

TNO-rapport

TNO 2017 R11261 – VITO 2017/RMA/R/1348

**Geologisch en hydrogeologisch 3D model
van het Cenozoïcum van de Belgisch-
Nederlandse grensstreek van Midden-
Brabant / De Kempen (H3O – De Kempen)**

Datum juni 2018

Auteur(s)	R.W. Vernes (TNO-GDN) J. Deckers (VITO) M.A.J. Bakker (TNO-GDN) F. Bogemans (BGD/KBIN) M. De Ceukelaire (BGD/KBIN) J.C. Doornenbal (TNO-GDN) M. den Dulk (TNO-GDN) M. Duser (BGD/KBIN) T.F.M. Van Haren (VITO) V.M.A. Heyvaert (BGD/KBIN) P. Kiden (TNO-GDN)	A.F. Kruisselbrink (TNO-GDN) T. Lanckacker (VITO) A. Menkovic (TNO-GDN) B. Meyvis (BGD/KBIN) D.K. Munsterman (TNO-GDN) R. Reindersma (TNO-GDN) B. Rombaut (VITO) J.H. ten Veen (TNO-GDN) T.J.M. van de Ven (TNO-GDN) J. Walstra (BGD/KBIN) N. Witmans (TNO-GDN)
-----------	--	---

Aantal pagina's	109 (excl. Bijlagen)
Aantal bijlagen	8 bijlagen
In opdracht van	Vlaams Planbureau voor Omgeving Vlaamse Milieumaatschappij TNO, Geologische Dienst Nederland Nederlandse Provincie Noord-Brabant Brabant Water Programmabureau KRW/DHZ Maasregio

Projectnaam	H3O – De Kempen
Projectnummer	060.07111

Managementsamenvatting

De ondergrond en het daarin aanwezige grondwater zijn van groot belang voor de drinkwatervoorziening in zowel Nederland als Vlaanderen. Terwijl het voorkomen en het gedrag van grondwater grensoverschrijdend zijn, hadden 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 Noord-Brabant, Brabant Water, Programmabureau KRW/DHZ Maasregio en TNO Geologische Dienst Nederland) en Vlaanderen (Vlaams Planbureau voor Omgeving en de Vlaamse Milieumaatschappij) de wens om na het eerste succesvolle project in de Roerdalslenk (H3O – Roerdalslenk), de (hydro)geologische modellen van Nederland en Vlaanderen verder op elkaar af te stemmen. Daartoe werd het project H3O – De Kempen opgestart, dat heeft gelopen van mei 2015 tot november 2017, en gezamenlijk werd uitgevoerd door TNO Geologische Dienst Nederland, de Vlaamse organisatie VITO en de Belgische Geologische Dienst.

Het doel van dit tweede H3O-project was het maken van een grensoverschrijdend driedimensionaal geologisch en hydrogeologisch model van het grensgebied van Midden-Brabant / De Kempen. Verschillen tussen de bestaande (hydro)geologische interpretaties werden daarbij opgespoord en opgelost op basis van reeds beschikbare data. Het projectgebied sluit in het zuidoosten aan op dat van het eerste project H3O – Roerdalslenk.

Het project H3O – De Kempen kende als belangrijkste stappen:

- inventarisatie en vergaring van data;
- correlatie tussen Nederlandse en Vlaamse (hydro)geologische eenheden;
- (her)interpretatie van bestaande gegevens op basis van deze correlaties;
- modellering in 3D van de ondergrond op basis van de geactualiseerde interpretaties.

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 verschillende sectoren.

De eindresultaten van het project H3O – De Kempen werden op 16 november 2017 gepresenteerd. De belangrijkste resultaten en conclusies zijn:

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

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

Executive summary

The subsurface, and in particular the groundwater it contains, is of great importance for the drinking water supply in both the Netherlands and Flanders. Although the occurrence and behaviour of groundwater are not restricted to national borders, groundwater managers were faced with inconsistencies between Dutch and Belgian subsurface information, which led to uncertainties 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 North Brabant, Brabant Water, Agency for water quality and climate change NL-Meuse region and TNO Geological Survey of the Netherlands) and Flanders (*Vlaams Planbureau voor Omgeving* of the Flemish Government and the Flanders Environment Agency) expressed the desire, after the first successful project in the Roer Valley Graben (H3O – Roer Valley Graben), to proceed with the harmonisation of the (hydro)geological models along the Dutch – Belgian border. Accordingly, the H3O – De Kempen project was initiated, which ran from May 2015 to November 2017, and was carried out jointly by TNO Geological Survey of the Netherlands, the Flemish organisation VITO and the Geological Survey of Belgium.

The aim of this second H3O-project was to make an up-to-date, cross-border, three dimensional geological and hydrogeological model of the border region of the Campine area (in Dutch “De Kempen”), including parts of North Brabant and Flanders. Differences between the existing (hydro)geological interpretations were detected and solved using available data.

The stepwise execution of the H3O – De Kempen 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, consisting of geological experts from a variety of domains.

The final results of the H3O – De Kempen project were presented on 16 November 2017. The main results and conclusions are:

- For the purpose of the (hydro)geological modelling of the subsurface, Dutch and Flemish (hydro)geological units have been correlated.
- Owing to these correlations, the geological and hydrogeological interpretations and models form a mutually consistent dataset.
- Faults have been modelled as 3D fault planes, connecting well across the Dutch-Belgian border.
- Consistent geological and hydrogeological models of the Cenozoic have been created for the entire study area across the Dutch-Belgian border.

The Dutch and Flemish parts of these cross-border models now form one continuous entity. And, 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 represent the state-of-the art reference for the geological and hydrogeological structure of the area and provide a base for joint

cross-border subsurface management. Furthermore, the correlations between the Dutch and Flemish subsurface units may serve as guidance for future cross-border projects.

Inhoudsopgave

	Managementsamenvatting	3
	Executive summary	5
1	Inleiding	9
1.1	Achtergrond project H3O - De Kempen.....	9
1.2	Probleemstelling	10
1.3	Doelstelling	11
1.4	Projectgebied	12
1.5	Begrenzing in de diepte	13
1.6	Projectorganisatie	13
1.7	Leeswijzer	14
2	Werkwijze	17
2.1	Algemeen.....	17
2.2	Datavoorbereiding	17
2.3	Correlatie Nederlandse en Vlaamse geologische en hydrogeologische eenheden	30
2.4	(Her)interpretaties boorgegevens en seismische gegevens	37
2.5	Modellering breukvlakken	59
2.6	Modellering geologische en hydrogeologische eenheden	60
3	Resultaten en discussie	73
3.1	3D Breukvlakkenmodel.....	73
3.2	3D Geologisch en hydrogeologisch lagenmodel	83
4	Conclusie en aanbevelingen	103
4.1	Conclusies	103
4.2	Aanbevelingen	104
5	Literatuurlijst.....	107
6	Ondertekening	109
	Bijlage(n)	
	A Parameters voor de transformaties van coördinaten van RD naar Lambert 72 en van Lambert 72 naar RD in ArcGIS 10.4	
	B Lithostratigrafische indelingen	
	C Correlatieprofielen	
	D Beschrijving van de geologische (model)eenheden opgesteld door Michiel Duser (BGD)	
	E Overzicht van de gemodelleerde eenheden en de daarbij gebruikte methodes	
	F Overzicht van aandachtspunten en bekende fouten in de modellen	
	G Overzicht shapefiles en rasters van de modellen	
	H Attributen van de shapefiles van de modellen	

1 Inleiding

1.1 Achtergrond project H3O - De Kempen

Dit rapport beschrijft de totstandkoming van een 3D geologisch en hydrogeologisch model van het Cenozoïcum¹ in de Vlaams - Nederlandse grensstreek van De Kempen. Bijzonder aan het model is dat het grensoverschrijdend 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. Aan weerszijden van deze grenzen is de ondergrondinformatie gebruikt voor het beheer van de ondergrond en de daarin voorkomende bestaansbronnen zoals grondwater, waarvan het voorkomen en gedrag echter per definitie grensoverschrijdend zijn.

Om die reden leeft bij partijen in Nederland (Provincie Limburg, Provincie Noord-Brabant en TNO - Geologische Dienst Nederland) en Vlaanderen (Vlaams Planbureau voor Omgeving en de Vlaamse Milieumaatschappij) de wens om de geologische en hydrogeologische modellen van Nederland (DGM² en REGIS II³) en Vlaanderen (G3D-v2⁴ en HCOV⁵) op elkaar af te stemmen.

Deze gezamenlijke wens heeft geleid tot het project (Hydro)geologische 3D-modellering Ondergrond Roerdalslenk (H3O – Roerdalslenk), dat in de periode maart 2012 – juni 2014 is uitgevoerd door TNO, VITO en de Belgische Geologische Dienst in opdracht van bovengenoemde partijen en VITO. Dit project heeft geresulteerd in een grensoverschrijdend geologisch en hydrogeologisch model van het zuidoostelijke deel van de Roerdalslenk.

Vanaf het najaar van 2013 zijn door de projectpartners de mogelijkheden van een vervolg op dit project verkend. Aan deze gesprekken hebben de volgende organisaties deelgenomen:

- Vlaams Planbureau voor Omgeving van de Vlaamse Overheid (VPO, voorheen ALBON);
- Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
- Belgische Geologische Dienst van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (BGD/KBIN);
- Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO);
- Nederlandse Provincie Limburg;
- Nederlandse Provincie Noord-Brabant;
- Geologische Dienst Nederland, onderdeel van de Nederlandse organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO-GDN).

¹ Deze geologische era wordt in Vlaanderen (Cenozoïcum) en Nederland (Kenozoïcum) verschillend geschreven. In dit rapport is de Vlaamse schrijfwijze aangehouden.

² Digitaal Geologisch Model, zie Gunnink et al., 2013.

³ Regionaal Geohydrologisch InformatieSysteem, zie Vernes en Van Doorn, 2005.

⁴ Geologisch 3D-model versie 2, zie Matthijs et al., 2013.

⁵ Hydrogeologisch 3D-model, zie Meyus et al., 2005.

Daarnaast zijn met de volgende organisaties gesprekken gevoerd over participatie en cofinanciering:

- Programmabureau Kaderrichtlijn Water/Deltaplan Hoge Zandgronden (KRW/DHZ) Maasregio;
- Nederlandse Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM);
- Drinkwaterbedrijf Brabant Water.

Op grond van de wensen, prioriteiten en beschikbare budgetten werd geconcludeerd dat er waar mogelijk niet één maar twee vervolgprojecten zouden moeten komen, te weten:

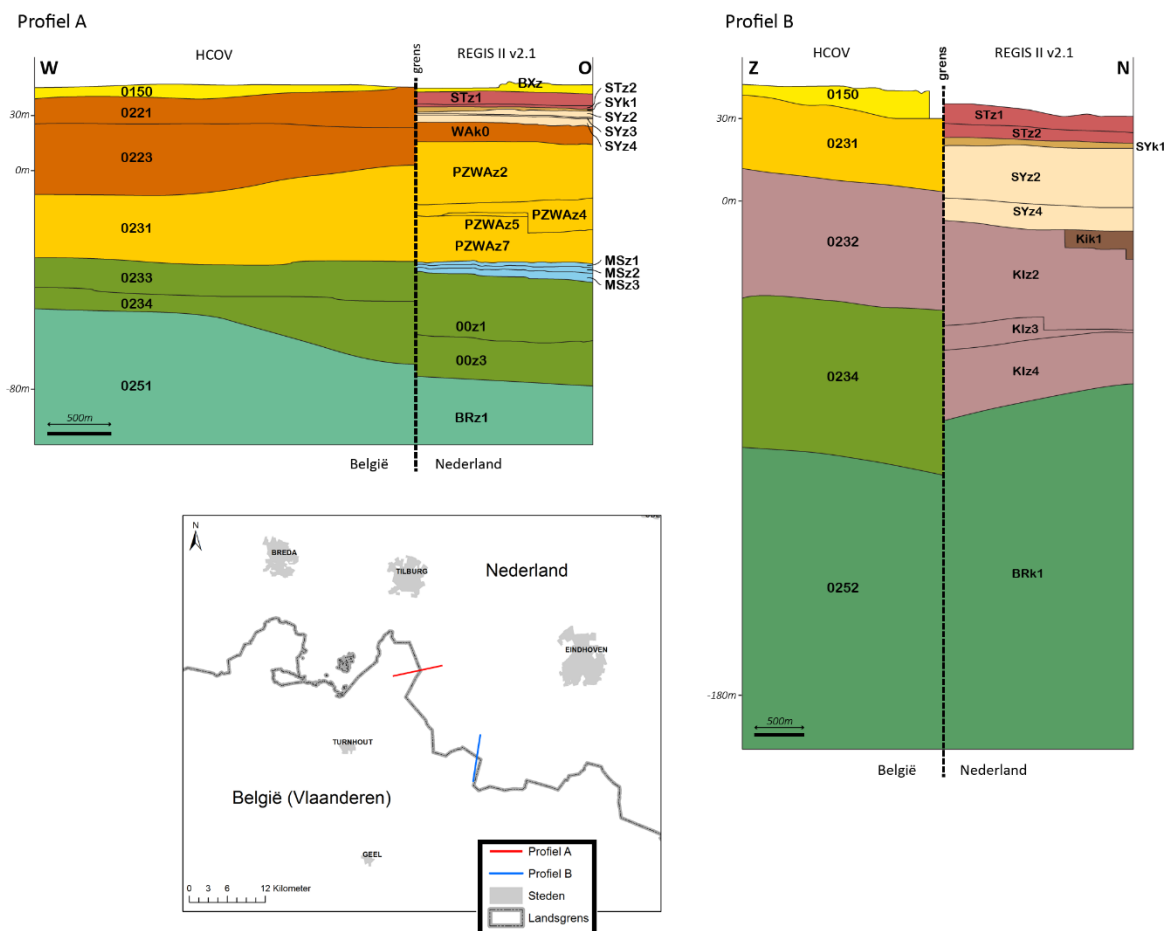
- Een vervolgproject in het grensgebied van Midden-Brabant/De Kempen (aangeduid als “H3O - De Kempen”), geïnitieerd door het VPO, de VMM, de Provincie Noord-Brabant, VITO, de BGD en TNO. Binnen dit project worden de ondergrondmodellen van Vlaanderen en Brabant verder op elkaar afgestemd.
- Een vervolgproject in het oostelijke deel van de Roerdalslenk, in het grensgebied van de Nederlandse provincie Limburg met de deelstaat Noordrijn-Westfalen (aangeduid als “H3O – Roer Valley Graben South-East” en afgekort tot “H3O - ROSE”). Dit project is geïnitieerd door de Provincie Limburg, TNO en de Geologische Dienst van de deelstaat Noordrijn-Westfalen (GD NRW). Binnen dit project zullen het geologische en hydrogeologische model van het project “H3O - Roerdalslenk” en het Duitse model van de Roerdalslenk op elkaar worden afgestemd.

1.2 Probleemstelling

Geologische en hydrologische processen houden geen rekening met landsgrenzen. Om die reden is (hydro)geologische informatie over het buurland vereist bij het beheer en gebruik van de ondergrond en de daarin aanwezige delfstoffen in de grensregio. Door verschillen in regelgeving kan de toegankelijkheid van dergelijke informatie een probleem vormen. Daarnaast heeft elk land een eigen (hydro)geologische indeling van de ondergrond met bijbehorende naamgeving en criteria, wat het zoeken naar informatie bemoeilijkt. Ook blijken de beschikbare kaarten en ondergrondmodellen van de buurlanden vaak niet goed op elkaar aan te sluiten en/of niet dezelfde mate van detail te hebben. Langs de grens komt dit tot uiting in, zie Figuur 1:

- het niet op elkaar aansluiten van breukenpatronen;
- sprongen in de diepteligging en dikte van (hydro)geologische lagen;
- het niet over de grens kunnen vervolgen van laagsgrenzen;
- verschillen in de mate van detail van de (hydro)geologische indeling.

Het slecht op elkaar aansluiten van informatie vormt een probleem: het leidt tot vertraging en extra kosten in projecten en tot een grotere onzekerheid in onderzoeksresultaten.



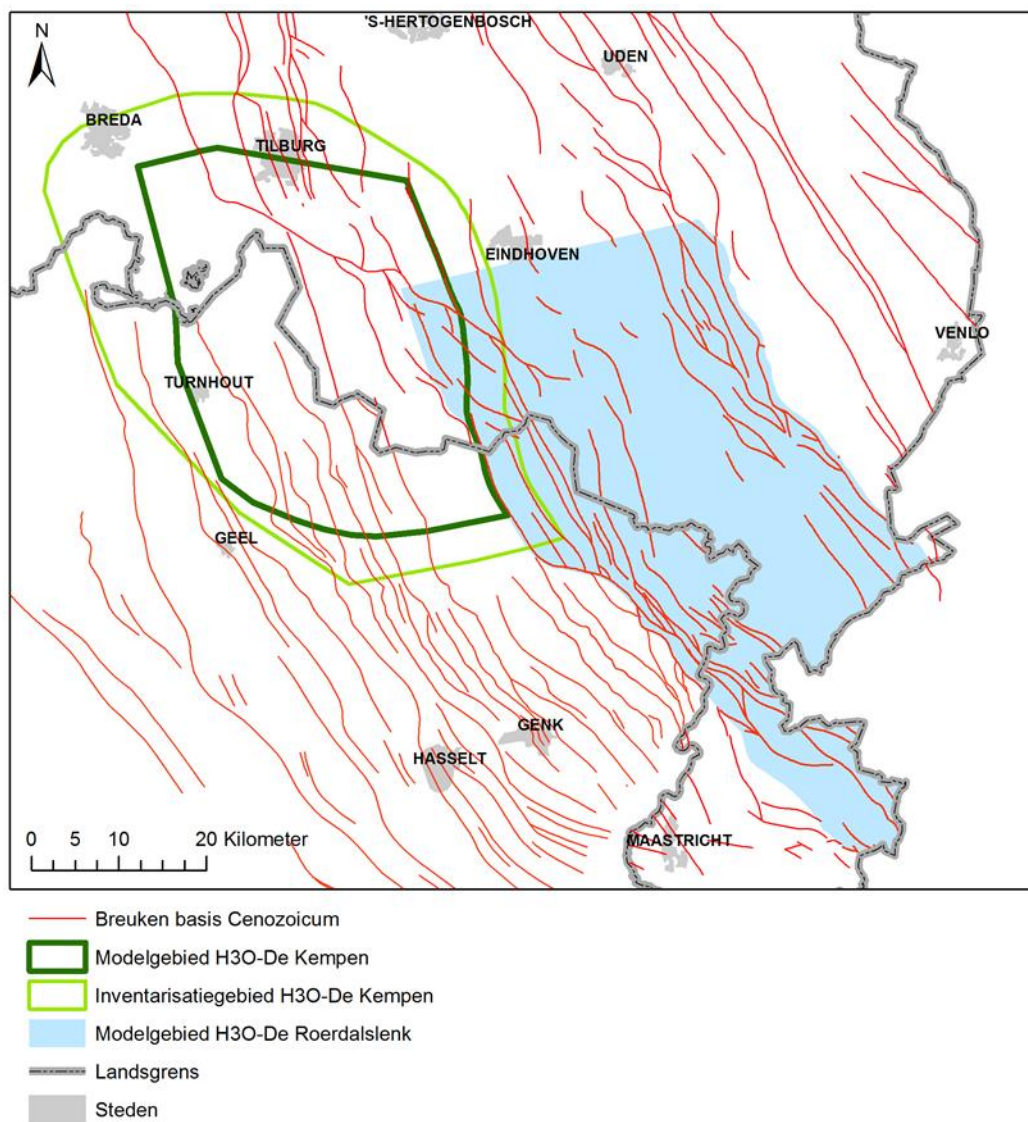
Figuur 1. Twee profielen door de grensstreek. De profielen zijn getrokken door de hydrogeologische modellen HCOV (Vlaamse deel) en REGIS II v2.1 (Nederlandse deel) en illustreren welke aansluitingsproblemen er bestaan bij het combineren van beide modellen.

1.3 Doelstelling

De algemene doelstelling die met het project wordt nagestreefd is:
 “Het verhelpen van aansluitproblemen tussen de bestaande geologische en hydrogeologische lagenmodellen van Nederland en Vlaanderen.”

De specifieke doelstelling van het project is:

“Het gezamenlijk samenstellen van een grensoverschrijdend, 3D geologisch-, en een daarop gebaseerd hydrogeologisch lagenmodel van het Cenozoïcum van het projectgebied. Dit wordt gedaan 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.” Dit model dient zo goed als mogelijk aan te sluiten op dat van het voorgaande project H3O - Roerdalslenk. Een volledige aansluiting tussen beide modellen is daarbij niet haalbaar vanwege nieuwe inzichten en afwijkende modelleertechnieken.



Figuur 2. Begrenzings van het inventarisatie- en modelgebied van het project H3O - De Kempen.

1.4 Projectgebied

Bij het vaststellen van de begrenzing van het projectgebied (Figuur 2) is rekening gehouden met de verschillende activiteiten die bij het samenstellen van een geologisch en hydrogeologisch model worden uitgevoerd. Een onderscheid is gemaakt in:

- Het modelgebied: het gebied waarvan de breukvlakken en de (hydro)geologische opbouw worden gemodelleerd.
- Het inventarisatiegebied: het gebied waarbinnen de data-inventarisatie plaatsvindt. Om randeffecten in de modellen te voorkomen omvat dit gebied het modelgebied en een daaromheen gelegen zone met een breedte die afhankelijk van de vereiste datadichtheid oploopt tot 5 km.

