Eindrapport

Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Roerdalslenk in Zuidoost-Nederland en Vlaanderen (H3O – Roerdalslenk)

Auteurs: Deckers Jef[1], Ronald Vernes[2], Willem Dabekaussen[2], Maryke Den Dulk[2], Hans Doornenbal[2], Michiel Dusar[3], Jan Hummelman[2], Johan Matthijs[1], Armin Menkovic[2], Reinder Reindersma[2], Jan Walstra[3], Wim Westerhoff[2] en Nora Witmans[2]

Studie uitgevoerd in opdracht van:
Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen van de Vlaamse Overheid
Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij
Nederlandse Provincie Limburg
Nederlandse Provincie Noord-Brabant
TNO, Geologische Dienst Nederland[2]
VITO/Energyville[1]
In samenwerking met de Belgische Geologische Dienst[3]

2014/ETE/R/1
TNO 2014 R10799

Juni 2014

MANAGEMENTSAMENVATTING

De Roerdalslenk is van groot belang voor in het bijzonder de drinkwatervoorziening in zowel Nederland als Vlaanderen. Terwijl het voorkomen en het gedrag van grondwater grensoverschrijdend zijn, hadden Vlaamse en Nederlandse grondwaterbeheerders te maken met inconsistenties tussen Nederlandse en Vlaamse ondergrondinformatie, wat leidde tot onzekerheden in het begrip van het grondwatersysteem in de grensstreek. Eenduidige (hydro)geologische kennis en informatie zijn bovendien essentieel voor een duurzaam beheer en gebruik van niet alleen grondwater, maar van de hele ondergrond. Daarom leefde bij partijen in Nederland (Provincie Limburg en Provincie Noord-Brabant) en Vlaanderen (Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid en de Vlaamse Milieumaatschappij) de wens om de (hydro)geologische modellen van Nederland en Vlaanderen voor de Roerdalslenk op elkaar af te stemmen. Daartoe werd het H3O-project opgestart, dat heeft gelopen van maart 2012 tot juni 2014 en werd uitgevoerd door TNO, Geologische Dienst Nederland en de Vlaamse organisatie VITO in samenwerking met de Belgische Geologische Dienst.

Het doel van het H3O-project was het maken van een grensoverschrijdend, up-to-date, driedimensionaal geologisch en hydrogeologisch model van het Limburgse, Zuidoost-Brabantse en Vlaamse deel van de Roerdalslenk. Verschillen tussen de bestaande (hydro)geologische interpretaties moesten daarbij worden opgespoord, uitgezocht en verholpen op basis van reeds beschikbare data.

Het H3O-project kende als belangrijkste stappen:

- Inventarisatie en vergaring van data.
- Correlatie van Vlaamse met Nederlandse (hydro)geologische eenheden.
- (Her)Interpretatie van bestaande gegevens op basis van deze correlaties.
- Op basis van de herinterpretaties 3D modellen maken van de ondergrond.

Om de opdrachtgevers te ondersteunen bij de inhoudelijke beoordeling van de tussen- en eindresultaten en om de acceptatie van het model te verzekeren, werd een Begeleidingscommissie in het leven geroepen die bestond uit geologische experts uit tal van domeinen.

De eindresultaten van het H3O-project werden op 13 juni 2014 opgeleverd. De belangrijkste resultaten en conclusies zijn:

- Van het modelgebied zijn één geologisch en één hydrogeologisch model van het Cenozoïcum samengesteld. In deze modellen komen langs de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitingsproblemen meer voor.
- De breuken in het projectgebied zijn in de vorm van 3D breukvlakken vastgelegd. Ook tussen deze breuk(vlakk)en komen langs de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitingsproblemen meer voor.
- Ten behoeve van de (hydro)geologische modellering van de ondergrond werd een correlatie tussen Belgische en Nederlandse lithostratigrafische eenheden succesvol uitgevoerd.
- Door deze correlaties vormen de geologische en hydrogeologische interpretaties en modellen een onderling consistent geheel.

Niet alleen vormen de Nederlandse en Vlaamse delen van deze grensoverschrijdende modellen nu één aansluitend geheel, maar ook zijn het geologische en hydrogeologische model, door de wijze waarop ze tot stand zijn gekomen, onderling geometrisch consistent met elkaar. Beide modellen vormen daarmee het referentiemodel voor de geologische en hydrogeologische opbouw van het gebied. Daarmee is de basis gelegd voor een gezamenlijk grensoverschrijdend beheer van de ondergrond van de Roerdalslenk. De gehanteerde correlaties tussen de Nederlandse en Vlaamse eenheden in de ondergrond kunnen verder als leidraad dienen voor toekomstige grensoverschrijdende projecten.

3D Geological and hydrogeological model of the Cenozoic Roer Valley Graben in southeastern Netherlands and Flanders (H3O – Roer Valley Graben)

EXECUTIVE SUMMARY

The Roer Valley Graben is of great importance for drinking water supply in both the Netherlands and Flanders. Although the occurrence and behaviour of groundwater are not restricted to national borders, Flemish and Dutch groundwater managers were faced with inconsistencies between Flemish and Dutch subsurface information, which led to uncertainty in the understanding of the groundwater system in the border region. Unambiguous (hydro)geological knowledge and information are essential for sustainable management and use of not only groundwater resources but of the entire subsurface. Therefore parties in the Netherlands (Province of Limburg and Province of North-Brabant) and Flanders (Environment, Nature and Energy Department of the Flemish Government and the Flemish Environment Agency) expressed their desire to attune the (hydro)geological models of the Roer Valley Graben. Accordingly the H3O-project was initiated, which ran from March 2012 to June 2014 and was carried out by TNO Geological Survey of the Netherlands and the Flemish organisation VITO in collaboration with the Geological Survey of Belgium.

The aim of the H3O-project was to make a cross-border, up-to-date, three dimensional geological and hydrogeological model of the Roer Valley Graben, enclosing parts of Limburg and southeast Brabant and Flanders. Differences between the existing (hydro)geological interpretations were detected, defined and repaired using available data.

The stepwise execution of the H3O-project consisted of:

- Data inventory and collection.
- Correlating Dutch and Flemish (hydro)geological units.
- (Re)interpreting existing data based on the new correlations.
- Creating 3D subsurface models based on the new interpretations.

To support the Dutch and Flemish authorities during the substantive evaluation of the intermediate and final results and to ensure the acceptance of the model, a Supervisory Committee was established which consisted of geological experts from a variety of domains.

The final results of the H3O-project were delivered on 13 June 2014. The main results and conclusions are:

- Consistent geological and hydrogeological models of the Cenozoic have been created of the entire study area across the Dutch-Flemish border.
- Faults have been modelled as 3D fault planes, which connect well across the Dutch-Flemish border.
- For the purpose of the (hydro)geological modelling of the subsurface Dutch and Flemish (hydro)geological units have been successfully correlated.
- The correlation of geological and hydrogeological interpretations and models forms a mutually consistent dataset.

The Dutch and Flemish areas of these cross-border models are now one continuous entity. As a result of the way in which the models have been constructed, the geological and hydrogeological models are also geometrically consistent with each other. The models are the state-of-the art reference models for the geological and hydrogeological structure of the area. Based on these models, joint cross-border subsurface management of the Roer Valley Graben will now be possible. Furthermore, the correlations between the Dutch and Flemish subsurface units may serve as a guideline for future cross-border projects.

INHOUD

Managementsamenvatting 1

Inhoud 5

Lijst van tabellen 9

Lijst van figuren 11

Lijst van afkortingen 15

HOOFDSTUK 1. Inleiding 17

1.1. Kartering en modellering van de ondergrond in de grensstreek 17

1.2. Uitgangssituatie en probleemstelling 19

1.3. Doelstellingen 21

1.4. Geologische/paleogeografische beschrijving van de Roerdalslenk 22

1.5. Geografische begrenzing 24

1.6. Verticale begrenzing 26

1.7. Modeleenheden 26

1.8. Geometrie hydrogeologische eenheden 26

1.9. Gebruikte basisgegevens 26

1.10. Algemene aanpak 27

1.11. Projectorganisatie 27

1.12. Leeswijzer 28

HOOFDSTUK 2. Werkwijze 29

2.1. Algemeen 29

2.2. Datavoorbereiding 30

2.2.1. Data-inventarisatie en -vergaring 30

2.2.2. Boringen 30

2.2.3. Boorgatmetingen 32

2.2.4. Seismische data 32

2.2.5. Bestaande actuele geologische en hydrogeologische kaarten en modellen 34

2.2.6. Breukenbestanden 35

2.2.7. Maaiveld- en waterbodemhoogtebestanden 36

2.2.8. Databewerking 38

2.3. Geologische en hydrogeologische correlatietabel 38

2.3.1. Doelstelling 38

2.3.2. Correlatie geologische en hydrogeologische eenheden 39

2.3.3. Keuze stratigrafische en hydrogeologische indeling projectgebied 41

2.3.4. De correlatietabel 42

2.4. (Her)interpretaties *45*
2.4.1. Inleiding 45
2.4.2. (Her)interpretatie ondiepe eenheden 45
2.4.3. (Her)interpretatie diepe gegevens 47
2.4.4. interpretatie breuken 53

2.5. Modellering *55*
2.5.1. Keuze modelleringsmethodes 55
2.5.2. Werkwijze ondiepe methode 58
2.5.3. Werkwijze diepe methode 63
2.5.4. Gecombineerde en Overige methoden 65
2.5.5. Aanmaken modellen in Lambert-coördinaten en TAW 67

2.6. Kwalitatieve analyse van de lithologie van de gemodelleerde eenheden *68*

HOOFDSTUK 3. Resultaten en discussie 69

3.1. Algemeen *69*

3.2. Geologische en hydrogeologische correlatietabel *69*
3.2.1. Correlatie ondiepe eenheden 69
3.2.2. Correlatie diepe eenheden 72

3.3. (Her)Interpretaties boorgegevens en seismische data *72*
3.3.1. Boorgegevens 72
3.3.2. Seismische data 73

3.4. Breukenmodel *74*
3.4.1. Onderbouwing aanpassing breukenkaart 74
3.4.2. Aanpassingen van de breukenkaart van het G3Dv2-model (Broothaers et al., 2012) 77
3.4.3. Aanpassingen van de breukenkaarten van de basis Boven Noordzee Groep 78
3.4.4. Opvallende vaststellingen betreffende het breukenmodel 78

3.5. 3D Geologisch en hydrogeologisch lagenmodel *80*
3.5.1. Algemeen 80
3.5.2. Geologische lagenmodel 86
3.5.3. 3D Hydrogeologische model 89
3.5.4. Kwalitatieve analyse van de geometrie van de gemodelleerde eenheden 93
3.5.5. De kwaliteit van de gegevens 96
3.5.6. De gebruikte methodiek van modelleren 98

3.6. Kwalitatieve analyse lithologie (hydro)geologische eenheden *100*

HOOFDSTUK 4. Conclusies en aanbevelingen 103

4.1. Conclusies *103*

4.2. Aanbevelingen *105*

HOOFDSTUK 5. Ondertekening 107

Literatuurlijst 109

Bijlage A: Conversie coördinaten en referentieniveaus _____ **115**

Bijlage B: Criteria voor de lithostratigrafische indeling _____ **117**

Bijlage C: De stratigrafische indeling van de Kiezeloöliet Formatie _____ **149**

Bijlage D: Correlatieprofielen _____ **157**

Bijlage E: Aandachtspunten en bekende fouten in de modellen _____ **165**

Bijlage F1: Overzicht shapefiles en rasters van de modellen _____ **169**

Bijlage F2: Attributen shapefiles van de modellen _____ **171**

Bijlage G: Kwalitatieve analyse van de lithologie van de gemodelleerde eenheden __ **177**

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1. Overzicht van seismische gegevens van het projectgebied. _____ 33
Tabel 2: Overzicht van de correlatietabel. Legende bij de Nederlandse hydrogeologische codes: c= complexe eenheden, z = zandige eenheden, k= kleiige eenheden en b of v = bruinkooleenheden _____ 43
Tabel 3: Overzicht van de methodieken waarmee de verschillende eenheden gemodelleerd zijn. Voor de opgesomde punten in de rechterkolom wordt verwezen naar paragraaf 2.5.4. _____ 56
Tabel 4: Het aantal boringen dat gebruikt werd bij de ondiepe modelleermethode per geologische eenheid. _____ 95
Tabel 5. Overzicht van het gebruikte aantal boringen en kilometer seismische lijnen voor de verschillende eenheden die via de diepe methode gemodelleerd werden. De Formatie van Borgloon werd volledig via de ondiepe methode gemodelleerd. _____ 96
Tabel 6: Overzicht van het beoogde dieptebereik en de kwaliteit per seismische campagne98

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Een tweetal voorbeelden van geologische kaarten van de grensstreek. A: Kaartblad III van blad 58 Roermond van de Geologische kaart van Nederland 1: 50.000 (Tesch, 1925-1952). B: Kaartblad 18-10 Maaseik-Beverbeek van de Quartairgeologische Kaart (Beerten et al., 1999). 18
Figuur 2: Voorbeelden van aansluitproblemen tussen de lagenmodellen DGM, DGM-diep, G3Dv2, HCOV en REGIS II in de Vlaamse-Nederlandse grensstreek, a: breukenpatroon en diepteverloop van de basis van de Formatie van Opglabbeek (Vlaanderen) en de Noordzee Supergroep (Nederland) conform de modellen DGM-diep en G3Dv2, b: doorsnede in de Roerdalslenk door de geologische modellen G3Dv2 (Vlaanderen) en de gecombineerd modellen DGM en DGM-diep (Nederland) c: doorsnede in de Roerdalslenk door de hydrogeologische modellen HCOV (Vlaanderen) en REGIS II (Nederland). 21
Figuur 3: Roerdalslenk en Nederrijnslenk, een riftsysteem ten noorden van het Ardennen-Eifelmassief. Het Eifelvulkanisme komt in dit massief voor op de as tussen de Nederrijn- en Bovenrijnslenken (gewijzigd naar De Mulder et al., 2003). 22
Figuur 4: Ligging van het projectgebied en modelgebied. 25
Figuur 5: Algemene werkstroom van het project “H3O-Roerdalslenk” met onderscheiden hoofdactiviteiten. 29
Figuur 6: Ligging van de gebruikte boringen binnen het projectgebied. 31
Figuur 7: Histogram van het aantal, in het Nederlandse en Vlaamse deel van het modelgebied gebruikte boringen per diepte-interval. 31
Figuur 8: Ligging van de gebruikte boorgatmetingen binnen het projectgebied 32
Figuur 9: Ligging van de gebruikte seismische lijnen binnen het projectgebied 34
Figuur 10: Bestaande breukenbestanden van de basis Boven Noordzee Groep (NL) en de basis Formatie van Bolderberg (VL). De in het Nederlandse deel van het projectgebied getoonde kaart betreft breukenkaart v01r3 van TNO; de kaarten in het Vlaamse deel zijn ontleend aan het G3Dv2 model (door Broothaers et al. (2012)) en aan Langenaeker (2001). 36
Figuur 11: Gecombineerde maaiveld- en waterbodemhoogtebestand van het projectgebied in m ten opzichte van TAW. Bron: Landelijke maaiveld- en waterbodemhoogtebestand versie 1.4 uit de TNO database aaneengesloten met het DHM-Vlaanderen (AGIV, 2004). 37
Figuur 12: Voorbeeld van de herinterpretatie van een boring die nabij de grens in België gelegen is. Eerdere interpretaties volgens de Belgische (DOV) en Nederlandse (DINO) lithostratigrafie werden aangepast. 46
Figuur 13: Ligging van de bij de seismische interpretatie gebruikte kapstokboringen. De volgende afkortingen werden gebruikt: MLB = Molenbeersel, NEE = Neerglabbeek, OPI = Opitter, LBR-01 = Limbricht, NDW-01 = Nederweert, AST-02 = Asten. 48
Figuur 14: Seismische interpretatie langsheen boring Molenbeersel. De interpretatie was grotendeels gebaseerd op een synthetisch seismogram (links op de figuur) dat werd aangemaakt op basis van de akoestische log en densiteitslog van deze boring. Het synthetische seismogram is weergegeven op de achtergrond van een seismisch profiel dat doorheen boring Molenbeersel loopt. In het centrum is de gamma log van boring Molenbeersel weergegeven die gebruikt werd om de lithostratigrafische eenheden erbinnen te interpreteren. De geïnterpreteerde eenheden zijn links weergegeven. De

aangegeven nummers komen met de basissen van volgende formaties overeen (of tussen haakjes de hydrogeologische eenheid): 1 = Opglabbeek, 2 = Heers, 3 = Hannut, 4 = Sint-Huibrechts-Hern/Bilzen, 5 = Voort (0254-2), 6 = Voort (0255), 7 = Voort (0254-1), 8 = Bolderberg. 49
Figuur 15: Geïnterpreteerde seismische lijnen die doorheen de Roerdalslenk snijden. De linkse lijn is in het Belgische gedeelte van het modelgebied gelegen en sluit over de grens quasi aan op een lijn die in het Nederlandse gedeelte van het modelgebied is gelegen. De locatie van deze seismische lijnen is rechtsonder weergegeven. De aangegeven nummers komen met de basissen van volgende formaties overeen (of tussen haakjes de hydrogeologische eenheid): 1 = Opglabbeek, 2 = Heers, 3 = Hannut, 4 = Sint-Huibrechts-Hern/Bilzen, 5 = Voort (0254-2), 6 = Voort (0255), 7 = Voort (0254-1), 8 = Bolderberg. 51
Figuur 16: Seismische interpretatie van een seismisch profiel langsheen de slenk. De aangegeven nummers komen met de basissen van volgende formaties overeen (of tussen haakjes de hydrogeologische eenheid): 1 = Opglabbeek, 2 = Heers, 3 = Hannut, 4 = Sint-Huibrechts-Hern/Bilzen, 5 = Bolderberg. De Formatie van Sint-Huibrechts-Hern snijdt langsheen dit profiel duidelijk de onderliggende eenheden af naar het zuidoosten. Let ook op het verlies in seismische resolutie boven de Formatie van Bolderberg. 53
Figuur 17: Interpretatie van breuksegmenten op een seismische lijn. De rechtse twee segmenten begrenzen een brede breukzone (gerelateerd aan de Gangelt breuk). Door het sterk opgebroken karakter van de breukzone kunnen de individuele breuksegmenten ervan niet geïdentificeerd worden. De locatie van deze figuur is rechtsonder weergegeven. 54
Figuur 18: Deelgebieden waarbinnen de ondiepe en diepe methode van modelleren werden gebruikt. Het deelgebied 'ondiepe methode (excl. Paleocene eenheden)' omvat alle eenheden behalve deze van Paleocene ouderdom ofwel dus de Formaties van Opglabbeek, Heers en Hannut. 58
Figuur 19: Workflow ondiepe en diepe methode 59
Figuur 20: Overzicht van de werkwijze van de ondiepe methode, met geïnterpreteerde boringen en een 3D model van de Formatie van Stramproy. 63
Figuur 21: 3D-modellering in tijd van de basis van de Formatie van Opglabbeek. Drie seismische profielen zijn weergegeven in het 3D model met interpretaties van andere laagvlakken en breuken. Rechts onderaan op de figuur is in groene kleur de noordpijl weergegeven. 64
Figuur 22: Bestaande breukenbestanden van de basis Boven Noordzee Groep (NL) en de basis Formatie van Bolderberg (VL) voor de aanvang van het H3O-project. De in het Nederlandse deel van het projectgebied getoonde kaart betreft breukenkaart v01r3 van TNO; de kaarten in het Vlaamse deel zijn ontleend aan het G3Dv2 model (door Broothaers et al. (2012)) en aan Langenaeker (2001). 75
Figuur 23: Nieuwe breukenkaart voor de top van de krijtsedimenten met naamgeving van de grote breuken en aanduidingen van de voornaamste aanpassingen via polygonen. 76
Figuur 24: Breuken die doorwerken tot in de basis van de Kiezeloöliet Formatie of een stratigrafisch hoger gelegen eenheid. 79
Figuur 25: Fence diagram door het geologisch lagenmodel. 80
Figuur 26: Fence diagram door het hydrogeologisch lagenmodel. 81
Figuur 27: Geometrie van de Kiezeloöliet Formatie conform het geologisch lagenmodel, a: hoogte top, b: standaardafwijking hoogte top, c: dikte, d: standaardafwijking dikte, e:

hoogte basis, f: standaardafwijking hoogte basis, g: kans op voorkomen. Deze eenheid is via de ondiepe methode gemodelleerd. _____ 83
Figuur 28: Geometrie van hydrogeologische eenheid KI-k-2 conform het hydrogeologische model, a: hoogte top, b: dikte, c: hoogte basis. Deze eenheid is via de ondiepe methode gemodelleerd. _____ 85
Figuur 29: Doorsnede in de Roerdalslenk door a: het geologische model G3Dv2 (Vlaanderen) en de gecombineerd modellen DGM en DGM-diep (Nederland), b: het geologische model van dit project, c: een overlay van de grensvlakken van het nieuwe geologische model over de reeds bestaande geologische modellen G3Dv2, DGM en DGM-diep. De diepte is weergegeven in NAP. _____ 86
Figuur 30: Doorsnede in de Roerdalslenk door a: de hydrogeologische modellen HCOV(Vlaanderen) en REGIS II (Nederland), b: het hydrogeologische model van dit project, c: een overlay van de grensvlakken van het nieuwe hydrogeologische model over de reeds bestaande hydrogeologische modellen HCOV en REGIS II. Alleen de eenheden tot en met de Formatie van Inden zijn weergegeven. De diepte is weergegeven in NAP._____ 90
Figuur 31: Ruimtelijke spreiding van 2D-seismische lijnen binnen het projectgebied en de onderlinge afstand tussen deze lijnen. _____ 94

LIJST VAN AFKORTINGEN

ALBON	Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen van de Vlaamse overheid.
ArcMap	Hoofdcomponent van de ArcGIS-programmatuur voor onder andere het raadplegen en visualiseren van datasets en het maken van kaarten.
Belge Lambert-72	Geodetisch coördinatensysteem dat voor België op nationaal niveau wordt gebruikt als grondslag voor geografische aanduidingen en bestanden.
BGD	Belgische Geologische Dienst.
DGM	Digitaal Geologisch Model, voornamelijk op boorgegevens gebaseerd digitaal geologisch model van de ondiepe ondergrond (tot ca. 500 m) van het vasteland van Nederland.
DGM-diep	Digitaal Geologisch Model-diep, voornamelijk op seismische gegevens gebaseerd digitaal geologisch model van in het bijzonder de diepe ondergrond van het vasteland en het Nederlandse deel van het continentaal plat.
DINO	Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond, databank van TNO, Geologische Dienst Nederland.
DOV	Databank Ondergrond Vlaanderen, databank van de Vlaamse Overheid.
ESRI	Environmental Systems Research Institute, leverancier van GIS-programmatuur.
GeoTOP	hoge resolutie voxelmodel van de bovenste tientallen meters van het vasteland van Nederland (in opbouw).
GD NRW	Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen.
GIS	Geografisch InformatieSysteem, programmatuur die het mogelijk maakt om de geografische aspecten van data te bestuderen en bewerken.
G3Dv2	Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.
HCOV	Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen, hydrogeologisch model van Vlaanderen.
H3O	(Hydro)geologische 3d-modellering Ondergrond, acroniem van de naam van dit project.
IMG	Bestandsformaat (.img) voor rasterdata.
KSB	Koninklijke Sterrenwacht van België.
KUL	Katholieke Universiteit Leuven.
MXD	ArcMap document bestand.
NAP	Het Normaal Amsterdams Peil is de referentiehoogte waaraan hoogtemetingen in onder andere Nederland worden gerelateerd.
NL3D	Lage resolutie voxelmodel van de bovenste tientallen meters van het vasteland van Nederland.
RD_new	Geodetisch coördinatensysteem dat voor Europees Nederland op nationaal niveau wordt gebruikt als grondslag voor geografische aanduidingen en bestanden.
REGIS II	Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem II, op DGM gebaseerd hydrogeologisch model van de ondiepe ondergrond (tot ca. 500 m) van het vasteland van Nederland.

SCK	StudieCentrum voor Kernenergie.
TAW	De Tweede Algemene Waterpassing is de referentiehoogte waartegenover hoogtemetingen in België worden uitgedrukt.
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek.
TWT	Two-way-traveltime van geluidsgolven doorheen de ondergrond.
VITO	Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek.
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij.
WML	NV Waterleiding Maatschappij Limburg.

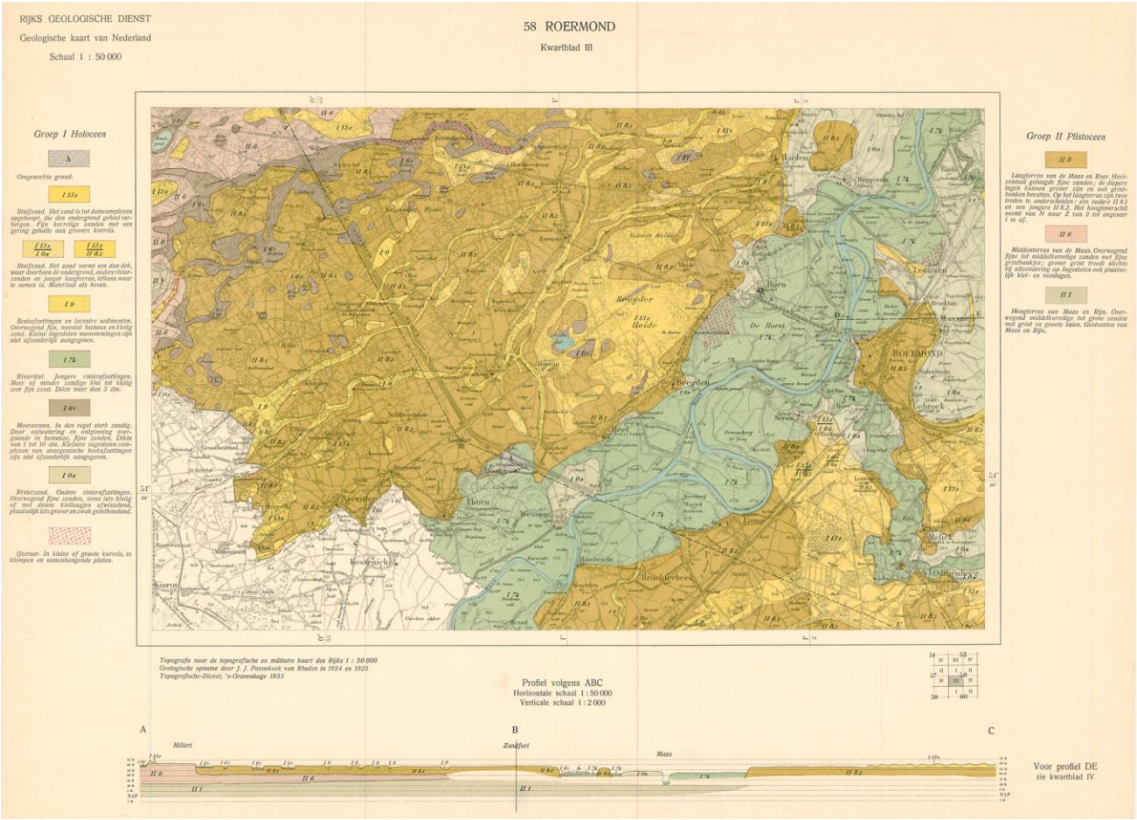
HOOFDSTUK 1. INLEIDING

1.1. KARTERING EN MODELLERING VAN DE ONDERGROND IN DE GRENSSTREEK

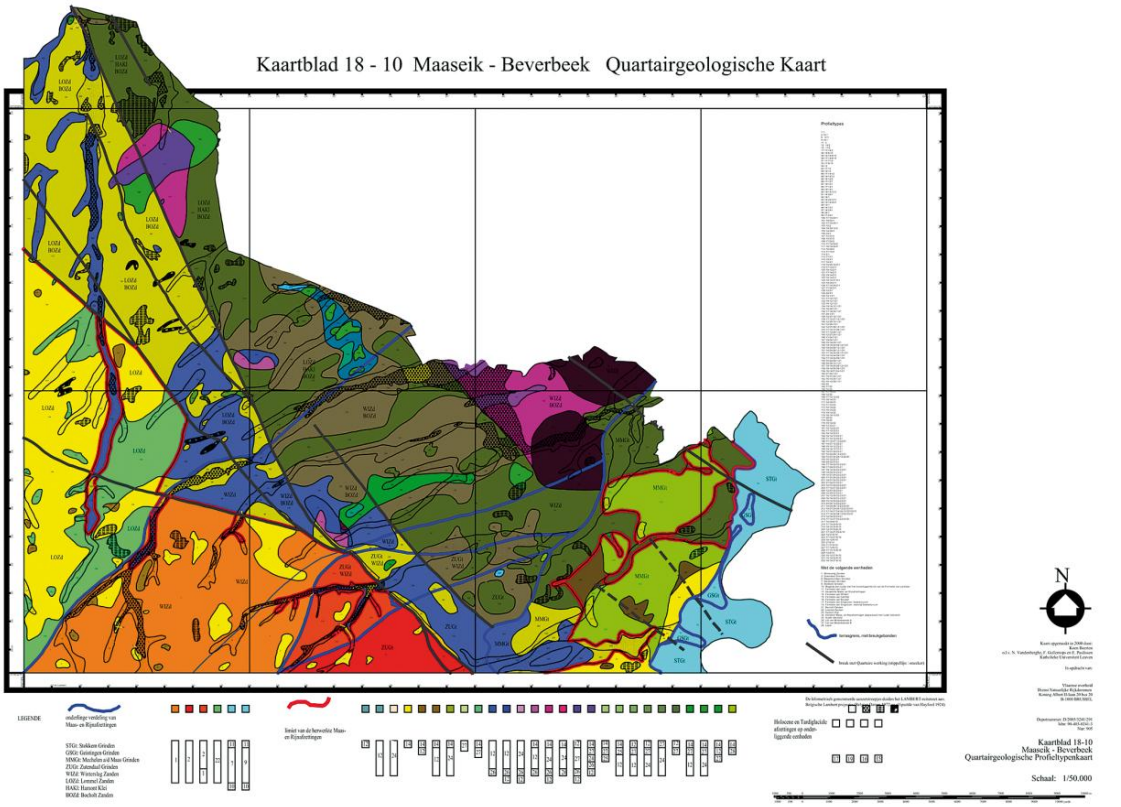
Dit rapport beschrijft de totstandkoming van een 3D geologisch en hydrogeologisch model van het Cenozoïcum van de Roeldalslenk in Zuidoost-Nederland en Vlaanderen. Bijzonder aan het model is dat het grensoverschreidend is. Landelijke en regionale karteringen van de ondergrond, of het nu gaat om geologische, hydrogeologische of bodemkundige karteringen, worden in Nederland en Vlaanderen uitgevoerd in opdracht van de overheid en zijn daardoor altijd beperkt geweest door administratieve grenzen(figuur 1). Aan weerszijden van deze grenzen is de resulterende ondergrondinformatie vervolgens gebruikt voor het beheer van de ondergrond en daarin voorkomende bestaansbronnen zoals grondwater, waarvan het voorkomen en gedrag echter per definitie grensoverschrijdend zijn.

Om die reden leefde bij partijen in Nederland (Provincie Limburg en Provincie Noord-Brabant) en Vlaanderen (Departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid en de Vlaamse Milieumaatschappij) de wens om de geologische en hydrogeologische modellen van Nederland (DGM en REGIS II) en Vlaanderen (G3Dv2 en HCOV) voor de Roerdalslenk op elkaar af te stemmen. In 2010 hebben hierover de eerste gesprekken tussen Nederlandse, Vlaamse en Duitse instanties plaatsgevonden. Daarbij is de wens geuit om een grensoverschrijdend geologisch en hydrogeologisch model van de Roerdalslenk te maken. Duitse partijen bleken destijds geen mogelijkheden te hebben om aan het project deel te nemen waarna verdere gesprekken tussen Nederlandse en Vlaamse partijen zijn doorgegaan. Er werd beslist om hiervoor een tweejarig project uit te schrijven onder de naam H3O - (Hydro)geologische 3D-modellering Ondergrond. Dit project wordt verder aangeduid als H3O-Roerdalslenk. Het project is op 13 maart 2012 van start gegaan. Aan dit project hebben de volgende organisaties deelgenomen:

- Afdeling Geomodellering van TNO, Geologische Dienst Nederland
- Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen (ALBON) van de Vlaamse overheid
- Afdeling Landelijk Gebied van de Nederlandse Provincie Limburg
- Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
- Belgische Geologische Dienst (BGD)
- Bureau Bodem van de Nederlandse Provincie Noord-Brabant (vanaf 15 januari 2013)
- VITO/Energyville



A)



B)

Figuur 1: Een tweetal voorbeelden van geologische kaarten van de grensstreek. A: Kaartblad III van blad 58 Roermond van de Geologische kaart van Nederland 1: 50.000 (Tesch, 1925-1952). B: Kaartblad 18-10 Maaseik-Beverbeek van de Quartairgeologische Kaart (Beerten et al., 1999).

1.2. UITGANGSSITUATIE EN PROBLEEMSTELLING

In Nederland zijn thans de volgende ondergrondmodellen in onderhoud en of opbouw (Van der Meulen et al., 2013):

- DGM (Digitaal Geologisch Model), het geologisch raamwerkmodel van de ondiepe ondergrond.
- DGM-diep (Digitaal Geologisch Model – diep), het geologisch raamwerkmodel van de diepe ondergrond.
- REGIS II (REgionaal Geohydrologisch InformatieSysteem), het hydrogeologische model van de ondiepe ondergrond.
- NL3D, het lage resolutie voxelmodel van de bovenste tientallen meters.
- GeoTOP, het in opbouw zijnde hoge resolutie voxelmodel van de bovenste tientallen meters.

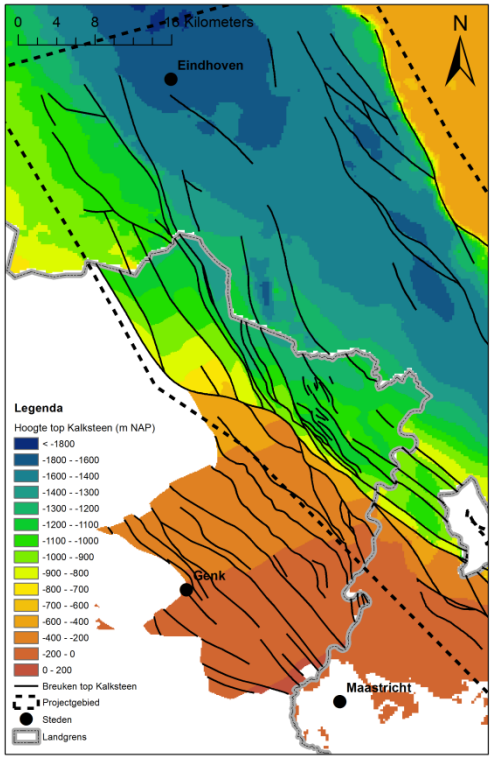
In Vlaanderen zijn thans gereed:

- G3Dv2, het Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (Matthijs et al., 2013).
- HCOV-model, het volgens de Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen opgezette hydrogeologische lagenmodel (Belgische Geologische Dienst, 2007).

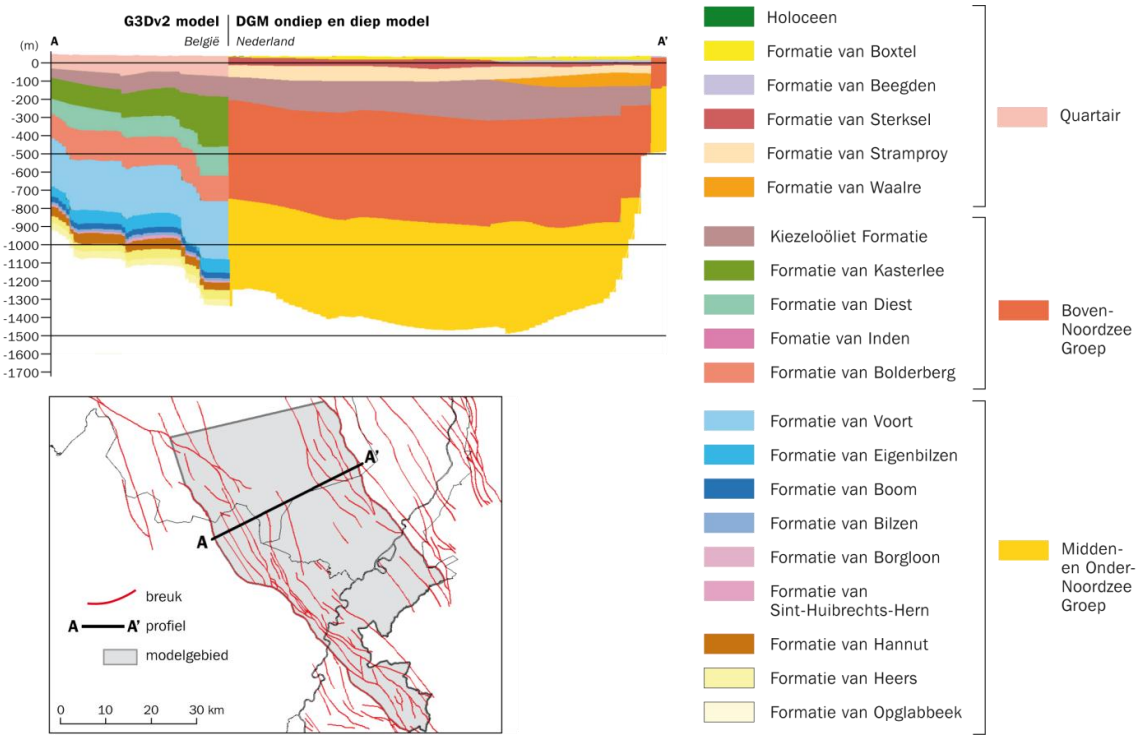
Al deze modellen kennen een lange voorgeschiedenis in de geologische kartering waarbij in Nederland en Vlaanderen de ondergrond is ingedeeld naar eigen classificaties en definities, leidend tot verschillen zoals weergegeven in figuur 2:

- Het niet op elkaar aansluiten van breukenpatronen.
- Sprongen in de diepteligging en dikte van eenheden.
- Het niet over de grens kunnen vervolgen van laaggrenzen.
- Verschillen in de mate van detail van de hydrogeologische indeling.

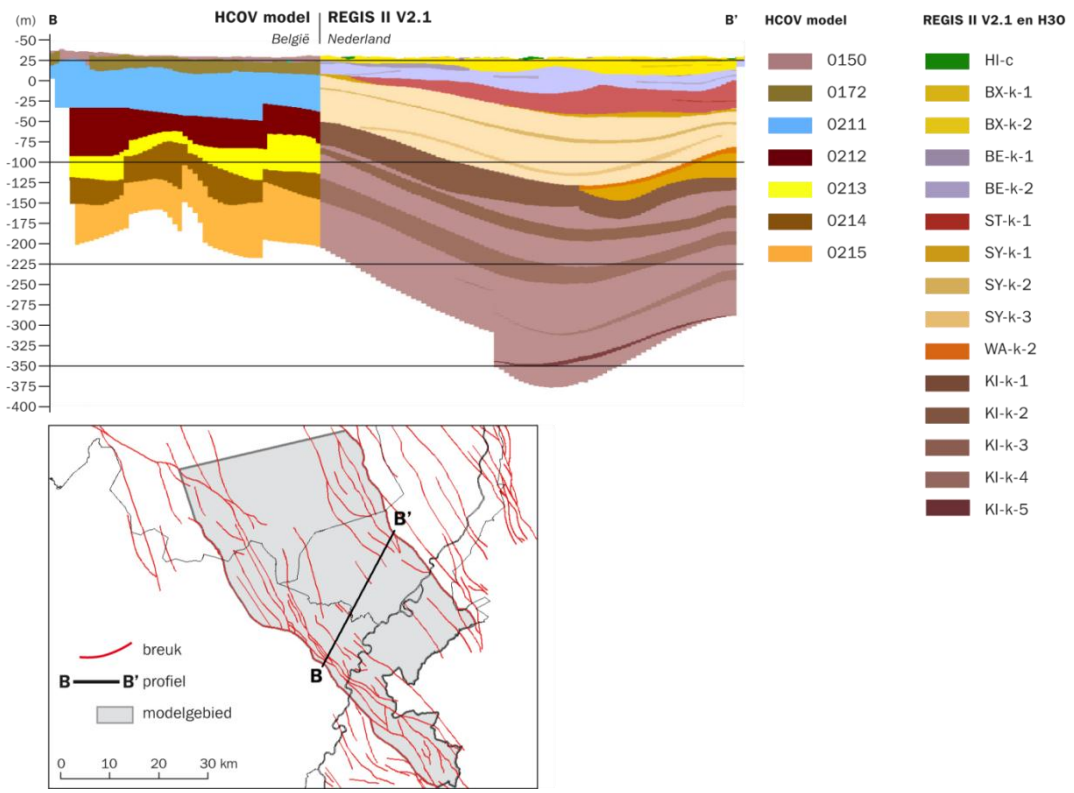
Ook al vertonen de modellen soms grote verschillen, hun productie- en onderhoudscycli van slechts enkele jaren zijn zo veel lager dan die van voorgaande geologische karteringen (enkele jaren versus decennia), dat nu het punt in de tijd bereikt dat afstemming niet alleen nodig is, maar ook praktisch haalbaar.


0 4 8 16 Kilometers
N
Eindhoven
Genk
Maastricht
Legenda
Hoogte top Kalksteen (m NAP)
< -1800
-1800 - -1600
-1600 - -1400
-1400 - -1300
-1300 - -1200
-1200 - -1100
-1100 - -1000
-1000 - -900
-900 - -800
-800 - -700
-700 - -600
-600 - -400
-400 - -200
-200 - 0
0 - 200
Breuken top Kalksteen
Projectgebied
Steden
Landgrens

A)


G3Dv2 model
DGM ondiep en diep model
België
Nederland
(m)
A
A'
0
-100
-200
-300
-400
-500
-600
-700
-800
-900
-1000
-1100
-1200
-1300
-1400
-1500
-1600
-1700
breuk
A — A' profiel
modelgebied
0 10 20 30 km
Holoceen
Formatie van Boxtel
Formatie van Beegden
Formatie van Sterksel
Formatie van Stramproy
Formatie van Waalre
Quartair
Kiezeloöliet Formatie
Formatie van Kasterlee
Formatie van Diest
Fomatie van Inden
Formatie van Bolderberg
Boven-Noordzee Groep
Formatie van Voort
Formatie van Eigenbilzen
Formatie van Boom
Formatie van Bilzen
Formatie van Borgloon
Formatie van Sint-Huibrechts-Hern
Formatie van Hannut
Formatie van Heers
Formatie van Opglabbeek
Midden- en Onder-Noordzee Groep

B)



c)

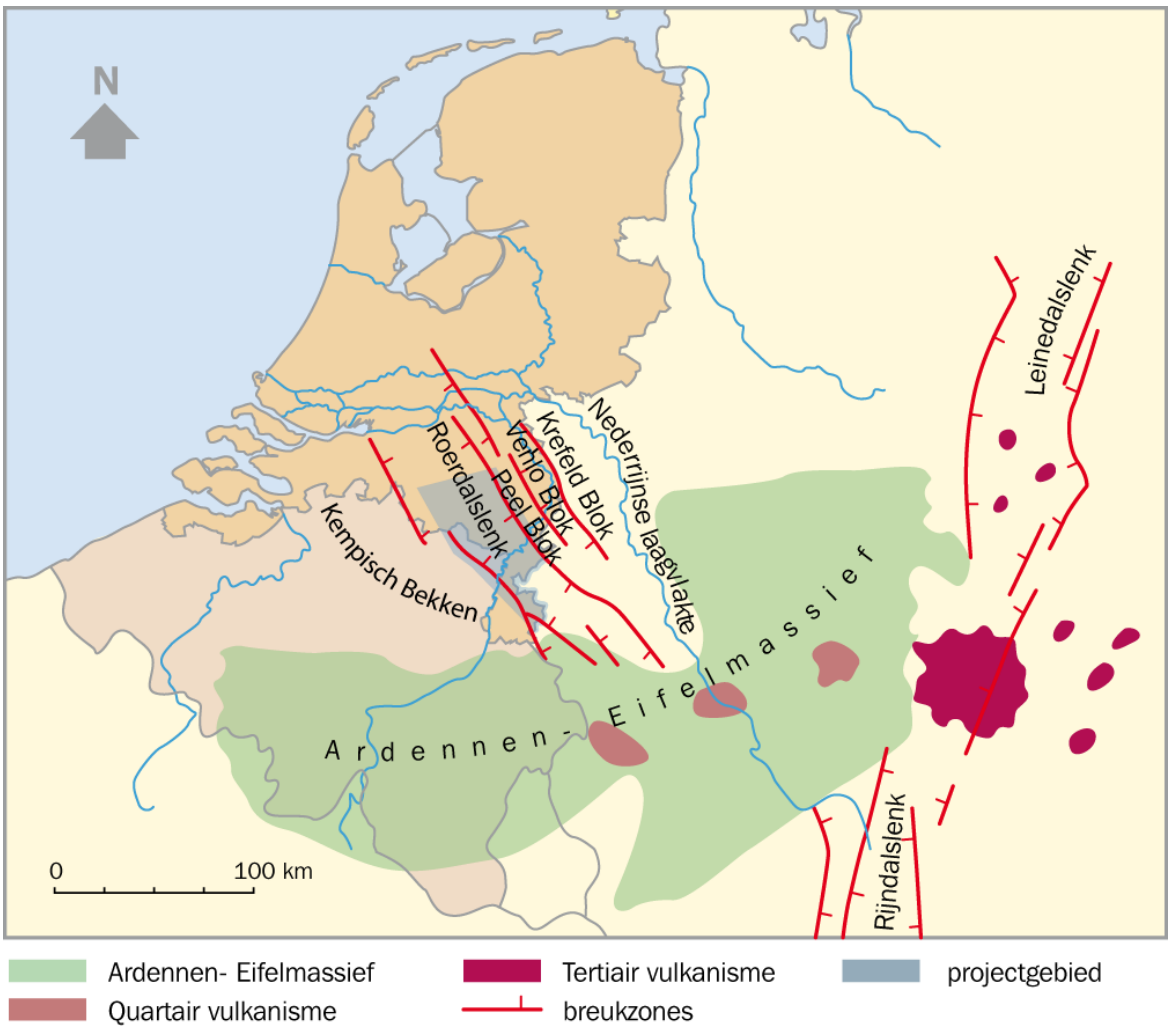
Figuur 2: Voorbeelden van aansluitproblemen tussen de lagenmodellen DGM, DGM-diep, G3Dv2, HCOV en REGIS II in de Vlaamse-Nederlandse grensstreek, a: breukenpatroon en diepteverloop van de basis van de Formatie van Opglabbeek (Vlaanderen) en de Noordzee Supergroep (Nederland) conform de modellen DGM-diep en G3Dv2, b: doorsnede in de Roerdalslenk door de geologische modellen G3Dv2 (Vlaanderen) en de gecombineerd modellen DGM en DGM-diep (Nederland) c: doorsnede in de Roerdalslenk door de hydrogeologische modellen HCOV (Vlaanderen) en REGIS II (Nederland).

1.3. DOELSTELLINGEN

De algemene doelstelling die met het H3O-project wordt nagestreefd is:
"Het verhelpen van aansluitproblemen tussen de bestaande geologische en hydrogeologische lagenmodellen van Nederland en Vlaanderen."
De specifieke doelstelling van het H3O-Roerdalslenk project is:
"Het gezamenlijk samenstellen van een grensoverschrijdend, 3D geologisch en een daarop gebaseerd hydrogeologisch lagenmodel van het Cenozoïcum van de Roerdalslenk in Zuidoost-Nederland en Vlaanderen op basis van de meest recente gegevens, kennis en inzichten zodat dit model door Vlaamse en Nederlandse partijen geaccepteerd wordt als het referentiemodel van dit gebied."

1.4. Geologische/paleogeografische beschrijving van de Roerdalslenk

Het zuidoosten van Noord-Brabant, het midden van Nederlands Limburg en het noordoosten van Belgisch Limburg onderscheiden zich niet door uitzonderlijke of diverse landschappen, die zijn eerder terug te vinden in het aangrenzende Mergelland, de Hoge Kempen of de Peel. Dit gebied heeft wel een bijzondere plaattektonische betekenis als onderdeel van het Noordwest-Europese riftsysteem, een breukbegrensd dalingsgebied dat West-Europa doorsnijdt van de Noordzee tot de Middellandse Zee. Extensie van het riftsysteem heeft ruimte geschapen voor de sedimenten. De Roerdalslenk vormt het westelijk segment van de Nederrijnslenk (figuur 3), waarin sinds 28 miljoen jaar tot 1600 m sediment accumuleerde. De Roerdalslenk gaat over in het Ardennen-Eifelmassief dat gelijktijdig een opheffing ondervond, en zo de voornaamste bron van sedimenten in de Roerdalslenk werd. Dit systeem is nog altijd actief, getuige de breuktrappen die in het landschap zichtbaar zijn en de aardbevingen die vooral geconcentreerd zijn in het zuiden van de slenk.



Figuur 3: Roerdalslenk en Nederrijnslenk, een riftsysteem ten noorden van het Ardennen-Eifelmassief. Het Eifelvulkanisme komt in dit massief voor op de as tussen de Nederrijn- en Bovenrijnslenken (gewijzigd naar De Mulder et al., 2003).

De Roerdalslenk vormt een doorvoerweg voor erosieproducten van het opgeheven Ardennen-Eifel gebied naar de Noordzee. De Rijn, Maas en kleinere rivieren werden aangetrokken door het dalingsgebied en zetten hun sedimenten erin af. Aan de zuidrand van de Roerdalslenk leidde de continue bodemdaling tijdens het Mioceen tot het ontstaan van moerassen met langdurige periodes van veenvorming, die nu als bruinkool wordt gewonnen. In noordwestelijke richting, naar de Noordzee verandert het afzettingsmilieu van continentaal naar marien.

De Roerdalslenk zoals we die nu kennen heeft een lange voorgeschiedenis als sedimentatiebekken dat met de Kimmerische gebergtevorming tijdens het Juratijdperk werd afgesloten (ca. 150 miljoen jaar geleden). De verdunning van de Krijtgesteenten in de slenk, of zelfs hun algehele verdwijning naar het noorden toe, getuigt van oppersing van zakkingszones, of tektonische inversie ten tijde van periodes van verhevigde compressie van de Europese Plaat. De goed te onderscheiden Krijtgesteenten (Laat-Krijt en vroegste Paleoceen) vormen de basislaag waarop de geologische geschiedenis van de huidige Roerdalslenk kan worden gefundeerd. Tijdens het grootste deel van het Paleogeen vormde de Roerdalslenk geen specifiek sedimentatiedomein, maar bleef eerder onderhevig aan na-ijlende inversie. Tijdens het Boven-Oligoceen (Chattien) trad er een kanteling op van het sedimentatiebekken waardoor de sedimentatie wordt geconcentreerd in de Roerdalslenk. De cumulatieve dalingssnelheid nam aanzienlijk toe, van 0.01 mm/jaar tijdens het Oligoceen tot 0.8 mm/jaar tijdens het Quartair[1] (Geluk et al., 1994).

In de Boven-Oligocene tot Quartaire sedimenten van de Roerdalslenk kunnen ten gevolge van de geleidelijke opheffing van het hinterland drie grote sedimentatiesystemen worden onderscheiden: mariene afzettingen tijdens het Oligoceen, bruinkoolhoudende fluviatiel-estuariene afzettingen vertand met mariene afzettingen tijdens het Mioceen, en fluvio-lacustriene afzettingen vertand met estuariene of waddenafzettingen tijdens het Plioceen en Quartair.

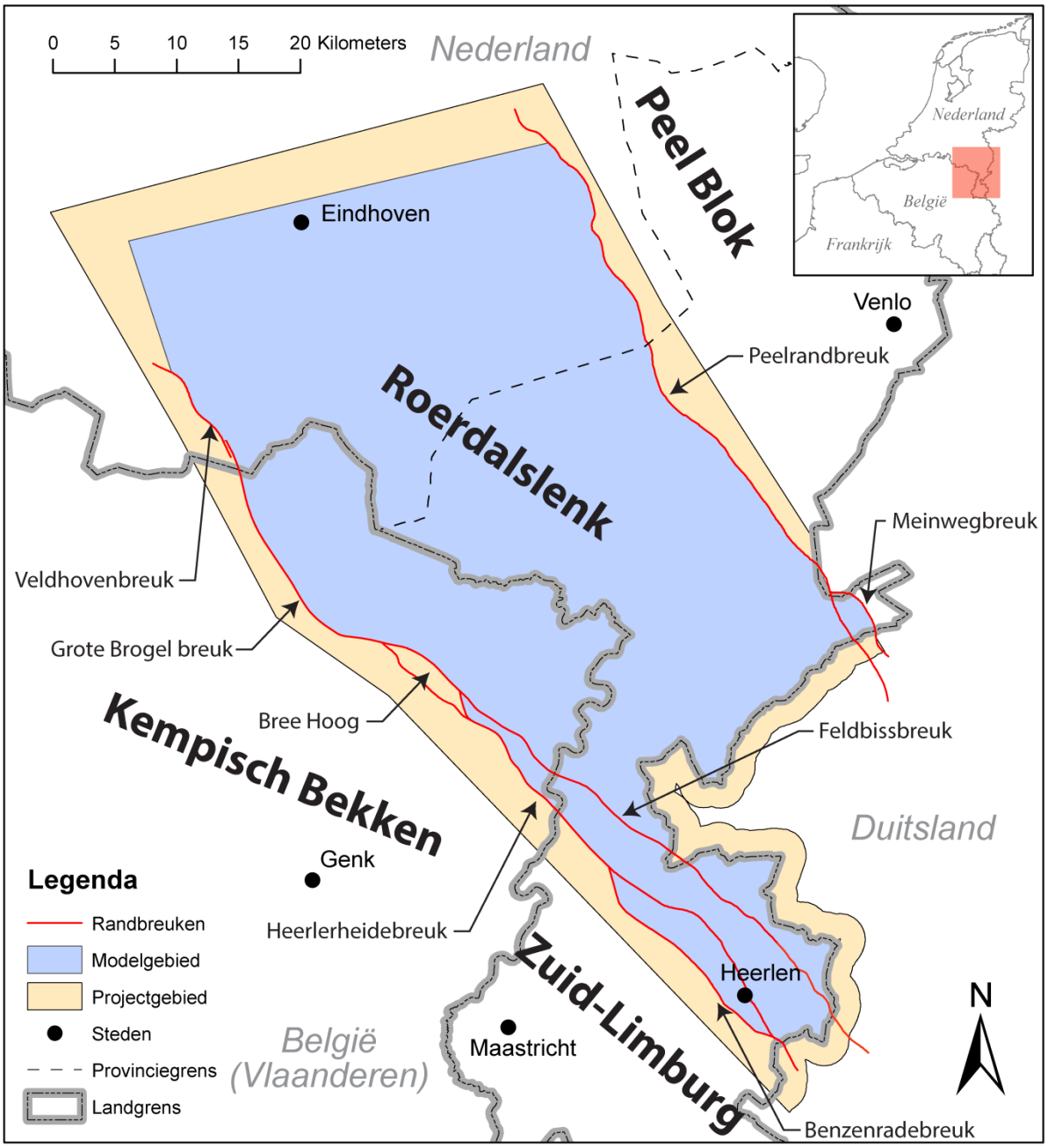
Wegens de sterke relatie tussen opheffing en daling, of tussen erosie en sedimentatie bestaat het sediment van de Roerdalslenk in het studiegebied hoofdzakelijk uit zand, en bijgevolg de belangrijkste grondstof uit grondwater, dat zoet is tot vele honderden meters diepte. Met name de Kiezeloöliet Formatie is strategisch belangrijk voor de grondwaterwinning in beide landen. Overaanbod van zand uit het Ardennen-Eifelmassief wordt getransporteerd door verwilderde rivieren en vindt accomodatieruimte in de slenk. Sedimentatiecycli worden afgesloten bij onderaanbod van zand waardoor rivieren gaan meanderen en de overstromingsvlakte met klei- en bruinkoollagen wordt opgevuld. Die fungeren nu als waterkerende scheidingslagen. Dit patroon verandert ten gevolge van het koude klimaat dat het Quartair kenmerkt.

[1] Deze geologische periode wordt in Vlaanderen en Nederland verschillend geschreven. In dit rapport is de Vlaamse schrijfwijze aangehouden.

Insnijding van Rijn en Maas tot in de Paleozoïsche gesteenten en massatransport tijdens de glacialen hebben geleid tot de grindafzettingen die door hun omvang en resistentie tegen erosie, gekoppeld aan verzakking van de breukblokken langs de noordoostzijde van de Roerdalslenk, Rijn en Maas uit de Roerdalslenk hebben gedwongen, tot tegen de stuwwallen van de glaciaties in Midden-Nederland.

1.5. GEOGRAFISCHE BEGRENZING

De geografische begrenzing van het projectgebied en het daarbinnen gelegen modelgebied, dit is het gebied waarvan het geologische en hydrogeologische lagenmodel zijn samengesteld, zijn weergegeven in figuur 4. Het modelgebied beslaat niet alleen uit het Vlaams-Nederlandse deel van de Roerdalslenk, maar ook de structurele blokken ter weerszijde van de Roerdalslenk die geologisch gezien nauw met de Roerdalslenk samenhangen. Het betreft de blokken tussen enzijds de Peelrand- en Mijnwegbreuk en anderzijds tussen de Feldbiss-, Heerlerheid en Benzeradebreuk.



Figuur 4: Ligging van het projectgebied en modelgebied.

Het modelgebied valt in het oosten samen met de grens met Duitsland. Hoewel er in het kader van dit project wel gegevens van het aangrenzende Duitse gebied zijn meegenomen, maakte de aansluiting op lagenmodellen van het Duitse deel van de Roerdalslenk geen deel uit van dit project.

1.6. Verticale begrenzing

Nagestreefd is om een geologisch en hydrogeologisch lagenmodel te maken van de klastische afzettingen uit het Cenozoïcum (zie tabel 2 - correlatietabel). De basis van beide modellen valt daarmee samen met de top van de kalksteen (Formaties van Houthem of Maastricht) en in het uiterste zuidoostelijke deel van het projectgebied met de top van het Carboon. In de Roerdalslenk ligt dit grensvlak zeer diep, tot ca. 2000 m onder het maaiveld direct ten noorden van het projectgebied. Daar waar (hydro)geologische eenheden niet gemodelleerd konden worden vanwege een te geringe dichtheid van boor- en seismische gegevens wordt de basis van beide modellen gevormd door de diepste eenheid die nog wel kon worden gemodelleerd.

1.7. Modeleenheden

Van zowel het Nederlandse als het Vlaamse deel van het modelgebied zijn reeds de bestaande geologische lagenmodellen DGM, DGM-diep en G3Dv2 en de hydrogeologische lagenmodellen REGIS II en HCOV beschikbaar. Bij het samenstellen van het nieuwe geologische en hydrogeologische lagenmodel is, waar mogelijk, de meest gedetailleerde modelindeling van de bestaande modellen aangehouden.

1.8. Geometrie hydrogeologische eenheden

Hydrogeologische lagenmodellen beschrijven de geometrie (verbreiding, diepteligging en dikte) en daarnaast vaak ook de hydraulische eigenschappen van de hydrogeologische eenheden. Dit project heeft zich beperkt tot de geometrie. Wel is een kwalitatieve analyse van de lithologische samenstelling van de (hydro)geologische eenheden en eventuele daarin aanwezige regionale trends gemaakt. Op basis daarvan kunnen geohydrologen een inschatting maken van de orde van grootte van de doorlatendheid en eventuele regionale variatie daarin.

1.9. Gebruikte basisgegevens

De modellen zijn gebaseerd op bestaande gegevens. Deze basisgegevens zijn ontleend aan de databanken DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) van TNO en DOV (Databank Ondergrond Vlaanderen) van de Vlaamse Overheid, gegevens van de Belgische Geologische Dienst, VITO of gegevens die beschikbaar zijn gesteld door leden van de Begeleidingscommissie. In het kader van dit project zijn geen veldwerkzaamheden uitgevoerd om aanvullende nieuwe basisgegevens te verzamelen in gebieden zonder gegevens.
Een deel van de gebruikte gegevens is vertrouwelijk. Deze vertrouwelijke gegevens zijn, tenzij daarvoor toestemming is verleend, niet in de figuren weergegeven en ook niet in de uiteindelijke kaartbestanden opgenomen.

1.10. Algemene aanpak

Een hydrogeologische interpretatie van de ondergrond in termen van zandige, watervoerende lagen (aquifers) en kleiige, slecht doorlatende lagen (aquitards), dient consistent te zijn met de geologische interpretatie van het betreffende gebied. De geologische interpretatie vormt daarmee een kapstok en een randvoorwaarde voor de hydrogeologische interpretatie. Om die reden werd uitgaande van bestaande Vlaamse en Nederlandse gegevens en interpretaties allereerst een geologisch model van de Roerdalslenk samengesteld. Dit model beschrijft de verbreiding, diepteligging en dikte van de geologische eenheden. Vervolgens werden deze geologische eenheden waar mogelijk verder onderverdeeld in zandige en kleiige hydrogeologische eenheden die samen het hydrogeologische model vormden.
Vanwege het verticale dieptebereik, werd het geologische en hydrogeologische model gebaseerd op zowel boorgegevens als seismische data. De verbreiding en diepteligging van de ondiepe eenheden werden voornamelijk op boorgegevens gebaseerd omdat de aard en kwaliteit van de seismische data interpretaties van de bovenste 300 meter veelal niet toelieten. De kartering van de diepere eenheden werd vanwege het beperkt aantal diepe boringen daarentegen vooral op seismische data gebaseerd. Het samenstellen van een model uitgaande van seismische meetgegevens vraagt echter om een andere werkwijze dan een model dat alleen gebaseerd wordt op boorgegevens. Beide modellen werden daarom opgebouwd uit twee deelmodellen, een “ondiep” deelmodel op basis van boringen, en een “diep” deelmodel hoofdzakelijk op basis van seismische data.

1.11. Projectorganisatie

De werkzaamheden zijn uitgevoerd door een Nederlands en een Vlaams projectteam. Het Nederlandse projectteam bestond uit medewerkers van TNO, het Vlaamse projectteam uit medewerkers van VITO en de BGD.
Voor de begeleiding, de inhoudelijke advisering van het project en de beoordeling van de conceptresultaten van de hoofdactiviteiten zijn bij aanvang van het project een stuurgroep en een begeleidingscommissie opgestart.
De stuurgroep bestond uit vertegenwoordigers namens de opdrachtgevers en uitvoerders. Deze groep bestond uit de volgende leden (met tussen haakjes hun respectievelijke werkgever): Cis Slenter (VMM), Griet Verhaert (LNE-ALBON), Hans Doornenbal (TNO), Jan Walstra (BGD), Jef Deckers (VITO), Johan Matthijs (VITO), Johan van der Veer (Provincie Limburg), Marten Biet (Provincie Noord-Brabant), Michiel Dusar (BGD) en Ronald Vernes (TNO).
De Begeleidingscommissie is in het leven geroepen om de opdrachtgevers te ondersteunen bij de inhoudelijke beoordeling van de tussen- en eindresultaten. Tijdens de uitvoering van het project heeft de Begeleidingscommissie daarnaast een belangrijke rol gespeeld door het aandragen van relevante basisgegevens, het inbrengen van gebiedskennis en het vormen van een inhoudelijk klankbord voor het projectteam van TNO, VITO en BGD.

De begeleidingscommissie bestond uit de volgende leden (met tussen haakjes hun respectievelijke werkgever): Arjan de Vries (Brabant Water), Bernd Linder (GD NRW), Erik Heskes (Provincie Noord-Brabant), Hannsjoerg Schuster (GD NRW), Koen Beerten (SCK), Kris Vanneste (KSB), Maria Juhász-Holterman (WML), Marijke Huysmans (KUL), Noel Vandenberghe (KUL), Piet van Rooijen (Van Rooijen Adviezen) en Simon Six (De Watergroep).

