
Quartair	00DEM	Topografie	Matthijs, 2010
	01Q	Quartair (exclusief de Formaties van Weelde, Malle en Merksplas)	Matthijs, 2011
	0101Q_We	Formatie van Weelde	De Koninck et al., 2012
	0102Q_Ma	Formatie van Malle	De Koninck et al., 2012
Neogeen	0103Q_Me	Formatie van Merksplas	De Koninck et al., 2012
	0201NE_Li_Pd_MI_Kz	Formatie van Lillo, Formatie van Poederlee, Formatie van Mol en Kiezeloöliet Formatie	De Koninck et al., 2011; Broothaers et al., 2012
	0202NE_Kd_KI	Formatie van Kattendijk, Formatie van Kasterlee	De Koninck et al., 2011; Broothaers et al., 2012
	0203NE_Di	Formatie van Diest	De Koninck et al., 2011; Broothaers et al., 2012
Paleogeen	0204NE_Bc_Bb	Formatie van Berchem, Formatie van Bolderberg	De Koninck et al., 2011; Broothaers et al., 2012
	0301PA_Vo	Formatie van Voort	De Koninck et al., 2011; Broothaers et al., 2012
	0302PA_Eg	Formatie van Eigenbilzen	Broothaers et al., 2012; Deckers et al., 2013
	0303PA_Bm	Formatie van Boom	Lanckacker, 2010; Broothaers et al., 2012
	0304PA_Bi	Formatie van Bilzen	Lanckacker, 2010; Broothaers et al., 2012
	0305PA_Bo	Formatie van Borgloon	Deckers et al., 2013
	0306PA_Zz_Sh	Formatie van Zelzate, Formatie van Sint-Huibrechts-Hern	Broothaers et al., 2012; Deckers et al., 2013
	0307PA_Ma	Formatie van Maldegem	De Koninck et al., 2012
	0308PA_Ld	Formatie van Lede	De Koninck et al., 2011
	0309PA_Br	Formatie van Brussel	De Koninck et al., 2012
	0310PA_Aa	Formatie van Aalter	De Koninck et al., 2012
	0311PA_Ge	Formatie van Gentbrugge	De Koninck et al., 2012
	0312PA_Tt	Formatie van Tielt	De Koninck et al., 2012
	0313PA_Ko	Formatie van Kortrijk	De Koninck et al., 2012
	0314PA_Ti	Formatie van Tienen	Deckers et al., 2013
	0315PA_Hn	Formatie van Hannut	De Koninck et al., 2012; Broothaers et al., 2012
	0316PA_Hs	Formatie van Heers	De Koninck et al., 2011; Broothaers et al., 2012
	0317PA_Op	Formatie van Opglabbeek	De Koninck et al., 2011; Broothaers et al., 2012
	0318PA_Ho	Formatie van Houthem	Matthijs & Lagrou, 2010

Periode	Naamgeving	Gemodelleerde geologische eenheid (basisvlak, tenzij anders vermeld)	Rapport
Krijt	0401KR_Ma_Ku	Formatie van Maastricht, Formatie van Kunrade	Matthijs & Lagrou, 2010
	0402KR_GuBe_Do2	Formatie van Gulpen (exclusief Lid van Zeven Wegen), Formatie van Dorne (exclusief "Dorne 1")	Matthijs & Lagrou, 2010
	0403KR_NeSt_GuZe_Do1	Formatie van Nevele (Lid van Stekene), Formatie van Gulpen (Lid van Zeven Wegen), Formatie van Dorne ("Dorne 1")	Matthijs & Lagrou, 2010
	0404KR_NeWa_Va	Formatie van Nevele (Lid van Wachtebeke), Formatie van Vaals	Matthijs & Lagrou, 2010
	0405KR_Ak	Formatie van Aken	Matthijs & Lagrou, 2010
	0406KR_Ms_Es_Vg_Be	Formatie van Maisières, Formatie van Esplechin, Formatie van Vert Galand en Formatie van Bernissart	Matthijs & Lagrou, 2010
Jura, Trias, Perm	05JU_06TR_07PE	Jura, Trias, Perm	Matthijs, 2008
Carboon	0801CA_We	Westfaliaan	Matthijs, 2008
	0802CA_Na	Namuriaan	Matthijs, 2008
	0803CA_Di	Dinantiaan	Matthijs, 2008
Devoon	09DE	Devoon	Matthijs, 2008
Siluur, Ordovicium, Cambrium	10SI_11OR_12CM	Top Sokkel	Matthijs, 2008

HOOFDSTUK 3. OPBOUW VAN HET MODEL

3.1. GEBRUIKTE GEGEVENS - BORINGEN

Voor de opbouw van het geologisch 3D datamodel waren verschillende soorten data beschikbaar. Puntdata, zoals boringen en boorgatmetingen zijn veruit de grootste databron bij het opstellen van het model. Ze geven rechtstreeks informatie over de geologische opbouw op een bepaalde plaats. De data van de boringen, steeds vergezeld van een boorbeschrijving, zijn aanwezig over de gehele oppervlakte van Vlaanderen. Bovendien is de spreiding van deze data redelijk gelijkmatig, al is er natuurlijk een belangrijke concentratie van boorbeschrijvingen in en rond de grotere steden. Door de grote hoeveelheid beschikbare data konden deze boorbeschrijvingen meteen zorgen voor een vrij snelle inschatting van de aard en de positie van het te modelleren 3D basisvlak. Desalniettemin zijn in de totale dataset de boorgatmetingen bij de opbouw van het 3D model uiteindelijk minstens even waardevol gebleken als de boorbeschrijvingen. Boorgatmetingen zijn opnames die uitgevoerd worden door een meetinstrument dat men laat zakken in het boorgat. Het betreft continue opnamen van fysische parameters die inzicht geven in de kenmerken van de sedimenten die doorboord werden. Enkele van de meest voorkomende boorgatmetingen zijn de gammastraling, de spontane potentiaal en de resistiviteit. Het gebruik van boorgatmetingen staat een goede correlatie tussen verschillende boringen toe omdat ze meestal nauwkeuriger zijn dan lithologische beschrijvingen. Bovendien vervalt bij boorgatmetingen gedeeltelijk de persoonlijke interpretatie van de observator, daar er gewerkt wordt met gestandaardiseerde meetinstrumenten. Kwalitatief gezien zijn de gemeten signalen tussen verschillende boringen eenduidiger te vergelijken, dan de louter lithologische boorbeschrijvingen. Hierdoor worden interpretatieproblemen zoals die bijvoorbeeld voorkomen bij het beschrijven van kleiig zand of zandige klei vermeden. Afhankelijk van de auteur zal immers in bovenstaand geval de op de lithologie gebaseerde interpretatie hiervan verschillen. Bij een boorgatmeting zal die interpretatie daarentegen veel minder persoonsgebonden zijn. De grenzen tussen de formaties zijn bijgevolg exacter aan te duiden. Dit is zeker het geval in vergelijking met de beschrijvingen van spoelboringen, die dikwijls enkel verstoorde gegevens verschaffen over relatief grote intervallen. Als gevolg daarvan werd er aan de boorgatmetingen meer belang gehecht. Zoals reeds aangehaald komen boringen met enkel een boorbeschrijving verspreid over heel Vlaanderen in grote aantallen voor (meer dan 70.000 datapunten). De belangrijkste beperking van deze dataset is dat een heel groot deel van de data slechts tot een geringe diepte in de ondergrond doordringen. Veel boringen bereiken amper de basis van het Quartair, laat staan dat ze enige informatie kunnen verschaffen over het Krijt of nog dieper liggende lagen. Boringen vergezeld van een boorgatmeting komen daarentegen in veel minder grote mate voor in Vlaanderen (zo'n 550, verspreid over gans Vlaanderen), maar hebben over het algemeen wel een grotere diepte. Weliswaar eindigen veel van deze boorgatmetingen reeds in het Paleogeen en het Neogeen, maar een belangrijk aantal dringt toch door tot in het Krijt, enkele ook dieper.