Bij het vaststellen van deze begrenzings zijn de volgende aspecten meegenomen:

- de ligging ten opzichte van het inventarisatie- en modelgebied van het project H3O - Roerdalslenk (zie Deckers et al., 2014);
- de geologische opbouw van het gebied en de ligging ten opzichte van belangrijke breuken;
- de omvang van het model- en inventarisatiegebied en de hoeveelheid binnen het inventarisatiegebied gelegen boringen en seismische data;
- de ligging van het inventarisatiegebied ten opzichte van belangrijke diepe boringen en seismische lijnen;
- de ligging van het modelgebied ten opzichte van belangrijke locaties zoals drinkwaterwinningen en de Mol-site (onderzoekscentrum voor de opslag van radioactief afval).

In Tabel 1 zijn enkele kengetallen betreffende de oppervlakte van beide gebieden opgenomen.

Tabel 1. Oppervlak van het model- en het inventarisatiegebied van het project H3O – De Kempen.

Gebied	Modelgebied		Inventarisatiegebied	
	km ²	%	km ²	%
Nederland	724,6	56	1224,3	56
België	570,2	44	948,8	44
<i>Totaal</i>	<i>1294,8</i>	<i>100</i>	<i>2173,1</i>	<i>100</i>

1.5 Begrenzing in de diepte

Het dieptetraject vanaf maaiveld tot aan de top van de “Boomse Klei”⁶ vormt voor het grondwaterbeheer het belangrijkste dieptetraject. Dit traject omvat de voor grondwaterwinning belangrijke Kiezeloöliet Formatie en de Formatie van Oosterhout (conform Nederlandse stratigrafie) – formaties van Mol en Lillo (conform Belgische stratigrafie). De formaties van Diest en Berchem (conform de Belgische stratigrafie) – Formatie van Breda (conform de Nederlandse stratigrafie), die met name in Vlaanderen voor de drinkwatervoorziening worden benut, maken ook deel uit van dit traject. Er bestaat daarnaast een groeiende behoefte om een beter inzicht te krijgen in de (hydro)geologische opbouw van de dieper gelegen paleogene afzettingen. Daarom is het projectgebied in de diepte begrensd aan de basis van het klastische deel van het Paleogeen (het Paleogeen exclusief de uit kalksteen bestaande Formatie van Houthem). Dit is in overeenstemming met het project “H3O - Roerdalslenk”.

1.6 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.

⁶ De “Boomse Klei” vormt een informele lithostratigrafische aanduiding. Deze kleilaag komt conform de Nederlandse lithostratigrafie overeen met het Laagpakket van de Rupel Klei van de Rupel Formatie. Dit laagpakket komt ten dele overeen met de Belgische Formatie van Boom.

Voor de begeleiding, de inhoudelijke advisering van het project en de beoordeling van de tussen- en eindresultaten zijn bij aanvang van het project een stuurgroep en een begeleidingscommissie opgericht.

De stuurgroep bestond uit de volgende vertegenwoordigers namens de opdrachtgevers en uitvoerders (in alfabetische volgorde met tussen haakjes hun werkgever):

Opdrachtgevers:

- Jeroen Castelijns (Brabant Water)
- Jan Corluy en Cis Slenter (VMM)
- Chris De Groot en Griet Verhaert (VPO)
- Erik Heskes (Provincie Noord-Brabant)
- Noud Kuijpers (Programmabureau KRW/DHZ Maasregio)
- Michiel van der Meulen (TNO, als gedelegeerd opdrachtgever).

Uitvoerders:

- Jef Deckers en Roel De Koninck (VITO)
- Vanessa Heyvaert en Jan Walstra (BGD)
- Ronald Vernes en Hans Doornenbal (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 gezamenlijke projectteam van TNO, VITO en BGD. De begeleidingscommissie bestond uit de volgende leden (op alfabetische volgorde met tussen haakjes hun werkgever):

- Ronald van Balen (Vrije Universiteit Amsterdam)
- Koen Beerten (Studiecentrum voor Kernenergie, SCK)
- Hugo van den Berg (Brabant Water)
- Mieke de Boer en Marten Biet (Provincie Noord-Brabant)
- Rik Houthuys (-)
- Marijke Huysmans (Vrije Universiteit Brussel)
- Kees Kasse (Vrije Universiteit Amsterdam)
- Sjoerd Kluiving (Vrije Universiteit Amsterdam)
- Simon Six (De Watergroep)
- Jef Vandenberghe (Vrije Universiteit Amsterdam)
- Noel Vandenberghe (Katholieke Universiteit Leuven)
- Caroline Vlieghe (Provinciale Intercommunale Drinkwatermaatschappij der Provincie Antwerpen)
- Laurent Wouters (Nationale Instelling voor Radioactief Afval en Verrijkte Splijtstoffen, NIRAS).

1.7 Leeswijzer

Een uitgebreide beschrijving van de gevolgde werkwijze is opgenomen in Hoofdstuk 2. De beschrijvingen van de gebruikte modelleertechnieken zijn vanwege de leesbaarheid echter algemeen gehouden. Aansluitend worden in Hoofdstuk 3 de projectresultaten toegelicht en bediscussieerd. Het rapport wordt in Hoofdstuk 4

afgesloten met de conclusies en aanbevelingen, gevolgd door de ondertekening en de literatuurlijst.

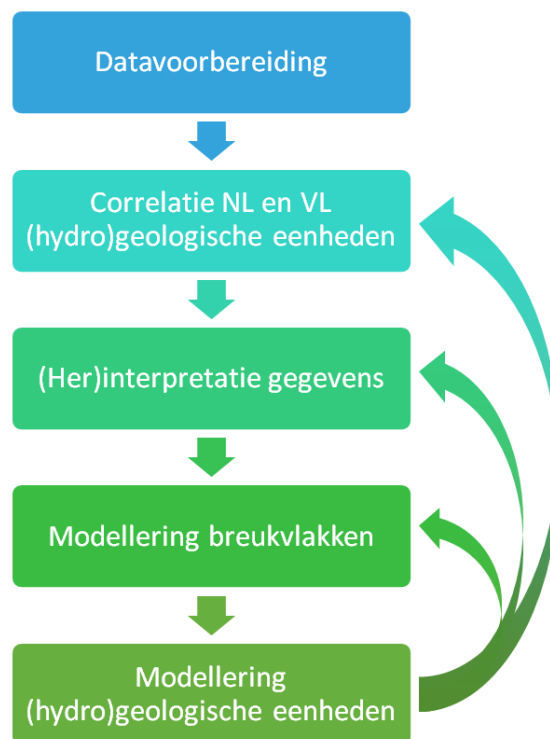
De lithostratigrafische en hydrogeologische indeling en de naamgeving en codering van de eenheden verschillen in België en Nederland. Tenzij anders is aangegeven worden in dit rapport de eenheden uit het Quartair⁷ en het Pliocene aangeduid met de Nederlandse namen en codes, alle oudere eenheden met de Belgische. In Tabel 7 is de correlatie tussen de Belgische en Nederlandse eenheden aangegeven.

⁷ Deze geologische periode wordt in Vlaanderen (Quartair) en Nederland (Kwartair) verschillend geschreven. In dit rapport is de Vlaamse schrijfwijze aangehouden.

2 Werkwijze

2.1 Algemeen

Bij de uitvoering van het project “H3O – De Kempen” zijn vijf hoofdactiviteiten onderscheiden die volgens een iteratief proces zijn doorlopen (Figuur 3). In dit proces werden geconstateerde fouten en onvolkomenheden uit een vorige hoofdactiviteit veelal eerst verbeterd, voordat de uitvoering van de daaropvolgende hoofdactiviteit werd voortgezet en afgerond. In dit hoofdstuk worden de hoofdactiviteiten beschreven.



Figuur 3. Algemene workflow van het project “H3O – De Kempen” met de vijf onderscheiden hoofdactiviteiten.

2.2 Datavoorbereiding

Binnen de hoofdactiviteit “Datavoorbereiding” zijn de relevante basisgegevens geïnventariseerd, geselecteerd, gecontroleerd en bewerkt ten behoeve van de daaropvolgende activiteiten.

2.2.1 Basisgegevens

Het ondergrensvlak van het vervaardigde geologische en hydrogeologische model valt samen met de basis van het klastische deel van het Paleogeen. Boringen bereiken dit basisvlak vaak niet, terwijl seismiek hier wel informatie over biedt. Anderzijds bieden boringen veel inzicht in de ondergrond in het ondiepere bereik, terwijl seismiek hier meestal geen of een lage resolutie heeft. Daarom is de

modellering gebaseerd op een combinatie van bestaande boor- en seismische gegevens, te weten:

- boringen
- boorgatmetingen
- seismiek.

Gegevens zoals sonderingen en geo-elektrische metingen, zijn niet als dusdanig meegenomen.

Naast deze basisgegevens zijn ook de volgende digitale bestanden van het Nederlandse en Vlaamse deel van het projectgebied verzameld of samengesteld:

- bestaande actuele geologische en hydrogeologische kaarten en modellen;
- breukenbestand(en);
- actueel maaiveldhoogtebestand.

De basisgegevens zijn afkomstig uit de volgende bronnen:

- de databank DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) van TNO;
- de databank DOV (Databank Ondergrond Vlaanderen) van de Vlaamse overheid en de Vlaamse Milieumaatschappij;
- de archieven van de Belgische Geologische Dienst (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen – Wetenschappelijke Dienst Patrimonium);
- de archieven van VITO
- het AIV (Agentschap Informatie Vlaanderen);
- de archieven van de overige organisaties waartoe de leden van de Stuurgroep en Begeleidingscommissie behoren.

In het kader van dit project zijn geen veldwerkzaamheden uitgevoerd om aanvullende nieuwe basisgegevens te verzamelen in gebieden met weinig gegevens.

Bovenstaande databanken bevatten zowel openbare als confidentiële gegevens. Een deel van de confidentiële gegevens mocht wel worden gebruikt in de modelleringen maar niet in figuren worden gepresenteerd of aan derden worden verstrekt. Dergelijke confidentiële gegevens kunnen vanwege hun ligging, diepte en/of kwaliteit zo waardevol zijn voor het inzicht in de (hydro)geologische opbouw van het gebied, dat deze gegevens, ondanks de gebruiksbeperkingen voor derden (waaronder de Stuurgroep en de Begeleidingscommissie), toch zijn meegenomen in de modellen. Deze confidentiële gegevens zijn om die reden vooraf benoemd en bij de oplevering van de (concept)resultaten uit de figuren en gegevenssets weggelaten, tenzij daarvoor door de eigenaren expliciet toestemming is verleend.

2.2.2 *Data-inventarisatie en vergaring*

2.2.2.1 *Boringen*

De boorgegevens zijn ontleend aan of verstrekt door:

- de databank DINO;
- de databank DOV;
- het archief van de Belgische Geologische Dienst (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen – Wetenschappelijke Dienst Patrimonium);
- NIRAS;

- enkele andere bronnen (via de projectuitvoerders en de Provincie Noord-Brabant).

Op basis van de in DINO aanwezige gegevens is voor het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied een inventarisatie uitgevoerd van locaties waarvan de (digitale) boorgegevens in DINO ontbreken. De Provincie Noord-Brabant heeft zich ingespannen om aan de hand van dit overzicht, voor gebieden met weinig of geen boringen, aanvullende boorgegevens bij de eigenaren of boorfirma's te achterhalen en te digitaliseren. De aldus verzamelde gegevens zijn in de databank DINO opgenomen.

Uit de in de databanken van DINO, DOV en de BGD aanwezige boringen is een selectie gemaakt. De redenen waarom van een selectieset is uitgegaan zijn:

De kwaliteit van boringen

De kwaliteit van de boorgegevens is zeer heterogeen. Bij boorbeschrijvingen zijn de gebruikte boormethode, de monsternamemethode en de kwaliteit van de monsterbeschrijving van belang. Afhankelijk hiervan kunnen relevante kenmerken of zelfs lagen in de boorbeschrijving ontbreken hetgeen van invloed is op de betrouwbaarheid van de lithostratigrafische en hydrogeologische interpretatie.

De einddiepte van boringen

In het algemeen zullen in een ondiepe boring minder (hydro)geologische eenheden zijn aangeboord dan in een diepe boring. Daardoor zullen ondiepe boringen in vergelijking tot diepe boringen in het algemeen minder informatie bevatten die relevant is voor de te maken (hydro)geologische modellen. Om die reden verdient het de voorkeur, indien niet alle boringen geïnterpreteerd kunnen worden, om bij de modellering die in het kader van dit project wordt uitgevoerd, diepe boringen te verkiezen boven ondiepe boringen. Eenzelfde overweging geldt voor groeves en ontsluitingen, ondanks de vaak gedetailleerde sedimentologische en biostratigrafische informatie die zij bevatten.

De locatie van boringen

Bij een kartering of modellering dient de boordichtheid enerzijds goed aan te sluiten bij de (hydro)geologische complexiteit van het gebied, dat wil zeggen een hoge dichtheid in complexe gebieden en een relatief lage dichtheid in gebieden met een homogene (hydro)geologische opbouw. Anderzijds verdient het de voorkeur om een zo homogeen mogelijke ruimtelijke verdeling te hebben zodat de betrouwbaarheid van de kaartbeelden binnen gebieden met een vergelijkbare complexiteit, zo uniform mogelijk is. De ruimtelijke spreiding van de boorgegevens die in de databanken zijn opgenomen sluit hier niet bij aan. Vaak zijn boringen dicht bij elkaar uitgevoerd, bijvoorbeeld ter plaatse van infrastructurele werken en drinkwaterpompstations. De extra informatie die meerdere boringen op nagenoeg dezelfde locatie verschaffen is binnen een regionale kartering of modellering beperkt. Indien niet alle boringen geïnterpreteerd kunnen worden dan heeft het de voorkeur om bij de selectie van de boringen rekening te houden met de geologische complexiteit en de nabijheid van andere boringen uit de selectieset. Bovendien veroorzaken dicht bij elkaar gelegen boringen met grote verschillen in interpretatie artefacten bij de ruimtelijke interpolatie.

Het beschikbare budget

De databanken bevatten zeer veel boorgegevens. Het handmatig interpreteren van al deze boringen is zeer tijdrovend en daarom kostbaar. Een afweging is daarom gemaakt tussen het beschikbare budget, de gewenste nauwkeurigheid van de modellen, en de dichtheid van de boringen.

De bestaande uitgangspunten van de modellen DGM, REGIS II en G3Dv3

De bestaande Nederlandse en Vlaamse modellen zijn vanwege bovenstaande redenen gebaseerd op een selectieset van boringen uit de databanken. Belangrijke criteria daarbij zijn:

- ligging ten opzichte van andere boringen en breuken;
- einddiepte;
- kwaliteit van de boorbeschrijving;
- aanwezigheid van een boorgatmeting (in het bijzonder natuurlijke gammastraling, elektrische weerstand, seismische voortplantingssnelheid);
- aanwezigheid van een bestaande stratigrafische interpretatie.

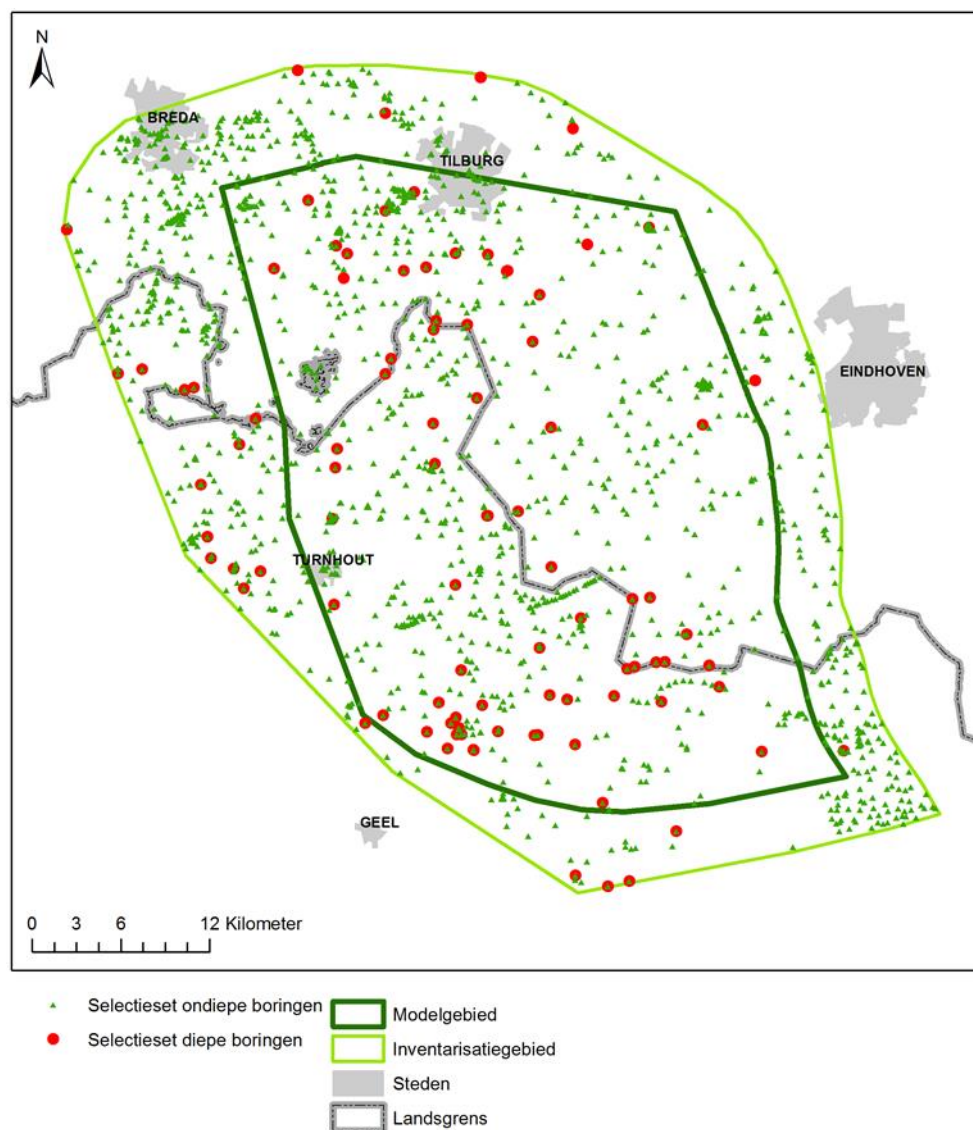
Voor het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied is uitgegaan van de selectieset van matig diepe boringen⁸ van de modellen DGM/REGIS II v2.2, aangevuld met een nagenoeg even groot aantal matig diepe boringen en met alle niet-confidentiële diepe olie- en gasboringen⁹ die beschikbaar zijn. De selectieset van DGM/REGIS II omvat de beste, meest representatieve matig diepe boringen. Voordeel is dat deze set van boringen al lithostratigrafisch en hydrogeologisch is geïnterpreteerd en dat de ruimtelijke consistentie van de interpretaties reeds bij het samenstellen van DGM/REGIS is gecontroleerd. Bij de selectie van de aanvullende matig diepe boringen zijn primair boringen geselecteerd in gebieden waar de datadichtheid in de bestaande selectie van DGM/REGIS II v2.2 relatief laag is. Daarbij zijn de einddiepte van de boring en de kwaliteit van de boorbeschrijving de belangrijkste criteria geweest. Indien er in een gebied meerdere boringen van gelijke diepte en kwaliteit aanwezig zijn, zijn primair boringen geselecteerd waarvan reeds een stratigrafische interpretatie beschikbaar was.

Voor het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied is uitgegaan van de selectieset van boringen die is gebruikt om de basis van de quartaire en diepere eenheden binnen het G3Dv2-model te karteren, aangevuld met enkele boringen met boorgatmetingen die voor het G3Dv3-model zijn geselecteerd. Het G3Dv3-model betreft een thans in uitvoering zijnde update en verdere verfijning van het afgeronde G3Dv2-model. Daarnaast zijn boringen afkomstig uit eerdere quartairkarteringen (zie Bogemans, 2005a, 2005b) geselecteerd. In de regio Mol is deze dataset bovendien aangevuld met boringen uit de archieven van SCK.

De selectieset van boringen (Figuur 4, Tabel 2) is tijdens de stratigrafische en hydrogeologische (her)interpretatie van de boringen en tijdens de modellering nog bijgesteld. Daarbij zijn kwalitatief goede boringen, zoals de boringen uitgevoerd in het kader van de quartairgeologische kartering van Vlaanderen, aan de selectieset toegevoegd en zijn kwalitatief te slechte boringen uit de selectieset verwijderd.

⁸ Matig diepe boringen zijn mechanische boringen, meestal dieper dan 10 meter en ondieper dan 500 meter.

⁹ Olie- en gasboringen betreffen diepe boringen die zijn uitgevoerd in het kader van de exploratie naar olie, aardgas of geothermie. Deze boringen zijn meestal dieper dan 500 meter.



Figuur 4. Ligging van de geselecteerde boringen binnen het inventarisatiegebied. Ondiepe boringen zijn boringen die de basis van de Formatie van Diest (in het Vlaamse deel) of de Formatie van Breda (in het Nederlandse deel) niet hebben bereikt, diepe boringen hebben dit grensvlak wel bereikt.

Tabel 2. Overzicht van het aantal boringen in de selectiesets van het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatie- en modelgebied met het aantal boringen dat de basis Quartair, de basis van de Formatie van Breda/Bolderberg en de basis van het Cenozoïcum bereikt heeft.