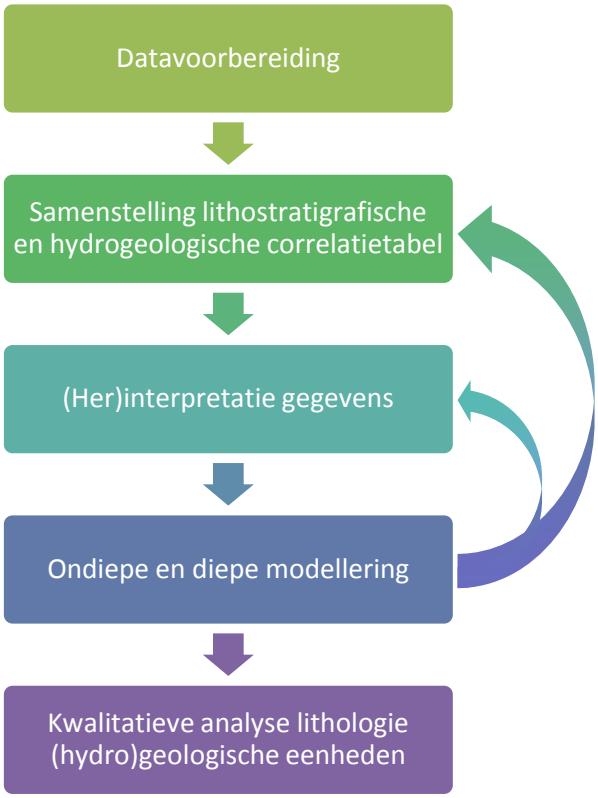
1.12. LEESWIJZER

In paragraaf 1.11 is de algemene aanpak van het project reeds kort beschreven. Een uitgebreide beschrijving van de gevolgde werkwijze en de daarbinnen onderscheiden hoofdactiviteiten is opgenomen in hoofdstuk 2. Opgemerkt dient te worden dat de beschrijvingen van de gebruikte modelleertechnieken vanwege de leesbaarheid algemeen zijn gehouden. Aansluitend worden de projectresultaten in hoofdstuk 3 toegelicht en bediscussieerd. Het rapport wordt afgesloten met de conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 4), gevolgd door de literatuurlijst en de ondertekening.
De lithostratigrafische en hydrogeologische indeling en de naamgeving en codering van de eenheden verschillen in Vlaanderen en Nederland. Tenzij anders is aangegeven worden in dit rapport de eenheden uit het Quartair en het Laat-Mioceen aangeduid met de Nederlandse namen en codes, alle overige eenheden met de Vlaamse. In tabel 2 is de correlatie tussen Vlaamse en Nederlandse eenheden aangegeven.

HOOFDSTUK 2. WERKWIJZE

2.1. ALGEMEEN

Bij de uitvoering van het project "H3O-Roerdalslenk" zijn de volgende hoofdactiviteiten onderscheiden, zie figuur 5:



Figuur 5: Algemene werkstroom van het project "H3O-Roerdalslenk" met onderscheiden hoofdactiviteiten.

Zoals uit figuur 5 blijkt, is er tussen de verschillende hoofdactiviteiten, met name "(her)interpretatie van de gegevens" en "ondiepe en diepe modellering", sprake van een in hoge mate iteratief werkproces, waarbij geconstateerde fouten of onvolkomenheden uit een vorige activiteit eerst verbeterd dienen te worden. De hoofdactiviteiten worden in dit hoofdstuk nader toegelicht.

2.2. DATAVOORBEREIDING

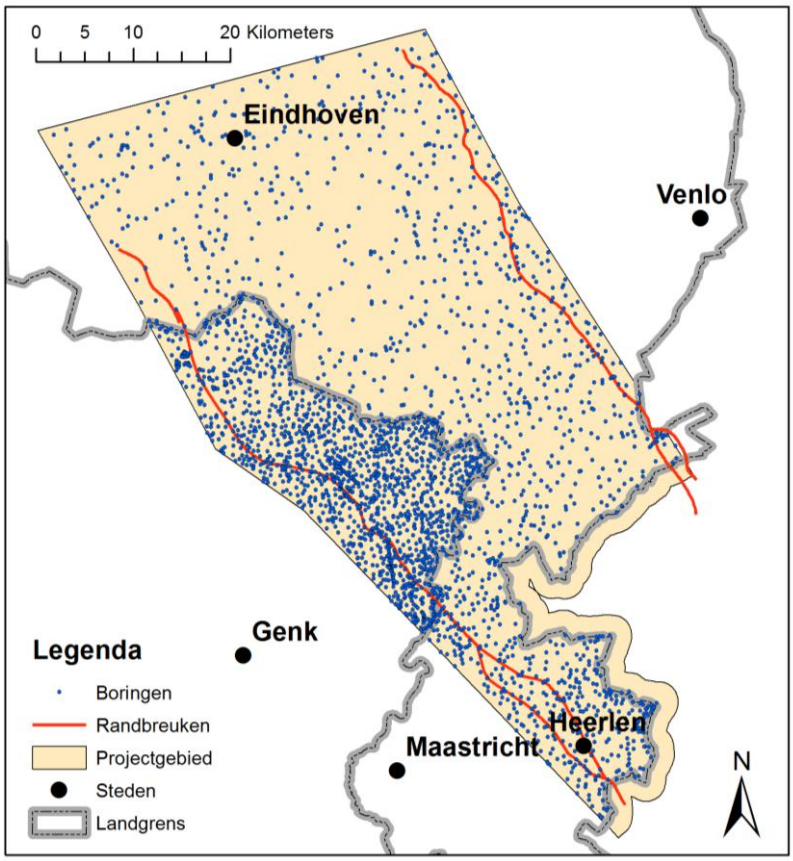
2.2.1. DATA-INVENTARISATIE EN -VERGARING

Om een geologisch en hydrogeologisch model te kunnen maken, werden bestaande data aan beide zijden van de grens geïnventariseerd en verzameld.
De basisdata voor de ondiepe modellering bestaan hoofdzakelijk uit boringen en boorgatmetingen, terwijl de basisdata voor de diepe modellering zowel boringen, boorgatmetingen als seismische informatie omvatten. Naast deze basisgegevens werden er ook bestaande, actuele geologische en hydrogeologische kaarten en modellen, breukenbestanden en maaiveld- en waterbodemhoogtebestanden van het Nederlandse en Vlaamse deel van het projectgebied verzameld.

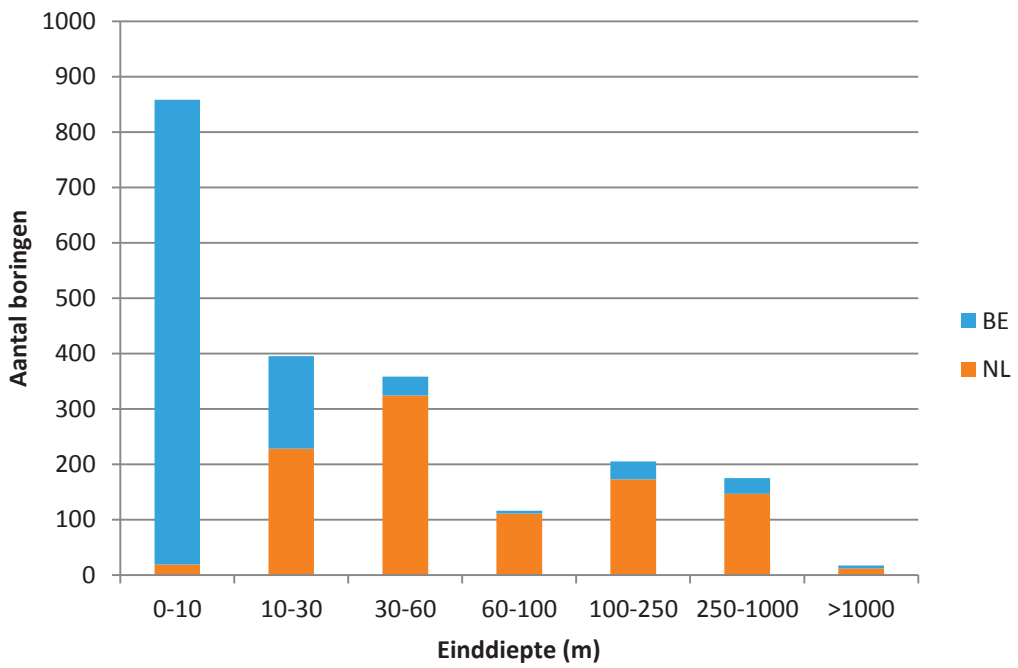
2.2.2. BORINGEN

De ligging van de gebruikte boringen is weergegeven in figuur 6. De Nederlandse boorgegevens waren afkomstig uit DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond), en de Vlaamse uit DOV (Databank Ondergrond Vlaanderen) en de databank van de BGD.
Voor het Nederlandse deel van het projectgebied werd uitgegaan van de landelijke, voornamelijk uit matig diepe boringen[2] bestaande selectieset van de modellen, het DGM/REGIS II, aangevuld met de beschikbare diepe boringen[3]. De selectieset van DGM/REGIS II betreft de beste, meest representatieve matig diepe boringen uit de databank DINO voor zover beschikbaar tot augustus 2013. In totaal werden er 1314 boringen binnen het Nederlandse deel van het projectgebied gebruikt. Hiervan zijn 1014 boringen (waarvan 21 vertrouwelijk) in het modelgebied gelegen,
Voor het Vlaamse deel van het projectgebied was er geen selectieset van meest representatieve boringen aanwezig. Hierdoor werd ervoor gekozen alle in de databanken beschikbare Vlaamse boringen in de selectieset te incorporeren. In totaal werden van deze set 1625 boringen binnen het projectgebied en 1110 (waaronder 19 vertrouwelijke boringen) binnen het modelgebied gebruikt.
Bijgevolg is er een grote dichtheid van boorgegevens in het Vlaamse deel van het project- en modelgebied. Algemeen is er ook een sterke afname van het aantal boringen per diepte-interval, zie figuur 7.

[2] Mechanische boringen, meestal dieper dan 10 meter en ondieper dan 500 meter.
[3] Boringen uitgevoerd in het kader van de exploratie naar steenkool, zout, aardolie en aardgas.



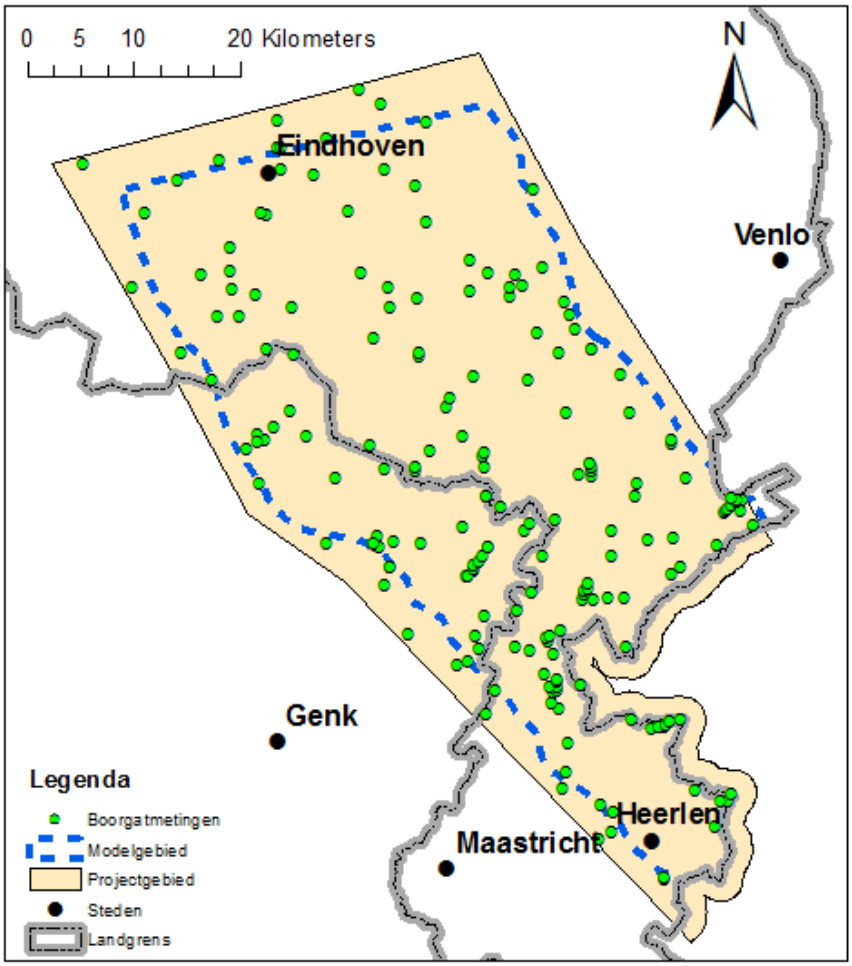
Figuur 6: Ligging van de gebruikte boringen binnen het projectgebied.



Figuur 7: Histogram van het aantal, in het Nederlandse en Vlaamse deel van het modelgebied gebruikte boringen per diepte-interval.

2.2.3. BOORGATMETINGEN

De boorgatmetingen die beschikbaar zijn binnen het projectgebied zijn weergegeven in figuur 8. De Nederlandse boorgatmetingen waren afkomstig uit DINO of zijn op verzoek van de WML beschikbaar gesteld door Deltares, en de Vlaamse uit de databank van de BGD.
Voor het Nederlandse deel van het studiegebied waren alle 187 relevante boorgatmetingen reeds gevectoriseerd. Aan Vlaamse zijde werden 41 boringen met logs verzameld, waarvan er 23 gedigitaliseerd werden.



Figuur 8: Ligging van de gebruikte boorgatmetingen binnen het projectgebied

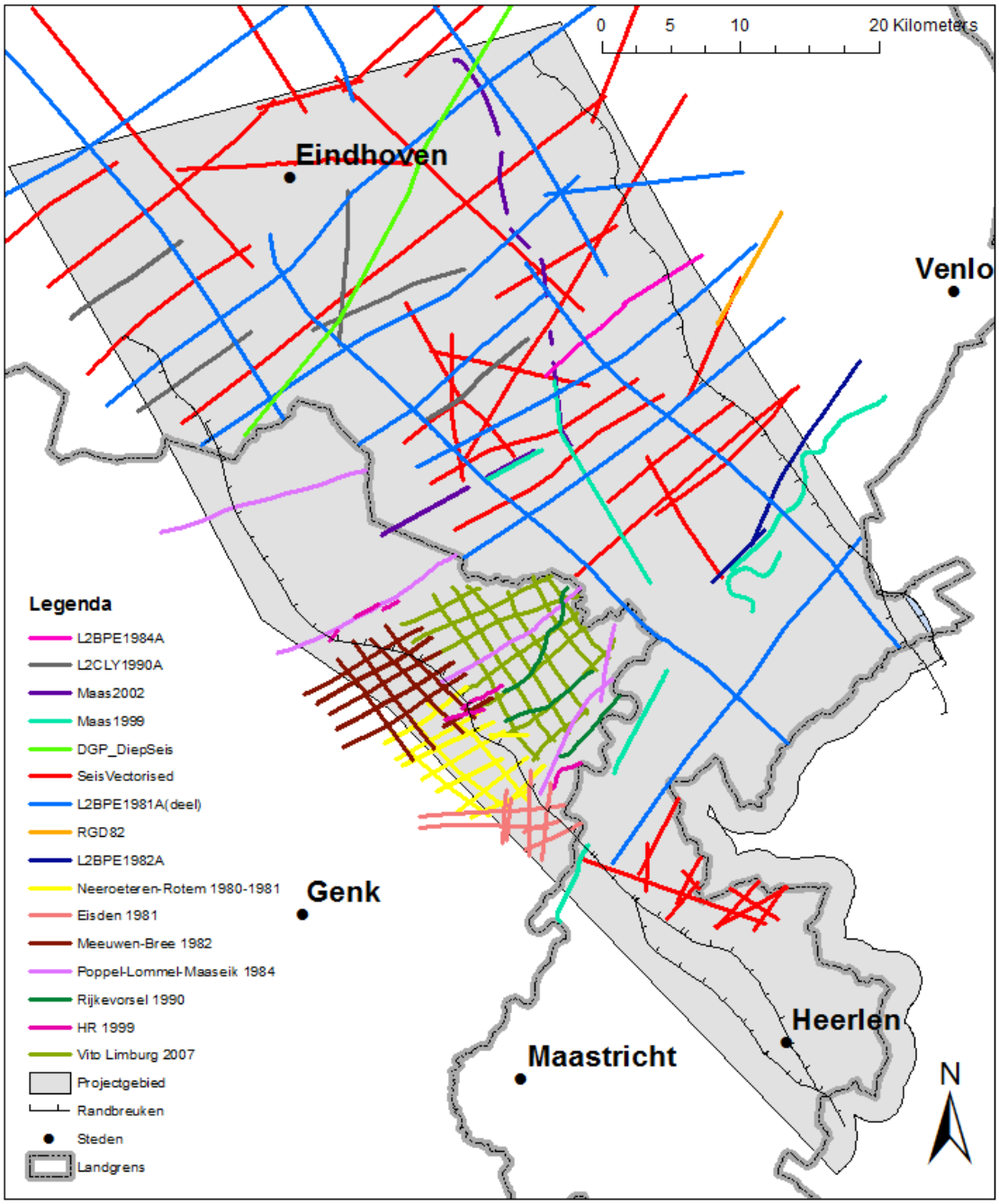
2.2.4. SEISMISCHE DATA

De beschikbare seismische data binnen het Belgische deel was afkomstig uit de databanken van de BGD en VITO, terwijl deze binnen het Nederlandse deel afkomstig was uit DINO. Een deel van deze data stamt van voor 1980 en is vaak van mindere kwaliteit. Het project richt zich daarom op het gebruik van seismiek die geschoten werd vanaf 1980. Een overzicht van deze seismische data is weergegeven in tabel 1, terwijl de locatie van de seismische lijnen is weergegeven in figuur 9.

Tabel 1. Overzicht van seismische gegevens van het projectgebied.

Grondgebied	Seismische campagne	Aantal lijnen	Jaar
NL	L2BPE1984A	2	1984
NL	L2CLY1990A	6	1990
NL	Maas2002	8	2002
NL	DGP_DiepSeis	1	1986
NL	Maas1999	9	1999
NL	SeisVectorised	42	divers
NL	L2BPE1981A(deel)	7	1981
NL	RGD82	1	1982
NL	L2BPE1982A	2	1982
VL	Neeroeteren - Rotem 1980 - 1981	12	1980-1981
VL	Eisden 1981	8	1981
VL	Meeuwen - Bree 1982	10	1982
VL	Poppel - Lommel - Maaseik 1984	5	1984
VL	Rijkevorsel 1990	3	1990
VL	HR 1999	5	1999
VL	Vito - Limburg 2007	13	2007

Op Nederlands grondgebied zijn acht digitale seismische campagnes geselecteerd en zijn 42 analoge lijnen gevectoriseerd. Op Vlaams grondgebied zijn er binnen het projectgebied 7 seismische campagnes geselecteerd waarvan er vijf reeds digitaal waren en twee gedigitaliseerd werden. De HR 1999 campagne werd aangeleverd, de Eisden 1981 en Rijkevorsel 1990 campagnes werden gedigitaliseerd door de BGD, terwijl de Neeroeteren-Rotem 1980-1981, Meeuwen-Bree 1982 en Poppel-Lommel-Maaseik door VITO gereprocessed werden. De Vito-Limburg 2007 campagne werd door VITO uitgevoerd en was vanwege de confidentialiteit niet beschikbaar voor andere partijen.



Figuur 9: Ligging van de gebruikte seismische lijnen binnen het projectgebied

2.2.5. BESTAANDE ACTUELE GEOLOGISCHE EN HYDROGEOLOGISCHE KAARTEN EN MODELLEN

Bestaande Vlaamse en Nederlandse (hydro)geologische modellen, Quartaire kaarten, wetenschappelijke publicaties en rapporten werden geïnventariseerd.

Voor het Vlaamse deel van het projectgebied werden voor het Quartaire bereik de kaarten van Beerten et al. (2005) gedigitaliseerd en voor het onderliggende bereik de rasters en interpretaties van Broothaers et al. (2012) uit het G3Dv2 model.

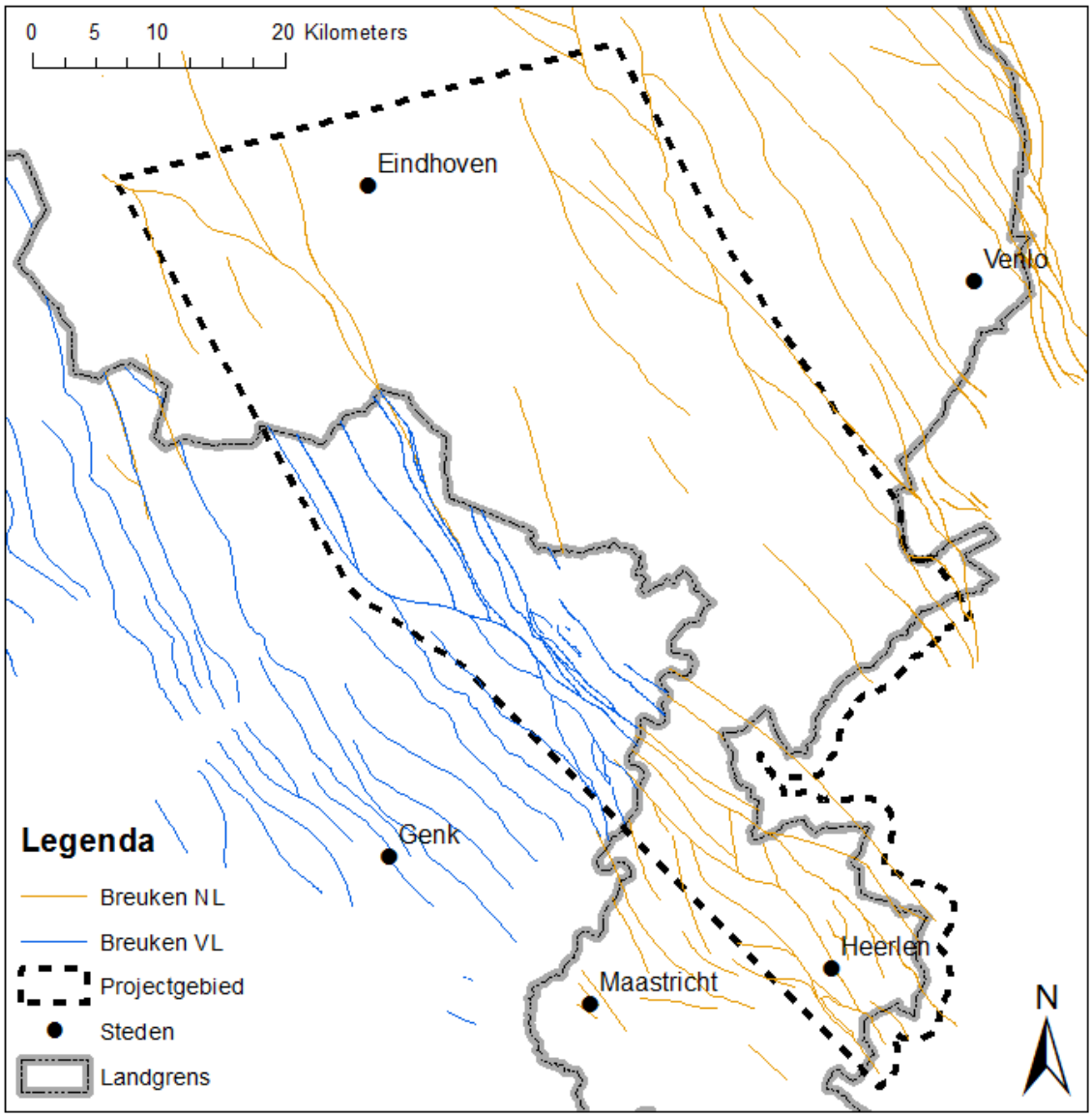
Voor het Nederlandse deel van het projectgebied is uitgegaan van de volgende digitale modellen en bestanden:

- Een verbeterde maar niet gepubliceerde versie van het Digitaal Geologische Model (DGM)-ondiep, versie 1.31.
- Een verbeterde maar niet gepubliceerde versie van het hydrogeologische model REGIS II, versie 2.1.
- Digitale kaartbestanden van de geologische atlas van de diepe ondergrond van het vaste land van Nederland (TNO, 2005).
- Idem, van Kaartblad XV Sittard-Maastricht (TNO, 1999) en de gecombineerde kaartbladen XIII Breda-Valkenswaard en XIV Oss-Roermond (TNO, 2001) van de geologische atlas van de diepe ondergrond.

2.2.6. BREUKENBESTANDEN

De bestaande Vlaamse en Nederlandse breukenbestanden zijn weergegeven in figuur 10. In Nederland waren er uit diverse publicaties (TNO, 1999, 2001 en 2005) onder andere breukenbestanden beschikbaar van de basis van de Boven Noordzee Groep[4]. Naar aanleiding van bevindingen van ondiepe karteringen waren er in augustus 2011 op enkele plaatsen aanpassingen gemaakt. Deze gecorrigeerde breukenbestanden van de basis Boven-Noordzee Groep, versie01r3, waren digitaal beschikbaar. Van elke breuk in dit bestand is aangegeven wat het jongste (hydro)geologische vlak is dat het beïnvloedt. Binnen Vlaanderen waren er voor het modelgebied breukenbestanden beschikbaar per lithostratigrafische eenheid (Broothaers et al., 2012) en voor de rest van het projectgebied breukenbestanden voor de top van het Paleozoïcum (Langenaeker, 2001). Deze data werden eerder gemaakt voor het G3Dv2-model.

[4] Dit grensvlak komt in het Vlaamse deel van het projectgebied overeen met de basis van de Formatie van Bolderberg.



Figuur 10: Bestaande breukenbestanden van de basis Boven Noordzee Groep (NL) en de basis Formatie van Bolderberg (VL). De in het Nederlandse deel van het projectgebied getoonde kaart betreft breukenkaart v01r3 van TNO; de kaarten in het Vlaamse deel zijn ontleend aan het G3Dv2 model (door Broothaers et al. (2012)) en aan Langenaeker (2001).

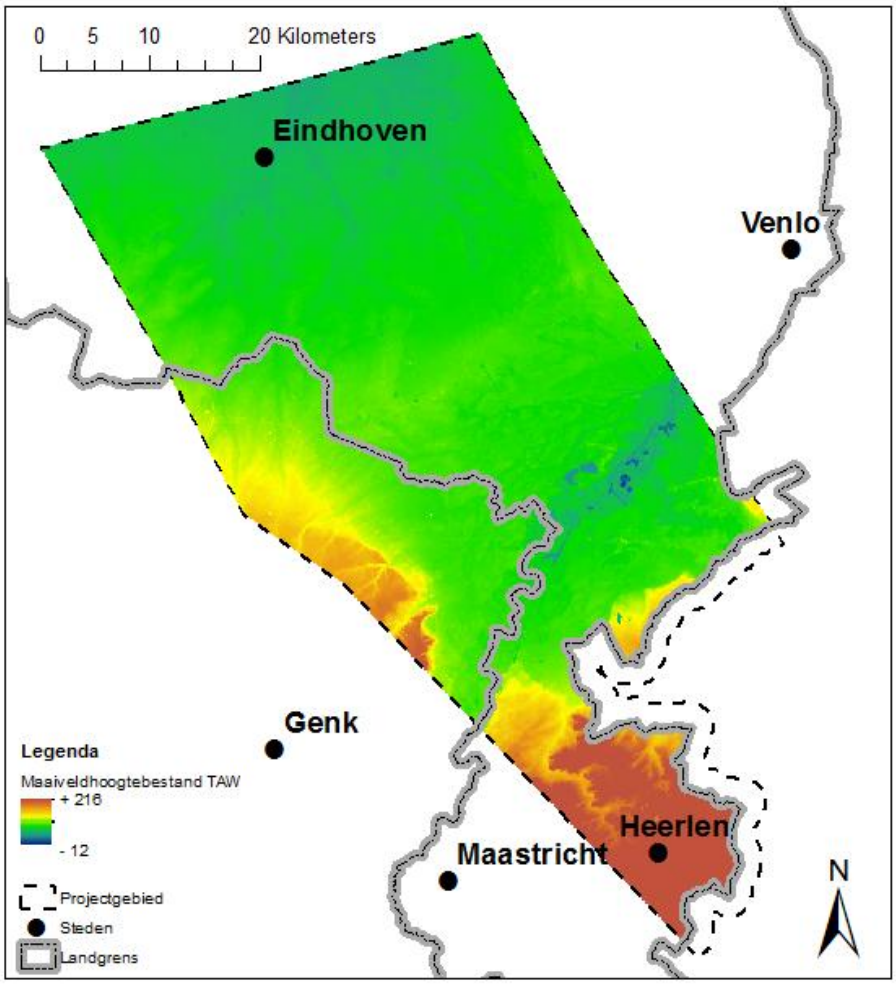
2.2.7. MAAIVELD- EN WATERBODEMHOOGTEBESTANDEN

Het maaiveld en de waterbodems van het oppervlaktewater vormen de bovenrand van het te vervaardigen geologische en hydrogeologische model. Er werd eerder gekozen om de resolutie van deze informatie gelijk te houden aan deze van de uiteindelijk op te leveren modellen, namelijk 100 m op 100 m.

Voor het Nederlandse deel van het projectgebied werd gebruik gemaakt van het bestaande landelijke maaiveld- en waterbodemhoogtebestand versie 1.4 uit de TNO database.

In dit bestand, dat een resolutie heeft van 100 bij 100 m, zijn de maaiveld- en waterbodemhoogten verwerkt die eerder in het kader van de REGIS II-kartering van Nederlands Limburg (zie Vernes et al., 2008) waren verzameld. Voor het Vlaamse deel werd er gebruik gemaakt van het DHM-Vlaanderen (AGIV, 2004). Gegevens van de hoogte van de waterbodem van de Vlaamse oppervlaktewateren bleken met uitzondering van de Maas nog niet beschikbaar te zijn waardoor deze gegevens niet in het bestand van maaiveld- en waterbodemhoogten zijn verwerkt. De in het DHM-Vlaanderen aanwezige lege cellen werden om die reden opgevuld via interpolatie.Omdat het aantal lege cellen beperkt is en verspreid is gelegen, heeft deze interpolatie slechts een beperkte impact op de onzekerheid van het resultaat.

In het grensgebied werden ter hoogte van De Maas de waardes van beide maaiveldhoogtebestanden vervangen door waterbodemhoogten afgeleid uit een grid met een resolutie 25 bij 25 m dat aangeleverd werd door de Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) in 2012. Het aldus gecombineerde, gebiedsdekkende maaiveld- en waterbodemhoogtegrid is weergegeven in figuur 11.



Figuur 11: Gecombineerde maaiveld- en waterbodemhoogtebestand van het projectgebied in m ten opzichte van TAW. Bron: Landelijke maaiveld- en waterbodemhoogtebestand versie 1.4 uit de TNO database aaneengesloten met het DHM-Vlaanderen (AGIV, 2004).

2.2.8. DATABEWERKING

De verzamelde gegevens werden bijeengebracht en in beide coördinatenstelsels (RD en Lambert) en referentieniveaus (NAP en TAW) beschikbaar gesteld zodat Vlaamse en Nederlandse gegevens in de vervolgactiviteiten gecombineerd konden worden gebruikt. De daarbij gebruikte procedures zijn beschreven in bijlage A.
Als gevolg van steenkoolwinning is in delen van het projectgebied sprake (geweest) van bodemdaling, waarbij uiteraard niet alleen het maaiveld, maar ook de lagen boven de winning zijn beïnvloed. In deze gebieden is bij oudere boringen de geregistreerde maaiveldhoogte van de boorlocatie ten tijde van de boring niet meer actueel. Hierdoor steken deze boringen boven het huidige maaiveld uit. Om die reden zijn, in het kader van een aparte, al lopende opdracht van de Nederlandse Provincie Limburg, de maaiveldshoogten van de boringen in de Nederlandse Mijnstreek voor bodemdaling gecorrigeerd in samenwerking met Van Rooijen Adviezen BV.
Bij de ruimtelijke interpolatie dienen boringen die aan de andere zijde van een breuk zijn gelegen, niet meegenomen te worden. Een aantal boringen ligt echter zeer dicht bij een breuk en zodanig dat deze toch ten onrechte meegenomen worden. Dit leidt tot ongewenste verstoringen in het berekende vlak. Om dit te voorkomen is de locatie van deze boringen in geringe mate aangepast.

2.3. GEOLOGISCHE EN HYDROGEOLOGISCHE CORRELATIETABEL

2.3.1. DOELSTELLING

Voor de beschrijving van de positie en eigenschappen van gesteenten worden in Nederland en Vlaanderen verschillende (litho)stratigrafische en hydrogeologische indelingen gebruikt.

In Nederland zijn dit:

- Voor het Quartair en Neogeen: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond, versie 2011 (TNO, 2011).
- Voor de overige perioden: Nomenclature (Deep) (Van Adrichem Boogaert & Kouwe (1993-1997).
- De meest actuele hydrogeologische indeling van de lopende REGIS II v2.2 kartering.

In Vlaanderen:

- De bestaande indeling in formaties en leden (NCS, z.j.)
- De bestaande hiërarchische indeling in hoofd-, sub- en basiseenheden uit de HCOV kartering (Belgische Geologische Diest, 2007).

Door deze verschillende indelingen kunnen de bestaande geologische en hydrogeologische interpretaties van boringen, kaarten en modellen niet zondermeer gecombineerd worden gebruikt. De correlatietabel heeft als doel om:

- De bestaande Vlaamse en Nederlandse stratigrafische en hydrogeologische indelingen te correleren.
- Een eenduidige stratigrafische en hydrogeologische indeling voor het projectgebied op te stellen die aansluit bij de (her)interpretatie van de boringen en seismiek en die bij de modellering kan worden gebruikt.

2.3.2. CORRELATIE GEOLOGISCHE EN HYDROGEOLOGISCHE EENHEDEN

Bij het samenstellen van de correlatietabel werden vooraf de volgende overwegingen gemaakt:

- De correlatie werd beperkt tot de geologische eenheden aanwezig binnen het projectgebied, ongeacht of ze enkel in het Vlaamse dan wel Nederlandse deel, of in beide, voorkomen. Het bestaan van een equivalent in beide regio's is dus niet noodzakelijk.
- Bij het opstellen van de correlatietabel werd er een onderscheid gemaakt tussen eenheden die binnen en buiten het modelgebied voorkomen. Geologische eenheden aanwezig binnen het modelgebied werden tot op het stratigrafische niveau van "laagpakket" (Nederland) en "lid" (Vlaanderen) gecorreleerd, hydrogeologische eenheden op het niveau van de hydrogeologische eenheid van REGIS II (Nederland) en de basiseenheid van HCOV (Vlaanderen). Geologische eenheden die buiten het modelgebied, maar nog wel binnen het projectgebied voorkomen, werden gecorreleerd tot op het niveau van "formatie".
- Bij de geologische correlatie werd geen rekening gehouden met de naamgeving van de Pleistocene en Pliocene kleien (in Nederland: Laag van Wijchen, Laagpakket van Tegelen, Lagen van Reuver en Venlo, Laagpakket van Brunssum, in Vlaanderen: Leden van Hamont, Reuver, Brunssum I en Brunssum II). Onderscheid en correlaties tussen deze kleilagen is op basis van palynologie omstreden en bovendien vormen ze niet altijd duidelijk onderscheiden en karteerbare lagen. Ook werd geen belang gehecht aan de correlaties tussen grindafzettingen (in Vlaanderen: Leden van Geistingen, Maasmechelen, Eisden en oudere grinden) en de verschillende Maasterrassen, die enkel op basis van geometrische positie onderscheidbaar zijn (Gullentops & Paulissen, 2001), hoewel dit onderscheid voor de geohydrologische modellering van groot belang is.

Er werd intensief gebruik gemaakt van aanvullende literatuurbronnen om een gedetailleerd en compleet beeld te verkrijgen van alle eenheden en de criteria op basis waarvan deze gedefinieerd zijn (ouderdom, herkomst, sedimentaire structuren, etc.).

De gehanteerde hydrogeologische eenheden werden gebaseerd op de indelingen van REGIS II v2.2 en HCOV (Meyus et al., 2000).
Wat betreft de stratigrafische interpretaties van Quartaire eenheden in Vlaanderen dient opgemerkt te worden dat deze nog niet in een homogeen formaat in DOV werden ingevoerd. Er is namelijk sprake van afwijkende stratigrafische naamgevingen en coderingen in de verschillende kaartbladen van de Quartairkartering, die bovendien niet altijd overeenkomen met de formele indeling. In de correlatietabel zijn daarom behalve de formele eenheden ook alle overige coderingen opgenomen die binnen het projectgebied aangetroffen werden. Verder bleek de studie van Beerten (2003), uitgevoerd na de Quartairgeologische kartering van Vlaanderen, van belang omdat de stratigrafische indeling die daarin gebruikt wordt veel beter aansluit bij de Nederlandse praktijk.
In eerste instantie werden de geologische eenheden gecorreleerd, daarna pas de hydrogeologische eenheden. Speciale aandacht werd besteed aan eventuele verschillen in de criteria die gehanteerd worden bij het definiëren van de grensvlakken tussen gecorreleerde eenheden. Besprekingen van deze criteria zijn weergegeven in bijlages B en C.
Wat betreft het Quartair en Neogeen werd de referentieboring Maaseik-Jagersborg (BGD-nr. 049W0220; DOV-proefnr. kb18d49w-B220; geïnterpreteerd door Vandenberghe et al., 2005) getoetst aan een selectie van goed beschreven boringen met bewaarde monsters en boorgatmetingen, gespreid over het gebied (zogenaamde “kapstokboringen”; Dusar et al., 2012). Niet alle hydrologisch belangrijke lagen bleken lateraal even consistent door te lopen, wat erop wijst dat in het verleden de opeenvolgende klei- en zandlagen niet altijd systematisch zijn geïnterpreteerd en benoemd. Pas na vergelijking en analyse van verschillende dwarsprofielen door het gehele projectgebied konden de diverse eenheden definitief worden gecorreleerd (en diverse boringen geherinterpreteerd). Hoewel de correlatie tussen de geologische eenheden in principe geen probleem vormde, bleek het noodzakelijk om de gehanteerde criteria op basis van lithologie en boorgatmetingen onderling goed op elkaar af te stemmen.

De geologische indeling voor het diepere Neogeen en Paleogeen is voornamelijk gebaseerd op de correlatie tussen de boring Molenbeersel (DOV-proefnummer kb18d49w-B226; BGD-code 049W0226,) met de boring Asten 2 (NLOG-code AST-GT-02-S1; DINO-code B52C0231). Deze correlatie is vooral gebaseerd op boorgatmetingen en seismische interpretaties.
Tenslotte werd de correlatietabel langs drie profielen getoetst aan de hand van de matig diepe en diepe boringen, boorgatmetingen en seismische data. Van deze profielen werden er twee loodrecht op de breuken, dus dwars op de Roerdalslenk, gekozen en één in de lengterichting (zie bijlage D). Gedurende het project werden nog een tweetal extra hulpprofielen toegevoegd, enerzijds om de onderlinge coherentie tussen de profielen te waarborgen en anderzijds om correlatie naar het typegebied van de Formatie van Mol te verzekeren, waarbij deze formatie werd onderverdeeld in H3O-eenheden van de Formatie van Stramproy en de Kiezeloöliet Formatie.

De profiellijnen werden onafhankelijk van elkaar door Vlaamse en Nederlandse deskundigen geologisch, hydrogeologisch en indien mogelijk ook seismisch geïnterpreteerd. De resultaten werden vervolgens met elkaar vergeleken en geanalyseerd. Waar nodig werd de correlatietabel verbeterd. In een later stadium, tijdens de modelleringsfase, bleek het toch nog noodzakelijk om enkele correlaties aan te passen, omdat de gecorreleerde eenheden niet goed aansloten over Nederlands-Vlaamse grens. Het betreft met name enkele lithologisch sterk variabele eenheden, waarvan de positie binnen de Vlaamse geologische indeling ook bij eerdere karteringen steevast tot discussie leidde (de Vlaamse Formatie van Zutendaal, Lid van Winterslag en Leden van Molenbeersel A en B). Op basis van de nieuwe geometrische argumenten zijn deze eenheden nu gecorreleerd met de Nederlandse Formatie van Beegden (in plaats van de Formaties van Sterksel en Boxtel); een deel van de Leden van Molenbeersel A en B "blijft" echter gecorreleerd met de Formatie van Boxtel.

De stratigrafische correlaties dienden voorgelegd te worden aan de Nationale Commissies voor Stratigrafie, maar de al dan niet volledige goedkeuring vormde geen hinder voor het verdere verloop van het project. Alleen de correlaties van de Quartaire eenheden werden inmiddels voorgesteld aan de Belgische Subcommissie Quartair.

2.3.3. KEUZE STRATIGRAFISCHE EN HYDROGEOLOGISCHE INDELING PROJECTGEBIED

Het correlatieschema diende modelleerbare eenheden op te leveren, dat wil zeggen (hydro)geologisch homogeen, voldoende dik en te correleren op regionale schaal.
Vanwege de heterogeniteit en complexiteit van de Quartaire afzettingen is tijdens de Quartair-geologische kartering van Vlaanderen een stratigrafische indeling gebruikt met een zeer groot aantal eenheden (voor de kaartbladen Maaseik en Rekem alleen al 27 stuks), resulterend in een veelvoud aan gekarteerde profieltypes. Deze onderverdeling is in de eerste plaats gebaseerd op genese en ouderdom en steunt in belangrijke mate op de positie in het terrein (voor de jongste afzettingen) en mineraalinhoud (voor de fluviatiele afzettingen). In de praktijk geven boorbeschrijvingen dikwijls niet de vereiste mate van detail om een eenduidig onderscheid te maken. Bovendien is deze classificatie te uitgebreid en complex om toe te passen in een 3D-model. In Nederland werd in het kader van de nieuwe lithostratigrafische indeling van het Quartair en Tertiair (Weerts et al, 2004) de stratigrafische indeling vereenvoudigd, welke toelaat lateraal continue en eenduidige eenheden te karteren. Binnen het kader van dit H3O-project werd daarom voor het Quartair en het bovenste Neogeen (ruwweg de "continentale" afzettingen) de Nederlandse (hydro)stratigrafie toegepast.
Voor wat betreft de oudere Neogene en Paleogene afzettingen zijn in Nederland tot op heden alleen de basisvlakken van de Boven-Noordzee Groep en de Onder-Noordzee Groep in de Roerdalslenk gemodelleerd. In Vlaanderen daarentegen zijn alle binnen de Roerdalslenk aanwezige formaties opgenomen in het G3Dv2-model.

Daardoor is er in Vlaanderen reeds een uitgebreide kennis opgebouwd, met name met betrekking tot het correleren van deze lithostatigrafische eenheden met seismische gegevens. Bovendien omvat het G3Dv2-model het aan het projectgebied grenzende Kempisch Bekken, de regio waar diverse eenheden oorspronkelijk gedefinieerd werden. Gezien de onderbouwing met deze belangrijke regionale geologische kennis werd ervoor gekozen om in het H3O-project voor de oudere Neogene en Paleogene eenheden de bestaande Vlaamse (hydro)stratigrafie toe te passen.

2.3.4. DE CORRELATIETABEL

Het eindresultaat is een correlatietabel van alle Vlaamse en Nederlandse geologische en hydrogeologische eenheden die aanwezig zijn binnen het projectgebied (zie tabel 2).

De tabel bevat acht kolommen, met voor elke gemodelleerde eenheid:

- “Nederlandse stratigrafische eenheid (formatie-laagpakket)”: de bestaande indeling in formaties en laagpakketten (cf. TNO, 2011 en Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997).
- “Nederlandse hydrogeologische eenheid (cf. REGIS II.2)”: de meest recente hiërarchische indeling uit de lopende REGIS II v2.2 kartering.
- “Vlaamse stratigrafische eenheid (formatie-lid)”: de bestaande indeling in formaties en leden (cf. NCS, z.j.).
- “Vlaamse hydrogeologische eenheid (cf. Meyus et al., 2000)”: de bestaande hiërarchische indeling in hoofd-, sub- en basiseenheden uit de HCOV kartering.

De volgende twee kolommen bevatten stratigrafische eenheden die weliswaar aanwezig zijn in het Vlaamse deel van het projectgebied, maar niet binnen het modelgebied (i.e. bufferzone):

- “Vlaamse stratigrafische eenheid bufferzone”: de bestaande indeling in formaties en, voor zover relevant, leden (cf. NCS, z.j.).
- “Vlaamse hydrogeologische eenheid bufferzone (cf. Meyus et al., 2000)”: de bestaande indeling in sub- en basiseenheden uit de HCOV kartering.

De laatste twee kolommen bevatten de stratigrafische eenheden die voor het vervolg van het project gehanteerd werden:

- “Resultaat: H3O modeleenheid geologisch model”: de basiseenheid van het nieuwe grensoverschrijdende geologisch model.
- “Resultaat: H3O modeleenheid hydrogeologisch model”: de basiseenheid van het nieuwe grensoverschrijdende hydrogeologisch model.

Voor een uitgebreide behandeling van de afzonderlijke geologische eenheden wordt verwezen naar de bijlages B en G.

Tabel 2: Overzicht van de correlatietabel. Legende bij de Nederlandse hydrogeologische codes: c= complexe eenheden, z = zandige eenheden, k= kleiige eenheden en b of v = bruinkooleenheden

Nederlandse stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	Nederlandse hydrogeologische eenheid (cf. REGIS II.2)	Vlaamse stratigrafische eenheid (formatie - lid)	Vlaamse hydrogeologische eenheid (cf. HCOV kartering)				Vlaamse stratigrafische eenheid (formatie - lid): Bufferzone	Vlaamse hydrogeologische eenheid (cf. HCOV kartering): Bufferzone		Resultaat: H3O Modeleenheid Geologisch model	Resultaat: H3O Modeleenheid Hydrogeologisch model
Antropogeen - opgebrachte grond	HL-c	(Antropogeen)	0100	0110		Ophogingen				HL	HL-c
Nieuwkoop - Griendtsveen		niet aanwezig									
Boxtel - Singraven		Singraven		0140		Alluviale deklagen					
Boxtel - Schimmert	BXSC-k-1						Romont Groep (nieuw)	0150	0153 Lemige deklagen	Boxtel	BXSC-k-1
	BX-z-2	Bouwel + Hechtel + Wildert		0150	0151+0152	Zandige deklagen					BX-z-2
	BX-k-1	Kinrooi / Molenbeersel B			0152+0153	Zand-lemige deklagen + Lemige deklagen					BX-k-1
Boxtel - Liempde	BXLM-k-1										BXLM-k-1
	BX-z-3	Dilsen			0151	Zandige deklagen					BX-z-3
Boxtel - Best	BX-k-2	Kinrooi / Molenbeersel A			0152+0153	Zand-lemige deklagen + Lemige deklagen					BX-k-2
Boxtel *ongedifferentieerd*	BX-z-4	herwerkt Maas-Rijn			0151	Zandige deklagen					BX-z-4
	HL-c	Leut (Hepppeneert + Mullem)		0140		Alluviale deklagen				HL	HL-c
Beegden *ongedifferentieerd*	BE-z-1	Lanklaar / Stokkem + Geistingen		0170	0173	Afzettingen Maasvlakte				Beegden	BE-z-1
	BE-k-1	Kinrooi / Molenbeersel B + A									BE-k-1
	BE-z-2	Lanklaar / Maasmechelen + Eisden			0172	Afzettingen Tussenterrassen					BE-z-2
	BE-k-2										BE-k-2
	BE-z-3	Lanklaar / ouder grind As - Zutendaal As - Winterslag			0172	Afzettingen Tussenterrassen					BE-z-3
					0171	Afzettingen Hoofdterras					
Sterksel *ongedifferentieerd*	ST-z-1	Sterksel - Lommel								Sterksel	ST-z-1
	ST-k-1	Sterksel - Hamont									ST-k-1
	ST-z-2	Sterksel - Bocholt									ST-z-2
Stramproy *ongedifferentieerd*	SY-z-1	Kiezeloöliet - Jagersborg (boven Reuver-klei)	0200	0210			Mol - Maatheide	0230	0232 Zand van Mol	Stramproy	SY-z-1
	SY-k-1										SY-k-1
	SY-z-2				0211	Zandige eenheid boven de Brunssum I-klei					SY-z-2
	SY-k-2										SY-k-2
	SY-z-3										SY-z-3
	SY-k-3										SY-k-3
	SY-z-4										SY-z-4
Waalre *ongedifferentieerd*	PZWA-z-1	Kempen Groep		0220	0221-0223	Klei-zand-complex van de Kempen				Waalre	PZWA-z-1
	WA-k-1										WA-k-1
	PZWA-z-2										PZWA-z-2
	WA-k-2										WA-k-2
	PZWA-z-3										PZWA-z-3
	WA-k-3										WA-k-3
	PZWA-z-4										PZWA-z-4
Maassluis	MS-z-1									Maassluis	MS-z
	MS-k-1										
	MS-z-2										
	MS-c										
	MS-k-2										
	MS-z-3										
Kiezeloöliet - onbenoemd	Kl-z-1	Kiezeloöliet - Jagersborg (vanaf Reuver-klei)		0210			Mol - De Maat	0230	0232 Zand van Mol	Kiezeloöliet	Kl-z-1
Kiezeloöliet - Brunssum	Kl-k-1										Kl-k-1
	Kl-z-2	Kiezeloöliet - Brunssum I									Kl-z-2
	Kl-k-2				0212	Brunssum I-klei					Kl-k-2
	Kl-z-3	Kiezeloöliet - Pey			0213	Zand van Pey					Kl-z-3
	Kl-k-3	Kiezeloöliet - Brunssum II			0214	Brunssum II-klei					Kl-k-3
Kiezeloöliet - Waubach	Kl-z-4	Kiezeloöliet - Waubach			0215	Zand van Waubach	Mol - Donk				Kl-z-4
	Kl-k-4										Kl-k-4
	Kl-z-5										Kl-z-5
Oosterhout	OO-z-1 + OO-z-2	zie bufferzone					Lillo		0233 Zandige top van Lillo	Oosterhout	OO-z-1 + OO-z-2
	OO-c										OO-c
Inden *ongedifferentieerd*	IE-z-1	Inden (+ herwerkt Breda) (nieuw)		0210/0230	0234/0215	Zand van Poederlee en/of zandige top van Kasterlee of Zand van Waubach	Kasterlee - zand		0234 Zand van Poederlee en/of zandige top van Kasterlee	Inden	IE-z-1
	IE-k-1										IE-k-1
	IE-z-2										IE-z-2
	IE-k-2						Kasterlee - kleiige overgang	0240	0242 Kleiige overgang tussen de Zanden van Kasterlee en Diest		IE-k-2
	IE-z-3										IE-z-3
Breda *ongedifferentieerd*	BR-z-1 + BR-z-2	Diest (ex kasterlee) Diest		0250	0252	Zand van Diest				Diest / Bolderberg / Ville	0252 + 0253-1
Breda - Vrijherenberg		Bolderberg - Genk			0253	Zand van Bolderberg					
Ville Formatie	VI-b-1										0253-v1
Breda - Heksenberg	BR-z-3	Bolderberg - Genk			0253	Zand van Bolderberg					0253-2
Ville Formatie	VI-b-2										0253-v2
Breda - Kakert	BR-z-4	Bolderberg - Houthalen			0253	Zand van Bolderberg					0253-3
Veldhoven - Someren	Formatie van Veldhoven is nog niet binnen REGIS onderscheiden en samengenomen met de Formatie van Breda.	Voort - Someren (nieuw)			0254	Zanden van Berchem en/of Voort				Voort	0254-1
Veldhoven - Klei van Veldhoven		Voort - Veldhoven			0255	Klei van Veldhoven					0255
Veldhoven - Voort		Voort - Voort			0254	Zanden van Berchem en/of Voort					0254-2
Rupel - Steensel	RU-z-1	Eigenbilzen			0256	Zand van Eigenbilzen				Eigenbilzen	0256
Rupel - Rupel klei	RUBO-k-1	Boom - Terhagen + kleiig deel Eigenbilzen	0300		0301-0303	Boom Aquitard				Boom	0300
	RU-z-2										
	RU-k-1										
Rupel - Vessem	RU-z-3	Bilzen - Kerniel	0400	0410		Zand van Kerniel				Bilzen	0410 + 0420 + 0431
	RU-k-2	Bilzen - Kleine-Spouwen		0420		Klei van Kleine-Spouwen					
	RU-z-4	Bilzen - Berg		0430	0431	Zand van Berg					
Tongeren - Goudsberg	TOGO-k-1	Borgloon - Henis		0440	0441	Klei van Henis				Borgloon	0441
Tongeren - Klimmen	TO-z-2	Sint-Huibrechts-Hern		0450	0451	Zand van Neerrepen				Sint-Huibrechts-Hern	0451 + 0452
					0452	Zand-klei van Grimmertingen					
Landen - Reussel	LA-c	Hannut - Halen (+ Lincent)	1000	1020	1021	Siltige afzetting van Halen				Hannut	1021 + 1022
Landen - Klei van Landen		Hannut - Waterschei			1022	Klei van Waterschei					
		Hannut - Maaseik (niet officieel)									
Landen - Gelinden		Heers - Gelinden			1023	Slecht doorlatend deel vd Mergels v Gelinden					
Landen - Heers		Heers - Orp		1030	1032	Zand van Orp				Heers	1023 + 1032
		Opglabbeek - Eisden			1033	Zand van Eisden				Opglabbeek	1033 +1034
Landen - Swalmen		Opglabbeek - Opoeteren			1034	Klei van Opoeteren					

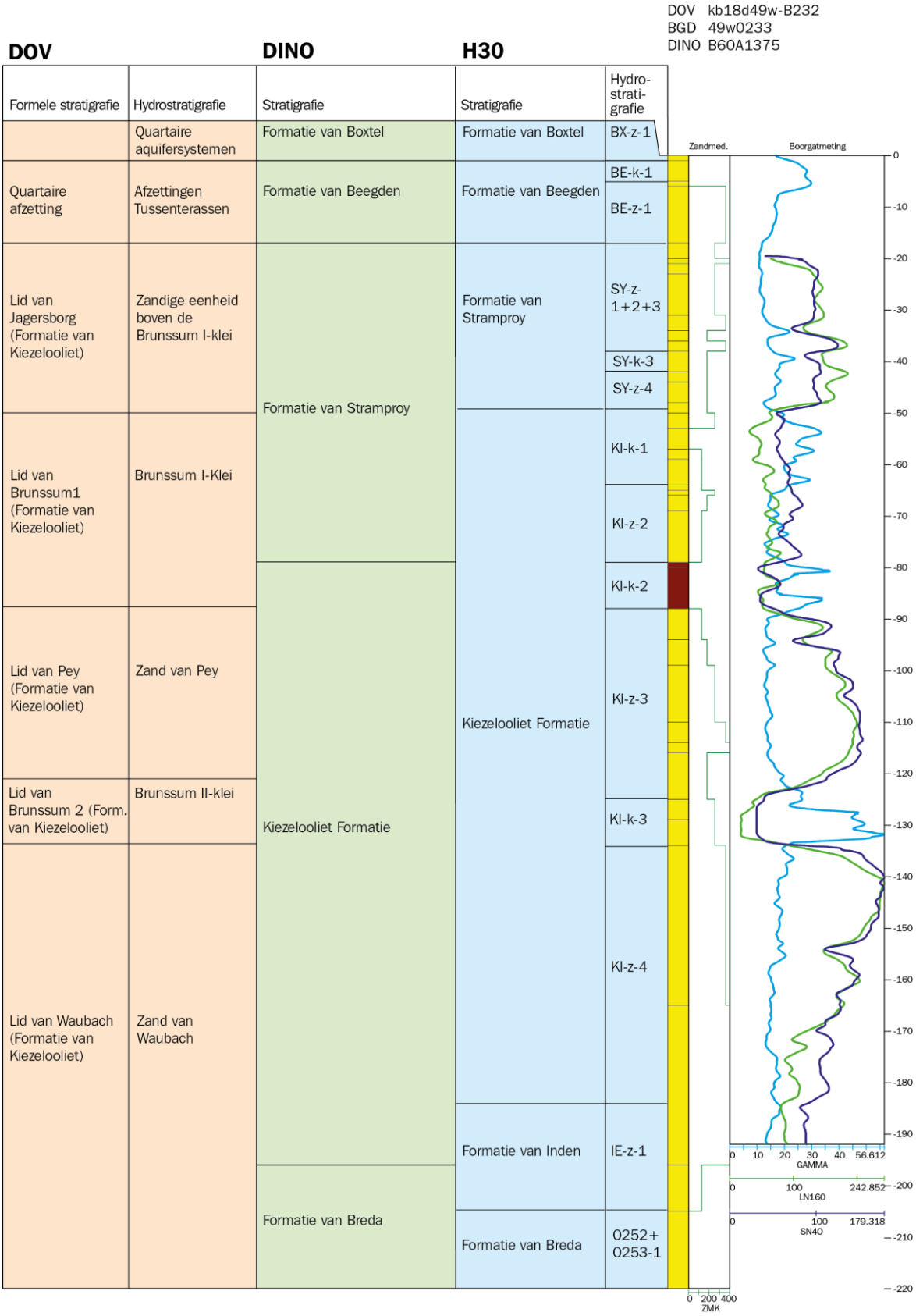
2.4. (HER)INTERPRETATIES

2.4.1. INLEIDING

Bestaande interpretaties van boringen en seismiek werden gecontroleerd en waar nodig aangepast of verfijnd en van nieuwe gegevens werd een interpretatie gemaakt. Het betreft niet alleen de interpretatie van geologische en hydrogeologische eenheden, maar ook de ligging en doorwerking naar het maaiveld van breuken in de seismiek. Herinterpretatie van de gegevens was gebaseerd op nieuwe kennis, gebruik van data van het buurland en door nieuwe inzichten die onstonden tijdens de latere modellering. Hierbij werd een onderscheid gemaakt tussen ondiepe en diepe (her)interpretaties.

2.4.2. (HER)INTERPRETATIE ONDIEPE EENHEDEN

Voor de lithostratigrafische en hydrogeologische interpretatie van de eenheden uit het ondiepe bereik (Quartair en het Laat-Mioceen) werden de Nederlandse definities aangehouden, zie paragraaf 2.3.3. Hierdoor bestond het werk in het Nederlandse deel van het projectgebied uit het herinterpreteren van de bestaande boorgegevens.
Voor het Vlaamse deel van het projectgebied waren de bestaande interpretaties opgesteld volgens de Vlaamse stratigrafische en hydrogeologische definities en dienden daarom geherinterpreteerd te worden volgens de Nederlandse definities (zie als bijvoorbeeld figuur 12). Een deel van deze conversie kon geautomatiseerd verlopen door rechtstreekse omzetting via de correlatietabel. Voor sommige Vlaamse eenheden waren deze omzettingen echter niet eenduidig uit te voeren via de correlatietabel (1-op-1-relatie). Daarnaast waren andere eenheden (hoofdzakelijk kleilagen) niet eerder apart gekarteerd binnen Vlaanderen. Deze werkzaamheden vergden aanzienlijk meer werk dan oorspronkelijk was ingeschat.



Figuur 12: Voorbeeld van de herinterpretatie van een boring die nabij de grens in België gelegen is. Eerdere interpretaties volgens de Belgische (DOV) en Nederlandse (DINO) lithostratigrafie werden aangepast.

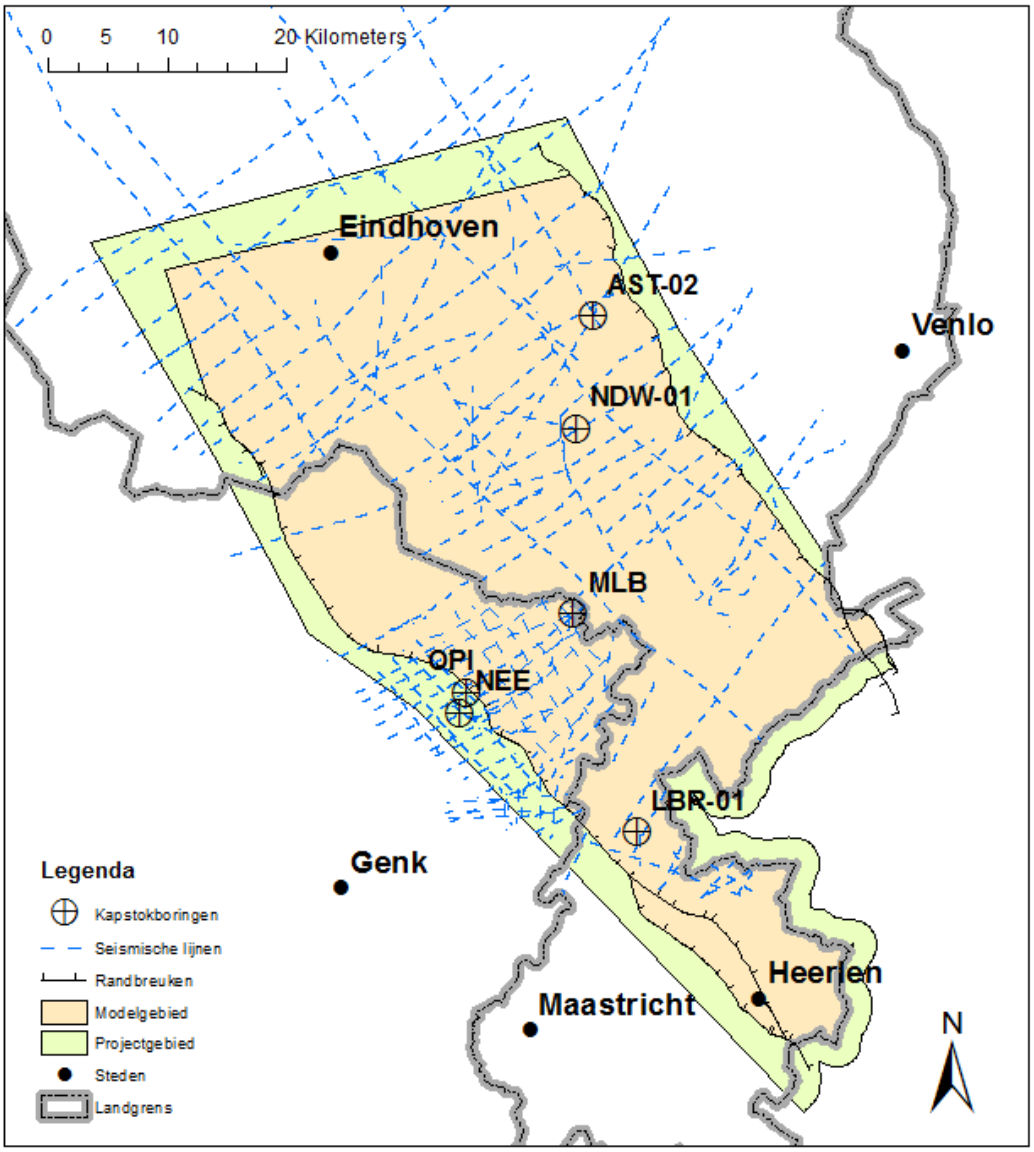
2.4.3. (HER)INTERPRETATIE DIEPE GEGEVENS

i) Algemeen

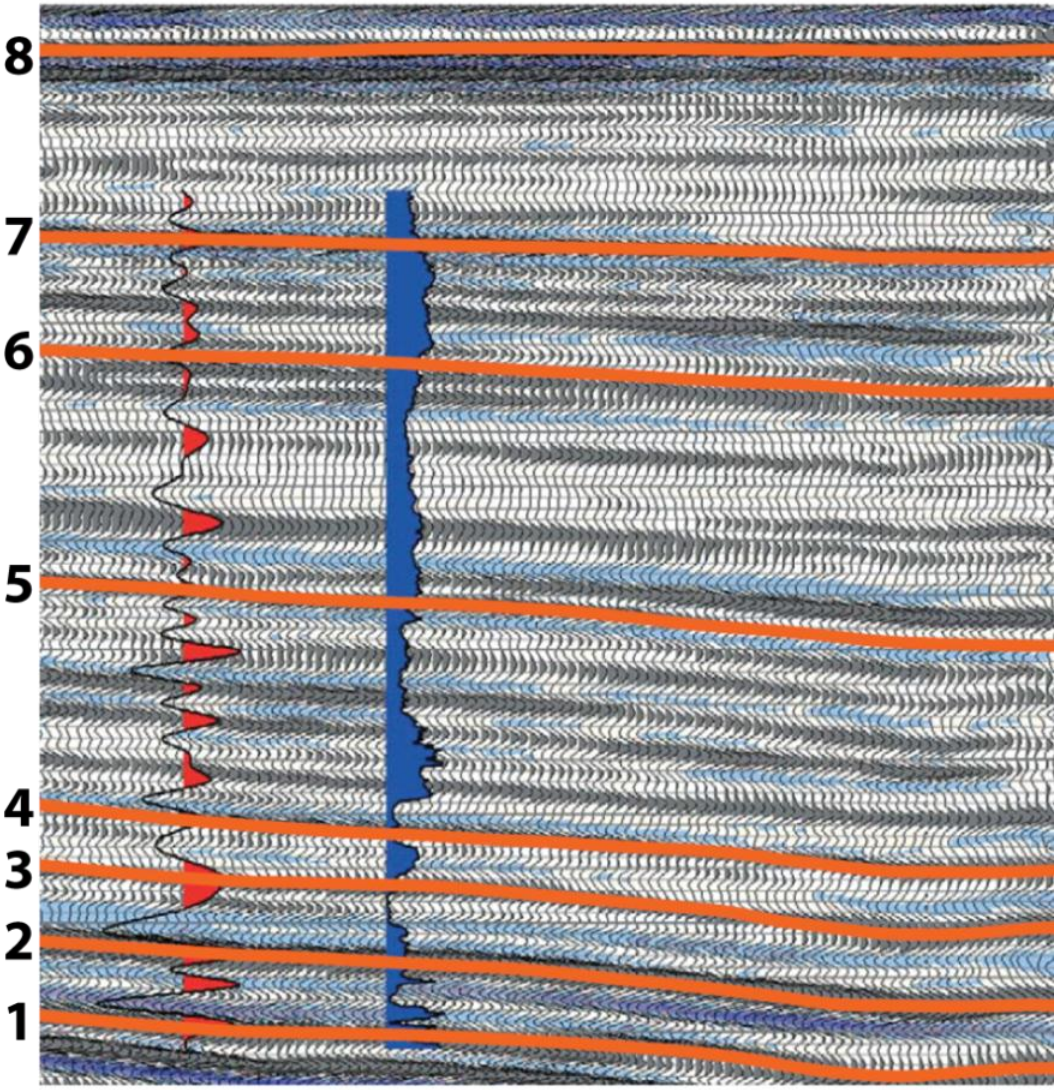
Voor de interpretatie van eenheden uit het diepe bereik (overige deel Neogeen en Paleogeen) werden de Vlaamse stratigrafische definities gebruikt, zie paragraaf 2.3.3. De eenheden uit dit diepe bereik werden grotendeels met behulp van het softwarepakket Petrel geïnterpreteerd in 2D seismiek op basis van correlaties met boringen.
De kapstokboring die gebruikt werd voor de interpretatie van de diepe eenheden in het Vlaamse deel van het projectgebied is boring Molenbeersel (DOV-proefnummer kb18d49w-B226; BGD-code 049W0226) (voor locatie zie figuur 13). De interpretaties van deze boring werden overgenomen uit het G3Dv2-model en hoefden dus niet geherinterpreteerd te worden.