3.2. GEBRUIKTE GEGEVENS - SEISMIEK

Algemeen gesproken kan dan ook opgemerkt worden dat boringen als informatiebron eigenlijk niet volstaan om de diepere geologische lagen van Vlaanderen te kunnen modelleren. Hoewel deze boringen belangrijk blijven als datapunten en om andere data mee te kalibreren, moest het

3D model voor de diepere lagen toch ook in belangrijke mate op andere data gebaseerd worden. Het gaat in dit geval voor de lagen onder het Krijt. Uitzondering hierop is het noordoosten van België, waar er reeds te weinig puntdata voorhanden zijn vanaf het Neogeen. In het noordoosten van Limburg bevindt zich immers de Roerdalslenk, een regio waar als gevolg van breukwerking tot op de dag van vandaag een belangrijke graad van inzakking van de aardkorst wordt vastgesteld (zie Figuur 6). Omdat in die regio te weinig voldoende diepe puntdata voorhanden zijn werd in de regio van de Roerdalslenk veelal gewerkt op basis van seismische interpretaties.

Deze tweede soort data zijn in feite vlakvormige informatiebronnen, die als het ware een dwarsdoorsnede, een profiel bestaand uit geologische grensvlakken, doorheen de ondergrond voorstellen. Het principe van seismiek houdt in dat door het uitzenden van trillingsgolven de indeling van de onderliggende ondergrond in beeld kan worden gebracht. Doordat de ondergrond niet homogeen is opgebouwd, buigen deze uitgezonden trillingsgolven verschillend af op de verscheidene lagen waar ze door heen gaan en wordt per doorsneden laag bovendien een gedeelte van de uitgezonden trillingen terug naar boven gereflecteerd, waar ze door speciale apparatuur kunnen opgevangen worden en verder verwerkt kunnen worden tot geologische profielen op de computer. De seismische lijnen geven dus informatie over de gehele opbouw van de ondergrond (tot op een bepaalde diepte weliswaar, namelijk tot op het punt waar er te weinig reflectie is om aan de oppervlakte nog een duidelijk signaal te registreren), waardoor ze een zeer handig instrument zijn om een 3D model op te bouwen. Dergelijke seismische lijnen zijn in het verleden voornamelijk opgenomen in het oosten van Vlaanderen, meer bepaald in het Kempens Bekken, voornamelijk omwille van de daar aanwezige steenkoolreserves. Elders in Vlaanderen zijn dergelijke seismische data helaas nauwelijks beschikbaar, waardoor het 3D model enkel op seismische interpretaties werd gestoeld in de Roerdalslenk. Elders bleven de boringen nog steeds de primair beschikbare databron, wat voor de diepere lagen zoals vermeld de nodige problemen opleverde.

Dit euvel kon evenwel verholpen worden op basis van de schat aan informatie die te vinden is in bestaand kaartmateriaal (zowel in 2D als in 3D) en in de bestaande wetenschappelijke literatuur. Voor wat betreft het kaartmateriaal werden bij het modelleren van het Quartair, Neogeen en Paleogeen bijvoorbeeld de gekende Tertiair*- en Quartairkaarten gebruikt. Ook andere, reeds bestaande 2,5 of 3D modellen (Vancampenhout, 2004 en Vancampenhout et al., 2007) van de Vlaamse Tertiaire ondergrond werden mee als leidraad gebruikt. De meeste van deze kaarten en modellen zijn voor iedereen gratis beschikbaar via DOV. Daarnaast werd voor het Krijt en het Paleozoïcum ook vaak gewerkt met kaartmateriaal, afkomstig uit specifieke studies aangaande deze lagen. De kennis die gehaald werd uit de wetenschappelijke literatuur bestond dus gedeeltelijk uit kaartmateriaal, maar ook uit gegevens voor wat betreft stratigrafische achtergrond, lithologische kenmerken, verbreidingsgrenzen, enz. Het belangrijkste aan dit kaartmateriaal en deze literatuur is dat het de bron vormde waaruit de concepten voortvloeiden die gebruikt werden om het 3D lagenmodel te kunnen opbouwen en om de zones waar weinig of geen data voorhanden zijn toch op een geologisch consistente manier te kunnen modelleren.

*De terminologie Tertiair wordt in de officiële stratigrafie niet meer gebruikt en is vervangen door Neogeen en Paleogeen.

3.3. GEBRUIKTE GEOLOGISCHE CONCEPTEN

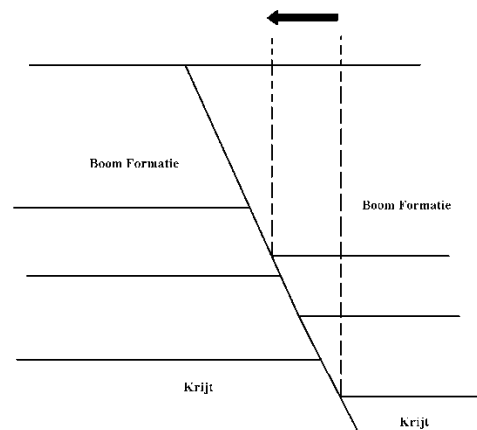
Bij de opbouw van het 3D model werden een aantal geologische concepten gevolgd om op die manier onder meer de regio's waarvoor data schaars of afwezig waren alsnog op een geologisch te verantwoorden manier te modelleren. De belangrijkste gebruikte geologische concepten worden hierna kort toegelicht.