	Inventarisatiegebied			Modelgebied		
	NL-deel	VL-deel	Geheel	NL-deel	VL-deel	Geheel
Totaal	879	634	1513	456	409	865
Basis Quartair doorboord	307	216	523	159	162	321
Basis Formatie van Breda/Bolderberg doorboord (NL)	17	184	201	7	111	118
Basis Cenozoïcum doorboord (NL)	9	7	16	2	4	6

De gemiddelde boordichtheid bedraagt binnen het hele modelgebied één boring per 1,49 km². De dichtheid in het Nederlandse deel van het modelgebied is één boring per 1,57 km², die in het Vlaamse deel één boring per 1,40 km². Zoals uit Figuur 4 blijkt komen er clusters van boringen voor in bepaalde regio's terwijl in andere gebieden een beperkt aantal boringen beschikbaar is. Ondanks duidelijke verschillen in boordichtheid is de geografische spreiding van de geselecteerde boringen vrij evenwichtig. De geselecteerde boringen in het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn openbaar.

2.2.2.2 Boorgatmetingen

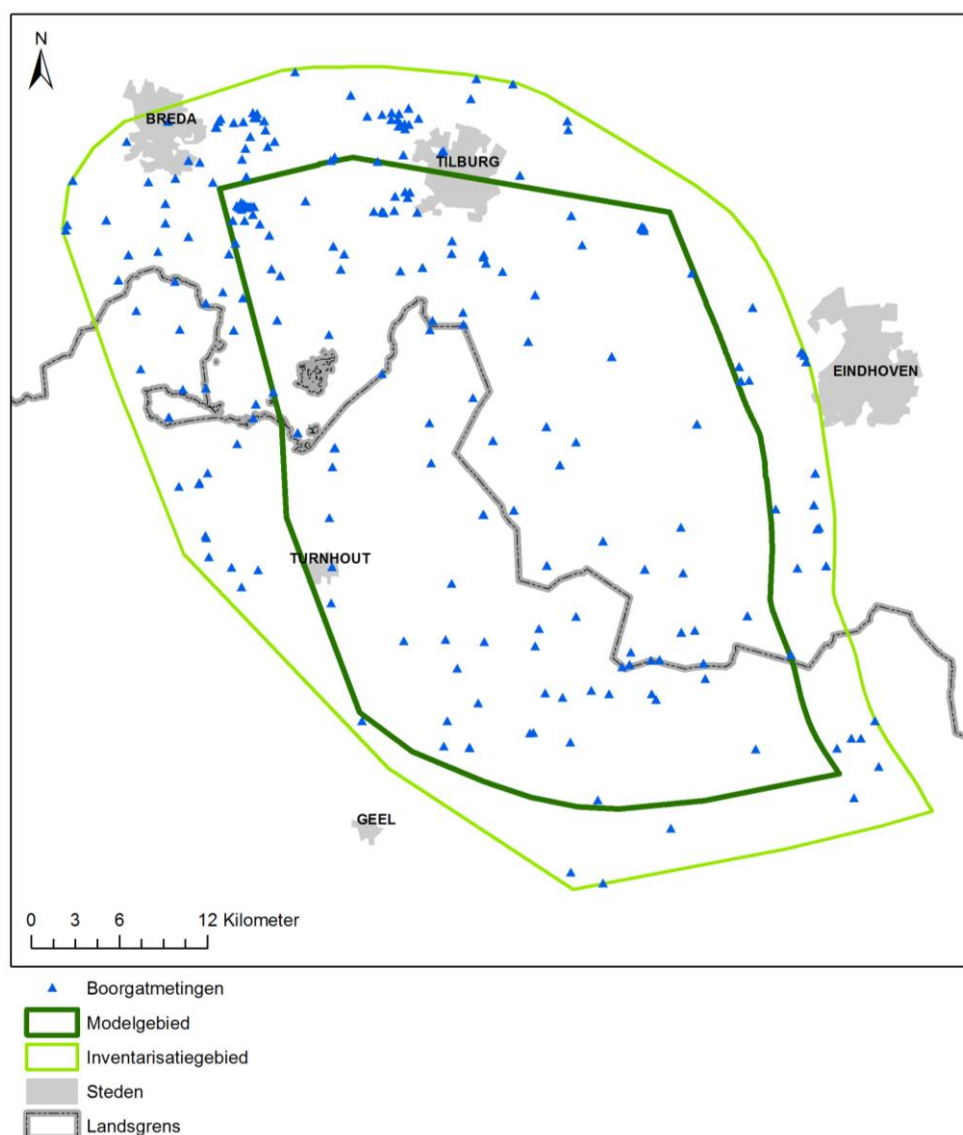
De boorgatmetingen zijn afkomstig uit/van:

- de databank DINO;
- Brabant Water;
- het archief van de Belgische Geologische Dienst (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen – Wetenschappelijke Dienst Patrimonium), dat ook de boorgatmetingen van de Vlaamse Milieumaatschappij omvat;
- de databank DOV;
- NIRAS;
- de databank van VITO.

De boorgatmetingen zijn geselecteerd volgens dezelfde criteria als bovengenoemd voor de boringen. De geselecteerde boringen met boorgatmetingen zijn weergegeven in Figuur 5. In Tabel 3 zijn de aantallen geselecteerde boringen met boorgatmetingen vermeld.

Tabel 3. Overzicht van het aantal boringen met boorgatmetingen in de selectiesets van het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatie- en modelgebied. Het aantal boringen met metingen van de seismische voortplantingssnelheid is apart aangegeven.

	Inventarisatiegebied			Modelgebied		
	NL-deel	VL-deel	Geheel	NL-deel	VL-deel	Geheel
Aantal boorgatmetingen	166	68	234	80	40	120
Aantal boorgatmetingen met snelheidsdata	2	10	12	1	5	6



Figuur 5. Ligging van geselecteerde boringen met boorgatmetingen binnen het inventarisatiegebied.

Net als de boringen zijn alle geselecteerde boorgatmetingen in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied openbaar; de geselecteerde boorgatmetingen in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn ook openbaar, met uitzondering van enkele vertrouwelijke boorgatmetingen van VITO.

2.2.2.3 *Seismiek*

De beschikbare seismische data zijn afkomstig uit:

- de databank DINO
- de databank van de BGD
- de databank van NIRAS
- de databank van VITO.

In het project “H3O – De Kempen” is alleen digitale seismiek gebruikt; geschikte analoge data zijn daartoe gevectoriseerd, zie Paragraaf 2.2.3.2. Tabel 4 en Tabel 5 geven een overzicht van de geselecteerde seismische data en de geselecteerde seismische lijnen en gebieden met 3D seismiek zijn weergegeven in Figuur 6.

Van het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn voornamelijk oudere 2D lijnen beschikbaar. De analoge data van oudere Nederlandse seismische lijnen (zoals uit 1952) blijken niet altijd bij DINO, en zelfs ook niet meer bij de eigenaar (Nederlandse Aardolie Maatschappij - NAM), aanwezig te zijn. De analoge data van oude seismische lijnen uitgevoerd in de periode 1952 - 1971 en wel aanwezig bij DINO, zijn bekeken. Indien deze lijnen in een gebied liggen met weinig of geen recentere digitale seismische data en indien de kwaliteit ervan goed genoeg is om deze lijnen seismisch te kunnen interpreteren, is deze seismiek geselecteerd en gevectoriseerd. In het noorden van het Nederlandse deel liggen twee seismische 3D-surveys, waarvan elke 20ste dwarslijn (om de 500 m) is geselecteerd voor de seismische interpretatie. Uit het oogpunt van datadichtheid en resolutie is een 3D-survey in het algemeen bruikbaar voor seismische interpretatie dan een 2D seismische lijn/survey.

Van het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn ook voornamelijk oudere 2D lijnen beschikbaar. Om gebiedsdekkend te kunnen karteren, is in dit deel alle beschikbare openbare seismiek geselecteerd. Daarnaast zijn er ook vertrouwelijke seismische surveys geselecteerd waarvan de locaties en interpretaties binnen het project gebruikt mogen worden. In het Vlaamse deelgebied is in Mol een vertrouwelijke, analoge 3D seismische opname van 2 km² beschikbaar. Vanwege de beperkte meerwaarde is deze 3D-survey niet in de selectie opgenomen.

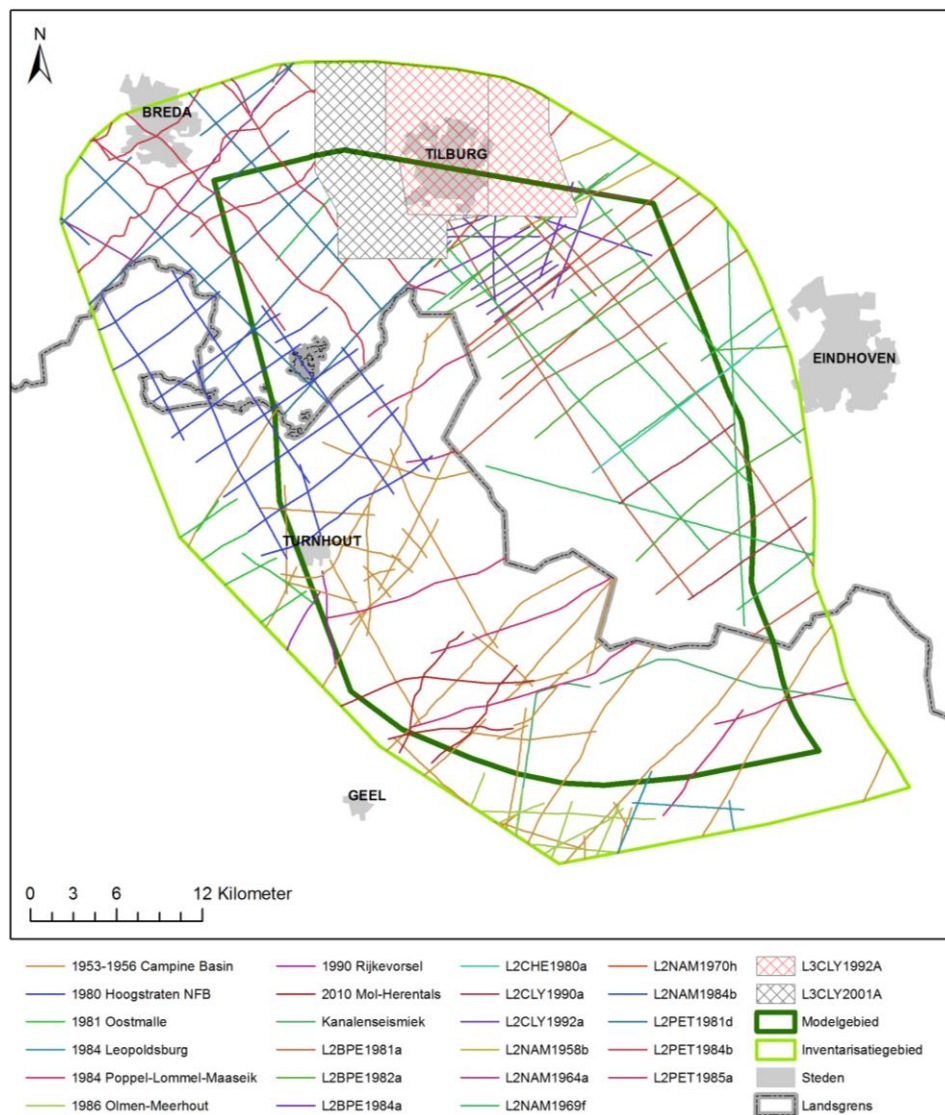
De meetopzet van de seismische surveys is gericht op een specifiek dieptebereik waar de onderzoeker/opdrachtgever in geïnteresseerd is. Meestal betreft dat het dieptebereik waarin fossiele brandstoffen te verwachten zijn. Hierdoor zal de seismische survey minder of geen informatie verschaffen over de ondiepste opbouw van de ondergrond. De seismische surveys die beschikbaar zijn binnen het inventarisatiegebied, zijn vanuit verschillende projecten en vraagstellingen uitgevoerd en vertonen daardoor onderling verschillen ten aanzien van dit ondiepste bereik. In gevallen dat een (deel van een) 2D seismische lijn geschikter is dan een 3D-survey, zou ook de 2D seismische lijn geselecteerd kunnen worden, wat binnen het inventarisatiegebied echter niet het geval is.

Tabel 4. Kengetallen van de geselecteerde 2D en 3D seismische gegevens in het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatie- en het modelgebied.

seismiek	Inventarisatiegebied		Modelgebied	
	NL	VL	NL	VL
2D (km)	846	758	558	481
3D (km ²)	263	-	101	-

Tabel 5. Overzicht van de seismische surveys in het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatiegebied waarvan alle lijnen of een deel van de lijnen geselecteerd is.

Naam survey	Jaar acquisitie	2D of 3D	Confidentieel	Land of gewest
L2NAM1958B	1958	2D	N	NL
L2NAM1964A	1964	2D	N	NL
L2NAM1969F	1969	2D	N	NL
L2NAM1970H	1970	2D	N	NL
L2CHE1980A	1980	2D	N	NL
L2BPE1981A	1981	2D	N	NL
L2PET1981D	1981	2D	N	NL
L2BPE1982A	1982	2D	N	NL
L2BPE1984A	1984	2D	N	NL
L2NAM1984B	1984	2D	N	NL
L2PET1984B	1984	2D	N	NL
L2PET1985A	1985	2D	N	NL
L2CLY1990A	1990	2D	N	NL
L2CLY1992A	1992	2D	N	NL
L3CLY1992A	1992	3D	N	NL
L3CLY2001A	2001	3D	N	NL
Rijkevorsel	1990	2D	N	VL
Olmen-Meerhout	1986	2D	N	VL
Kanalenseismiek Kempische kanalen	1991	2D	N	VL
Leopoldsburg	1984	2D	N	VL
Hoogstraten N-flank Brabant Massief	1980	2D	N	VL + NL
Oostmalle	1981	2D	N	VL
ONDRAF-NIRAS	1996	2D	Y	VL
Mol-Herentals	2010	2D	Y	VL
Campine Basin	1953-1956	2D	N	VL
Poppel-Lommel-Maaseik	1984	2D	N	VL



Figuur 6. Ligging van de geselecteerde seismische lijnen binnen het inventarisatiegebied.

In het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn alle geselecteerde seismische data openbaar. Voor het Vlaamse deel zijn de *surveys* van Mol-Herentals en ONDRAF-NIRAS, die respectievelijk eigendom zijn van VITO en NIRAS, confidentieel. Van deze *surveys* zijn alleen de seismische horizons die in het Cenozoïsche deel zijn geïnterpreteerd ten behoeve van het project “H3O - De Kempen” vrijgegeven.

2.2.2.4 Breukenbestand

Voor het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn de volgende breukenpatronen als uitgangspunt aangehouden bij het samenstellen van het 3D breukvlakkenmodel:

- Het breukenbestand dat is gebruikt binnen het Digitaal Geologisch Model (DGM) v2.2¹⁰ uit 2013.

¹⁰ De DGM-modellen zijn te raadplegen en te downloaden via www.dinoloket.nl en www.nlog.nl.

- Het breukenpatroon van de basis van de Noordzee Supergroep, die samenvalt met de basis van het klastische deel van het Cenozoïcum, uit het model DGM-diep v4.0, dat in 2015 is gepubliceerd.

Voor het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied is het voorlopige breukenpatroon van de top van het Carboon uit het nog in bewerking zijnde G3Dv3-model als startpunt gebruikt. Bij het interpreteren van het breukenpatroon zijn ook eerdere studies en wetenschappelijke publicaties geraadpleegd, zoals Vandenberghe (1982; 1984; 1990).

2.2.2.5 *Maaiveldhoogtebestand*

Voor de maaiveld- en waterbodemooghten van het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied is het landsdekkende maaiveld- en waterbodemooghtebestand, versie 2.1 (2015), gebruikt. Dit rasterbestand is samengesteld door TNO en heeft een resolutie van 100 meter. De maaiveldhoogtegegevens van deze versie zijn gebaseerd op het Actueel Hoogtebestand Nederland versie 2 (AHN2); de waterbodemooghten van dit bestand zijn gebaseerd op gegevens van de beheerders of geschat indien geen gegevens bekend waren (zie Vernes & Van Doorn, 2005). In Vlaanderen is voor het gebiedsdekkende maaiveldhoogtebestand gebruik gemaakt van het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen (DHM VI) met een resolutie van 100 meter. Dit hoogtebestand is afkomstig uit de databank van AIV. Het bestand bevat lege cellen (*no data* cellen) die deels met oppervlaktewater overeen komen.

Uit beide openbare maaiveldhoogtebestanden is een uitsnede gemaakt van het inventarisatiegebied.

2.2.2.6 *Bestaande actuele geologische en hydrogeologische kaarten en modellen*

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

- het Digitaal Geologische Model (DGM)-ondiep, versie 2.2;
- een verbeterde maar tijdens de uitvoering van het project nog niet gepubliceerde versie van het hydrogeologische model REGIS II, versie 2.2;
- het Digitaal Geologische Model (DGM)-diep, versie 4.0;
- digitale kaartbestanden van de gecombineerde kaartbladen XIII Breda-Valkenswaard en XIV Oss-Roermond (TNO, 2001) van de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond.

Voor het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied is uitgegaan van de digitale bestanden uit het geologische G3Dv2-model (zie Matthijs et al., 2013) en van het nog in bewerking zijnde G3Dv3-model. Omdat deze modellen van een recentere datum zijn dan de HCOV-kartering, waardoor de informatie meer up-to-date is, is de HCOV-kartering niet gebruikt.

Daarnaast zijn de volgende kaarten geraadpleegd:

- de Geologische kaart van Nederland 1:50.000, Blad Eindhoven West (51 W) (Bisschops et al., 1985);
- de volgende kaartbladen van de Vlaamse quartairgeologische kaart 1:50.000 met bijbehorende toelichtingen:
 - kaartblad 2-8 Meerle-Turnhout (Bogemans, 2005a)
 - kaartblad 3-9 Arendonk-Maarle (Bogemans, 2005b)

- kaartblad 17 Mol (Gullentops, Paulissen & Vandenbergh, 2006).

2.2.3 Databewerking

2.2.3.1 Controle gegevens

Van de geselecteerde Nederlandse boringen is een overzicht gemaakt van de locatiegegevens, de eigenaar en enkele andere relevante attribuutgegevens. Dit overzicht is ter beoordeling voorgelegd aan Brabant Water en de Provincie Noord-Brabant met het verzoek om de juistheid van de in DINO geregistreerde coördinaten en maaiveldhoogten van hun boringen te controleren. Brabant Water heeft een overzicht gemaakt van de verschillen. De plausibiliteit van grote verschillen in coördinaten en maaiveldhoogten is eerst beoordeeld aan de hand van archief- en kaartmateriaal voordat deze gegevens in DINO zijn aangepast. De gegevens van de geselecteerde Vlaamse boringen zijn bij aanvang van het project zorgvuldig gecontroleerd en waar nodig verbeterd of aangevuld door VPO, VITO, de BGD en VMM. Het gaat daarbij onder andere om: ID-code, coördinaten, hoogteligging en einddiepte. Na deze controle zijn deze boorgegevens niet meer tijdens de uitvoering van het project gewijzigd.

De boorgatmetingen van de olie- en gasboringen in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn als eerste controle in het softwarepakket Petrel ingelezen. De metingen van de boringen BKZ-01, HBV-01, HVB-01 en WWS-02 hebben een zogenaamde *composite well log* die reeds eerder gecontroleerd is. De metingen van de overige vijf boringen bestonden uit verschillende *log runs*; deze zijn gecombineerd zodat ze een doorlopend geheel vormen. De boorgatmetingen van de matig diepe boringen in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn nagenoeg allemaal afkomstig uit de databank DINO. Omdat bij het opnemen van boorgatmetingen in DINO plausibiliteitscontroles worden uitgevoerd, zijn deze boorgatmetingen niet nader gecontroleerd. Van de geselecteerde, uit het archief van de BGD afkomstige boorgatmetingen in het Vlaamse deel is gecontroleerd of deze metingen reeds in digitaal formaat beschikbaar waren. Van de niet digitaal beschikbare boorgatmetingen is, voor het digitaliseren, de kwaliteit visueel beoordeeld. Daarbij is gecontroleerd of de metingen van de gammastraling en resistiviteit uitgevoerd waren over het voor dit onderzoek relevante diepte-interval en of deze metingen bruikbaar waren. Zo kan het relevante interval wel bemeten zijn maar is de meting uitgevoerd in een verbuisd boorgat waardoor de meting niet of minder bruikbaar is, of is er van de meting alleen een papieren kopie beschikbaar van zodanig slechte kwaliteit dat digitaliseren niet mogelijk is.

De data van de seismische lijnen (naamgeving, locatie, analoog/digitaal) in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn gecontroleerd aan de hand van data die de laatste jaren door de NAM en Total in digitale vorm zijn aangeleverd aan de DINO-database. De data van de seismische lijnen (naamgeving, locatie, analoog/digitaal) in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn eveneens gecontroleerd.

Omdat bij TNO fouten waren gesignaleerd in de locatiebestanden van seismische lijnen uit het eerdere “H3O – Roerdalslenk” project (o.a. bij BP-survey uit 1981), is er in het “H3O - De Kempen” project meer aandacht geschonken aan de onzekerheid in de ligging van seismische lijnen. Door het vergelijken van de huidige

digitale locatiebestanden met de originele analoge locatiekaarten van de seismische *surveys*, meestal in het DINO-archief aanwezig op papier of film, kan de ligging gecontroleerd worden. Bij deze controle is gebleken, dat van de “N-flank Brabant Massief” *survey* uit 1980 maar liefst een 6-tal verschillende digitale locatiebestanden bestond. Doordat de originele analoge locatiekaarten niet compleet aanwezig waren in het archief van de BGD, kon het vergelijk maar ten dele gedaan worden. Uiteindelijk is gekozen voor een digitaal bestand dat het beste de aanwezige originele analoge locatiekaarten benaderde. De uiteindelijke maximale fout in de ligging van de seismische lijnen van deze *survey* is 200 m.