De kapstokboringen die gebruikt werden voor de interpretatie van de diepe eenheden in het Nederlandse deel zijn boringen Nederweert (NLOG-code NDW-01; DINO-code B58A0062) en Limbricht (NLOG-code LBR-01; DINO-code B60C0901) (voor locatie zie figuur 13). Deze boringen waren volgens de Nederlandse stratigrafische definities geïnterpreteerd en dienden daarom geherinterpreteerd te worden volgens de Vlaamse stratigrafische definities. Buiten de correlatietabel werd daarvoor ook gebruik gemaakt van een log-correlatie tussen kapstokboringen Molenbeersel, Nederweert en Asten (NLOG-code AST-02; DINO-code B52C0234).

Om de geïnterpreteerde boringen bij de seismische interpretatie te kunnen gebruiken, diende de diepte-informatie van de boorbeschrijvingen omgezet te worden tot tijd-informatie. Hiervoor werden snelheidsdata gebruikt uit de akoestische logs van de boringen Molenbeersel (zie figuur 14), Nederweert, Limbricht, Opitter (BGD-code 048E0294) en Neerglabbeek (DOV-proefnummer kb18d48e-B261; BGD-code 048E0248) en uit de *geophone well survey* van boring Molenbeersel (voor locatie zie figuur 13). In de boringen waar geen tijd-diepte relatie beschikbaar is, zijn de dieptewaarden van de geïnterpreteerde eenheden naar tijd omgerekend met het VELMOD-2 model (Van Dalfsen et al., 2007) om als richtlijn te dienen bij de interpretatie.



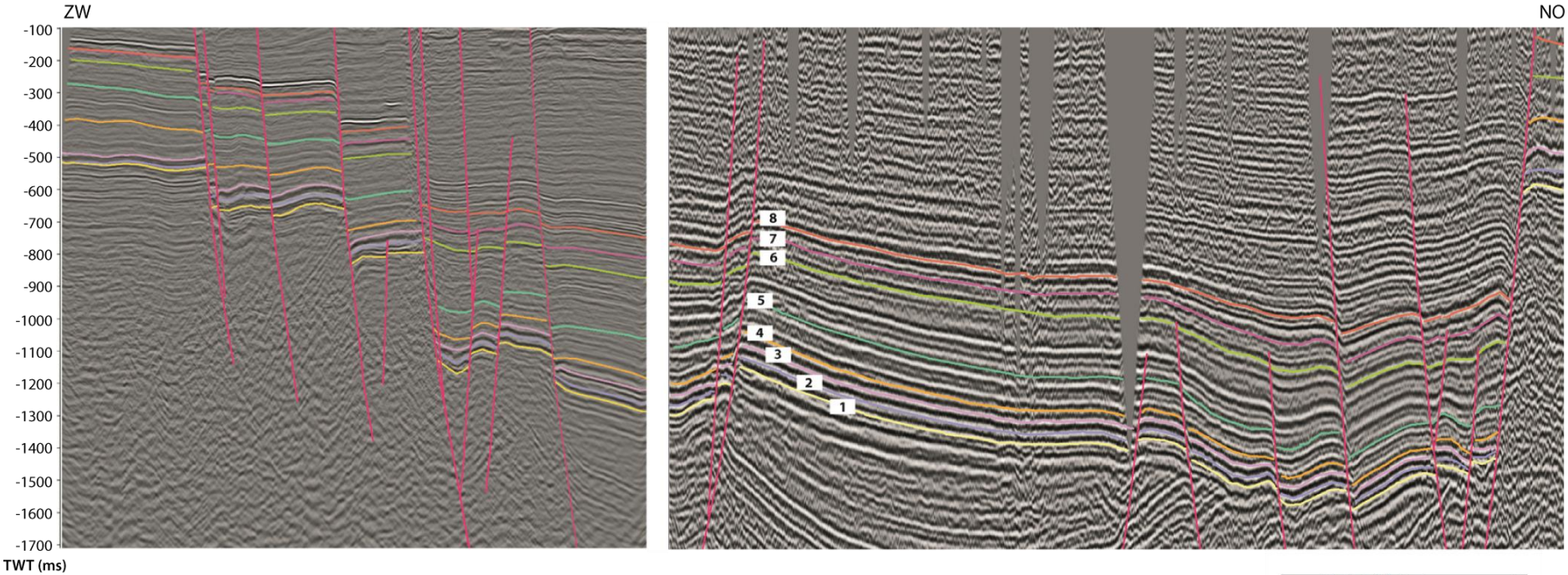
Figuur 13: Ligging van de bij de seismische interpretatie gebruikte kapstokboringen. De volgende afkortingen werden gebruikt: MLB = Molenbeersel, NEE = Neerglabbeek, OPI = Opitter, LBR-01 = Limbricht, NDW-01 = Nederweert, AST-02 = Asten.

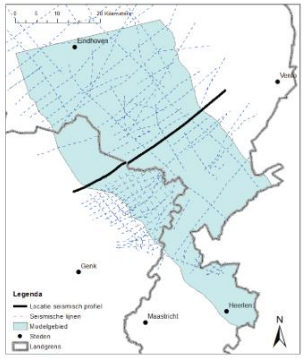


Figuur 14: Seismische interpretatie langsheen boring Molenbeersel. De interpretatie was grotendeels gebaseerd op een synthetisch seismogram (links op de figuur) dat werd aangemaakt op basis van de akoestische log en densiteitslog van deze boring. Het synthetische seismogram is weergegeven op de achtergrond van een seismisch profiel dat doorheen boring Molenbeersel loopt. In het centrum is de gamma log van boring Molenbeersel weergegeven die gebruikt werd om de lithostratigrafische eenheden erbinnen te interpreteren. De geïnterpreteerde eenheden zijn links weergegeven. De aangegeven nummers komen met de basissen van volgende formaties overeen (of tussen haakjes de hydrogeologische eenheid): 1 = Opglabbeek, 2 = Heers, 3 = Hannut, 4 = Sint-Huibrechts-Hern/Bilzen, 5 = Voort (0254-2), 6 = Voort (0255), 7 = Voort (0254-1), 8 = Bolderberg.

Eens de interpretaties naar tijd waren geconverteerd, konden deze overgezet worden op de seismische lijnen die langsheen deze boringen lopen (zie figuur 14). Vanuit deze seismische lijnen, konden de seismische interpretaties overgebracht worden op omliggende lijnen, waardoor een sluitend model verkregen werd (zie figuur 15).
Voor het G3Dv2-model waren er eerder voor de meeste eenheden al correlaties uitgevoerd tussen boring Molenbeersel en de aangrenzende seismische lijnen.

Doordat er bij de dataverzameling echter een akoestische log beschikbaar werd gesteld, konden deze interpretaties waar nodig nog verbeterd worden.
In het Nederlandse deel van het projectgebied waren er enkel seismische correlaties uitgevoerd voor de basis van de Formatie van Bolderberg (basis Boven Noordzee Groep) en de top van de krijtsedimenten (basis Onder Noordzee Groep). Hierdoor diende er in dit deel een aanzienlijk aantal eenheden voor een eerste maal seismisch geïnterpreteerd te worden.

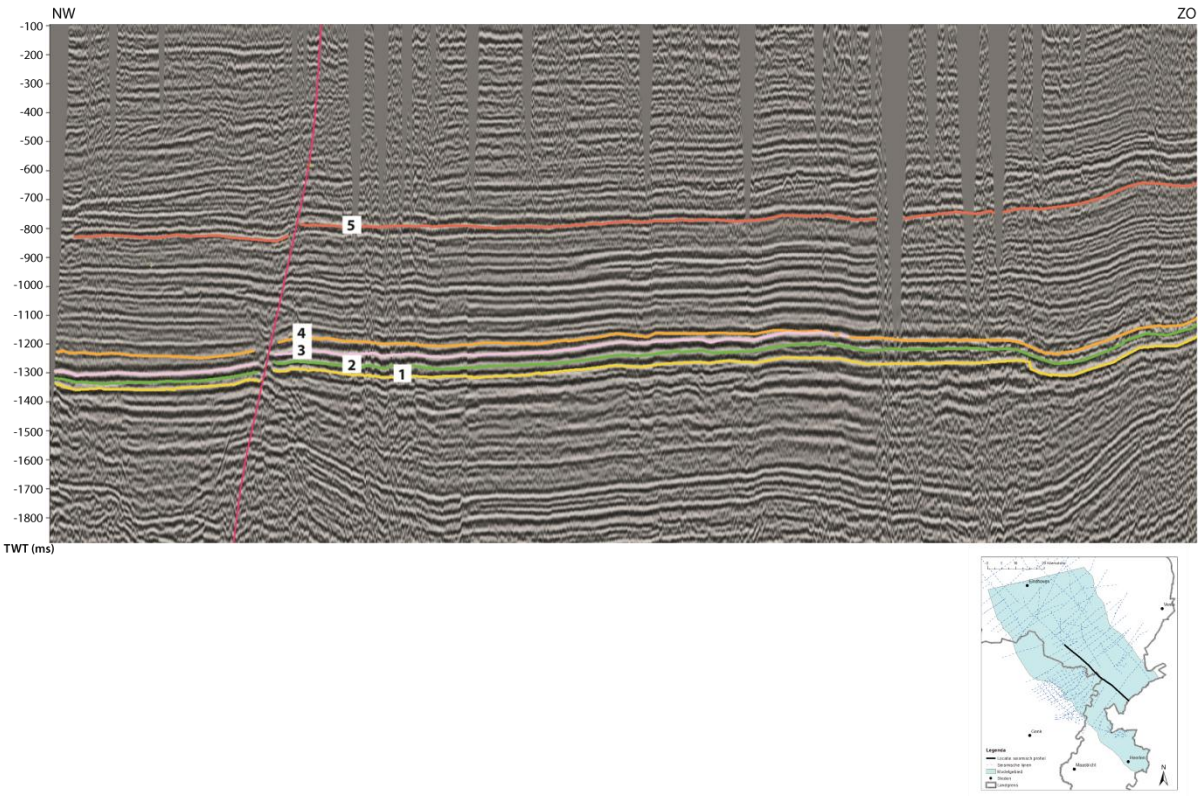




Figuur 15: Geïnterpreteerde seismische lijnen die doorheen de Roerdalslenk snijden. De linkse lijn is in het Belgische gedeelte van het modelgebied gelegen en sluit over de grens quasi aan op een lijn die in het Nederlandse gedeelte van het modelgebied is gelegen. De locatie van deze seismische lijnen is rechtsonder weergegeven. De aangegeven nummers komen met de basissen van volgende formaties overeen (of tussen haakjes de hydrogeologische eenheid): 1 = Opglabbeek, 2 = Heers, 3 = Hannut, 4 = Sint-Huibrechts-Hern/Bilzen, 5 = Voort (0254-2), 6 = Voort (0255), 7 = Voort (0254-1), 8 = Bolderberg.

ii) Gekarteerde eenheden

Vanwege de sterke geofysische contrasten tussen de Formaties van Opglabbeek, Heers en Hannut konden hun basissen seismisch geïnterpreteerd worden (zie figuren 15 en 16). De basissen van de Formaties van Sint-Huibrechts-Hern/Bilzen liggen discordant op de top van de Formatie van Hannut (figuur 16), waardoor deze goed vervolgbaar was op seismische lijnen en met grote betrouwbaarheid geïnterpreteerd kon worden. Volgens de huidige correlaties gaat de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern naar het noorden lateraal over in de Formatie van Bilzen. In het noorden vormt de basis van de Formatie van Bilzen dus de hoekdiscordantie die seismisch geïnterpreteerd is, terwijl dit in het zuiden de basis van de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern is.
De eenheden tussen de basissen van de Formaties van Sint-Huibrechts-Hern/Bilzen en de basis van de Formatie van Voort (dus niet alleen de Formatie van Bilzen, maar ook de Formaties van Borgloon, Boom en Eigenbilzen) zijn meestal dun en vertonen slechts beperkte geofysische contrasten. Hierdoor werden deze eenheden niet seismisch gekarteerd, maar gemodelleerd op basis van diktes in boringen (zie paragraaf 2.5.4). Ondanks dat het geofysisch contrast beperkt is, werd de basis van de Formatie van Voort wel seismisch gekarteerd. Binnen de Formatie van Voort werd ook hydrogeologische eenheid 0255 geïnterpreteerd. In het zuidoosten is het contrast tussen de kleiige hydrogeologische eenheid 0255 en de boven- en onderliggende zandige pakketten van de Formatie van Voort groot, maar naar het noorden toe wordt dit contrast beperkter. Lokaal was het dus moeilijk om hydrogeologische eenheid 0255 te onderscheiden.
De top van de Formatie van Voort of de basis van de Formatie van Diest/Bolderberg/Ville is een sterk geofysisch contrast dat duidelijk vervolgd en geïnterpreteerd kon worden. Ondiepere eenheden (Ville Formatie, top van de Formatie van Diest/ basis Formaties van Inden en Oosterhout en Kiezelöoliet Formatie) konden slechts in enkele seismische lijnen geïnterpreteerd worden, grotendeels ten gevolge van beperkingen in de resolutie van de seismische data.



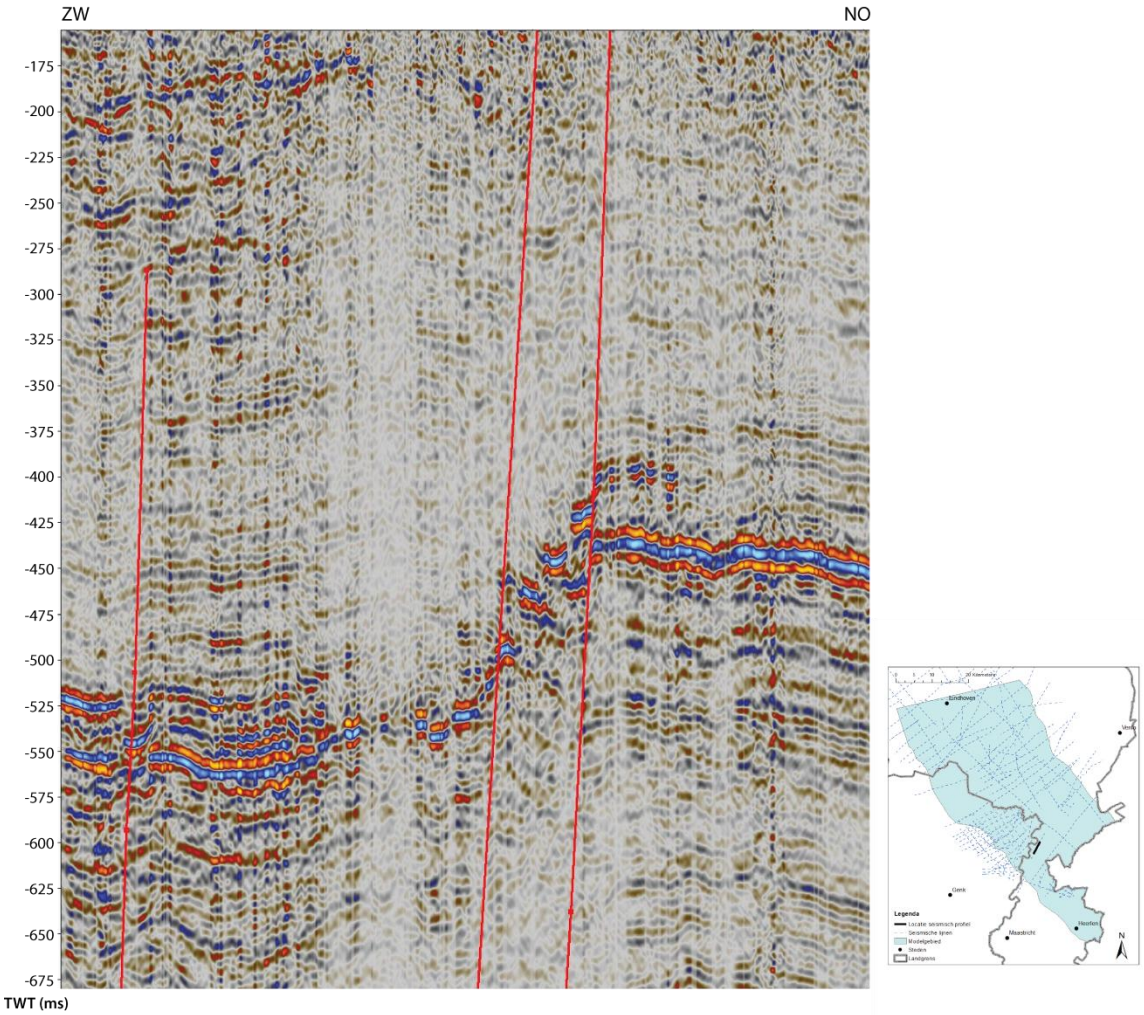
Figuur 16: Seismische interpretatie van een seismisch profiel langsheen de slenk. De aangegeven nummers komen met de basissen van volgende formaties overeen (of tussen haakjes de hydrogeologische eenheid): 1 = Opglabbeek, 2 = Heers, 3 = Hannut, 4 = Sint-Huibrechts-Hern/Bilzen, 5 = Bolderberg. De Formatie van Sint-Huibrechts-Hern snijdt langsheen dit profiel duidelijk de onderliggende eenheden af naar het zuidoosten. Let ook op het verlies in seismische resolutie boven de Formatie van Bolderberg.

2.4.4. INTERPRETATIE BREUKEN

Bestaande breukenkaarten zijn gebaseerd op interpretaties van breuksegmenten op papieren seismische secties, waarbij de positie van breuksegmenten per laagvlak over werd gebracht op shotpunten kaarten. Deze posities (punt-objecten) op de lijnen van de shotpunten werden met elkaar verbonden tot een lijn die de aansnijding van het breukvlak met het laagvlak weergeeft. Binnen het H3O-project zijn de breuksegmenten in Petrel geïnterpreteerd op gevectoriseerde 2D-seismische lijnen. De breuksegmenten, een 2D- lijn object in de 3D-ruimte blijft daarbij behouden en vormt de basis voor verdere modelering met 3D-breukvlakken.

In de meeste gevallen waren breuksegmenten tamelijk eenduidig te lokaliseren en interpreteren. In andere gevallen worden breuken op seismische lijnen echter als brede opgebroken zones voorgesteld, waardoor de locatie van het breuksegment moeilijk exact vastgelegd kan worden (zie figuur 17). Indien boven deze breukzone echter oppervlaktedata aanwezig is die wijst op een meer specifieke locatie van geconcentreerde breukwerking, dan werd deze meegenomen om de breukinterpretaties op seismiek te sturen.

Sommige breukzones zijn echter zeer breed uitgesmeerd, waardoor binnen de breukzone duidelijk meer dan één breuksegment actief is geweest. Het aantal breuksegmenten binnen deze zones is soms groot en hun verticale sprong zeer klein, wat het moeilijk maakt om deze individuele breuken te vervolgen op verschillende seismische lijnen en dus moeilijk te modelleren. Hierdoor werd binnen deze breukzones vaak slechts één of twee breuksegmenten geïnterpreteerd en/of verder gebruikt bij de modellering. Dit is dus een sterke vereenvoudiging van de realiteit die echter noodzakelijk is om met de huidige technieken breukzones te kunnen modelleren.
De horizontale onzekerheid voor de positie van een breuksegment is circa 100 tot 250m, maar kan oplopen tot een kilometer voor slechte seimiek of als de seismische lijn plaatselijk geen data heeft.



Figuur 17: Interpretatie van breuksegmenten op een seismische lijn. De rechtse twee segmenten begrenzen een brede breukzone (gerelateerd aan de Gangelt breuk). Door het sterk opgebroken karakter van de breukzone kunnen de individuele breuksegmenten ervan niet geïdentificeerd worden. De locatie van deze figuur is rechtsonder weergegeven.

2.5. MODELLERING

2.5.1. KEUZE MODELLERINGSMETHODES

Aansluitend op de (her)interpretatie van de gegevens werd de modellering gestart om tot breukvlakken en diepte-, dikte- en onzekerheidsgrids van de geologische en hydrogeologische eenheden te komen met een resolutie van 100 bij 100 meter.
Bij deze modellering werden twee sterk verschillende werkwijzen gevolgd, die in deze rapportage “ondiepe” en “diepe methode” worden genoemd. Daarnaast zijn in enkele gevallen ook andere methodes of combinaties van de ondiepe en diepe methode gebruikt zoals in paragraaf 2.5.4 verder wordt toegelicht.
De gemodelleerde eenheden en de daarbij gebruikte methode(s) zijn weergegeven in tabel 3.

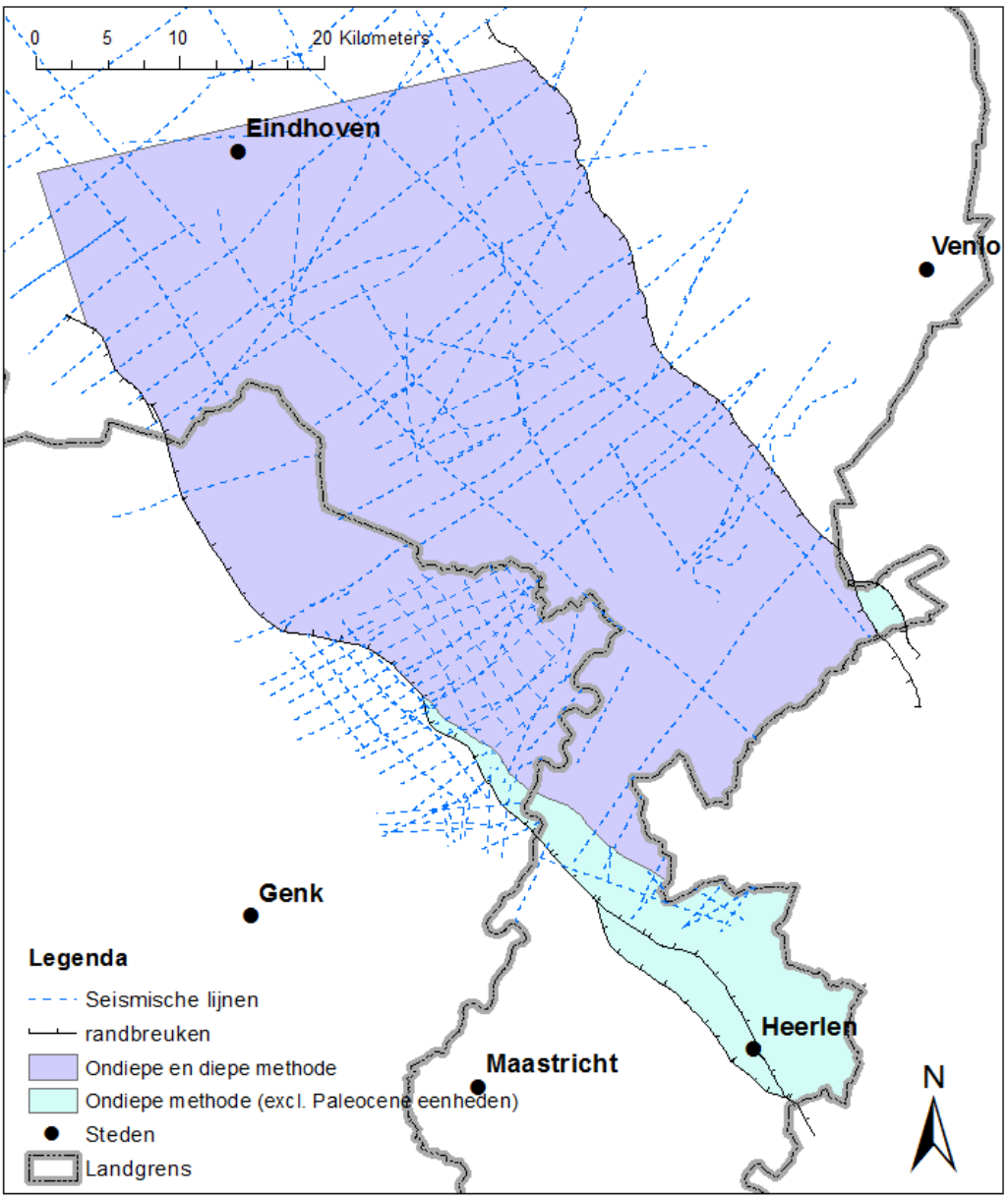
Tabel 3: Overzicht van de methodieken waarmee de verschillende eenheden gemodelleerd zijn. Voor de opgesomde punten in de rechterkolom wordt verwezen naar paragraaf 2.5.4.

Geologische eenheid	Hydrogeologische eenheid	Modelleermethode
HL	HL-c	zie punt 1
Boxtel	BXSC-k-1	Ondiepe methode
	BX-z-2	Ondiepe methode
	BX-k-1	Ondiepe methode
	BXLM-k-1	Ondiepe methode
	BX-z-3	Ondiepe methode
	BX-k-2	Ondiepe methode
	BX-z-4	Ondiepe methode
HL	HL-c	zie punt 1
Beegden	BE-z-1	Ondiepe methode
	BE-k-1	Ondiepe methode
	BE-z-2	Ondiepe methode
	BE-k-2	Ondiepe methode
	BE-z-3	Ondiepe methode
Sterksel	ST-z-1	Ondiepe methode
	ST-k-1	Ondiepe methode
	ST-z-2	Ondiepe methode
Stramproy	SY-z-1	Ondiepe methode
	SY-k-1	Ondiepe methode
	SY-z-2	Ondiepe methode
	SY-k-2	Ondiepe methode
	SY-z-3	Ondiepe methode
	SY-k-3	Ondiepe methode
	SY-z-4	Ondiepe methode
Waalre	PZWA-z-1	Ondiepe methode
	WA-k-1	Ondiepe methode
	PZWA-z-2	Ondiepe methode
	WA-k-2	Ondiepe methode
	PZWA-z-3	Ondiepe methode
	WA-k-3	Ondiepe methode
	PZWA-z-4	Ondiepe methode
Maassluis	MS-z	Ondiepe methode
Kiezeloöliet	KI-z-1	Ondiepe methode
	KI-k-1	Ondiepe methode
	KI-z-2	Ondiepe methode
	KI-k-2	Ondiepe methode
	KI-z-3	Ondiepe methode
	KI-k-3	Ondiepe methode
	KI-z-4	Ondiepe methode
	KI-k-4	Ondiepe methode
	KI-z-5	Ondiepe methode
Oosterhout	OO-z-1+OO-z-2	Ondiepe methode
	OO-c	Ondiepe methode
Inden	IE-z-1	Ondiepe methode
	IE-k-1	Ondiepe methode
	IE-z-2	Ondiepe methode
	IE-k-2	Ondiepe methode
	IE-z-3	Ondiepe methode
Diest/Bolderberg/Ville	0252 +0253-1	zie punt 2
	0253-v1	zie punt 2
	0253-2	zie punt 2
	0253-v2	zie punt 2
	0253-3	zie punt 2
Voort	0254-1	zie punt 3
	0255	Diepe methode
	0254-2	zie punt 3
Eigenbilzen	0256	zie punt 4
Boom	0300	zie punt 4
Bilzen	0410 +0420 +0431	zie punt 4
Borgloon	0441	Ondiepe methode
Sint-Huibrechts-Hern	0451+0452	Diepe methode
Hannut	1021+1022	Diepe methode
Heers	1023 +1032	Diepe methode
Opglabbeek	1033 +1034	Diepe methode

De ondiepe methode steunt hoofdzakelijk op boorgegevens, terwijl de diepe methode hoofdzakelijk van seismische data uitgaat. Een belangrijk ander verschil tussen beide methodes is dat men binnen de ondiepe methode steeds in het dieptedomein werkt, terwijl in de diepe methode eerst gemodelleerd wordt in het tijdsdomein, waarna deze tijdmodellen in diepte omgezet worden. Ook de modellering van de breukvlakken kwam via de diepe methode tot stand.

Binnen de Roerdalslenk werden de ondiepe (Quartaire en Neogene eenheden tot en met de Formatie van Bolderberg) en diepe eenheden (Neogene en Paleogene eenheden vanaf de Formatie van Bolderberg) respectievelijk via de ondiepe en diepe methode gemodelleerd. Door de ondiepere ligging en omdat er minder seismische data ter beschikking is, werden de meeste eenheden (uitgezonderd de Formaties van Opglabbeek, Heers en Hannut) buiten de Roerdalslenk via de ondiepe methode gekarteerd (zie figuur 18). De ondiepe eenheden werden dus over het gehele modelgebied consistent via de ondiepe methode gemodelleerd, terwijl het merendeel van de diepe eenheden op twee verschillende manieren gemodelleerd werden.

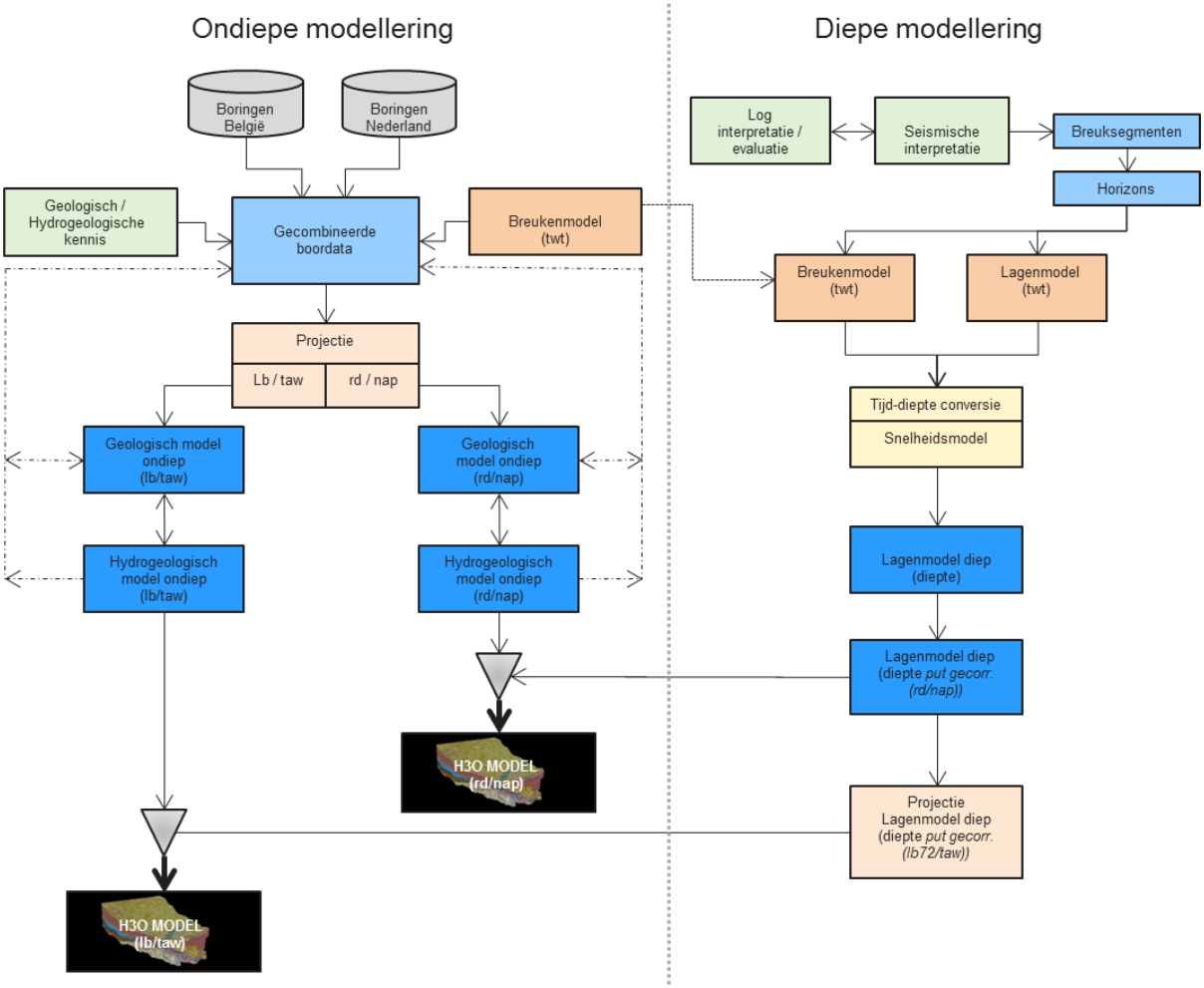
Nederland en Vlaanderen beschikten beide reeds over digitale geologische en hydrogeologische modellen van de ondergrond. Omdat het ontwikkelen van nieuwe modelleringsmethodes een tijdrovend proces is, is bij de ondiepe en de diepe methode zoveel mogelijk uitgegaan van de reeds bestaande, operationele methodieken.



Figuur 18: Deelgebieden waarbinnen de ondiepe en diepe methode van modelleren werden gebruikt. Het deelgebied 'ondiepe methode (excl. Paleocene eenheden)' omvat alle eenheden behalve deze van Paleocene ouderdom ofwel dus de Formaties van Opglabbeek, Heers en Hannut.

2.5.2. WERKWIJZE ONDIEPE METHODE

Bij het modelleerproces volgens de ondiepe methode werd er eerst een geologisch model gemaakt dat nadien verder onderverdeeld werd in hydrogeologische eenheden. De workflow voor de geologische modellering is gebaseerd op deze van DGM (zie Gunnink et al., 2013 en figuur 19), en de workflow voor het hydrogeologische model op deze van REGIS II (zie Vernes en Van Doorn, 2005 en figuur 19). Een algemene voorstelling van de basisdata en het uiteindelijke resultaat van de ondiepe methode is weergegeven in figuur 20.



Figuur 19: Workflow ondiepe en diepe methode

i) Basisdata

Het geologisch model werd opgesteld op basis van boorgegevens samen met breuken, potentiële voorkomensgebieden en supplementaire data zoals trendvlakken. Deze data dienden samen als input in een automatische workflow die ervoor zorgt dat het model eenvoudig te vernieuwen, verbeteren en reproduceren is.

<u>Boorgegevens:</u>
Alle geïnterpreteerde boringen en logs werden gebruikt voor het creëren van het geologisch model. Boringen van lage kwaliteit werden voor de modellering van specifieke geologische eenheden genegeerd.

Breuken:
Er werd verder gebouwd op de seismisch gemodelleerde 3D breukvlakken (zie paragraaf 2.5.3). Binnen de workflow van de ondiepe methode worden breuken echter verticaal verondersteld. Om die reden werden de breuken vanaf de basis van de gecombineerde Formatie van Diest/Bolderberg/Ville Formatie naar boven toe verticaal verondersteld.
Breukentracés werden gebruikt om het effect van breukbewegingen op de dikte en verbreidingen van geologische eenheden te achterhalen. De positie van de breuken in de verschillende lithologische eenheden werd vervolgens achterhaald. Bij interpolatie werden alleen boringen gebruikt die binnen hetzelfde breukblok liggen, waardoor de breuklijn als het ware een barrière vormt. Hierdoor wordt er niet over een breuk geïnterpoleerd en wordt het werkelijke verzet langs de breuk niet uitgesmeerd, maar behouden in het model. Waar de breuken eindigen komen bij de interpolatie boringen ter weerszijde van de breuk geleidelijk binnen bereik waardoor ook een geleidelijke uitdoving van de breuk in het model ontstaat.

Verbreidingsgrenzen:
De potentiële verbreiding van elke eenheid wordt bepaald door de boorgegevens, bestaande verbreidingskaarten en geologische kennis. De potentiële verbreiding dient als een geografische limiet waarbinnen het basisvlak van de eenheden gecreëerd wordt. Geïsoleerde zones in de verbreiding worden geëvalueerd op basis van hun relevantie, wat soms leidt tot aanpassingen van origineel gedefinieerde grenzen. Op locaties waar eenheden uitdunnen werden extra steunpunten (kunstmatige boringen) toegevoegd om de interpolaties te sturen tot het maken van realistische modellen.

Trendvlakken:
Standaard interpolaties van boorgegevens alleen leiden vaak niet tot geologisch realistische modellen in gebieden met een geringe datadichtheid. Interpolaties gaan namelijk uit van vloeiende ondulerende vlakken, terwijl geologische vlakken een grotere variatie aan expressies kunnen vertonen. Om de interpolaties te sturen tot geologisch realistische modellen worden daarom trendvlakken gebruikt. Sommige trendvlakken zijn gebaseerd op kennis van eerder gekarteerde eenheden. Zo werd het basisvlak van de Formatie van Bolderberg uit de diepe modellering gebruikt als trendvlak voor de modellering van de basis van de Formatie van Bolderberg in de ondiepe modellering. Voor de andere eenheden werd een stuurgrid bepaald op basis van de boorgegevens.

ii) Workflow van de geologische modellering

De workflow van de modellering bestaat uit drie stappen: interpolatie van de basisvlakken per eenheid (topvlakken van elke eenheid zijn gelijk aan de basisvlakken van bovenliggende eenheden), opeenstapeling van de eenheden tot een consistent 3D model en het berekenen van de onzekerheden in de geometrie per eenheid.

Interpolatie:

De interpolatie werd uitgevoerd binnen het geostatistische softwarepakket Isatis. Block-kriging werd gebruikt als de voornaamste interpolatietechniek. Deze interpolatieprocedure werd per eenheid aangepast voor de specifieke geologische karakteristieken. Breuken werden als barrières beschouwd. Het verschil tussen het geïnterpoleerde basisvlak en het trendvlak werd vervolgens toegevoegd aan het trendvlak, zodat een nieuw basisvlak verkregen wordt. Dit proces wordt verschillende malen herhaald. Op deze manier worden zowel de geologische trends als de boorgegevens in de modellering meegenomen. Voor gebieden met lage datadichtheid werden steunpunten toegevoegd om het vlak te sturen naar de geologische inzichten. De invloed van de steunpunten is afhankelijk van de datadichtheid.

Creëren van het 3D model:

De volgende stap in de workflow omvat het op een stratigrafisch consistente manier opeenstapelen van de verschillende basisvlakken zodat een 3D raamwerk verkregen wordt. Omdat de basisvlakken apart gemodelleerd werden, zorgt de opeenstapeling van deze vlakken voor onderlinge snijdingen. Deze snijdingen kunnen geologisch verklaarbaar zijn, bijvoorbeeld in gebieden waar een eenheid door latere erosie is verdwenen. In die gebieden zal het basisvlak dan worden doorsneden door een basisvlak van een bovenliggende eenheid of door het maaiveld. Snijdingen kunnen ook wijzen op inconsistenties in geologische interpretaties van de boringen of op artefacten van de interpolatie. Om die reden dient de plausibiliteit van snijdingen zorgvuldig gecontroleerd te worden.

De procedure om een 3D model te creëren door opeenstapeling van laagvlakken is binnen de workflow geprogrammeerd en wordt eveneens uitgevoerd in het softwarepakket Isatis. Het resulterend 3D model omvat de basis van de gemodelleerde eenheden vanuit welke, met behulp van rasterbewerkingen, de top en de dikte werden afgeleid.

Inschatting van onzekerheden:

De rasters van de top, basis en dikte van de gemodelleerde eenheden bezitten lateraal variërende onzekerheden. Deze onzekerheden hangen onder andere samen met onzekerheden in de locaties van de boringen, de maaiveldhoogte van de boorlocaties, de boorbeschrijvingen, de lithostratigrafische classificaties, de gebruikte interpolatiemethode en de onzekerheden in de geologische kennis en informatie die daarbij is meegenomen zoals trendvlakken en steunpunten. Omdat de overige onzekerheden moeilijk te kwantificeren zijn, werd er gefocust op de kwantificatie van de onzekerheden van de interpolaties van de vlakken. Deze procedure focuste op de harde data, te weten de interpretaties van boringen. Cross-validatie werd gebruikt om het verschil tussen de werkelijke waardes en de geschatte waardes op de locatie van boringen te bepalen.

Het algemeen principe van cross-validatie is om punten om de beurt weg te laten en de waardes op dat punt te berekenen op basis van de resterende punten.

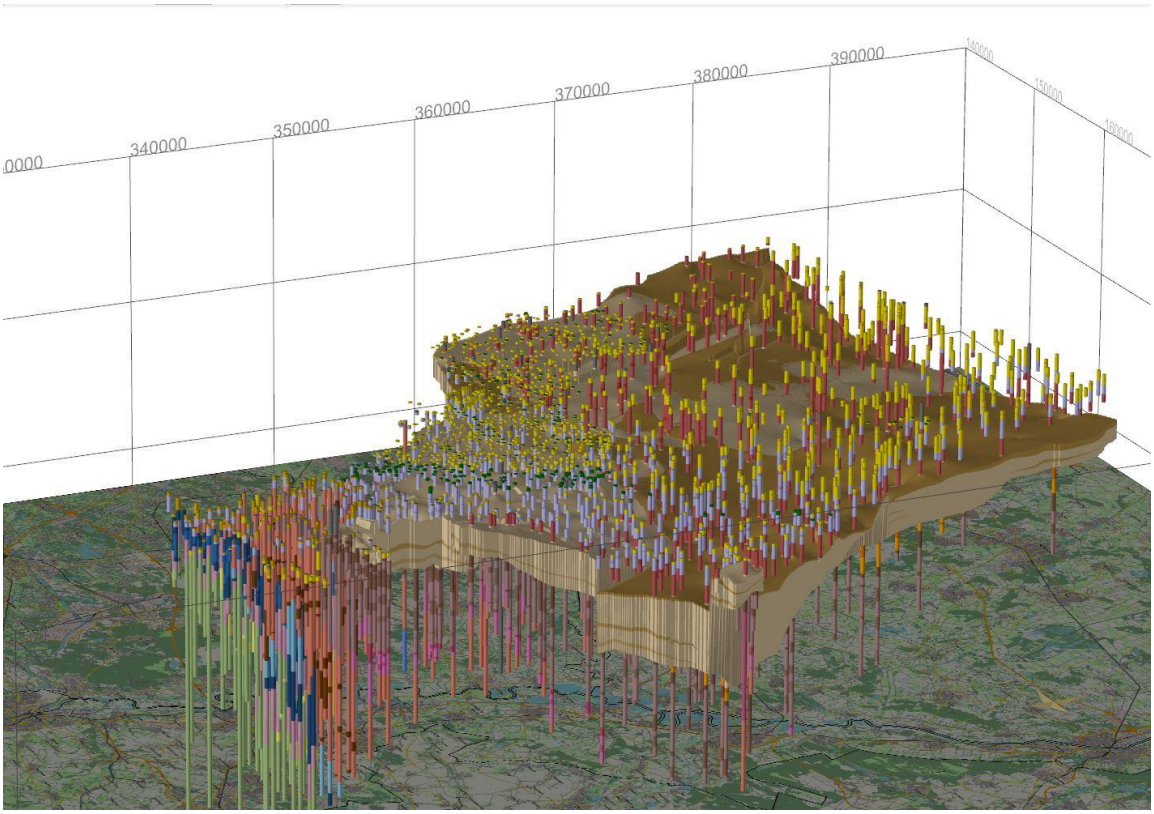
Door een *moving window* toe te passen kan de onzekerheid ter plaatse van de boorlocaties worden uitgebreid naar het hele verbreidingsgebied en kan de variantie van de basis van elke modeleenheid worden berekend, waarbij ook rekening wordt gehouden met variaties in de dichtheid aan boringen (Gunnink et al., 2010, 2013). Standaarddeviaties voor de top van de eenheden werden daarbij afgeleid uit de standaarddeviaties van het basisvlak van de bovenliggende eenheid. Standaarddeviaties voor de diktes van de eenheden werden vervolgens afgeleid uit de standaarddeviaties van het top- en basisvlak van de betreffende eenheidDaarnaast werd ook de kans op voorkomen van de eenheid bepaald. Zie Gunnink et al. (2010) voor een uitgebreide beschrijving van de werkwijze waarop deze kaarten zijn samengesteld.

Controle van het model:
Het berekende model werd gecontroleerd door middel van logische controles en een visuele beoordeling van de geologische plausibiliteit uitgevoerd in ArcGIS en het programma iMOD. Voorbeelden van logische controles zijn de controle op negatieve diktes, de controle op identieke verbreidingen van de grids van de top, basis en dikte van de eenheden, de controle op grote verschillen tussen de interpretaties van de boringen en de grids van de top, basis en dikte van de eenheden op de boorlocaties.

iii) Hydrogeologisch model

De begrenzing van een hydrogeologische eenheid kan deze van een geologische eenheid niet doorkruisen. Een geologische eenheid bestaat namelijk uit één of meerdere unieke hydrostratigrafische eenheden. Het geologisch model vormt het raamwerk voor het hydrogeologische model. Om aan dit uitgangspunt te voldoen dient bij het samenstellen van het hydrogeologische model de consistentie met het lithologische model gewaarborgd te worden. Anderzijds dient de geometrie van de geologische eenheden zodanig goed gemodelleerd te zijn dat het logische ruimtelijke verloop van hydrogeologische eenheden gewaarborgd wordt.
Het geologische model diende daarom als startpunt voor verdere onderverdeling van de gemodelleerde geologische eenheden in hydrogeologische eenheden. Binnen het hydrogeologische model worden enkel de kleiige en bruinkooleenheden gemodelleerd. Hieruit werden achteraf de zandige eenehden afgeleid. De hydrogeologische modellering van de kleiige en bruinkooleenheden gebeurde op basis van een workflow die vergelijkbaar is met die van het geologische model.
Een subtiel maar belangrijk verschil tussen de hydrogeologische en geologische modellering is dat er binnen de hydrogeologische modellering altijd twee parameters per modeleenheid worden berekend, namelijk top en dikte, top en basis of dikte en basis. Uit deze twee waarden kan dan de derde afgeleid worden. Pas nadat alle modeleenheden binnen een geologische eenheid berekend of afgeleid waren, kon er gestapeld worden en konden deze consistent gemaakt worden.

De top en basis van de hydrogeologische eenheden werden onderling én met de geologische eenheden vergeleken en consistent gemaakt. Uitgaande van het geologisch model, de geometrie van de gemodelleerde kleiige en bruinkooleenheden en de eventueel bijhorende hypothetische grensvlakken werd per eenheid van het geologisch model de geometrie van de zandige hydrogeologische eenheden afgeleid.
Binnen de bestaande workflow van REGIS II, die binnen dit project is toegepast, is het berekenen van onzekerheidsgrids van de verbreiding en de geometrie van de hydrogeologische eenheden nog in ontwikkeling. Om die reden zijn geen onzekerheidsgrids van deze eenheden samengesteld.

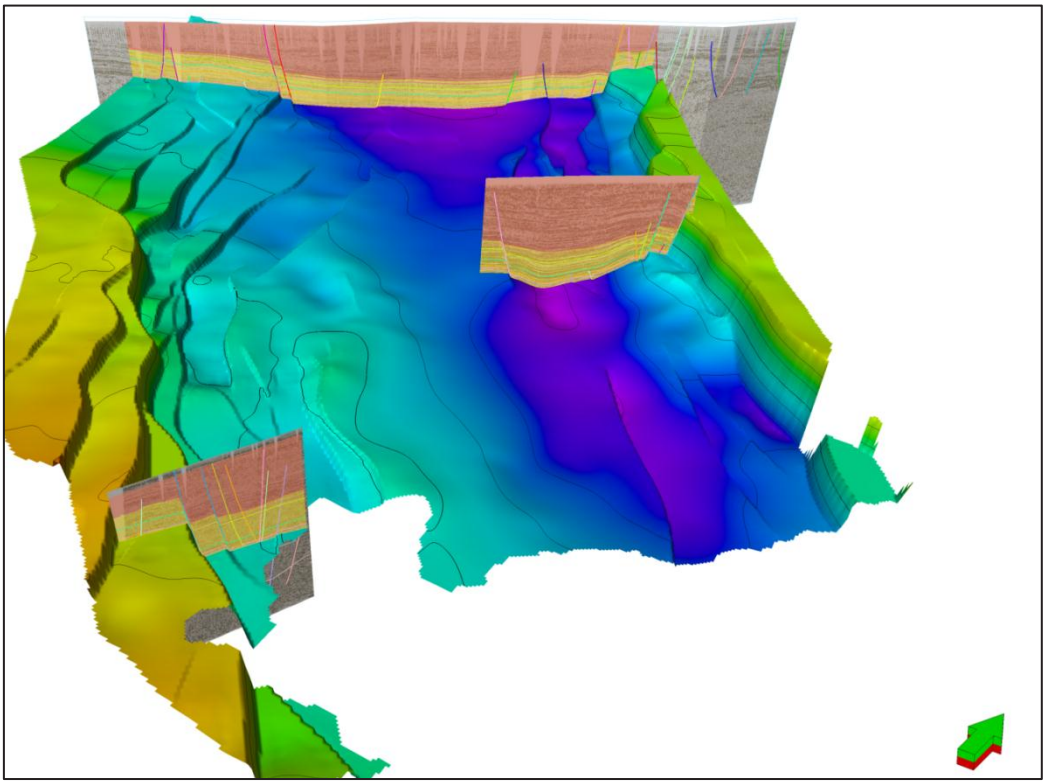


Figuur 20: Overzicht van de werkwijze van de ondiepe methode, met geïnterpreteerde boringen en een 3D model van de Formatie van Stramproy.

2.5.3. WERKWIJZE DIEPE METHODE

Via de werkwijze van de diepe methode werd vanuit de interpretaties van de seismische lijnen (zie paragraaf 2.4.3) een model van de diepere eenheden samengesteld. Een belangrijk verschil met de ondiepe methode is dat zowel de interpretatie van breuken en grensvlakken als de modellering daarbij in het softwarepakket Petrel gebeurde. De eerste stap om tot een model te komen omvatte het modelleren van de geïnterpreteerde breuksegmenten en grensvlakken langs de verschillende seismische lijnen tot breukvlakken en laagvlakken in 3D, zie figuur 21. Deze stap verliep binnen het tijdsdomein, de conversie naar het dieptedomein werd later in het modelleerproces uitgevoerd.

De geïnterpreteerde breuksegmenten, die bij een bepaalde breuk behoren, zijn de snijlijnen van het te creëren breukvlak met de seismische secties. Deze breuksegmenten werden binnen Petrel samengevoegd en omgezet tot een breukvlak. Het verloop van de strekking en de uiteinden van het breukvlak als ook het contact tussen de individuele breukvlakken diende door de modelleur bijgestuurd te worden om tot een realistisch 3D breukenmodel te komen. Deze bijsturing werd hoofdzakelijk uitgevoerd door het toevoegen van steunpunten of fictieve interpretaties van breuksegmenten. Deze bijsturing is echter een tijdrovende bezigheid, wat het onmogelijk maakte om tot een perfecte aansluiting met data van het maaiveld (breuken die geobserveerd werden aan de oppervlakte) te komen in het gebied tussen seismische lijnen. Op een aantal locaties werd gebruik gemaakt van breukinformatie aan het maaiveld om de ligging van het breukvlak te sturen.
Geïnterpreteerde grensvlakken langs verschillende seismische lijnen werden binnen Petrel in combinatie met de breuken geïnterpoleerd tot laagvlakken die een duidelijk verzet en consistent verloop langs de breukvlakken toonden (zie figuur 21). Het verloop van de strekking van deze lagen, de voorkomensgrenzen, onderlinge snijdingen, diktetrends enz. dienden bijgestuurd te worden om tot een realistisch lagenmodel te komen. Net zoals bij breuken werd deze bijsturing uitgevoerd door middel van het gebruik van steunpunten. De geïnterpreteerde laagvlakken werden geïnterpoleerd tot regelmatige rasters met een celgrootte van 250 x250 m en in een later stadium van het modeleerproces verfijnd naar 100 x 100 m.



Figuur 21: 3D-modellering in tijd van de basis van de Formatie van Opglabbeek. Drie seismische profielen zijn weergegeven in het 3D model met interpretaties van andere laagvlakken en breuken. Rechts onderaan op de figuur is in groene kleur de noordpijl weergegeven.

Eens het breuken- en het lagenmodel aangemaakt was, werden deze van het tijdsdomein omgezet naar het dieptedomein met behulp van het snelheidsmodel Velmod-2 (Van Dalfsen et al., 2007, beschikbaar via www.nlog.nl). In Velmod-2 werd met behulp van snelheidsinformatie uit boringen voor een tiental lithostratigrafische intervallen een coëfficiënt bepaald, die de toename van de snelheid weergeeft met de diepte. Daarna werden per lithostratigrafisch interval lateraal variërende snelheidskaarten (v0) gemaakt. Voor het huidige H3O-project werd de snelheidsinformatie uit Velmod-2 uitgebreid vanuit Nederland tot over de grenzen van het projectgebied met snelheidsdata uit boringen in Vlaanderen en werden er snelheidskaarten (v0) gemaakt voor het interval van het 0 m referentieniveau tot aan de basis van de Formatie van Bolderberg en voor het daaronder liggende interval tot aan de top van de Formaties van Houthem of Maastricht. Deze snelheidsdata dienden als een kapstok waarmee ook de tijdswaardes van de laagvlakken van de tussenliggende eenheden omgezet werden tot dieptewaardes.

Na diepte-conversie kunnen op de locatie van de boringen nog verschillen optreden tussen de diepte-interpretaties in de boringen en de naar diepte geconverteerde laagvlakken. Om dit te corrigeren, werden in het diepte-domein de verschillen tussen de dieptes van de eenheden in de boringen en laagvlakken berekend. Vervolgens werden deze verschillen tot een vlak gegrid dat werd opgeteld bij de initiële laagvlakken.

Binnen de workflow van de diepe methode is het berekenen van onzekerheidsgrids van de verbreiding en geometrie van de modeleenheden nog niet ingebouwd. Om die reden zijn geen onzekerheidsgrids van de met de diepe methode gemodelleerde eenheden samengesteld. Het berekende model werd gecontroleerd door middel van logische controles en een visuele beoordeling van de geologische plausibiliteit uitgevoerd in Petrel, ArcGIS en het programma iMOD.

2.5.4. Gecombineerde en Overige methoden

Naast eenheden die volledig via de ondiepe of de diepe methode gemodelleerd werden, zijn er ook eenheden die gemodelleerd werden op een alternatieve methode of via een combinatie van de ondiepe en diepe methodes. Deze eenheden zijn in tabel 3 vermeld en worden hieronder verder toegelicht.

Punt 1:
Geologische eenheden: HL - delen van de Formatie van Boxtel (Laagpakket van Singraven), Holocene deel van de Formatie van Beegden en Formatie van Nieuwkoop (Laagpakket van Griendtsveen)
Hydrogeologische eenheid: HL-C

Deze eenheid omvat zowel Holocene rivier- en beekafzettingen als veenvoorkomens. De Holocene rivierafzettingen komen enkel voor in rivierdalen en kennen dus een grillig verloop. De modellering van deze eenheden vergde daarom een bijzondere aanpak. Een eerste stap was een bepaling van de omtrek van deze rivierdalen. In het Vlaamse deel van het projectgebied werd deze omtrek afgeleid uit de kaarten van Beerten (2005) en de bodemkaart. In het Nederlandse deel van het projectgebied werd deze omtrek afgeleid uit de digitale versie van de Bodemkaart van Nederland 1 : 50.000 (De Vries et al., 2003). De diktes van de rivierafzettingen werden bepaald via boringen. Via deze diktes konden trendvlakken aangemaakt worden die het dikteverloop van deze afzettingen weergeven over het gehele projectgebied. Deze trendvlakken werden gebruikt om diktes te voorzien in gebieden waar geen boringen beschikbaar zijn. De diktewaardes van het trendvlak werden geprojecteerd op een lijn die het centrum van de rivierdalen volgt, terwijl de lijnen die de omtrek ervan weergeven een dikte nul meekregen. Via interpolatie wordt hierdoor de typische trend van rivierafzettingen weergegeven, die dik zijn in het centrum en sterk verdunnen naar de rand van het rivierdal.
Deze diktevlakken werden onder de topografie geplaatst, waardoor ook vlakken van de basis en top van de Holocene rivierafzettingen gecreëerd werden.
Het Laagpakket van Griendtsveen van de Formatie van Nieuwkoop omvat hoogveenrestanten. Deze afzettingen komen in een klein deel van de Roerdalslenk voor en maken deel uit van modeleenheid HL. Vanwege de afwijkende aard van deze afzettingen zijn deze, in tegenstelling tot de hierboven beschreven methodiek, gemodelleerd op basis van beschikbare boorgegevens aangevuld met steunpunten.

Punt 2:
Geologische eenheden: Formaties van Diest, Bolderberg en Ville
Hydrogeologische eenheid: 0252 + 0253-1, 0253-v1, 0253-2, 0253-v2, 0253-3

De basis van de Formatie van Bolderberg werd binnen de Roerdalslenk via de diepe methode gemodelleerd. Wegens het gebrek aan voldoende diepe en kwalitatief goede boorbeschrijvingen en/of duidelijke, goed vervolgbare seismische reflectoren werden de Formaties van Kasterlee en Diest en de hydrogeologische onderverdelingen van de Formaties van Bolderberg en Ville niet gemodelleerd binnen de Roerdalslenk.
Een uitzondering hierop vormt het ter plaatse en ten noorden van Schinveld gelegen gebied waar een verdere onderverdeling op basis van boorgegevens wel kon worden gemaakt. Buiten de Roerdalslenk werden de Formaties van Diest, Bolderberg en Ville en hun invullingen in hydrogeologische eenheden volledig via de ondiepe methode gemodelleerd.

Punt 3:
Geologische eenheden: Formatie van Voort
Hydrogeologische eenheid: 0254-1, 0255, 0254-2

De Formatie van Voort en haar hydrogeologische eenheden werden binnen de Roerdalslenk via de diepe methode gemodelleerd en buiten de Roerdalslenk via de ondiepe methode. Buiten de Roerdalslenk is er geen kleiige eenheid (hydrogeologische eenheid 0255) meer aanwezig en wordt de Formatie van Voort dus niet verder onderverdeeld in hydrogeologische eenheden. Hierdoor wordt de kleiige eenheid 0255 dus enkel via de diepe methodiek gemodelleerd.

Punt 4:
Geologische eenheden: Formaties van Eigenbilzen, Boom, Bilzen en Sint-Huibrechts-Hern
Hydrogeologische eenheid: 0256, 0300, 0410 + 0420 + 0431, 0451 + 0452

De basissen van de Formaties van Eigenbilzen en Boom werden niet seismisch gekarteerd binnen de Roerdalslenk. De basis van de Formatie van Bilzen werd enkel seismisch gekarteerd in de delen van de Roerdalslenk waar de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern afwezig is.
In de gebieden waar de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern aanwezig is, werden de basissen van de Formaties van Eigenbilzen, Boom en Bilzen proportioneel bepaald tussen de seismisch gekarteerde basissen van de Formaties van Voort (bovengrens) en Sint-Huibrechts-Hern (ondergrens). Daar waar de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern afwezig is, werden de basissen van de Formaties van Eigenbilzen en Boom proportioneel bepaald tussen de seismisch gekarteerde basissen van de Formaties van Voort (bovenaan) en Bilzen (onderaan). De proporties zelf werden bepaald op basis van de boorgegevens en konden dus lateraal variëren.
Buiten de Roerdalslenk werden de Formaties van Eigenbilzen, Boom, Bilzen en Sint-Huibrechts-Hern via de ondiepe methode gemodelleerd.

2.5.5. AANMAKEN MODELLEN IN LAMBERT-COÖRDINATEN EN TAW

Het geologische en hydrogeologische model zijn met de bestaande workflows, die uitgaan van RD-coördinaten en NAP als referentieniveau, samengesteld. Een eenvoudige conversie van alle modelresultaten van RD-coördinaten en het NAP-referentieniveau naar Lambert-coördinaten en het TAW-referentieniveau bleek niet zondermeer met de beschikbare GIS-software mogelijk te zijn. De conversie met behulp van ArcGIS van de grids van de ondiepe eenheden bleek onacceptabele fouten te geven. Bij conversies verandert de oriëntatie van de gridcel namelijk, waardoor dezelfde boringen in verschillende referentiestelsels in andere gridcellen komen te liggen.

De volgende werkwijze is daarom aangehouden:

- De workflow van de ondiepe methode is aangepast naar een workflow die uitgaat van Lambert-coördinaten en TAW als referentieniveau. Nadat alle gebruikte basisbestanden naar Lambert-coördinaten en het TAW-referentieniveau waren omgezet zijn de geologische en hydrogeologische eenheden opnieuw doorgerekend.
- De met de diepe methode berekende grids zijn wel geconverteerd met ArcGIS, zie bijlage A.
- De aldus berekende ondiepe grids en de geconverteerde diepe grids, zijn op dezelfde wijze als het model in RD-coördinaten en NAP-referentieniveau, gecombineerd tot een gebiedsdekkend geologisch en hydrogeologisch model.

2.6. KWALITATIEVE ANALYSE VAN DE LITHOLOGIE VAN DE GEMODELLEERDE EENHEDEN

In het kader van het H3O-project werden geen kaartbestanden van de doorlatendheid van de hydrogeologische eenheden samengesteld. Ten behoeve van onder andere geohydrologische studies werd er wel een kwalitatieve beschrijving opgesteld van de lithologische samenstelling van de (hydro)geologische eenheden en de daarin eventueel aanwezige regionale trends.

Deze beschrijving is gebaseerd op literatuurgegevens en kennis die tijdens de uitvoering van het project werd opgedaan. Per (hydro)geologische eenheid zijn de volgende eigenschappen beschreven:

1. de overheersende lithologie
2. de korrelgrootte en sortering
3. eventuele laterale en verticale trends
4. het afzettingsmilieu
5. eventuele verkitting van het sediment
6. het voorkomensgebied

Op basis van deze informatie kan men bijvoorbeeld een inschatting maken van de orde van grootte (bandbreedte) van de doorlatendheid en mogelijke regionale variaties daarin. Deze beschrijvingen zijn opgenomen in bijlage G.

HOOFDSTUK 3. RESULTATEN EN DISCUSSIE

3.1. ALGEMEEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het project beschreven in het licht van de oorspronkelijke doelstellingen. Achtereenvolgens worden besproken:

- de geologische en hydrogeologische correlatietabel;
- de (her)interpretaties van boorgegevens en seismische data;
- het breukenmodel;
- het 3D geologisch en hydrogeologisch lagenmodel;
- de kwalitatieve analyse van de lithologie van de (hydro)geologische eenheden.

3.2. GEOLOGISCHE EN HYDROGEOLOGISCHE CORRELATIETABEL

Eén van de resultaten van het project is een correlatietabel (zie tabel 2) met bijbehorende correlatieprofielen (zie bijlage D). De correlatietabel biedt een volledig overzicht hoe de (hydro)geologische eenheden die geïdentificeerd zijn in het H3O-project zich verhouden tot de officiële stratigrafie van Nederland en België. De correlatieprofielen illustreren hoe de grensoverschrijdende correlatie van litho- en hydrostratigrafische eenheden in het H3O-projectgebied is toegepast.
Doel van de stratigrafische correlatie binnen het H3O-project is het vervaardigen van een uniforme (hydro)stratigrafische indeling die in het gehele projectgebied toepasbaar is. Als vertrekpunt daarbij gelden de litho- en hydrostratigrafische indelingen van Nederland en Vlaanderen. De Nederlandse stratigrafische indeling is daarbij leidraad voor de Laat-Miocene en Quartaire afzettingen. De Belgische stratigrafische indeling is bepalend voor de correlatie van de Paleogene en de Vroeg- en Midden-Miocene afzettingen.