3.3.1. DE BREUKEN

In het noordoosten van Vlaanderen, meer bepaald in Limburg en het oosten van de provincie Antwerpen worden in de literatuur verschillende belangrijke breuken in de ondergrond beschreven. Ook in de regio tussen Leuven en Brussel werd in het verleden een klein aantal breuken vermoed. De meeste van deze breuken komen voor in de diepe ondergrond (in de top van de Sokkel komen zelfs breuken voor over heel Vlaanderen), waarbij het aantal breuken dat hogerop in de stratigrafie doorloopt stelselmatig afneemt met afnemende diepte. In het Devoon en Carboon komen dus een belangrijk aantal breuken voor, in het Krijt al minder, in het Paleogeen en Neogeen neemt dit aantal nog verder af en in het Quartair komen nog slechts enkele belangrijke breuken voor (met name in en rond de Roerdalslenk) die gerelateerd zijn aan diepe(re) breuken.

Bij de opbouw van het 3D-model werd dit geologische concept van diep in de ondergrond startende en naar boven toe verdwijnende breuken gehanteerd in het bekken van de Kempen. Op plaatsen waar aanwijzingen waren voor een breuk (bijvoorbeeld een groot verschil in diepteligging van het gemodelleerde laagvlak tussen twee dicht bij elkaar liggende datapunten), werd dan ook nagegaan of hier daadwerkelijk een breuk diende ingetekend te worden in het 3D-model. Indien de aanwijzing voor de breuk op meerdere gemodelleerde niveaus aanwezig was en indien er op die plaats uit de literatuur (in de praktijk meestal het werk van Langenaeker, 2000) bleek dat er in dieper liggende pakketten reeds een breuk werd gedocumenteerd, dan werd de breuk ingetekend. Uiteraard werd hier niet lichtzinnig mee omgesprongen en werd slechts een breuk ingetekend indien daar voldoende aanwijzingen voor waren, zoals de reeds vermelde sprong in het laagvlak, maar bijvoorbeeld ook de ruggensteun van seismische interpretaties of geomagnetische observaties. De aanwezigheid van een breuk (of breukzone) met absolute zekerheid vaststellen is evenwel niet altijd even eenvoudig. Deze controle valt buiten de opzet van het 3D lagenmodel. Men dient ook in het achterhoofd te houden dat de manier waarop de breuken voorgesteld zijn binnen het 3D lagenmodel inherent is aan de eigenschappen en beperkingen van het werken met (raster)vlakken op de schaal van Vlaanderen. Het is perfect mogelijk dat wat in het 3D lagenmodel is weergegeven als een continu doorlopende breuk van tientallen kilometers lang, in werkelijkheid een aaneenschakeling betreft van veel kortere breukfragmenten. De resolutie van het 3D lagenmodel laat echter niet toe deze mate van detail aan de breuken toe te kennen. Er is ten andere ook te weinig geweten over de exacte trajecten van deze breuken om de breuk of breukzones gedetailleerd in kaart te brengen. Dit vereist uitgebreide, specifieke studie, die volledig buiten het opzet van deze 3D-modellering valt.

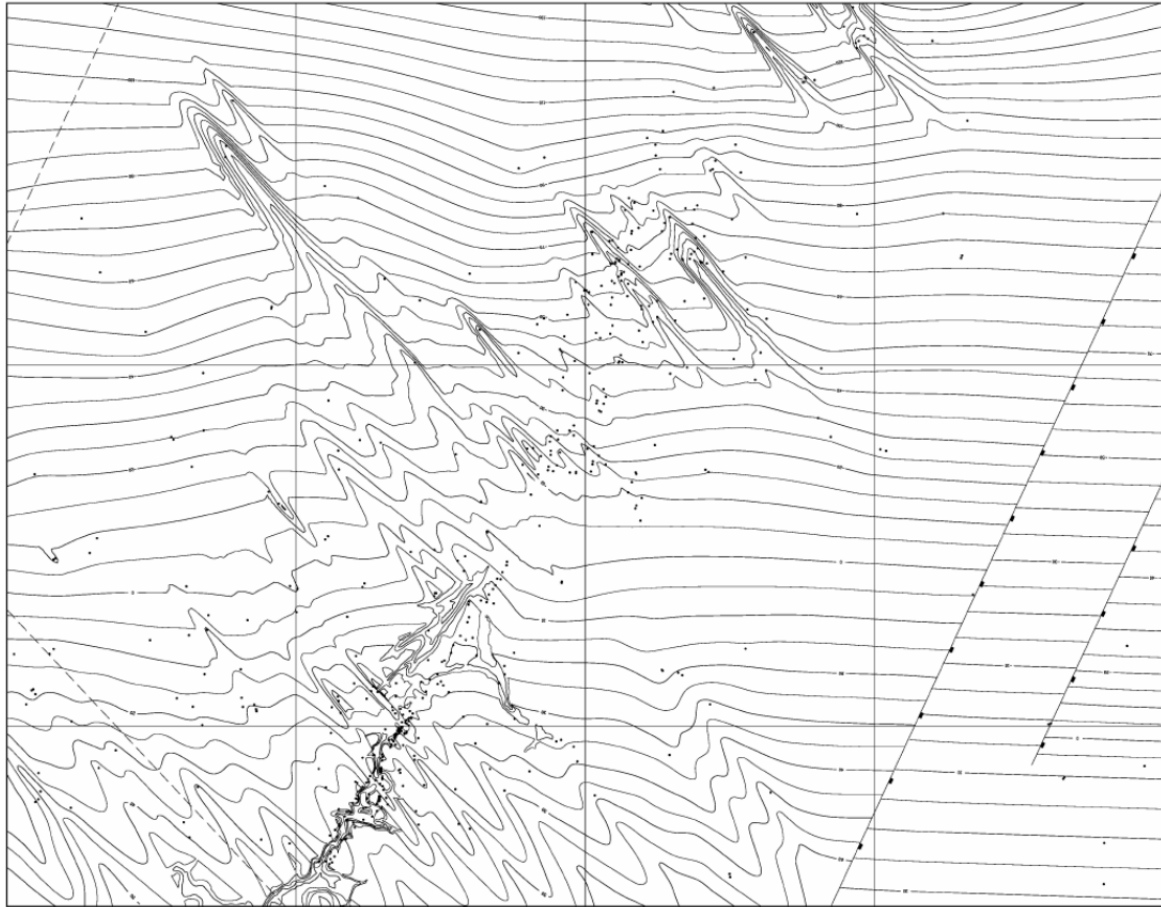
Bij het intekenen van de breuken in het Neogeen en Paleogeen werd een helling van 70° aangehouden. Dit wil zeggen dat een breuk die start in de top van het Krijt (de ligging van deze breuken is gekend op basis van het werk van Langenaeker, 2000), vervolgens naar het oppervlak toe stelselmatig laagvlak per laagvlak naar het westen of naar het oosten – afhankelijk van het type breuk - zal opschuiven, gezien aan het breukvlak een helling van 70° werd toegekend. De projectie van de positie van deze breuk aan het oppervlak zal zich bijgevolg dan ook beetje bij beetje naar het westen of naar het oosten verplaatsen, naarmate het gekarteerde laagvlak dichterbij het oppervlak komt (Figuur 5).