2.2.3.2 *Vectoriseren gegevens*

Alle relevante boorgatmetingen van het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied waren reeds gevectoriseerd, maar van het Vlaamse deel zijn alle boorgatmetingen die nog niet in vector formaat beschikbaar waren, gevectoriseerd. Het betreft een twintigtal boorgatmetingen uit het archief van de BGD.

De bij DINO aanwezige analoge data van oude seismische lijnen uitgevoerd in de periode 1952-1971 zijn bekeken. Indien deze lijnen in een gebied liggen met weinig of geen recentere digitale seismische data en indien de kwaliteit ervan goed genoeg is om deze lijnen seismisch te kunnen interpreteren, is besloten om deze seismiek te vectoriseren. Uiteindelijk is alleen lijn 2450 van de *survey* L2NAM1969K gevectoriseerd. Een aanzienlijk deel van de seismische data binnen het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied was niet in bruikbare digitale vorm beschikbaar. Het betreft de *surveys* van Olmen-Meerhout, Kanalenseismiek Kempische kanalen, Rijkvorschel en Leopoldsburg. VPO heeft de BGD opdracht verleend deze campagnes te scannen en te digitaliseren naar SEG-Y-formaat, wat is gerealiseerd voor in totaal 51 2D-lijnen in samenwerking met subcontractor FolloWave (UK).

2.2.3.3 *Samenstellen gebiedsdekkend maaiveld- en waterbodemoogtebestand*

Het DHM Vlaanderen bestand met een resolutie van 100 meter bevat *no data* cellen die deels met oppervlaktewater overeenkomen. In het kader van dit project zijn deze *no data* cellen niet verder onderzocht. Door middel van interpolatie van de waarden van de omliggende cellen is een waarde voor de *no data* cellen berekend.

Op basis van het maaiveld- en waterbodemoogtebestand van het Nederlandse deel en het bewerkte DHM Vlaanderen zijn door conversie van coördinaten en hoogten twee gebiedsdekkende maaiveldhoogtemodellen samengesteld, één in Rijksdriehoek-coördinaten en ten opzichte van het NAP-referentieniveau en één in Lambert '72-coördinaten en ten opzichte van het TAW-referentieniveau.

2.2.3.4 *Conversies*

De resultaten van deze studie zijn opgeleverd in zowel Rijksdriehoek- als Lambert '72-coördinaten en hoogten ten opzichte van de bijhorende NAP- en TAW-referentieniveaus. De conversies van GIS-bestanden (punt-, lijn- en rasterdata) tussen beide coördinatenstelsels zijn uitgevoerd met het softwarepakket ArcGIS 10.4. Daarbij zijn standaard de in Tabel 6 vermelde transformaties gebruikt. De parameters van deze transformaties zijn in Bijlage A opgenomen.

Tabel 6. Gebruikte transformaties van RD naar Lambert 72 en van Lambert 72 naar RD in ArcGIS 10.4.

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:

$$\text{hoogte NAP} = \text{hoogte TAW} - 2,33$$

Waarbij:

hoogte NAP = hoogte ten opzichte van NAP (m), gebruikt in Nederland

hoogte TAW = hoogte ten opzichte van TAW (m), gebruikt in Vlaanderen

De locatiebestanden van de Nederlandse en Vlaamse 2D-seismiek zijn in ArcGIS van RD- naar Lambert, respectievelijk van Lambert- naar RD-coördinaten geconverteerd. Voor de Nederlandse seismische data heeft het bedrijf CGG vervolgens de Lambert72-coördinaten in de headers van de seismische SEG-Y-files geplaatst en voor de Vlaamse seismische data heeft VITO de RD-coördinaten in de headers van de seismische data geplaatst. De locaties van de Nederlandse 3D-seismische surveys zijn niet geconverteerd van RD- naar Lambert-coördinaten vanwege translatie-/rotatiefouten die bij deze conversie zullen ontstaan.

2.3 Correlatie Nederlandse en Vlaamse geologische en hydrogeologische eenheden

2.3.1 Correlatietabel

Binnen de hoofdactiviteit “Correlatie Nederlandse en Vlaamse geologische en hydrogeologische eenheden” is een lithostratigrafische en hydrogeologische correlatietabel opgesteld (Tabel 7). Tevens zijn grensoverschrijdende lithostratigrafische en hydrogeologische profielen vervaardigd om deze correlatietabel te valideren (Bijlage C). Deze hoofdactiviteit had tot doel:

- Een actueel overzicht te geven van de bestaande Nederlandse en Belgische (Vlaamse) lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden die in het inventarisatiegebied voorkomen en hun onderlinge correlatie.
- Overeenkomsten en verschillen tussen deze eenheden te kunnen vaststellen.
- Een (voorlopig) overzicht te maken van potentieel te interpreteren/modelleren geologische en hydrogeologische eenheden.

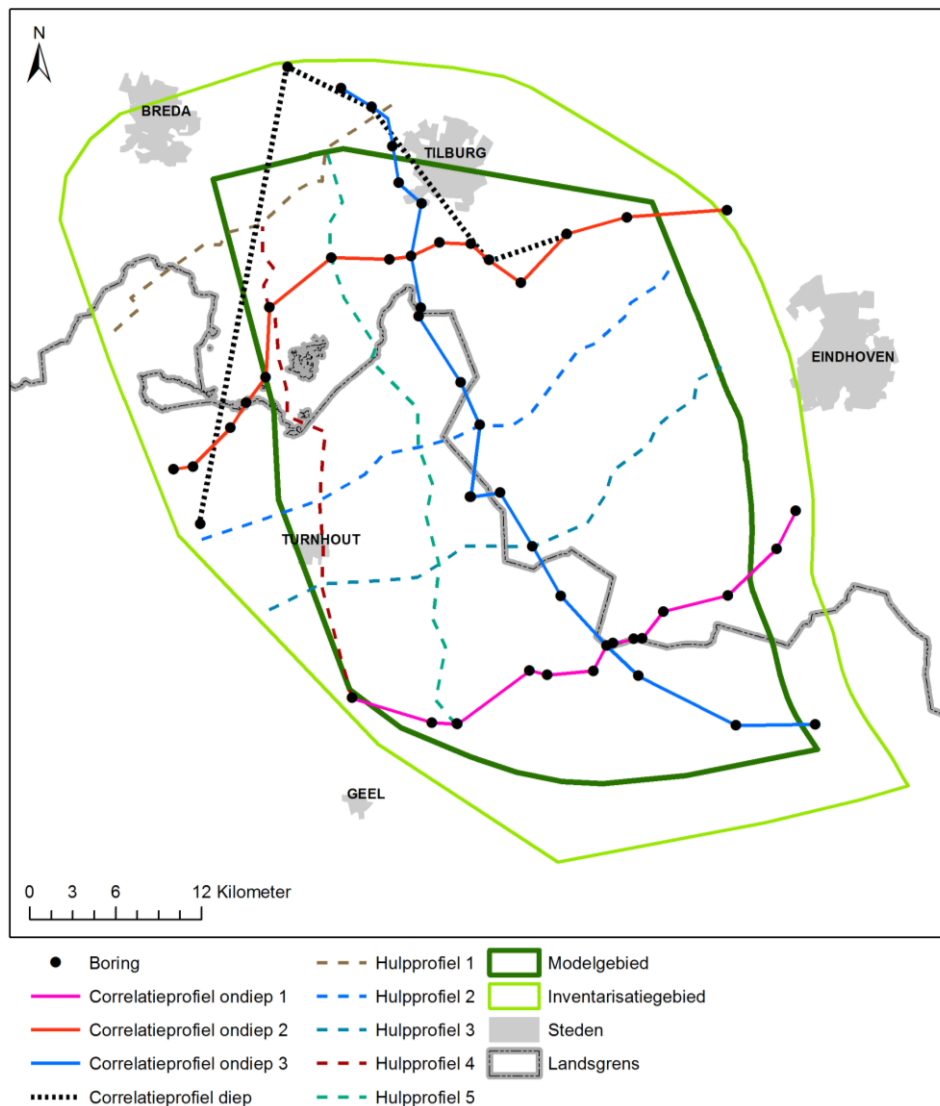
Hierbij is de volgende werkwijze gevolgd:

- De Nederlandse en de Belgische stratigrafische eenheden die in het inventarisatiegebied voorkomen zijn op het niveau van formatie en laagpakket (NL) en formatie en lid (BE) naast elkaar in tabelvorm, op volgorde van hun stratigrafische positie en ingedeeld naar afzettingssmilieu opgesomd. Tijdsequivalente eenheden zijn daarbij naast elkaar geplaatst. Daarbij is de Nederlandse stratigrafische indeling conform TNO (2011) en Van Adrichem Boogaert en Kouwe (1993-1997) aangehouden, en de Belgische indeling

conform de Nationale Commissie voor Stratigrafie (NCS, z.j.). De onderscheiden afzettingmilieus zijn: “Marien”, “Fluviatiel-Rijn/Maas”, “Fluviatiel - lokale rivieren”, “Overig”.

- De Nederlandse en Belgische (litho)stratigrafische eenheden zijn vervolgens met elkaar gecorreleerd zodat een grensoverschrijdende correlatie van de lithostratigrafische eenheden ontstond (Tabel genaamd “Lithostratigrafische indelingen”; zie Bijlage B).
- Aansluitend zijn de Nederlandse en de Belgische lithostratigrafische eenheden die in het inventarisatiegebied voorkomen samen met hun overeenkomstige hydrogeologische eenheden in tabelvorm opgesomd. Daarbij is de Nederlandse hydrogeologische indeling conform REGIS II v2.2 (TNO, 2017) aangehouden en de Vlaamse indeling conform HCOV (Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen, zie Meyus et al., 2000). Vervolgens zijn, naast de reeds eerder vastgestelde correlatie tussen de lithostratigrafische eenheden, ook de hydrogeologische eenheden van beide landen met elkaar gecorreleerd (Tabel genaamd “Correlatietabel”; zie Tabel 7).
- Op grond van het overzicht van Nederlandse en Belgische lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden en hun onderlinge correlatie is vervolgens vastgesteld welke eenheden binnen het geologische en het hydrogeologische model potentieel zouden kunnen worden onderscheiden (zie Tabel 7). De volgende overwegingen speelden daarbij een rol:
 - In Vlaanderen zijn eerder in het kader van het G3Dv2-model verschillende quartaire en laat-neogene eenheden gegroepeerd gekarteerd (bijvoorbeeld de formaties van Lillo, Poederlee en Mol); in Nederland zijn de equivalente eenheden reeds apart gemodelleerd.
 - In het project “H3O - Roerdalslenk” zijn quartaire en laat-neogene afzettingen gedefinieerd volgens de Nederlandse (hydro)stratigrafie.
 - Van de vroeg-neogene en paleogene afzettingen waren in Nederland tot op heden alleen de basisvlakken van de Boven-Noordzee Groep en de Onder-Noordzee Groep in het projectgebied gemodelleerd. In Vlaanderen daarentegen zijn alle binnen het projectgebied aanwezige formaties opgenomen in het G3Dv2-model. Bovendien sluit het G3Dv2-model aan bij de regio waar diverse eenheden oorspronkelijk gedefinieerd werden. Daardoor is er in Vlaanderen reeds een uitgebreide kennis van deze eenheden opgebouwd.
 - In het project “H3O - Roerdalslenk” zijn de vroeg-neogene en paleogene afzettingen gedefinieerd volgens de Vlaamse (hydro)stratigrafie.

Er is voor gekozen om in dit project voor de quartaire en de laat-neogene afzettingen de bestaande Nederlandse (hydro)stratigrafie toe te passen en om voor de vroeg-neogene en paleogene eenheden de bestaande Vlaamse (hydro)stratigrafie te gebruiken (zie laatste twee kolommen in Tabel 7).



Figuur 7. De ligging van de correlatie- en hulpprofielen.

2.3.2 Correlatieprofielen

Om de correlaties te valideren zijn vier correlatieprofielen gemaakt op basis van boringen in combinatie met boorgatmetingen (zie Figuur 7 en Bijlage C). Deze profielen bestaan uit zowel ondiepe als diepe geïnterpreteerde boringen binnen Nederland en Vlaanderen. Eén profiel geeft de correlatie van de diepe eenheden weer en drie andere profielen geven de correlaties van hoofdzakelijk de ondiepe eenheden weer. Van deze ondiepe profielen zijn er twee loodrecht op de breuken in NO-ZW-richting, dwars op as van de Roerdalslenk en één parallel met de breuken in NNW-ZZO-richting, parallel aan de as van de Roerdalslenk gekozen (voor locatie, zie Bijlage C). Op de profielen zelf worden de lithologie, de boorgatmetingen (gammastraling, resistiviteit) en de lithostratigrafische en hydrogeologische interpretaties van de boringen weergegeven evenals de gemodelleerde breuken (zie Paragraaf 2.4 en Paragraaf 2.5).

In eerste instantie zijn de lithostratigrafische en hydrogeologische interpretaties van de boringen op de profielen met elkaar gecorreleerd op basis van de correlaties die

volgen uit de correlatietabellen. De correlatietabellen zijn echter ook aangepast aan inzichten die bleken uit de profielen zelf. De correlatieprofielen leverden namelijk inzichten in de laterale verhoudingen van de verschillende eenheden zowel binnen als tussen de landsgrenzen op. In het vervolg van het project zijn deze correlatieprofielen ook gebruikt als raamwerk voor interpretaties van de andere boringen in het inventarisatiegebied.

De correlatietabel is het uitgangspunt geweest voor correlaties tijdens de volgende hoofdactiviteiten “(Her)interpretaties boorgegevens” en “Modellering geologische en hydrogeologische eenheden” (zie Paragraaf 2.4 en 2.6).

2.3.3 *Toelichting bij de geologische eenheden*

De grensoverschrijdende geologische modeleenheden voor “H3O - De Kempen” moeten voldoende gemotiveerd zijn vanuit de complexe geologische opbouw van het gebied en beantwoorden aan formele stratigrafische richtlijnen. De stratigrafische onderverdeling moet worden ondersteund door criteria, hanteerbaar op de beschikbare dataset en toepasbaar op de hydrostratigrafische onderverdeling. De basis voor de omschrijving van de criteria zijn de Nederlandse stratigrafische indeling conform TNO(2011) en Van Adrichem Boogaert en Kouwe (1993-1997) en de Belgische indeling conform de Nationale Commissie voor Stratigrafie (NCS, z.j).

De criteria moeten echter grensoverschrijdend bruikbaar zijn en kunnen dus geen kopie zijn van de bestaande Nederlandse en Belgische onderverdeling. Om deze criteria duidelijk te stellen is voor iedere geologische eenheid een toelichting opgesteld (Bijlage D). Inhoudelijk zijn deze aangepast aan het voortschrijdend inzicht, verworven tijdens de uitvoering van het project, en getoetst aan de opmerkingen van de Stuurgroep en Begeleidingscommissie. De resultaten van grensoverschrijdende correlatie hebben geleid tot in twijfel trekken van aspecten van de nationale stratigrafische systemen. Dit kan onderwerp van discussie zijn binnen de nationale stratigrafische werkgroepen of commissies, maar is geen opdracht voor het “H3O – De Kempen” project.

Iedere toelichting per geologische (model)eenheid bevat de volgende rubrieken:

- onderverdeling
- lithologische samenstelling en log-signatuur
- boven- en ondergrens
- stratigrafische context
- relevante illustraties.

Tabel 7. Lithostratigrafische en hydrogeologische correlatietabel voor het inventarisatiegebied H3O – De Kempen. De kolommen “Nederlandse stratigrafische eenheid”, “Nederlandse hydrogeologische eenheid”, “Belgische stratigrafische eenheid” en “Vlaamse hydrogeologische eenheid” geven een overzicht van de Nederlandse en Belgische/Vlaamse lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden die in het gebied voorkomen en hun onderlinge samenhang. De twee kolommen “H3O – De Kempen lithostratigrafie” en “H3O – De Kempen hydrogeologie” geven de potentieel binnen het geologische en het hydrogeologische model te onderscheiden eenheden weer.

Nederlandse stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	Nederlandse hydrogeologische eenheid (cf. REGIS II v2.2)	Belgische stratigrafische eenheid (formatie - lid)	Vlaamse hydrogeologische eenheid (cf. Meyus et al., 2000)			H3O – De Kempen lithostratigrafie	H3O – De Kempen hydrogeologie	
Antropogeen - opgebrachte grond	HLc	(Antropogeen)	0100	0110	/	Ophogingen	Antropogeen - opgebrachte grond	HLc
Boxtel - Singraven	BXz2	(Singraven)		0140	/	Alluviale deklagen	Boxtel - Singraven	BXz2
Boxtel - Kootwijk				0151	Zandige deklagen	Boxtel - Kootwijk		
Boxtel - Wierden / Boxtel - Delwijnen				0151	Zandige deklagen	Boxtel - Wierden / Boxtel - Delwijnen		
Boxtel - Liempde				0152 + 0153	Zand-lemige + Lemige deklagen	Boxtel - Liempde		
Boxtel - Best				/	/	Boxtel - Best		
Boxtel - ongedifferentieerd	BXz4	(Complex van Meer) / (herwerkt Maas - Rijn)			0151	Zandige deklagen	Boxtel - ongedifferentieerd	BXz4
Sterksel - ongedifferentieerd	STz1	Sterksel - ongedifferentieerd		0170	0171	Afzettingen Hoofdterras	Sterksel - ongedifferentieerd	STz1
	STk1						STk1	
	STz2						STz2	
Stramproy - ongedifferentieerd	SYz1	Ravels + Mol partim (Stramproy)	0230	0232	Zand van Mol	Stramproy - ongedifferentieerd	SYz1	
	SYk1					SYk1		
	SYz2					SYz2		
	SYk2					SYk2		
	SYz3					SYz3		
Waalre - ongedifferentieerd	PZWAz1	/		/	/	Waalre - ongedifferentieerd	PZWAz1	
	Wak1	Weelde	0220	0221-0223	Klei van Turnhout + Zand van Beerse + Klei van Rijkvorsel		Wak1	
	PZWAz2	Malle	0230	0231	Zanden van Brasschaat en/of Merksplas		PZWAz2	
	Wak2						PZWAz3	
	PZWAz3						Wak3	
		Wak3					PZWAz4	
Maassluis	MSz1	/	/	/	/	Maassluis	MSz1	
	MSk1	Merksplas	0230	0231	Zanden van Brasschaat en/of Merksplas		MSk1	
	MSz2						MSz2	
	MSk2						MSk2	
	MSz3	Lillo - ongedifferentieerd		0233 / 0234	Zandige top van Lillo / Zand van Poederlee	MSz3		
Kiezeloöliet - onbenaemd	Klz1	/	/	/	/	Kiezeloöliet - onbenaemd	Klz1	
Kiezeloöliet - Brunssum	Klk1	Mol	0230	0232	Zand van Mol	Kiezeloöliet - Brunssum	Klk1	
	Klz2					Klz2		
	Klk2					Klk2		
Kiezeloöliet - Waubach	Klz3					Kiezeloöliet - Waubach	Klz3	
Oosterhout	OOz1	/	/	/	/	Oosterhout	OOz1	
	OOK1	Lillo - ongedifferentieerd + Poederlee + Kattendijk + Kasterlee (zand)	0240	0241	Kleilig deel van Lillo en/of van de overgang Lillo-Kattendijk		OOK1	
	OOz2		0230 / 250	0234 / 251	Zand van Kattendijk en/of onderste zandlaag van Lillo / Zand van Poederlee en/of zandige top van Kasterlee		OOz2	
	OOc						OOc	
Breda - ongedifferentieerd	Niet gedefinieerd	Kasterlee (klei)	0240	0242	Kleilige overgang tussen de zanden van Kasterlee en Diest	Kasterlee (klei)	0242	
	BRz2	Diest	0252	Zand van Diest	Diest	0252		
Breda - Vrijherenberg		Berchem / Bolderberg - Genk	0250	0253 + 0254	Zand van Bolderberg + Zanden van Berchem en/of Voort	Vrijherenberg	0254	
Breda - Heksenberg	Bolderberg - Genk	Bolderberg - Genk				0253		
Breda - Kakert	BRz4	Berchem / Bolderberg - Houthalen				Bolderberg - Houthalen	0253	
Veldhoven - Someren	VESOc	Voort - Someren				0254	Zanden van Berchem en/of Voort	Voort - Someren
Veldhoven - Klei van Veldhoven	VEWIk1	Voort - Veldhoven	0255	Klei van Veldhoven	Voort - Veldhoven	0255		
Veldhoven - Voort	VEVOc	Voort - Voort	0254	Zanden van Berchem en/of Voort	Voort - Voort	0254		
Rupel - Steensel	RUz1	Eigenbilzen	0256	Zand van Eigenbilzen	Eigenbilzen	0256		
Rupel - Rupel klei	RUBOk1	Boom - Boeretang	0301	Kleilig deel van Eigenbilzen	Boom - Boeretang	0301		
		Boom - Putte	0302	Klei van Putte	Boom - Putte	0302		
		Boom - Terhagen	0303	Klei van Terhagen	Boom - Terhagen	0303		
		Boom - Belsele-Waas	0304	Klei van Belsele-Waas	Boom - Belsele-Waas	0304		
			0304	Klei van Belsele-Waas	Boom - Belsele-Waas	0304		
Rupel - Vessem	RUz2	Bilzen - Berg	0430	0431	Zand van Berg	Bilzen - Berg	0431	
Tongeren - Klimmen	TOz2	Sint-Hubrechts-Hern - Neerrepn	0451	Zand van Neerrepn	Sint-Hubrechts-Hern - Neerrepn	0451		
		Sint-Hubrechts-Hern - Grimmeringen	0450	0452	Zand-klei van Grimmeringen	Sint-Hubrechts-Hern - Grimmeringen	0452	
Tongeren - Zelzate - Ruisbroek	TOz3	Zelzate - Ruisbroek	0430	0435	Zand van Ruisbroek	Zelzate - Ruisbroek	0435	
Tongeren - Zelzate - Bassevelde		Zelzate - Bassevelde	0450	0453	Kleilig zand van Bassevelde	Zelzate - Bassevelde	0453	
Dongen - Asse	DOz1	Maldegem - ongedifferentieerd	0500	/	/	Maldegem - ongedifferentieerd	0500	
Dongen - Brussel	DOz2	DOASK1	0600	0610	0611	Zand van Wemmel	Maldegem - Wemmel	0611
				0612	Zand van Lede	Lede	0612	
				0620	/	Zand van Brussel	Brussel	0620
				0640	/	Zandige afzettingen van het Onder-Paniselaaan	Gentbrugge-Vlierzele	0640
Dongen - Ieper	DOIEk1	Gentbrugge-Pittem	0700	/	0701	Klei van Pittem	Gentbrugge-Pittem	0701
		Gentbrugge - Merelbeke	0800	/	0702	Klei van Merelbeke	Gentbrugge - Merelbeke	0702
		Tielt - Egem			Ieperiaan Aquifer (ongedifferentieerd)	Tielt - Egem	0800	
		Tielt - Egemkapel	0900	/		Silt van Kortemark	Tielt - Egemkapel	0910
		Tielt - Kortemark			0921	Klei van Aalbeke	Kortrijk - Aalbeke	0921
		Kortrijk - Aalbeke			0922	Klei van Moen	Kortrijk - Roubaix	0922
		Kortrijk - Roubaix			0923	Zand van Mons-en-Pévèle	Kortrijk - Mons-en-Pévèle	0923
		Kortrijk - Mons-en-Pévèle			0924	Klei van Saint-Maur	Kortrijk - Orchies	0924
		Kortrijk - Orchies			0925	Klei van Mont-Héribu	Kortrijk - Mont-Héribu	0925
		Kortrijk - Mont-Héribu			1012	Zandige afzettingen van Loksbergen en/of Dormal	Tienen - ongedifferentieerd	1012
Dongen - Basaal Zand	DOz4	Tienen - ongedifferentieerd	1000	1010	1013	Zand van Grandglise	Hannut - Grandglise	1013
					1014	Kleilig deel van Lincet	Hannut - Lincet	1014
					1021	Siltige afzetting van Halen	Hannut - Halen	1021
					1022	Klei van Waterschei	Hannut - Waterschei	1022
					1023	Slecht doorlatend deel van de Mergels van Gelinden	Heers - Gelinden	1023
Landen - Reussel	nog in te delen	Hannut - Grandglise	1000	1010	1032	Zand van Orp	Heers - Orp	1032
		Hannut - Lincet						
		Hannut - Halen						
Landen - Klei van Landen								
Landen - Gelinden								
Landen - Heers								