3.2.1. CORRELATIE ONDIEPE EENHEDEN

In de correlatietabel zijn de Belgische lithostratigrafische eenheden (op het lid-niveau) op dezelfde rij als de Nederlandse hydrogeologische eenheden weergegeven. Deze eenheden lijken daardoor eenduidig met elkaar te correleren, wat echter niet het geval is, zeker niet voor wat het Quartair betreft. De naamgeving van Nederlandse hydrogeologische eenheden wordt namelijk volledig bepaald door de opeenvolging van kleiige eenheden met daartussen watervoerende zandige eenheden. Afhankelijk van het voorkomen van een kleilaag zal een zandpakket hierdoor een andere naamgeving krijgen in het H3O-model. Bij de Belgische lithostratigrafische indeling werd diezelfde redenering niet gevolgd, en is de naamgeving vaak onafhankelijk van het voorkomen van kleilagen. De problematiek doet zich voornamelijk voor bij de Formaties van Boxtel en Beegden of dus binnen het bereik waarin heel wat Belgische lithostratigrafische eenheden tot op het lid-niveau zijn gedefinieerd.

Als gevolg kunnen deze H3O-hydrogeologische eenheden niet rechtstreeks terug omgezet worden naar de Belgische lithostratigrafische eenheden die in dezelfde rij in de correlatietabel zijn weergegeven.

Zo worden de verschillende stuif- en dekzanden (de Vlaamse Formaties/Leden van Bouwel, Hechtel, Wildert en Dilsen) niet afzonderlijk onderscheiden in het H3O-model. De redenen hiervoor zijn meervoudig: ze zijn dun of te erratisch in voorkomen, vormen reliëfelementen in het landschap boven de grondwaterspiegel en zijn daardoor van weinig belang voor de hydrogeologische modellering, en bovendien zijn ze vaak niet herkenbaar in standaard boorbeschrijvingen. De verschillende leemafzettingen (onbenoemd of behorende tot het Lid van Molenbeersel) zijn gecorreleerd met verschillende kleiige eenheden behorende tot de Formaties van Boxtel en Beegden (BX-k-1, BX-k-2 of BE-k-1); het betreft hier leem-/kleirijke afzettingen op wisselende diepte en dus vermoedelijk van verschillende oorsprong en ouderdom (zoals ook opgemerkt door Beerten, 2005). De (informele) eenheid “Herwerkte Maas- en Rijnafzettingen” is gecorreleerd met verschillende zandige eenheden van dezelfde twee formaties; dit is wederom te verklaren doordat de afzettingen gevormd werden door uiteenlopende processen en gedurende verschillende periodes (inclusief lokale herwerking door rivieren en beken, afstromend smeltwater, hellingprocessen en wind).

De Zutendaal Grinden en Winterslag Zanden die gedefinieerd zijn op het Kempisch Plateau zijn in de Roerdalslenk niet afzonderlijk te karteren. De overeenkomstige sedimenten zijn opgegaan in de Formatie van Beegden.

De correlaties van de verschillende leden van de Formatie van Sterksel (Lommel, Hamont en Bocholt volgens de Vlaamse indeling) met H3O-hydrogeologische eenheden (ST-z-1, ST-k-1 en ST-z-2) is duidelijk. Uit de modelresultaten blijkt de verbreiding en continuïteit van de kleiige eenheid ST-k-1 zelfs groter dan vooraf werd ingeschat.

Kwartsrijke zanden met als herkomstgebied centraal en Noord-België worden in Nederland indien ze niet confluent zijn met het Rijn-Maas systeem onderscheiden in de Formatie van Stramproy. De ondergrens is licht erosief en goed te bepalen als de onderliggende Kiezeloöliet Formatie afgesloten wordt met het in de gehele Roerdalslenk voorkomende donkergekleurde, compacte en stijve pakket klei met ingeschakelde lagen bruinkool.
In het kader van dit project is de ondergrens van de Formatie van Stramproy gelegd op de eerste duidelijke klei met bruinkool inschakeling. In referentieboring 049W0220 (Maaseik-Jagersborg) is dat op een diepte van ca. 70 m onder maaiveld. Het betekent dat het sediment tussen ca. 70 en 32,5 m in deze boring, dat voorheen tot het Lid van Jagersborg gerekend werd, nu tot het onderste deel van de Formatie van Stramproy behoord. Deze correlatie kan goed worden doorgetrokken naar het Nederlandse deel van de Roerdalslenk.

Binnen de Formatie van Stramproy worden in Nederland nog een aantal kleiige eenheden onderscheiden, die in Vlaanderen niet eerder als zodanig gekarteerd werden. Deze eenheden (SY-k-1 en SY-k-3) zijn weliswaar in boorbeschrijvingen geïnterpreteerd, maar niet als hydrogeologische eenheden gedefinieerd. Hoewel hun dikte vaak beperkt is tot enkele meters, blijken deze kleiige eenheden volgens het hydrogeologische model wel degelijk enige mate van continuïteit te vertonen in hun geografische verbreiding.

De correlaties tussen de Vlaamse lithostratigrafische eenheden en de H3O-hydrogeologische-eenheden behorende tot het Laagpakket van Brunssum (Kiezeloöliet Formatie), zoals in de correlatietabel weergegeven, zijn onder voorbehoud. In Vlaanderen was het gebruikelijk om de opeenvolgende kleilagen te benoemen (de Leden van Brunssum I en II met daartussen het Lid van Pey), ten minste in het gebied van Bree-Maaseik. Hoewel dit geen probleem hoeft te zijn binnen een beperkt gebied, is een laag-per-laag correlatie over het gehele studiegebied onmogelijk vol te houden. Zelfs in het relatief kleine Vlaamse deel van de Roerdalslenk zijn drie breukgebonden arealen te onderscheiden waartussen de kleilagen niet eenduidig gecorreleerd kunnen worden (van noordwest naar zuidoost: Neerpelt-Bocholt, Bree-Maaseik en Elen-Rotem). In de binnen dit project gevolgde Nederlandse systematiek wordt deze naamgeving dan ook vermeden.

Zoals eerder uiteengezet werd de bovenste kleiige eenheid binnen de Kiezeloöliet Formatie (KI-k-1) in boring Maaseik gecorreleerd met de “Reuver Klei”, gedefinieerd als de eerste duidelijke klei met lignietlaag. De volgende gemodelleerde kleiige eenheid (KI-k-2, overeenkomend met het Lid van Brunssum I in de Belgische stratigrafie) bestaat in de praktijk uit een samengesteld pakket van meerdere kleilagen afgewisseld met zand- en lignietlagen, waarin ten minste één relatief dikke (meer dan één meter) plastische en compacte kleilaag onderscheiden kan worden, die voldoende hydrologisch afsluitende eigenschappen bezit. Als zodanig gedefinieerd blijkt de “Brunssum-I Klei” in de meeste boringen wel herkenbaar op basis van de lage log-resistiviteitswaarden. Eventueel aanwezige discontinue en/of zwakdoorlatende kleilagen komen automatisch in boven- of onderliggende eenheden terecht.

De derde kleiige eenheid die onderscheiden wordt binnen de Kiezeloöliet Formatie (KI-k-3, overeenkomend met het Lid van Brunssum II in Vlaanderen) vertoont een meer regelmatige geometrie, meestal bestaande uit slechts één of twee metersdikke kleilagen. Deze “Brunssum-II Klei” valt daardoor meestal dunner uit, maar vormt een goed herkenbaar referentieniveau, dat bovendien van hydrogeologisch belang is als scheiding tussen de productieve pakketten van de Leden van Pey en Waubach.

De zandige eenheid tussen beide “Brunssum Kleien” (KI-z-3, overeenkomend met het Lid van Pey in Vlaanderen) vertoont ten gevolge van deze definities een nogal sterk wisselende dikte, soms bestaande uit slechts één zandlaag van enkele meters dikte, elders uit diverse zandlagen die een veelvoud in dikte bereiken. Het “Zand van Pey” is van hydrogeologisch belang als goed doorlatend pakket tussen twee afsluitende lagen; herkenning van de opdeling Brunssum I – Pey – Brunssum II binnen het H3O-model heeft vanuit hydrogeologisch standpunt dan ook een grote waarde.

3.2.2. CORRELATIE DIEPE EENHEDEN

De diepe Nederlandse en Belgische eenheden zijn goed met elkaar te correleren. De gebruikte stratigrafie loopt namelijk niet zo sterk uiteen. Enige aanpassingen die moesten gebeuren waren kleine verplaatsingen van grenzen, in het bijzonder binnen de Nederlandse Landen Groep, die gebeurden op basis van correlatie van boorgatmetingen.

3.3. (HER)INTERPRETATIES BOORGEGEVENS EN SEISMISCHE DATA

3.3.1. BOORGEGEVENS

In totaal zijn 2939 boringen in het projectgebied geselecteerd. Hiervan liggen 1314 boringen in het Nederlandse deel en 1625 in het Vlaamse, zie figuur 6.

In het Nederlandse deel van het projectgebied is uitgegaan van de selectieset van DGM/REGIS II. Ten opzichte van de selectieset van DGM v1.3 zijn 32 nieuwe boringen aan de set toegevoegd en 2 boringen uit de set verwijderd. Hiermee is het totale aantal geselecteerde boringen in het gebied ten opzichte van DGM v1.3 licht (2%) toegenomen. Ten opzichte van het model REGIS II v2.1, dat ouder is dan het model DGM v1.3, zijn de wijzigingen iets groter en zijn 58 boringen aan de set toegevoegd en 2 boringen uit de set verwijderd (toename van het aantal boringen van 4%).

In het kader van dit project en het lopend onderhoud aan DGM en REGIS II is van een deel van deze boringen de stratigrafische en de hydrostratigrafische interpretatie aangepast.
Ten opzichte van de DGM v1.3 is van 156 boringen de stratigrafische interpretatie bijgesteld (12% van de boringen). De belangrijkste aanpassingen betreffen de interpretatie van de Formatie van Inden en het Nederlandse equivalent van de Formatie van Voort. Deze twee formaties waren nog niet eerder als modeleenheden in het DGM-model opgenomen.
Wijzigingen in de hydrostratigrafische interpretaties van de boringen hangen deels samen met wijzigingen in de stratigrafische interpretatie. Ten opzichte van REGIS II v2.1 hebben de meeste hydrostratigrafische herinterpretaties plaatsgevonden in eenheden van de Kiezeloöliet Formatie, de Formatie van Stramproy, de Rupel Groep, de Formatie van Waalre en de Formatie van Inden.

In het Vlaamse deel van het projectgebied werden alle 1625 boringen nagekeken en geherinterpreteerd. Voor het ondiepe bereik bleek een rechtstreekse omzetting van reeds bestaande Quartaire stratigrafische en hydrostratigrafische interpretaties via de correlatietabel namelijk al snel onmogelijk, omdat één Belgische eenheid met meerdere Nederlandse eenheden kan overeenkomen en vice versa.
Op basis van de beschikbare boringen was het zeer moeilijk om de grens tussen de Formaties van Beegden en Sterksel in het Belgische deel vast te leggen. Vanwege deze moeilijkheid werd ervoor gekozen om hiervoor de eerder vastgelegde grens tussen de Belgische leden van Winterslag en Lommel te gebruiken uit Beerten (2005). Hoewel Beerten (2005) erop duidde dat het 'lid van Winterslag' binnen de Roerdalslenk tot de Formatie van Sterksel gerekend kon worden, bleek dat een aansluiting van dit lid bij de Formatie van Beegden tot een betere overeenstemming met de Nederlandse interpretaties zou leiden. Een ander argument was het voorkomen van een klei-/leemlaag op de grens tussen de Formatie van Boxtel en het lid van 'Winterslag'. Een dergelijke klei-/leemlaag werd in de Nederlandse hydrostratigrafie niet eerder in de top van de Formatie van Sterksel geïdentificeerd, maar wel als BE-k-1. Omwille van deze argumenten was het aangewezen om het 'lid van Winterslag' in functie van de modellering bij de Formatie van Beegden te plaatsen, ondanks dat dit op basis van lithologisch onderzoek van Beerten (2005) ook bij Sterksel geplaatst zou kunnen worden.
In het Nederlandse deel van het modelgebied is er een brede zone waarbinnen de Formatie van Sterksel aanwezig is onder de Formatie van Beegden. Vanwege het beperkte detail in boorbeschrijvingen in het Belgische deel, werd deze grens hier niet vastgelegd. Als gevolg is de grens tussen de Formatie van Beegden en Sterksel zeer scherp en quasi verticaal in het Belgische deel en meer geleidelijk in het Nederlandse deel van het modelgebied.
Bij boorbeschrijvingen met weinig detail en afwezigheid van boorgatmetingen was het ook moeilijk om de grens tussen de Formaties van Stramproy en de Kiezeloöliet Formatie vast te leggen. De grens tussen deze eenheden werd echter grotendeels vastgelegd op basis van data uit boorgatmetingen en werd in de gebieden daartussen bekeken in functie van de kennis uit de boorgatmetingen (vergelijking met dieptes/diktes/opeenvolgingen uit boorbeschrijvingen).

De interpretaties van de diepe eenheden konden daarentegen rechtstreeks worden overgenomen uit deze voor het G3Dv2-model. Kleine aanpassingen waren het wegvallen van het onderscheid tussen de Formaties van Diest, Kasterlee en Bolderberg in de boringen als ook de identificatie van bruinkoollaagjes binnen de Formatie van Bolderberg.

3.3.2. SEISMISCHE DATA

Op basis van nieuw beschikbare snelheidsdata (akoestische log) voor kapstokboring Molenbeersel (DOV-proefnummer kb18d49w-B226), werden de seismische interpretaties voor enkele eenheden uit Broothaers et al. (2012) die steunden op deze boring aangepast.

Zo werd de basissen van de Formaties van Voort en Bolderberg uit Broothaers et al. (2012) aangepast. Dit had als positieve resultaat dat eerder opgemerkte inconsistenties in de intervalsnelheden van deze pakketten opgelost werden. Ook kon met behulp van deze nieuwe data de Formatie van Voort verder ingedeeld worden in hydrogeologische eenheden. De seismische interpretaties van andere eenheden in boring Molenbeersel bleven hetzelfde als Broothaers et al. (2012).

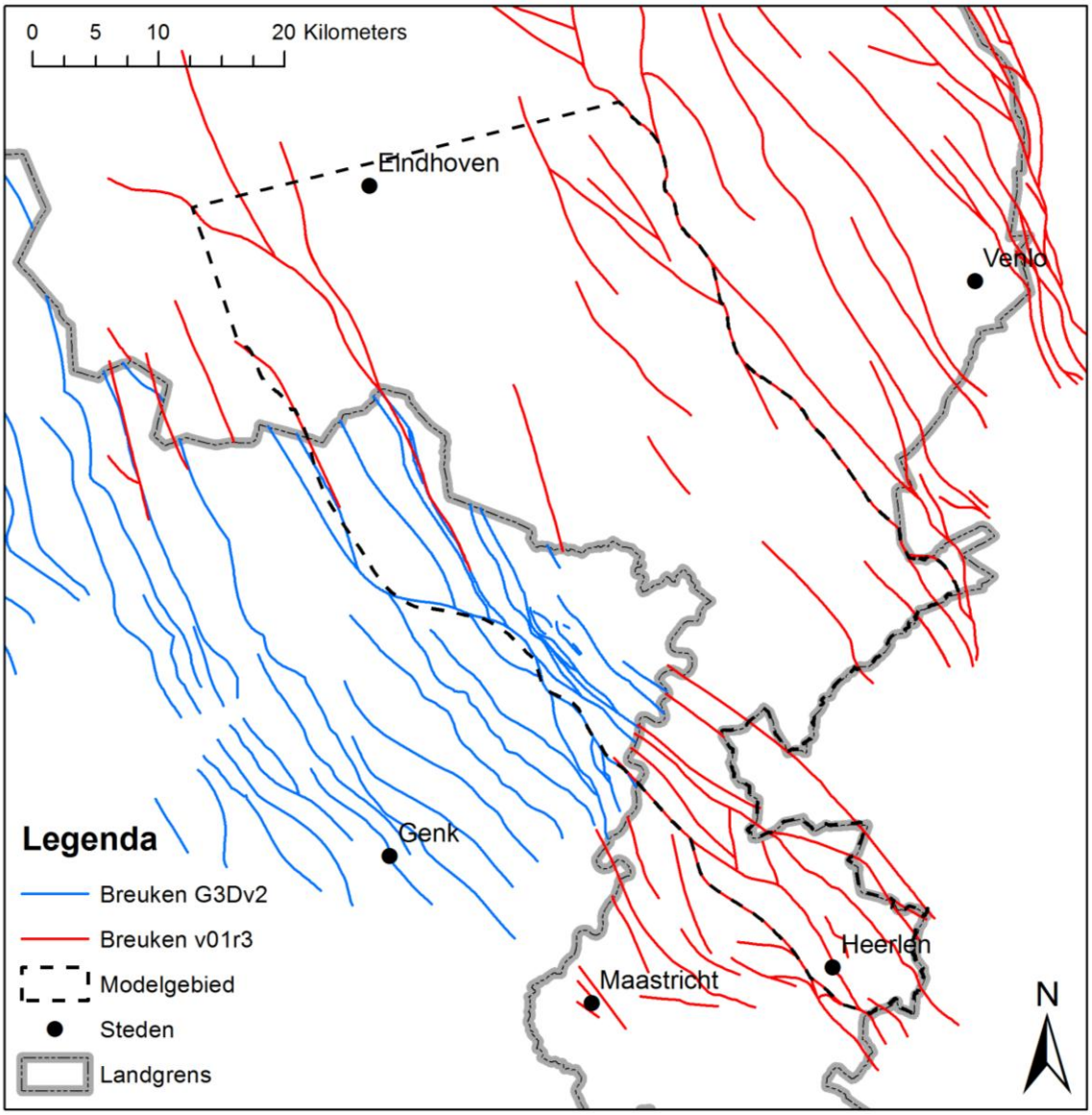
In het kader van het model DGM-diep waren van het Nederlandse deel van het projectgebied reeds seismische interpretaties gemaakt van de basissen van de Noordzee Groep (Formatie van Opglabbeek) en de Formatie van Breda (Formatie van Bolderberg). De herinterpretatie van deze laagvlakken zorgde voor een betere aansluiting van seismische interpretaties van kruisende seismische lijnen en voor een verbeterde interpretatie van breuksegmenten. Interpretaties van de nieuw geïnterpreteerde tussenliggende laagvlakken hebben een vergelijkbare nauwkeurigheid.

Voor zowel de Belgische als Nederlandse interpretaties is de interpretatie opgezet vanuit de positie van de kapstokboringen. Voor de aansluiting van Nederlandse lijnen op Belgische lijnen zijn helaas geen kruisende lijnen beschikbaar. Controle van het resultaat is gebaseerd op extrapolatie van de seismische interpretatie over de grens.

3.4. BREUKENMODEL

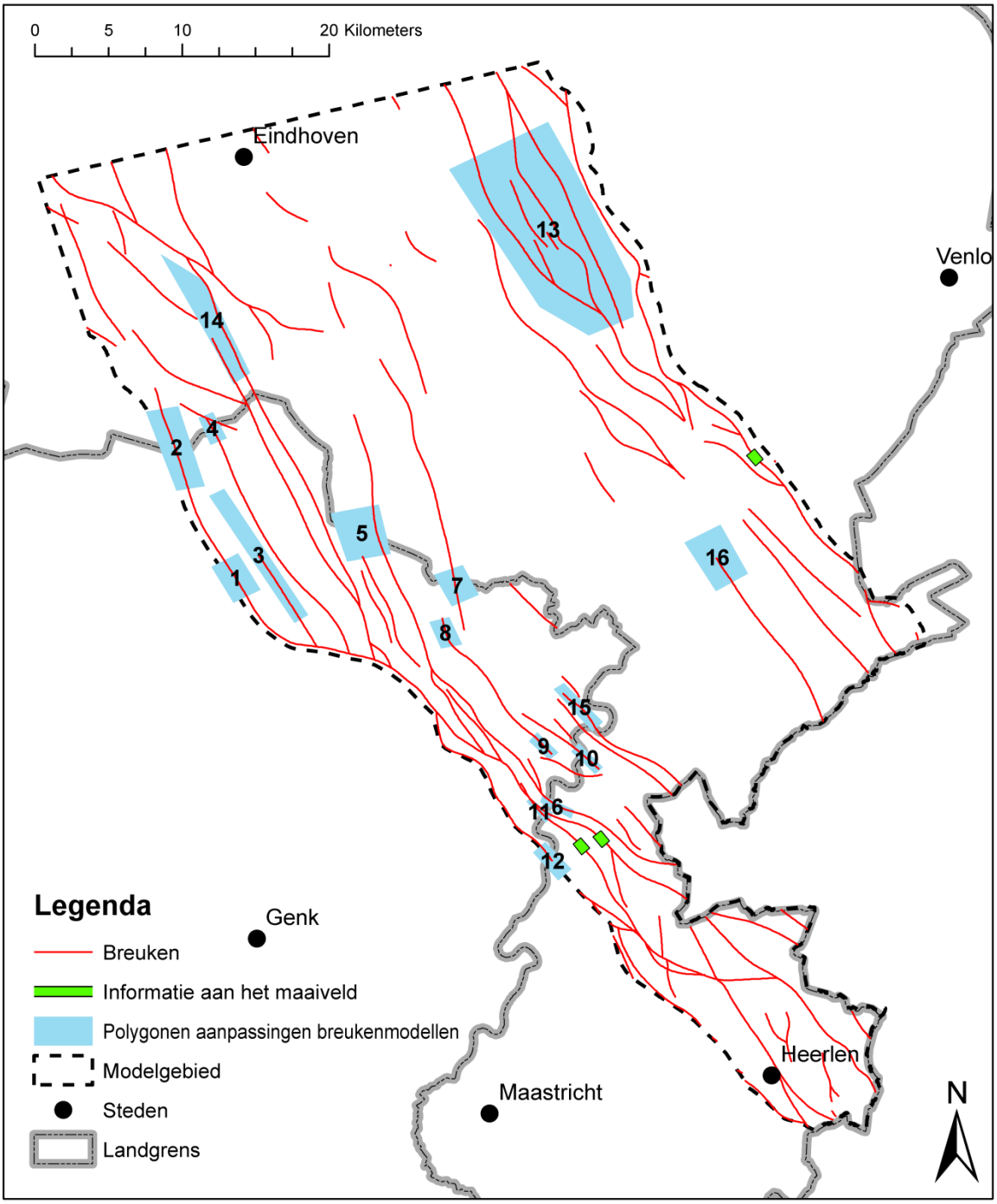
3.4.1. ONDERBOUWING AANPASSING BREUKENKAART

Als basis voor de breukenmodellering werden de meest actuele bestaande breukenkaarten gebruikt. De bestaande kaarten waren echter niet grensoverschrijdend, maar voor gebruik binnen de landgrenzen. Zo werden als basis voor de breukenmodellering in Vlaanderen de breukentracés uit het G3Dv2-model (Broothaers et al., 2012) gebruikt en in Nederland het geactualiseerde digitale breukenbestand v01r3 dat gebaseerd is op een combinatie van breukenkaarten van de basis Boven Noordzee Groep uit diverse publicaties (TNO, 1999, 2001 en 2005) (geïllustreerd voor de basis van de Formatie van Bolderberg/Breda in figuur 22).



Figuur 22: Bestaande breukenbestanden van de basis Boven Noordzee Groep (NL) en de basis Formatie van Bolderberg (VL) voor de aanvang van het H3O-project. De in het Nederlandse deel van het projectgebied getoonde kaart betreft breukenkaart v01r3 van TNO; de kaarten in het Vlaamse deel zijn ontleend aan het G3Dv2 model (door Broothaers et al. (2012)) en aan Langenaeker (2001).

Het nieuwe breukenbestand werd in belangrijke mate op basis van seismische data gemodelleerd, waarbij 3D-vlakken werden aangemaakt die gebruikt werden in de ondiepe en diepe modellering van laagvlakken. Het resultaat van de breukenmodellering is dat voor de basis van elke gemodelleerde (hydro)geologische eenheid de aansnijding van de eenheid met de breukvlakken als breukenbestand (als lijnen) werd aangemaakt. Bij wijze van voorbeeld is de nieuwe breukenkaart voor de basis van de Formatie van Diest/Bolderberg/Ville weergegeven in figuur 23. In de volgende paragrafen worden de wijzigingen besproken. Omdat de oude breukenkaarten binnen de landsgrenzen opgesteld werden, zal de discussie zich ook toespitsen op de aanpassingen per land.



Figuur 23: Nieuwe breukenkaart voor de top van de krijtsedimenten met naamgeving van de grote breuken en aanduidingen van de voornaamste aanpassingen via polygonen.

3.4.2. AANPASSINGEN VAN DE BREUKENKAART VAN HET G3DV2-MODEL (BROOTHAERS ET AL., 2012)

Omdat de strekking van kleine breuken hoogst onzeker is bij gebruik van alleen 2D seismische data en omdat de verticale sprong klein is, zijn alleen breuken met een grote (geïnterpreteerde) laterale verbreiding en grote verticale sprong gemodelleerd. Hierdoor is er een algemene vermindering van het aantal breuken in het huidige model ten opzichte van het G3Dv2-model, waarbij de kleinere breuken wel gemodelleerd werden.
De ligging van de bestaande grote breuken uit het G3Dv2-model is aanzienlijk aangepast. Hieronder is een overzicht van de voorname aanpassingen weergegeven (of vergelijk figuur 22 met figuur 23). De nummers van de polygonen verwijzen naar deze op figuur 23:

- Het verloop van de Grote Brogel, Reppel, Bocholt, Hamont, en Neeroeteren breuken werd verder aangepast om tot een betere aansluiting met de geomorfologie op de topografische kaart te komen (uit Verbeeck & Vanneste pers comm.).
- De Grote Brogel breuk wordt nu verbonden met de Overpelt breuk. Hierdoor loopt de Grote Brogel breuk momenteel verder naar het oosten (polygoon 1). Deze breuk verdwijnt net over de Belgisch-Nederlandse grens in Nederland (polygoon 2).
- De Elven breuk wordt naar het noordwesten verlengd op basis van de geomorfologie op de topografische kaart en boorinterpretaties (polygoon 3).
- De Reppel breuk sterft nabij de Belgisch-Nederlandse grens omdat er op seismische data verder noordelijk geen vergelijkbaar breukensegment geobserveerd werd (polygoon 4).
- De Rome-w en Rome-e breuken lopen niet meer door tot aan de Belgisch-Nederlandse grens, maar sterven uit ten zuidenwesten hiervan. Deze breuken worden ook niet meer met elkaar verbonden naar het zuidwesten toe, maar sterven hier als aparte segmenten uit (polygoon 5).
- De Elen breuk wordt naar het zuidoosten toe doorgetrokken (polygoon 6). De Elen breuk wordt ook verder naar het noordwesten toe doorgetrokken, quasi parallel aan de Bocholt en Hamont breuken (polygoon 5).
- De Stramprooi breuk wordt nu verbonden met de Nederlandse Stramproy breuk, waardoor ze nu sterk naar het noordnoordwesten afbuigt en véél verder doorloopt naar het noorden (polygoon 7).
- De Siemkensheuvel breuk loopt verder door naar het noordwesten, waardoor het tracé ervan gebogen wordt tot een strekking die parallel loopt met de Stramproy breuk (polygoon 8). De Siemkensheuvel breuk loopt minder verder naar het zuidoosten door en sterft ten noorden van een seismische lijn uit die net ten noorden van de Belgisch-Nederlandse grens gelegen is (polygoon 9).
- De Wurfeld breuk loopt nu iets verder door naar het zuiden, tot aan een seismische lijn net over de Belgisch-Nederlandse grens (polygoon 10).
- De Neeroeteren breuk wordt naar het zuidoosten toe verbonden met de Geleen en Feldbiss breuken (polygoon 11).
- De Rotem breuk wordt naar het zuidoosten toe verbonden met de Heerlerheide breuk (polygoon 12).

3.4.3. AANPASSINGEN VAN DE BREUKENKAARTEN VAN DE BASIS BOVEN NOORDZEE GROEP

Ten opzichte van de bestaande breukenkaart zijn de volgende belangrijke aanpassingen doorgevoerd:

- De configuratie van breuken rondom de boringen van Asten (NLOG-code AST-01 en AST-02) is sterk gewijzigd (polygoon 13).
- De Veldhoven breuk wordt verder naar het oosten toe doorgetrokken tot voorbij de aansluiting met de Hamont breuk (polygoon 14). In de Geologische Atlas Kaartbladen XIII en XIV (2001) wordt de Veldhoven breuk verbonden met de Elen breuk. Met de beschikbare data is geen duidelijke aanwijzing gevonden om dit verloop aan te houden.
- De Gangelt breuk wordt hier aangegeven met twee parallelle breuken (polygoon 15), maar wordt in boven beschreven publicaties wisselend als een enkele of 2 parallelle breuken aangegeven. In de seismiek ten oosten van de Maas is duidelijk zichtbaar dat het hier gaat om een breukzone in vroeg Neogene en oudere afzettingen. Langenaeker (2001) spreekt over een brede anticlinale flexuur in Laat-Mesozoische en Cenozoische afzettingen. De Duits-Nederlandse Gangelt breuk wordt verder naar het noordwesten toe doorgetrokken, tot voorbij de Belgisch-Nederlandse grens.
- De Beegden breuk is minder ver doorgetrokken naar het westen (polygoon 16). Deze breuk toont nog duidelijk verzet ter hoogte van de Maas in vroeg Paleogene afzettingen, maar niet meer in jongere eenheden. Door de lage data-dichtheid direct ten westen van de Maas is er niet meer voor gekozen om de Beegden Breuk door te trekken naar het centrale deel van de slenk in vroeg Paleogene afzettingen.
- Op grond van de Vlaamse seismische data is de ligging van de Feldbiss en de Geleen breuk nabij de Belgisch-Nederlandse grens bijgesteld.
- Ten noordoosten van Roermond is in de seismiek een nieuwe breuk vastgesteld.
- De ligging van de breuken gelegen tussen de Feldbiss en de Gangelt breuk is zowel langs de Belgisch-Nederlandse als de Duits-Nederlandse grens op grond van de seismiek bijgesteld.
- Informatie aan het maaiveld is meegenomen in de locatiebepaling van de Peelrandbreuk, de Feldbiss- en de Geleen breuk (zie figuur 23).

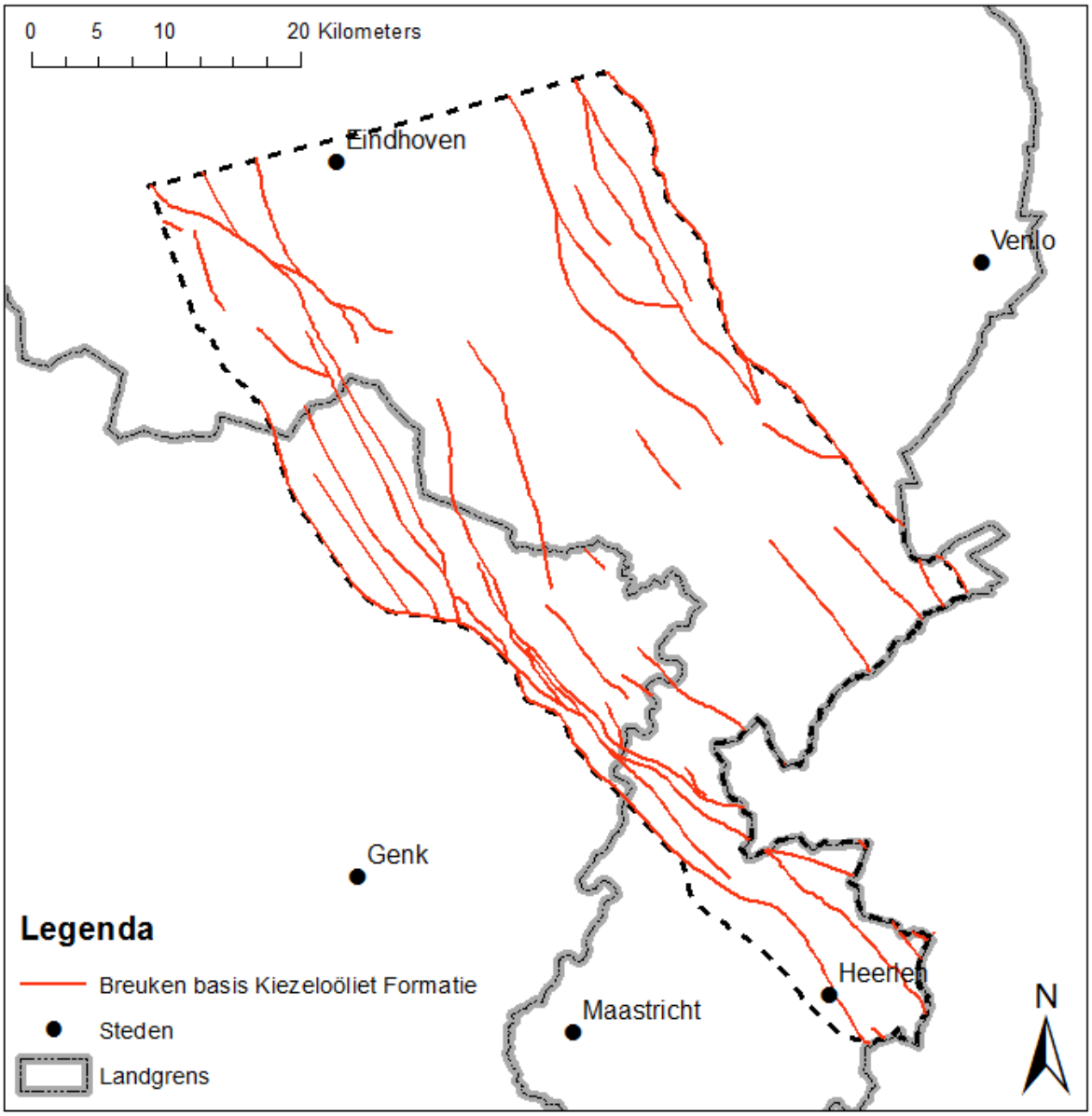
3.4.4. OPVALLENDE VASTSTELLINGEN BETREFFENDE HET BREUKENMODEL

Een opvallende vaststelling (die eerder ook al door Matthijs et al., 2013 voor het G3Dv2-model werd gevolgd) is dat veel breuken die actief waren tijdens het Paleogeen en Neogeen, al activiteit vertoonden tijdens het Mesozoïcum en Paleozoïcum. Dit duidt erop dat veel bestaande breuken gereactiveerd werden. Dit beïnvloedde uiteraard sterk de ontwikkeling van de breuksegmenten en de manier waarop de Roerdalslenk zich gedurende het Paleogeen/Neogeen verder ontwikkelde. Het aantal breuken en de lengte van de breuktrajecten is het grootst aan de basis van het klastische Paleogeen of de top van de kalksteen.

Naar boven toe, per gemodelleerde geologische eenheid, lijkt er een afname te zijn, zowel wat het aantal als wat de lengte van de breuken betreft (vergelijk figuren 23 en 24). De meeste breuken blijven over de volledige lengte aanwezig tot in de basis van de Formatie van Voort. Vanaf daar naar boven toe verdwijnen progressief meer breuken.

Veruit de meeste breuken die actief waren in het Paleogeen/Neogeen zijn afschuivingen. Wegens het gebrek aan 3D seismiek is het echter moeilijk om de exacte bewegingen langs de breuken te kunnen reconstrueren.

Veruit de meeste randbreuken hellen richting de as van de Roerdalslenk en zijn synthetisch. De grote breuken binnen de Roerdalslenk hellen in tegengestelde richting aan de randbreuken en zijn antithetisch.

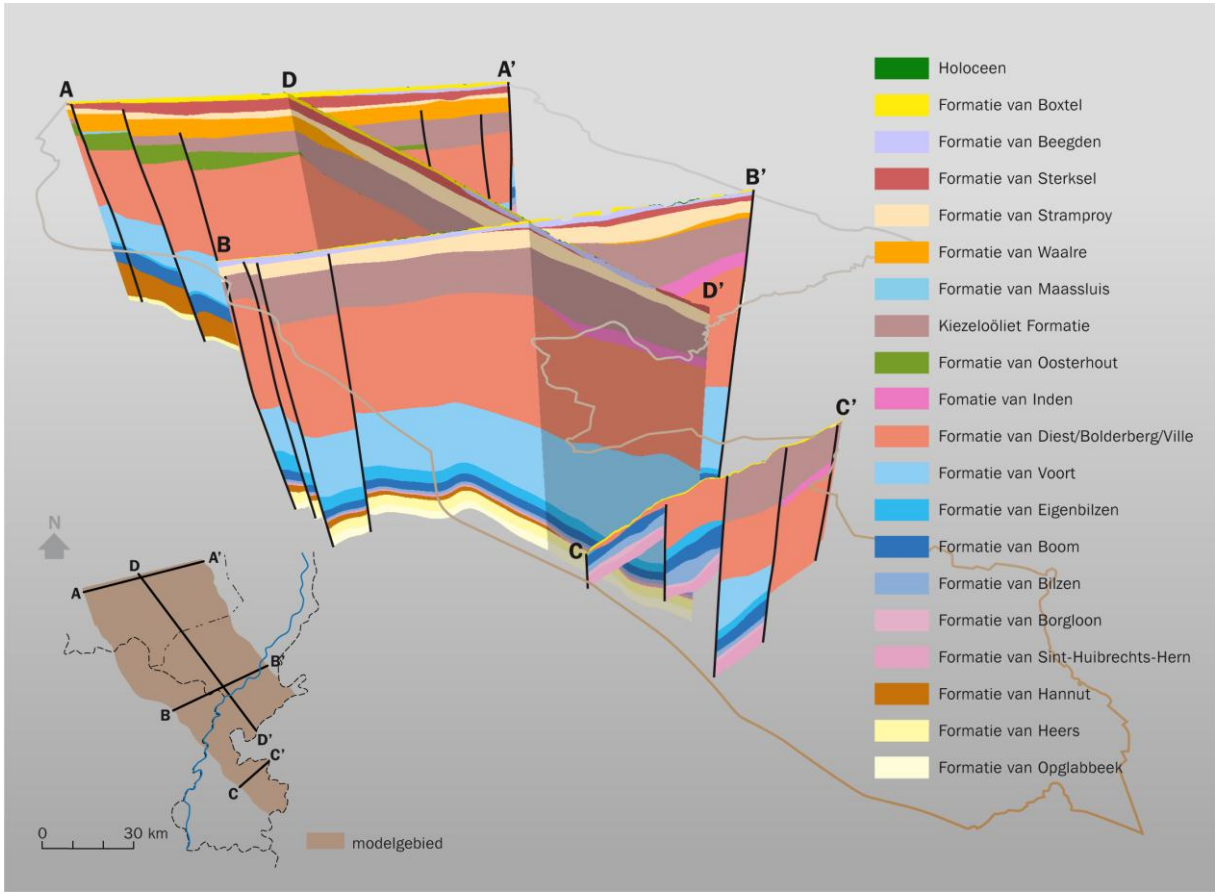


Figuur 24: Breuken die doorwerken tot in de basis van de Kiezeloöliet Formatie of een stratigrafisch hoger gelegen eenheid.

3.5. 3D GEOLOGISCH EN HYDROGEOLOGISCH LAGENMODEL

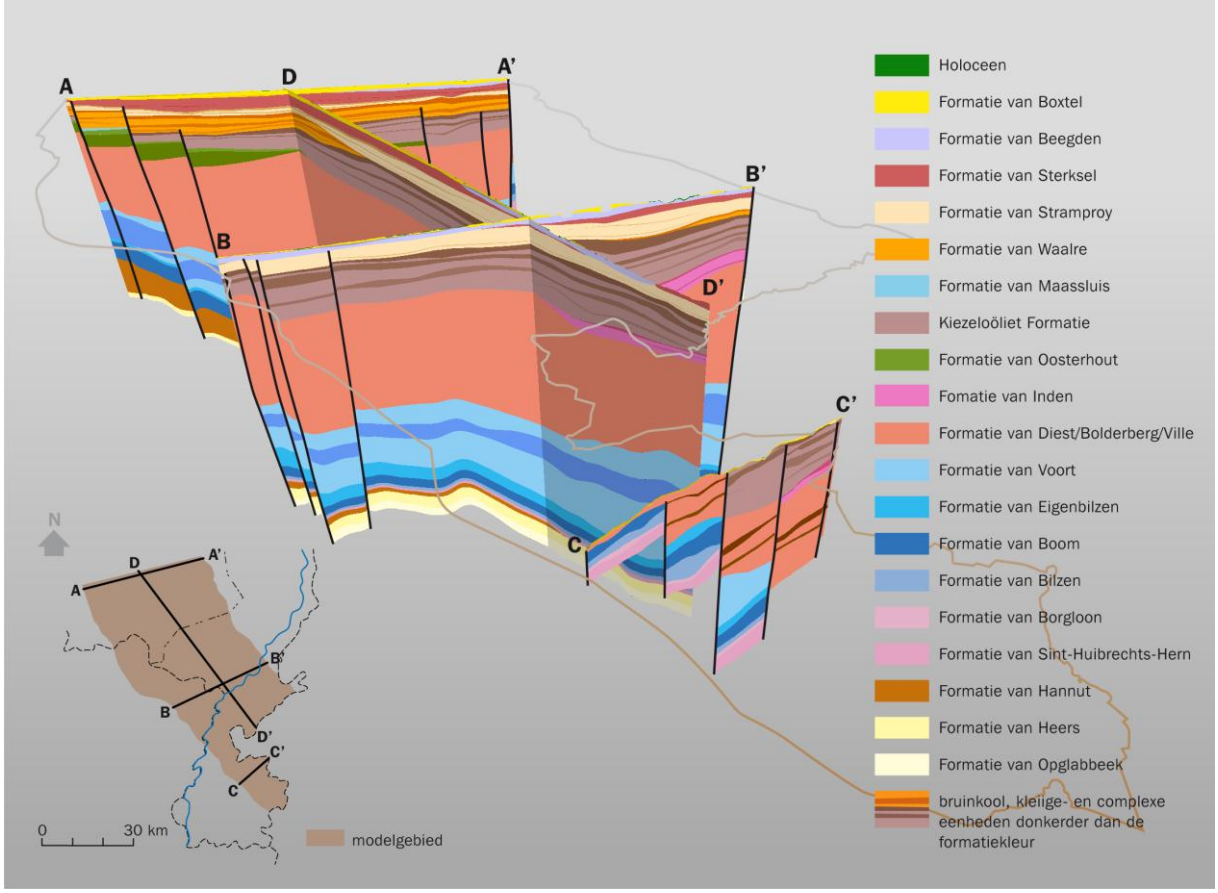
3.5.1. ALGEMEEN

Het grensoverschrijdende 3D geologisch lagenmodel en het daarop gebaseerde hydrogeologische lagenmodel vormen de belangrijkste resultaten van het project, zie figuur 25 en figuur 26. Beide modellen bestaan uit een dataset van kaartbestanden in ESRI shapefile- en gridformaat[5], die op een logische en overzichtelijke wijze is gepresenteerd in een zogenaamd ArcMap document bestand (MXD). Enkele van deze kaartbestanden zijn algemeen van aard, het merendeel heeft echter betrekking op de eenheden waaruit de modellen zijn opgebouwd.



Figuur 25: Fence diagram door het geologisch lagenmodel.

[5] Om de gridbestanden eenvoudiger in andere programmatuur te kunnen bekijken zijn deze ook in .asc- en .img-formaat beschikbaar.



Figuur 26: Fence diagram door het hydrogeologisch lagenmodel.

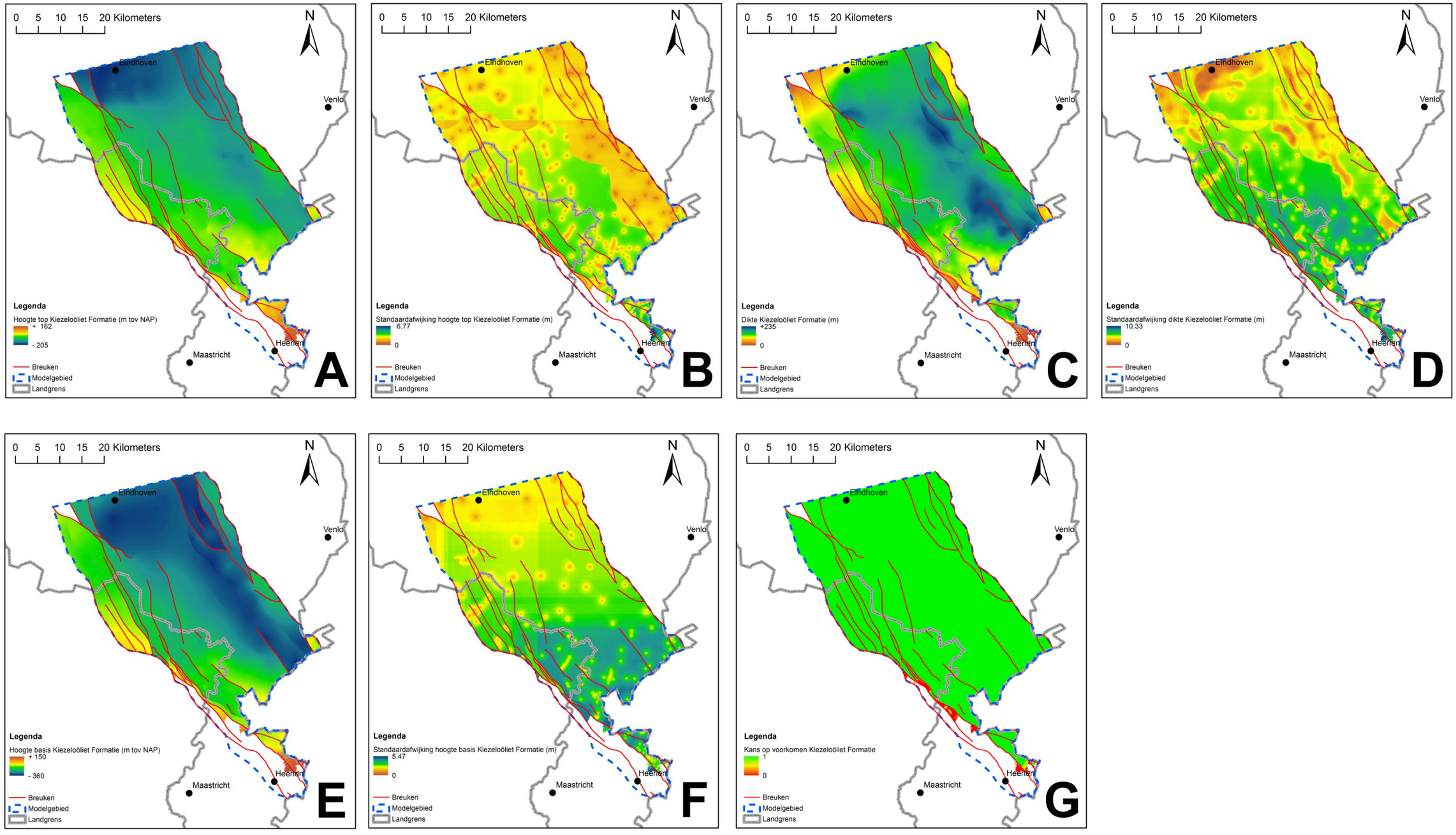
De algemene kaartbestanden betreffen:

- De gebruikte ondiepe boringen
- De gebruikte diepe boringen
- De gebruikte seismische lijnen
- De breuken die aan maaiveld waarneembaar zijn.
- De begrenzing van het modelgebied
- De begrenzing van het inventarisatiegebied
- Algemene topografie
- Geconstateerde aandachtspunten, dit zijn bekende onvolkomenheden in het model.

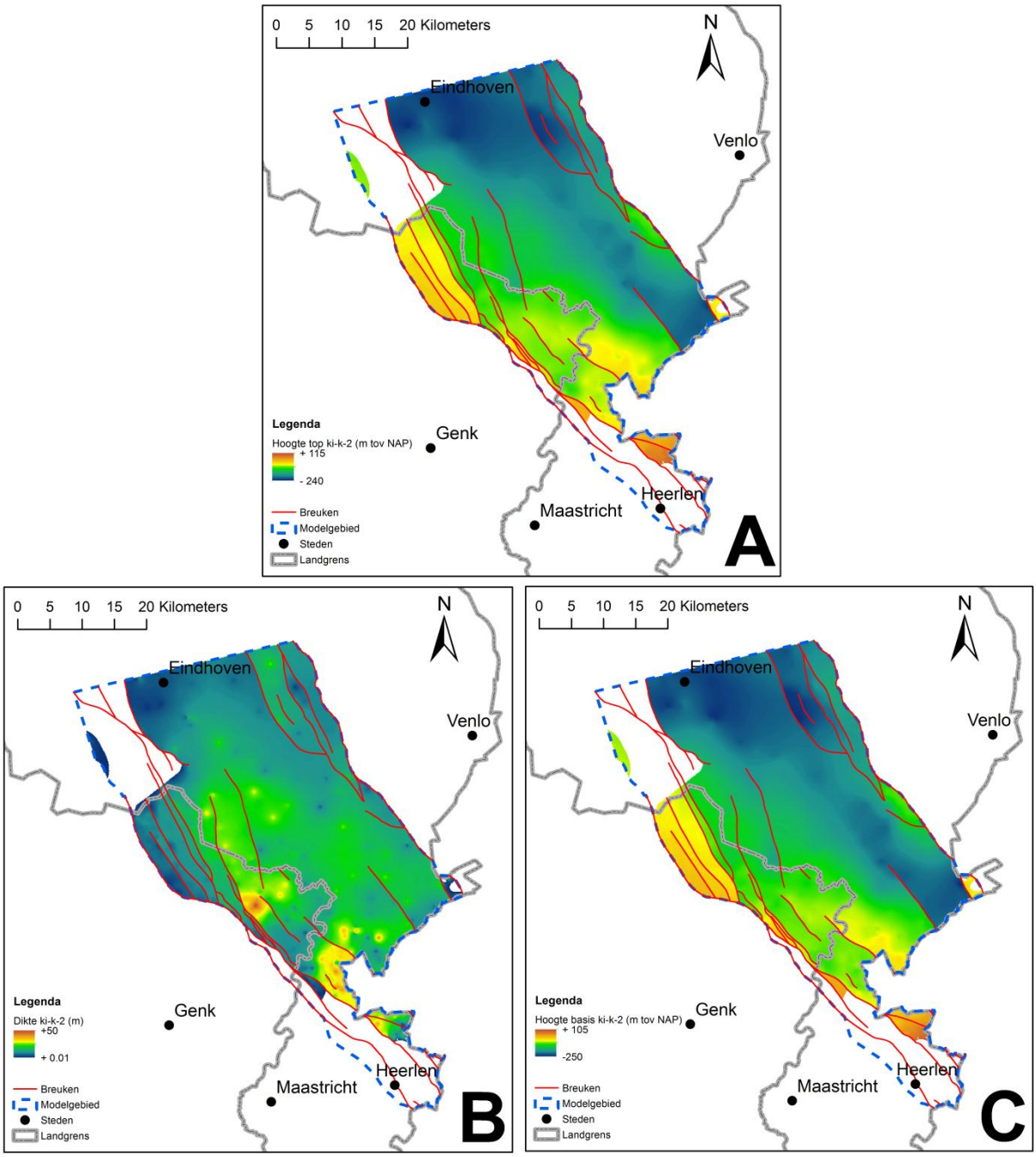
De kaartbestanden van de modeleenheden zijn:

- De boringen waarin de eenheid is geïnterpreteerd, met de hoogte van de top en basis en de dikte, alsook informatie of de eenheid wel of niet volledig is doorboord.
- De boringen die het diepteniveau van de eenheid hebben bereikt, maar waarin de eenheid afwezig is.
- De seismiek waarin de basis van de eenheid is geïnterpreteerd, met de hoogte van de basis.
- De breuken die tot in de basis van de betreffende eenheid of een ondiepere eenheid doorwerken.
- Het gebied waarbinnen de eenheid met de ondiepe methode is gemodelleerd.
- Idem, het gebied waarbinnen de eenheid met de diepe methode is gemodelleerd.
- Het gebied waarbinnen de eenheid niet gemodelleerd kon worden.
- De hoogte van de top
- De dikte
- De hoogte van de basis
- De standaardafwijking van de top (alleen geologische model – ondiepe methode)
- De standaardafwijking van de dikte (alleen geologische model – ondiepe methode)
- De standaardafwijking van de basis (alleen geologische model – ondiepe methode)
- De kans op voorkomen van de eenheid (alleen geologische model – ondiepe methode).

In bijlage F is een toelichting op deze kaartbestanden opgenomen. Voorbeelden van de belangrijkste kaartbestanden zijn weergegeven in figuur 27 en figuur 28.



Figuur 27: Geometrie van de Kiezeloöliet Formatie conform het geologisch lagenmodel, a: hoogte top, b: standaardafwijking hoogte top, c: dikte, d: standaardafwijking dikte, e: hoogte basis, f: standaardafwijking hoogte basis, g: kans op voorkomen. Deze eenheid is via de ondiepe methode gemodelleerd.

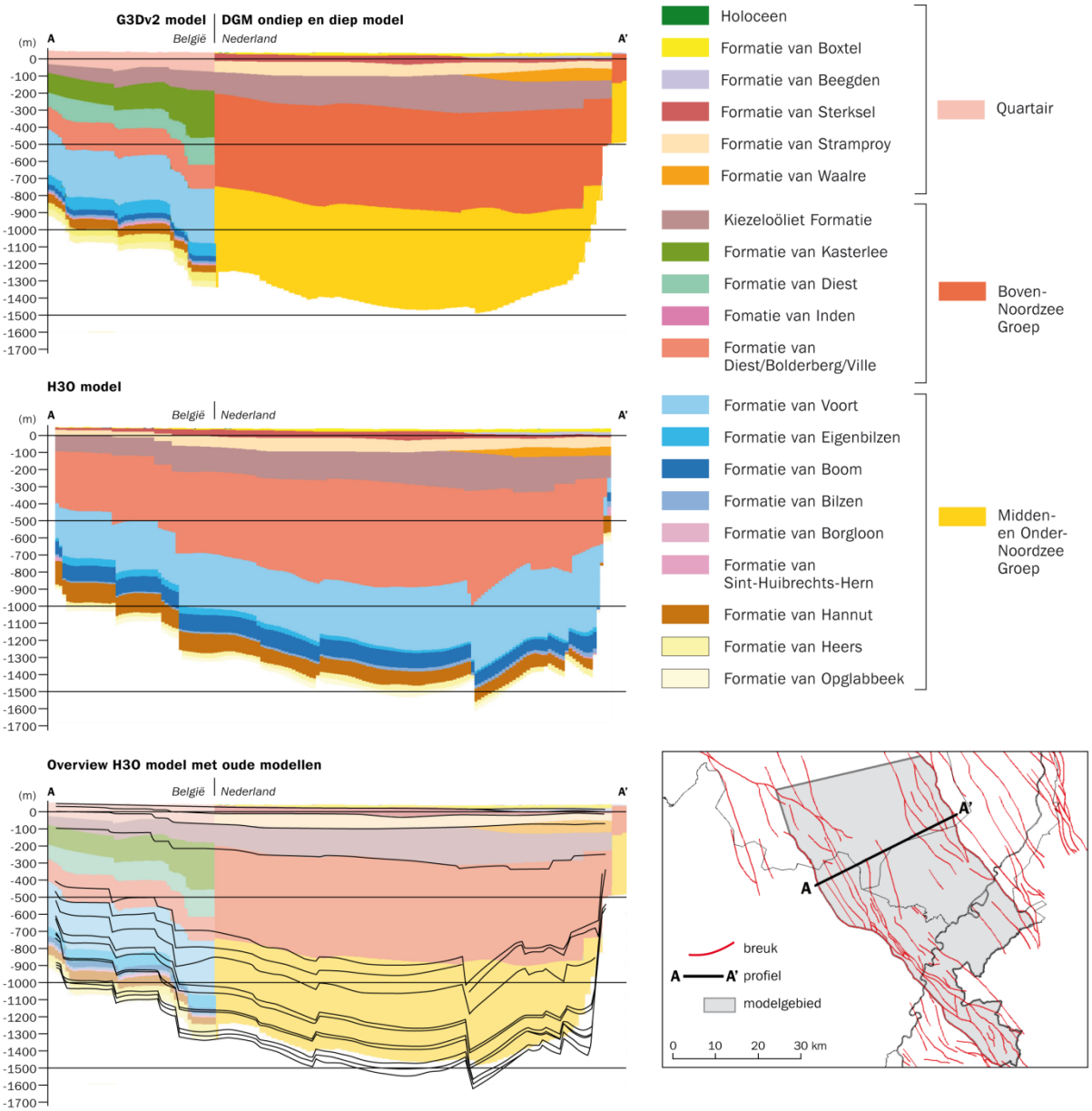


Figuur 28: Geometrie van hydrogeologische eenheid KI-k-2 conform het hydrogeologische model, a: hoogte top, b: dikte, c: hoogte basis. Deze eenheid is via de ondiepe methode gemodelleerd.

De MXD's zijn beschikbaar in zowel RD-coördinaten in combinatie met het NAP referentieniveau als Lambert-coördinaten in combinatie met het TAW-referentieniveau.

3.5.2. GEOLOGISCHE LAGENMODEL

Het geologische lagenmodel omvat in totaal 20 modeleenheden, zie tabel 2. Het is een grensoverschrijdend model. In het model en in de kaartbestanden van de modeleenheden komen daardoor ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitproblemen meer voor, zie figuren 27 en 28.



Figuur 29: Doorsnede in de Roerdalslenk door a: het geologische model G3Dv2 (Vlaanderen) en de gecombineerd modellen DGM en DGM-diep (Nederland), b: het geologische model van dit project, c: een overlay van de grensvlakken van het nieuwe geologische model over de reeds bestaande geologische modellen G3Dv2, DGM en DGM-diep. De diepte is weergegeven in NAP.

Uit figuur 29 vallen enkele van de verschillen tussen het nieuwe geologische model en de bestaande geologische modellen op.
Los van de grensoverschrijdende aansluiting van modellen is het belangrijk om vast te stellen dat in tegenstelling tot de modellen DGM en DGM-diep, die nagenoeg geheel los van elkaar tot stand zijn gekomen, er aan Nederlandse zijde thans sprake is van één gecombineerd geologisch model van het Cenozoïcum.

Ten aanzien van de onderscheiden modeleenheden bestaan de volgende verschillen tussen het nieuwe geologische model en de modellen DGM- en DGM-diep:

- De Formatie van Inden, waarvan de afzettingen in DGM v1.3 nog tot de Kiezeloöliet Formatie werden gerekend, is als nieuwe modeleenheid onderscheiden.
- In tegenstelling tot DGM-diep, dat binnen het Cenozoïcum alleen informatie bevat over de basis van de Boven-Noordzeegroep (≈ basis Formatie van Bolderberg) en de Noordzeegroep (≈Formatie van Opglabbeek), is binnen het Nederlandse deel van de Roerdalslenk voor het eerst de geometrie van de geologische eenheden van het Paleogeen en het Vroeg- en Midden-Mioceen gemodelleerd.
- De Formatie van Voort, waarvan de afzettingen in DGM v1.3 niet apart zijn onderscheiden, is thans ook in het gebied ten zuiden van de Feldbiss, vastgesteld en gemodelleerd.
- In het gebied ten zuiden van de Feldbiss is daarnaast voor het eerst de geometrie van de geologische eenheden binnen de Rupel Groep (Formatie van Eigenbilzen, Boom en Bilzen) beschikbaar. Opgemerkt dient te worden dat deze informatie indirect wel al uit de geometrie van de eenheden van het hydrogeologische model van REGIS II kon worden afgeleid.
- De Formaties van Hannut, Heers en Opglabbeek zijn, in tegenstelling tot het geologische model DGM, als aparte modeleenheden binnen het geologische model opgenomen.

Ten aanzien van de onderscheiden modeleenheden zijn de verschillen met het G3Dv2-model:

- In het nieuwe geologische model is binnen het Quartair een verdere onderverdeling in formaties gemaakt. Daarnaast is ook de Formatie van Inden voor het eerst binnen het Vlaamse deel van de Roerdalslenk gemodelleerd.
- Van de diepe eenheden zijn de modellen betrekkelijk gelijkaardig. Een belangrijk verschil met het G3Dv2-model is dat de Formaties van Kasterlee en Diest in de Roerdalslenk niet meer als afzonderlijke modeleenheden konden worden onderscheiden (zie bijlage B) en daarom met de Formaties van Bolderberg en Ville zijn gecombineerd.
- In het geologische model is afwijkend van het G3Dv2-model enkel het ‘zandige deel’ van de Formatie van Eigenbilzen gemodelleerd, terwijl het ‘kleiige deel’ tot de Formatie van Boom gerekend is.

Andere belangrijke verschillen tussen het geologische model en de bestaande modellen DGM, DGM-diep en G3Dv2 hangen samen met volgende punten:

a) Een verdere detaillering van de modellen door het verwerken van het nieuwe 3D breukenmodel.
b) Het gebruik van een snelheidsmodel.
c) Het gebruik van gecorrigeerde maaiveldhoogten van boringen in de Nederlandse Mijnstreek.

Punt a)

In het kader van dit project is een nieuw 3D model gemaakt van de breukvlakken die tot in het Cenozoïcum doorwerken, zie paragraaf 3.4. Deze breukvlakken zijn meegenomen bij de modellering van de geologische eenheden. In figuur 29 is duidelijk te zien dat met name in het Nederlandse deel van de Roerdalslenk het verloop van de diepe modeleenheden daardoor meer detail vertoond ten opzichte van het bestaande model DGM-diep. Ook in het Belgische deel zijn duidelijke verschillen met het model G3Dv2 waarneembaar. Deze laatste verschillen hangen vooral samen met verbeteringen in de ligging van de breuken. Door aanvullende controles vertonen het diepte- en dikteverloop van de modeleenheden daarnaast een consistenter beeld ter weerszijde van de breuken.

Net als in het DGM-model maar afwijkend van het G3Dv2-model, worden in eenheden die met de ondiepe methode zijn gemodelleerd de breuken verondersteld verticaal te lopen. Binnen de eenheden die met de diepe methode zijn gemodelleerd hebben de breuken daarentegen een helling. Hierdoor vertoont het breukentracé van het model onvermijdelijk verschillen met het breukentracé dat werkelijk aan maaiveld waargenomen kan worden. Daarnaast verloopt de aansluiting van de ondiepe, in het model verticaal veronderstelde breuken op de schuine breuken niet vloeiend.

Punt b)

Om de tijdswaarden van de geïnterpreteerde eenheden langsheen de seismische lijnen om te zetten naar dieptes is gebruik gemaakt van het VELMOD-2 snelheidsmodel van de ondergrond waarin de snelheid niet alleen verticaal maar ook lateraal varieert. Dit is een verbetering ten opzichte van het G3Dv2-model waar enkel de snelheden gemeten bij boring Molenbeersel zijn gebruikt voor deze omzetting.

Punt c)

In de Nederlandse Mijnstreek zijn afwijkend van DGM v1.3 (en ook REGIS II v2.1) de oorspronkelijke maaiveldhoogten van de boorlocaties voor bodemdaling gecorrigeerd.

Met deze correcties is een vloeiender verloop van de geologische (en ook hydrogeologische eenheden) in dit gebied nagestreefd.