Figuur 3. Afhankelijk van de laag waarop men focust, zal de positie van de breuk aan het aardoppervlak verschillen. Hier geeft de linker stippellijn de positie van de breuk ter hoogte van de basis van de Formatie van Boom weer. In dit geval dient de projectie van de breuk dus naar het westen (links) opgeschoven te worden in vergelijking met de positie aan de top van het Krijt.

3.3.2. HET PALEORELIËF

Uit verschillende wetenschappelijke studies (o.a. Vansteelandt, 2003 en Piessens et al., 2005) en uit de boorgegevens blijkt dat de top van de Sokkel in het zuiden van Vlaanderen in belangrijke mate een paleoreliëf voorstelt. Dit reliëf bestaat uit langgerekte noordwest-zuidoost gerichte klifstructuren en diep ingesneden valleien (Figuur 6), waardoor op korte afstanden hoogteverschillen tot meer dan 30m kunnen worden teruggevonden in de top van de Sokkel. Dit paleoreliëf blijkt bovendien een invloed gehad te hebben op de overliggende geologische lagen. Vanzelfsprekend werd de basis van het Krijt, die in deze regio rechtstreeks op de top van de Sokkel ligt, hierdoor beïnvloed, maar ook de top van het Krijt en enkele lagen in het Paleogeen blijken (op basis van boorgegevens en wetenschappelijke literatuur) al dan niet gedeeltelijk te zijn beïnvloed door dit onderliggende paleoreliëf. Dit wil dus zeggen dat deze lagen ook een onregelmatig basisvlak hebben, waarbij de klifstructuur van de top van de Sokkel naar boven toe steeds minder en minder 'doorgedrukt' wordt. Bovendien zijn de structuren die voorkomen in het paleoreliëf van de Sokkel dermate scherp en uitgesproken zodat verschillende van de langgerekte noordwest-zuidoost gerichte 'heuvelkammen' doorheen het Krijt uitsteken en dus direct in contact staan met de daarboven liggende Paleogene formaties. De Formatie van Kortrijk is de laatste Paleogene laag waar nog rekening werd gehouden met het paleoreliëf van de Sokkel, in de bovenliggende lagen werd dit geologisch concept niet meer verder gehanteerd.



Figuur 4. Het paleoreliëf aan de top van de sokkel op kaartblad Brussel-Nijvel (Buffel en Matthijs, 2009)

3.3.3. EROSIE EN TABULAIRE LAGEN IN HET NEOGEEN/PALEOGEEN

De formaties binnen het Neogeen en Paleogeen kunnen in grote lijnen opgesplitst worden in 2 types laagvlakken. Het overgrote deel van de formaties kan gemodelleerd worden als zijnde tabulaire pakketten. Dit betekent dat het gaat om relatief vlakke, mooi op elkaar gestapelde laagvlakken. Daarnaast zijn er een beperkt aantal formaties die een eerder eroderend karakter hebben (al dan niet gepaard gaand met geulwerking). Dit wil zeggen dat deze formaties ingesneden zijn in onderliggende formaties en mogelijk lokaal ook de basis ervan geërodeerd hebben. De belangrijkste eroderende formaties binnen het Neogeen en Paleogeen in Vlaanderen zijn de Formatie van Diest, de Formatie van Zelzate/Sint-Huibrechts-Hern, de Formatie van Brussel en de Formatie van Tienen.

3.4. VERWERKING EN MODELLEREN VAN DE GEGEVENS

Tijdens de opbouw van het 3D lagenmodel waren, zoals vermeld, per regio en per laagvlak soms slechts een beperkt aantal data beschikbaar. Mede daarom werd soms per regio en/of per laagvlak een andere manier van opbouwen van het 3D model gevolgd, waarbij andere soorten data werden gebruikt. In onderstaande wordt dan ook een onderscheid gemaakt tussen drie verschillende manieren van verwerken van data.

3.4.1. VERWERKING EN MODELLERING VOORNAMELIJK OP BASIS VAN BOORGEGEVENS

De 3D lagenmodellen van het Quartair, het Neogeen, het Paleogeen en het Krijt werden grotendeels opgesteld op basis van boorgegevens. Uitzondering hierop vormt de Roerdalslenk, in het noordoosten van België, waar het 3D lagenmodel werd opgesteld aan de hand van seismische gegevens. De methodologie die bij de modellering buiten de Roerdalslenk werd gevolgd, wordt hierna beschreven. Er wordt gestart met het verzamelen en selecteren van de puntdata, vervolgens worden deze data gecontroleerd op coördinaten en eventueel geologische interpretatie. Daarna volgt een eerste interpolatie van de data, waarbij meteen een aantal geologisch ongeloofwaardige resultaten naar voor treden. In een volgende stap worden de regio's waarbinnen deze afwijkende resultaten zich voordoen van dichterbij bekeken door de geologische interpretatie van de achterliggende puntdata en door de kennis over de geologische gesteldheid van dat gebied te onderzoeken. Tot slot volgt dan de afwerking van het 3D model, waarbij een aantal computermatige bewerkingen moeten worden doorlopen. In wat volgt zal deze manier van werken wat verder uitgediept worden, enerzijds voor wat betreft het model van het Quartair, en anderzijds voor wat betreft de modellen van het Neogeen, Paleogeen en Krijt.