2.4 (Her)interpretaties boorgegevens en seismische gegevens

2.4.1 (Her)interpretaties boorgegevens

Voor de (her)interpretatie en aansluitende modellering is een onderscheid gemaakt tussen een “ondiep” en “diep bereik”. Het “ondiepe bereik” omvat het traject vanaf maaiveld tot en met de top van de Formatie van Breda (NL) – Diest (B), terwijl het “diepe bereik” het traject omvat vanaf de top van de Formatie van Breda (NL) – Diest (B) tot aan de basis van het klastische deel van het Cenozoïcum.

2.4.1.1 Ondiepe bereik

Waar nodig zijn de bestaande lithostratigrafische en hydrogeologische interpretaties van de boringen van de modellen DGM v2.2 en REGIS II v2.2 geherinterpreteerd. Voor beide modellen wordt door TNO een overzicht bijgehouden van noodzakelijk of wenselijk geachte verbeteringen. Dit overzicht vormt het uitgangspunt voor het onderhoud van beide modellen en is in het kader van dit project daarom mede als uitgangspunt voor de herinterpretatie gebruikt. De belangrijkste geregistreerde verbeterpunten in het inventarisatiegebied betroffen:

- het verhelpen van inconsistenties in de interpretatie van de grens tussen de Formatie van Waalre en de daaronder gelegen Formatie van Maassluis;
- hetzelfde voor de interpretaties van de grens tussen de Formatie van Maassluis en de daaronder gelegen Formatie van Oosterhout.

Van de aanvullende boringen zijn nieuwe stratigrafische interpretaties opgesteld of zijn de voornoemde verouderde stratigrafische interpretaties geactualiseerd. Aansluitend is van deze boringen ook een hydrogeologische interpretatie gemaakt. Indien de kwaliteit van de boorbeschrijving te laag is om een betrouwbare interpretatie te kunnen opstellen, zijn de betreffende boringen uit de selectieset verwijderd.

Van de boringen uit de selectieset van DGM/REGIS v2.2 is van 103 boringen de stratigrafische interpretatie bijgesteld (23% van de boringen). Van de boringen uit de selectieset van DGM/REGIS v2.2 is van 132 boringen de hydrogeologische interpretatie verbeterd (29% van de boringen). Ten opzichte van REGIS II v2.2 hebben de meeste herinterpretaties plaatsgevonden in de eenheden MSk1, WAk2 en OOk1. Van de 417 aanvullende, matig diepe boringen is van 205 boringen de bestaande oude stratigrafische interpretatie geactualiseerd; van 4 aanvullende matige diepe boringen waarvan nog geen bestaande stratigrafische interpretatie beschikbaar was, is deze interpretatie opgesteld. Van al deze 417 boringen is een hydrogeologische interpretatie gemaakt.

Van een belangrijk deel van de geselecteerde boringen in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied was nog geen (volledige) stratigrafische en hydrogeologische interpretatie beschikbaar. Van de boringen waarvan wel stratigrafische interpretaties beschikbaar waren, zijn deze interpretaties opgesteld volgens de destijds geldende (vaak ruimere) Belgische stratigrafische definities. Omdat in het ondiepe bereik de Nederlandse stratigrafie is gehanteerd tijdens de interpretatie en de modellering, zijn deze bestaande Belgische interpretaties omgezet naar de Nederlandse stratigrafische indeling. Voor de Belgische en Nederlandse stratigrafische eenheden waartussen een eenduidige relatie bestaat, bijvoorbeeld

een 1-op-1- of een n-op-1-relatie, is dit een eenvoudige conversie die geautomatiseerd kan worden uitgevoerd¹¹. Voor de stratigrafische eenheden waar sprake is van een 1-op-n-relatie¹² of voor boringen zonder stratigrafische interpretatie is conversie niet mogelijk en zijn de Nederlandse eenheden daarom in de boringen geïnterpreteerd.

Van het ondiepe bereik waren nauwelijks bestaande hydrogeologische interpretaties beschikbaar. De hydrogeologische interpretaties van de geselecteerde boringen zijn dan ook meteen uitgevoerd conform de Nederlandse indeling. Ook hierbij zijn boringen uit de selectieset verwijderd indien de kwaliteit van de boorbeschrijving te laag was om een betrouwbare interpretatie te kunnen opstellen.

2.4.1.2 *Diepe bereik*

Voor de (her)interpretatie van het “diepe bereik” is de Belgische stratigrafische indeling aangehouden. In het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn de bestaande stratigrafische interpretaties van de boringen waar nodig herzien. In het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn de bestaande interpretaties van het “diepe bereik” van de boringen opgesteld volgens de Nederlandse stratigrafische indeling. Omdat de Belgische indeling van dit bereik een veel fijnere onderverdeling kent, is een eenvoudige conversie van de bestaande Nederlandse interpretaties niet zonder meer mogelijk en zijn deze boringen daarom geherinterpreteerd volgens de Belgische stratigrafische definities. Bij deze herinterpretatie is gebruik gemaakt van dateringen met behulp van dinoflagellaatcystenanalyse (palynologie) op geselecteerde intervallen van boringen in Nederland en België. Dit specialistische onderzoek is bij TNO verricht in het kader van een ander onderzoeksproject. Daarbij zijn extra profielen langs deze boringen gemaakt. Vanwege de geringe lithologische contrasten in het “diepe bereik” zijn deze herinterpretaties voornamelijk gemaakt aan de hand van de boorgatmetingen.

De interpretatie van het Paleogeen en Neogeen conform de Belgische stratigrafische indeling bleek goed uitvoerbaar te zijn in de diepe Nederlandse boringen. De stratigrafische inzichten in de paleogene-neogene successies van het Belgisch-Nederlands grensgebied zijn naar aanleiding van tussenresultaten van het “H3O - De Kempen” project nader ontwikkeld en verdiept. Dit heeft direct al geleid tot een update en herziening van de definitie van de Formatie van Breda. De basis van de Formatie van Breda wordt nu gelegd op de “Early Miocene Unconformity (EMU)”. De basis van de Belgische Formatie van Diest is gekoppeld aan de “Mid Miocene Unconformity (MMU)”. Verder onderzoek op dit gebied vindt door TNO in samenwerking met andere organisaties plaats.

¹¹ Voorbeeld voor een 1-op-1-relatie is de Belgische Formatie van Sterksel die 1-op-1 correleert met de Nederlandse Formatie van Sterksel; een voorbeeld voor een n-op-1-relatie is de correlatie van de Belgische Formaties van Weelde en Malle met de Nederlandse Formatie van Waalre, al moet worden opgemerkt dat dit geen zuiver voorbeeld is omdat ook een deel van de Formatie van Merksplas met de Formatie van Waalre correleert.

¹² Voorbeeld van een 1-op-n-relatie is de Belgische Formatie van Mol die deels correleert met de Nederlandse Formatie van Stramproy en deels met de Nederlandse Kiezeloöliet Formatie.

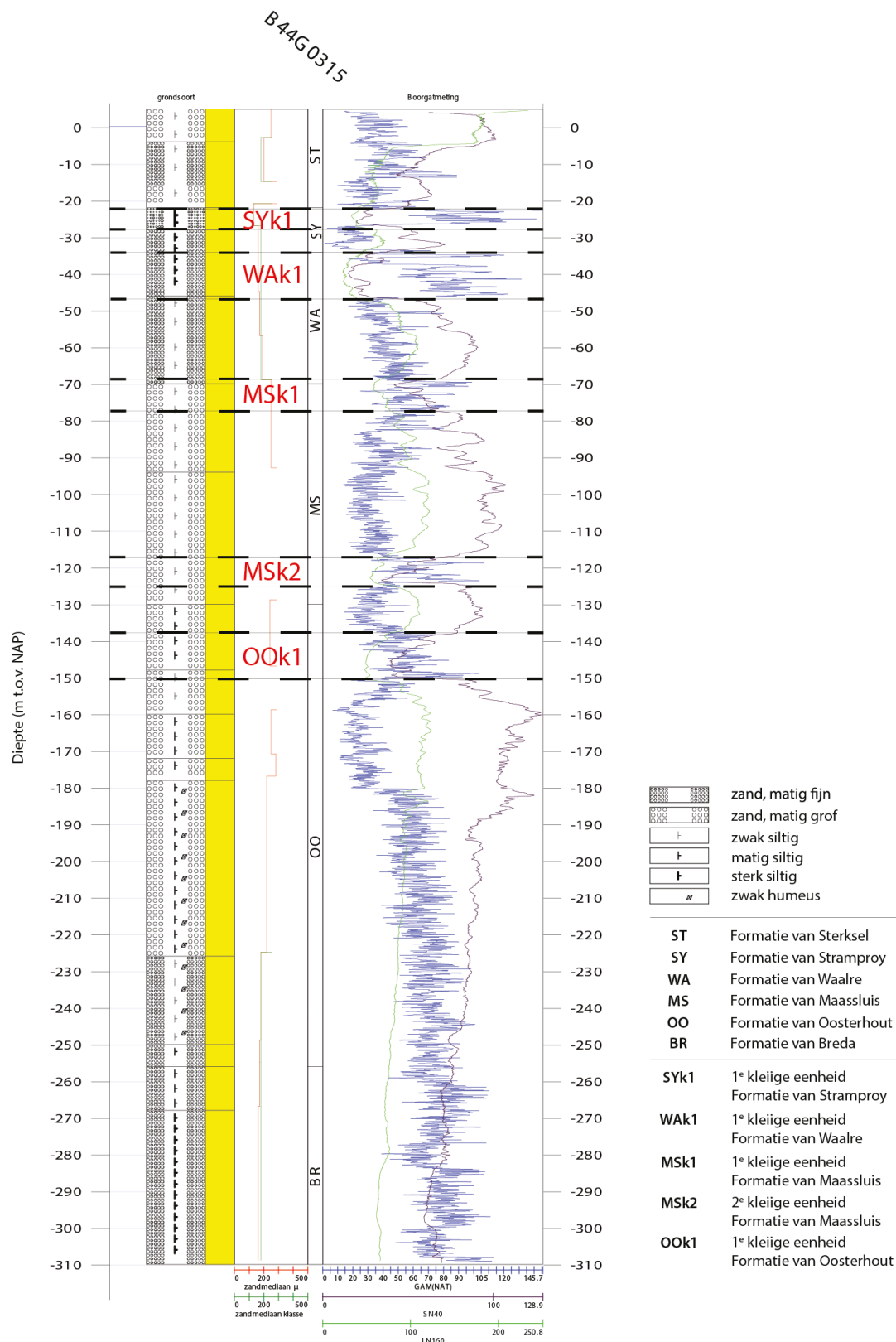
2.4.1.3 *Hulpprofielen*

Naast de al vervaardigde correlatieprofielen (Paragraaf 2.3), zijn vijf extra hulpprofielen samengesteld: drie loodrecht op de breuken, dwars op de Roerdalslenk, en twee in de lengterichting (Figuur 7). Deze hulpprofielen waren hoofdzakelijk bedoeld om de onderlinge consistentie van de stratigrafische en hydrogeologische (her)interpretaties te waarborgen. Daarnaast verschaffen deze hulpprofielen een beter ruimtelijk inzicht in de opbouw van de ondergrond. Allereerst zijn de boringen (al dan niet met boorgatmetingen) op de hulpprofielen geïnterpreteerd. De onderlinge aansluiting van de interpretaties langs de grens is vervolgens besproken en afspraken zijn gemaakt voor een eenduidige (her)interpretatie door alle projectpartners. De geïnterpreteerde correlatie- en hulpprofielen zijn vervolgens gebruikt als kapstok voor de interpretatie van de overige, tussenliggende boringen.

2.4.1.4 *Boorgatmetingen*

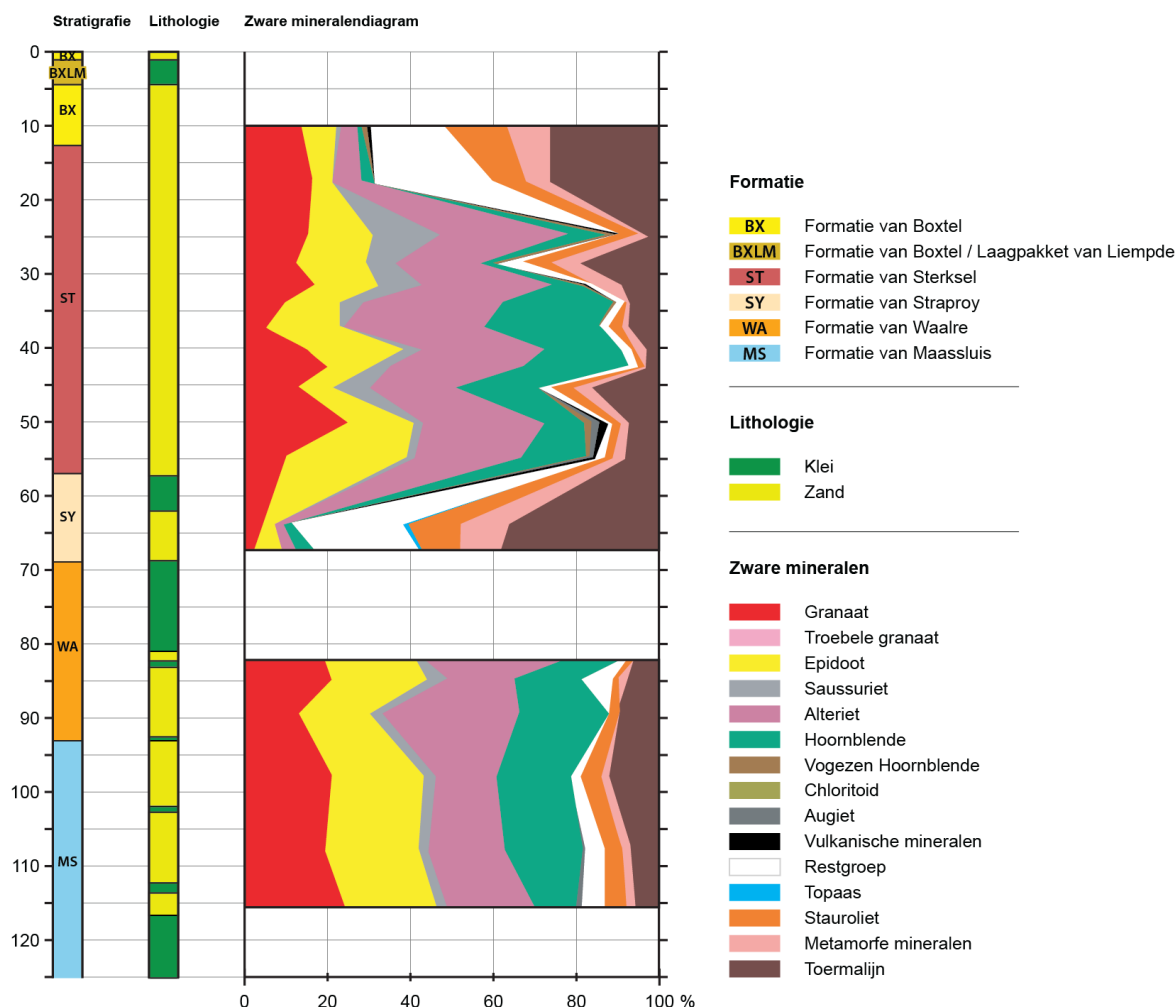
De boringen zijn hoofdzakelijk geïnterpreteerd op basis van de lithologische beschrijving in combinatie met boorgatmetingen (met name gamma- en resistiviteitslog) voor zover beschikbaar. Indien de kwaliteit van de lithologische beschrijving beperkt is (in geval van spoelboringen zijn kleiige lagen binnen een overwegend zandig pakket of zandlagen onder een kleipakket soms niet herkenbaar in boormonsters), is in belangrijke mate rekening gehouden met de lithologische beschrijvingen en boorgatmetingen van omliggende boringen.

Boorgatmetingen zijn zeer belangrijk geweest bij de (her)interpretatie van de boringen. Zo zijn boorgatmetingen onder andere gebruikt bij de interpretatie van de grens tussen de Formatie van Stramproy en de Formatie van Waalre (Stramproy zand met een relatief lage gamma versus Waalre zand met relatief hoge gamma). Bij de interpretatie van de kleiige hydrogeologische eenheden zijn de boorgatmetingen leidend. De grenzen van de kleiige eenheid worden bepaald op basis van een hoge gamma en lage resistiviteit in de boorgatmeting, de typische klei-signatuur, zie Figuur 8.



Figuur 8. Interpretatie van de kleiige hydrogeologische eenheden SYk1, WAK1, MSk1, MSk2 en OOk1 in straight-flushboring B44G0315, gelegen nabij Dongen, op basis van de gamma- (in blauw) en resistiviteitslogs (in groen en paars). De aanwezigheid van deze kleiige niveaus blijkt in de meeste gevallen niet uit de lithologische beschrijving van de boormonsters, die overwegend als zand zijn beschreven.

Bij de (her)interpretatie van de Nederlandse boringen zijn naast de boorgatmetingen ook de zware mineralen diagrammen gebruikt bij de bepaling van stratigrafische grenzen (Figuur 9). De Formatie van Stramproy en de Kiezeloöliet Formatie worden beide gekenmerkt door een stabiele mineraalassociatie¹³, terwijl de Formatie van Sterksel en de Formatie van Waalre typisch een instabiele mineraalassociatie vertonen.



Figuur 9. Stratigrafische en hydrogeologische interpretatie van boring B50F0052, gelegen nabij Tilburg. Voor de interpretatie is onder andere gebruik gemaakt van het bijbehorende zware mineralen diagram. In dit diagram is voor de verschillende bemonsteringsdieptes de samenstelling van de zware mineralen weergegeven waarbij steeds is uitgegaan van 100 korrels. Het aantal korrels aan instabiele mineralen is daarbij per mineraal van links naar rechts uitgezet, die van de stabiele mineralen van rechts naar links. De Formatie van Sterksel met een instabiele mineraalassociatie vertoont een duidelijk contrast ten opzichte van de onderliggende Formatie van Stramproy die gekenmerkt wordt door een stabiele mineraalassociatie.