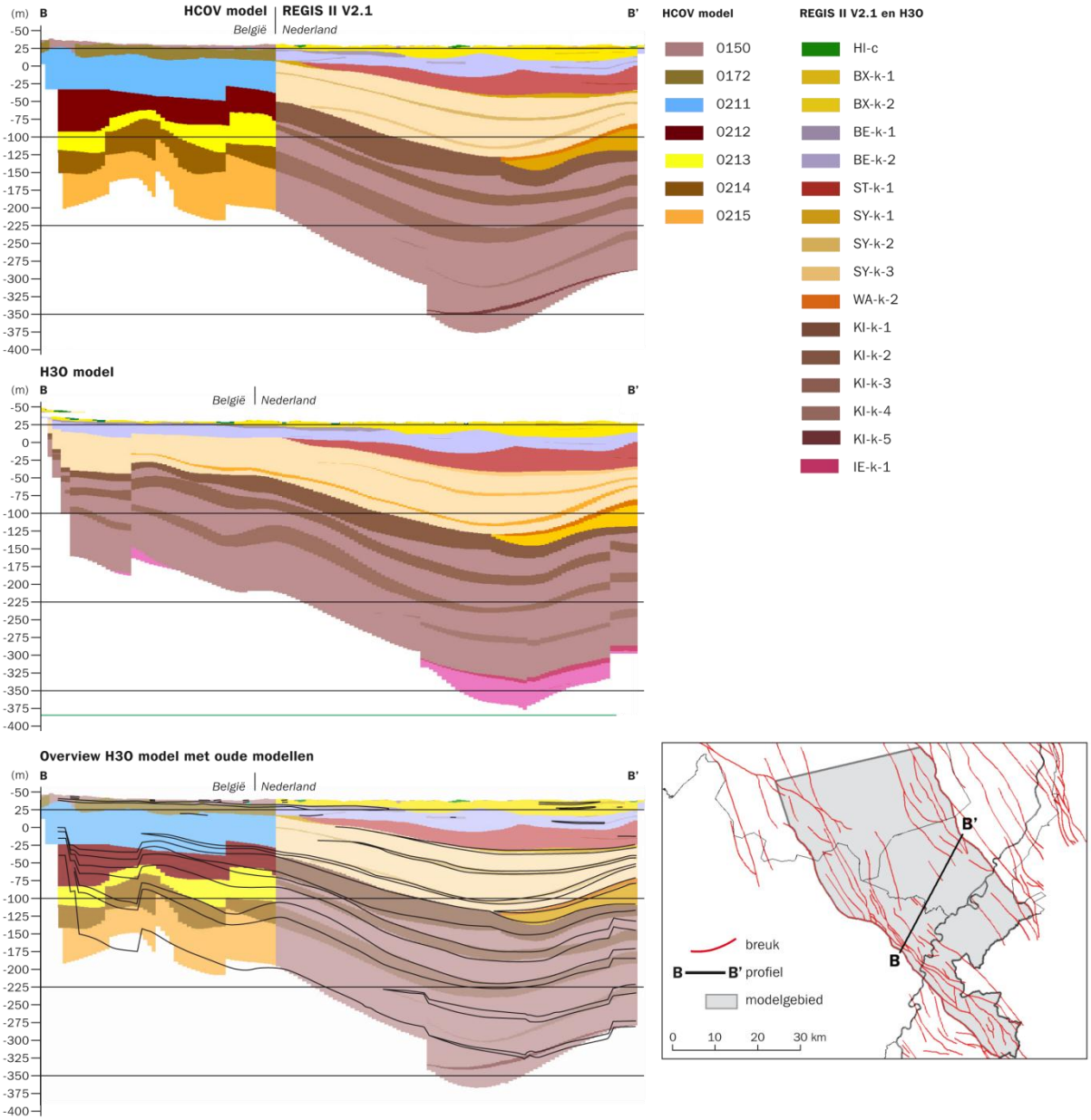
Ten aanzien van het geologische model dienen nog de volgende opmerkingen te worden geplaatst:

- Van het Vlaamse deel van het modelgebied waren, met uitzondering van de Maas, geen waterbodemhoogten beschikbaar om het digitaal hoogtebestand DHM-Vlaanderen aan te vullen. Door middel van interpolatie is aan de *no data* cellen in dit bestand een waarde toegekend. Deze geïnterpoleerde waarde zal hoger liggen dan de werkelijke waterbodemhoogte. Omdat het aantal *no data* cellen beperkt is en verspreid is gelegen, is de invloed op het geologische model gering.
- Van enkele delen van het projectgebied zijn geen diepe boringen en seismiek beschikbaar. Dit zijn:
  - Het tussen de Peelrandbreuk en de Meinwegbreuk gelegen structurele blok.
  - Het ten noorden van de 1^{e} NO Hoofdbreuk gelegen Nederlandse deel van de Roerdalslenk.

  Door dit gebrek aan diepe gegevens konden in deze gebieden de diepe (hydro)geologische eenheden vanaf de basis van de Formatie van Bolderberg niet worden gekarteerd. De begrenzing van deze gebieden is vastgelegd in een shapefile die in de MXD is opgenomen.
- Tijdens uitvoering van dit project zijn een aantal fouten en onvolkomenheden in het geologische model aan het licht gekomen die niet meer kon worden verholpen. Deze punten zijn beschreven in een aandachtspuntenlijst, zie bijlage E, en ook vastgelegd in een shapefile die bij de MXD van het model is opgenomen.
- De dataset van het geologische model is allereerst in RD-coördinaten in combinatie met het NAP referentieniveau aangemaakt. Aansluitend is ook een dataset in Lambert-coördinaten in combinatie met het TAW-referentieniveau samengesteld. Deze datasets zijn, afgezien van het verschil in coördinaten en referentieniveau, niet volledig identiek. Dit wordt veroorzaakt doordat gridbestanden niet zonder meer naar een ander coördinatenstelsel kunnen worden omgezet. Als gevolg hiervan vertonen de gridbestanden beperkte verschillen. Ook indien de berekening van het geologische model volledig in Lambert-coördinaten wordt uitgevoerd dan blijven deze verschillen bestaan.

3.5.3. 3D HYDROGEOLOGISCHE MODEL

Het hydrogeologische lagenmodel omvat in totaal 63 modeleenheden, zie tabel 2. Net als het geologische model is het een grensoverschrijdend model. Ook in dit model en in de kaartbestanden van de modeleenheden komen ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitproblemen meer voor, zie figuur 30.



Figuur 30: Doorsnede in de Roerdalslenk door a: de hydrogeologische modellen HCOV(Vlaanderen) en REGIS II (Nederland), b: het hydrogeologische model van dit project, c: een overlay van de grensvlakken van het nieuwe hydrogeologische model over de reeds bestaande hydrogeologische modellen HCOV en REGIS II. Alleen de eenheden tot en met de Formatie van Inden zijn weergegeven. De diepte is weergegeven in NAP.

In figuur 30 vallen enkele van de verschillen tussen het nieuwe en de bestaande hydrogeologische modellen op.

Los van de grensoverschrijdende aansluiting van modellen is het belangrijk om vast te stellen dat in tegenstelling tot de modellen HCOV en G3Dv2, die na elkaar tot stand zijn gekomen en onderling niet consistent zijn, het nieuwe hydrogeologische model volledig consistent is met het geologische model.

Ten aanzien van de onderscheiden modeleenheden zijn de belangrijkste verschillen tussen het nieuwe hydrogeologische model en het model van REGIS II v2.1:

- Het hydrogeologische model omvat ook een hydrogeologische onderverdeling van het maaiveld tot en met de Formatie van Opglabbeek (zie figuur 26). Daarmee is voor het eerst van dit deel van de Roerdalslenk een hydrogeologisch model vervaardigd van het hele Cenozoïcum.
- De hydrogeologische eenheden binnen de Formatie van Inden, waarvan de afzettingen eerder nog tot de Kiezeloöliet Formatie werden gerekend, zijn in het model als aparte eenheden onderscheiden.
- In het gebied ten zuiden van de Feldbiss zijn de hydrogeologische eenheden binnen de Formatie van Voort vastgesteld en gemodelleerd. Deze eenheden waren in REGIS II v2.1 niet apart onderscheiden.
- In het gebied ten zuiden van de Feldbiss is in vergelijking tot REGIS II v2.1 een vereenvoudigde hydrogeologische indeling aangehouden voor de afzettingen van de Rupel Groep. Door het samennemen van enkele zandige en kleiige eenheden zijn in dit gebied slechts drie eenheden gemodelleerd, in vergelijking tot zeven eenheden binnen REGIS II v2.1.
- De Formaties van Hannut, Heers en Opglabbeek zijn als aparte eenheden in het geologische model opgenomen. Deze formaties zijn daarnaast ook als aparte eenheden in het hydrogeologische model onderscheiden. Ten opzichte van REGIS II v2.1, waar deze eenheden waren samengenomen, is sprake van een verdere detaillering van de hydrogeologische opbouw.

Ten aanzien van de onderscheiden modeleenheden zijn de belangrijkste verschillen met het HCOV-model:

- Binnen het Quartair is een verdere onderverdeling in hydrogeologische eenheden gemaakt. Daarnaast zijn ook de binnen de Formatie van Inden onderscheiden hydrogeologische eenheden voor het eerst in het Vlaamse deel van de Roerdalslenk gemodelleerd.
- Binnen de Kiezeloöliet Formatie is ook een verdere onderverdeling in hydrogeologische eenheden gemaakt. In plaats van vier eenheden worden thans negen eenheden binnen deze formatie onderscheiden.
- De Formaties van Diest en Bolderberg zijn niet meer als aparte hydrogeologische eenheden onderscheiden maar gecombineerd.
- De Formatie van Bolderberg is opgesplitst door de bruinkoollagen van de Ville Formatie die als nieuwe hydrogeologische eenheden zijn onderscheiden.
- De Formatie van Voort is daarnaast verder onderverdeeld in hydrogeologische eenheden.
- De hydrogeologische onderverdeling van de Rupel Groep is daarnaast vereenvoudigd.

De verschillen tussen het hydrogeologische model en de bestaande modellen REGIS II en HCOV zijn groter dan de verschillen tussen het geologische model en de modellen DGM, DGM-diep en G3Dv2. Dit hangt samen met de relatieve ouderdom van het REGIS II v2.1-model en het HCOV-model ten opzichte van de modellen DGM v1.3, DGM-diep en G3Dv2. Het REGIS II v2.1-model is gebaseerd op een oudere versie van DGM (v1.1). Daarnaast dateert het HCOV-model uit 2006 (Belgische Geologische Dienst, 2007) terwijl het G3Dv2-model in 2013 is uitgebracht. Verder hangen deze verschillen samen met de verbeteringen van het geologische model, dat als raamwerk voor het nieuwe hydrogeologische model is gebruikt, zie paragraaf 3.5.2.
Deze verschillen betreffen:

a) Een belangrijke aanpassing in het breukenpatroon door het verwerken van het nieuwe 3D breukenmodel in het hydrogeologische model.
b) Aanzienlijke veranderingen in de diepteligging en dikte van de eenheden.
c) Het gebruik van gecorrigeerde maaiveldhoogten van boringen in de Nederlandse Mijnstreek.

Ad a)
In vergelijking tot het HCOV-model is het breukenpatroon in het Vlaamse deel van de Roerdalslenk aanzienlijk gewijzigd, zie figuur 30. Ook in het Nederlandse deel van het modelgebied hebben deze verbeteringen van het breukenpatroon geleid tot meer detail in het verloop van de hydrogeologische eenheden.

Ad b)
De verschillen in de diepteligging en dikte van de diepe eenheden hangen in het Vlaamse deel van de Roerdalslenk deels samen met verschillen in de interpretatie van kapstokboring Molenbeersel.
Door een verbetering van de modelleermethode neemt de dikte van de kleiige, bruinkool en complexe eenheden naar de randen van de verbreiding geleidelijk af waarbij de datapunten gehonoreerd blijven. Dit is een verbetering ten opzichten van REGIS II v2.1 waar langs de randen van de verbreiding vaak sprake was van een sprong in dikte.

Ad c)
Zie paragraaf 3.5.2.

Ten aanzien van het hydrogeologische model dienen nog de volgende opmerkingen te worden geplaatst:

- Net als het geologische model kunnen in bepaalde delen van het projectgebied de diepere hydrogeologische eenheden niet worden gemodelleerd door een gebrek aan diepe boringen en seismiek. Zie paragraaf 3.5.2. voor een omschrijving van deze deelgebieden.

- De binnen de Ville Formatie onderscheiden bruinkooleenheden 0253-v1 en 0253-v2 zijn vanwege hun geringe doorlatendheid en hoge hydraulische weerstand zeer belangrijk. Deze eenheden komen in het oostelijke en mogelijk ook centrale deel van de Roerdalslenk voor en wiggen in noordwestelijke richting uit. In de Roerdalslenk is slechts een zeer beperkt aantal diepe boringen aanwezig dat deze hydrogeologische eenheden heeft bereikt. Daarnaast kunnen deze eenheden in de meeste seismische lijnen in dit gebied niet goed worden onderscheiden. Om die reden konden deze twee eenheden alleen in het zuidoostelijke deel van het projectgebied worden gemodelleerd. Er bestaat daardoor nog geen goed beeld van de noordwestelijke verbreiding van deze eenheden in de Roerdalslenk.

3.5.4. KWALITATIEVE ANALYSE VAN DE GEOMETRIE VAN DE GEMODELLEERDE EENHEDEN

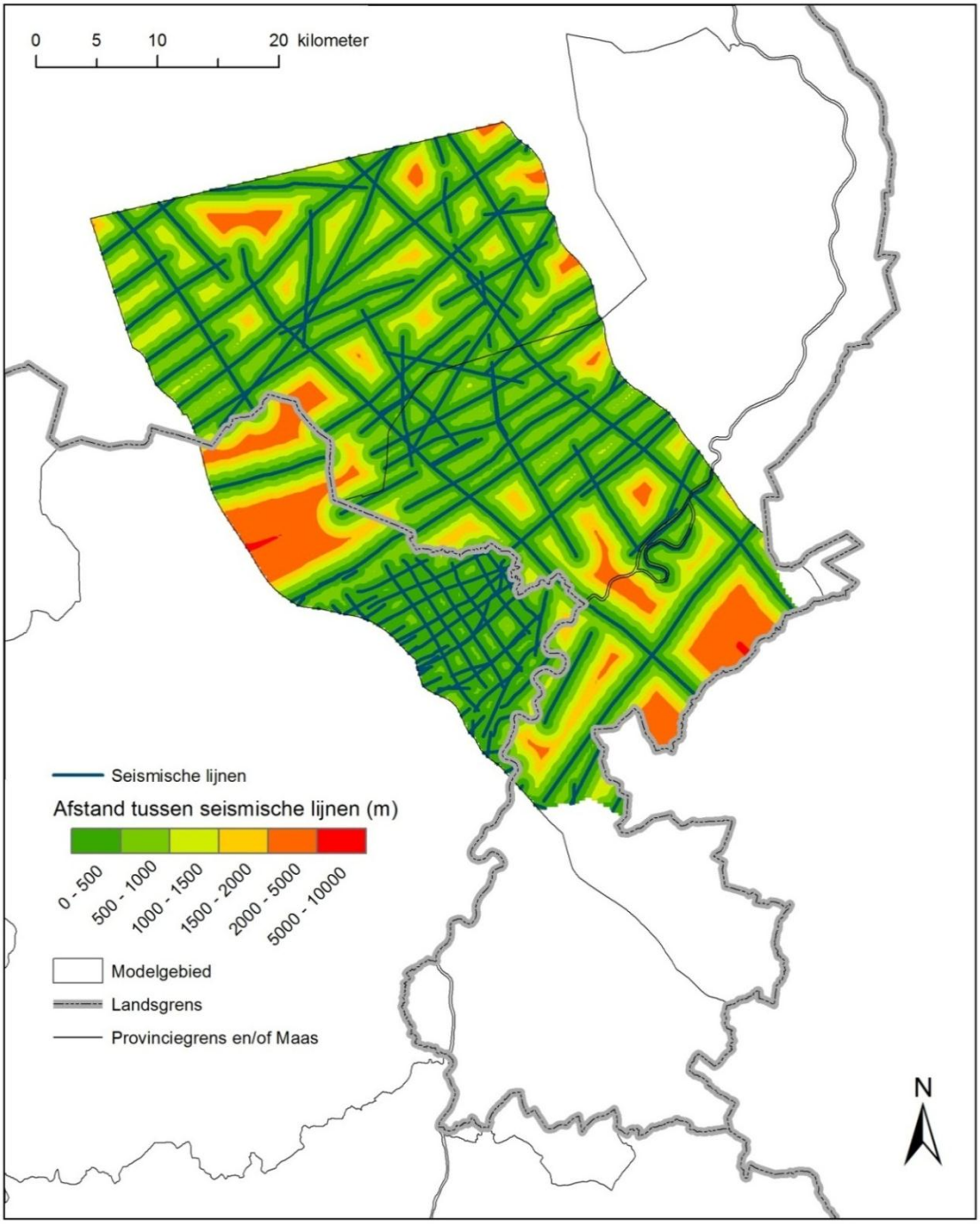
De kwalitatieve analyse van de geometrie omvat een vaststelling en beschrijving van de onzekerheden in de verbreiding en dikte van de verschillende (hydro)geologische modeleenheden. Deze informatie is van belang bij het gebruik van de modellen, onder andere bij geohydrologisch onderzoek. Ook kunnen daarmee locaties worden vastgesteld waar aanvullende basisgegevens (boringen, seismiek) bij voorkeur ingewonnen zouden moeten worden om de onzekerheid in de modellen te verminderen.
De voornaamste factoren die van invloed zijn op de onzekerheid van de modellen zijn:

- Het aantal en ruimtelijke spreiding van de beschikbare basisgegevens.
- De kwaliteit van deze gegevens.
- De gebruikte methodiek van modelleren.

i) aantal en ruimtelijke spreiding van de beschikbare basisgegevens

Het aantal beschikbare gegevens voor de ondiepe modellering valt samen met het aantal gebruikte boringen. Tabel 4 geeft het aantal boringen weer dat gebruikt werd om de basis van de geologische eenheden te modelleren die zuiver via de ondiepe methode gemodelleerd werden. De cellen van tabel 4 die overeenstemmen met de Formatie van Eigenbilzen zijn leeg omdat deze zandige eenheid niet gemodelleerd, maar afgeleidt werd uit het model (zie paragraaf 2.5.4).
Voor de diepe methode vormt het aantal beschikbare gegevens een combinatie van het aantal gebruikte boringen en seismische lijnen. Tabel 5 geeft het aantal boringen en kilometer seismiek weer dat gebruikt werd voor de modellering met de diepe methode.
Behalve de aantallen is ook de ruimtelijke spreiding van de data bepalend voor de onzekerheid van de modellen. De grootste zekerheid bevindt zich voor zowel het diepe als het ondiepe bereik namelijk op de locaties van de boringen zelf. De onzekerheid groeit met de afstand tot deze boringen. In het ondiepe bereik neemt deze onzekerheid sterk toe met de diepte, terwijl deze in het diepe bereik gedeeltelijk kan opgevangen worden door seismische lijnen tussen de boringen.

Langs een seismische lijn neemt de kans op fouten op verdere afstand van de boringen echter ook toe, mede door veranderingen in lithologie en fysische eigenschappen (o.a. dichtheid, snelheid) van eenheden of door verschillen in tektonisch gedrag binnen het bekken. Hoe dichter de cluster van seismische lijnen, hoe minder groot de fout wordt op verdere afstand van de boringen. Figuur 31 toont de ruimtelijke spreiding van seismische lijnen binnen het projectgebied, en in een aantal klassen de onderlinge afstand tussen deze lijnen. De afstand tussen de lijnen varieert van 0 m op de kruisingen tot maximaal c. 11 km.



Figuur 31: Ruimtelijke spreiding van 2D-seismische lijnen binnen het projectgebied en de onderlinge afstand tussen deze lijnen.

De onzekerheid die bepaald wordt door de ruimtelijke spreiding is ook sterk afhankelijk van de structurele complexiteit van het gebied. Met eenzelfde aantal boringen en kilometer seismiek kan de onzekerheid laag zijn in een weinig complex gebied en hoog in een complex gebied. Weinig complexe gebieden zijn meestal terug te vinden in het centrum van de Roerdalslenk. De complexe gebieden bevinden zich daarentegen hoofdzakelijk in de randzone of nabij de randbreuken van de Roerdalslenk. De hogere dichtheid van breuken verhoogt de onzekerheid van de modellen van de randzone van de Roerdalslenk dan ook aanzienlijk.

Tabel 4: Het aantal boringen dat gebruikt werd bij de ondiepe modelleermethode per geologische eenheid.

	Geologische eenheid	Aantal boring in basis	Eenheid aanwezig	Eenheid afwezig
Aantallen binnen modelgebied	HL	2084	433	1651
	Boxtel	2024	1683	341
	Beegden	1414	900	514
	Sterksel	1113	631	482
	Stramproy	784	512	272
	Waalre	514	84	430
	Maassluis	500	0	500
	Kiezeloöliet	529	329	200
	Oosterhout	363	7	356
	Inden	362	82	280
Aantallen binnen ondiep karteergebieden	Diest / Bolderberg / Ville	267	221	46
	Voort	141	35	106
	Eigenbilzen			
	Boom	117	91	26
	Bilzen	141	139	2
	Borgloon	84	81	3
	Sint-Huibrechts-Hern	130	130	0
Geen ondiepe modellering	Hannut			
	Heers			
	Opglabbeek			

Voor de geologische eenheden die via de ondiepe methodiek gemodelleerd werden, werd de onzekerheid gekwantificeerd met behulp van betrouwbaarheidskaarten (zie paragraaf 2.5.2).
Voor de eenheden die via de diepe methodiek gemodelleerd werden zijn geen betrouwbaarheidskaarten beschikbaar. Om toch een indicatie te kunnen geven van hun onzekerheden, wordt in de MXD per eenheid een overzicht getoond van de gebruikte seismische lijnen en boringen.

Tabel 5. Overzicht van het gebruikte aantal boringen en kilometer seismische lijnen voor de verschillende eenheden die via de diepe methode gemodelleerd werden. De Formatie van Borgloon werd volledig via de ondiepe methode gemodelleerd.

Geologische eenheid	Hydrogeologische eenheid	Aantal gebruikt boringen	Aantal km seismische lijnen
Diest/Bolderberg/Ville	0252 + 0253-1	8	1132
	0253-v1		
	0253-2		
	0253-v2		
	0253-3		
Voort	0254-1	6	837
	0255	6	891
	0254-2	8	1059
Eigenbilzen	0256	8	
Boom	0300	8	
Bilzen	0410 + 0420 + 0431	8	1103
Borgloon			
Sint-Huibrechts-Hern	0451 + 0452	8	1103
Hannut	1021 + 1022	5	946
Heers	1023 + 1032	5	1064
Opglabbeek	1033 +1034	6	1122

3.5.5. De kwaliteit van de gegevens

Naast het aantal en de ruimtelijke spreiding van de data, wordt de onzekerheid van de data ook grotendeels bepaald door de kwaliteit. Voor de ondiepe modellering is de kwaliteit van de boorbeschrijvingen bepalend. Voor de diepe modellering is de kwaliteit van zowel boringen als seismiek bepalend, maar omdat hiervoor enkel boringen met controle van boorgatmetingen gebruikt werden, is vooral de laatste factor van belang.

Boorgegevens:
Omwille van de verschillen in keuze van gebruikte data tussen Nederland en Vlaanderen (zie hoofdstuk 2.1), zijn er ook duidelijke verschillen in de kwaliteit van de boorbeschrijvingen per land. Door het gebrek aan een selectieset van meest bruikbare boringen in het Vlaamse deel van het projectgebied, was hier een beduidend hogere dichtheid aan boringen, welke gemiddeld echter een lagere kwaliteit hebben en dus grotere onzekerheid.

Seismische gegevens:
Vanwege de lage kwaliteit van oudere seismiek, werd gekozen om enkel deze te gebruiken die geschoten is na de 70-er jaren. Het overgrote deel van seismiek die gebruikt werd, is afkomstig uit de 80-er jaren. Deze heeft vaak een matig tot slechte kwaliteit. De meer recente seismiek heeft daartegen overwegend een betere kwaliteit. Het merendeel van de seismiek werd geschoten voor de eenheden ouder dan het Paleogeen. Hierdoor is de betreffende resolutie vaak slecht tot matig voor het beoogde Neogene tot Paleogene bereik. Onafhankelijk van het bereik waarvoor de seismiek geschoten werd, neemt de kwaliteit van de data ook af met de diepte, waardoor het detail waarmee eenheden geïnterpreteerd en vervolgd kunnen worden ook kleiner wordt en de onzekerheid groter.
Tabel 6 geeft een overzicht van de jaartallen, het beoogde dieptebereik en de algemene kwaliteit voor het Neogene tot Paleogene bereik per seismische campagne. Het belangrijkste criterium waarop de kwaliteit beoordeeld werd, is de mate waarin seismische reflectoren vervolgd konden worden en onderscheidbaar waren. Het ondiepe dieptebereik omvat seismiek die geschoten werd voor hoofdzakelijk het Neogene interval, terwijl het diepe dieptebereik seismiek omvat die geschoten werd voor het bereik onder het Paleogeen interval.

Omdat er enkel beschikking is over 2D seismische data binnen het projectgebied, blijft er een grote mate van onzekerheid betreffende het verloop en de verbindingen van breuken in de modellen. Breuken worden namelijk op 2D secties geobserveerd en daartussen interpretatief in 3D verbonden tot grotere segmenten in functie van de modellering. Breuken hoeven echter niet noodzakelijk uit lange segmenten te bestaan, maar kunnen ook uit een aaneenschakeling van kleinere segmenten bestaan die tot eenzelfde systeem behoren. Wat in het model als één lang breukvlak wordt weergegeven kan daarom beter beschouwd worden als een breuksysteem.
Ook het verbinden van breuksegmenten - die op verschillende seismische secties geobserveerd worden - houdt een grote mate van onzekerheid in. Deze onzekerheid kan gedeeltelijk gereduceerd worden door het gebruik van kennis vanuit het maaiveld (oppervlaktetracés) of door kennis van het dikteverloop van (hydro)geologische eenheden langsheen het breukentracé.
Verder kan via 2D seismische data ook enkel verticale verplaatsing langsheen breuken geobserveerd worden. De laterale verplaatsing langsheen breuken blijft een onbekende factor.

Tabel 6: Overzicht van het beoogde dieptebereik en de kwaliteit per seismische campagne

Seismische survey	Jaar	Beoogd dieptebereik	Algemene kwaliteit
Neeroeteren - Rotem 1980 - 1981	1980-1981	Diep	Laag
L2BPE1981A(deel)	1981	Diep	Goed tot matig
Eisden 1981	1981	Diep	Zeer laag
RGD82	1982	Diep	Matig
L2BPE1982A	1982	Diep	Matig tot Hoog
Meeuwen - Bree 1982	1982	Diep	Laag
L2BPE1984A	1984	Diep	Matig tot hoog
Poppel - Lommel - Maaseik 1984	1984	Diep	Matig tot laag
DGP_DiepSeis	1986	Diep	Matig
L2CLY1990A	1990	Diep	Matig tot hoog
Rijkevorsel 1990 2D	1990	Diep	Laag
Maas1999	1999	Ondiep	Matig tot laag
2D HR 9901 tot 9906	1999	Ondiep	Hoog
Maas2002	2002	Ondiep	Matig tot laag
Vito - Limburg 2007	2007	Diep	Hoog
SeisVectorised	divers	Diep	Hoog tot zeer laag

3.5.6. DE GEBRUIKTE METHODIEK VAN MODELLEREN

Naast beschikbaarheid, aantal, ruimtelijke spreiding en kwaliteit van de data, is de onzekerheid van de modellen ook afhankelijk van de methodiek waarmee ze tot stand kwamen. Omdat er twee verschillende methodieken zijn gebruikt, zullen deze hieronder apart toegelicht worden.

Ondiepe modellering

De rasters van de top, basis en dikte van de ondiep gemodelleerde eenheden bezitten lateraal variërende onzekerheden als gevolg van de interpolatie. Een manier om deze onzekerheden weer te geven is met behulp van onzekerheidskaarten. Met onzekerheidskaarten wordt inzicht gegeven in de onzekerheid van de gemodelleerde vlakken waarmee de gebruiker zich een oordeel kan vormen over hun toepasbaarheid. Het aanmaken van onzekerheidskaarten zit verweven in de methodiek van ondiepe modellering (zie paragraaf 2.5.2). Op onzekerheidskaarten worden standaarddeviaties getoond die behoren bij de top, basis en dikte van een gemodelleerde eenheid.

De standaarddeviatie is een maat voor de spreiding van de variabele. Tevens wordt de kans op voorkomen van de betreffende eenheid weergegeven. Voor de berekening van deze kaarten is rekening gehouden met:

- de datadichtheid: hoe meer boringen in een gebied, hoe betrouwbaarder de voorspelling van de basis van de eenheid kan worden gedaan.
- de mate waarin de boringen geclusterd voorkomen: als de boringen geclusterd in een bepaald gebied voorkomen, kan dit een vertekend beeld geven van de ligging van de basis van de eenheid.
- de geologische complexiteit: hoe complexer de basis van een eenheid, hoe moeilijker het is om een betrouwbare schatting van de basis te maken. De basis kan namelijk over een korte afstand sterk variëren.
- de geologische kennis: indien de geoloog een goed beeld heeft van de ontstaansgeschiedenis van de eenheid is deze kennis betrouwbaarder dan wanneer er een minder duidelijk beeld van de eenheid bestaat.

Voor dit project werden onzekerheidskaarten gemaakt voor alle eenheden van het geologische model die via de ondiepe methodiek gemodelleerd werden. Deze kaarten zijn opgenomen in de MXD van het geologische model. In de onzekerheidskaarten zijn blokpatronen te herkennen. Deze patronen hangen samen met de methodiek waarmee de kaarten zijn samengesteld en zijn geen artefact.

Diepe modellering

Voor de diepe modellering zitten er onzekerheden in het aanmaken van tijdgrids en de omzetting hiervan naar dieptegrids.

Een eerste onzekerheid is gerelateerd aan de interpolaties voor het maken van de tijdgrids en het opstellen van het breukenmodel. Indien men beschikt over 3D-seismiek is de onzekerheid op tijdgrids en het breukenverloop beperkt. Binnen het projectgebied is echter alleen 2D-seismiek beschikbaar waardoor er grotere onzekerheden zijn. In gebieden met een lage dichtheid aan seismische data wordt de fout bij interpolaties voor tijdgrids groter. Deze fout neemt nog toe naarmate de (geologisch) tektonische opbouw in het gebied complexer is. Ook de onzekerheid in de lengte, ligging en connecties van breuken is sterk afhankelijk van de dichtheid van de data. Deze onzekerheden werden in sommige gebieden beperkt door het gebruik van geologische informatie nabij de oppervlakte, namelijk hoogtemodellen en boringen. Ook werd kennis van experts geraadpleegd om breukentracés op de seismische lijnen exacter te kunnen koppelen aan oppervlaktedata (Vanneste en Verbeeck, pers. comm.).

Een tweede onzekerheid hangt samen met onzekerheden in het snelheidsmodel. Een uitgebreide beschrijving van de methodiek en onzekerheidskaarten voor de snelheden is na te lezen in het VELMOD-2 Joint Industry Project rapport (Van Dalfsen et al., 2007).
In het diepte-domein werden verschillen berekend tussen de dieptes van eenheden in de boringen en deze uit het naar diepte geconverteerde tijdraster. Deze verschillen werden opgeteld bij het initiële diepteraster. Door deze correctie werd de onzekerheid op de locatie van de boringen beperkt tot de onzekerheden in de interpretatie van de boorgegevens zelf. Op verdere afstand van de boringen met tijd-diepte relaties, neemt de onzekerheid toe, mede door veranderingen in lithologie en fysische eigenschappen (verkittingen, verkarsting, …).

3.6. KWALITATIEVE ANALYSE LITHOLOGIE (HYDRO)GEOLOGISCHE EENHEDEN

Op basis van bestaande lithostratigrafische beschrijvingen, aangevuld met andere literatuurgegevens en tijdens de uitvoering van dit project opgedane kennis, is een kwalitatieve beschrijving van de lithologie van de verschillende (hydro)geologische eenheden opgesteld, zie bijlage G. De volgende eigenschappen zijn daarbij per (hydro)geologische eenheid beschreven: 1) de overheersende lithologie, 2) de korrelgrootte en sortering, 3) eventuele laterale en verticale trends, 4) het afzettingsmilieu, 5) eventuele verkitting van het sediment en 6) het voorkomensgebied. Van deze eigenschappen zijn de eigenschappen 1, 2, 4 en 5 hoofdzakelijk op literatuurgegevens gebaseerd. Eigenschappen 3 en 6 zijn mede gebaseerd op kennis die tijdens de uitvoering van dit project is opgedaan.
De geologische eenheden zijn in het algemeen al goed gedocumenteerd waardoor het opstellen van de lithologische beschrijving van de geologische eenheden zonder meer mogelijk is. In het kader van dit project kon eenzelfde gedetailleerde beschrijving nog niet worden opgesteld van alle afzonderlijke hydrogeologische eenheden die in het ondiepe bereik zijn onderscheiden. De belangrijkste redenen hiervoor zijn:

- De onderscheiden hydrogeologische eenheden betreffen zandige, kleiige, complexe en bruinkooleenheden binnen een stratigrafische eenheid. Er is daardoor wel lithologische informatie van de stratigrafische eenheid bekend in de vorm van literatuurgegevens maar slechts zelden of niet van de afzonderlijke eenheden die binnen de stratigrafische eenheid zijn onderscheiden. Een hydrostratigrafische nomenclator ontbreekt nog.
- Het opstellen van deze beschrijvingen is technisch gezien mogelijk voor de afzonderlijke kleiige, complexe en bruinkooleenheden. Voor de zandige eenheden zullen de beschrijvingen deels gecombineerd moeten worden omdat, daar waar deze eenheden direct op elkaar voorkomen, de onderlinge grenzen arbitrair zijn. Een dergelijk onderzoek vereist echter een omvangrijke analyse van de boorgegevens waarin de eenheid is vastgesteld. De boorgegevens dienen daarbij in gecodeerde vorm beschikbaar te zijn. Een dergelijke analyse viel buiten het bestek van dit project.

Voor een kwalitatieve analyse van de lithologie van individuele hydrogeologische eenheden dienen onder andere boormonsters te worden bestudeerd en de eigenschappen ervan te worden gekwantificeerd. Dit zou een aparte studie vereisen waarbij de resultaten van dit project als input kunnen dienen.

HOOFDSTUK 4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1. CONCLUSIES

De specifieke doelstelling van het H3O-Roerdalslenk project is:

"Het gezamenlijk samenstellen van een grensoverschrijdend, 3D geologisch en een daarop gebaseerd hydrogeologisch lagenmodel van het Cenozoïcum van de Roerdalslenk in Zuidoost-Nederland en Vlaanderen op basis van de meest recente gegevens, kennis en inzichten zodat dit model door Vlaamse en Nederlandse partijen geaccepteerd wordt als het referentiemodel van dit gebied."

In het licht van deze doelstelling kunnen op basis van dit project de volgende conclusies worden getrokken:

- Van het modelgebied zijn één geologisch en één hydrogeologisch model van het Cenozoïcum samengesteld. In deze modellen komen langs de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitingsproblemen meer voor.
- De breuken in het projectgebied zijn in de vorm van 3D breukvlakken vastgelegd. Tussen deze breuk(vlakk)en komen langs de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitingsproblemen meer voor.
- Ten behoeve van de (hydro)geologische modellering van de ondergrond werd een correlatie tussen Belgische en Nederlandse lithostratigrafische eenheden succesvol uitgevoerd.
- Door deze correlaties vormen de geologische en hydrogeologische interpretaties en modellen een onderling consistent geheel.

De belangrijke aanpassingen ten opzichte van eerdere modellen in het projectgebied zijn de volgende:

- Ten opzichte van de bestaande Nederlandse modellen DGM, DGM-diep en REGIS II is nu ook de geometrie van de (hydro)geologische eenheden van het Paleogeen en het Vroeg- en Midden-Mioceen in de Roerdalslenk beschikbaar.
- Ten opzichte van de bestaande Vlaamse G3Dv2 en HCOV bevatten de modellen een verdere onderverdeling van het Quartair.
- De Formatie van Inden die niet eerder in het Vlaamse deel van de Roerdalslenk werd onderscheiden, komt ook in dit deel van de Roerdalslenk voor. Dit geldt eveneens voor bruinkoollagen van de Ville Formatie.
- Ten opzichte van de bestaande Nederlandse modellen DGM v1.3 en REGIS II v2.1 is sprake van een lichte toename van het aantal boringen met 2, respectievelijk 4%.

- In het Belgische deel van het projectgebied werden alle beschikbare boringen geherinterpreteerd.
- Het aantal gemodelleerde breuken in het Belgische deel van het projectgebied is in vergelijking tot het Belgische G3Dv2-model gereduceerd. Dit komt doordat in deze studie de kleinere breuken niet als breukvlak zijn gemodelleerd. De ligging van de grote breuken vertoont in vergelijking tot het G3Dv2-model aanzienlijke verschillen.
- De ligging van de breuken verschilt ook in het Nederlandse deel van het projectgebied met eerdere kaart(bestand)en. Ten noordoosten van Roermond is een nieuwe breuk vastgesteld die nog niet eerder in de seismische data was geïnterpreteerd.

Tenslotte zijn er ook enkele algemene opmerkingen:

- Van enkele delen van het projectgebied zijn geen of te weinig diepe boringen en seismiek beschikbaar. Daardoor konden niet alle diepe (hydro)geologische eenheden gebiedsdekken worden gekarteerd
- Er zijn geen kruisende seismische lijnen langsheen de Belgisch-Nederlandse grens. Er is daardoor geen rechtsstreekse aansluiting mogelijk tussen de Belgische en Nederlandse seismische interpretaties.
- Het aantal breuken en de lengte van de breuken is in het projectgebied het grootst aan de basis van het klastische Paleogeen. Naar boven toe is er een afname, zowel wat aantal als wat de lengte van de breuken betreft. De meeste breuken blijven over de volledige lengte aanwezig tot in de basis van de Formatie van Voort. Vanaf daar naar boven toe verdwijnen progressief meer breuken.
- Veruit de meeste breuken die in het projectgebied actief waren in het Paleogeen en Neogeen zijn afschuivingen.
- In het projectgebied hellen de meeste randbreuken richting de as van de Roerdalslenk en zijn synthetisch. De grote breuken binnen de Roerdalslenk hellen in tegengestelde richting aan de randbreuken en zijn antithetisch.

4.2. AANBEVELINGEN

- In het kader van het project is een correlatietabel opgesteld van Vlaamse en Nederlandse geologische en hydrogeologische eenheden. Om de nieuwe grensoverschrijdende correlaties onder de aandacht te brengen van een groot publiek, wordt aanbevolen om de resultaten te publiceren in een internationaal peer-reviewed tijdschrift.

- In de Roerdalslenk vormen de zandige delen van de Kiezeloöliet Formatie de belangrijkste aquifers. Deze aquifers worden van elkaar en van bovenliggende aquifers gescheiden door aquitards. Sommige van deze aquitards zijn in eerdere hydrogeologische schematisaties aangeduid met de aanduidingen “Reuver klei”, “Bovenste Brunssum klei” en “Onderste Brunssum klei”. Deze aanduidingen worden gehanteerd door zowel Nederlandse als Vlaamse (hydro)geologen. Vanwege lithostratigrafische randvoorwaarden en de complexe lithologische opbouw van de Kiezeloöliet Formatie kunnen deze namen niet langer meer door de Geologische Dienst van Nederland worden gehanteerd. Daarom wordt aanbevolen om hierover een peer-reviewed publicatie op te stellen.

- In het kader van dit project is een 3D model van breukvlakken samengesteld. Vanwege technische beperkingen van de ondiepe methode zijn bij de modellering van ondiepe eenheden de breukvlakken als verticale vlakken geschematiseerd. Aanbevolen wordt om de ondiepe methode uit te breiden of een nieuwe methode te ontwikkelen, bijvoorbeeld op basis van de diepe methode, waarbij breukvlakken als hellende vlakken bij de modellering worden meegenomen.

- Bij het gebruik van het geologische en hydrogeologische model dient rekening te worden gehouden met het feit dat bij eenheden die gemodelleerd zijn met de ondiepe methode de breukvlakken als verticale vlakken zijn geschematiseerd. Daarbij is de ligging van de breukvlakken ter hoogte van het midden van de gecombineerde Formatie van Diest/Bolderberg/Ville aangehouden. De breuken geven dus niet de exacte positie van de breuk op de diepte van de betreffende modeleenheid weer. Deze breukenkaarten zijn derhalve ongeschikt om boorlocaties in de nabijheid van breuken vast te stellen, doch dienen als waarschuwing. Aanbevolen wordt om aanvullende informatie in te winnen bij specialisten met lokale kennis.

- In het oostelijke deel van de Roerdalslenk komen bruinkoollagen voor van de Ville Formatie. Daarnaast wordt verondersteld dat ook kleilagen van de Formatie van Borgloon in het zuidoostelijke deel van de Roerdalslenk aanwezig zijn. Deze lagen vormen belangrijke aquitards. In de Roerdalslenk is slechts een zeer beperkt aantal diepe boringen aanwezig dat deze hydrogeologische eenheden heeft bereikt.

- Daarnaast kunnen deze eenheden in de meeste seismische lijnen in dit gebied niet goed worden onderscheiden. Aanbevolen wordt om, bij voorkeur in samenwerking met Duitse experts op dit gebied, nader onderzoek uit te voeren naar de verbreiding, diepteligging en dikte van deze lagen.

- Met dit project is een grensoverschrijdend geologisch en hydrogeologisch model van de Roerdalslenk in Zuidoost-Nederland en Vlaanderen tot stand gekomen. Om de Nederlandse en Vlaamse informatie van dit gebied consistent en actueel te houden wordt aanbevolen om middels een langdurig samenwerkingsverband deze modellen te onderhouden. Dit zou bijvoorbeeld kunnen als onderdeel van mogelijke vervolgprojecten waarbij het huidige (hydro)geologische model wordt meegenomen bij de modellering. Niet alleen blijft het huidige model daarmee actueel maar is ook de correcte aansluiting van het huidige op toekomstige modellen verzekerd.

- In het kader van dit project is er een kwalitatieve analyse uitgevoerd op de lithologie van de aanwezige (hydro)geologische eenheden. Grondiger onderzoek op de boringen is echter nodig om een beter inzicht te krijgen in de lithologische eigenschappen van de afzonderlijke hydrogeologische eenheden.

HOOFDSTUK 5. ONDERTEKENING

Opdrachtgevers:

- Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen van de Vlaamse Overheid
- Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij
- Nederlandse Provincie Limburg
- Nederlandse Provincie Noord-Brabant
- TNO, Geologische Dienst Nederland
- VITO/Energyville

Projectmedewerkers:

BGD:

- M. Dusar
- J. Walstra

TNO, GDN:

- W. Dabekaussen
- M. den Dulk
- J.C. Doornenbal
- H.J. Hummelman
- A. Menkovic
- R.N. Reindersma
- R.W. Vernes
- W.E. Westerhoff
- N. Witmans

VITO/Energyville:

- J. Deckers
- J. Matthijs

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

Maart 2012 - Juni 2014

Utrecht, juli 2014

Dr. G.J. Vis (TNO, GDN)
(Tweede lezer)

Utrecht, juli 2014

R.W. Vernes (TNO, GDN)
Auteur

Autorisatie Vrijgave:
Utrecht, juli 2014

M.J. van der Meulen (TNO, GDN)
Research Manager

Mol, juli 2014

J. Deckers (VITO/Energyville)
Auteur

Autorisatie vrijgave:
Mol, juli 2014

A. Wouters (VITO/Energyville)
Projectenmanager

Literatuurlijst

- AGIV Agentschap Geografische Informatie Vlaanderen, 2004. DHM Vlaanderen, raster, 100 m. Departement Mobiliteit en Openbare Werken en Vlaamse Milieumaatschappij.
- Beerten, K., Gullentops, F., Paulissen, E. & Vandenberghe, N., 1999. Quartairgeologische kaart, Kaartblad 18-10 (deel) Maaseik-Beverbeek. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven.
- Beerten, K., 2003. Vroeg- en Midden-Pleistocene sedimentatiegeschiedenis van Maas en Rijn in de Belgische Roergraben. Project VLA01-3.1.3.
- Beerten, K., Vandenberghe, N., Gullentops, F. & Paulissen, E., 2005. Technische tekst bij de Quartairgeologische kaart: Kaartblad 10-18 Maaseik. Vlaamse Overheid Dienst Natuurlijke Rijkdommen, 48 pp.
- Belgische Geologische Dienst, 2007. Aanpassen van de Hydrogeologische Kartering van de Ondergrond in Vlaanderen (HCOV). Opdracht nr. WAT/L 2005 S 0007 X. Onderzoeksopdracht voor AMINAL, afdeling Water.
- Broothaers, M., Deckers, J., Lagrou, D. & Matthijs, J., 2012. 3D-lagenmodel van de Tertiaire afzettingen in de Roerdalslenk in Vlaanderen. VITO-rapport, 2012/SCT/R/191, 58 pp.
- Buffel, Ph., Claes, S. & Gullentops, F., 2001. Toelichting bij de Geologische Kaart van België – Vlaams Gewest: Kaartblad 26 Rekem. BGD & ANRE, Brussel, 56 pp.
- De Geyter, G., 1988. Formatie van Hannut. In: Maréchal, R. & Laga, P., Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Belgische Geologische Dienst, Brus-sel: 60-71.
- De Geyter, G. & Laga, P., 1988. Formatie van Opglabbeek. In Maréchal, R. & Laga, P., Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Belgische Geolo-gische Dienst, Brussel, p. 39-47.
- De Lang, F.D & Weerts, H.J.T., 2003. Formatie van Stramproy. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-stramproy.
- De Lang, F.D., 2003. Formatie van Veldhoven. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-veldhoven.
- De Koninck, R. Lanckacker, T. & Matthijs, J., 2011. Geologisch 3D-lagenmodel voor 8 Tertiaire lagen. VITO-rapport, 2011/SCT/R/152.
- De Meuter, F.J. & Laga, P.G., 1976. Lithostratigraphy and biostratigraphy based on benthonic foraminifera of the Neogene deposits of northern Belgium. Bulletin de la Société belge de Géologie 85-4: 133-152.
- De Mulder, E.F.J., Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E. & Wong, T.E., 2003. Ondergrond van Nederland. Geologie van Nederland. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Utrecht, 379 pp.
- de Rooij, R., 2000. A hydrological schematisation of the Roer Valley Graben. TNO report NITG 00-200-A (stageverslag).
- De Vries, F., W.J.M. de Groot, T. Hoogland & Denneboom, J., 2003. De Bodemkaart van Nederland digitaal. Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie. Alterra, Wageningen. Alterra-report 811.

- Donders, T.H., M.L. Kloosterboer-van Hoeve, W.E. Westerhoff, R.M.C.H. Verreusssel & Lotter, A.F., 2007. Late Neogene continental stages in NW Europe revisited. Earth-Science Reviews 85: 161-189.
- Doppert, J.W.Chr., G.H.J. Ruegg, C.J. van Staalduinen, W.H. Zagwijn & Zandstra, J.G., 1975. Formaties van het Kwartair en Boven-Tertiair in Nederland. In: Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen (red.), Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst.
- DOV/ALBON, 2010. Lithostratigrafie van het tertiair in Vlaanderen, Albon 11/04/10. https://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/3tertiairkaart.html.
- Dumont, A., 1839. Rapport sur les traveaux de la Carte Géologique pendant l'année 1839. Bulletin de l'Académie royale de Belgique 6(2): 464-485.
- Dumont, A., 1850. Rapport sur la carte géologique du Royaume. Bulletin de l'Académie royale de Belgique, 16(1849): 351-373.
- Dusar, M., De Ceukelaire, M. & Walstra, J., 2012. Stratigrafische interpretatie en correlatie van het Quartair en copntinentale Neogeen. Belgische Geologische Dienst.
- Ebbing, J.H.J. & de Lang, F.D., 2003. Formatie van Oosterhout. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-oosterhout.
- Ebbing, J.H.J, Weerts, H.T.J. & Westerhoff, W.E., 2003. Towards an integrated land-sea stratigraphy of The Netherlands. Quaternary Science Reviews 22: 1579-1587.
- Geluk, M.C., Duin, E.J.Th., Dusar, M., Rijkers, R.H.B., Van de Berg, M.W. & Van Rooijen, P., 1994. Stratigraphy and tectonics of the Roer Valley Graben. Geologie en Mijnbouw 73: 129-141.
- GIS-Vlaanderen, 2004. Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen, MVG-LIN-AMINAL afdeling Water en MVG-LIN-AWZ-afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch onderzoek.
- Gullentops, F. & Paulissen, E., 2001. Meuse Group. In: Gullentops, F., Bogemans, F., De Moor, G., Paulissen, E., Pissart, A., Quaternary lithostratigraphic units (Belgium). Geologica Belgica 4/1-2: 153-164.
- Gullentops, F. & Wouters, L., 1996. Delfstoffen in Vlaanderen. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement EWBL.
- Gunnink, J.L., Maljers D. & Hummelman, J.H., 2010. Quantifying uncertainty of geological 3D layer models, constructed with a-priori geological expertise. IAMG 2010 (Budapest).
- Gunnink, J.L., Maljers, D. van Gessel, S.F., Menkovic, A. & Hummelman, H.J., 2013. Digital Geological Model (DGM): a 3D raster model of the subsurface of the Netherlands. Netherlands Journal of the Geosciences 92 - 1: 33-46.
- Hammenecker, J., 2001. Hydrogeologie. Kaartblad 18-10 Maaseik + Beverbeek. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. BGD – ANRE / ALBON 18: 36-40.
- Huizer, J. & Weerts, H.J.T., 2003. Formatie van Maassluis. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-maassluis.
- Joosten, J.H.J. & Bakker, T.W.M., 1986. De Groote Peel in het verleden, heden en toekomst. Staatsbosbeheer, Utrecht. Rapport 88-3.
- Kaiser, E., 1907. Pliozäne Quartzschotter im Rheingebiet zwischen Mosel und Niederrheinischen Bucht, Jb. Königlich-Preußische Geologische Landesanstalt 28(1), 57-91 pp.

- Kemna, H.,A. & Westerhoff, W.E., 2007. Remarks on the palynology-based chronostratigraphical subdivision of Pliocene terrestrial deposits in NW-Europe. Quaternary International, V. 164-165: 184-196.
- Kombrink, H., Doornenbal, J.C., Duin E.J.T., Den Dulk, M., Van Gessel, S.F., Ten Veen, J.H. & Witmans, N., 2012. New insights into the geological structure of the Netherlands; results of a detailed mapping project. Netherlands Journal of Geosciences 91-4: 419-446.
- Kuyl, O.S., 1980. Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Heerlen (62W/62O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Laga, P., 1988a. Formatie van Sint-Huibrechts-Hern. In: Maréchal, R. & Laga, P., Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Belgische Geologische Dienst, Brussel, 164-169 pp.
- Laga, P., 1988b. Formatie van Borgloon. In: Maréchal, R. & Laga, P., Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Belgische Geologische Dienst, Brussel, 169-180 pp.
- Laga, P. & De Geyter, G., 1988. Formatie van Heers. In: Maréchal, R. & Laga, P., Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Belgische Geologische Dienst, Brussel, 52-58 pp.
- Laga, P., Louwye, S. & Geets, S., 2001. Paleogene and Neogene lithostratigraphic units (Belgium). Geologica Belgica 4: 135-152.
- Langenaeker, V., 2001. The Campine Block. Stratigraphy, structural geology, coalification and hydrocarbon potential for the Devonian to Jurassic. Aardkundige Mededelingen 10: 1-142.
- Maréchal, R. & Laga, P., 1988. Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Nationale Commissies voor Stratigrafie, Commissie Tertiair.
- Matthijs, J., Lanckacker, T., De Koninck, R., Deckers, J., Lagrou, D. & Broothaers, M., 2013. Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest - versie 2, G3Dv2. Studie uitgevoerd door VITO in opdracht van de Vlaamse overheid, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, VITO-rapport 2013/R/ETE/43.
- Menkovic, A. & Westerhoff, W.E., 2010. Formatie van Inden. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-inden.
- Meyus, Y., Batelaan, O. & De Smedt, F., 2000. Concept Vlaams Grondwater Model (VGM), Technisch Concept van het VGM. Deelrapport I: Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen (HCOV). VUB, Brussel, 57 pp.
- NCS (z.j.). National Stratigraphic Commission Belgium. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://natstratcommbelgium.drupalgardens.com.
- Prüfert, J., Schalich, J. & Wilder, H., 1994. Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000: Erläuterungen zu Blatt 5002 Geilenkirchen (2e dr.). Krefeld: Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen.
- Reid, C. & Reid, E.M.,1915. The Pliocene flora of the Dutch-Prussian border. - Mededelingen Rijksdienst voor opsporing van Delfstoffen 6: 1-178.
- Salvador, A. (ed.), 1994. International Stratigraphic Guide. A Guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure. Second Edition. International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy, International Union of Geological Sciences/Geological Society of America, Trondheim/Boulder, 214 pp.

- Schäfer, A., Utescher, T., Klett, M. & Valdivia-Manchego, M., 2005. The Cenozoic Lower Rhine Basin – rifting, sedimentation, and cyclic stratigraphy. International Journal Earth Science (Geol. Rundsch.) 94: 621–639.
- Schokker, J., F.D. de Lang, F.D, Weerts, H.J.T., den Otter, C. & Passchier, S., 2005. Formatie van Boxtel. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-boxtel.
- Schokker, J. & Weerts, H.J.T., 2004. Afzettingsmilieus en faciëseenheden van de Tertiaire en Kwartaire lithostratigrafische eenheden in de ondergrond van Nederland. TNO-rapport NITG 03-194-A.
- Sels, O., Claes, S. & Gullentops, F., 2001. Toelichting bij de Geologische Kaart van België – Vlaams Gewest: Kaartblad 18-10 Maaseik-Beverbeek. BGD & ANRE, Brussel, 50 pp.
- Suc, J.P. & Zagwijn W.H., 1983. Plio-Pleistocene correlations between the northwestern Mediterranean region and northwestern Europe according to recent biostratigraphic and palaeoclimatic data. - Boreas 12: 153-166.
- Tesch, P., 1925-1952. Geologische kaart van Nederland, schaal 1: 50.000 (in 184 deelkaarten uitgegeven). Z.pl.: Rijks Geologische Dienst.
- TNO, 1999. Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij Kaartblad XV Sittard-Maastricht. Utrecht: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.
- TNO, 2000. De lithostratigrafische indeling van Nederland - Formaties uit het Tertiair en Kwartair. NITG – rapport 00-95-A.
- TNO, 2001. Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij kaartbladen XIII en XIV Breda-Valkenswaard en Oss-Roermond. Utrecht: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.
- TNO, 2004. Geological Atlas of the subsurface of the Netherlands – onshore. NITG-TNO, 103 pp.
- TNO, 2005. Geological Atlas of the Subsurface of the Netherlands - onshore. Utrecht: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.
- TNO, 2011. Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond, versie 2011. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via: http://www.dinoloket.nl/nomenclatorShallow/start/start/introduction/index.html.
- Van Adrichem Boogaert, H.A. & Kouwe, W.F.P., 1993-1997. Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands. Mededelingen Rijks Geologische Dienst 50.
- Van Adrichem Boogaert, H.A. & Kouwe, W.F.P., 1993-1997. Formatie van Breda. In: Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/breda-formation-nuba.
- Van Adrichem Boogaert, H.A. & Kouwe, W.F.P., 1993-1997. Formatie van Oosterhout. In: Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/oosterhout-formation-nuot.
- Van Adrichem Boogaert, H.A. & Kouwe, W.F.P., 1993-1997. Laagpakket van Voort. In: Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/voort-member-nmvfv.
- Van Adrichem Boogaert, H.A. & Kouwe, W.F.P., 1993-1997. Laagpakket van Someren. In: Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/someren-member-nmvfs.

- Van Adrichem Boogaert, H.A. & Kouwe, W.F.P., 1993-1997. Veldhoven Klei. In: Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/veldhoven-clay-member-nmvfo.
- Van Dalfsen, W., Van Gessel, S.F. & Doornenbal, J.C., 2007. VELMOD-2 Joint Industry Project. TNO-rapport 2007-U-R1272C, 97 pp.
- Vandenberghe, N., 1988. Formatie van Voort. In: Maréchal, R. & Laga, P., Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Belgische Geologische Dienst, Brussel: 206-207.
- Vandenberghe, N., Burleigh Harris, W., Wampler, J.M., Houthuys, R., Louwye, S., Adriaens, R., Vos; K., Lanckacker, T., Matthijs, J., Deckers, J., Verhaegen, J., Laga, P., Westerhoff, W. & Münsterman, D., 2014. The implications of K-AR glauconite dating of the Diest formation on the paleogeography of the Upper Miocene in Belgium. Geologica Belgica 17(2): 161-174.
- Vandenberghe, N., Laga, P., Louwye, S., Vanhoorne, R., Marquet, R., De Meuter, F., Wouters, K., Hagemann, H.W., 2005. Stratigraphic interpretation of the Neogene marine-continental record in the Maaseik well (49W0220) in the Roer Valley Graben, NE Belgium. Memoirs of the Geological Survey of Belgium 52: 1-39.
- Van der Meulen, M.J., Doornenbal, J.C., Gunnink, J.L., Stafleu, J., Schokker, J., Vernes, R.W. & Van Daalen, T.M., 2013. 3D geology in a 2D country: perspectives for geological surveying in the Netherlands. Netherlands Journal of Geosciences –Geologie en Mijnbouw 92: 217-241.
- Van der Sluys, J., 2000. Verkenningsboringen in het Belgische deel van de Roerdalslenk. Geological Survey of Belgium Professional Paper 2000/3 N.292, 92 pp.
- Van Rooijen, P., 1985. Grondwaterplan Limburg, toelichting op de geohydrologische inventarisatie. Rapport Geologisch Bureau 2008, Heerlen, 28 pp.
- Vernes, R.W. & van Doorn, Th.H.M., 2005. Van Gidslaag naar Hydrogeologische eenheid, Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. TNO-rapport NITG 05-038-B.
- Vernes, R.W., Goes, B., Gunnink, J.L., De Heer, E., Hummelman, H.J., Menkovic A. & Schokker, J., 2009. REGIS Limburg, Uitbreiding van de dataset REGIS II voor de Provincie Limburg. Utrecht: TNO Bouw en Ondergrond, Netherlands Geological Survey. TNO-rapport 2008-U-R34140/A.
- Vernes, R.W., Walvoort, D., Bakker, M., Brus, D., Gunnink, J., Maljers, D., Menkovic, A., Stafleu, J., De Vries, F & van Wirdum, G., in voorbereiding. Proefproject Mariapeel en Deurnsche Peel: Gedetailleerde 3D-modellering van de bodem en ondiepe ondergrond. TNO-rapport TNO 2013 R10053.
- Vos, P.C., Bazelmans, J. ,Weerts H.J.T. & van der Meulen, M.J., 2011. Atlas van Nederland in het Holoceen. Uitgeverij Bert Bakker, Amsterdam.
- Weerts, H.J.T. & Busschers, F.S., 2003. Formatie van Nieuwkoop. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-nieuwkoop.
- Weerts, H.J.T., Cleveringa, P., Ebbing, J.H.J., Land, F.D. de & Westerhoff, W.E., 2003. De lithostratigrafische indeling van Nederland. Formaties uit het Tertiair en Kwartair. Rapport 03-051-A. Utrecht, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.
- Westerhoff, W.E., 2003. Formatie van Breda. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-breda.
- Westerhoff, W.E., 2003. Formatie van Sterksel. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-sterksel.

- Westerhoff, W.E., 2003. Kiezeloöliet Formatie. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/kiezelooliet-formatie.
- Westerhoff, W.E., 2009. Stratigraphy and sedimentary evolution. The lower Rhine-Meuse system during the Late Pliocene and early Pleistocene (southern North Sea Basin). TNO Geological Survey of the Netherlands - Geology of the Netherlands 2, 168 pp.
- Westerhoff, W.E., Kemna, H.A. & Boenigk, W., 2008. The confluence of Rhine, Meuse, and Belgian rivers: Late Pliocene and Early Pleistocene fluvial history of the northern Lower Rhine Embayment. Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw 87: 107-125.
- Westerhoff, W.E. & Weerts, H.J.T., 2003. Formatie van Beegden. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-beegden.
- Westerhoff, W.E. & Weerts, H.J.T., 2003. Formatie van Waalre. In: Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond. Geraadpleegd op 18 februari 2014 via http://www.dinoloket.nl/formatie-van-waalre.
- Westerhoff W.E. & Weerts H.J.T., 2013. Lithostratigraphy. In: Elias S.A. (ed.) The Encyclopedia of Quaternary Science, vol. 4, pp. 227-242. Amsterdam: Elsevier.
- Westerhoff, W.E., Wong, T.E. & Geluk, M.C., 2003. De opbouw van de ondergrond. In: De Mulder E.F.J., Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E. & Wong, T.E. (eds). De ondergrond van Nederland. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO. Geologie van Nederland 7: 247-352.
- Wiers, J., 2001. A hydrological characterization and 3D groundwaterflow model of the Roer Valley Graben. Stageverslag.
- Zagwijn, W.H., 1960. Aspects of the Pliocene and Early Pleistocene vegetation in the Netherlands. Thesis Univ. Leiden. Ook: Mededelingen Geologische Stichting C-III-1-no5, 78 pp..
- Zagwijn, W.H., 1985. An outline of the Quaternary stratigraphy of the Netherlands. Geologie en Mijnbouw 64: 17-24.
- Zagwijn, W.H., 199., Borders and boundaries: a century of stratigraphical research in the Tegelen-Reuver area of Limburg (The Netherlands). Mededelingen Nederlands Instituut Toegepaste Geowetenschappen TNO 60: 19-34.
- Zagwijn, W.H. & Suc, J.P., 1973. Palynostratigraphie du Plio-Pléistocène d'Europe et de Méditerranée nord-occidentales: corrélations chronostratigraphiques, histoire de la végétation et du climat. - Paléobiologie continentale, Montpellier, XIV(2): 475-483.

Bijlage A: Conversie coördinaten en referentieniveaus

De omzetting van GIS-bestanden tussen de coördinatenstelsels RD en Lambert is uitgevoerd met het softwarepakket ArcGIS 10. Daarbij zijn de in tabel 1 vermelde transformaties gebruikt. Deze omzetting werd gebruikt om alle punt- en lijndata (bijvoorbeeld boringen en breuken) om te zetten van het ene coördinatenstelsel naar het andere. Verder werd deze omzetting ook gebruikt om de modellen die via de diepe methode bekomen werden in RD om te zetten naar Lambert.

Tabel A.1: Gebruikte transformaties van RD naar Lambert 72 en van Lambert 72 naar RD in ArcGIS 10

Input	Transformatie	Output
RD_new	Amersfoort_To_ETRS_1989_MB	Belge_Lambert_1972
	Belge_1972_To_ETRS_1989_2	
Belge_Lambert_1972	Belge_1972_To_ETRS_1989_2	RD_new
	Amersfoort_To_ETRS_1989_MB	

Voor de omzetting van hoogtegegevens tussen het NAP referentieniveau en het TAW referentieniveau is uitgegaan van de volgende vergelijking:

hoogte NAP = hoogteTAW - 2,33

Met:
hoogte NAP hoogte ten opzichte van NAP (m)
hoogte TAW hoogte ten opzichte van TAW (m)

Bijlage B: Criteria voor de lithostratigrafische indeling

Deze bijlage geldt als een ondersteuning van de correlatietabel 'H3O modeleenheid - geologisch model' en geeft een motivatie bij de gemaakt keuzes van stratigrafische onderverdelingen. De stratigrafische onderverdeling moet namelijk worden ondersteund door criteria, hanteerbaar op de beschikbare dataset.
Tevens dient deze bijlage ter ondersteuning van een mogelijke invoering van de Nederlandse Laat Mioceen tot recente stratigrafische indeling binnen de Belgische stratigrafie voor wat betreft de Roerdalslenk. Een eerdere versie van deze bijlage werd dan ook voorgesteld in 2013 op de Nationale Commissie voor Stratigrafie van België.

Inleiding

Vertrekpunt voor de omschrijving van de criteria voor de lithostratigrafische indelingen van de Quartaire en jongste Neogene afzettingen zijn de fiches 'De lithostratigrafische indeling van Nederland - Formaties uit het Tertiair en Kwartair', (NITG rapport 00-95-A), de verkorte weergave daarvan in 'De ondergrond van Nederland' (De Mulder et al, 2003) en de informatie over de lithostratigrafische nomenclator(s) op het informatie portaal van de Nederlandse ondergrond DINOloket (http://www.dinoloket.nl/nomenclator). Daarnaast wordt met name voor de mariene Neogene en Paleogene formaties gebruik gemaakt van de lithostratigrafische indeling van de Belgische Neogene en Paleogene formaties door de Nationale Commissie voor stratigrafie (Laga et al., 2001; samenvattende tabel in DOV). Naar deze informatiebronnen wordt verwezen voor wezenlijke doch moeilijk waarneembare eigenschappen zoals ouderdom, herkomst en sedimentaire structuren.

De in het H3O-project gehanteerde lithostratigrafische indeling voor het onderste Neogeen en Paleogeen (Mioceen en ouder) in de Roerdalslenk is gebaseerd op de correlatie tussen de boring Molenbeersel, zoals geïnterpreteerd door Broothaers et al. (2012), met de boringen Asten en Nederweert, geïnterpreteerd door de Geologische Dienst Nederland - TNO (GDN). Die correlatie is vooral gebaseerd op boorgatmetingen.

De opmaak van de correlatietabel voor het Quartair en het jongste Neogeen (de 'continentale' afzettingen) wordt beïnvloed door de hogere graad van complexiteit van de afzettingen en door de drastische aanpassing die er aan Belgische zijde moet gebeuren. De overwegingen om de bestaande Belgische lithostratigrafie in het Nederlandse referentiekader in te lassen zijn als kaderteksten weergegeven. Wat betreft het Quartair wordt vooral gebruik gemaakt van Beerten (2003). Alhoewel deze studie eerder is gepubliceerd dan de Quartairgeologische kaart (Beerten et al., 2005) is dit toch een later werk, dat niet in de via DOV beschikbare stratigrafische codering wordt weergegeven (27 codes).

Het sluit wel beter aan bij de Nederlandse praktijk, wat toelaat een meer coherent stratigrafisch kader voor het Quartair op te bouwen. Wat betreft het mariene Neogeen en Paleogeen wordt gebruik gemaakt van de referentieboring Maaseik-Jagersborg (Vandenberghe et al., 2005), getoetst aan twee controleboringen 48E0321 (Bree Opitterkiezel) en 48E0322 (Tongerlo 't Hasselt). Het belangrijkste aspect aan deze criteria is immers hoe ze op het terrein worden ervaren. Daarom ligt in dit overzicht de nadruk op lithologie en standaard boorgatmetingen. Hieronder zullen de geologische eenheden uit het H3O-project van jong naar oud opgesomd worden met hun eigenschappen.