→ Quartair

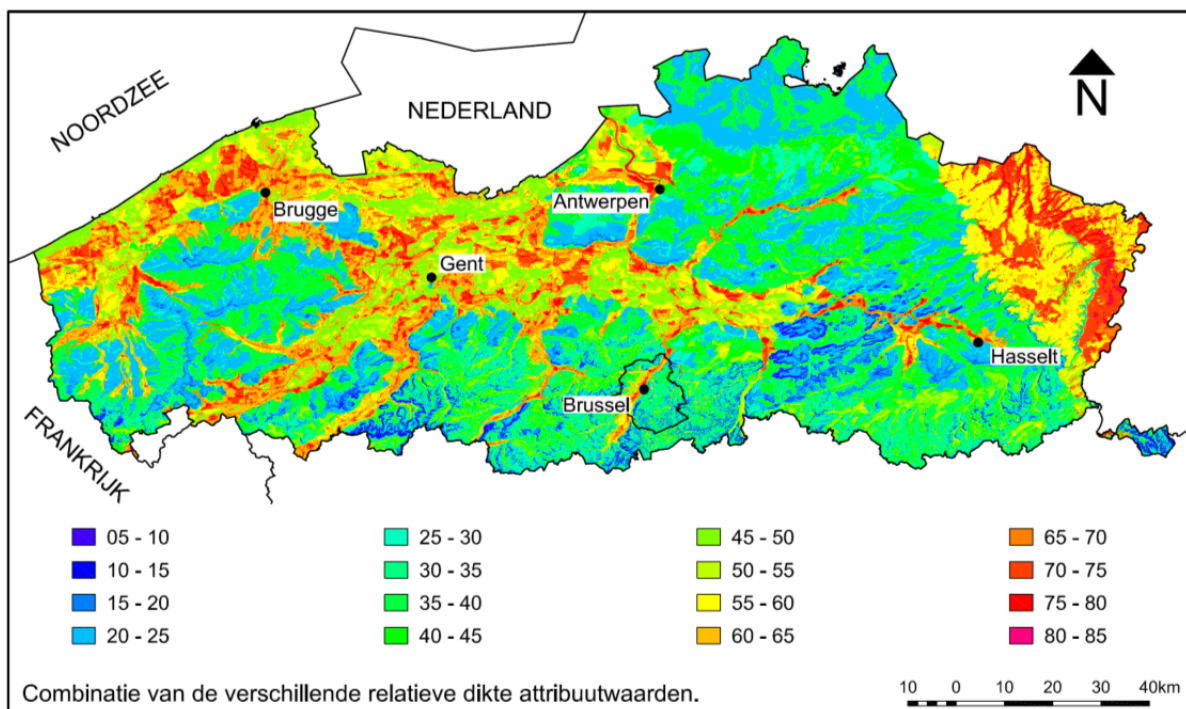
Bij het opbouwen van het 3D model van het Quartair werd verder gewerkt met de data die reeds jaren voordien waren verzameld en gebruikt in functie van de Quartairkartering in opdracht van de Vlaamse overheid. Deze data werden destijds opgeslagen in tabelvorm. Deze tabellen bevatten meestal de volgende inhoud: proefnummer van de boring, de coördinaten van de boring, een opsomming van de aanwezige Quartaire lagen in de boring (via code) en de positie van de basis van de verschillende Quartaire lagen ten opzichte van het maaiveld. Uit deze tabellen kon bijgevolg ook de basis en de dikte van het Quartair afgeleid worden. In tegenstelling tot bij de modellering van het Neogeen, Paleogeen en het Krijt, werd bij de modellering van het Quartair geen systematische controle van de coördinaten van de puntdata uitgevoerd. Dit is te wijten aan de overvloedigheid aan data, waardoor deze tussenstap in de opbouw van het model bijzonder veel tijd in beslag zou nemen zonder dat het uiteindelijke resultaat daardoor aanzienlijk verbeterd zou worden. Het is daarbij belangrijk om op te merken dat na een eerste voorlopige interpolatie van het Quartair de daarbij afwijkende datapunten desalniettemin wel degelijk werden nagekeken op geologische interpretatie en coördinaten. Het controleren van de data gebeurde tijdens de Quartairmodellering dus veeleer tijdens het modellerenproces zelf, in plaats van vooraf.

De uit de tabellen gehaalde diktes van het Quartair werden geïnterpoleerd met als resultaat een isopachenkaart, een kaart die de dikteveranderingen van het Quartair weergeeft. Waar nodig, omwille van geologische ongeloofwaardigheden, werden deze isopachenkaarten ook manueel aangepast. Het uiteindelijke isopachenmodel kon vervolgens onder het model van de topografie (het DEM-VLAKO) geplakt worden, wat resulteert in een model dat de basis van het Quartair weergeeft. Deze werkwijze werd gevolgd aangezien een, op het eerste zicht snellere, directe interpolatie van de hoogteliggingen van de basis van het Quartair onvoldoende geologisch geloofwaardige resultaten geeft, wegens de bijzonder grote variabiliteit van de Quartaire afzettingen. Al snel werd echter ook tijdens de constructie van het isopachenmodel voor het Quartair duidelijk dat de schijnbare overvloed aan data nog steeds niet volstond om een geologisch geloofwaardig model voor het Quartair te kunnen construeren. Een dichtheid van ongeveer 2 datapunten per vierkante kilometer is onvoldoende om de grote variabiliteit binnen de Quartaire afzettingen correct weer te geven. Aan de hand van reeds bestaande geologische kennis kon er evenwel voor gezorgd worden dat de waarde van het beperkt aantal waarnemingen opgewaardeerd werd. En wel op zo'n manier dat er wel degelijk geologisch verantwoorde

interpolaties konden uit voortvloeien en er dus een geologisch geloofwaardig 3D model voor het Quartair kon geconstrueerd worden. Het gaat onder meer over de volgende geologische kennis:

- de relatie tussen het huidige reliëf en het reliëf van de basis van het Quartair
- de relatie tussen de topografische locatie en de dikte van het Quartair
- de relatie tussen de steilte van het huidige reliëf en de dikte van het Quartair
- de relatie tussen de lithologie van het substraat en de dikte van het Quartair
- de relatie tussen de lithologie van het Quartaire sediment en de dikte van het Quartair
- de relatie tussen de aanwezigheid/afwezigheid van waterlopen en de dikte van het Quartair
- de relatie tussen de permeabiliteit van het substraat en de dikte van het Quartair

Al deze geologische kennis werd geïncorporeerd in een kaart (Figuur 3) die voor heel Vlaanderen aangeeft of de te verwachten dikte van het Quartair op een bepaalde plaats relatief gezien eerder hoog dan wel laag was. Dit databestand werd vervolgens als leidraad gebruikt bij de interpolatie tussen de verschillende datapunten met Quartaire interpretaties.



Figuur 5. Het combinatiebestand van de geologische kennis in verband met de relatieve dikte van het Quartair.

→ Neogeen, Paleogeen en Krijt

Voor wat betreft het Neogeen en Paleogeen werkte VITO een selectietool uit binnen ArcGIS die uit de archieven van DOV de juiste data kon selecteren en deze per formatie samenbracht in gegevenstabellen. Handmatig werden daarna aan deze tabellen nog boringen toegevoegd die enkel in eigen of andere archieven, zoals dat van de BGD, voorkomen. Daarnaast werden punten uit Nederland en Frankrijk toegevoegd, welke afkomstig zijn van het TNO-archief (dinoloket) en het BRGM-archief (infoterre). Ze vormden een onontbeerlijk extra gegeven om de basissen van de formaties zo goed mogelijk te kunnen reconstrueren nabij de Nederlandse en Franse grens. Voor de specifieke werkwijze hier rond, wordt verwezen naar VITO-rapport Lanckacker, 2010.

De puntdata voor het Krijt werden eveneens door VITO semi-automatisch samengezocht en in tabellen ondergebracht. Voor de specifieke werkwijze hierrond, wordt verwezen naar VITO-rapport Matthijs en Lagrou, 2007.