¹³ Een stabiele mineraalassociatie betekent dat de samenstelling van de zogenaamde zware mineralen (mineralen met een hoger soortelijk gewicht dan kwarts en veldspaat) in belangrijke mate uit stabiele, slecht verweerbare mineralen bestaat. Voorbeelden van stabiele mineralen zijn toermalijn, stauroliet, zirkoon en de metamorfe mineralen. Een instabiele mineraalassociatie bestaat daarentegen uit instabiele, makkelijk verweerbare mineralen zoals granaat, epidoot, alteriet, saussuriet, hoornblende, alsmede mineralen van vulkanische oorsprong (TNO, z.j.).

2.4.1.5 *Potentiële verbreidingen*

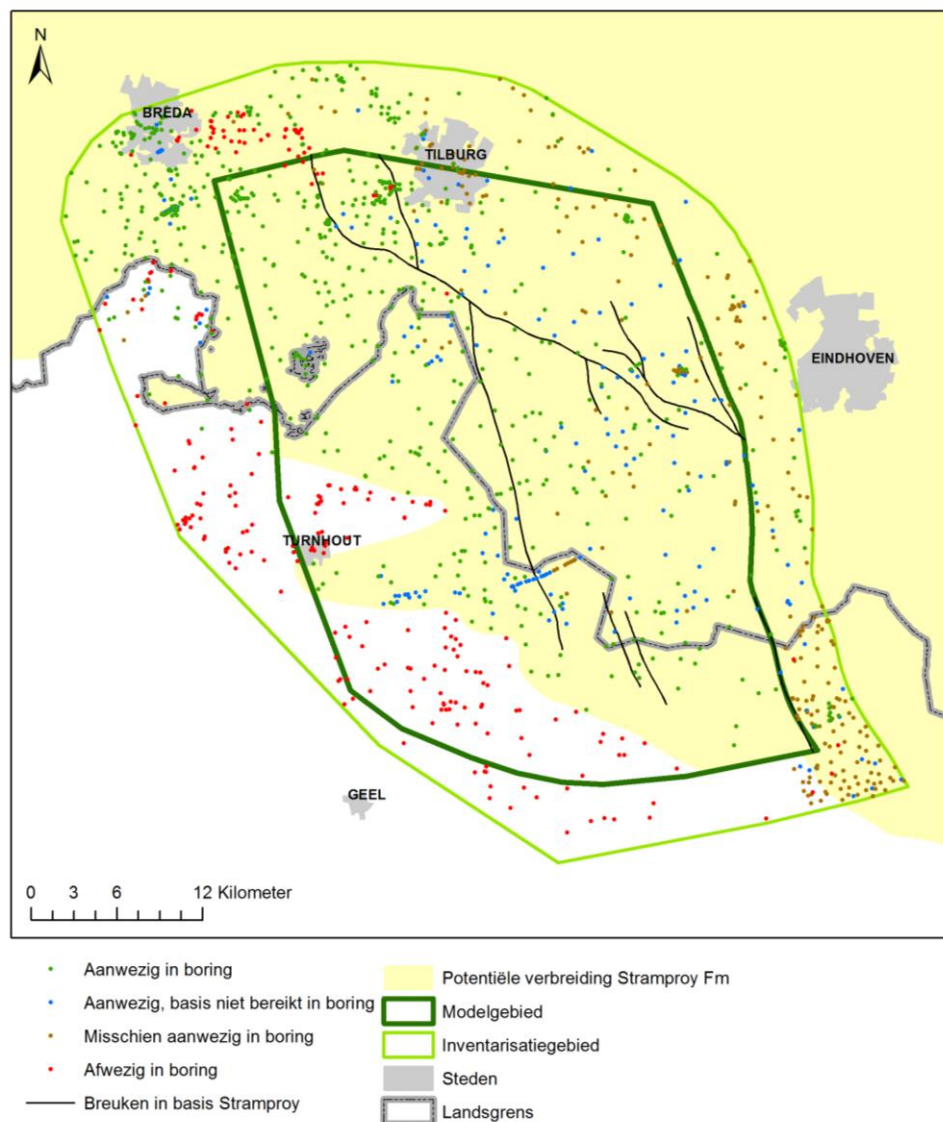
Van de ondiepe geologische (model)eenheden en kleiige hydrogeologische eenheden is de potentiële verbreiding binnen het inventarisatiegebied geïnterpreteerd. Deze potentiële verbreidingen vormen de maximale verbreiding die de eenheid op grond van de beschikbare kennis en (boor)gegevens zou kunnen hebben. Daartoe zijn de geïnterpreteerde boringen per eenheid ingedeeld in de volgende categorieën:

- **aanwezig**: basis van de eenheid is geïnterpreteerd;
- **aanwezig, basis niet bereikt**: top van de eenheid is geïnterpreteerd maar de basis is niet bereikt (dus basis ligt dieper dan de einddiepte van de boring);
- **misschien aanwezig**: aan- of afwezigheid van de eenheid kan niet worden aangetoond (boring is niet diep genoeg en heeft de top van de eenheid niet bereikt);
- **afwezig**: eenheid is niet aangetroffen terwijl een stratigrafische onderliggende eenheid wel is bereikt.

Op grond van de ruimtelijke verdeling van de boringen waarin de eenheid met zekerheid aan- of afwezig is, is de potentiële verbreiding vastgesteld (Figuur 10). Deze verbreidingsgrenzen helpen enerzijds bij de controle van de consistentie van de interpretaties, anderzijds zijn de potentiële verbreidingsgrenzen nodig als input voor de verdere modellering. Het zijn dus geen (actuele) voorkomingsgrenzen, deze volgen uit de modellering.

In het kader van het geologische model DGM v2.2 en het hydrogeologische model REGIS II v2.2 zijn potentiële verbreidingen geïnterpreteerd van Nederland. Deze verbreidingen zijn gecontroleerd aan de hand van de nieuwe (her)interpretaties van de boringen en waar nodig bijgesteld of nader gedetailleerd. Voor het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn aan de hand van de verbreidingen in het Nederlandse deel en bestaande voorkomingsgrenzen uit het G3Dv2-model eveneens potentiële verbreidingen vervaardigd.

Bij de modellering van de eenheden uit het “diepe” bereik, die gebaseerd zijn op de combinatie van boor- en seismische interpretaties, wordt geen gebruik gemaakt van potentiële verbreidingsgrenzen. In tegenstelling tot het ondiepe bereik is de set boringen van het “diepe” bereik beperkt van omvang. Bovendien zijn de eenheden uit het diepe bereik veelal gevormd in een laag energetisch, marien milieu waardoor de eenheden over grote afstanden te vervolgen zijn en de correlatie tussen de datapunten (interpretaties van boringen en seismiek) hoog is. Daardoor kan eenvoudiger bepaald worden of een eenheid al dan niet aanwezig is en is er geen directe noodzaak om voorafgaand aan de modellering potentiële verbreidingen te interpreteren.



Figuur 10. Ligging van de geïnterpreteerde boringen voor de Formatie van Stramproy, ingedeeld in de categorieën “aanwezig”, “aanwezig, basis niet bereikt”, “misschien aanwezig” en “afwezig”, en de daaruit afgeleide potentiële verbreiding van de Formatie van Stramproy.

2.4.2 (Her)interpretaties seismische gegevens

De interpretaties van de eenheden in de diepe boringen zijn via de seismische lijnen verder geëxtrapoleerd door het inventarisatiegebied. Om interpretaties van de boringen over te kunnen zetten naar de seismische lijnen die deze boringen snijden, zijn boringen met snelheidsdata gebruikt, ook wel kapstokboringen genoemd. Figuur 11 toont de ligging van de seismische lijnen en de gebruikte kapstokboringen. De omzetting van diepte in de kapstokboringen naar tijd op de seismische data, *seismic well tie* genoemd, is in de volgende paragraaf toegelicht. Naast de kapstokboringen zijn ook andere diepe boringen zonder snelheidsdata als hulpmiddel of sturing bij de seismische interpretaties gebruikt via vereenvoudigde snelheidsaannames. Na de *seismic well tie* konden de seismostratigrafisch te interpreteren eenheden, ook wel *horizons* genoemd, verder geïnterpreteerd worden op de seismische lijnen. Niet alle eenheden die geïnterpreteerd zijn in de diepe boringen lenen zich ertoe om seismisch te worden geïnterpreteerd als *horizons*. Er

is daarom een selectie gemaakt van te interpreteren *horizons*. Tegelijk met de *horizons* zijn ook breuklijnen op de seismische lijnen geïnterpreteerd. De interpretaties zijn uitgevoerd met behulp van de softwarepakketten Petrel (TNO) en GOCAD (VITO).

2.4.2.1 Seismostratigrafie

Om de lithostratigrafische (her)interpretatie van de diepe boringen voor de seismische interpretatie te kunnen gebruiken, dient de verticale diepteschaal van de boorbeschrijvingen (in diepte) omgezet te worden naar een verticale tijdschaal van de seismische lijnen (in tijd). Dit stelt de interpretator dan in staat de diepteligging van stratigrafische niveaus op de snijdende seismische lijnen te visualiseren. Om de diepteschaal om te zetten naar tijdsschaal worden snelheidsdata uit de kapstokboringen (*sonic logs* en/of *checkshots*) gebruikt. Anderzijds kunnen voor de kapstokboringen de snelheidsdata en (waar beschikbaar) dichtheidsdata ook gebruikt worden om synthetische seismogrammen te creëren. Deze synthetische seismogrammen simuleren de te verwachten seismische response en dienen ter herkenning van lithostratigrafische niveaus en ondersteunen dus de seismische interpretatie. Het vervaardigen van synthetische seismogrammen is afhankelijk van de software die gebruikt wordt. Twee voorbeelden van het gebruik van synthetische seismogrammen, één samengesteld met Petrel voor de Nederlandse boring Hilvarenbeek-01 en één samengesteld met WinPICS voor de Vlaamse boring Merksplas zijn respectievelijk weergegeven in Figuur 12 en Figuur 13.

Voor de interpretatie van de diepe eenheden in het Nederlandse deel zijn de volgende twee kapstokboringen gebruikt (met vermelding van de bijbehorende NLOG- en DINO-codes):

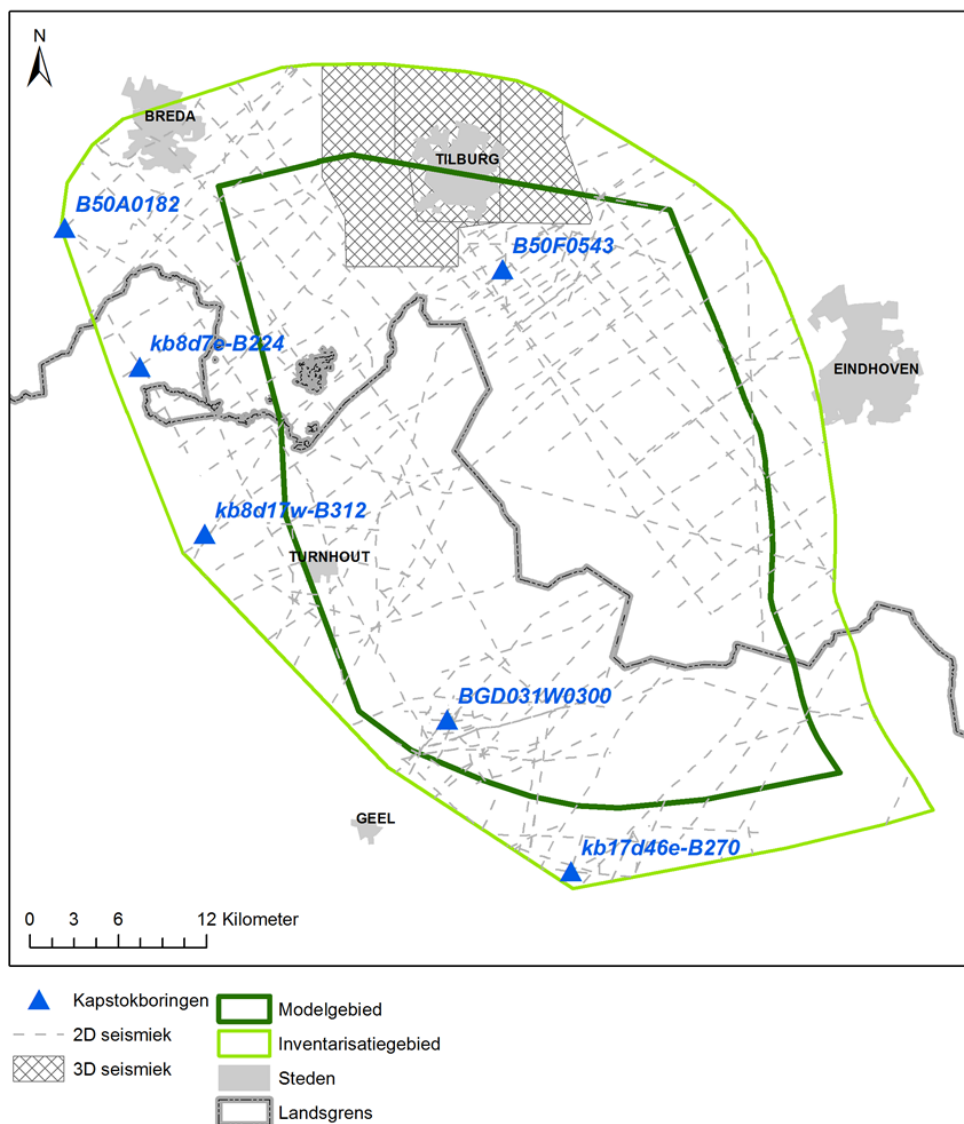
- Hilvarenbeek-01 (HVB-01, B50F0543)
- Rijsbergen-01 (RSB-01, B50A0182).

Voor de interpretatie van de diepe eenheden in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied, zijn de volgende kapstokboringen gebruikt (met vermelding van de bijbehorende BGD- en DOV-codes):

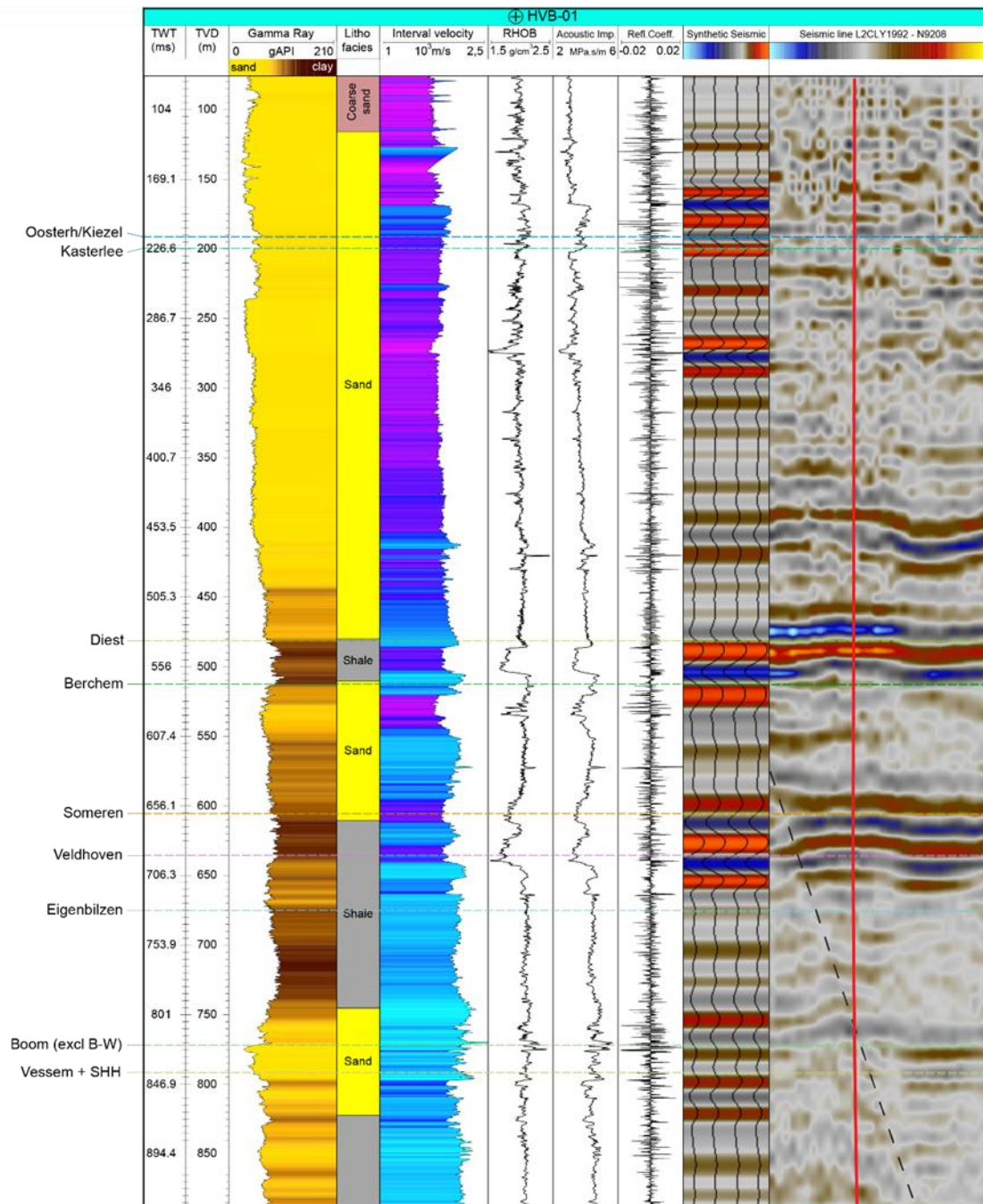
- Meer (007E0205; kb8d7e-B224)
- Merksplas (017W0265; kb8d17w-B312)
- Dessel (031W0300; BGD031W0300)
- Olmen (046E0279; kb17d46e-B270)
- Helchteren (062E0272; kb25d62e-B276).

De locaties van bovenstaande boringen zijn in Figuur 11 aangegeven.

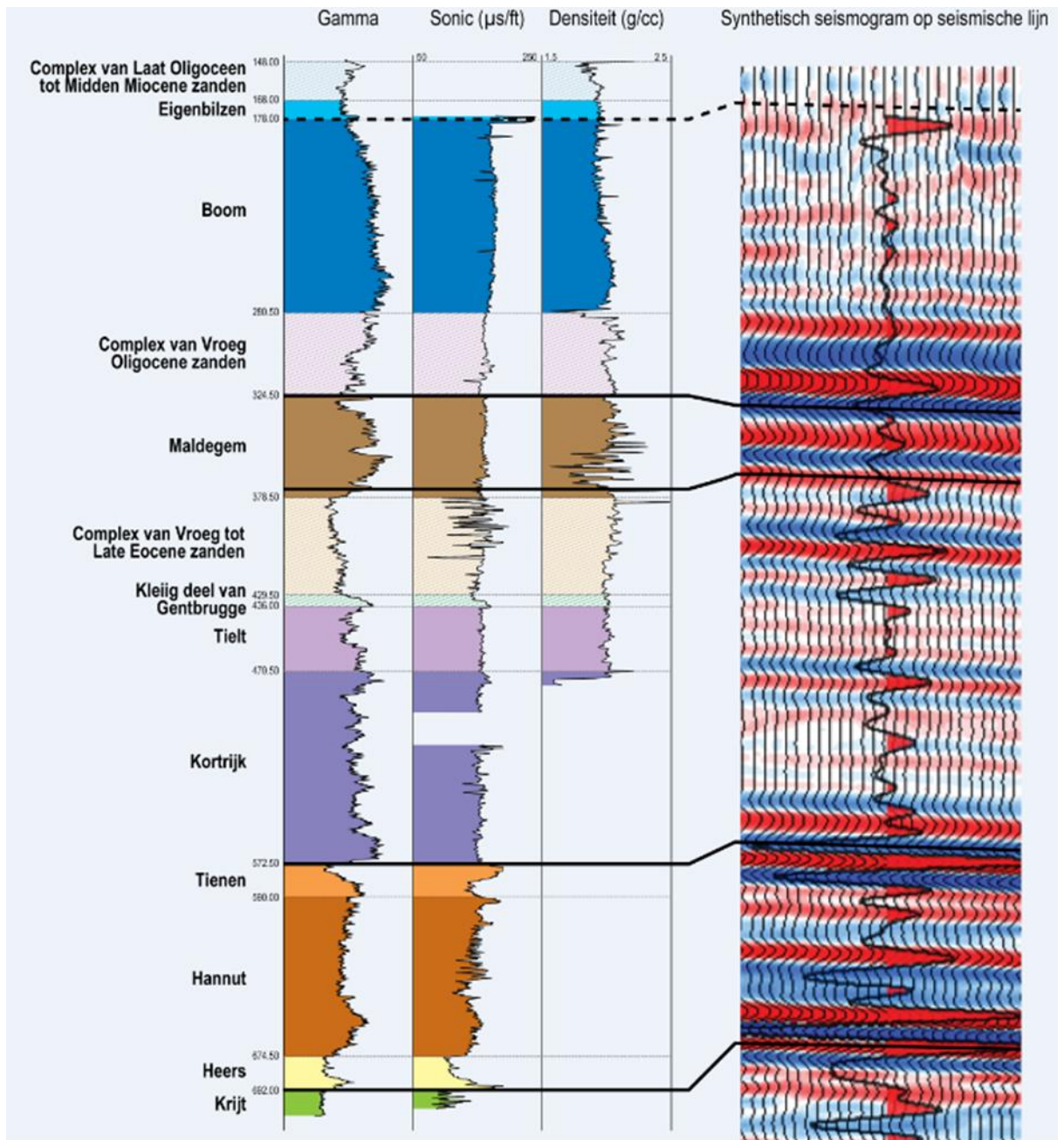
Voor de Nederlandse boringen zonder snelheidsdata zijn de dieptewaarden van de geïnterpreteerde *horizons* naar tijd omgerekend met het VELMOD-3 model (Pluymaekers et al., 2017) om als richtlijn te dienen bij de interpretatie. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de snelheidparameters voor het gehele Cenozoïsche pakket binnen het inventarisatiegebied gelijk gehouden zijn en de berekende tijdwaarden als indicatie hebben gediend. Voor de Vlaamse boringen zonder snelheidsdata zijn de dieptewaarden van de geïnterpreteerde *horizons* naar tijd omgerekend met geïnterpoleerde snelheidswaarden uit de *sonic logs*.