Holocene afzettingen

- Antropogeen

NL: Antropogeen - opgebrachte grond, code AAOP. In REGIS-II niet apart onderscheiden van de onderliggende eenheid.
VL: Antropogeen, code A, HCOV 0110 Ophogingen
Verder niet onderscheiden.

- Laagpakket van Griendtsveen

NL: Formatie van Nieuwkoop, Laagpakket van Griendtsveen, code NIGR, REGIS HL-c
VL: niet aanwezig
Beschrijving: Jongste Pleistoceen tot Holoceen veen (voorkomen beperkt tot de Peel).

- Formatie van Singraven

Deze formatie bestaat uit grind, grof zand, fijn zand, leem, klei en heel dikwijls veen of veenrijk materiaal en omvat alle Holocene beekafzettingen. Vroeger werd deze eenheid gekarteerd onder de naam beekalluvium en venig beekalluvium. De eenheid is gekarteerd op basis van het reliëf (recente insnijdingen en opvullingen), de bodemkaart, de oude geologische kaart en ondiepe boorbeschrijvingen.

- Formatie van Leut: Mullem klei en Heppeneert leem

Dit is het fijne alluvium getransporteerd en afgezet door de Maas in de huidige alluviale vlakte tijdens het Holoceen, opgebouwd uit oudere Mullem-klei, afgezet voorafgaand aan de ontbossingen (pre-Bandkeramiek), en jongere Heppeneert-leem van na de ontbossingen.
In de Lithostratigrafische schaal van België (2001) is de Formatie van Leut nog onderdeel van de Formatie van Stokkem, dus het grind en de oppervlakkige deklagen groeperend.
In de Nederlandse stratigrafie voor de Roerdalslenk zijn dit de kleilagen die in de winterbedding langs de Maas boven het grind voorkomen, en er de Formatie van Beegden afsluiten.

Formatie van Boxtel

De formatie ligt aan het maaiveld, met uitzondering van de slechts sporadisch voorkomende hierboven vermelde afzettingen en de Holocene deklagen van de Maas (Formatie van Leut). Binnen de Formatie van Boxtel worden de volgende afzettingen aangetroffen: eolische afzettingen (stuifzand, land- en rivierduinen, dekzand, nat-eolische afzettingen, 'desert pavements', löss), kleinschalig fluviatiele afzettingen, niveo-eolische afzettingen, hellingafzettingen, lacustriene afzettingen en organogene vormingen. Veel van deze afzettingen zijn voor een belangrijk deel onder koude, periglaciale omstandigheden gevormd en mogelijk gedeformeerd.
Hercodering van de Belgische sedimenten die tot de Formatie van Boxtel horen is een moeizame taak wegens de veelheid aan gebruikte codes en enig gebrek aan coherentie.

Stratigrafische grenzen

De Formatie van Boxtel rust volgens het superpositieprincipe op de oudere formaties. In de Roerdalslenk is dat doorgaans de Formatie van Sterksel maar in het verbreidingsgebied van de Formatie van Beegden zal deze laatste de onderliggende formatie zijn. Buiten de Roerdalslenk kunnen afzettingen van de Formatie van Boxtel op een verscheidenheid van andere afzettingen voorkomen. In België wordt de Formatie van Boxtel vooralsnog enkel voor de Roerdalslenk geïntroduceerd. Hierdoor is wel een hybride situatie ontstaan.
De ondergrens wordt bepaald op basis van lithologische samenstelling, met name de korrelgrootte. De grens met onderliggende grofkorrelige fluviatiele afzettingen is vaak scherp. Deze grens wordt geaccentueerd door een toename van de korrelgrootte, een afname van het siltgehalte in het zand en in sommige gevallen een toename van het kalkgehalte of glimmergehalte naar beneden toe.
De ondergrens is minder scherp waar relatief dunne lagen dekzand overgaan in herwerkte afzettingen uit de onderliggende Formatie van Sterksel. Aanwezigheid van leem en verweringsbodem zijn in dit geval criteria om de grens te bepalen. De term ongedifferentieerd wordt toegepast als er binnen de eenheid geen sprake is van duidelijk onderscheidbare en op lithologische kenmerken gebaseerde karteerbare laagpakketten. Dit kan onder meer het geval zijn waar herwerkte Maas en Rijn afzettingen werden gecodeerd.

Vergelijking met Belgische lithostratigrafische indeling

De jong-Quartaire afzettingen zijn dun en gevarieerd. Daarenboven worden ze sterk beïnvloed door het bestaande reliëf. Er bestaan verschillende, naast elkaar staande systemen van stratigrafische classificatie en praktische kartering. In de Belgische Quartairstratigrafie is gebruikgemaakt van profieltypes gegroepeerd volgens genetisch model en ouderdom.

De aldus bekomen classificatie is te uitgebreid en complex om te kunnen combineren met de diepere lagen tot een 3D model. Daarom wordt hier enkel een vergelijking gemaakt met de Quartaire formaties onderscheiden door Koen Beerten bij de Quartairkartering van de Roerdalslenk (Beerten et al., 2005, 2005bis; figuur D.1). Deze stratigrafie is gebaseerd op de officiële lithostratigrafische legende gepubliceerd in 2001 (Meuse groep van fluviatiele sedimenten door Gullentops & Paulissen, in Gullentops et al., 2001, vervolledigd met wat eolische sedimenten).
De stratigrafische schaal is gedetailleerd voor de oppervlaktenabije lagen, maar wordt al minder eenduidig op enkele meters diepte waar het onderscheid tussen oorspronkelijke en geremanieerde afzettingen in de meeste boringen quasi onmogelijk is. De oppervlaktenabije formaties kunnen niet enkel op basis van boringen worden gekarteerd maar eerder op basis van bodemkaarten of geomorfologische kaarten. Deze lagen zijn minder relevant voor het 3D model en moeten dus worden gegroepeerd.

Hieronder opgesomde eenheden, die formeel gedefinieerd zijn als formaties, worden in de Formatie van Boxtel opgenomen omdat ze niet als afzonderlijke eenheid in de 3D kartering kunnen worden weergegeven. De redenen hiervoor zijn meervoudig: te dun, te erratisch in voorkomen, positieve reliëfelementen in het landschap vormend boven de grondwatertafel, en doorgaans niet herkend in de gewone boringen waarop de 3D kartering is gebaseerd.

- Dekzand: Formatie van Wildert

Deze formatie bestaat uit fijne zwaklemige allochtone eolische zanden, afgezet tijdens het Weichsel. De dikte van de formatie varieert van minder dan 0.5 m tot meer dan 3 m en zelfs 6 à 7 m in de omgeving van Hamont-Achel.

- Ouder Dekzand

Komt voor onder de Formatie van Wildert en een herwerkt grof zandpakket. Op de basale knik van de steilrand van Bree komt dit ouder dekzand waarschijnlijk overeen met de Formatie van Dilsen, reeds aangetroffen op kaartblad Rekem.

- Duinzand: de Formaties van Bouwel en Hechtel

Deze omvatten lokale verstuivingen van reeds afgezette eolische zanden. De Formatie van Hechtel omvat duinzanden uit het Weichsel (Dryas) terwijl de Formatie van Bouwel alle Holocene verstuivingen van Pleistocene duinzanden en dekzanden groepeert.

- Diverse leemafzettingen

Deze komen voor op het Kempisch Plateau (maar zeker ook op de Vlakte van Waterloos), in dikte variërend van 0.5 tot maximaal 1.5 m, meestal bedekt door de Formatie van Wildert. Mogelijk gaat het hier om eolische leem, loess, min of meer verwant aan de uitgebreide leempakketten die meer naar het zuiden en het oosten voorkomen.

- Herwerkte Maas- en Rijnafzettingen

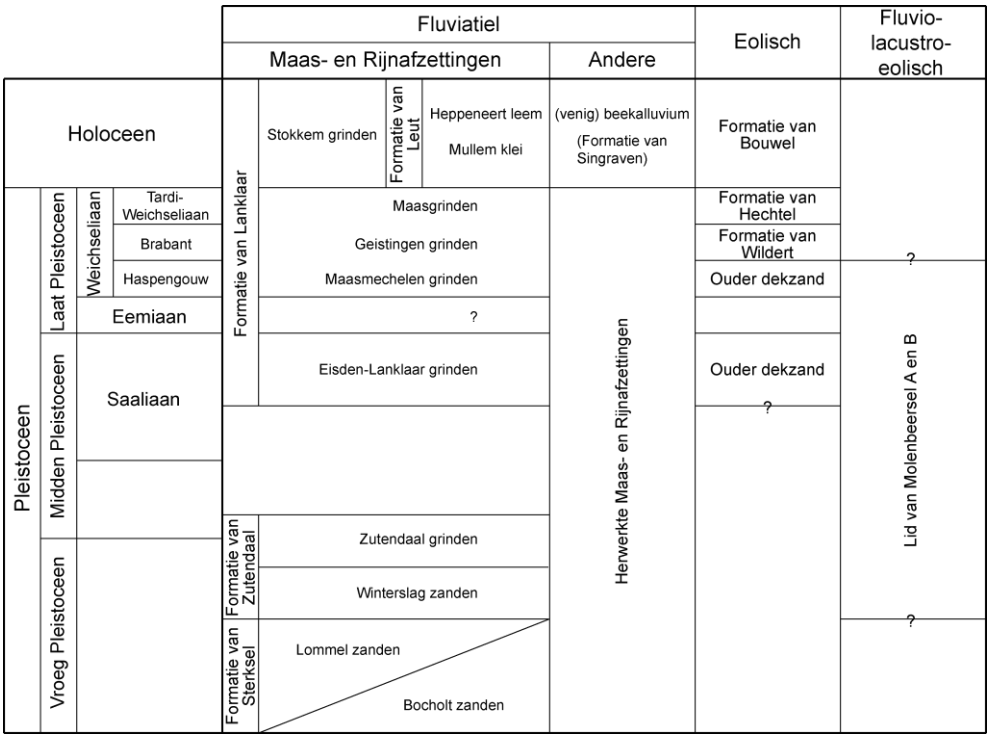
Deze afzettingen onderscheiden zich van de in situ fluviatiele afzettingen op basis van hun geomorfologische positie, de lithologie, de structuren en de zware mineralen. In principe zijn ze voor dit kaartblad op te delen in puinkegelafzettingen, hellingspuinafzettingen en beekafzettingen. In de praktijk zijn ze allemaal samengenomen. Deze niet benoemde en dus zonder formatie-status 'vuilbak' eenheid bestaat uit grof tot middelmatig zand in kleine FU-sequenties van meestal 0.5 m dik. De zware mineralen zijn een menging van Rijnmineralen, Maasmineralen en veel stabiele mineralen. De dikte varieert van 1 à 2 m op het Kempisch Plateau tot meer dan 10 m in de graben. Op de profieltypekaart is deze eenheid voor een deel samengenomen met de eenheid Ouder Dekzand omdat in de standaard boorbeschrijvingen beide facies zeer moeilijk te onderscheiden zijn, in feite enkel in de gekernde boringen en na een grondige analyse. In dit geval kunnen ze ook aan de Formatie van Boxtel worden toegewezen.
De tijdspanne waarin deze lagen afgezet zijn strekt zich uit van het Vroeg-Pleistoceen tot en met het Weichsel. Zij komen op vele plaatsen lateraal voor ten opzichte van het Ouder Dekzand en het Lid van Molenbeersel (A en B).

- Fluvio-lacustriene en lacustro-eolische afzettingen: het Lid van Molenbeersel van de Kinrooi Formatie

Lithostratigrafische definitie en afbakening van deze afzettingen is weinig uitgewerkt, wat het onafhankelijk gebruik ervan niet vergemakkelijkt. Uit de Quartairgeologische kaart blijkt dat er op variabele diepte een leem- en/of kleirijk pakket voorkomt, bestaande uit een afwisseling van lemige klei, kleiige leem, zandleem, en fijn tot soms zelfs grof zand op cm- tot dm-schaal. De dikte van dit lid varieert van 2 tot 5 m en komt enkel voor in de graben.
Deze laag kan vermoedelijk opgesplitst worden in twee eenheden, een oudere en een jongere. Omdat deze opsplitsing voorlopig en nog niet zeker is, is ze enkel aangeduid op de kaart en nog niet in de databank. De onderste eenheid, het Lid van Molenbeersel A genaamd, bevindt zich redelijk diep onder het maaiveld: in boring Gevenhof van 9.39 m tot 14.45 m. Globaal genomen bevindt de top van deze eenheid zich op dieper dan 8 m onder het maaiveld. De zware mineralen zijn een mengeling van stabiele mineralen en mineralen aangevoerd door de Maas uit de Vogezen voor de aftapping van de Moezel. Chronostratigrafisch moet het geplaatst worden voor de aftapping van de Maas nabij Toul en tijdens of na de afzetting van de Winterslag Zanden.
De bovenste eenheid, het Lid van Molenbeersel B begint maximaal op slechts enkele meters onder het maaiveld. De zware mineralen kunnen van een verschillende associatie zijn: een mengeling van stabiele mineralen en Maasmineralen post-aftapping, of gekenmerkt door lokale invloed en Rijninvloed. Chronostratigrafisch moet deze afzetting geplaatst worden tussen de aftapping te Toul (zware mineralen) en het einde van de afzetting van de Formatie van Wildert (Brabantiaan) gezien deze formatie op het Lid van Molenbeersel B teruggevonden is.

De eenheid is afgezet in een milieu met sterk wisselende stroomsnelheden en variabele influxen. Periodes van stromend water wisselden elkaar af met periodes van stilstaand water en aanvoer van eolisch materiaal. Met betrekking tot de zware mineralen zou men kunnen stellen dat vers Maaswater een groot deel uitmaakte van het afzettingsmilieu, waar er naast stabiele mineralen enkel Maasmineralen voorkomen. Als het om afstromend water van het Kempisch Plateau ging zou men veel meer Rijnmineralen in deze afzettingen verwachten, naast lokaal materiaal.

Het Lid van Molenbeersel A komt voor in de Vlakte van Bocholt en de Vlakte van Reppel, meer bepaald tussen de dorpskernen van Hamont en Achel, ten noordwesten van Bocholt, ten zuidoosten van Bree en ten noorden en noordwesten van Kinrooi. Dit lid wordt toegewezen aan de Formaties van Boxtel en Beegden.
Het Lid van Molenbeersel B komt voor op het terras van Mechelen-aan-de-Maas, meer bepaald tussen de gemeenten Neeroeteren, Maaseik, Kessenich en Kinrooi. Verder komt het voor in de Vlakte van Bocholt in een smalle strook ten oosten van Bree, vlakbij de Nederlandse grens ten noordoosten van Bocholt en in de omgeving van Hamont en Sint-Huibrechts-Lille. Geometrisch behoort het Lid van Molenbeersel B duidelijk tot de Formatie van Boxtel en ook qua facies hoort Molenbeersel hier thuis.



Figuur B.1: Stratigrafisch schema Quartairgeologische kartering van kaartblad 10-18 Maaseik (Beerten, 2005).

Formatie van Beegden

De gehele formatie bestaat uit afzettingen die door de Maas zijn neergelegd. Het materiaal van de rivierafzettingen werd aangevoerd vanuit de Ardennen, Noord-Frankrijk en de Vogezen. Grof grind en keien van Ardeense oorsprong (overwicht van diverse zandstenen en silex op kwarts) vormt de meest markante lithologie, al komt ook fijnkorrelige sediment als geulopvulling voor. Leemlagen kunnen voorkomen als tussenschakeling tussen opeenvolgende grind- en zandpakketten. Het REGIS model maakt gebruik van deze leemlagen om de Formatie van Beegden hydrostratigrafisch verder op te delen.
Op grond van dit hoofdcriterium, het grove grind, is de afbakening van deze formatie in de meeste boringen weinig problematisch.
De Formatie van Beegden wordt afgesloten door tijdens het Laat-Glaciaal en Holoceen afgezette leem- en kleilagen. De Lemige afzettingen die voorkomen op terrasafzettingen uit het Laat-Glaciaal worden als Laag van Wychen onderscheiden. De Holocene fijnkorrelige afzettingen die in en langs het huidige Maasdal voorkomen worden in België tot de Formatie van Leut gerekend. In de Nederlandse hydrostratigrafie worden ze als Holocene klei, HL-c, aangeduid.

Stratigrafische grenzen

De grenzen worden bij voorkeur vastgelegd op basis van boormonsters of de lithologische boormonsterbeschrijvingen. De bovengrens met de bedekkende fijne eolische zanden van de Formatie van Boxtel is over het algemeen scherp en duidelijk. Direct langs de Maas in de Roerdalslenk komen aan de bovenkant leem- en kleilagen voor, in België gerekend tot de Formatie van Leut. In de terminologie van REGIS-II worden deze Holocene fijnkorrelige afzettingen als HL-c gecodeerd. De begrenzing van deze kleiige afzettingen kan worden afgeleid uit bestaande kartering van de overstromingsgebieden.
De ondergrens met de onderliggende formaties is over het algemeen scherp. De basis van de Formatie van Beegden bestaat vrijwel altijd uit een ‘lag-deposit’ van grind, veelal met keien en blokken.
Vertanding met de Formaties van Sterksel (grindarm en kwartsrijk) en Beegden (fijnere sedimenten) is mogelijk langs de randen van het verspreidingsgebied. Hoewel dergelijke vertandingen voor de genese en paleogeografie van wezenlijk belang zijn, zijn ze voor de hydrostratigrafische indeling van geen betekenis. Daarnaast geldt dat dergelijke vertandingen in drie dimensies niet karteerbaar zijn en dus niet als aparte lithostratigrafische eenheden gedefinieerd kunnen worden.

Vergelijking met Belgische lithostratigrafie

Hieronder opgesomde eenheden, die formeel gedefinieerd zijn als formaties in de Belgische stratigrafie, worden in de Formatie van Beegden opgenomen:

- Formatie van Lanklaar

De Formatie van Lanklaar (sensu lato) groepeert de dalbodemgrinden: Stokkem (dus geen afzonderlijke formatie meer zoals in 2001), Geistingen, Maasmechelen, Eisden-Lanklaar (sensu stricto). Het is vrij waarschijnlijk dat onder de hier vermelde leden van de Formatie van Lanklaar, er zich in de slenk nog oudere grinden bevinden (m.a.w. het equivalent van het Grind van Zutendaal van op het Kempisch Plateau).
In de Nederlandse stratigrafie voor de Roerdalslenk vormt de Formatie van Beegden het equivalent van de Formaties van Lanklaar en Leut, met een weliswaar ruimere definitie (alle afzettingen van Maasgrind omvattend, inclusief de Holocene alluviale leemafzettingen).
In de Maasvallei ten zuiden van de Roerdalslenk vertegenwoordigen de grindafzettingen (met hun tussenschakelingen) slechts een gedeelte van de Beegden Formatie; het resterende deel is op het Kempisch Plateau terug te vinden als bovenste laagpakket van de Formatie van As (zie hieronder).

- Formatie van As: Zutendaal grind

Het Lid van Zutendaal is een afzetting van fluvio-glaciale grove Maasgrinden in een al dan niet aanwezige leemmatrix met weinig zand; leemlenzen zijn plaatselijk geïntercaleerd. De grinden zijn afgezet tijdens het Cromer en/of het Vroeg-Pleistoceen (pre-aftapping van de Moezel) door een verwilderde grindrivier in een koud klimaat en later verweerd tot de Bodem van As. Hun verbreidingsgebied valt essentieel samen met het oostelijk deel van het Kempisch Plateau (het z.g. berggrind) en breidt zich verder uit naar het noordoosten over de rand van Bree heen. In geen enkele boring in de slenk is echter het typisch facies teruggevonden zodat de Zutendaal grinden maar in een klein gedeelte van de slenk zijn ingetekend.
Verschillende hypotheses worden naar voren geschoven voor de onmogelijkheid om Zutendaal Grind nog in de slenk te karteren: niet voorkomend (t.t.z. door de grotere zakking is het grind onderdeel van een dikker en overwegend zandige afzetting geworden) of verweerd (t.t.z. niet meer te onderscheiden van de andere grindafzettingen, de oplossing die in de Maasvallei wordt aangehouden waar de Formatie van Lanklaar naar onder wordt doorgetrokken om ook het equivalent van het Zutendaal grind te omvatten). Cromerien-grinden, voor zover afgezet in de Roerdalslenk, zullen er dus mutatis mutandis tot de Formatie van Beegden behoren.
Op het Kempisch Plateau, dus buiten de slenk is echter het Grind van Zutendaal een zeer duidelijk onderscheiden en te karteren (of karteerbaar) laagpakket.

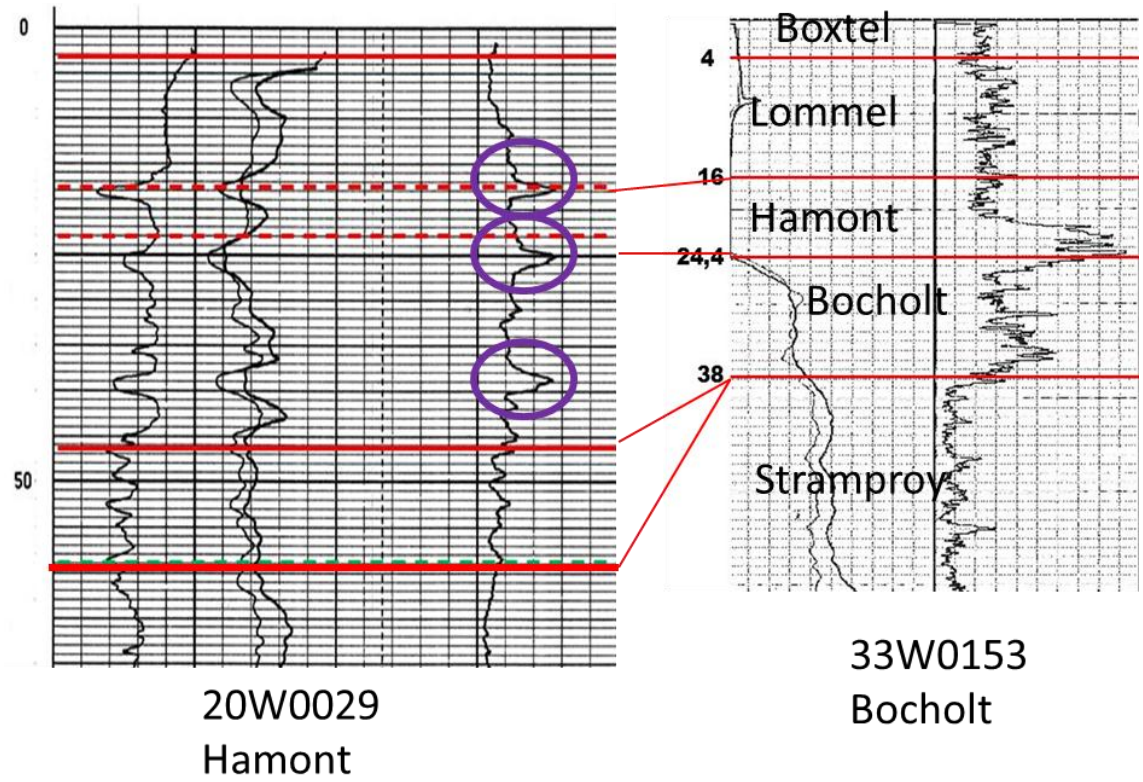
- Formatie van As - Winterslag Zand

Dit Lid bestaat voornamelijk uit middelmatig tot grof zand (minstens 75% is kleiner dan 500 µm) met grinden die verspreid of in banken voorkomen. De sedimentaire structuren wijzen in de richting van een verwilderde rivier. De Winterslag Zanden zijn evenals het erop rustende Grind van Zutendaal afgezet door de Maas tijdens het Vroeg-Pleistoceen.

Een hernieuwde werking van de Rauw-breuk zou deze zandige Maas naar het westen hebben afgeleid.
In de graben bestaan de Winterslag Zanden eveneens uit grof (707 µm) tot fijn (125 µm) zand met grindbijmenging in variabele hoeveelheden. Grootschalige FU-sequenties komen voor. De dikte schommelt tussen de 7 en 15 m.

Formatie van Sterksel

De Formatie van Sterksel bestaat hoofdzakelijk uit grove zanden met grind; kleilagen zijn beperkt aanwezig en hebben slechts een lokale verbreiding. Het betreft gemengde Rijn-Maas afzettingen. De klei kan gelaagd (mm-cm) en massief zijn en is afgezet in verlaten geulen of als oeverafzettigen. Plaatselijk, zoals in het diepere Belgische deel van de Roerdalslenk, kan een opdeling worden gemaakt tussen drie leden van zand (Lid van Bocholt) naar klei (Lid van Hamont) naar zand (Lid van Lommel). Boorgatmetingen maken duidelijk dat kleilagen op meerdere stratigrafische niveaus tot ontwikkeling kunnen voorkomen, zelfs binnen het Belgische voorkomensgebied van de Hamont klei (zie figuur B.2).



Figuur B.2: Correlatie van de Formatie van Sterksel tussen twee boringen in de Roerdalslenk. De stratigrafische onderverdeling van de Formatie van Sterksel in drie leden Bocholt – Hamont – Lommel is enkel mogelijk in het gebied van Bocholt - Hamont dankzij het voorkomen van het Laagpakket van Hamont (BGD-code: 33W0153; DOV-proefnummer: kb18d33w-B160), dat echter lateraal opsplitst in verschillende kleilagen tussengeschakeld in het Zand van Bocholt (cf 3 blauwe cirkels in boring met BGD-code 20W0029 en DOV-proefnummer kb10d20w-B23). De Formatie van Sterksel onderscheidt zich door een hogere gammastraling (rechtse logs per boring). Merk op hoe beperkt de correlatiemogelijkheden binnen de Formatie van Sterksel zijn, zelfs tussen nabijgelegen boringen. In boring 20W0029 ligt de grens met de Formatie van Stramproy beduidend dieper op 59 m.

Stratigrafische grenzen

Het grensvlak met de bovenliggende Formatie van Beegden is scherp en duidelijk op basis van korrelgrootteverschillen en de algemene lithologische samenstelling. De Formatie van Beegden heeft vaak een grof grindhoudende basis terwijl de bovenkant van de Formatie van Sterksel veelal uit matig grof tot zeer grof zand bestaat.
Op grond van verschillen in korrelgrootte is de grens tussen de afzettingen van de Formatie van Boxtel en die van de Formatie van Sterksel meestal duidelijk te trekken. Lokaal kan het leggen van de grens door hersedimentatie van materiaal dat oorspronkelijk tot de Formatie van Sterksel behoorde problematisch zijn.

De formatie van Sterksel ligt op de lichtbruine tot lichtgekleurde kwartsrijke zanden van de Formatie van Stramproy of de grijze glimmerhoudende zanden van de Formatie van Waalre.

Op grond van verschillen in korrelgrootte (de Formatie van Sterksel is meestal duidelijk grofkorreliger) en de door de gesteentesamenstelling veroorzaakte kleurverschillen is de grens met deze onderliggende eenheden duidelijk te bepalen: de grovere fractie in de Formatie van Sterksel bestaat ten dele uit roodbonte (rossige) componenten (o.a. bontzandsteen, veldspaat), een kenmerk dat de onder- en bovenliggende formaties niet bezitten. Dit onderscheid geldt eveneens voor lokale situaties waar de formatie op de nog oudere Kiezeloöliet Formatie ligt.

De grenzen van de Formatie van Sterksel kunnen ad-hoc in boorgatmetingen worden herkend. Doorgaans vertoont deze formatie iets hogere natuurlijke gammastraling dan bovenliggende Formatie van Beegden of de onderliggende Formatie van Stramproy, maar dit is afhankelijk van de klei-bijmenging in ieder van deze formaties. Er kan dus geen eenvoudig model op basis van log signatuur worden vooropgesteld; de indeling per boring moet dus vooreerst worden gebaseerd op de lithologie van de boormonsters.

Vergelijking met Belgische lithostratigrafie

Hieronder opgesomde eenheden, die formeel gedefinieerd zijn als formaties in de Belgische stratigrafie, worden in de Formatie van Sterksel opgenomen:

- Lommel zanden

Deels voor en deels gelijktijdig met het afzetten van de Winterslag zanden is tevens de Rijn aangetrokken geweest door de werking van de Rauw-breuk. Beide zanden zijn dus waarschijnlijk lateraal afgezet. De Lommel Zanden bestaan voornamelijk uit middelmatig tot grof zand (250 µm tot 707 µm) in FU-sequenties van enkele decimeter tot een drietal meter. Sommige niveaus zijn zeer grindrijk. De zware mineralen zijn typisch van de Alpen. Dit zijn typische kenmerken voor de Formatie van Sterksel.
De Lommel Zanden komen voor ten noorden van de lijn Ellikom-Reppel-Bocholt. De dikte varieert van 7-8 m op het plateau tot 15 m in de slenk. In boring Bocholt (33W153) wordt ‘vermoedelijk slechts 3 m’ gemeld (opmerking: 12 m in Van der Sluys, 2000, dikte die hier wordt aangehouden).
De ouderdom is Vroeg-Pleistoceen. Op plaatsen waar de Lommel Zanden eerder dun zijn, lijkt de Hamont Klei beter ontwikkeld. Een mogelijk verband hiertussen is nog niet onderzocht.

- Bocholt zanden

Een aantal boringen in de graben geven aan dat dit Rijnfacies onder de Zanden van Winterslag voorkomt. Het betreft een middelmatig tot grof zand, mode tussen 354 µm en 707 µm, met bijmenging van fijn grind, dikwijls granulegrind, en vooral onderaan met talrijke kleibrokken.

De basis is meestal een zeer heterogene afzetting van grof grind, zand, leem en klei (mogelijk een debris flow). Er komen FU-sequenties voor tot 1 m. De dominante zware mineralen zijn granaat (wisselend gehalte), alteriet, epidoot en groene hoornblende.
Het verbreidingsgebied is ten noorden van de steilranden van Bree en Reppel. De dikte varieert van 4.5 m over een typische waarde van 10 à 15 m tussen de breuktrappen, tot 26 m in het noordoosten (boring 20W0029).
Deze zanden zijn afgezet tijdens het Vroeg-Pleistoceen door een verwilderde rivier met vooral in het begin van de afzetting een zeer grote sedimentlast. In de graben vormen deze afzettingen een mogelijk breukgebonden begraven west-oost tot zuidwest-noordoost rand.
Het precieze verband tussen de Lommel Zanden, Bocholt Zanden, Winterslag Zanden en Zutendaal Grinden is nog steeds troebel. Nieuwe gekernde boringen wijzen uit dat tenminste een gedeelte van de Bocholt Zanden ouder zijn dan de Winterslag Zanden terwijl dit laatste facies ouder is dan de Zutendaal Grinden. De Lommel Zanden zijn deels een equivalent van de Bocholt Zanden en deels jonger dan deze zanden terwijl ze minstens even oud of ouder zijn dan de Winterslag Zanden. Een mogelijke verklaring hieromtrent zou kunnen zijn dat de Lommel Zanden een verweerd facies van de Bocholt Zanden zijn. De groene hoornblende is dan als minst stabiel mineraal als eerste verweerd. Een tegenargument voor deze hypothese is het feit dat de Lommel Zanden grotere FU-sequenties heeft en meer en grover grind bevat.

- Hamont Klei

In twee recente boringen uitgevoerd in het kader van deze kartering en in een aantal oudere boringen ten noorden van Bocholt hebben we een zeer kleiig facies aangetroffen, geïntercaleerd tussen beide Rijnzanden. Lithologisch bestaat deze eenheid uit lemige klei tot kleiige leem aan de top, overgaand in zandige leem en lemig fijn zand met uiteindelijk aan de basis fijn (88-125 µm) tot middelmatig (max. 250 µm) zand. In boring 20W0029 komt deze laag voor van 19 m tot 37 m onder het maaiveld, in 3 FU-sequenties (opmerking: van 19-23 m, met daaronder een voortzetting in vergelijkbaar zandiger facies van het Lid van Bocholt, in Van der Sluys, 2000). Effectief kan deze laag 7 m dik worden. De zware mineralen wijzen in eerste instantie op een gemengde afkomst van Maas en Rijn. Een groot percentage ilmeniet is kenmerkend.
De afzettingsomstandigheden voor deze eenheid waren eerder rustig, met in het begin nog fluviatiele invloed, later overgaand in een gesloten milieu. Zowel een verlaten arm van een meanderend systeem als een meer komen in aanmerking. In dit laatste geval zouden deze afzettingen onder de lacustriene afzettingen ondergebracht moeten worden. De Hamont Klei heeft dus een beperkte geografische verbreiding en dient eerder als een tussenschakeling.

Formatie van Stramproy

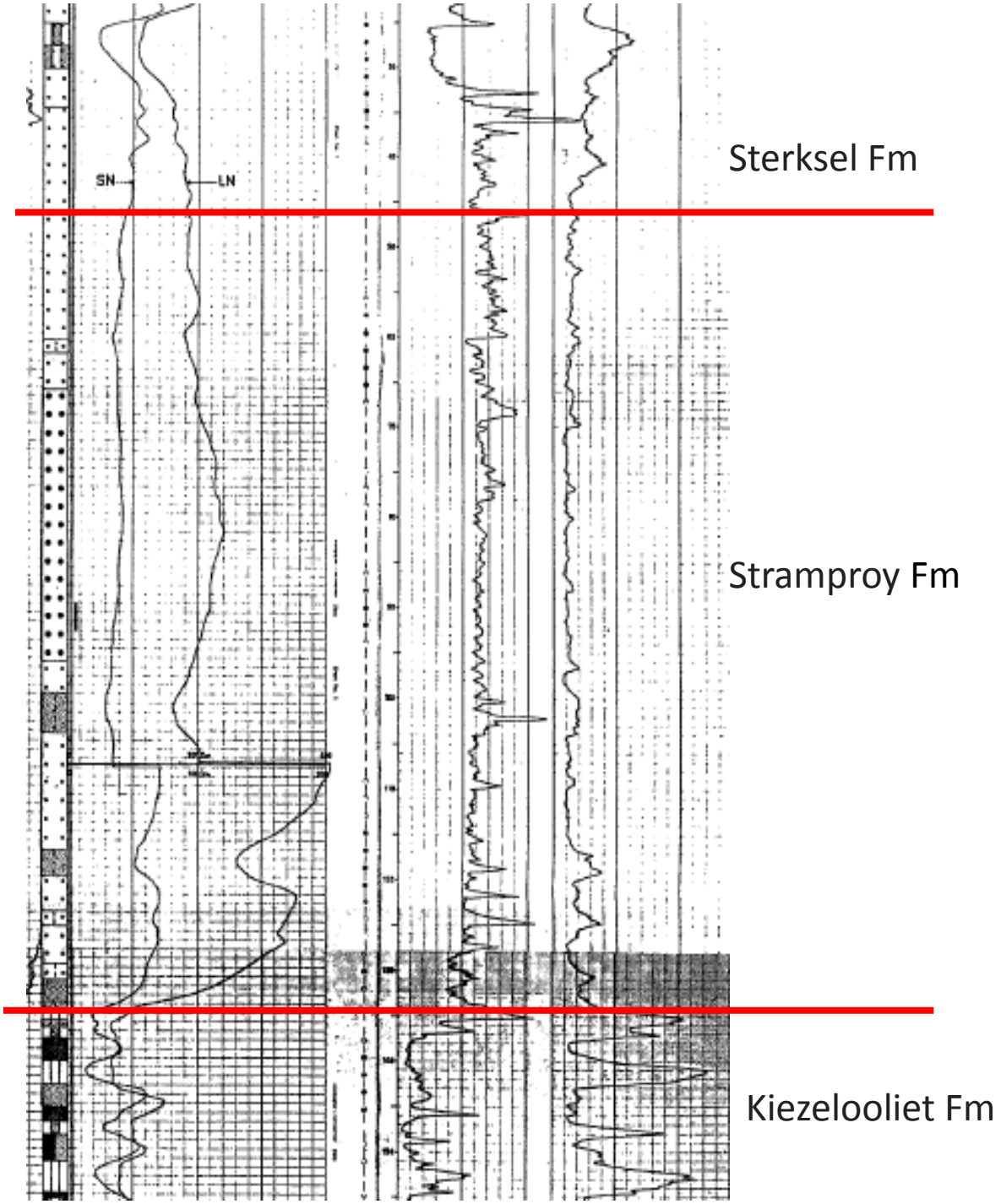
Deze formatie groepeert ligniet- en kleihoudende zanden die daardoor van spierwit tot bruingekleurd zijn, wat onderscheid met bovenliggende formaties toelaat. De afzettingen van de Formatie van Stramproy vertegenwoordigen een grote tijdsspanne, waarin veelal non-depositie plaatsvond, maar die toch resulteerde in een vrij dik pakket dat 110 m dikte kan bereiken. De afzettingen bestaan uit kleinschalige fluviatiele sedimenten, eenheden gevormd door sneeuwsmeltwater, en eolisch gevormde lagen, deels onder periglaciale condities. Desondanks heeft deze formatie een standvastig voorkomen over het Belgisch studiegebied en in grote delen van Zuid Nederland.
Op boorgatmetingen onderscheidt de Formatie van Stramproy zich door de erg lage waarde van de natuurlijke gammastraling in de kwartsrijke zanden (zie figuur B.3). Hogere waarden van de gammastraling treden op door intercalatie van sporadisch voorkomende kleiige lagen, vooral in het onderste deel van de formatie waar vaak twee tot drie kleilagen relatief dicht op elkaar aanwezig kunnen zijn.

Stratigrafische grenzen

De bovengrens is veelal erosief met een duidelijke overgang naar grindhoudende of grofzandige afzettingen van de Formaties van Beegden of Sterksel. Op basis van boorgatmetingen is deze formatie goed te onderscheiden van de bovenliggende Formatie van Sterksel, iets minder goed tov de bovenliggende Formatie van Beegden maar in dit geval volstaan de aanwezigheid van een basisgrind met keien in de Formatie van Beegden om het onderscheid te maken.
De ondergrens is erosief en duidelijk waar te nemen als onder de zandige afzettingen van de Formatie van Stramproy kleiige afzettingen van de Formatie van Waalre voorkomen. De ondergrens is licht erosief en onduidelijk als onder de Formatie van Stramproy zandige afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie voorkomen. In de praktijk wordt de grens boven de eerste duidelijke ‘floodplain’ laag gelegd, een kleilaag al dan niet met ligniet, en traditioneel geassocieerd met de Reuver Klei. In Nederland geldt als vuistregel dat de bovenste kleilaag van de Kiezeloöliet Formatie hard en stevig is en vaak laagjes ligniet en houtresten bevat. Daarentegen zijn de onderste kleilagen van de Formatie van Stramproy veelal minder hard, zandiger en bevatten ze duidelijk minder lignietresten. Op basis van boorgatmetingen valt de basis van Stramproy samen met de eerste duidelijke vermindering van de resistiviteit, naar typische klei-achtige waarden die kenmerkend zijn voor de klei-intervallen van de Kiezeloöliet Formatie. In de natuurlijke gammastraling is de bijbehorende piek niet zo opvallend, vermoedelijk wegens het hoge lignietgehalte van de bovenste kleilaag van de Kiezeloöliet Formatie.

Vergelijking met Belgische lithostratigrafie

De Formatie van Stramproy wordt nieuw ingevoerd in België en afgesplitst van de vroegere Belgische Kiezeloölietformatie. Hier stelde zich een wezenlijk probleem: de grens tussen de leden van de Belgische Kiezeloölietformatie kwam niet overeen met de grens tussen de Nederlandse Stramproy en Kiezeloöliet Formaties. De Belgische praktijk om het kleiniveau geassocieerd met Brunssum I als grens te nemen tussen de leden van Jagersborg (grotendeels overeenkomend met de Stramproy Formatie) en Brunssum I verschilde van de Nederlandse die de bovenste kleilaag als grensvlak neemt tussen de formaties van Stramproy en de Kiezeloöliet. In de Belgische praktijk omvatte het Lid van Jagersborg het gehele interval tussen de basis van Sterksel of Beegden en de Brunssum I Klei. De Nederlandse grens tussen Stramproy en Kiezeloöliet komt dan overeen met de grens tussen 'zandig' en 'kleiig' Jagersborg (Stramproy in eerste H3O rapport dd. 24.08.2012) maar niet ondubbelzinnig, vermits de Belgische correlatie op basis van algemene log-signatuur wordt gelegd en de Nederlandse indeling op basis van de eerste goed ontwikkelde kleilaag. De Belgische grens is meer statisch en gemakkelijker te correleren, de Nederlandse meer dynamisch en veranderlijk, ten minste gezien vanuit het Belgische deel van Roerdalslenk.
Vermits het uitgangspunt de Nederlandse stratigrafische indeling is wordt het huidige concept van Lid van Jagersborg verlaten. De ondergrens van de Formatie van Stramproy wordt dan gelegd op de klei met ligniet die als Reuver Klei bekend staat. Deze is in referentieboring met BGD-code 49W0220 en DOV-proefnummer kb18d49w-B220 (Maaseik – Jagersborg) geïdentificeerd op 50,50 m, in gebruikelijk facies (Vandenberghe et al., 2005) en komt overeen met de grens tussen 'zandig' en 'kleiig' Jagersborg (24.08.2012). Voorgesteld wordt daarom voor het gehele gebied de ondergrens van Stramproy te laten samenvallen met de grens 'zandig'- 'kleiig'Stramproy, ook al is de 'Reuver'klei aan de top niet steeds even goed ontwikkeld of voldoet niet aan het criterium dikker dan 5 m. Vermoedelijk komt deze grens overeen met een belangrijk hiaat want de Formatie van Stramproy vertoont een duidelijke onlap in zuidwestelijke richting, met een steeds belangrijker wordend stratigrafisch hiaat eronder.
Dus: Stramproy Formatie (NL) = Jagersborg, post Reuver (Vandenberghe et al., 2005).



Figuur B.3: Log interpretaties van boring 57H58, de typelokaliteit van de Stramproy Formatie (Typesectie 46,30 - 136,80 m). De twee linkse logs omvatten resistiviteitsmetingen en de meest rechtse deze van natuurlijke gammastraling.

Waalre Formatie

Deze formatie bestaat, in de Roerdalslenk, uit een aantal gestapelde 'fining upward' sedimentatie cycli, die in korrelgrootte kunnen variëren van grind tot klei, met overwegend zand. De cycli zijn ook in boorgatmetingen herkenbaar.

In vergelijking met de andere formaties in de Roerdalslenk vallen de relatief veel voorkomende dikke kleirijke lagen op.
De formatie bestaat uit fluviatiele en estuariene afzettingen van het Rijn-Maas systeem. Tijdens de vorming van de afzettingen van de Formatie van Waalre stroomde de Maas via het oostelijk deel van Zuid-Limburg naar de Rijn ten noorden van Aken. Daardoor komen er in de formatie Maascomponenten voor, die vooral in de grovere fracties herkenbaar zijn. Er bestaat een grote variabiliteit in de kleiafzettingen waarvan de laterale correleleerbaarheid over grotere afstanden moeilijk is. De volgende kenmerkende lithofaciestypen komen voor:

- Geulopvullingen, over het algemeen in verlaten meanderbochten van de rivier.
- Komafzettingen, die zijn gevormd in de riviervlakte.
- Oever- en crevasseafzettingen, die bestaan uit een kleinschalige afwisseling van zand- en kleilagen.
- Estuariene en/of lagunaire afzettingen (dit facies type is vooral bekend in de transitie zone naar het mariene of kustnabije sedimentatie domein)

De ouderdom is Laat-Plioceen (Reuverien) en Vroeg-Pleistoceen. De vroeger als Klei van Tegelen aangeduide kleilaag wordt nu onderscheiden in het Laagpakket van Tegelen dat alle afzettingen van de formatie omvat die op het Peelblok voorkomen. Kleilagen in de Roerdalslenk kunnen op geen enkele manier met de Klei van Tegelen gecorreleerd worden.
De afzettingen van de Formatie van Waalre kunnen onder de volgende eenheden voorkomen:

- Formatie van Stramproy. In zandige afzettingen is de grens duidelijk en soms scherp. De grijze glimmerhoudende zanden van de Formatie van Waalre vormen een duidelijk contrast met de gebleekte zanden van de Formatie van Stramproy. In opeenvolgingen met afwisselend zand- en kleilagen wordt de grens gekenmerkt door de mineralogische verandering in de samenstelling van de zandlagen tussen de klei.
- Formatie van Sterksel. De grens met afzettingen van deze formatie is over het algemeen scherp als gevolg van erosie. De basale afzettingen van de Formatie van Sterksel zijn vaak grofkorrelig en grindhoudend. Het gehalte aan roodbonte componenten (zandsteen, veldspaat e.d.) is in de afzettingen van de Formatie van Sterksel beduidend hoger dan in de zanden van de Formatie van Waalre. De grens tussen beide formaties kan worden gekenmerkt door een duidelijke roestbruine tot oranje kleur als gevolg van neerslag van ijzerhydroxiden. Een situatie die vooral bekend is in het verspreidingsgebied op het Peelblok.

Stratigrafische grenzen

De afzettingen van de Formatie van Waalre liggen op afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie. Indien de top van de Kiezeloöliet Formatie wordt gevormd door klei van de Laag van Reuver of het Laagpakket van Brunssum is de grens scherp.

Ook de grens tussen zandige sedimenten van de Kiezeloöliet Formatie en de Formatie van Waalre is over het algemeen scherp en wordt gekenmerkt door een contrast tussen witte, kwartsrijke, zanden van de Kiezeloöliet Formatie en grijze glimmerhoudende zanden van de Formatie van Waalre. Daarnaast is het veelvuldig voorkomen van grindhoudende afzettingen aan de basis van de Formatie van Waalre eveneens een belangrijk criterium bij het bepalen van de ondergrens.

Vergelijking met Belgische lithostratigrafie

De afzettingen van de Formatie van Waalre in de Belgische Noorderkempen (buiten het studiegebied) worden als het Complex van de Kempen aangeduid. Binnen dit complex worden tussen twee wijdverbreide estuariene/lagunaire kleilagen (leden van Rijkevorsel en Turnhout) eolische zanden met cryoturbate verschijselen aangetroffen (Lid van Beerse). Het Lid van Beerse wordt gecorreleerd met afzettingen van de Formatie van Stramproy in Nederland en geldt als voorbeeld van een vertanding tussen de Formaties van Waalre en Stramproy.

Maassluis Formatie

Mariene schelphoudende en licht glauconiethoudende zanden, die voornamelijk tijdens het Vroeg-Pleistoceen zijn afgezet. Tussen deze zanden, die variëren van grof tot fijn, komen (overigens meestal zandige) kleilagen of kleilenzen voor. Deze formatie komt enkel voor in het Brabantse uitbreidingsgebied van het H3O project.

Stratigrafische grenzen

De Formatie van Maassluis wordt bedekt door fluviatiele zanden en getijde-afzettingen (zanden en kleien) van de Formatie van Waalre. Deze grens is erosief.
De grens tussen de Formatie van Maassluis en de bovenliggende afzettingen van de Formatie van Waalre wordt gekenmerkt door de afwezigheid van (mariene) schelpen in laatstgenoemde afzettingen. Wel kunnen in zanden onder in de Formatie van Waalre omgewerkte mariene schelpen voorkomen, waardoor de bovengrens van de Formatie van Maassluis niet altijd duidelijk is.
De Formatie van Maassluis ligt vrijwel overal op mariene afzettingen van de Formatie van Oosterhout. De grens tussen beide formaties is meestal geleidelijk en wordt gekarakteriseerd door de afname in korrelgrootte en een toenemend glauconietgehalte van het bovenste deel van deze laatste eenheid. Daar waar een kleilaag (Laagpakket van Wouw) voorkomt, is de grens met de Formatie van Oosterhout scherp.

Kiezeloöliet Formatie

De formatie bestaat uit fluviatiele en in kustvlaktes afgezette sedimenten van voorlopers van Rijn en Maas. Deze rivieren vormen het afwateringsstelsel dat zich ontwikkelt door de opheffing van het Rijnleisteenmassief. Ze transporteren het sterk door chemische verwering aangetaste dekmateriaal, dat op de tertiaire schiervlakte lag, in noordwestelijke richting. De sedimenten bestaan dan ook uit zeer kwartsrijke zanden met een zeer stabiele zware mineralen samenstelling. Tijdens de vorming van de afzettingen vinden er grootschalige tektonische bewegingen in het afzettingsgebied (Nederrijnse Laagvlakte) plaats. Gedurende de vorming van de afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie komen fasen voor met weinig grofklastische sedimentatie. Tijdens deze fasen komt het regionaal tot afzetting van dikke kleilagen. Tot bruinkool ingekoolde veenlagen komen veelvuldig voor en representeren perioden van non-depositie. De vorming van de kleilagen hangt, daar waar ze grote dikten bereiken (≥ 10 m) mogelijk samen met synsedimentaire lokale tot regionale daling binnen de grotere tektonische eenheden van het afzettingsgebied. Bij gemiddelde dikten tot 5-10 m hebben de kleien alle facies kenmerken van komkleien (floodbasin).

Op grond van kenmerkende lithologie, stratigrafische positie en verbreiding worden in de Kiezeloöliet Formatie een aantal laagpakketten onderscheiden (stratigrafisch van onder naar boven):

- Laagpakket van Waubach

Het Zand van Waubach is de onderste en vrij regelmatige eenheid aan de basis van de Kiezeloölietformatie. Hij bereikt ook aanzienlijke diktes, gemiddeld zo ‘n 60 m.
In Nederlands Zuid-Limburg aan of nabij het maaiveld voorkomend als grind (Waubach Grind cf. *Doppert et al., 1975*) en zand, uiterst grof (420 -2000 µm), sterk grindig en in het basale deel van de formatie in de Roerdalslenk kwartszand (Waubach Zanden cf. *Doppert et al., 1975*), matig fijn tot uiterst grof (150 - 2000 µm). Het is tevens de enige stratigrafische eenheid die goed is ontsloten – soms zelfs versteend - tussen de zuidelijke breuktrappen van de Feldbiss en de Heerlerheide breuken, ten zuiden van Neeroeteren (Belgisch Limburg).
In de boorgatmetingen is dit laagpakket goed af te bakenen door het voorkomen van een of meerdere coarsening upwards sequenties, vaak afgesloten door een zandpakket zonder granulometrische tendens en wat betreft de facies aansluitend bij de zanden die in het bovenliggend Laagpakket van Brunssum voorkomen. De kleiige tussenlagen zijn niet overal als dusdanig ontwikkeld, ook al doet de terugval op de resitiviteitscurve zulks veronderstellen, vandaar dat dit laagpakket hydrogeologisch doorgaans als één doorlatend zandlichaam wordt beschouwd.

Opvallend is dat aan de top van Waubach sequentie lokaal in het zuidwestelijke deel van het modelgebied (bijvoorbeeld het interval 127-148 m in boring Maaseik-Jagersborg, dat door Vandenberghe et al. (2005) een onderste sequentie van Pey zand genoemd werd) een laagpakket kan worden onderscheiden van 10 à 20 m dikte met hydrologische kenmerken van het goed doorlatende Zand van Pey. Dit laagpakket onderscheidt zich sedimentologisch van de onderliggende braided river sequenties, kenmerkend voor Waubach, en verwijst al naar de bovenliggende lacustriene – meanderende Brunssum sequentie.

- Laagpakket van Brunssum

Klei, grijsbruin tot donkerbruin, zwak zandig tot sterk siltig, met in dikte wisselende (dm tot tientallen m) inschakelingen van fijn tot matig grof (150 - 300 µm) zand en veelvuldig ingeschakelde bruinkoollagen (Klei van Brunssum cf. *Doppert et al., 1975*). De klei is veelal compact en stevig. Plaatselijk komen lichtgekleurde kaolienhoudende kleilagen voor. De eenheid komt in Zuid-Limburg aan of nabij het maaiveld voor en is tot in de omgeving van Weert goed te vervolgen.
In boorgatmetingen is dit laagpakket goed af te bakenen op grond van de kleilagen die als aquiclude optreden en tussenliggende goed doorlatende zanden (met hoge resistiviteitswaarden) insluiten. In de boorpraktijk kwam het er vooral op aan deze kleilagen te onderscheiden, waarbij de ingeschakelde zandlaag, die plaatselijk geschikt is voor waterwinning, Zanden van Peij worden genoemd. De Belgische lithostratigrafische onderverdeling was hierop gebaseerd; met name herkenning van de onderste Brunssum klei (Brunssum II Lid genoemd) was essentieel voor de plaatsing van de filters in de waterputten.

- Laag van Venlo

Klei, zwak zandig tot zwak siltig, stevig tot zeer stevig, bruingrijs tot donkerbruin, vaak echter ook met lichtgrijze en groenige tinten (Klei van Venlo cf. *Doppert et al., 1975*). Aan de bovenzijde komt vaak een bruinkoollaag of komen inschakelingen van bruinkool voor. De laag is goed karteerbaar in het grensgebied van Tegelen-Venlo en noordelijk daarvan op de sterk gedaalde tectonische blokken die ook wel als Slenk van Venlo worden aangeduid. De laag wordt in de Roerdalslenk echter niet onderscheiden, en is dus in de stratigrafische onderverdeling van het modelgebied niet opgenomen.

- Laag van Reuver

Klei, zwak zandig tot zwak siltig, grijsblauw en bruingrijs, stevig (Klei van Reuver cf. *Doppert et al., 1975*). Kenmerkend is het voorkomen van 2 (lokaal 3) bruinkoollagen aan de bovenkant van de laag. Plaatselijk fijne tot matig fijne zandlaagjes. De laag is goed karteerbaar op de oostelijke Peelhorst in de omgeving van Reuver, Belfeld en Tegelen. In het centrale deel van de Roerdalslenk (omgeving van Eindhoven en Veldhoven) is het veronderstelde voorkomen van de Laag van Reuver in het verleden vooral op pollenanalytische gegevens gebaseerd.

De zogenaamde Reuver Klei werd ook geïdentificeerd op basis van pollenanalyse in de boring Maaseik-Jagersborg (Vandenberghe et al., 2005), maar kan echter niet eenduidig worden gecorreleerd met het typegebied.

Stratigrafische grenzen

In het uiterste zuiden dagzoomt de Kiezeloöliet Formatie of wordt discordant overdekt door afzettingen van de formaties van Beegden of Boxtel. In het centrale deel van het modelgebied worden de afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie bedekt door afzettingen van de Formatie van Stramproy. De grens tussen deze twee eenheden is moeilijk vast te stellen op basis van de zandige component. De grijswitte zanden van de Formatie van Stramproy bestaan ook uit kwartsrijk materiaal, maar zijn doorgaans fijnkorreliger terwijl het zand in de Kiezeloöliet Formatie doorgaans toch grover en heterogener is. In het overgangsgebied komen eveneens zeer fijne tot matig fijne zanden (105 – 210 µm) voor. Een duidelijk verschil is waarneembaar in de klei- en humeuze lagen van beide formaties. In de Kiezeloöliet Formatie betreft het veelal relatief dikke (gemiddeld 1 ->5m) kleilagen met duidelijke bruinkoollagen, terwijl de kleilagen onder in de Formatie van Stramproy meestal minder dik (gemiddeld < 2m) zijn, een wat hoger zandgehalte hebben en ook minder stevig zijn. Ook is het organische stofgehalte vergeleken met de kleilagen in de Kiezeoöliet Formatie vaak geringer en komen er slechts sporadisch humeuze of veenlagen in voor.

In de omgeving van Bree - Maaseik wordt de basis van de Formatie van Stramproy gekenmerkt door een dikke licht kleiige bruinkoollaag ('Reuver' equivalent). Opmerkelijk is wel dat de op pollenanalytische gronden als Reuverien aangeduide kleilaag (Vandenberghe et al., 2005) overeenkomt met sterke terugval in de resistiviteit maar in de gammastraling geen piek geeft (laag kleigehalte en hoog aandeel organisch materiaal): op pollenanalytische gronden alleen zou deze grens verkeerd kunnen worden gelegd.

In een zone langs de Peelrandbreuk in het noordoostelijke deel van het modelgebied wordt de Kiezeloöliet Formatie bedekt door afzettingen van de Formatie van Waalre. Noordelijk van het modelgebied wordt de Kiezeloöliet Formatie in de gehele Roerdalslenk bedekt door afzettingen van de Formatie van Waalre. Op de tektonische blokken langsheen de slenk komen erosieresten van de Kiezeloöliet Formatie voor, die goed zijn te onderscheiden van de bedekkende grofzandige afzettingen van de Maas (Formatie van Beegden).
Over het algemeen liggen de afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie op afzettingen van de Formatie van Breda. De grens hiermee is scherp; het contrast tussen de grovere, witte, kwartsrijke afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie en de fijnere, grijze of groene, glauconiethoudende afzettingen van de Formatie van Breda is duidelijk. In een groot deel van het zuidelijke modelgebied rust het Laagpakket van Waubach op de Formatie van Inden. Ook deze grens is scherp, maar niet steeds eenduidig qua interpretatie (zie hieronder).

In het zuidwestelijke deel van het modelgebied (regio Hamont - Neerpelt – Bocholt) verdikt de Waubach sequentie, tegen de algemene trend in. Onder deze sequentie komt er een tot 50 m dik lichtgekleurd zandpakket bij dat qua log-signatuur gecorreleerd kan worden met de meer oostelijk gelegen Formatie van Inden en dat rust op fijne groene glauconiethoudende zanden die tot de Formatie van Diest worden gerekend. Deze sequentie bevat zowel glauconiet als ligniet, in een estuariene setting geremanieerd uit oudere lagen. In afwachting van nader stratigrafisch onderzoek wordt deze onderste eenheid aan de Formatie van Breda toegewezen. Het contact met het onderliggende groene zand blijft in de boringen immers het meest markante niveau en geldt ook als signaal om de boring stop te zetten.

Vergelijking met Belgische lithostratigrafie

In het Laagpakket van Brunssum werden volgende lithologische eenheden benoemd, waarvan de namen onder voorbehoud worden gegeven omdat grootschalige correlaties door scharing of uitwigging geometrisch niet eenduidig zijn. Deze eenheden worden lokaal nog courant gebruikt. Op zich is dit geen probleem binnen een beperkt gebied, maar over het geheel van het modelgebied blijkt desondanks dat laag-per-laag correlatie onmogelijk vol te houden is. Zelfs in het relatief kleine Belgische deel van de Roerdalslenk vallen drie breukgebonden arealen te onderscheiden waartussen de kleilagen niet eenduidig correleren, van NW naar SE Neerpelt – Bocholt (tussen breuken van Grote Brogel en Bocholt), Bree – Maaseik (ten noorden van breuken van Elen – Neeroeteren), en Elen – Rotem (tussen breuken van Elen – neeroeteren en Heerlerheide).
Van boven naar onder worden zo onderscheiden:

- Lid van Brunssum I (naamgeving in België, in Nederland als Laag te bestempelen)

Dit doorgaans samengesteld pakket met meerdere kleilagen bevat doorgaans één plastische en compacte kleilaag, minstens één meter dik met afsluitende eigenschappen, dus een belangrijke grens in het hydrologisch systeem. In vergelijking met de bovenliggende kleirijke lagen zal zich dit uiten door hogere piekjes in de natuurlijke gammastraling en/of een minimum in de resistiviteitsmeting (zie figuur B.4). Naar hydrostratigrafie is de resistiviteitswaarde belangrijker dan de pieken in de natuurlijke gammastraling.
De Brunssum I Klei (of lid) zal meestal niet uit slechts één enkele kleilaag bestaan; integendeel is het een pakket met zand – klei – ligniet afwisseling. Indien men dit laagpakket als aquiclude wil gebruiken, moet de boven- en ondergrens dus bestaan uit een relatief dikke plastische kleilaag en niet uit de bovenste of onderste kleilaag van de sequentie wanneer deze nog zwak doorlatend zouden zijn. Dergelijke inconsistente en/of zwakdoorlatende kleilagen komen dan in boven- of onderliggende stratigrafische eenheden terecht. Continuïteit en bijgevolg correlaties gelden dus voor het pakket in zijn geheel. Aldus gedefinieerd blijkt de Brunssum I klei in de meeste boringen herkenbaar. Problematisch in het gebruik van de benaming Brunssum I of II klei is de sterk wisselende dikte van de kleilagen, waartussen nog goed doorlatende zanden kunnen voorkomen, eveneens met

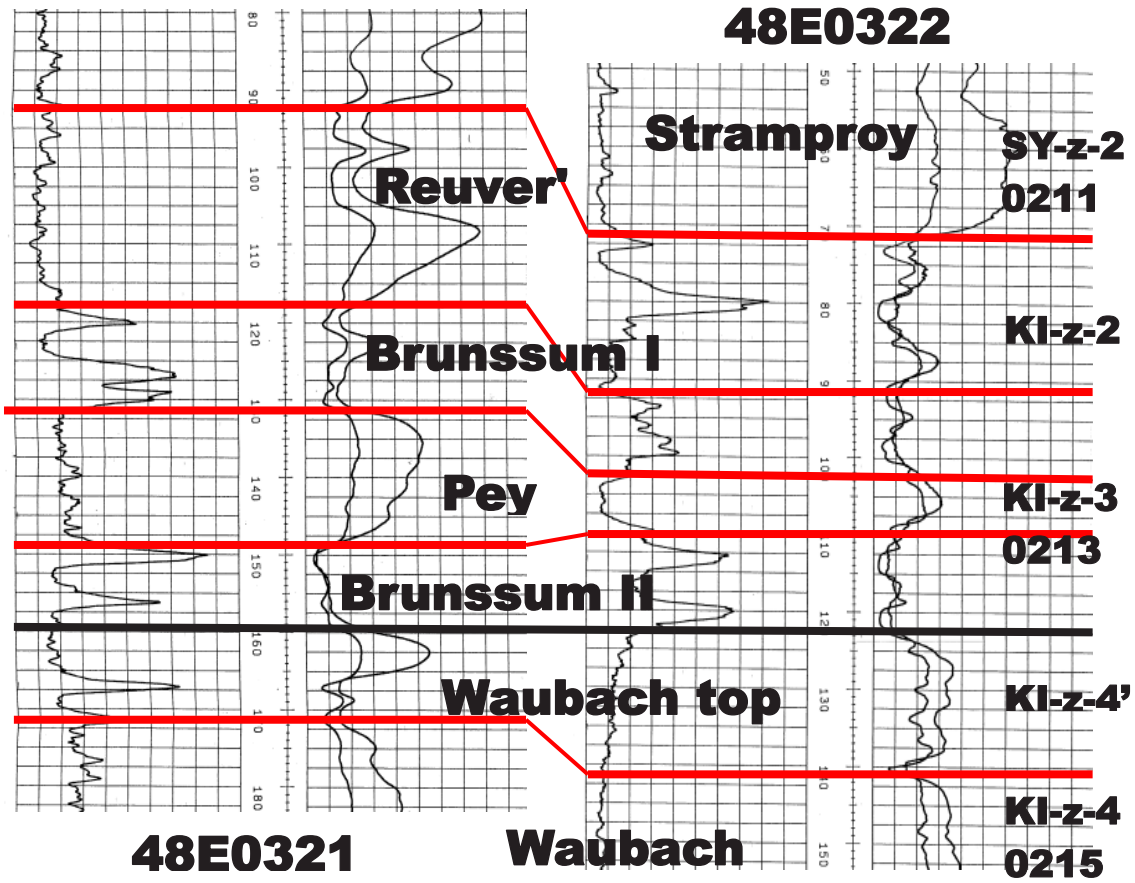
wisselende dikte. Zo kan hydrostratigrafisch een fijnere indeling worden gevolgd dan enkel op basis van de benaming van de lagen mogelijk is, en blijkt de Brunssum I klei ofwel als heel dik te zijn geïnterpreteerd, hetzij gevolgd door een alsnog onbenoemd kleipakket aan de top van het Laagpakket van Brunnsum.

- Lid van het Zand van Pey (naamgeving in België; voorheen in Nederland Zanden van Peij genoemd)

In de omgeving van Peij werd dit pakket in enkele boringen voor het eerst ingeschakeld tussen kleilagen van het Laagpakket van Brunssum aangetroffen, waaraan de naam is te danken. Het wordt er niet als lithostratigrafische maar wordt wel als hydrostratigrafische eenheid onderscheiden. Het Zand van Pey is vanuit hydrogeologisch standpunt een goed doorlatend pakket tussen twee meer afsluitende pakketten. Herkenning van dit pakket, en daarmee behoud van de opdeling Brunssum I – Pey – Brunssum II, heeft dus hydrogeologische waarde. Het gevolg van deze definitie is dat het Zand van Pey nogal wisselende dikte kan vertonen en soms slechts uit één zandlaag van enkele meters dikte bestaat, maar elders uit verschillende zandlagen zal bestaan en een veelvoud in dikte kan bereiken.