De tabellen die voor het Krijt, Paleogeen en Neogeen werden bekomen, bestaan voornamelijk uit volgende gegevens:

- het proefnummer van de boring (het DOV-nummer)
- een andere naam of nummer van de boring (meestal het BGD-nummer)
- x-, y- en z-coördinaten
- positie van de top en basis van de onderzochte formatie (uitgedrukt ten opzichte van het maaiveld, z)
- dikte van de geanalyseerde formatie
- positie van de basis van de formatie ten opzichte van zeeniveau (m TAW)

De bekomen selectie aan gegevens werd vervolgens aan een aantal controles onderworpen. Vooreerst werden de coördinaten van de verschillende boringen gecontroleerd. Hiervoor werden eerst de geselecteerde DOV-nummers gekoppeld aan de BGD-nummers en vice versa. Ook hun respectievelijke coördinaten werden ingevoegd in de bestaande tabel. Bijgevolg werd het mogelijk om een vergelijking te maken tussen de twee bronnen van coördinaten (zijnde het DOV-archief en het BGD-archief). Indien de twee reeksen coördinaten overeenkwamen, werd er van uitgegaan dat de bijhorende boorpunten juist gepositioneerd waren. Indien er echter een aanzienlijke afwijking te zien was tussen de twee coördinaten ($> 250\text{m}$ verschil voor x of y en/of $> 2\text{m}$ verschil voor z), diende er een extra controle te gebeuren en moesten de coördinaten eventueel aangepast worden. Voor verdere informatie rond deze extra controle en eventuele aanpassing van de coördinaten wordt verwezen naar het VITO-rapport De Koninck et al., 2011.

De boordata werden vervolgens een eerste keer geplot met behulp van het computerprogramma ArcGIS (ArcMap). Dit resulteerde, na een eerste interpolatie, in een benaderende algemene hellings- en dieptetrend van de laag die diende gemodelleerd te worden, maar bracht meteen ook een aantal afwijkingen aan het licht. Deze afwijkingen kunnen onder meer te wijten zijn aan de gebruikte boortechnieken, de interpretatie en de coördinaten. Zo zijn veel van de boringen uitgevoerd als spoelboringen, welke niet altijd even accuraat te interpreteren zijn. Bij dit type boringen wordt het opgeboorde materiaal immers met behulp van water naar het oppervlak gespoeld, waardoor er dikwijls een verregaande interactie tussen de verscheidene opgeboorde lagen plaatsvindt, vooraleer ze door de geoloog van dienst kunnen worden beschreven. Indien deze spoelboringen dan ook duidelijk niet voldoende gedetailleerd waren om gebruikt te kunnen worden binnen het modelleren, werden ze uit de selectie verwijderd. In elk geval werd bij twijfel steeds het meeste vertrouwen toegekend aan droge boringen, waarbij het opgeboorde materiaal niet naar boven gespoeld wordt met water, maar steeds machinaal naar boven wordt gebracht, waardoor het veel meer z'n oorspronkelijke eigenschappen weet te behouden. Een ander element dat voor afwijkingen in het model zorgde waren in vraag te stellen stratigrafische interpretaties van boorbeschrijvingen. Meestal kon in dit geval de interpretatie herzien worden (uiteraard enkel wanneer dat voldoende lithologisch onderbouwd was), waardoor de afwijking ten opzichte van de rest van het model al snel verdwenen was. Tenslotte bleken er, ondanks de systematische controle die was uitgevoerd op de coördinaten, alsnog enkele afwijkingen over te blijven die te wijten waren aan dubieuze coördinaten. Indien mogelijk werden deze coördinaten aangepast, in het andere geval werd de boring uit de selectie geweerd.

Na deze indeling in groepen, werd de groep van de "bruikbare boringen" nogmaals geplot. Opnieuw werd een controle uitgevoerd op de al te afwijkende punten (de afwijking was zoals te verwachten al veel kleiner dan bij de eerste controle). Ditmaal spitste de controle zich echter zo

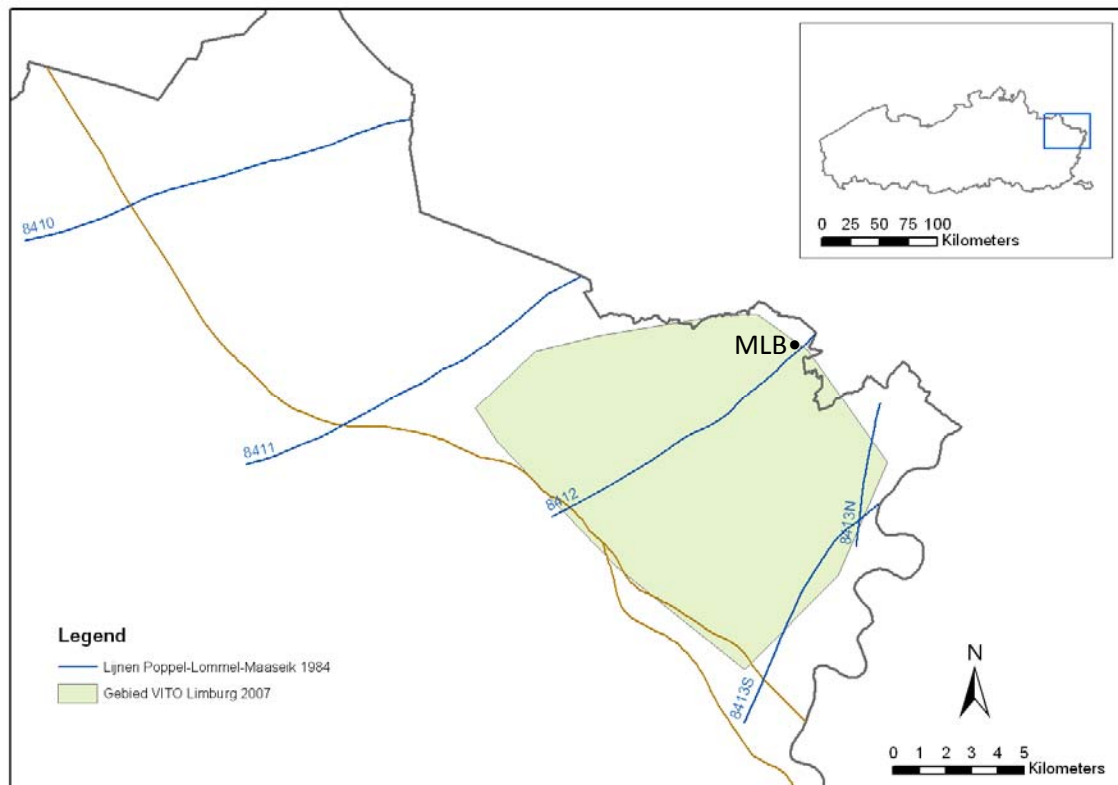
goed als louter nog toe op de geologische interpretaties. In de VITO-rapporten Lanckacker, 2010; De Koninck et al., 2011 en 2012 en Deckers et al., 2013 wordt per laagvlak kort aangehaald wat deze resterende interpretatieproblemen juist inhouden.