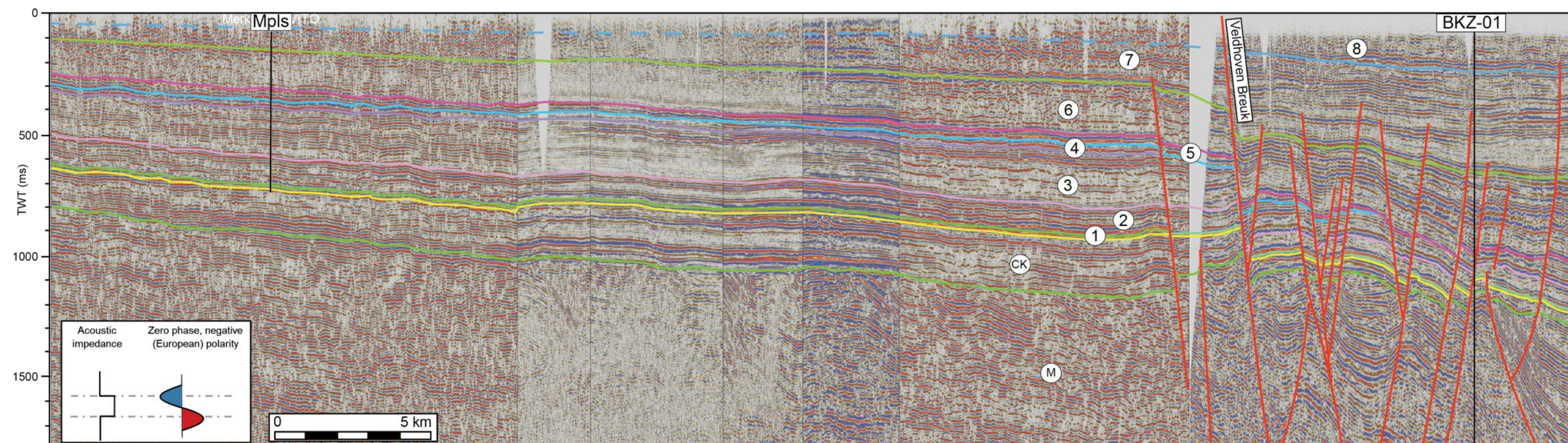
Figuur 11. Ligging van de seismische lijnen en de bij de seismische interpretatie gebruikte kapstokboringen.



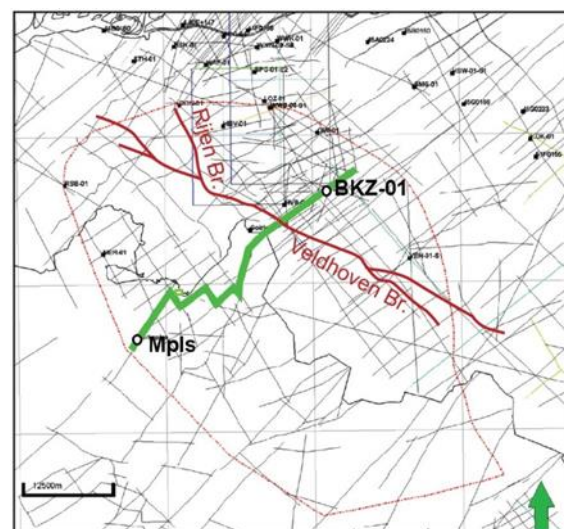
Figuur 12. Synthetisch seismogram van kapstokboring Hilvarenbeek-01 (NLOG-nr. HVB-01, DINO-nr. B50F0543). De akoestische impedantie is het product van de sonic velocity en density (RHO) well logs en wordt berekend met Petrel©. De reflectiecoëfficiënt (de sterkte van het impedantiecontrast) wordt vertaald naar een synthetisch seismisch signaal door gebruik te maken van seismische golven die overeenkomstig zijn met de oorspronkelijke seismische data. Deze oorspronkelijke seismiek (lijn L2CLY1992-N9208) is in de uiterst rechtste kolom weergegeven met in rood het traject van de boring; de zwart gestippelde lijn geeft de positie van een breuk weer die ook in de boring is aangetroffen. De seismische conventie is zero phase, negative polarity. De stratigrafische horizons komen overeen met de H3O geologische modelleenheden.



Figuur 13. Seismische interpretatie van kapstokboring Merksplas (DOV-proefnr. kb8d17w-B312; BGD-nr. 017W0265). De interpretatie is grotendeels gebaseerd op een synthetisch seismogram (rechts in de figuur) dat is gemaakt met WinPICS op basis van de akoestische log van deze boring (sonic, centraal in de figuur). Het synthetische seismogram is weergegeven in two-way-time (TWT) met op de achtergrond een seismische lijn die over boring Merksplas loopt. Links is de gamma log weergegeven die gebruikt is om de lithostratigrafische eenheden te interpreteren. De geïnterpreteerde eenheden zijn geheel links weergegeven.



Figuur 14. Geïnterpreteerde seismische composietlijn door het inventarisatiegebied, grofweg tussen de kapstokboringen Merksplas (Mpls; BE) en Broekzijde-01 (BKZ-01, NL). De locatie van deze seismische lijnen is rechtsonder weergegeven (in groen). De onderscheiden horizons zijn aangegeven met nummers: 1: Formatie van Heers, 2: Formatie van Hannut, 3: Formatie van Kortrijk tot basis Formatie van Maldegem, 4: Formatie van Maldegem, 5: Combinatie van vroeg-oligocene zanden, 6: formaties van Boom, Eigenbilzen en de Combinatie van laat-oligocene tot midden-miocene zanden, 7: Formatie van Diest en 8: Formatie van Oosterhout en jongere eenheden (alwaar gestippeld is deze horizon niet geïnterpreteerd). CK = Chalk (Krijt) Groep; M = oudere mesozoïsche eenheden.



De mogelijkheid tot interpretatie van *horizons* is afhankelijk van de (vaak beperkte) verticale resolutie van de seismische data, de (vaak grote) verschillen in resolutie tussen de seismische campagnes en de aanwezigheid van sterke impedantiecontrasten. Hierdoor konden niet alle grensvlakken tussen de modeleenheden ook werkelijk seismisch geïnterpreteerd worden. Daarom is de keuze gemaakt om slechts die *horizons* seismisch te interpreteren die:

- de onder- en bovenkant van het verticale bereik afbakenen;
- belangrijke discordanties vormen;
- sterke impedantiecontrasten voorstellen;
- een groot belang hebben voor de sturing van de verdere modellering.

Op deze manier is de basis van zeven formaties seismisch geïnterpreteerd (Tabel 8). De interpretaties van deze *horizons* zijn vanuit de diepe boringen - na omzetting op de snijdende seismische lijnen via *seismic well ties* - verder geïnterpreteerd op de overige seismische lijnen met behulp van de softwarepakketten Petrel (TNO) en GOCAD (VITO). Het seismische karakter van de geïnterpreteerde *horizons* wordt hieronder van oud naar jong opgesomd:

1. **Basis Formatie Heers:** deze horizon vormt de basis van het model. Deze basis stelt een positief impedantiecontrast voor als overgang van zand naar kalksteen van de onderliggende Formatie van Houthem. Doordat het zand onderaan de Formatie van Heers slechts enkele meters dik is in het westen van het inventarisatiegebied, wordt de reflector van de basis van de Formatie van Heers daar minder uitgesproken en moeilijker te interpreteren en valt deze soms samen met de basisreflector van de bovenliggende Formatie van Hannut.
2. **Basis van de Formatie van Kortrijk:** deze horizon wordt gekenmerkt door een sterk impedantiecontrast tussen de klei onderin de Formatie van Kortrijk en het zand in de top van de onderliggende formaties van Tienen of Hannut. Lokaal zijn er duidelijk insnijdingen te zien onder de basis van de Formatie van Kortrijk, welke overeenkomen met geulen die tijdens of voor de afzettingen van de Formatie van Tienen gevormd zijn. In het uiterste oosten van het projectgebied wordt deze formatie afgesneden door de Combinatie van vroeg-oligocene zanden en de basis van de Formatie van Boom. Deze horizon is goed vervolgbaar. Het pakket tussen de basissen van de formaties van Heers en Kortrijk is in het algemeen transparant, behalve de onder- en bovenkant waar de impedantiecontrasten groter zijn door de aanwezigheid van respectievelijk de formaties van Heers en Tienen.
3. **Basis van de Formatie van Maldegem:** deze *horizon* is herkenbaar door een sterk impedantiecontrast tussen de klei onderin de Formatie van Maldegem (Lid van Asse) en de onderliggende zand(sten)en van het Lid van Asse en het Brussel-Lede complex. De Formatie van Maldegem is enkel aanwezig in het westen van het modelgebied en langs de westelijke randbreuken van de Roerdalslenk. Naar het oosten toe wordt deze formatie weggesneden door de Combinatie van vroeg-oligocene zanden. Het pakket tussen de basissen van de formaties van Kortrijk en Maldegem is transparant aan de onderkant (door de homogene lithologie van de Formatie van Kortrijk) en hoog reflectief in de top (door de aanwezigheid van de Combinatie van vroeg- tot laat-eocene zanden).
4. **Basis van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden:** deze *horizon* ligt hoekdiscordant op de onderliggende eenheden, waardoor deze in het

algemeen goed vervolgbaar is op de meeste seismische lijnen en dus met grote betrouwbaarheid geïnterpreteerd kan worden. Door dit discordante contact is de signatuur van de reflector van de basis van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden variabel, waardoor deze lokaal moeilijk te vervolgen is. In het centrum van het inventarisatiegebied snijdt de basis van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden de basis van de Formatie van Maldegem af en aan de oostelijke grens van het inventarisatiegebied ook de basis van de Formatie van Kortrijk. Het pakket tussen de basissen van de Formatie van Maldegem en de Combinatie van vroeg-oligocene zanden is matig reflectief. Ook het pakket van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden is matig reflectief. De top van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden valt samen met de basis van de Formatie van Boom. Deze is in het algemeen seismisch goed te herkennen omdat het de ondergrens vormt van het transparante pakket van de Formatie van Boom.

5. **Basis van de Formatie van Boom:** in het Nederlandse deel van het projectgebied is een extra seismische reflector geïnterpreteerd (en uitgekarteerd) om de onderlinge relatie met de Combinatie van vroeg-oligocene zanden in de Roerdalslenk duidelijk te krijgen. De reflector is een combinatievlak dat in het westen op het Kempisch blok de basis van de Boom klei (exclusief het Laagpakket van Vessem cf. NL-stratigrafie) betreft en in de Roerdalslenk, in noordoostelijke richting, een hoekdiscordantie vormt aan de basis van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden (hier het Laagpakket van Vessem).
6. **Basis van de Formatie van Diest:** dit grenscontact wordt gekenmerkt door een sterk impedantiecontrast dat duidelijk vervolgbaar is. Op sommige seismische lijnen in het westen van het inventarisatiegebied, ligt deze horizon relatief ondiep en is soms niet goed meer te interpreteren.. Intern wordt de Formatie van Diest gekenmerkt door de aanwezigheid van clinoforms (sinusoidale gelaagdheid) die het prograderende karakter van deze formatie reflecteren. De *toe-sets* van deze clinoforms convergeren tot een *horizon* die op geometrische gronden de basis van de Formatie van Diest bepaalt. Om te voorkomen dat deze *horizon* te hoog in de subhorizontale *toe-sets* wordt geïnterpreteerd, zijn lange seismische lijnen gebruikt om het echte *downlap surface* te vinden. Tussen de basis van de Formatie van Diest en de Combinatie van vroeg-oligocene zanden verdikt de Combinatie van laat-oligocene tot midden-miocene zanden sterk in de richting van de Roerdalslenk. Het pakket tussen de basissen van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden en de Formatie van Diest is onderaan transparant (door de homogene lithologie van de Formatie van Boom) en bovenaan algemeen sterker reflectief (door de Combinatie van laat-oligocene tot midden-miocene zanden).
7. **Basis Formatie van Oosterhout en Kiezeloöliet Formatie:** de Formatie van Oosterhout en de Kiezeloöliet Formatie komen vertand voor en zijn bij de seismische interpretatie samengenomen. De Kiezeloöliet Formatie komt in het zuidoostelijk deel van het modelgebied voor, waar de Formatie van Oosterhout afwezig is. Gemakshalve wordt in deze tekst verder over de basis van de Formatie van Oosterhout gesproken. Het betreft het meest ondiepe niveau dat seismisch kan worden geïnterpreteerd, met dien verstande dat het zichtbaar is in de oostelijke, meest verzakte tektonische blokken. In het Vlaamse deel en de westelijke helft van het Nederlandse inventarisatiegebied, ten westen van de Veldhovenbreuk en de Gilze

Rijenstoring, ligt de basis te ondiep en daarmee buiten het seismisch bereik. De basis van de Formatie van Oosterhout wordt seismisch bepaald door de overgang van de zanden in de basis ervan naar de hieronder gelegen, doorgaans kleiige Formatie van Kasterlee, sensu Kasterlee Klei. Deze overgang gaat gepaard met een toename in dichtheid en veroorzaakt een positief impedantiecontrast. Dit niveau is bij de seismische interpretatie in principe aangehouden. Echter, de reflectie is op seismische profielen vaak matig tot slecht zichtbaar door de ondiepe ligging. Bovendien verschilt het karakter van de reflectieconfiguratie - in dit ondiepe bereik - van lijn tot lijn. Deze verschillen zijn veelal het gevolg van verschillen in data-acquisitie, processing en terreinomstandigheden. De effecten daarvan kunnen in het ondiepste bereik van seismische profielen dominant en/of verstorend werken.

Op de meest duidelijke en meest continue seismische lijnen is de basis van de Formatie van Oosterhout op basis van de genoemde reflectie - met behulp van boorinterpretaties - vastgesteld. Op de overige seismische lijnen is de reflectie meestal niet duidelijk te herkennen. Daarom is in veel gevallen een seismische faciesbegrenzing aangehouden. De lithostratigrafische interpretaties van de basis van de Formatie van Oosterhout in boringen zijn hierin andermaal leidend. Doorslaggevend zijn de boorinterpretaties, ook daar waar de lithostratigrafische, biostratigrafische en seismostratigrafische grenzen niet eenduidig zijn.

Tabel 8. Overzicht van geologische en hydrogeologische modeleenheden (conform de correlatietabel) en de correlatie met seismisch gekarteerde eenheden via de 7 seismische horizons (rode of blauwe lijnen rechts).

H3O geologisch model	H3O hydrogeologisch model	Seismische expressie
Oosterhout	OOz1	Overgang zanden in basis Oosterhout naar Kasterlee Klei. Deze overgang gaat gepaard met een toename in dichtheid en veroorzaakt een positief impedantie contrast
	OOK1	
	OOz2	
	OOc	
/	/	
Kasterlee	0242	Sterk negatief impedantiecontrast
Diest	0252	
Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Miocene zanden*	0253 + 0254-1	Top = Sterk reflectief
Klei van Veldhoven	0255	
Combinatie van L.Oligoceen tot M. Miocene zanden*	0254-2	
Eigenbilzen	0256	
Boom	0300	Basis = overgang Boom klei naar onderliggende hoge-dichtheid zanden. Tevens de basis van seismisch transparant pakket
Combinatie van Vroeg Oligocene zanden*	0430 + 0450	Variabel impedantiecontrast a.g.v. discordantie. Negatief impedantiecontrast bij overgang naar onderliggende Maldegem
Maldegem	500	Positief impedantiecontrast tussen klei in basis Maldegem en zanden in top Vroeg-Laat Eocene zanden
Combinatie van Vroeg tot Late Eocene zanden*	0611 +0612 + 0620 + 0640	Basis transparant naar boven sterker reflectief
Kleilig deel van Gentbrugge*	0701 + 0702	
Tielt	0800 + 0910	
Kortrijk	920	Positief impedantiecontrast tussen kleiige Kortrijk en zandige Tienen. Waarschijnlijk interferentie met zandige top Hannut daar waar Tienen dun is
Tienen	1012	Negatief impedantiecontrast bij overgang kalkige zanden/kleien van Hannut naar Heers zanden
Hannut	1013 + 1014 + 1021 + 1022	
Heers (inclusief Maaseik)*	1023 + 1032	

Afwijkend van het project “H3O - Roerdalslenk” zijn de volgende *horizons* niet in het kader van het project “H3O - De Kempen” geïnterpreteerd:

- De Formatie van Opglabbeek is niet seismisch geïnterpreteerd omdat deze formatie niet in het inventarisatiegebied voorkomt.
- De basis van de Formatie van Hannut is niet geïnterpreteerd omdat deze vanwege de beperkte dikte van de onderliggende Formatie van Heers, bijna samenvalt met de basisreflector van deze laatste formatie.
- De basis en de leden van de Formatie van Voort/Veldhoven zijn niet geïnterpreteerd omdat deze in de regio van de Kempen moeilijker te onderscheiden zijn (van de bovenliggende Formatie van Berchem).
- De basis van de Formatie van Berchem (equivalent aan de Formatie van Bolderberg uit het project “H3O – Roerdalslenk”) is niet geïnterpreteerd omdat deze formatie moeilijk te onderscheiden is van de onderliggende Formatie van Voort.

De volgende *horizons* zijn afwijkend van het project “H3O – Roerdalslenk” wel geïnterpreteerd:

- De formaties van Kortrijk en Maldegem: deze formaties zijn afwezig in het inventarisatiegebied van het project “H3O – Roerdalslenk”.
- De basis van de Formatie van Diest: deze basis is in de beschikbare gegevens van het inventarisatiegebied van “H3O – Roerdalslenk” lastig te interpreteren. In project “H3O - De Kempen” is deze basis beter te herkennen en daarom wel geïnterpreteerd.

Voor de aansluiting van de interpretaties van de Nederlandse lijnen op Vlaamse lijnen zijn in het oosten helaas geen kruisende lijnen beschikbaar. Controle van de interpretaties is daar gebaseerd op extrapolatie van de seismische interpretatie over de grens. In het westen (regio Baarle-Hertog en -Nassau) is er wel een grensoverschrijdende seismische campagne aanwezig die seismische interpretaties over de grens heen toelaat.

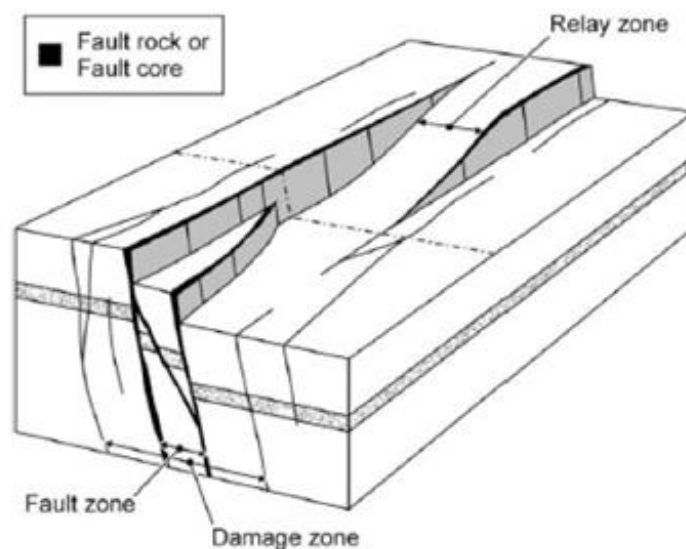
2.4.2.2 Interpretatie breuken

Eén van de doelstellingen van het project is om breuken als 3D-objecten te modelleren. Het modelgebied bevat echter alleen in het uiterste noordwesten 3D seismische data, terwijl het overgrote deel 2D seismische data bevat van diverse ouderdom, kwaliteit en sterk wisselende spatiëring. De interpretatie van breukvlakken in het uiterste noordwesten is daarom eenduidiger, zodat hierin reeds bestaande breukinterpretaties geverifieerd en waar nodig verbeterd en toegevoegd konden worden. De interpretatie van breukvlakken in het overige deel van het modelgebied (op basis van 2D seismische data) omvat een grotere mate van onzekerheid. Voor een deel van de 2D seismische lijnen zijn ook reeds eerder geïnterpreteerde breukinterpretaties aanwezig (m.n. uit “H3O – Roerdalslenk”) welke behouden bleven. Verder zijn ook nieuwe interpretaties uitgevoerd. Deze nieuwe breukinterpretaties zijn uitgevoerd met de seismische softwarepakketten Petrel en GOCAD op digitale en gevectoriseerde analoge seismische (2D) lijnen. Op de 2D seismische lijnen is de geïnterpreteerde breuk een 2D-lijn object in de 3D-ruimte, een zgn. breukstick, die slechts bestaat op de locatie van de seismische lijnen. Tussen de beschikbare 2D-lijnen worden de sticks (vooralsnog) niet verbonden. De combinatie van breuksticks tot breukvlakken volgt later, namelijk tijdens de breukenmodellering (zie Paragraaf 2.5), en vergt extrapolatie buiten de seismische data. Op deze manier blijft de scheiding tussen verifieerbare 2D-breukinterpretaties en gemodelleerde 3D-breukvlakken duidelijk.