- Lid van Brunssum II (naamgeving in België, Laag in Nederland)

In tegenstelling tot het Brunssum I Lid met een ongedefinieerd aantal kleilagen lijkt het Lid van Brunssum II meestal uit slechts 1 of 2 metersdikke en erg regelmatige kleilagen te bestaan. De Brunssum II Klei zal daardoor doorgaans dunner uitvallen. Het is een goed referentieniveau, en van groot hydrogeologisch belang wegens de scheiding tussen de productieve pakketten van Pey en van Waubach. De Brunssum II klei (voorheen Onderste Brunssumklei in Nederland genoemd) is de meest continue afzetting en wordt in vrijwel alle boringen herkend. Dit is van wezenlijk belang om de grondwaterkarakteristieken te onderscheiden tussen het Zand van Waubach en de zandpakketten (‘Pey’) die tussen de kleilagen zijn ingeschakeld.



Figuur B.4: Onderverdeling van de Kiezeloöliet Formatie en grens met de Formatie van Stramproy, in twee kapstokboringen tussen Bree en Maaseik, met gebruikelijke Belgische indeling en aanduiding van de hydrostratigrafische zandpakketten. De Brunssum I en Brunssum II kleien onderscheiden zich vooral door de resistiviteitsminima (rechtse logs per boring). De DOV-proefnummers overeenkomstig deze boringen zijn BGD048e0321 (links) en BGD048e0322 (rechts).

Formatie van Oosterhout

De Formatie van Oosterhout bestaat uit een afwisseling van middelgrof zand, dat vaak glauconiet bevat en schelpenbanken met grof zand. In het bovenste deel komen ook kleilagen voor.

Stratigrafische grenzen

De Formatie van Oosterhout ligt meestal bovenop de Miocene Formatie van Breda. In het zuidwesten van Nederland ligt over de Formatie van Oosterhout de Formatie van Maassluis, in het oosten komt daartussen soms de Kiezeloöliet Formatie voor. Als beide afwezig zijn liggen soms de jongere formaties van Peize en Waalre direct bovenop de Formatie van Oosterhout.

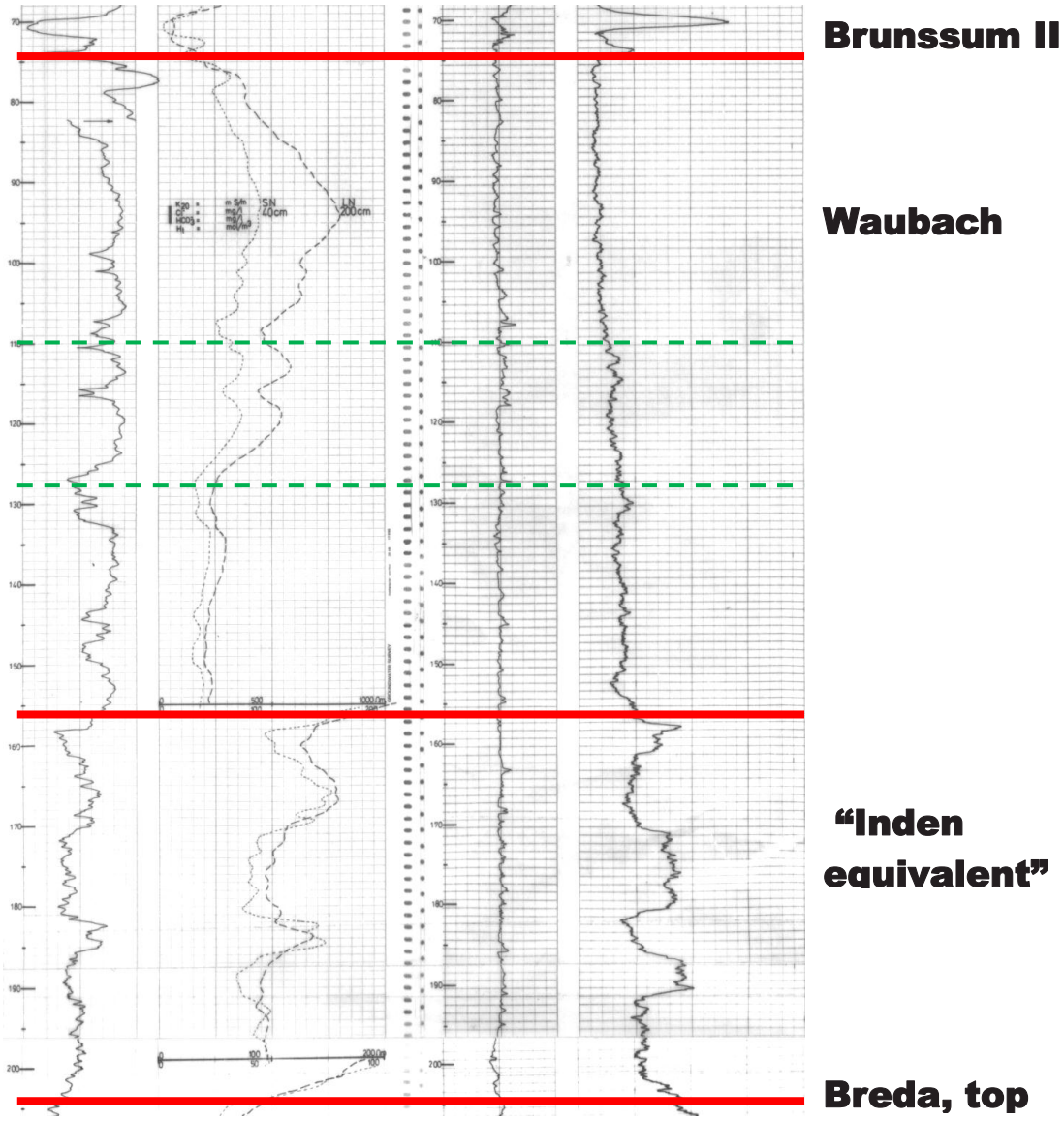
Vergelijking met Belgische lithostratigrafie

De Formatie van Oosterhout komt overeen met de Belgische formaties van Kattendijk (onderste deel) en Lillo (bovenste deel).
De Formatie van Oosterhout komt enkel voor in de Brabantse uitbreiding van het H3O projectgebied.

Formatie van Inden

De Formatie van Inden - nieuw voor de Belgische lithostratigrafie - wordt gekenmerkt door donkergrijs gekleurd zand rijk aan detrietische lignietresten en hout fragmenten. De afzettingen van de Formatie van Inden vormen de vroegste fluviatiele afzettingen in de Roerdalslenk. Ze worden tijden het Laat-Mioceen vanuit zuidoostelijke richting aangevoerd door rivieren van het proto-Rijnsysteem. Mogelijk gaan de afzettingen van de Formatie van Inden in noordelijke en noordwestelijke richting lateraal over in de mariene schelphoudende en glauconietrijke afzettingen van de Formatie van Diest/Bolderberg/Ville (Schäfer et al., 2005; TNO-DINOloket). De ouderdom is Laat-Mioceen, in hoofdzaak Tortonien (ca. 11,20 – 7,12 Ma).

Bekkenwaarts, dus naar het noordwesten toe lijkt deze sequentie in het logbeeld te blijven bestaan maar verandert van karakter door overgang naar een estuarien sedimentatiemilieu met herwerking van fijnkorrelige mariene sedimenten, maar met lokale aanvoer van fluviatiel sediment uit het Nederrijngebied (bijv. 33W0188) in een tektonisch gedifferencieerd landschap. Het is dit estuarien milieu, waarin zowel glauconiet- als lignietkorrels het sediment een licht gespikkeld uitzicht geven, dat zowel als Laagpakket van Waubach als Formatie van Kasterlee werd gecodeerd. Op grond van de gemengde eigenschappen van dit sediment wordt het toegewezen aan de gecombineerde Formatie van Diest/Bolderberg/Ville.
De Formatie van Inden zou het fluviatiele equivalent kunnen zijn van de Formatie van Kasterlee, gebeurlijk ook van delen van de Formatie van Diest.



Figuur B.5: Boring 33W0139 (L2; DOV-proefnummer kb18d33w-B142) te St. Huibrechts-Lille kanaaldok in het zuidwesten van het studiegebied, buiten het normale bereik van de Formatie van Inden, maar waar tussen typisch Waubach en typisch marien Neogeen een lokaal ontwikkeld facies voorkomt. Van links naar rechts zijn weergegeven: log met spontane potentiaal (schaal 0-30 mV), dubbele resistiviteit (variabele schaal), caliper (25-37 cm), en natuurlijke gammastraling (schaal 0-80 cps); verticale schaalverdeling in meters. Onderkant boring van basis Brunssum Laagpakket tot aan top van de grijsgroene zanden in de Formatie van Breda, de economische basis voor waterboringen met driedeling binnen het Laagpakket van Waubach (groen). De aanduiding “Inden equivalent” tussen 157 en 204 m is vooralsnog niet bewezen en wordt op grond van de Nederlandse praktijk aan de Formatie van Breda toegewezen. Verder onderzoek is nodig om dit interpretatieprobleem op te lossen.

De Formatie van Inden is vooral goed ontwikkeld in het oosten van het studiegebied. Langs de zuid-oostrand van de Roerdalslenk komt een gereduceerde sequentie voor in de referentieboring Maaseik-Jagersborg.

In kapstokboring 48E0321 (Bree - Opitterkiezel) komt onderaan het Laagpakket van Waubach in analogie met de boring Maaseik-Jagersborg een plotse overgang voor van grof bleekgrijs kwartszand naar donker beduidend fijner maar bimodaal micahoudend zand vol harde bruinkoolsplinters. De fijne fractie zorgt voor verlaging van de wateropbrengst. Dit pakket is echter minder heterogeen (van zeer grof tot siltfractie gemengd) en de top kleilaag van de Formatie van Inden ontbreekt. Daarom zal deze abrupte facies overgang op 219 m niet als formatiegrens worden gekarteerd, maar blijft het onderste pakket in de Kiezeloöliet Formatie.
Boorgatmetingen vormen een goed hulpmiddel om de Formatie van Inden te herkennen. De gammastraling is altijd iets hoger dan in de bovenliggende kwartsrijke zanden van de Kiezeloöliet Formatie (zie figuur B.5). De gammastraling is echter altijd lager dan in de fijnkorrelige afzettingen van de onderliggende gecombineerde Formatie van Diest/Bolderberg/Ville.

Stratigrafische grenzen

De afzettingen van de Formatie van Inden worden bedekt door afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie. De overgang tussen deze twee formaties is veelal duidelijk en scherp, omdat het onderste deel van de Kiezeloöliet Formatie in het verspreidingsgebied van de Formatie van Inden bestaat uit grof, grindhoudend en kwartsrijk zand (Laagpakket van Waubach), dat een duidelijk contrast vormt met de grijsbruine, met hout en bruinkool verontreinigde zanden van de Formatie van Inden. Bovendien bestaat de top van de Formatie van Inden vaak uit een enkele meters dikke kleilaag.
De afzettingen van de Formatie van Inden liggen op mariene afzettingen van de Formatie van Diest (ex Breda). De grens tussen beide eenheden is scherp door het duidelijke contrast tussen de grove, grijze zanden van de Formatie van Inden en het groen-grijs gekleurde, fijn tot matig fijne, vaak glauconiethoudende zand van de Formatie van Diest (ex-Breda). In de omgeving van Maaseik rust de Formatie van Inden op gebleekt kleiig micarijk zand van de Formatie X (Vandenberghe et al, 2005), een lokaal fossielloos facies aan de top van het mariene Neogeen.

Formatie van Diest/Bolderberg/Ville

Een scherpe lithologische grens gekenmerkt door de plotse overgang naar glauconiethoudende zanden markeert de overgang tussen de fluviatiele en mariene formaties van de Roerdalslenk. De Formatie X wordt in de omgeving van Maaseik gekenmerkt door een sterker kleisignaal (mogelijk afkomstig van de mica’s) aan de top van de mariene sequentie. De glauconiethoudende zanden in de Roerdalslenk werden samengevoegd in de gecombineerde Formatie van Diest/Bolderberg/Ville.

In de slenk is het voorkomen van Kasterlee niet aangetoond en ook de jongste lagen van de Formatie van Diest komen niet voor omdat hier in eenzelfde tijdsperiode de Kiezeloöliet Formatie werd afgezet. Verder oostwaarts , grosso modo ten oosten van de Maas, gaat de gehele Formatie van Diest over in de Formatie van Inden (Vandenberghe et al., 2014).

- Formatie van Diest

De Formatie van Diest bestaat in het studiegebied uit groengrijs glauconiethoudend licht micahoudend zand, afgezet in prograderende coarsening upwards sequenties die een geulsysteem opvullen. De mariene toplagen bestaan uit licht glauconiethoudende, nog behoorlijk kleihoudende afzettingen. In de Nederlandse Formatie van Breda komen aan de top fijnkorrelige zanden voor met een gering glauconietgehalte maar die wel sterk glimmerhoudend zijn. Afzettingen met soortgelijke karakteristieken komen ook in het Belgische deel van de Roerdalslenk voor, ten westen en noordwesten van Bocholt: bruingrijze tot groengrijze, vaak micahoudende zanden, licht glauconiethoudend, maar soms overvloedig fijne lignietpartikels, met tussenliggende kleilagen, getuigen van een estuarien afzettingsmilieu. Ze worden overdekt door het Lid van Waubach van de Kiezeloöliet Formatie. Deze lagen vertonen niet meer de typische facieskarakteristieken van Diest maar wel die van de top van Breda. Om reden van coherentie in de 3D kartering worden daarom deze afzettingen als de gecombineerde Formatie van Diest/Bolderberg/Ville gekarteerd (samenvoegen van hydrogeologische eenheden 0252 en 0253), in afwachting van een meer gedetailleerde lithostratigrafische opsplitsing.
Het verschil in log-signatuur tussen het fluviatiele en mariene Neogeen is vooral bepaald door de architectuur van de afzettingen. Voorkomen van glauconiet kan immers niet de doorslag geven aangezien er in de basislagen (over meerdere meters) van de overdekkende formatie (Inden/Waubach) altijd wel wat extreem geoxideerde glauconietkorrels voorkomen, naast lignietkorrels die er zelfs met de loep moeilijk van te onderscheiden zijn. Het is immers waarschijnlijk dat een deel van het marien Neogeen sediment is geërodeerd en herwerkt in de overdekkende formaties.

Stratigrafische grenzen

De Formatie van Diest wordt overdekt door de Formatie van Inden of Kiezeloölietformatie. Deze grens weerspiegelt zich in sedimentatiepatronen en componenten van het sediment. Deze grens wordt bepaald in boorgatmetingen door de overgang van een door korrelgrootteverschillen gedomineerd fluviatiel afzettingspatroon naar een meer regelmatig patroon van hogere natuurlijke gammastraling en lagere resistiviteit, kenmerkend voor de glauconietzanden. De scherpe overgang wordt meestal ook gemarkeerd door een gemiddeld fijnere korrelgrootte (< 120 µm) ten opzichte van de bovenliggende fluviatiele zanden.
De ondergrens van de Formatie van Diest met de Formatie van Bolderberg wordt gekenmerkt door een overgang naar glauconietarme zanden, met verlaging van de natuurlijke gammastraling en verhoging van de resistiviteit.

- Formatie van Bolderberg

De Formatie van Bolderberg bestaat uit groengrijs tot bruingrijs licht glauconiethoudend en micahoudend zand (facies van het Lid van Genk, bovenaan gecorreleerd met het Laagpakket van Vrijherenberg van de Formatie van Breda), met aan de basis kleiig meer glauconiethoudend zand met schelpen (facies van het Lid van Houthalen, gecorreleerd met Kakert), gekenmerkt door sprongsgewijze verhoging van de natuurlijke gammastraling. In het Lid van Genk komt het Kikbeekligniet voor, een allochtone bruinkoolaccumulatie achter een schoorwal, omgevormd tot zilverzand (gecorreleerd met Heksenberg). De Formatie van Bolderberg vertandt met de Formatie van Ville.

- Formatie van Ville

De Formatie van Ville komt overeen met twee bekkenwaartse extensies van de Hauptflöz, het majeure voorkomen van bruinkool in de Nederrrijnse Laagvlakte, en is bekend uit de oostelijke randzone van het projectgebied. De lagen worden gecorreleerd met de Laag Morken (onderste bruinkoollaag of hydrogeologische eenheid 0253-v2) en de Laag Frimmersdorf (bovenste bruinkoollaag of hydrogeologische eenheid 0253-v1). Als voorbeeld van vertanding wordt in Nederland tussen de twee lagen bruinkool het Laagpakket van Heksenberg onderscheiden, een kustnabije facies met extreem kwartsrijke zanden die bekend staan onder de naam zilverzand. De aanwezigheid van de bruinkoollagen 0253-v1 en 0253-v2 is bepalend voor de interne hydrogeologische codering van de gecombineerde Formatie van Diest/Bolderberg/Ville. Door hun mogelijke aanwezigheid wordt de hydrogeologische code 0253 van de Formatie van Bolderberg dan ook onderverdeeld in 0253-1, -2 en -3.
In België is de Formatie van Ville nauwelijks aanwezig (één boring binnen het modelgebied). De bruinkoolresten die in boring Molenbeersel talrijk aanwezig zijn bestaan vermoedelijk uit allochtone afzettingen, mogelijk vergelijkbaar met het Kikbeekligniet. Waarschijnlijk vormen deze een lateraal facies van de Ville Formatie.

Formatie van Voort

De Formatie van Voort bestaat in het typegebied uit groengrijs kleiig glauconiethoudend zand met schelpenresten. Qua log signatuur bestaat de formatie uit 2 grote zandpakketten in coarsening upwards sequentie (Voort en Someren), gescheiden door een klei (Veldhoven sensu stricto). Op te merken valt dat in vroegere interpretatie het bovenste zandig laagpakket reeds bij het Lid van Houthalen (basis Bolderberg Formatie) betrokken werd, een model dat weerspiegeld wordt in de HCOV kartering.
In Nederland wordt het zand van Voort als het onderste laagpakket van de Formatie van Veldhoven onderscheiden terwijl de zanden boven de Klei van Veldhoven (hydrogeologische eenheid 0255) als het Laagpakket van Someren worden aangeduid.

Deze opdeling kan ook in boring Molenbeersel worden herkend en derhalve worden de Belgische hydrogeologische Zanden van Voort (code 0254) opgesplitst in hydrogeologische eenheden 0254-1 en 0254-2 die respectievelijk boven en onder hydrogeologische eenheid 0255 voorkomen.

Formatie van Eigenbilzen

De Formatie van Eigenbilzen, of ten minste het meer zandige gedeelte ervan, bestaat uit fijn glauconiethoudend kleiig zand. Het stelt de regressieve sedimenten van de sequentie met de Klei van Boom voor.
In Nederland correleren de afzettingen met die van het Laagpakket van Steensel, een zandig tot kleiige eenheid die direct op de Rupel Klei (Formatie van Boom) ligt.

Formatie van Boom

De Formatie van Boom is beperkt ontwikkeld in het projectgebied en bestaat uit compacte kleien die in twee pakketten zijn te onderscheiden. Het bovenste pakket met zeer sterke pieken in de natuurlijke gammastraling (traditioneel Boom geband genoemd) zou al behoren tot de sequentie van Eigenbilzen. Het onderste meest homogene gedeelte (traditioneel Boom compact genoemd) zou equivalent zijn van het Lid van Terhagen, afgezet tijdens de hoogste zeestand van het Rupeliaan.
Boortechnisch en ook op vlak van boorgatmetingen is de Formatie van Boom een goed gekarakteriseerde referentiehorizont die het dikke pakket van Neogene en Chattiaan zanden scheidt van het veel dunnere en meer gevarieerde dieperliggend Paleogeen. In het uiterste zuiden van het studiegebied is de Boomse Klei door erosie echter afwezig.
De formatie komt overeen met de Rupel Klei die onderdeel is van de Nederlands Rupel Formatie.

Formatie van Bilzen

De Formatie van Bilzen bestaat in het typegebied uit een opeenvolging zand (Berg), klei (Kleine-Spouwen), zand (Kerniel). In boring Molenbeersel lijkt de Formatie van Bilzen te bestaan uit zand met kleiige basis. Correlaties met het typegebied zijn hypothetisch. Er wordt van uitgegaan dat enkel het Lid van Berg aanwezig is in het diepere noordelijke deel van de Roerdalslenk.
In Nederland correleert dit waarschijnlijk met het Laagpakket van Vessem, de onderste eenheid van de Rupel Formatie.

Formatie van Borgloon

Bestaat in het typegebied uit de waddenklei van Henis en de lagunaire mergels van Alden Biesen. Deze formatie komt met zekerheid voor in het uiterste zuiden van het studiegebied.

De Klei van Henis vormt er bij afwezigheid van de Boomse Klei de belangrijkste aquiclude. Het is onwaarschijnlijk dat deze facies verder noordwaarts in de slenk voorkomen, maar het is niet duidelijk of ze dan opgaan in een van de omgevende formaties.
In Nederland correleert dit met het Laagpakket van Goudsberg (Tongeren Formatie) in Zuid-Limburg.

Formatie van Sint-Huibrechts-Hern

Deze formatie met grote verbreiding en uniformiteit bestaat uit glauconiet- en micahoudend fijn kleiig zand tot zandrijke klei, in een of meer coarsening upwards sequenties. In Nederland correleert dit met het Laagpakket van Klimmen (Tongeren Formatie).

Formatie van Hannut

De Formatie van Hannut kan van boven naar onder onderverdeeld worden in het Lid van Halen, in het typegebied bestaande uit blauwgrijze zandrijke klei en siltsteen, mogelijk niet of slechts beperkt voorkomend in het studiegebied, het Lid van Waterschei, bestaande uit vaste grijsbauwe kalkhoudende klei met grote verbreiding, en onderaan het Lid van Maaseik (initieel door Steurbaut als formatie gedefinieerd), bestaande uit lichtgrijze kleiige mergel. Het Lid van Maaseik, traditioneel Gelinden b genoemd, werd vroeger en nu nog in Nederland, tot het Lid van Gelinden van de Formatie van Heers gerekend. Ook voor de Belgische Nationale Commissie voor stratigrafie (NCS) is toewijzing van dit laagpakket aan de Formatie van Hannut geen uitgemaakte zaak.
De leden van Waterschei en Maaseik vertonen een karakteristiek patroon in de natuurlijke gammastraling dat ook in boring Molenbeersel eenduidig te herkennen is.

Formatie van Heers

De Formatie van Heers bestaat van boven uit compacte witte mergel van Gelinden en onderaan uit donkergroen zeer fijn en kleihoudend glauconietrijk zand. In boring Opitter op het Hoog van Bree is het zand van Orp versteend tot zachte kleihoudende zandsteen.
Ook de Formatie van Heers is qua log signatuur erg karakteristiek een eenduidig te bepalen.

Formatie van Opglabbeek

De Formatie van Opglabbeek bestaat uit twee leden, bovenaan het lichtgrijze estuariene zand met getransporteerde schelpenlagen (Lid van Eisden), en onderaan de polychrome (baksteenrood tot geel) tot sterk venige plastische klei met tussenschakelingen van wit zand, afgezet in kustmoerassen (Lid van Opoeteren). In boring Opitter (BGD-code 048E0294; DOV-proefnummer BGD048E0294) op het Hoog van Bree is het Lid van Eisden ontwikkeld als zachte sterk poreuze zandsteen.

Deze tweedeling volgt geen eenvoudige geometrische opdeling, vermits de in de typelokaliteit goed ontwikkelde zandige basislagen oorspronkelijk als Zand van Eisden zijn gedefinieerd

De tweedeling van de Formatie van Opglabbeek is qua log-signatuur eveneens karakteristiek. De Formatie van Opglabbeek rust op de in de slenk sterk versteende kalkareniet van de Formatie van Houthem via een licht verkarst contact dat qua log signatuur bijzonder opvallend is.

Bijlage C: De stratigrafische indeling van de Kiezeloöliet Formatie

De Kiezeloöliet Formatie is een voor hydrogeologische toepassingen (grondwater-ontrekkingen) zéér belangrijke eenheid. De concepten die binnen H3O voor de indeling van deze formatie gehanteerd worden, zijn echter sterk verschillend van oudere concepten (zie bijlage B). Hierdoor werd het nuttig geacht om een extra toelichting te geven bij de nieuwe stratigrafische onderverdeling van deze formatie in deze bijlage.

Inleiding

De stratigrafische term Kiezeloöliet Formatie wordt al meer dan een eeuw lang gebruikt om, tot het Boven-Neogeen behorende, kwartsrijke wit-gekleurde rivierafzettingen aan te duiden. De naam *Kieseloolith Schotter* is voor het eerst gebruikt door Kaiser (1907) en is afgeleid van, uit de Jura in Lotharingen afkomstige, kiezeloölieten die overigens slechts sporadisch in het sediment voorkomen. In Nederland voert Tesch (1908) de naam in voor equivalente Pliocene rivierafzettingen.
In de loop van de afgelopen ruim 100 jaar is de definitie van het begrip verschillende malen aangepast en zijn er door meerdere auteurs onderverdelingen gemaakt. Vaak is daarbij gebruik gemaakt van op elkaar lijkende namen terwijl de inhoud van de begrippen kan verschillen. Daarnaast blijkt dat de definiëring van bepaalde onderverdelingen niet voldoet aan de richtlijnen van de International Stratigraphic Guide (Salvador, 1994; Westerhoff & Weerts, 2013).
De meest gangbare stratigrafische indelingen betreffende het Plioceen en de Kiezeloöliet Formatie zijn in figuur C.1 samengevat. Onderstaand volgt een beknopte toelichting en motivatie van de hydrostratigrafische indeling zoals toegepast in REGIS II en het H3O-project.

De chronostratigrafische indeling van het Plioceen

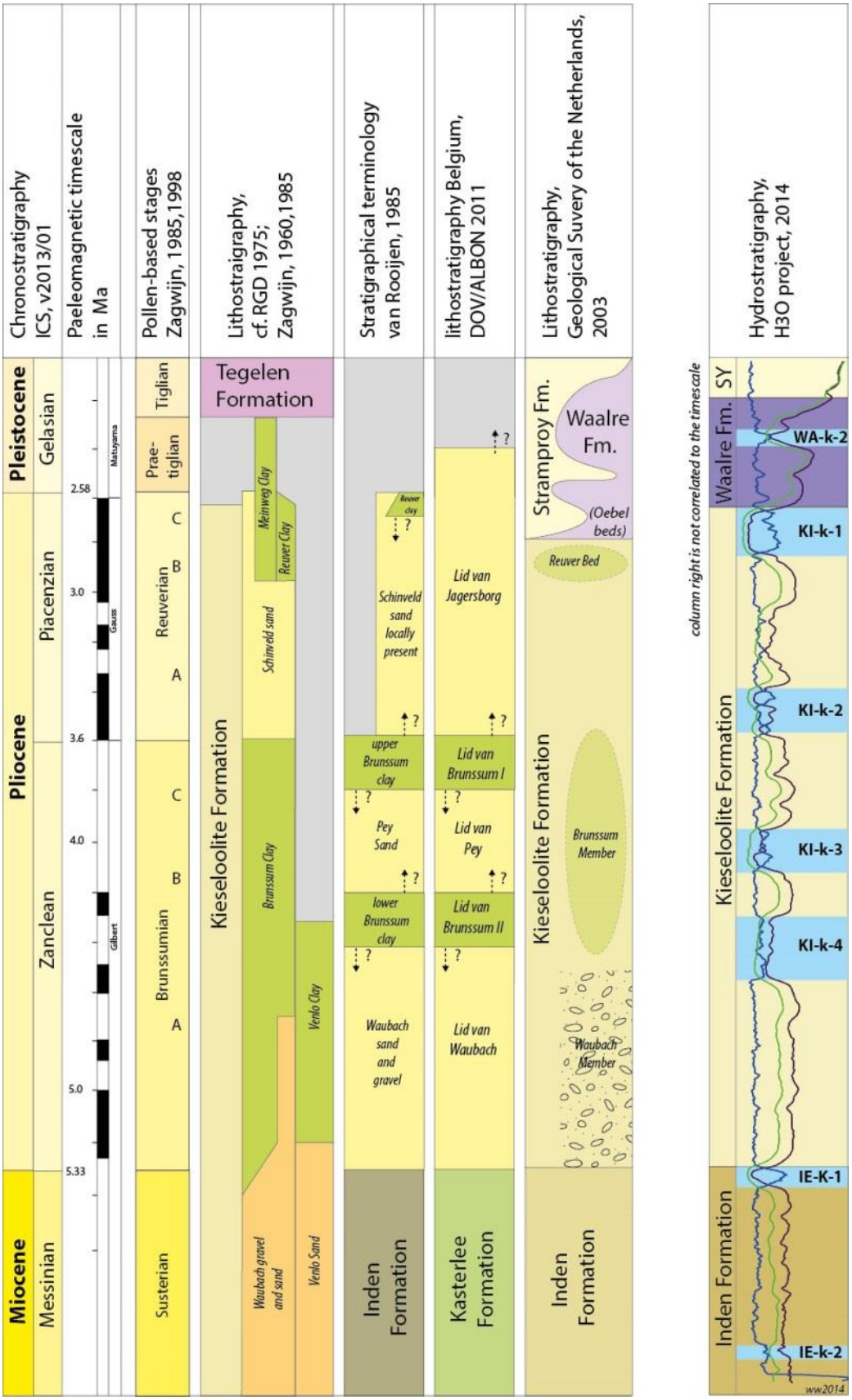
Indeling van gesteentepakketten (stratigrafie) kan op verschillende kenmerken plaatsvinden, daarbij zijn indeling naar ouderdom (chronostratigrafie) en indeling op basis van gesteente eigenschappen (lithostratigrafie) de twee belangrijkste. Chronostratigrafie is vaak nauw verbonden met de fossiele voorkomens van planten en dieren (biostratigrafie) in gesteentepakketten.

De oudste en meest bekende onderverdeling van de Kiezeloöliet Formatie gaat terug naar het begin van de 20^{e} eeuw toen onderzoek werd gedaan naar fossiele blad- en plantenresten in kleilagen bij Reuver en Brunssum.
Al in 1915 (Reid & Reid) wordt op grond van de verschillen in blad- en plantenresten een onderscheid gemaakt tussen de Pliocene Klei van Reuver en de Pleistocene Klei van Tegelen in het grensgebied tussen Roermond en Venlo.

Chronostratigrafisch wordt de term Reuverien geïntroduceerd, het gebruik ervan is vooral gericht op fluviatiel of continentale afzettingen. Cl. Reid onderzoekt ook bladresten uit kleilagen bij Brunssum en ziet veel overeenkomst met de flora uit Reuver. Als gevolg worden de kleilagen bij Brunssum, in chronostratigrafische betekenis, lange tijd tot het Reuverien gerekend.

Op basis van zijn pollenonderzoek in 1960 introduceert Zagwijn (1960) een chronostratigrafische driedeling voor het Plioceen. Van onder naar boven: Susterien, Brunssumien en Reuverien. Later wordt het Susterien tot het Laat-Mioceen gerekend (Doppert et al., 1975). Zagwijn (1960) baseert het onderscheid tussen Reuverien en Brunssumien volledig op verschillen in percentages van groepen boompollen (stuifmeelkorrels) in de twee kleilagen. Het aantal en de absolute pollenpercentages voor boomsoorten als *Sequoia* (mammoetboom) en *Taxodium* (moerascypres) zijn oorspronkelijk gebruikt als criteria om de overgang van Brunssumien naar Reuverien te definiëren. Vooral de hoge percentages (> 40%) van Tertiair boompollen in de kleilagen bij Brunssum zijn aanleiding geweest om een onderscheid met de Klei van Reuver te maken. De begrippen Reuverien en Brunssumien zijn stratigrafische tijdseenheden en worden etages (stage in UK) genoemd. Pollendiagrammen van zowel de Klei van Reuver als de Klei van Brunssum zijn, op basis van verschillen in pollenassociaties, opgedeeld in pollenzones. De pollenzones geven vooral het lokale verschil en verandering in het paleomilieu weer. In de loop van de tijd hebben deze pollenzones meer en meer een chronostratigrafische betekenis gekregen en worden ze gebruikt om een onderverdeling in de etages Reuverien en Brunssumien te maken. Beide eenheden worden daarom van onder naar boven opgedeeld in de sub-etages A, B en C. Op basis van correlatie met de vegetatieontwikkelingen in het Mediterrane gebied en daar verkregen paleomagnetische bepalingen wordt de grens tussen Brunssumien en Reuverien op ongeveer 3,5 miljoen jaar geschat (Zagwijn & Suc, 1973; Suc & Zagwijn, 1983).
Op grond van de stratigrafische en tektonische positie mag er van worden uitgegaan dat de kleilagen bij Reuver jonger zijn dan die bij Brunssum maar pollenanalytisch is dat alleen op grond van de relatief hoge waarden voor Tertiair boompollen niet goed te duiden. Er komen ook Reuver-achtige pollenassociaties in met Brunssum gecorreleerde kleilagen voor. Uit recente studies blijkt dat de fluctuaties in pollenassociaties sterk afhankelijk zijn van de resolutie van de monstername en lokale lithologische verschillen. Met andere woorden de verschillen duiden vooral op veranderingen in het milieu van afzetting en zijn niet geschikt voor chronostratigrafische correlaties over grotere afstanden (Donders et al., 2007; Kemna & Westerhoff, 2007).

Tegenwoordig wordt voor de chronostratigrafische onderverdeling van het Plioceen gebruik gemaakt van de door de *International Commission on Stratigraphy* (ICS) vastgestelde etages. Deze worden wereldwijd erkend en hebben een absolute ouderdom voor de onder- en bovengrens en zijn vooral in mariene afzettingen goed toepasbaar (zie figuur C.1).



Figuur C.1: Chrono- en lithostratigrafische indeling voor het Plioceen en de Kiezeloöliet Formatie in ZO-Nederland en omgeving en hydrostratigrafische indeling van het H3O-project cf. REGIS II.

De lithostratigrafische onderverdelingen van de Kiezeloöliet Formatie

In de loop van de afgelopen eeuw is er geleidelijk aan een lithostratigrafische onderverdeling voor de rivierafzettingen van de Kiezeloöliet Formatie ontstaan. De Klei van Reuver is daarvan de eerst benoemde laag (Reid & Reid, 1915) en is beschreven in het grensgebied ten zuidoosten van Venlo, op het Peel Blok.
Zagwijn (1960) en de Rijks Geologische Dienst (Doppert et al., 1975) delen de Kiezeloöliet Formatie als volgt in:

- Klei van Reuver; een compacte kleilaag met minstens twee inschakelingen van bruinkool in het bovenste deel. Op grond van pollengegevens denkt men dat de laag, naast het Peel Blok ook in de Roerdalslenk kan voorkomen.
- Meinweg Klei; een compacte klei met lagen bruinkool die voorkomt in het gebied van de Meinweg en op grond van de polleninhoud in tijd zou doorlopen tot in het begin van het Pleistoceen.
- Schinveld zanden; fijne tot grove zanden, lokaal met een kleilaag en voorkomend op de Klei van Brunssum. Vooral aanwezig in het gebied tegen de grens met Duitsland. Als het zandpakket wordt afgesloten met een kleilaag wordt die meestal als Klei van Reuver benoemd.
- Klei van Brunssum; compacte grijsbruine klei met ingeschakelde lagen bruinkool en ingeschakelde zandlagen (Zanden van Peij). Komt voor ten zuiden van de Feldbiss Fault Zone en in het Limburgse deel van de Roerdalslenk. Voortzetting in noordwestelijke richting is niet goed bepaald.
- Grind en zanden van Waubach; grindrijke en grofzandige afzettingen die in de Roerdalslenk overgaan in grof en fijn zand, de kleur is overwegend helder wit.
- Zand en klei van Venlo; In een klein gebied ten noorden van Venlo worden dan nog de Klei van Venlo (equivalent met de Klei van Brunssum) en het daaronder liggende Zand van Venlo onderscheiden.

Beschrijvingen van deze sub-eenheden binnen de Kiezeloöliet Formatie zijn door de Rijks Geologische Dienst beschreven (Doppert et al., 1975) en hebben lange tijd als leidraad bij karteringen gediend.

Voor het grondwaterplan Limburg beschrijft van Rooijen (1985) de driedeling voor de afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie in Midden-Limburg, zoals deze tot dan toe gebruikelijk was. De onderscheiden eenheden worden als volgt omschreven:

- Bovenste Brunssum Klei; een pakket zware kleilagen, met inschakelingen van bruinkool en veel zandlagen die tot meerdere meters dik kunnen zijn. De dikte kan oplopen tot 50 à 60 m. Als gevolg van erosie kan het pakket ontbreken in de omgeving van Posterholt en in meer noordwestelijke richting.
- Zand van Pey; voor het eerst aangetroffen in 1957 in een boring in het plaatsje Pey bij Echt. Aan deze zeer uitgebreid beschreven boring heeft de zandlaag zijn naam te danken.

- Vanaf dan wordt de laag voor de waterwinning geëxploiteerd en in de verschillende rapporten genoemd. Het is een tiental meters dik zandpakket dat redelijk tot goed watervoerend is en algemeen voorkomt in het Limburgse deel van de Roerdalslenk. Het ontbreekt echter in de omgeving van Posterholt en ontbreekt ook als ingeschakelde zandlaag direct ten zuiden en ter plaatse van de Feldbiss Fault Zone.
- Onderste Brunssum Klei; taaie, zware klei met veel inschakelingen van bruinkool en dunne zandlaagjes, de dikte varieert van 5 tot 20 m. Het pakket ligt direct op het zand van Waubach en komt in geheel Midden-Limburg voor.
- Het Zand van Schinveld en de Klei van Reuver komen beperkt voor in het gebied ten oosten van de Maas.
- Zanden van Waubach; dit grof zand en grindhoudend pakket wordt onderscheiden overeenkomstig de indeling van de indeling van de RGD (cf. Doppert et al., 1975).

In België wordt voor wat betreft de lithostratigrafische indeling van de Kiezeloöliet Formatie grotendeels de nomenclatuur zoals beschreven door Van Rooijen (1985) gevolgd. De gebruikte terminologie wijkt enigszins af. Van boven naar beneden onderscheidt men (DOV/ALBON, 2010):

- Lid van Jagersborg; Matig fijn en fijn zand onderbroken door dunne (≤ 1m) lagen veen of ligniet, equivalent met het Zand van Schinveld.
- Lid van Brunssum I; een pakket met meerdere kleilagen afgewisseld met zand en bruinkool (ligniet) de laag wordt ook wel aangeduid met de term Brunssum I Klei.
- Lid van Pey; wordt als hydrostratigrafische eenheid onderscheiden, bestaat uit fijn tot grof zand van 1 tot enkele meters dikte dat goed watervoerend is.
- Lid van Brunssum II; een uit 1 tot 2 m dikke kleilaag, ook wel Brunssum II klei genoemd.
- Lid van Waubach; grof zand en grind tot 60 m dik voorkomend aan de basis van de Kiezeloöliet Formatie.

Een uitgebreide beschrijving en definitie van de eenheden is niet gepubliceerd.

Alle hier genoemde indelingen vertonen een sterke mengeling van chrono- en lithostratigrafische criteria. Een aantal van de eenheden wordt mede op basis van de polleninhoud gedefinieerd en die is in sterke mate aan een chronostratigrafische interpretatie gekoppeld. Veel eenheden zijn niet goed karteerbaar omdat ze niet in de derde dimensie gedefinieerd zijn. Daarnaast is het verwarrend dat de terminologie om tijd aan te duiden vaak terugkomt in de lithostratigrafische benamingen, zoals *Reuverien* en *Klei van Reuver*.

Herziening van de lithostratigrafie voor Boven- Tertiaire en Kwartaire afzettingen (Geologische Dienst Nederland – TNO).

In 1998 is de Geologische Dienst Nederland –TNO begonnen met een grondige revisie van het lithostratigrafische systeem.

De bestaande lithostratigrafische indelingen voldeden niet meer aan de wens om eenduidig op lithologie en laageigenschappen gedefinieerde gesteentepakketten in de digitale omgeving van databeheer en numerieke bewerkingen te kunnen onderbrengen. Bovendien droegen de vele nieuwe en kwalitatief hoogwaardige boorgegevens van de laatste decennia ertoe bij, dat het inzicht in de geologische ontwikkeling sterk verbeterde. Bij deze herziening is tevens gestreefd naar een integrale benadering van de Tertiaire en Kwartaire afzettingen aanwezig op het vasteland en het Nederlands deel van de Noordzee (Weerts et al., 2003).

Een belangrijk verschil van de nieuwe lithostratigrafie met eerdere indelingen is dat de direct ('macroscopisch') waarneembare lithologische kenmerken van gesteentepakketten nu meer dan voorheen het onderscheid tussen lithostratigrafische eenheden bepalen. Daarnaast heeft de stratigrafische positie van de laagpakketten een onderscheidende rol gekregen. Deze positie bepaalt de onderlinge ruimtelijke relatie tussen de eenheden en hun begrenzingen. Voorts moet een lithostratigrafische eenheid karteerbaar zijn en dus een zekere aaneengesloten verbreiding hebben. De ouderdom, vaak afgeleid uit biostratigrafische gegevens, speelt bij de nieuwe lithostratigrafische indeling geen rol van betekenis meer. Het sterk toegenomen aantal lithologische gegevens van de meestal relatief diepgelegen afzettingen uit het Neogeen maakt het mogelijk deze nu lithostratigrafisch beter te karakteriseren. Eerdere indelingen van deze afzettingen waren veelal gebaseerd op een combinatie van lithologie, biostratigrafie en paleogeografische concepten.

Lithostratigrafische criteria

Lithostratigrafie gaat over de classificatie van gesteente-eenheden en dient gebaseerd te zijn op macroscopisch (met het blote oog) waarneembare gesteente-eigenschappen (lithologie) en de relatieve stratigrafische positie (wat ligt er boven of wat ligt eronder). Daarnaast geldt dat lithostratigrafische eenheden karteerbaar moeten zijn, waarmee bedoeld wordt dat een eenheid niet alleen in verticale zin (boven- en ondergrens) maar ook in de derde dimensie afgebakend kan worden. Als een eenheid niet in de derde dimensie kan worden afgebakend is de eenheid per definitie niet karteerbaar en levert het benoemen er van geen bijdrage tot correlatie (Westerhoff & Weerts, 2013). In het lithostratigrafische systeem van de Geologische Dienst van Nederland is de *Formatie* de centrale eenheid (Ebbing et al., 2003; Westerhoff & Weerts, 2013). Een formatie kan, maar hoeft niet, onderverdeeld te worden in laagpakketten (*member*) of lagen (*bed*). Zowel de formatie als de onderverdelingen worden gekarakteriseerd door macroscopisch waarneembare lithologische eigenschappen die aangevuld kunnen worden met de resultaten van boorgatmetingen.
Elke formatie, laagpakket of laag dient wat betreft inhoud en aard van de grenzen gedefinieerd te zijn volgens de richtlijnen van de *International Commission on Stratigraphy* (Salvador, 1994).

De Kiezeloöliet Formatie in het vernieuwde lithostratigrafisch systeem

Formeel is de naam Kiezeloöliet Formatie niet juist omdat die moet refereren naar de plaats of rivier waar het pakket voor het eerst beschreven is en Kiezeloölieten kunnen in vele andere gesteentepakketten voorkomen. De naam wordt echter gehandhaafd vanwege de historische betekenis en de goede correlatiemogelijkheden met de buurlanden.
Eerder gebruikte benamingen voor de zandige afzettingen binnen de Kiezeloöliet Formatie worden niet meer toegepast. Reden hiervoor is dat de afzonderlijke zandpakketten zoals de Schinveld Zanden en de Zanden van Venlo alleen op grond van de erboven liggende kleilagen (Klei van Reuver, Klei van Venlo) onderscheiden kunnen worden. In de nieuwe indeling worden van boven naar beneden nog onderscheiden:

- Laag van Reuver (Reuver Klei in België); dit betreft de kleilaag die voorkomt aan de bovenkant van de Kiezelooliet Formatie in een beperkt gebied op het Peel Blok ten zuidoosten van Venlo.
- Laagpakket van Brunssum (Klei van Brunssum cf. Doppert et al., 1975; leden van de Brunssum kleien en het Zand van Pey in België) bestaat overwegend uit kleilagen, waarin veelvuldig bruinkoollagen voorkomen maar plaatselijk ook zandlagen die een aantal meters dik kunnen zijn.
- Laagpakket van Waubach (Lid van het Zand van Waubach in België); betreft de kenmerkende, witgekleurde grofzandige en grindhoudende pakketten aan de basis van de formatie. Ze komen voor in het gehele verspreidingsgebied van de formatie.

Het Zand van Pey dat voor het eerst in de omgeving van Pey als zandpakket tussen kleilagen van het Laagpakket van Brunssum is aangetroffen, wordt niet als aparte lithostratigrafische eenheid onderscheiden omdat door lateraal optredende faciësveranderingen de geometrie van het pakket in de derde dimensie niet goed is af te bakenen, hoewel dit zandpakket geohydrologisch en geohydrochemisch wel van belang is.

Achtergrond van de hydrostratigrafische laagindelingen ten behoeve van het H3O project.

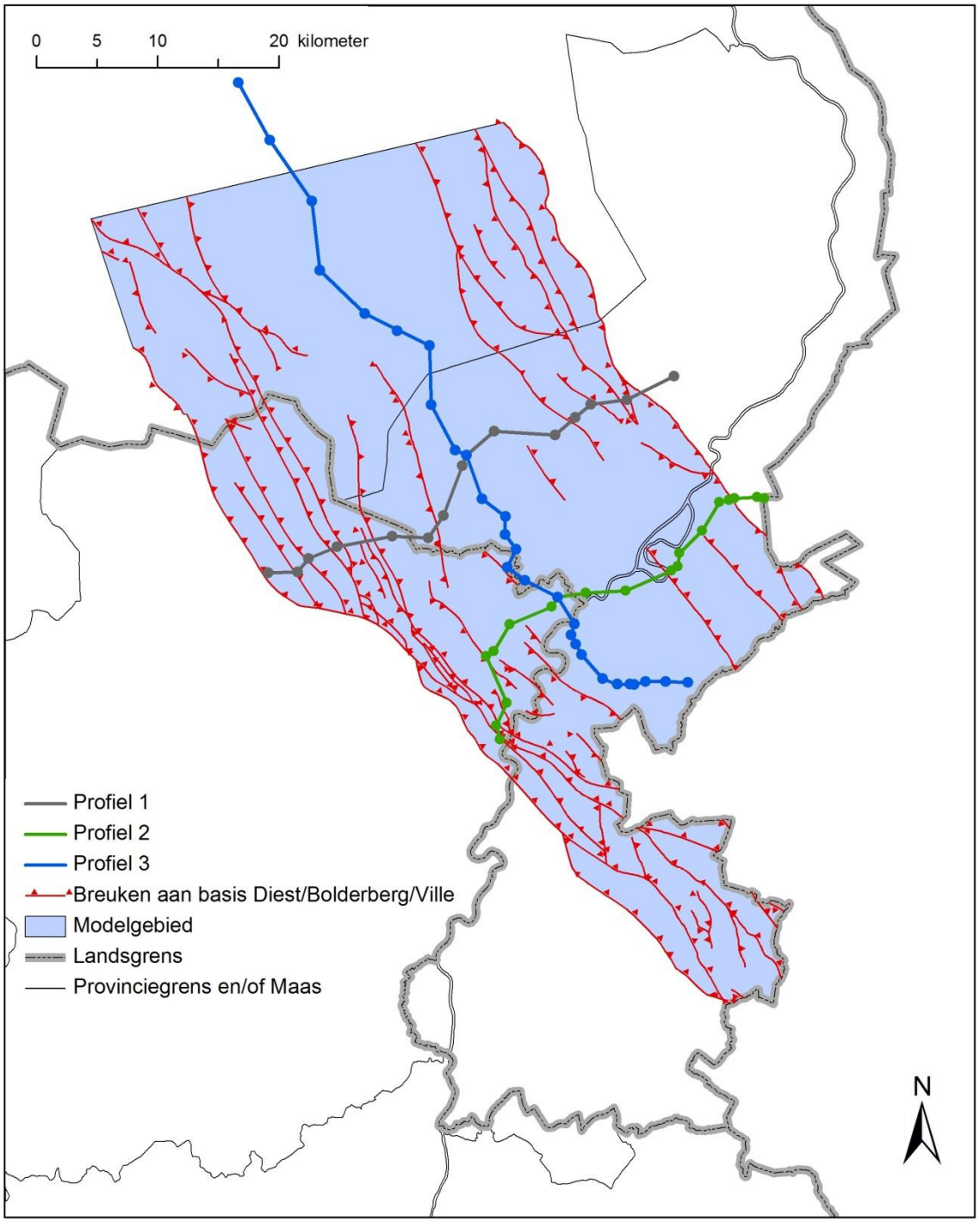
Voor de onderverdeling van een formatie in goed watervoerende en matig tot slecht waterdoorlatende eenheden is de werkwijze van REGISII toegepast (Vernes et al., 2005). Dit betekent dat voor iedere lithostratigrafisch gedefinieerde formatie een opeenvolging van goed en slecht doorlatende lagen of laagpakketten wordt onderscheiden. Die opeenvolging wordt in eerste instantie per boorput onderscheiden. Vervolgens wordt de regionale samenhang van de per punt onderscheiden hydrogeologische eenheden gekarteerd. Naast de lithologische kenmerken van de eenheden wordt daarbij gebruik gemaakt van geofysische boorgatmetingen (gammastralingscurve, elektrische weerstandsmetingen), diepteligging, tektonische setting (o.a. scheefstelling) en het inzicht in de geologische ontstaanswijze van de afzettingen.

Een hydrogeologische eenheid is altijd onderdeel van een lithostratigrafische eenheid (meestal een formatie).
Dat is van belang omdat daarmee de verbreiding, dikte en diepteligging van de hydrogeologische eenheid altijd consistent is met de geologische opbouw. Wel kan een hydrogeologische eenheid uit verschillende lithologische lagen bestaan. Zo zal in matig tot slecht doorlatende eenheden het aandeel klei overheersen maar kunnen zandige inschakelingen lokaal wel enkele meters dik zijn. Daarentegen kunnen in goed doorlatende pakketten lokaal kleilagen voorkomen. Het woord lokaal is in dit verband van belang omdat het aangeeft dat dergelijke lagen regionaal niet karteerbaar zijn.

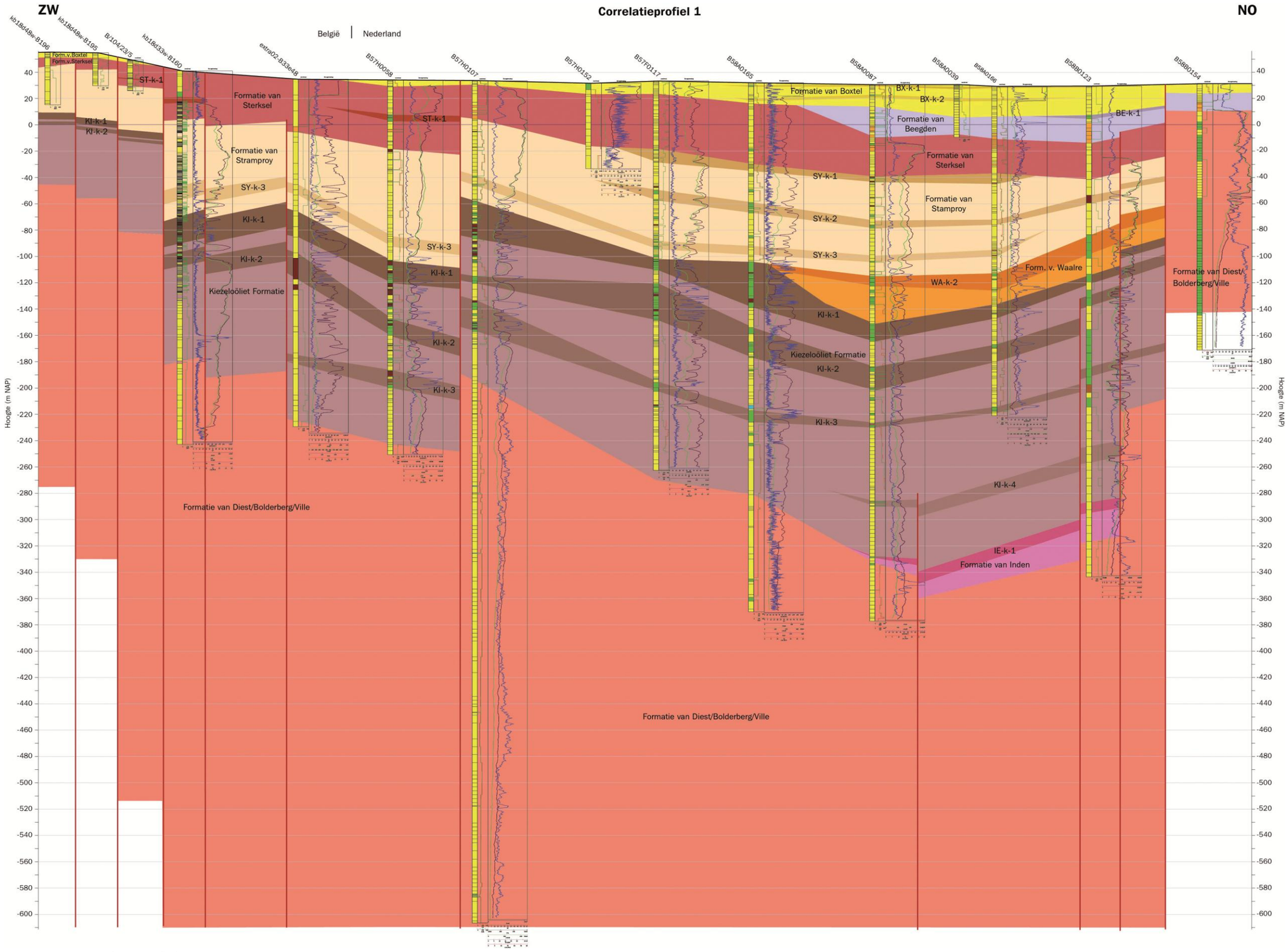
In de Kiezeloöliet Formatie wordt van boven naar beneden een viertal matig tot slecht doorlatende hydrogeologische eenheden onderscheiden. Van boven naar benden aangeduid als: **KI-k-1**, **KI-k-2**, **KI-k-3** en **KI-k-4**. Rondom deze scheidende lagen bevinden zich de zandige afzettingen van Kiezeloöliet Formatie. De scheidende lagen zijn op grond van regionale geologische inzichten zoals de tektonische positie, geogenetische ontwikkeling en degelijke zo goed mogelijk gekarteerd. Een scheidende laag kan uit een complex van meerdere kleilagen met bruinkool en ingeschakelde zandlagen bestaan. Het zijn nadrukkelijk geen lithostratigrafische eenheden omdat ze op macroscopische waarneembare lithologische kenmerken niet goed genoeg van elkaar te onderscheiden zijn. Met andere woorden de eenheden lijken in lithologisch opzicht sterk op elkaar. Het ontbreken van diagnostische lithologische kenmerken maakt ook dat termen als Reuver en Brunssum niet objectief aan een scheidende laag kunnen worden toegekend. Bovendien verwijzen die termen naar een chronostratigrafische indeling van het Plioceen die niet meer houdbaar is. Pollenanalytische criteria worden niet gebruikt omdat ze macroscopisch niet waarneembaar zijn en omdat de resolutie van de polleninhoud te gering is om juiste correlaties te maken (Donders et al., 2007). Bovendien zijn er veel te weinig pollengegevens om regionaal betrouwbare correlaties te maken.

Bijlage D: Correlatieprofielen

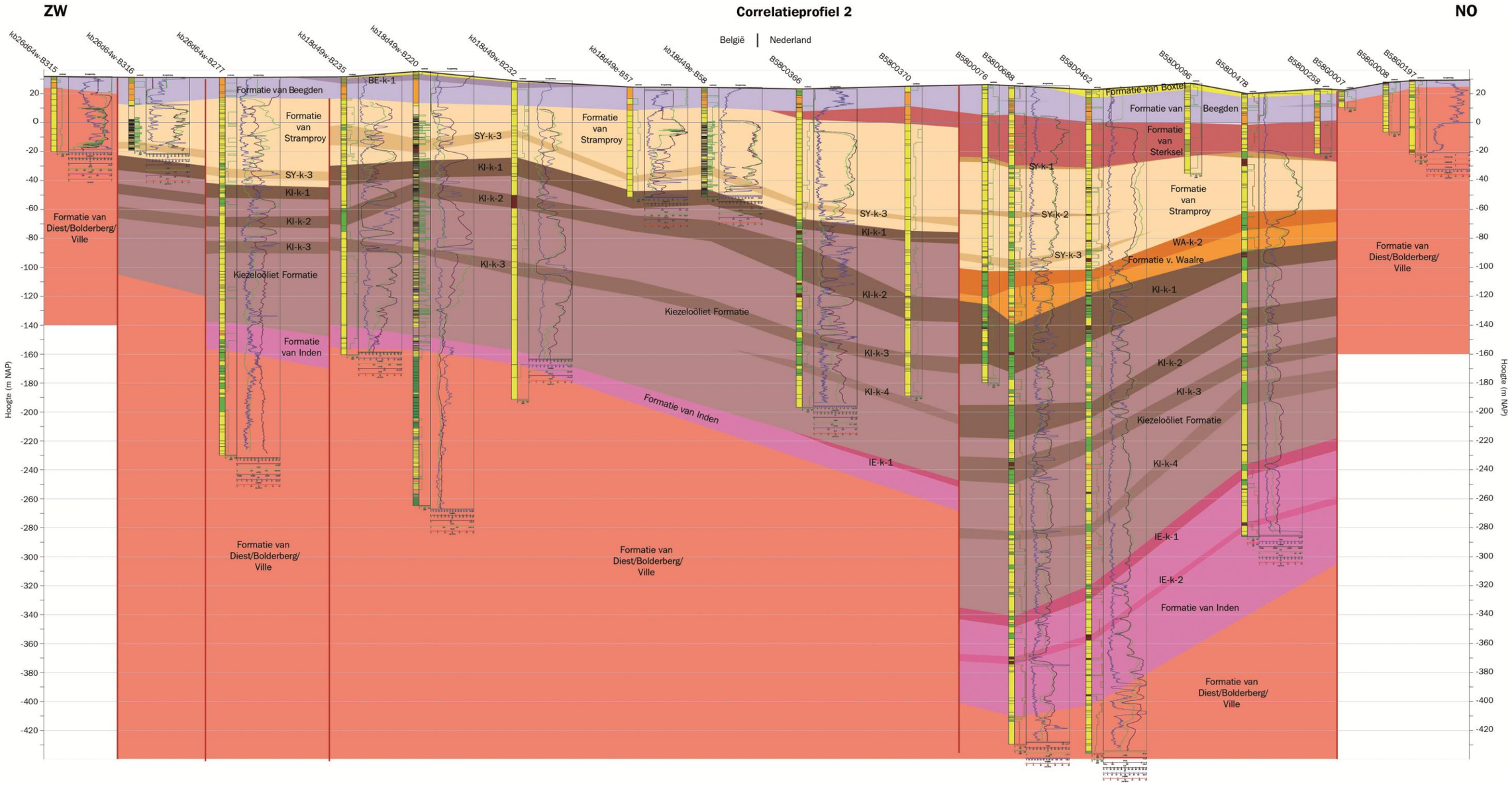
Deze bijlage bevat de correlatieprofielen waarvan sprake in paragraaf 2.3.2 van dit rapport. Deze correlatieprofielen werden gebruikt om de correlatietabel in de praktijk te toetsen.



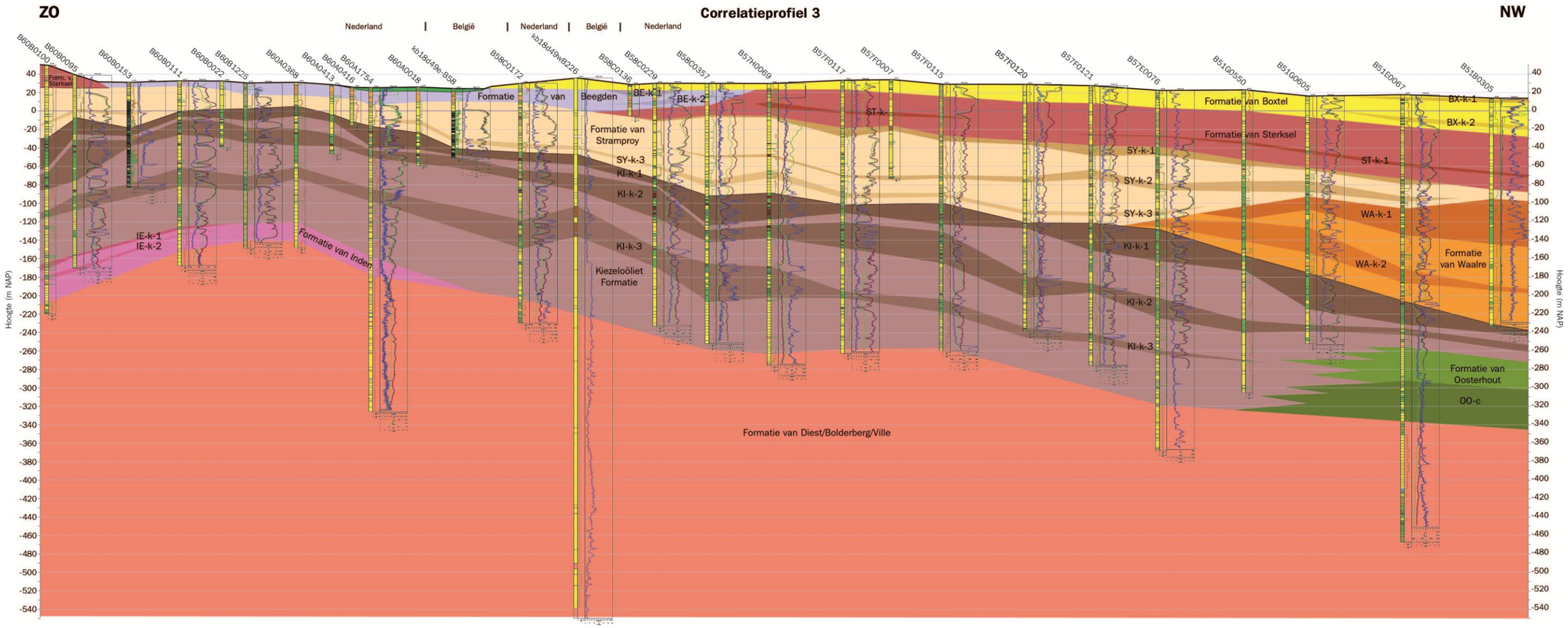
Figuur D.1: Overzicht van de locaties van de correlatieprofielen.



Figuur D.2: Correlatieprofiel 1.



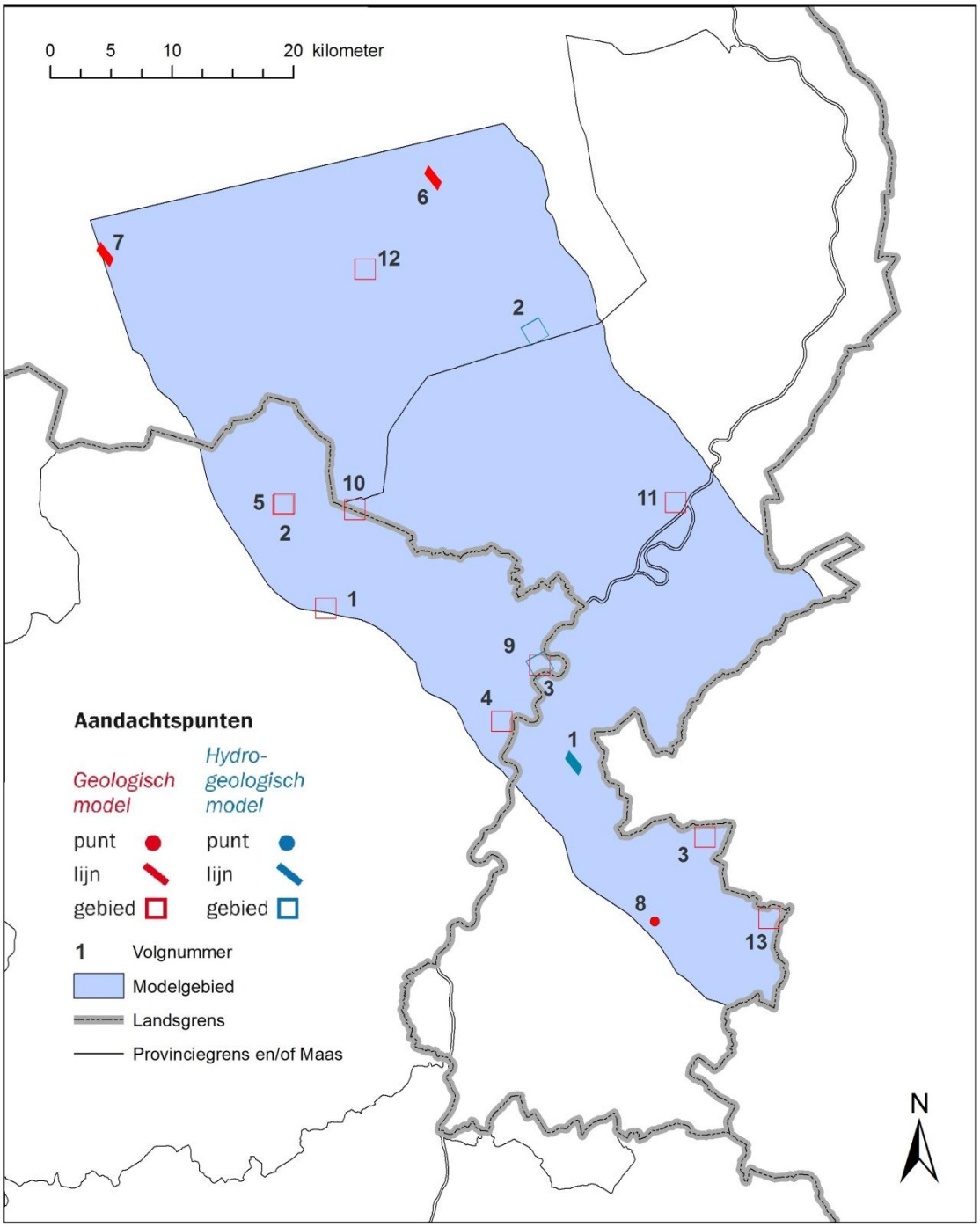
Figuur D.3: Correlatieprofiel 2.