Tot op dit ogenblik werden in deze modellering dus enkel computerprogramma's gebruikt, enerzijds om een eerste zicht te krijgen op de aard van de te karteren vlakken en anderzijds om de controle van de data te faciliteren. Het uiteindelijke modelleren zelf gebeurde echter gedeeltelijk manueel en gedeeltelijk computermatig. De gecontroleerde boorgegevens werden op kaart geploteerd en vervolgens werden op basis hiervan isohypsen (lijnen van gelijke hoogteligging) getekend die de basis van het te modelleren laagvlak aangeven. Dit proces kan in theorie uitsluitend met behulp van computerprogramma's uitgevoerd worden, maar een deels manuele manier van werken werd dus verkozen om te vermijden dat conceptloze computermodellen geologisch zeer onwaarschijnlijke resultaten zouden produceren, zoals kruisende isohypsen of lokaal gesloten isohypsen (die duiden op putten of toppen). Door de isohypsen te laten intekenen door een geoloog kon er gestreefd worden om de geologische werkelijkheid dichter te benaderen, vooral door tijdens het tekenen meer waarde te hechten aan bijvoorbeeld geofysische boorgatmetingen dan aan beschrijvingen van spoelboringen. Verder kon er ook rekening gehouden worden met data van boorbeschrijvingen die (net) niet de basis van de onderzochte lithostratigrafische eenheden bereiken. Deze datapunten leveren extra info omdat het basisvlak van de gemodelleerde eenheid op deze plaats minimaal dieper moet liggen. Dit stelt ons in staat rekening te houden met meer boringen zonder er echter een te strikte grens voor te gebruiken. Dit in tegenstelling tot gebruik van dit type boringen bij automatische interpolaties. Bij automatische interpolaties dient voor dit type boringen namelijk een basiswaarde gecreëerd te worden die typisch aan de ondergrens van de te modelleren formatie of iets daaronder wordt gelegd. Binnen de interpolatie zal dit type datapunten niet meer te onderscheiden zijn van datapunten waarbij de ondergrens van een formatie wel met zekerheid is vastgesteld. Dit zal tot een minder scherp inzicht in de gebruikte dataset leiden bij geautomatiseerde interpolaties.

Hierna werden deze isohypsenkaarten gedigitaliseerd en ingeladen in AutoCAD Civil 3D. Door het plaatsen van punten op regelmatige afstand op de isohypsen, wordt een puntenfile verkregen die gebruikt wordt als input voor triangulatie. Deze triangulatie leidt tot een diepteraster. Dat raster vormt zoals reeds vermeld de basiseenheid waaruit het 3D lagenmodel van de Vlaamse ondergrond is opgebouwd.

3.4.2. VERWERKING EN MODELLERING VOORNAMELIJK OP BASIS VAN SEISMISCHE GEGEVENS

Zoals reeds eerder vermeld werd in de Roerdalslenk, in het uiterste noordoosten van Vlaanderen, voornamelijk gewerkt op basis van seismische interpretaties. Hiervoor werd gewerkt met de gegevens van 2 seismische campagnes, Poppel-Lommel-Maaseik-84 en VITO-LIM07 (zie Figuur 6).



Figuur 6. Ligging van seismische campagnes van 1984 (blauwe lijnen) en 2007 (groen gebied). De bruine lijn wordt gevormd door de grensbreuken van de Roerdalslenk met in het zuiden het breukblok afgelijnd door de Rotem en Neeroeteren breuken. Dit is tevens de grens van het op basis van seismiek gemodelleerde gebied. De locatie van boring Molenbeersel (MLB, kb18d49w-B226) is aangegeven met een zwarte stip.

Aan de hand van een seismisch interpretatie programma (WinPICS) werden de seismische profielen van beide campagnes ingekleurd. Dit wil zeggen dat de reflectoren die werden herkend op de seismische secties werden ingetekend. Deze reflectoren zijn in feite de vlakken in de ondergrond die grote lithologische verschillen en dus meestal de formatiegrenzen aanduiden. Aan elk van deze reflectoren werd een lithostratigrafische eenheid gekoppeld, meestal een formatie. Op basis van deze interpretatie werd er voor elke formatie een tijdskaart, of isochronenkaart, opgesteld. Deze kaart geeft de tijd weer die de trillingsgolven nodig hadden om doorheen de ondergrond tot aan de reflector te reizen, daarop te reflecteren en vervolgens terug naar het aardoppervlak te reizen tot aan de instrumenten die de golven terug opvangen. Deze tijd wordt ook wel de TWT, two-way (travel) time genoemd. De isochronenkaart is dus in feite een kaart die de diepte van een bepaald laagvlak weergeeft, maar dan niet in dieptemeters, maar in tijdseenheden uitgedrukt (meestal milliseconden). Aangezien het 3D lagenmodel echter opgebouwd wordt uit laagvlakken op basis van diepte in plaats van tijdsvlakken, diende nog een omzetting te gebeuren tussen deze isochronenkaarten (in tijdseenheden) en de gewenste isohypsenkaarten (in afstandseenheden). Deze conversie gebeurde aan de hand van de correlatie tussen de tijdswaarden afgelezen op de seismische profielen ter hoogte van boring Molenbeersel (DOV-proefnummer kb18d49w-B226) en de dieptes van de overeenkomstige laagvlakken waargenomen in dezelfde boring.

Uit de verwerking van de seismische secties wordt een 3D model voor elke geïnterpreteerde seismische reflector verkregen. Voor verdere informatie in verband met de modellering van de Roerdalslenk wordt verwezen naar VITO-rapport Broothaers et al., 2012.

3.4.3. VERWERKING EN MODELLERING VOORNAMELIJK OP BASIS VAN KAARTMATERIAAL

Voor wat betreft het model van de topografie, het Perm-Trias-Jura, het Carboon, het Devoon en de top van de Sokkel, werd voornamelijk gewerkt op basis van bestaand kaartmateriaal. Voor de details over het gebruikte kaartmateriaal wordt naar VITO-rapporten Matthijs, 2008 en Matthijs, 2010 verwezen.

De bestaande kaarten werden steeds gedigitaliseerd, waarna de op de kaart aanwezige data beschikbaar waren om verder verwerkt te worden. Zo konden bijvoorbeeld gedigitaliseerde isohypsen gebruikt worden om via interpolatiesoftware een laagvlak in 3D te modelleren. Aangezien de kaartgegevens voor verschillende lagen echter schaars waren, werd ook dikwijls gewerkt met behulp van proportionele diktes. Dit stoelt op volgend principe. Als lagen A, B en C boven elkaar aanwezig zijn en men kent de posities van de laagvlakken van de basis van lagen A en C, en bovendien kent men de typische dikteverhoudingen tussen de lagen A, B en C (bijvoorbeeld uit enkele boringen), dan kan men met behulp van deze gegevens de positie van het laagvlak van de basis van de laag B reconstrueren. Op die manier kon, ondanks een schaarste aan gegevens, een aantal lagen alsnog in 3D gemodelleerd worden.

HOOFDSTUK 4. GEBRUIK VAN HET MODEL

Het Geologisch 3D Lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, het G3D, is het resultaat van een evolutie die reeds verschillende eeuwen aan de gang is. Het is een bundeling van het geologisch onderzoek van een hele reeks erudiete en gepassioneerde geologen en andere wetenschappers, die doorheen de decennia de ondergrond van deze regio steeds meer en meer blootlegden en trachtten te begrijpen. Door hun analyses en hypothesen samen te voegen met de schat aan informatie over de Vlaamse ondergrond die voornamelijk wordt bewaard bij de Databank Ondergrond Vlaanderen, werd het mogelijk om hiervan een synthese op te bouwen in de vorm van een 3D model. Dit 3D model geeft hierdoor een compleet overzicht van de volledige geologie op eender welke locatie in Vlaanderen. Gebruikers kunnen met een eenvoudige klik alle informatie over de ondergrond op de door hen gewenste locatie te weten komen. Dit maakt het 3D model tot een handig raadpleegbare, overzichtelijke en complete samenvatting van de beschikbare geologische kennis, wat het uniek maakt in ons land. Het 3D model is vanaf nu voor zowel overheden, universiteiten, bedrijven als particulieren hét instrument om een integrale kijk op de ondergrond te kunnen verwerven.

Desalniettemin dient het 3D model steeds met de nodige behoedzaamheid gebruikt te worden. In wat hierna volgt, wordt kort opgesomd welke zaken steeds in het achterhoofd moeten worden gehouden bij het gebruik van het 3D model.

Het 3D model bestaat uit een reeks rasters met een resolutie van 100 bij 100 meter, waardoor het model sowieso een vereenvoudiging van de geologie voorstelt. Enerzijds kunnen kleinere details daardoor niet worden weergegeven in het 3D model. Anderzijds wordt een in werkelijkheid hellende geologische laag door het gebruik van de rasters in het 3D model dus als een trapvormig dalende laag weergegeven. Deze beide bedenkingen dienen vooral in het achterhoofd gehouden te worden wanneer men het model bekijkt in een regio waarin veel breuken aanwezig zijn (vnl. noordoosten Antwerpen en Limburg), in een regio waarin het maaiveld sterk variabel is (vnl. het zuiden van Vlaanderen) of in een regio waarin belangrijke vormen van paleoreliëf aanwezig zijn in de ondergrond (vnl. Vlaams-Brabant). In die regio's kunnen de gevolgen van het feit dat het 3D model slechts een vereenvoudiging van de werkelijkheid is behoorlijk sterk oplopen.

Bij de opbouw van het 3D model was er voor verschillende (dikwijls dieper gelegen) geologische lagen vaak erg weinig data beschikbaar, waardoor er weinig zekerheid bestaat over de geologische gesteldheid van de regio's tussen de datapunten. Op zo'n plaatsen werden bepaalde conceptuele modellen gebruikt, die steeds gebaseerd waren op de beschikbare geologische kennis. Dat verhindert echter niet dat het nog steeds om conceptuele modellen gaat, dus dat het een – weliswaar zo veel mogelijk onderbouwde – inschatting is van de geologie op basis van bepaalde geologische aannames die werden gemaakt. Hierdoor kan de 'geologische werkelijkheid' altijd afwijken van wat in het model geïllustreerd wordt.

De nodige terughoudendheid is dus steeds gepast wanneer met dit 3D model gewerkt wordt. De data die uit het model komen dienen steeds met de nodige aandacht voor deze randvoorwaarden betreffende de opbouw van het 3D lagenmodel behandeld te worden.

LITERATUURLIJST

Bogemans F., 2005a. Kaartblad 2-8 Meerle-Turnhout. Toelichting bij de Quartairgeologische kaart van Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, 38p.

Bogemans F., 2005b. Kaartblad 3-9 Arendonk-Maarle. Toelichting bij de Quartairgeologische kaart van Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, 31p.

Broothaers M., Deckers J., Lagrou D. & Matthijs J., 2012. 3D-Lagenmodel van de Tertiaire afzettingen in de Roerdalslenk in Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 58p., VITO-rapport 2012/SCT/R/191.

Buffel P. & Matthijs J., 2009. Kaartblad 31-39 Brussel-Nijvel. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 56p.

Deckers J., De Koninck R., Lanckacker T., Matthijs J., 2013. Geologisch 3D-lagenmodel voor 4 Cenozoïsche formaties. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 18p., VITO-rapport 2013/ETE/R/22.

De Koninck, R., Lanckacker, T., Matthijs, J., 2011. Geologisch 3D-lagenmodel voor 8 Tertiaire lagen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 46p., VITO-rapport 2011/SCT/R/152.

De Koninck R., Lanckacker T., Matthijs J., 2012. Geologisch 3D-lagenmodel voor 10 Cenozoïsche formaties. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 35p., VITO-rapport 2012/SCT/R/12.

Lagrou D. & Broothaers M., 2010. 3D-Lagenmodel in de Roerdalslenk: Kiezeloöliet, Bolderberg en Boom Formaties. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 12p., VITO-rapport 2010/SCT/R/015.

Lanckacker T., 2010. Geologisch 3D-lagenmodel voor de Formaties van Boom en Bilzen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 37p., VITO-rapport 2010/SCT/R/011.

Langenaeker V., 2000. The Campine Basin, stratigraphy, structural geology, coalification and hydrocarbon potential for the Devonian to Jurassic. Aardkundige Mededelingen, KU Leuven, 10, 142p.

Matthijs J., 2008. Analyse en evaluatie van de bestaande geologische data voor de opbouw van een geologisch 3D-lagenmodel – Opbouw van geologisch 3D-lagenmodel voor de sedimenten van het Krijt en pre-Krijt. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 55p., VITO-rapport 2008/MAT/R/0084.

Matthijs, J., 2010. Opbouw van een geologisch 3D-lagenmodel: topografie. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 17p., VITO-rapport 2010/SCT/R/014.

Matthijs J., 2011. Opbouw van een geologisch 3D-lagenmodel: Quartair – exclusief de Kempen Groep en de Merksplas Formatie. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 30p., VITO-rapport 2011/SCT/R/006.

Matthijs J. & Lagrou D., 2007. Diepte- en diktekaarten van de Krijtsedimenten in Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 66p., VITO-rapport 2007/MAT/R/030.

Matthijs J. & Lagrou D., 2010. Opbouw van een geologisch 3D-lagenmodel: de lithostratigrafische indeling van de afzettingen uit het Krijt. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, 22p., VITO-rapport 2010/SCT/R/048.

Piessens et al., 2005. Opmaak van de pre-Krijt subcropkaart van het Massief van Brabant voor invoer in DOV, Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, project VLA03-1.1, BGD.

Vancampenhout P., 2004. Opmaak isohypsenkaarten voor het Tertiair. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, project VLA02-4.3, 120p., BGD-rapport.

Vancampenhout P., De Ceukelaire M., Duser M. & Declercq P.-Y., 2007. Aanpassen van de Hydrogeologische Kartering van de Ondergrond in Vlaanderen (HCOV) (+dvd). Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, AMINAL – afdeling Water, BGD Rapport, Brussel, 132p.

Vansteelandt V., 2003. Grondwater West-Vlaanderen, AMINAL.