Figuur D.4: Correlatieprofiel 3.

Bijlage E: Aandachtspunten en bekende fouten in de modellen

Deze bijlage geeft een overzicht van aandachtspunten en reeds bekende fouten in het geologische en het hydrogeologische model. De locaties of gebieden waar deze punten spelen, zijn vastgelegd in de shapefiles “aandachtspunten_geologisch model.shp” en “aandachtspunten_hydrogeologisch model.shp” die bij de MXD’s van deze modellen zijn opgenomen. Het in deze bijlage vermelde volgnummer verwijst naar het attribuut “VOLGNUMMER” van deze shapefiles. In figuur E.1 zijn de locaties van deze aandachtspunten aangegeven.



Figuur E.1: Ligging van aandachtspunten en bekende fouten in het geologische en hydrogeologische model, stand 26/2/2014.

Geologische model

Algemeen:

Aan de uiteindes van breuken kunnen artefacten ontstaan door een tekort aan help-breuksticks bij de 3D modellering van de breukvlakken. Het toevoegen van helpsticks is een tijdrovend iteratief proces en niet overal uitgevoerd. Op enkele locaties is de breukwerking niet consistent van basis tot top van het model. Hier is geen eenduidige oorzaak voor aan te wijzen.

Specifiek:

VOLG-NUMMER	OMSCHRIJVING
1	De klei- en zandlagen binnen de Formatie van Voort verdikken of verdunnen sterk in het gebied net ten noorden van de Grote Brogel breuk zonder dat hier aanwijzingen voor zijn.
2	De basis van de Formatie van Bolderberg is in dit breukblok te hoog gelegen en is daardoor niet in overeenstemming met de informatie van sommige boringen.
3	Er zijn onvoldoende data (geen seismiek en ook geen diepe boringen) voor een goede kartering van de diepe lagen in het gebied tussen de 1^{e} NO Hoofdbreuk en de Gangelt breuk ten noordoost van Schinveld.
4	De breuk vertoont afschuiving van diepe eenheden, maar opschuiving van de basis Bolderberg.
5	De verbreidingsgrens van de basis van de Formatie van Hannut komt langs de oostgrens nog niet geheel overeen met de geïnterpreteerde seismiek. Technisch zeer complex uitvoerbaar.
6	Het verzet is in de top van Formatie van Bolderberg groter dan aan de basis.
7	Het verzet in de basis van de Kiezeloöliet Formatie is verkeerd in het gebiedje waar de twee breuken samenkomen als gevolg van het ontbreken van de Formatie van Oosterhout door een foutief steunpunt.
8	De maaiveldshoogte van boring B62B0874 lijkt niet te kloppen.
9	De basis van de Formatie van Stramproy is te laag gelegd door een steunpunt.
10	De breukwerking is niet consistent van basis tot top van het diepe model. In dit gebied is weinig data beschikbaar om het breukverloop te onderbouwen. Slechts één ondiepe seismische lijn waarin geen verzet is geconstateerd. Diepe en ondiepe seismiek tonen een zeer verschillend reflectiepatroon. Zonder aanvullende putinformatie en/of snijdende seismische lijnen is de seismische interpretatie moeilijk aan te sluiten op de overige interpretaties. De eenheden onder de basis van de Formatie van Bolderberg worden bepaald door interpolatie tussen omliggende data.
11	Aan de tip van breuken kunnen artefacten ontstaan doordat bij de 3D modellering van de breukvlakken geen help-breuksticks zijn toegevoegd voorbij de seismische lijn. De breuk stopt op de seismische lijn waar deze nog verzet toont. Het toevoegen van helpsticks is een tijdrovend iteratief proces en niet overal uitgevoerd.
12	In enkele delen van de Roerdalslenk vertoont basis van de Kiezeloöliet Formatie een meer horizontaal verloop in vergelijking tot de sterk dalende basis van de dieper gelegen formaties. Dit wordt veroorzaakt doordat er in vergelijking tot de diepere eenheden, die in seismische lijnen zijn geïnterpreteerd, weinig data beschikbaar zijn voor het berekenen van het verloop van de basis van de formatie en er daarnaast geen aanvullende stuurinformatie is meegenomen.
13	Formatie van Veldhoven is in dit gebied wel aanwezig maar hier niet gekarteerd.

Hydrogeologische model

Specifiek:

VOLGNUMMER	OMSCHRIJVING
1	Onterechte breukwerking in de eenheden KI-k-2 en KI-k-3.
2	Eenheid WA-k-2 is dik.
3	Gat in eenheid KI-k-1 door de fout in het geologische model (aandachtspunt 10 van het geologische model).

Bijlage F1: Overzicht shapefiles en rasters van de modellen

Dit document geeft een overzicht van de shapefiles en rasters zoals aanwezig in de MXD's van het geologische en hydrogeologische model van het H3O-project. De directory waarin de bestanden zijn opgeslagen is als volgt gestructureerd:

- H3O
  - LB_TAW
    - algemeen
    - geologie
      - grid
      - shape
    - hydrogeologie
      - grid
      - shape
  - RD_NAP
    - algemeen
    - geologie
      - grid
      - shape
    - hydrogeologie
      - grid
      - shape

De MXD's van het geologisch en het hydrogeologisch model voor verschillende versies van ArcGIS staan in de mappen "LB_TAW" en "RD_NAP".

- LB_TAW
- RD_NAP
  - H3O_geologisch_model_v10.mxd
  - H3O_geologisch_model_v93.mxd
  - H3O_geologisch_model_v92.mxd
  - H3O_hydrogeologisch_model_v10.mxd
  - H3O_hydrogeologisch_model_v93.mxd
  - H3O_hydrogeologisch_model_v92.mxd

In de mappen "algemeen" staan shapefiles die zowel voor het geologisch als het hydrogeologisch model van toepassing zijn.

- algemeen
  - aandachtspunten_geologisch model.shp
  - aandachtspunten_hydrogeologisch model.shp
  - breuken_aan_maaiveld.shp
  - inventarisatiegebied.shp
  - modelgebied.shp
  - overzicht_diepe_boringen.shp
  - overzicht_ondiepe_boringen.shp
  - overzicht_ondiepe_breuken.shp
  - overzicht_seismische_lijnen.shp
  - topografie.shp

In de mappen “grid” en “shape” van het geologische en het hydrogeologische model zijn de beschikbare bestanden per eenheid afhankelijk van de toegepaste berekeningsmethode (ondiepe methode, diepe methode of beiden). Shapefiles van eenheden die berekend zijn met beide methodes krijgen een extensie “_ondiep” of “_diep”. Shapefiles voor eenheden geheel berekend volgens de diepe *of* ondiepe methode krijgen geen extra extensie.

- geologie/ hydrogeologie
  - grid
    - *eenheid*-b-c
    - *eenheid*-t-c
      - niveau van resp. basis en top eenheid
    - *eenheid*-d-c — dikte van eenheid
    - *eenheid*-b-ql
    - *eenheid*-t-ql
    - *eenheid*-d-ql
      - standaarddeviatie
    - *eenheid*-qv — kans op voorkomen
      - voor geologische eenheden berekend met ondiepe methode
  - shape
    - *eenheid*_boring_aanwezig.shp
    - *eenheid*_boring_afwezig.shp
    - *eenheid*_breuk.shp
    - *eenheid*_seismiek.shp
      - *eventueel met extensie “_ondiep” of “_diep”*
    - geo_karteergebied_ondiep_*van eenheid _tot eenheid.*shp
    - geo_karteergebied_diep_ *van eenheid _tot eenheid.*shp
    - geo_niet_gekarteerd_ *van eenheid_tot eenheid*.shp
    - hydro_karteergebied_ondiep_ *van eenheid _tot eenheid*.shp
    - hydro_karteergebied_diep_ *van eenheid _tot eenheid*.shp
    - hydro_niet_gekarteerd_ *van eenheid _tot eenheid*.shp

Bijlage F2: Attributen shapefiles van de modellen

Dit document geeft een overzicht van de shapefiles en de bijbehorende attribuutgegevens van de MXD's van het geologische en hydrogeologische model van het H3O-project. De attribuut tabel van alle shapefiles bevat enkele standaard kolommen:

Attribuutnaam	Omschrijving
FID	Volgnummer
Shape *	Type shapefile (Point, Polyline ZM, Polyline of Polygon)
Id	Bij het maken van enkele shapefiles wordt deze kolom automatisch gegenereerd; de inhoud heeft geen betekenis.

Algemeen

1. **"Aandachtspunten"**
   i. **aandachtspunten_geologisch model.shp**
   ii. **aandachtspunten_hydrogeologisch model.shp**

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
VOLGNUMMER	Uniek volgnummer	-	
TYPE	"punt", "lijn" of "gebied", als het aandachtpunt betrekking heeft op respectievelijk één boring, een breuk, of meerdere boringen.	-	
PROBLEEM	Omschrijving van aandachtspunt.	-	

2. **“Overzicht boringen“**
   i. **overzicht_ondiepe_boringen.shp**
   ii. **overzicht_diepe_boringen.shp**

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
BOORNUMMER	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databanken DINO, NLOG (diepe boringen in Nederland) of DOV.	-	
X	X-coördinaat, afhankelijk van versie van de MXD volgens RD- of Lambert72-coördinaatsysteem	m	0
Y	Y-coördinaat, afhankelijk van versie volgens RD- of Lambert72-coördinaatsysteem	m	0
X_CORR	X-coördinaat, zoals gebruikt voor modellering. De coördinaten van boringen die dicht nabij breuken zijn gelegen, zijn aangepast om verstoringen bij de ruimtelijke interpolatie te voorkomen.	m	0
Y_CORR	Y-coördinaat, zoals gebruikt voor modellering. De coördinaten van boringen die dicht nabij breuken zijn gelegen, zijn aangepast om verstoringen bij de ruimtelijke interpolatie te voorkomen.	m	0
MV	Maaiveldshoogte van de boorlocatie ten tijde van de uitvoering, afhankelijk van versie van de MXD t.o.v. NAP of TAW	m	2
MV_CORR	Voor bodemdaling of opheffing gecorrigeerde maaiveldshoogte van de boorlocatie, afhankelijk van versie van de MXD t.o.v. NAP of TAW (alleen in Nederlandse mijnstreek)	m	2
EINDDIEPTE	Einddiepte van de boring	m	2

3. **“Overzicht seismische lijnen“ (overzicht_seismische_lijnen.shp)**

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
LIJNNAAM	Naam van de seismische lijn	-	

4. **“Topografie“ (topografie.shp)**

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
TOPOGRAFIE	“Nederland”, “België “, “Duitsland” of “Water”	-	-

5. **Shapefiles zonder extra kolommen:**
   i. **“Breuken, aan maaiveld waarneembaar“ (breuken_aan_maaiveld.shp)**
   ii. **“Modelgebied” (modelgebied.shp)**
   iii. **“Inventarisatiegebied” (inventarisatiegebied.shp)**

Geologisch en Hydrogeologisch model

1. **"Boring eenheid aanwezig"**
   i. ***eenheid*_boring_aanwezig.shp**
   ii. ***eenheid*_boring_aanwezig_ondiep.shp**
   iii. ***eenheid*_boring_aanwezig_diep.shp**

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
BOORNUMMER	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databanken DINO, NLOG (diepe boringen in Nederland) of DOV.	-	
TOP	Hoogte van de geïnterpreteerde top van de eenheid, afhankelijk van versie van de MXD t.o.v. NAP of TAW.	m	2
DIKTE	Geïnterpreteerde (minimum) dikte van de eenheid.	m	2
BASIS	Hoogte van de geïnterpreteerde basis van de eenheid, afhankelijk van versie van de MXD t.o.v. NAP of TAW. Bij boringen die de basis van de eenheid niet bereikt hebben "-9999".	m	2
DOORBOORD	"ja" als in de boring de onderliggende eenheid heeft bereikt. Anders "nee", in welk geval de kolom DIKTE een minimale dikte geeft, en de kolom BASIS de maximale hoogte van de basis.	-	

2. **"Boring eenheid afwezig"**
   i. ***eenheid*_boring_afwezig.shp**
   ii. ***eenheid*_boring_afwezig_ondiep.shp**
   iii. ***eenheid*_boring_afwezig_diep.shp**

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
BOORNUMMER	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databanken DINO, NLOG (diepe boringen in Nederland) of DOV.	-	

3. **“Geinterpreteerde seismiek” (*eenheid*_seismiek.shp)**

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
LIJNNAAM	Naam van de seismische lijn	-	
BASIS	Hoogte van de geïnterpreteerde en naar diepte geconverteerde basis van de eenheid, afhankelijk van versie van de MXD t.o.v. NAP of TAW.	m	2

4. **Shapefiles zonder extra kolommen:**
   i. **“Breuken”**
      - ***eenheid*_breuk.shp**
      - ***eenheid*_breuk_ondiep.shp**
      - ***eenheid*_breuk_diep.shp**
   ii. **“Karteergebieden”**
      - **geo_karteergebied_ondiep_*van eenheid _tot eenheid.*shp**
      - **geo_karteergebied_diep_ *van eenheid _tot eenheid.*shp**
      - **geo_niet_gekarteerd_ *van eenheid_tot eenheid*.shp**
      - **hydro_karteergebied_ondiep_ *van eenheid _tot eenheid*.shp**
      - **hydro_karteergebied_diep_ *van eenheid _tot eenheid*.shp**
      - **hydro_niet_gekarteerd_ *van eenheid _tot eenheid*.shp**

Bijlage G: Kwalitatieve analyse van de lithologie van de gemodelleerde eenheden

In deze bijlage zijn de resultaten van de kwalitatieve analyse van de lithologie beschreven. Per modeleenheid van het geologische model is daarbij een korte beschrijving gegeven van 1) de overheersende lithologie, 2) de korrelgrootte en sortering, 3) eventuele laterale en verticale trends in de lithologie, 4) het afzettingsmilieu, 5) eventuele verkitting van het sediment, 6) het voorkomensgebied en 7) de gebruikte bronnen. De beschrijvingen zijn vaak gebaseerd op data afkomstig van buiten het projectgebied.

Lithologische beschrijving
Er wordt een korte beschrijving gegeven van de kenmerkende lithologische samenstelling van de betreffende eenheid en eventuele subeenheden. Deze beschrijving is hoofdzakelijk gebaseerd op bestaande lithostratigrafische definities.

Korrelgrootte en sortering
Voor de bepaling van de korrelgrootte en sortering is voornamelijk gebruik gemaakt van de gestandaardiseerde boorbeschrijvingen. De korrelgrootteschalen die daarin gehanteerd worden, zijn de Nederlandse classificatie NEN 5104 (tabel F.1) en de classificatie van Wentworth (tabel F.2). De classificatie van Wenthworth wordt standaard gebruikt bij lithologische beschrijvingen door de BGD. Er zijn duidelijke verschillen tussen beide classificaties, welke (beperkte) gevolgen kunnen hebben op de boorinterpretaties van beide landsdelen en dus ook op de uiteindelijke interpretaties.

Tabel G.1: Nederlandse korrelgrootteclassificatie volgens NEN 5104

Ondergrens	Bovengrens	Fractie
≥ 630 mm		blokken
≥ 200 mm	630 mm	keien
≥ 63 mm	200 mm	stenen
≥ 16 mm	63 mm	zeer grof grind
≥ 5,6 mm	16 mm	matig grof grind
≥ 2 mm	5,6 mm	fijn grind
≥ 0,420 mm	2 mm	uiterst grof zand
≥ 300 µm	0,420 mm	zeer grof zand
≥ 210 µm	300 µm	matig grof zand
≥ 150 µm	210 µm	matig fijn zand
≥ 105 µm	150 µm	zeer fijn zand
≥ 63 µm	105 µm	uiterst fijn zand
≥ 2 µm	63 µm	silt
	< 2 µm	lutum

Tabel G.2: Korrelgrootteclassificatie van Wentworth

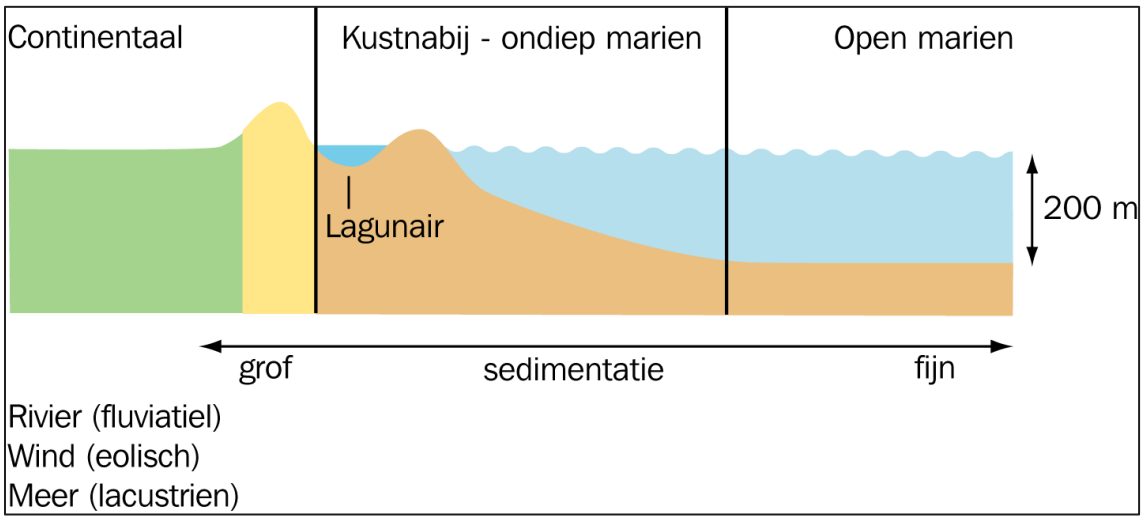
Ondergrens	Bovengrens	Fractie	
256 mm		Blokken	
8 mm	256 mm	Keien	
2 mm	8 mm	Grind	Grind
1 mm	2 mm	Zeer grof zand	
0.5 mm	1 mm	Grof zand	
250 µm	0.5 mm	Gemiddeld zand	
125 µm	250 µm	Fijn zand	
62 µm	125 µm	Zeer fijn zand	Zand
32 µm	62 µm	Grof silt	
16 µm	32 µm	Gemiddeld silt	
2 µm	16 µm	Fijn silt	Silt
	2 µm	Klei	Klei

Laterale en verticale trends

Er wordt een korte beschrijving gegeven van de meest opvallende lithologische variaties in de horizontale en verticale richting binnen de betreffende eenheid.

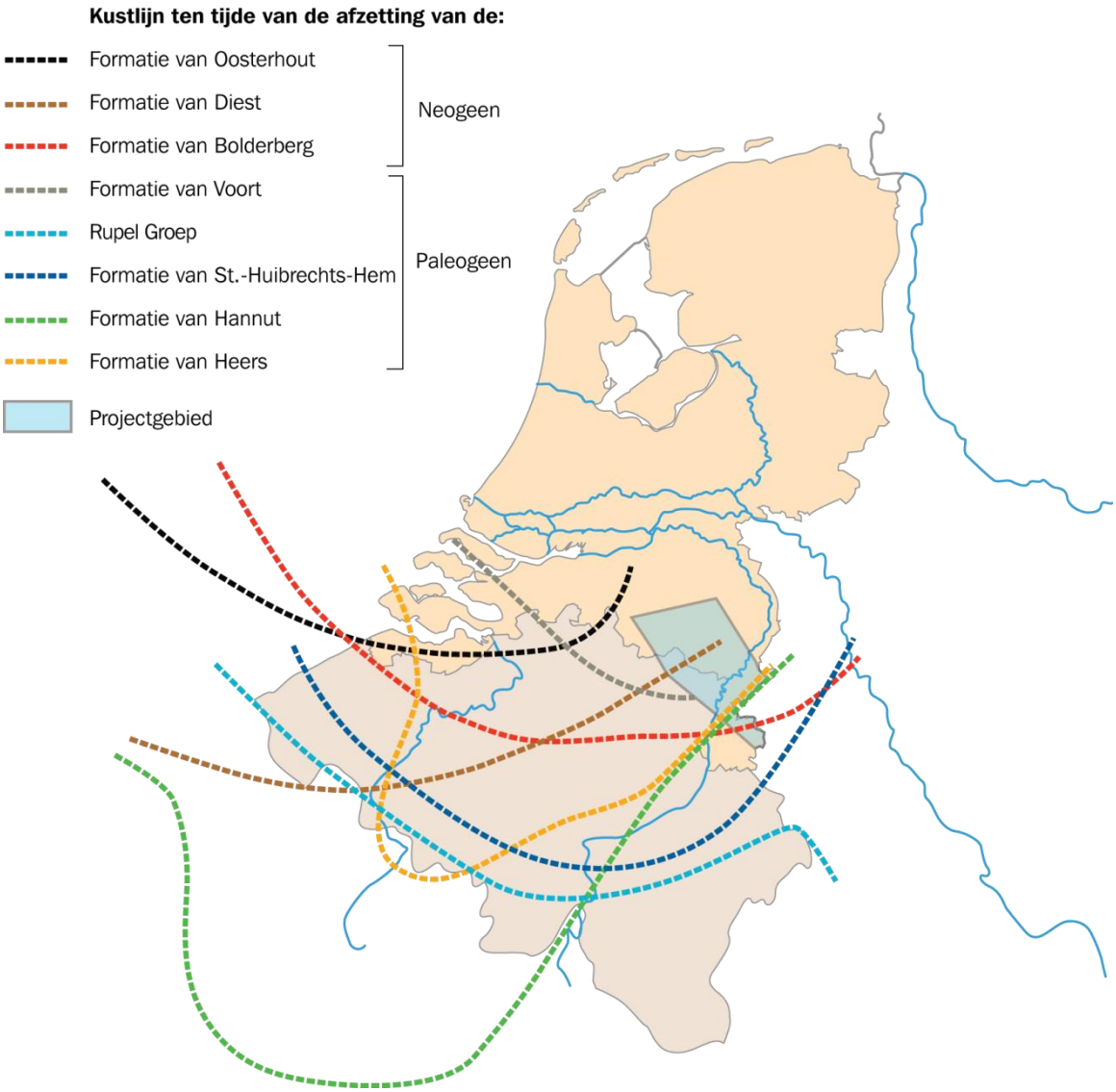
Afzettingsmilieu

Beschrijving van het milieu waarin de betreffende eenheid werd afgezet. De milieu-indicatie is allereerst onderverdeeld in continentale en mariene afzettingen. Verdere onderverdelingen van milieus zijn geïllustreerd in figuur G.1. In het continentale bereik worden rivier-, wind- en meerafzettingen onderscheiden en in het mariene bereik kustnabij, ondiep en open marien.



Figuur G. 1: Schematisch overzicht van afzettingsmilieus in het projectgebied.

Ten behoeve van deze beschrijving worden in figuur G.2 de paleokustlijnen getoond ten tijde van de mariene afzettingenuit het Paleogeen en Neogeen. In het grootste deel van het Vroeg-Paleogeen lagen de kustlijnen aanzienlijk zuidelijker dan tijdens het LaatOligoceen (en het Neogeen.



Figuur G.2: De ligging van de kustlijn tijdens het Paleogeen en Neogeen ten opzichte van het projectgebied (gewijzigd naar Gullentops & Wouters, 1996).

Verkitting

Indien aanwezig, wordt de aard van de verkitting binnen de betreffende eenheid beschreven. Hierbij wordt geen rekening gehouden met verkitting die zuiver afhankelijk is van de mate van begraving.

Voorkomensgebied

Hierbij wordt de geografische verbreiding van de betreffende eenheid besproken. De bespreking van het voorkomensgebied is beperkt tot de Roerdalslenk, het Kempisch Bekken, Zuid-Limburg en het Peel Blok. Voor de eenvoud definiëren we het centrale deel van de Roerdalslenk als het gebied dat het gehele Belgische deel van de Roerdalslenk omvat. Het noordwestelijke en zuidoostelijke deel liggen hier dus respectievelijk ten noordwesten en ten zuidoosten van. Voor de ondiepere eenheden is een meer specifieke voorkomensaanduiding gehanteerd.

Referenties

Hier worden de bronnen vermeld waarop de beschrijving is gebaseerd.

Geologische eenheid: HL

Hydrogeologische eenheden: HL-c

Lithologische beschrijving

Deze eenheid omvat de holocene, nabij de waterscheiding aanwezige veenvoorkomens, de holocene beekafzettingen en de holocene kleiige afzettingen van de Maas en de Roer.
De veenvoorkomens bestaan voornamelijk uit veen (vooral veenmosveen) met daarnaast organogene meerafzettingen (dy en gyttja). Aan de basis komen vaak boomstronken voor.
De beekafzettingen kunnen bestaan uit zand, zeer fijn tot zeer grof, soms siltig of grindhoudend; leem, veelal zandig; klei, humeus; veen en/of detritusgyttja. In het zuidoostelijke deel van het projectgebied bestaan de afzettingen vooral uit verspoelde en omgewerkte löss met plantenresten.
De kleiige holocene afzettingen van de Maas en de Roer bestaan overwegend uit zwak tot sterk zandige leem en klei, zwak siltig tot sterk zandig, met ingeschakelde dunne zandlaagjes. Sporadisch komt ook veen voor.

Korrelgrootte en sortering

Beekafzettingen: De zanden variëren van zeer fijn tot zeer grof, soms siltig of grindhoudend. De lemen zijn veelal zandig,

Kleiige holocene afzettingen van de Maas en de Roer: De lemen zijn zwak tot sterk zandig, de kleien zwak siltig tot sterk zandig.

Laterale en verticale trends

Veenafzettingen: Vanaf maaiveld vaak sprake van een opeenvolging van één of meerdere van de volgende veentypen/afzettingen:

1. Veraarde bovenlaag in gebieden waar het veen ontwaterd is. Door deze laag kan zand zijn gewerkt
2. Levend veenmosdek in gebieden waar nog sprake is van veenvorming
3. Witveen, i.e. weinig verweerd en weinig samengedrukt veenmosveen
4. Zwartveen, i.e. matig tot sterk verweerd, samengedrukt veenmosveen
5. Riet-, zeggeveen
6. Bosveen
7. Gyttja- en/of gliedelaag.

De samenstelling van het veen, de mate van verwering en compactie en de mate waarin als gevolg van uitdroging scheurvorming in het veen heeft plaatsgevonden zijn sterk bepalend voor de doorlatendheid.

Beekafzettingen: In de Nederlandse provincie Noord-Brabant bestaan de afzettingen in de bovenloop van de beken vooral uit veen en verder benedenstrooms uit klei, leem en zand.

De afzettingen zijn daarnaast aan de basis vaak zandiger en worden naar de top fijner.

Kleiige holocene afzettingen van de Maas en de Roer: Binnen het projectgebied is voor zover bekend geen trend in de lithologie van de afzettingen aanwezig.

Milieu

Veenafzettingen: Organogene vorming.
Beekafzettingen: Fluviatiel (kleinschalig) en organogene vorming.
Kleiige holocene afzettingen van de Maas en de Roer: Fluviatiel.

Verkitting

Veenafzettingen: Door humificatie en compactie van het veen.
Beekafzettingen: IJzeroerlagen.
Kleiige holocene afzettingen van de Maas en de Roer: IJzeroerlagen.

Voorkomensgebied

Veenafzettingen: Het oorspronkelijke verbreidingsgebied was aanzienlijk groter en strekte zich uit over de hooggelegen gebieden ten noordoosten van Weert en de ten oosten daarvan gelegen hogere delen van het Peel Blok. Door grootschalig turfwinning is veel van het veen verdwenen. De eenheid komt thans nog slechts op enkele plaatsen in en nabij de Roerdalslenk voor, te weten in De Groote Peel en Astensche Peel ten westen van Meijel, de Deurnsche Peel en Mariapeel nabij Helenaveen en in enkele kleinere natuurgebiedjes.

Beekafzettingen: De afzettingen komen voor in de beekdalen en andere laag gelegen gebieden waar sprake is van inundaties vanuit beken en riviertjes.

Kleiige holocene afzettingen van de Maas en de Roer: De afzettingen komen voor in de laagste delen van het Maasdal en het dal van de Roer.

Referenties

Doppert et al. (1975)
Joosten & Bakker(1986)
Kuyl (1980)
Schokker et al. (2005)
Schokker & Weerts (2004)
Vernes et al. (2013)
Vos et al. (2011)
Weerts & Busschers (2003)
Westerhoff & Weerts (2003)

Geologische eenheid: Formatie van Boxtel (excl. holocene beekafzettingen)

Hydrogeologische eenheden: BXSC-k-1, BX-z-2, BX-k-1, BXLM-k-1, BX-z-3, BX-k-2, BX-z-4

Lithologische beschrijving

De formatie bestaat in het algemeen uit zand, zeer fijn tot matig grof, zwak tot sterk siltig, en leem, zwak tot sterk zandig. Daarnaast bevatten de afzettingen soms grind, zwak tot sterk zandig; zand, matig fijn tot zeer grof, zwak tot sterk fijn grindhoudend; veen en gyttja.
Hydrogeologische eenheid BXSC-k-1 omvat de in het zuidoostelijke deel van het projectgebied aanwezige lössafzettingen en bestaat uit leem. De hydrogeologische eenheden BX-k-1, BXLM-k-1 en BX-k-2 bestaan eveneens voor een belangrijke deel uit leem.

Korrelgrootte en sortering

Het zand is in het algemeen zeer fijn tot matig grof (105- 300 µm) en zwak tot sterk siltig; de leem zwak tot sterk zandig.
De lemen van hydrogeologische eenheid BXSC-k-1 zijn zeer goed gesorteerd.

Laterale en verticale trends

Aan de top van de eenheid komt vaak een laag dekzand voor waarop plaatselijk ook stuifzanden aanwezig zijn. Daaronder is vaak sprake van een afwisseling van leem- en zandlagen. De fijnkorrelige afzettingen nemen in het algemeen vanaf de randbreuken naar het centrale deel van de Roerdalslenk toe. Begraven veen- en gyttjalaagjes komen veelal voor op de waterscheiding.

Milieu

Tot de formatie worden afzettingen gerekend die op formatieniveau gezien in een breed scala aan milieus zijn gevormd, te weten: eolisch, kleinschalige fluviatiel (beekafzettingen), lacustrien, hellingafzettingen en organogene vormingen.

Verkitting

De Formatie van Boxtel ligt in grote delen van het studiegebied aan maaiveld. Als gevolg van bodemvorming komen inspoelingshorizonten voor waar de sedimenten in meer of mindere mate verkit kunnen zijn. Daarnaast komen ijzeroerlagen voor.

Voorkomensgebied

In nagenoeg het hele projectgebied. In het dal van de Maas en de Roer, in de diepe beekdalen en op hellingen zijn de afzettingen van de Formatie van Boxtel door erosie gedeeltelijk of geheel afwezig.

Referenties

Kuyl (1980)
Schokker et al. (2005)
Schokker & Weerts (2004)

Geologische eenheid: Formatie van Beegden (excl. kleiige holocene afzettingen)

Hydrogeologische eenheden: BE-z-1, BE-k-1, BE-z-2, BE-k-2, BE-z-3

Lithologische beschrijving

De afzettingen bestaan in het algemeen uit zand, matig grof tot uiterst grof, zwak tot sterk grindig, en grind, fijn tot zeer grof, zwak tot uiterst zandig. In de afzettingen komen in *lag-deposits* stenen, keien en blokken voor. Verder bestaan de afzettingen uit matig fijn tot matig grof zand; leem, zwak tot sterk zandig, en klei, zwak siltig tot sterk zandig.

Korrelgrootte en sortering

De zanden zijn in het algemeen matig grof tot uiterst grof (210 – 2000 µm); de grinden zijn in het algemeen fijn tot zeer grof (2 – 63 mm).

Laterale en verticale trends

In het projectgebied overheersen langs de Maas afzettingen van grof grind, stenen, keien en blokken. Deze afzettingen gaan ter weerszijde van de Maas binnen enkele kilometers over in zandafzettingen en In noordelijke richting, bij het verlaten van de Roerdalslenk, in grind- en zandafzettingen.
Grind komt verder vooral voor in *lag-deposits* aan de basis van de formatie. Binnen de formatie kunnen in een deel van het gebied twee *fining-upward* sequenties worden onderscheiden Aan de top daarvan komen soms karteerbare kleiige niveaus voor (hydrogeologische eenheden BE-k-1 en BE-k-2).

Milieu

Fluviatiel

Verkitting

Verkitting door ijzeroerlagen komt voor.

Voorkomensgebied

De formatie komt voor in het Maasdal, ten zuiden van de Roerdalslenk op de ter weerszijde van de Maas gelegen terrassen, in de Roerdalslenk zelf in het dal van de Roer en in een brede zone die zich vanaf de Maas in noordwestelijke richting uitstrekt. Afzettingen van deze formatie komen daarnaast in een grote deel van het Peel Blok en het Venlo Blok voor.

Referenties

Westerhoff & Weerts (2003)
Mededeling Maria Juhász-Holterman

Geologische eenheid: Formatie van Sterksel

Hydrogeologische eenheden: ST-z-1, ST-k-1, ST-z-2

Lithologische beschrijving

De afzettingen van de Formatie van Sterksel bestaan in het algemeen uit zand, matig grof tot uiterst grof, zwak tot sterk grindig; grind, fijn tot uiterst grof, en zwak tot uiterst siltige kleilagen. De kleilagen bevatten regelmatig zeer dunne tot dunne (mm – cm) zandlaagjes. Aan de basis van de formatie kunnen stenen, keien en blokken voorkomen.

Korrelgrootte en sortering

De zanden zijn matig grof tot uiterst grof (210 – 2000 µm); het grind is fijn tot uiterst grof (2 - 63 mm); de kleien zijn zwak tot uiterst siltig.

Laterale en verticale trends

In noordelijke richting is sprake van een afname in de korrelgrootte. Aan de basis van de formatie komen vaak grove grindhoudende afzettingen voor (geulbodemafzetting).

Milieu

Fluviatiel

Verkitting

Verkitting van sedimenten door neerslag van ijzerhydroxiden komt voor, onder andere aan de basis van de formatie, op het grensvlak met onderliggende eenheden.

Voorkomensgebied

De formatie komt voor in de Roerdalslenk en op de aangrenzende hoge delen van het Peel Blok en Venlo Blok (hoogterras) ten oosten van de Maas. In de Roerdalslenk komt de formatie voor in een parallel aan de Peelrandbreuk gelegen zone die in noordwestelijke richting breder wordt en geleidelijk aan de hele Roerdalslenk en het noordoostelijke deel van het Kempisch Bekken beslaat.

Referenties

Westerhoff (2003)

Geologische eenheid: Formatie van Stramproy

Hydrogeologische eenheden: SY-z-1, SY-k-1, SY-z-2, SY-k-2, SY-z-3, SY-k-3, SY-z-4

Lithologische beschrijving

De afzettingen van de Formatie van Stramproy bestaan in het algemeen uit zand. Leem-, en kleilagen komen eveneens voor. In de zanden kunnen veen-, bruinkool- en gyttjalaagjes aanwezig zijn.

Korrelgrootte en sortering

De korrelgrootte van de zanden varieert van uiterst fijn tot zeer grof (63 – 420 µm); matig fijn tot matig grof (150 - 300 µm) zand overheerst. De kleilagen zijn sterk tot uiterst siltig.

Laterale en verticale trends

Voor zover bekent geen regionale trend aanwezig.

Milieu

In het onderzoeksgebied zijn de afzettingen van de Formatie van Stramroy in een breed scala aan milieus gevormd, te weten: eolisch, fluviatiel (o.a. beekafzettingen), lacustrien, en organogene vormingen.

Verkittingen

In de afzettingen komen begraven bodems voor. De inspoelingshorizonten daarvan zouden als verkitte lagen ontwikkeld kunnen zijn.

Voorkomensgebied

De formatie komt voor in de Roerdalslenk, in het ten zuiden van de Meinwegbreuk gelegen deel van het Peel Blok en in het noordoostelijke deel van het Kempisch Bekken. De eenheid ontbreekt in het zuidoostelijke deel van de Roerdalslenk, ten oosten van Schinveld.

Referenties:

De Lang & Weerts (2003)
Schokker & Weerts (2004)

Geologische eenheid: Formatie van Waalre

Hydrogeologische eenheden: PZWA-z-1, WA-k-1, PZWA-z-2, WA-k-2, PZWA-z-3, WA-k-3, PZWA-z-4

Lithologische beschrijving

De formatie bestaat uit een aantal opeenvolgende sedimentcycli. De lithologische samenstelling daarvan varieert van zeer grof grind tot zwak siltige klei waarbij de zanden overheersen. De zanden zijn uiterst fijn tot uiterst grof. De kleien zijn sterk zandig tot zwak siltig, stevig en zijn horizontaal gelaagd (soms met dunne laagjes uiterst fijn tot matig fijn zand. Het grind is zeer grof, siltig tot uiterst zandig waarbinnen stenen, keien en blokken kunnen voorkomen. Sporadisch komen dunne, tot enkel decimeters dikke, sterk kleiige tot mineraalarme veen-/bruinkoollaagjes voor.

Korrelgrootte en sortering

De korrelgrootte van de zanden varieert van uiterst fijn tot uiterst grof (63 – 2000 µm). De kleien zijn sterk zandig tot zwak siltig. Het grind is zeer grof (16 – 63 mm).

Laterale en verticale trends

Er is verticaal sprake van een aantal opeenvolgende cycli waarbinnen het sediment naar boven toe van grof naar fijn overgaat (*fining-upward* cyclus). De sedimenten aan de basis van de formatie gaan van zand uiterst grof (420 – 2000 µm) en grindhoudend over in zwak siltige klei. In de Roerdalslenk zijn deze basale afzettingen sterk grindhoudend. De daarboven gelegen cycli bestaan veelal uit fijner zand – klei. De bovenste cyclus eindigt in een enkele meters dik kleipakket. Lokaal komen in de top van de kleilagen inschakelingen van veen/bruinkool voor.
De gemiddelde korrelgrootte neemt in (noord)westelijke richting af.

Milieu

In het studiegebied zijn de afzettingen in een fluviatiel milieu gevormd.

Verkitting

De kleien bevatten in specifieke facies een hoog gehalte aan sideriet (ijzercarbonaat).

Voorkomensgebied

De Formatie van Waalre komt in de Roerdalslenk voor in een langs de Peelrandbreuk gelegen strook. Ter hoogte van Valkenswaard strekt het verbreidingsgebied zich sterk naar het westen toe uit tot aan de Noordzeekust. De eenheid ontbreekt in delen van het Peel Blok en Venlo Blok maar komt onder ander wel voor op de ten oosten van de Maas gelegen hoogterassen.

Referenties

Schokker & Weerts (2004)
Westerhoff & Weerts (2003)

Mededeling Maria Juhász-Holterman
Mededeling Piet van Rooijen

Geologische eenheid: Formatie van Maassluis

Hydrogeologische eenheid: MS-z

Lithologische beschrijving

De formatie bestaat in het algemeen uit schelphoudend zand, uiterst fijn tot matig grof en klei, vaak siltig, vaak zandig, schelparm tot schelphoudend. In de formatie kunnen dunne, enkele centimeters dikke schelpenlagen voorkomen.

Korrelgrootte en sortering

De zanden variëren veelal van uiterst fijn tot matig grof (63 – 300 µm). Uiterst grof zand (420 – 2000 µm) komt sporadisch voor. De kleien zijn vaak siltig, vaak zandig.

Laterale en verticale trends

Van het zuidoosten naar het noordwesten neemt de gemiddelde korrelgrootte van de afzettingen af.
De zand- en kleipakketten vertonen over het algemeen een toename in korrelgrootte naar boven toe (*coarsening-upward* sequentie).

Milieu

Kustnabij en ondiep marien.

Verkitting

Voor zover bekend niet aanwezig.

Voorkomensgebied

De formatie komt in het noordelijke en noordwestelijke deel van de Roerdalslenk voor.

Referenties

Huizer & Weerts (2003)

Geologische eenheid: Kiezeloöliet Formatie

Hydrogeologische eenheden: Kl-z-1, Kl-k-1, Kl-z-2, Kl-k-2, Kl-z-3, Kl-k-3, Kl-z-4, Kl-k-4, Kl-z-5

Lithologische beschrijving

De lithologie van de Kiezeloöliet Formatie vertoont grote verschillen; de afzettingen bestaan in het algemeen zowel uit zand, klei, bruinkool en grind. De zanden overheersen daarbij en variëren van uiterst fijn tot uiterst grof. De kleien zijn zwak zandig tot zwak siltig, massief of horizontaal gelaagd (soms met dunne laagjes zeer fijn tot matig fijn zand), zeer hard, op veel plaatsen sterk humeus en/of met ingeschakelde bruinkoollagen. De bruinkoollagen, in dikte variërend van centimeters tot enkele meters, zijn sterk kleiig tot mineraalarm en bevatten meestal veel houtresten. Het grind varieert van fijn tot zeer grof en is siltig tot uiterst zandig. Sporadisch komen stenen, keien en blokken in de grindlagen voor.

Korrelgrootte en sortering

Het zand varieert veelal van uiterst fijn tot uiterst grof (63 – 2000 µm). De kleien zijn zwak siltig tot zwak zandig. Het grind varieert van fijn tot zeer grof (2 – 63 mm).

Laterale en verticale trends

In de formatie komen meerdere *fining-upward* sequenties en klei- en bruinkoollagen voor.
Aan de basis van de formatie komt het Laagpakket van Waubach voor. Dit laagpakket bestaat in het zuidoostelijke deel van de Roerdalslenk uit grind en uiterst grof, sterk grindig zand; in de Roerdalslenk uit matig fijn tot uiterst grof kwartszandzand.
In noordelijke richting, naar de randen van het verbreidingsgebied toe neemt de korrelgrootte van het zand af.

Milieu

Fluviatiel, meer noordelijk buiten het onderzoeksgebied estuarien.

Verkitting

Mogelijke verkitting als gevolg van inspoeling van humus afkomstig van bodemvorming of veenlagen.

Voorkomensgebied

De formatie komt voor in het noordelijke deel van Zuid-Limburg, in de Roerdalslenk, in delen van het Peel Blok en het Venlo Blok en in het noordoostelijke deel van het Kempisch Bekken.

Referenties

Schokker & Weerts (2004)
Westerhoff (2003)

Geologische eenheid: Formatie van Oosterhout

Hydrogeologische eenheden: OO-z-1 + OO-z-2, OO-c

Lithologische beschrijving

De formatie bestaat in het algemeen uit zand, zeer fijn tot zeer grof, deels kleiig, met een spoor tot veel schelpgruis en schelpen; klei en zandige klei, zwak tot sterk siltig en schelpenbanken, in dikte variërend van enkele decimeters tot meer dan 10 meter.

Korrelgrootte en sortering

Het zand varieert veelal van zeer fijn tot zeer grof (105 – 420 µm). De kleien zijn zwak tot sterk siltig.

Laterale en verticale trends

In noordwestelijke richting, naar West-Nederland toe, gaan de zanden en kleiige zanden over naar zandige kleien en kleien.

Milieu

Kustnabij en ondiep marien.

Verkitting

Zandsteenlagen komen soms voor aan de top van de klei.

Voorkomensgebied

De formatie komt voor in de Roerdalslenk en het noordelijke deel van het Kempisch Bekken, het Peel Blok en het Venlo Blok.

Referenties

Ebbing & de Lang (2003)
Van Adrichem Boogaert & Kouwe (1993-1997)

Geologische eenheid: Formatie van Inden

Hydrogeologische eenheden: IE-z-1, IE-k-1, IE-z-2, IE-k-2, IE-z-3

Lithologische beschrijving

De afzettingen van de Formatie van Inden bestaan in het algemeen uit zanden, klei en bruinkool. De zanden overheersen daarbij. Deze zanden zijn veelal matig grof tot uiterst grof en worden verder gekenmerkt door brokjes verspoelde bruinkool en stukken hout. De kleien zijn zwak zandig tot zwak siltig, massief of horizontaal gelaagd, soms met dunne laagjes zeer fijn tot matig fijn zand. De klei kan sterk humeus zijn en bevat bruinkoollagen. De bruinkool is sterk kleiig tot mineraalarm en bevat vaak veel houtresten. De formatie bevat soms fijn tot grof grind.

Korrelgrootte en sortering

De zanden zijn veelal matig grof tot uiterst grof (210 – 2000 µm). De kleien zijn zwak siltig tot zwak zandig. De bruinkool is mineraalarm tot sterk kleiig.

Laterale en verticale trends

In noordelijke en noordwestelijke richting gaan de afzettingen over in de mariene afzettingen van de Formatie van Diest. Deze overgang is door het ontbreken van kwalitatieve goede gegevens nog niet goed in kaart gebracht. Aangenomen wordt dat er sprake is van een afname van de korrelgrootte in die richting.
De top van de formatie bestaat vaak uit een enkele meters dikke kleilaag.

Milieu

Fluviatiel

Verkitting

Mogelijke verkitting als gevolg van inspoeling van humus afkomstig van bodemvorming of veenlagen.

Voorkomensgebied

Zuidoostelijke deel van de Roerdalslenk

Referenties

Menkovic & Westerhoff (2010)
Schokker & Weerts (2004)

Geologische eenheid: Formatie van Diest

Hydrogeologische eenheden: 0252

Lithologische beschrijving

Grijsgroen tot bruinige, glauconiethoudende, matig grove zanden met schuine gelaagdheid en bioturbaties; licht kleihoudend (dunne kleilaagjes). Kenmerkend is een basaal grindpakket met afgeronde kwarts- en silexkeien en lokaal (herwerkte) schelpen en haaientanden.

Korrelgrootte en sortering

Matig grof, slecht gesorteerd zand (fijner dan het “klassieke” Zand van Diest); licht kleihoudend.

Laterale en verticale trends

Het was onmogelijk om dit pakket binnen de Roerdalslenk te onderscheiden waardoor het werd samengenomen met de Formatie van Bolderberg. Dus voor laterale en verticale trends: zie Formatie van Bolderberg.

Milieu

Lagunair tot kustnabij marien

Verkitting

Regelmatig voorkomen van (ijzer-) zandsteenbanken in het Kempisch Bekken.

Voorkomensgebied

Centraal en noordelijk deel Roerdalslenk
Kempisch Bekken uitgezonderd zuidoostelijke-deel
Noordelijke deel van Zuid-Limburg
Peel Blok

Referenties

Buffel et al. (2001)
De Meuter & Laga (1976)
Dumont (1839)
Laga et al. (2001)
Sels et al. (2001)

Geologische eenheid: Formatie van Bolderberg/Ville

Hydrogeologische eenheden: 0253-1, -2, -3 en 0253-v1, -v2

Lithologische beschrijving

Het bovenste deel (hydrogeologische eenheid 0253-1) wordt onderverdeeld in twee pakketten, gescheiden door een grindlaag ("Grind van Opgrimbie"). Het bovenste pakket wordt gekenmerkt door witte, zeer zuivere, middelmatige tot grofkorrelige zanden; enkel aan de top zijn deze licht glauconiethoudend en vertonen een gekruiste gelaagdheid. Soms zijn er organisch-rijke zandlaagjes te herkennen (maar geen echte lignietlagen) en verspreid enkele grindhorizonten. Het onderste pakket wordt gekenmerkt door fijne tot matig grove, gelige tot asgrijze zanden, vaak met grove glimmers; dit pakket bevat wél duidelijke lignietlagen. Onder de lignietlagen kunnen verkiezelde kwartsietbanken voorkomen, evenals spierwitte zanden.
De eerder genoemde lignietlagen verdikken naar het zuidoosten toe, alwaar ze uiteindelijk als twee afzonderlijke eenheden worden onderscheiden (hydrogeologische eenheden 0253-v1 en 0253-v2). Deze eenheden bestaan uit bruin tot zwartgekleurde bruinkool, vaak met sterk humeuze/venige kleilagen en lokaal inschakelingen van zand en soms wat fijn grind.
Het onderste deel van de formatie bestaat uit donkergroen, matig fijn, glauconietrijk en micahoudend, kleiig zand met schelpen en haaientanden. De basis bestaat meestal uit een kenmerkend grindpakket met donkere silexkeien en af en toe fosfaatconcreties ("Grind van Elsloo").

Korrelgrootte en sortering

Fijn tot grof zand met grind- en bruinkoollagen.

Laterale en verticale trends

Vanaf het centrum van de Roerdalslenk vertoont deze eenheid progradatiepatronen, die meer uitgesproken worden in noordwestelijke richting. De formatie als geheel verdikt naar het noordwesten van de Roerdalslenk toe.
In het zuidoosten van de Roerdalslenk komen vertand enkele bruinkoollagen voor, van boven naar beneden informeel ingedeeld inde Garzweiler, Frimmersdorf (a en b) en Morken, die verder verdikken in zuidoostelijke richting.

Milieu

Kustnabij marien tot continentaal.

Verkitting

Kwartsietbanken kunnen voorkomen.

Voorkomensgebied

Roerdalslenk
Kempisch Bekken
Noordelijke deel van Zuid-Limburg
Peel Blok

Referenties

De Meuter & Laga (1976)
De Mulder et al. (2003)
Dumont (1850)
Laga et al. (2001)
Sels et al. (2001)
Van Adrichem Boogaert & Kouwe (1993-1997)
Westerhoff (2003)

Geologische eenheid: Formatie van Voort

Hydrogeologische eenheden: 0254-1, 0254-2

Lithologische beschrijving

Het bovenste deel (hydrogeologische eenheid 0254-1) bestaat uit groengrijze, kleiige, merendeels glauconietarme zanden, die naar boven toe fijnkorreliger worden; bevat soms schelpen.
Het onderste deel (hydrogeologische eenheid 0254-2) bestaat uit fijn, lichtgrijs tot donkergroen, glauconiethoudend zand, dat naar beneden toe kleiiger wordt; rijk aan fossielen en schelpfragmenten. Geregeld komen zandsteenbanken en dunne kleilagen voor.

Korrelgrootte en sortering

Uiterst fijn tot fijn zand.

Laterale en verticale trends

Algemeen verdikking naar de Roerdalslenk toe, maar wordt dunner in noordwestelijke richting. Hydrogeologische eenheid 0254-1 wordt fijnkorreliger naar boven. Hydrogeologische eenheid 0254-2 bestaat uit een aantal *coarsening-up* sequenties (op decameter-schaal). De eenheid wordt naar beneden toe kleiiger; de overgang naar onderliggende zanden van de Formatie van Eigenbilzen is geleidelijk.

Milieu

Kustnabij marien.

Verkitting

Voorkomen van zandsteenbanken.

Voorkomensgebied

Roerdalslenk uitgezonderd uiterste zuidoostelijke-deel
Kempisch Bekken
Noordelijke deel van Zuid-Limburg (alleen eenheid 0254-2)
Peel Blok

Referenties

Buffel et al. (2001)
De Lang (2003)
De Mulder et al. (2003)
Laga et al. (2001)
Maréchal & Laga (1988)
Van Adrichem Boogaert & Kouwe (1993-1997)
Vandenberghe (1988)

Geologische eenheid: Formatie van Voort

Hydrogeologische eenheid: 0255

Lithologische beschrijving

Grijze tot groengrijze, glauconiethoudende klei, met een naar boven toenemend silt- en zandgehalte.

Korrelgrootte en sortering

Klei tot silt.

Laterale en verticale trends

Verdikt binnen de Roerdalslenk naar het NW toe; op het Peel Blok beperkte dikte.

Milieu

Marien; dieper afgezet lateraal equivalent van de zanden van de Formatie van Voort.

Verkitting

Onbekend.

Voorkomensgebied

Roerdalslenk met uitzondering van het zuidoostelijke deel
In de sterkst zakkende delen van het Kempisch Bekken
Noordelijk deel Peel Blok

Referenties

De Lang (2003)
De Mulder et al. (2003)
Van Adrichem Boogaert & Kouwe (1993-1997)

Geologische eenheid: Formatie van Eigenbilzen (zandige deel)

Hydrogeologische eenheid: 0256

Lithologische beschrijving

De formatie bestaat uit donkergroene, glauconietrijke, kleiige zanden. De zanden zijn soms geband en hebben algemeen een hoog glauconietgehalte.

Korrelgrootte en sortering

Het zand heeft een fijne tot middelmatige korrelgrootte.

Laterale en verticale trends

Vertoont een vergroving van de zanden in ZO richting en een verfijning in NW richting. Naar het noordwesten toe verfijnt het onderste deel van het zand van deze formatie tot silt. Omdat dit silt tot de Formatie van Boom gerekend wordt, verdund het zandige deel van de Formatie van Eigenbilzen dus sterk in noordwestelijke richting.
Weinig verandering in dikte over de randbreuken van de Roerdalslenk heen.
De verticale trend is van fijn naar grover materiaal.

Milieu

Kustnabij marien milieu.

Verkitting

Banken van kalkconcreties (“septaria”) kunnen voorkomen.

Voorkomensgebied

Roerdalslenk
Zuidoostelijk deel van het Kempisch Bekken
Noordelijke deel van Zuid-Limburg
Peel Blok

Referenties

De Mulder et al. (2003)
de Rooij (2000)
Laga et al. (2001)
Wiers (2001)

Geologische eenheid: Formatie van Boom

Hydrogeologische eenheid: 0300

Lithologische beschrijving

De Formatie van Boom bestaat uit een (bruin-) grijze siltige klei of kleiige silt met vrij constante chemische en mineralogische kenmerken. De siltige horizonten zijn meestal pyriet- en glauconiethoudend. De kleien zijn typisch geband (20-50 cm) door ritmische veranderingen in siltgehalte, organisch materiaal en carbonaten (septariavorming). Beperkt voorkomen van mollusken.

Korrelgrootte en sortering

Siltige klei tot kleiige silt; zeer slecht doorlatend.

Laterale en verticale trends

Geband met ritmische variaties in gehalte aan silt, organisch materiaal en kalk. Laterale variaties in silt- en kleigehalte. De klei wordt siltiger naar boven, overgaand in de kleiige zanden van de Formatie van Eigenbilzen (waarvan de kleiige/siltige basis nog behoord bij deze hydrogeologische eenheid). In NW richting neemt de dikte toe en wordt de klei minder siltig/zandig. Weinig verandering in dikte over de randbreuken van de Roerdalslenk heen.

Milieu

Ondiep marien.

Verkitting

Lokaal komen banken van kalkconcreties (“septaria”) voor.

Voorkomensgebied

Roerdalslenk
Kempisch Bekken
Noordelijke deel van Zuid-Limburg
Peel Blok

Referenties

De Mulder et al. (2003)
Laga et al. (2001)
Maréchal & Laga (1988)

Geologische eenheid: Formatie van Bilzen

Hydrogeologische eenheden: 0410, 0420, 0431

Lithologische beschrijving

De bovenste eenheid (hydrogeologische eenheid 0410) bestaat uit wit tot gelig, bruinig, fijn kwartszand, soms afgewisseld met min of meer kleiige lagen. Mica's en glauconiet zijn eerder uitzonderlijk. De basis is vaak kleiig en de overgang naar Kleine Spouwen verloopt soms geleidelijk. In het midden komt een grindlaag voor, bestaande uit grote afgeronde kwarts-, melkkwarts- en silexkeien; deze horizont is soms verhard en kan lenzen plastische klei bevatten.
De middelste eenheid (hydrogeologische eenheid 0420) bestaat uit een bruinig, groenig of gelig grijs, min of meer zandige klei, vaak kalkhoudend, met talrijke *Nucula Comta* en soms kalkconcreties.
De onderste eenheid (hydrogeologische eenheid 0431) bestaat uit gelig witte, soms licht glauconiethoudende, fijnkorrelige kwartszanden, homogeen tot horizontaal gelaagd. De basis wordt gevormd door afgeplatte silexkeien. Soms komen mollusken voor.

Korrelgrootte en sortering

Hydrogeologische eenheden 0410, 0420 en 0431 bestaan respectievelijk uit fijn zand, zandige klei en zeer fijn tot matig fijn zand.

Laterale en verticale trends

Zuidoostelijk lateraal equivalent van het onderste deel van de Formatie van Boom. Weinig verandering in dikte over de randbreuken van de Roerdalslenk heen.

Milieu

Marien.

Verkitting

Hydrogeologische eenheid 0420 bevat soms kalkconcreties, de grindlaag in Hydrogeologische eenheid 0410 is soms verhard.

Voorkomensgebied

Roerdalslenk (met uitzondering van het noordwestelijke deel)
Zuidoostelijk-deel van het Kempisch Bekken
Noordelijke deel Zuid-Limburg
Peel Blok
Hydrogeologische eenheden 0410 en 420 komen waarschijnlijk niet in Roerdalslenk voor.

Referenties

De Mulder et al. (2003)
Laga et al. (2001)
Maréchal & Laga (1988)

Geologische eenheid: Formatie van Borgloon

Hydrogeologische eenheid: 0441

Lithologische beschrijving

De Formatie van Borgloon bestaat aan de basis uit een dikke laag zware groene en grijze klei die bedekt is door zwarte klei met bruinkoolinschakelingen. Bovenaan afwisseling van kleiige, zandige en schelpenrijke laagjes.

Korrelgrootte en sortering

Zware klei

Laterale en verticale trends

Onbekend

Milieu

Continentaal tot lagunair. Kustnabij equivalent van de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern.

Verkitting

Lokaal kunnen banken van kalkconcreties (of septaria) voorkomen.

Voorkomensgebied

Zuidoostelijke deel van de Roerdalslenk
Beperkt tot het zuidoostelijk deel van het Kempisch Bekken
Noordelijke deel van Zuid-Limburg.

Referenties

De Mulder et al. (2003)
Laga (1988b)
Maréchal & Laga (1988)
Prüfert et al. (1994)

Geologische eenheid: Formatie van Sint-Huibrechts-Hern

Hydrogeologische eenheid: 0451, 0452

Lithologische beschrijving

De bovenste eenheid (hydrogeologische eenheid 0451) bestaat uit glauconiet- en micahoudend, fijngelaagd zand, overgaand in witachtig homogeen zand. Bioturbaties en kruipsporen komen voor; meestal zonder fossielen. De top is vaak oranjekleurig door aanrijking met ijzerhydroxiden (bodemvorming) (De Mulder et al., 2003). De basis bestaat uit een verharde en geoxideerde schelpenlaag.
De onderste eenheid (hydrogeologische eenheid 0452) bestaat uit glauconiet- en glimmerhoudende, min of meer kleiige, fijnkorrelige zanden, plaatselijke sterk fossielhoudend, met aan de basis een laag platte, gerolde vuurstenen.

Korrelgrootte en sortering

Fijn zand, bovenaan fijngelaagd en homogeen, onderin meer bioturbatie.

Laterale en verticale trends

Lithologische kenmerken zijn lateraal relatief constant. Weinig verandering in dikte over de randbreuken van de Roerdalslenk naar het Kempisch Bekken heen.

Milieu

Ondiep marien.

Verkitting

De basis van het hydrogeologische eenheid 0451 wordt gevormd door een verkitte schelpenbank.

Voorkomensgebied

Roerdalslenk (met uitzondering van het noordwestelijke deel)
Kempisch Bekken
Noordelijke deel van Zuid-Limburg

Lokaal is de bovenste eenheid door erosie verdwenen (vooral in het zuidelijk deel van het voorkomensgebied). De formatie snijdt naar het zuidoosten toe progressief oudere eenheden af, waardoor er in het zuidoostelijke deel van de Roerdalslenk geen oudere eenheden van het Cenozoicum meer aanwezig zijn.

Referenties

De Mulder et al. (2003)
Laga (1988a)
Maréchal & Laga (1988)

Geologische eenheid: Formatie van Hannut

Hydrogeologische eenheden: 1021, 1022

Lithologische beschrijving

Bovenste eenheid (hydrogeologische eenheid 1021) bestaat uit grijze kleiige silt met verkiezelde niveaus. De eenheid is aan de basis kalkhoudend.
Middelste eenheid (hydrogeologische eenheid 1022) bestaat uit grijsgroene kalkhoudende klei. Aan de basis wordt soms glauconietrijk kleiig zand of een concentratie van sponsspiculen aangetroffen.

Korrelgrootte en sortering

Korrelgrootte variatie van klei (onderaan) tot silt (bovenaan).

Laterale en verticale trends

Onderaan klei/mergel die naar boven toe grover wordt tot silt.
Algemeen toename kleigehalte naar het noorden toe.

Milieu

Kustnabij marien milieu.

Verkitting

Klei kan verhard zijn tot kleisteenbanken. Lokaal kunnen verkiezelde niveaus voorkomen.

Voorkomensgebied

Noordwestelijk en centraal deel Roerdalslenk
Kempisch Bekken
Peel Blok.

In het zuidoosten wordt deze eenheid weggesneden door de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern.

Referenties

De Geyter (1988)
De Mulder et al. (2003)

Geologische eenheid: Formatie van Heers

Hydrogeologische eenheden: 1023, 1032

Lithologische beschrijving

Bovenste eenheid (hydrogeologische eenheid 1031) bestaat uit grijze tot witte mergels, gekenmerkt door de typische aanwezigheid van fossiele landplanten.
Onderste eenheid (hydrogeologische eenheid 1032) bestaat uit glauconiethoudend grijs tot groen fijn zand. Deze eenheid kan schelpen bevatten.

Korrelgrootte en sortering

Fijn zand (in hydrogeologische eenheid 1032).

Laterale en verticale trends

Naar boven toe wordt hydrogeologische eenheid 1032 gevormd door een afwisseling van zandlagen en mergellenzen. Het zand wordt meer kleiig tot mergelig, totdat het overgaat in de bovenliggende mergels van hydrogeologische eenheid 1031. Hydrogeologische eenheid 1031 is aan de basis kleiig en glauconiethoud, naar boven toe wordt deze eenheid zandiger. In laterale zin treedt verdikking op richting de Roerdalslenk om uiteindelijk uit te wiggen in noordwestelijke richting.

Milieu

Kustnabij marien milieu.

Verkitting

Hydrogeologische eenheid 1032 kan (onderaan) verkit zijn tot zandsteenbanken.

Voorkomensgebied

Roerdalslenk
Kempisch Bekken
Peel Blok.

In het zuidoosten wordt deze eenheid weggesneden door de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern.

Referenties

Dumont (1850)
Laga & De Geyter (1988)
De Koninck et al. (2011)
De Mulder et al. (2003)

Geologische eenheid: Formatie van Opglabbeek

Hydrogeologische eenheid: 1033, 1034

Lithologische beschrijving

Bovenste eenheid (hydrogeologische eenheid 1033) bestaat uit lichtgrijs tot groengrijs kleiig en kalkrijk zand. Glauconiet komt in beperkte hoeveelheden voor en zorgt voor de iets groenige kleur.
Onderste eenheid (hydrogeologische eenheid 1034) bestaat hoofdzakelijk uit zwarte, donkergrijze en donkergroene kleien. Ze zijn vaak rood gevlekt ligniethoudend. Lokaal worden schelpenlaagjes, plantenfragmenten en zandlenzen aangetroffen.

Korrelgrootte en sortering

Hydrogeologische eenheid 1033 bestaat uit fijn tot grof zand.

Laterale en verticale trends

Onderaan wordt er dikwijls grof zand aangetroffen in hydrogeologische eenheid 1033. Op basis van logs lijkt deze zandige eenheid te verfijnen naar boven toe.
Verdikking naar de Roerdalslenk toe.
Binnen de Roerdalslenk verdunning naar het NW toe tot het verdwijnt in het noordwestelijke deel.

Milieu

Continentaal/Lagunair tot ondiep marien

Verkitting

Hydrogeologische eenheid 1033 bevat vaak verkittingen tot zandsteenbanken.

Voorkomensgebied

Centrale en noordelijke deel modelgebied.
Oostelijke deel Kempisch Bekken
Noordwestelijke deel van Zuid-Limburg nabij de Maas.
Peel Blok.

In het zuidoosten wordt deze eenheid weggesneden door de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern. In het centrale deel van de Roerdalslenk bereikt de Formatie van Opglabbeek een maximale dikte. Naar het noordwesten toe verdunt deze eenheid sterk.

Referenties

De Geyter & Laga (1988)
De Koninck et al. (2011)
De Mulder et al. (2003)