In de meeste gevallen zijn breuksticks tamelijk eenduidig te lokaliseren en interpreteren op basis van het verzet van seismische reflectoren. Er wordt a priori geen criterium voor minimum verzet gehanteerd, maar de seismische resolutie dicteert dat verzetten kleiner dan 10-20 m niet altijd als onderbroken reflectoren te herkennen zijn. Flexuren (gebogen maar ononderbroken reflectoren) waarneembaar in het reflectiepatroon kunnen dus een weergave van gering breukverzet zijn. Flexuren komen ook voor daar waar geen breukvlak meer aanwezig is, maar waar de sedimenten zijn verbogen ten gevolge van beweging langs een dieper gelegen breuk. In beide gevallen duidt een flexuur op de nabijheid van een breuk en de flexuur wordt daarom als onderdeel van een breuk beschouwd.

Omdat breuken driedimensionale en "eindige" objecten zijn, is het breukverzet langs een breuk variabel (Figuur 15). In de meest ideale situatie beschrijft de breuk een ellipsvormig vlak met maximaal verzet in het centrum dat vermindert naar beide uitersten waar het verzet nul is. Daarom zijn bij de seismische interpretaties ook breuksticks met beperkt verzet of met een verzet over een beperkt stratigrafisch interval opgenomen. Deze breuksticks kunnen namelijk een belangrijke aanvulling zijn bij de modellering van het volledige driedimensionale breukvlak, bijvoorbeeld om de uiteindes van het breukvlak vast te leggen (tippunten en tiplijnen).

Op sommige seismische lijnen zijn breuken als brede, soms chaotische zones waarneembaar, waardoor de exacte locatie van het breukvlak moeilijk te bepalen is. Indien er in of boven deze breukzone boor- of oppervlaktegegevens aanwezig zijn die wijzen op een meer specifieke locatie van de breukwerking, dan zijn deze meegenomen om de breuk nauwkeuriger in de seismiek te bepalen.



Figuur 15. 3D-voorstelling van breuken en breukterminaties in een extensiebekken zoals de Roerdalslenk (bron: Childs et al., 2009).

Sommige breukzones zijn zo breed, dat de aanwezigheid van meerdere breukvlakken aannemelijk is. Soms is het aantal breukvlakken binnen deze zones groot en hun individuele verticale verzet zeer klein, wat de interpretatie van individuele breuken en de latere breukmodellering moeilijk maakt. Daarom zijn deze

complexe breukzones vaak geïnterpreteerd als één of twee breuken die het cumulatieve verzet over de breukzone opnemen. Dit is een vereenvoudiging van de realiteit die echter noodzakelijk is om met de huidige technieken breukzones te kunnen modelleren. Ten gevolge hiervan kan de onzekerheid over de horizontale positie van een geïnterpreteerd breukvlak oplopen tot 100 à 250 m (vooral in flexuren). Ook dragen de kwaliteit en datadichtheid van de seismische lijnen bij aan de onzekerheid van de gemodelleerde breukpositie; deze laatste kan lokaal oplopen tot enkele kilometers.

2.4.3 *Karteerbaarheid diepe (hydro)geologische eenheden*

In het “diepe bereik” zijn bepaalde stratigrafische eenheden moeilijk of niet van elkaar te onderscheiden. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn omdat aangrenzende eenheden een gelijkaardige lithologie hebben. Daarom zijn bepaalde stratigrafische eenheden informeel samengevoegd tot grotere modeleenheden, “combinaties” genoemd, die wel eenvoudiger apart te interpreteren en modelleren zijn. geeft een overzicht van de geologische en hydrogeologische modeleenheden ten opzichte van de eerder bepaalde litho- en hydrostratigrafische indeling uit de correlatietabel (Tabel 7).

Er is sprake van de volgende samengevoegde eenheden:

- “Combinatie van vroeg- tot laat-eocene zanden”: combinatie van het Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge, de formaties van Lede en Brussel en het Lid van Wemmel van de Formatie van Maldegem;
- “Combinatie van vroeg-oligocene zanden”: combinatie van de formaties van Zelzate/Sint-Huibrechts-Hern en Bilzen;
- “Combinatie van laat-oligocene tot midden-miocene zanden”: combinatie van de formaties van Voort en Berchem. Binnen dit pakket wordt lokaal nog wel de hydrogeologische eenheid “Klei van Veldhoven” onderscheiden.

Opgemerkt dient te worden dat de modeleenheid “Formatie van Maldegem” dus exclusief het Lid van Wemmel is, dat bij de onderliggende eenheid “Combinatie van vroeg- tot laat-eocene zanden” is opgenomen. Daarnaast omvat de modeleenheid “Kleilig deel van Gentbrugge” niet het Lid van Vlierzele dat eveneens deel uitmaakt van de modeleenheid “Combinatie van vroeg- tot laat-eocene zanden”.

De formaties van Heers en Hannut zijn om budgettaire redenen binnen het hydrogeologische model niet verder onderverdeeld. Het doorlatende Zand van Orp (HCOV 1032) en het Zand van Grandglise (HCOV 1013) zijn daarom samengenomen met de bovenliggende respectievelijk onderliggende slecht doorlatende eenheden.

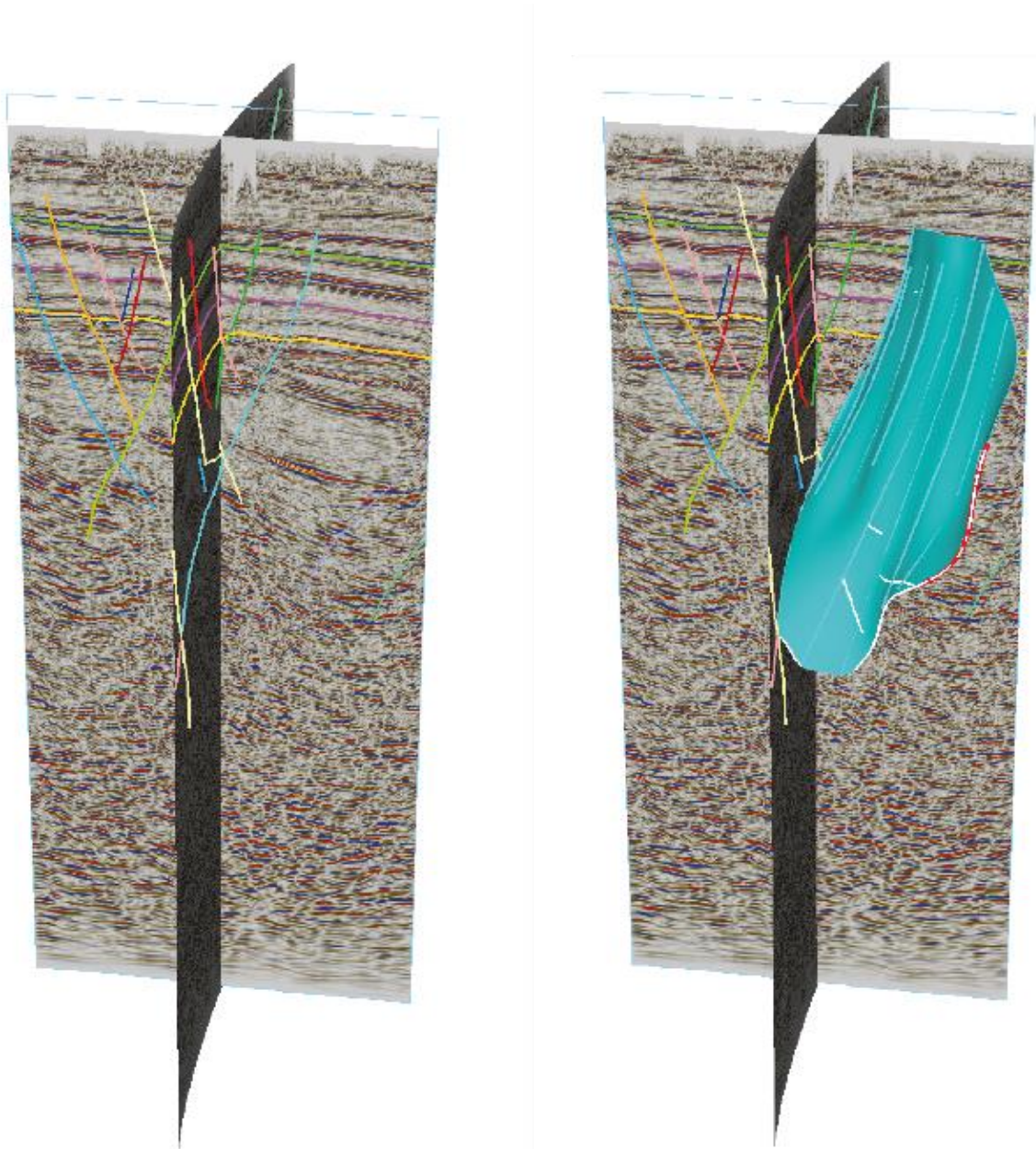
Tabel 9. Overzicht van de modeleenheden van het geologische en hydrogeologische model (rechter kolommen) ten opzichte van de gebruikte hydro- en lithostratigrafische indelingen.

H3O – De Kempen lithostratigrafie	H3O – De Kempen hydrogeologie	Modeleenheden geologisch model	Modeleenheden hydrogeologisch model
Antropogeen - opgebrachte grond	HLc	HL-c	HLc
Boxtel - Singraven	BXz2	Boxtel	BXz2
Boxtel - Kootwijk			
Boxtel - Wierden / Boxtel - Delwijnen			
Boxtel - Liempde			
Boxtel - Best			
Boxtel - ongedifferentieerd	STz1	Sterksel	STz1
Sterksel - ongedifferentieerd	STk1		STk1
	STz2		STz2
	SYz1	Stramproy	SYz1
	SYk1		SYk1
Stramproy - ongedifferentieerd	SYz2		SYz2
	SYk2		SYk2
	SYz3		SYz3
Waalre - ongedifferentieerd	PZWAz1	Waalre	PZWAz1
	Wak1		Wak1
	PZWAz2		PZWAz2
	Wak2		Wak2
	PZWAz3		PZWAz3
	Wak3		Wak3
Maassluis	PZWAz4	Maassluis	PZWAz4
	MSz1		MSz1
	MSk1		MSk1
	MSz2		MSz2
	MSk2		MSk2
Kiezeloöliet - onbenoemd	MSz3	Kiezeloöliet	MSz3
	Klz1		Klz1
	Klk1		Klk1
	Klz2		Klz2
Kiezeloöliet - Brunssum	Klk2	Oosterhout	Klk2
Kiezeloöliet - Waubach	Klz3		Klz3
Oosterhout	OOz1		OOz1
	OOK1		OOK1
	OOz2		OOz2
Oosterhout	OOc		OOc
Kasterlee (klei)	0242	Kasterlee (klei)	0242
Diest	0252	Diest	0252
Vrijherenberg	0254	Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Miocene zanden*	0253 + 0254-1
Bolderberg - Gerik	0253		
Bolderberg - Houthalen	0253	Klei van Veldhoven	0255
Voort - Someren	0254	Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Miocene zanden*	0254-2
Voort - Veldhoven	0255		
Voort - Voort	0254	Eigenbilzen	0256
Eigenbilzen	0256	Boom	0300
Boom - Boeretang	0301		
Boom - Putte	0302	Combinatie van Vroeg Oligocene zanden*	0430 + 0450
Boom - Terhagen	0303		
Boom - Belsele-Waas	0304		
Bilzen - Berg	0431		
Sint-Hubrechts-Hern - Neerrepn	0451	Maldegem (exclusief Wemmel)	0500
Sint-Hubrechts-Hern - Grimmertingen	0452	Combinatie van Vroeg tot Laat Eocene zanden*	0611+ 0612 + 0620 + 0640
Zelzate - Ruisbroek	0435		
Zelzate - Bassevelde	0453	Kleilig deel van Gentbrugge*	0701 + 0702
Maldegem - ongedifferentieerd	0500	Tielt	0800 + 0910
Maldegem - Wemmel	0611	Kortrijk	0920
Lede	0612		
Brussel	0620	Tienen	1012
Gentbrugge-Vlierzele	0640	Hannut	1013 + 1014 + 1021 + 1022
Gentbrugge-Pittem	0701		
Gentbrugge - Merelbeke	0702		
Tielt - Egem	0800		
Tielt - Egemkapel	0910	Heers (inclusief Maaseik)*	1023 + 1032
Tielt - Kortemark	0921		
Kortrijk - Aalbeke	0922	Heers - Gelinden	
Kortrijk - Roubais	0923		
Kortrijk - Mons-en-Pévèle	0924		
Kortrijk - Orchies	0925		
Kortrijk - Mont-Hérinbu	1012	Heers - Orp	
Tienen - ongedifferentieerd	1013		
Hannut - Grandglise	1014		
Hannut - Lincen	1021		
Hannut - Halen	1022		
Hannut - Waterschei (Hannut - Maaseik)	1023		
Heers - Gelinden	1032		
Heers - Orp			

* Informele eenheden (in functie van de modellering)

2.5 Modellerings breukvlakken

Aansluitend op de interpretatie van breuksticks in de seismische data (Paragraaf 2.4.2.2), is de modellering van breukvlakken uitgevoerd. De eerste stap om tot een breukvlakkenmodel te komen betreft het selecteren van breuksticks die bij een verondersteld breukvlak horen en die op de seismische lijnen zijn geïnterpreteerd. Deze geselecteerde breuksticks worden vervolgens samengevoegd tot breukvlakken. Om tot een realistisch 3D breukvlakkenmodel te komen wordt een iteratief proces gevolgd waarbij aanpassingen worden gemaakt in de samenvoeging van breuksticks. Hierbij worden het verloop van de strekking en de uiteinden van breukvlakken als ook het contact tussen de individuele breukvlakken bijgestuurd door het toevoegen van fictieve interpretaties van breuksticks. Figuur 16 illustreert deze stappen in het modelleerproces. Daarbij is op een aantal locaties gebruik gemaakt van breukinformatie aan het maaiveld, om de ligging van het breukvlak te sturen. Het gaat daarbij om de breukenpatronen van de ondiepe eenheden uit het DGM v2.2-model, het breukenpatroon uit de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000, Blad Eindhoven West (51 W) (Bisschops et al., 1985) en de locaties van ondiepe boringen waartussen een verzet is vastgesteld. Nadat de Nederlandse en Vlaamse breukvlakken gemodelleerd waren, zijn de grensoverschrijdende breukvlakken op elkaar aangesloten.



Figuur 16. 3D visualisaties van twee kruisende seismische lijnen. De linker visualisatie toont de interpretatie van breuksticks en drie geïnterpreteerde horizons (Basis Formatie van Diest = groen, basis Formatie van Boom = roze, Basis Formatie van Heers = geel) op deze twee kruisende lijnen. De rechter visualisatie toont aanvullend op de linker visualisatie enkele breuksticks die samengevoegd zijn tot één breukvlak (lichtblauwe vlak) en een fictieve stick (rood) die toegevoegd is om de aansnijding met een snijdende breuk te sturen.

2.6 Modellering geologische en hydrogeologische eenheden

2.6.1 Keuze modelleringsmethodes

Aansluitend op de modellering van de breukvlakken heeft de modellering van de diepte- en diktegrids van de geologische en hydrogeologische eenheden plaatsgevonden. Bij deze modellering zijn twee sterk verschillende werkwijzen gevolgd, die in deze rapportage “ondiepe” en “diepe methode” worden genoemd.

De gemodelleerde eenheden en de daarbij gebruikte methodes zijn weergegeven in Bijlage E.

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 bij de ondiepe methode steeds in het dieptedomein werkt, terwijl in de diepe methode eerst gemodelleerd wordt in het tijdsdomein, waarna deze tijdmodellen naar diepte omgezet worden. Ook de gemodelleerde breukvlakken zijn op dezelfde wijze van tijd- naar diepte-informatie geconverteerd.

Binnen het modelgebied zijn de ondiepe (quartaire en neogene eenheden tot en met de Formatie van Kasterlee) en diepe eenheden (neogene en paleogene eenheden vanaf de Formatie van Diest) respectievelijk via de ondiepe en diepe methode gemodelleerd. 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 methodes.

2.6.2 *Werkwijze ondiepe deelmodellen*

Bij het modelleringsproces volgens de ondiepe methode is eerst een geologisch model gemaakt dat nadien verder onderverdeeld is in hydrogeologische eenheden. Basisdata dienden als input in een automatische *workflow* die ervoor zorgt dat het model eenvoudig te vernieuwen, verbeteren en reproduceren is. De *workflows* voor de modellering zijn gebaseerd op die van de Nederlandse modellen DGM v2.2 en REGIS II v2.2.

2.6.2.1 *Basisdata*

Het model is opgesteld op basis van boorgegevens samen met breuken, potentiële voorkomensgebieden en aanvullende data zoals steunpunten en het maaiveldhoogtegrid. Steunpunten zijn fictieve boorpunten die bij de interpolatie met de boorpunten worden gecombineerd om het diepte- of dikteverloop te sturen zodat een logisch ruimtelijk verloop wordt verkregen. Steunpunten worden met name gebruikt in gebieden met een te geringe dichtheid aan boorpunten. De locatie van een steunpunt en de bijbehorende diepteligging of dikte van de eenheid worden veelal ingeschat op grond van gebiedskennis maar kunnen bijvoorbeeld ook gebaseerd zijn op interpretaties uit sonderingen. De basisdata bestaan uit:

- Boorgegevens: alle geïnterpreteerde boringen zijn gebruikt voor het maken van het geologisch model. Per modeleenheid is bekeken of de eenheid aan- of afwezig is in de boring. Een eenheid wordt als afwezig beschouwd wanneer deze niet is geïnterpreteerd in de boring, maar er wel een oudere (diepere) eenheid in dezelfde boring is geïnterpreteerd.
- Breuken: voor de breuken in het ondiepe model is gebruik gemaakt van het samengestelde 3D breukvlakkenmodel. Binnen de workflow van de ondiepe methode worden breuken in eerste instantie echter verticaal verondersteld. Om die reden zijn de breuken vanaf de top van de Formatie van Diest naar boven toe verticaal verondersteld. Breukentracés zijn gebruikt om het effect van breukbewegingen op de dikte en verbreidingen van geologische eenheden te achterhalen. De positie van de breuken in de verschillende kleiige en complexe hydrogeologische eenheden is vervolgens bepaald. Bij interpolatie zijn 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 uitgemiddeld, maar behouden in het model. Waar de breuken eindigen komen bij de interpolatie boringen aan weerszijden 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 is bepaald aan de hand van de boorgegevens, bestaande verbreidingskaarten en geologische kennis. De potentiële verbreiding dient als een geografische limiet waarbinnen het basisvlak van de eenheden gemaakt wordt. Geïsoleerde zones in de verbreiding worden geëvalueerd op basis van hun relevantie, wat soms leidt tot aanpassingen van origineel gedefinieerde grenzen. Langs de randen van verbreidingsgrenzen zijn zogenaamde wigpunten toegevoegd. Wigpunten zijn net als steunpunten fictieve boorpunten die bij de interpolatie met de boorpunten worden gecombineerd om het diepte- of dikteverloop nabij de randen van de verbreiding zodanig te sturen dat de eenheid op logische wijze uitwigt. Wigpunten worden dus alleen gebruikt daar waar een eenheid uit dient te wiggen. De locatie van de wigpunten is ingeschat op grond van gebiedskennis.
- **Maaiveld:** het maaiveld en de waterbodems van het oppervlaktewater vormen de bovenrand van het geologische en hydrogeologische ondiepe model (Paragraaf 2.2.3.3).

2.6.2.2 Voorbereiding op de interpolatie

Als voorbereiding op het interpoleren zijn de gebruikte boringen gecontroleerd op de aanwezigheid van geldige X- en Y-coördinaten, maaiveldhoogte en einddiepte. Ook is de interpretatie gecontroleerd op het gebruik van geldige litho- en hydrostratigrafische codes en tevens op een logische volgorde van de eenheden binnen de boring. Boringen die niet aan deze basisvoorwaarden voldeden zijn aangepast of verwijderd uit de selectieset.

De boorbeschrijvingen van de gebruikte boringen wisselen in kwaliteit. Ook binnen een boring kunnen bepaalde trajecten beter zijn beschreven dan andere. Binnen de ondiepe modellering kunnen slecht beschreven trajecten worden genegeerd in de interpolatie van de vlakken. Indien een traject in een boring is genegeerd of er gebruik is gemaakt van een ongeldige laagcode dan is deze boring aangemerkt als minder betrouwbaar. Deze boringen zijn vervolgens niet meer gebruikt om de afwezigheid van andere eenheden aan te tonen (zogenaamde “afwezig boringen”, zie Paragraaf 2.4.1).

Het negeren van bepaalde trajecten is ook gebruikt om het meervoudig voorkomen van dezelfde eenheid binnen dezelfde boring op te lossen. Dit kan het gevolg zijn van natuurlijke *interfingering* van geologische eenheden. In het modelgebied komt *interfingering* voor tussen:

- de Formatie van Oosterhout en de Kiezeloöliet Formatie;
- de formaties van Maassluis en Waalre;
- de formaties van Stramproy en Waalre.

Interfingering is echter in de huidige workflow niet te modelleren. In gebieden waar *interfingering* tussen twee geologische eenheden voorkomt, wordt daarom bepaald welke eenheid dient te prevaleren boven de andere zodat het model, in sterk

vereenvoudigde vorm, toch een zo goed mogelijk beeld geeft van werkelijkheid. De trajecten van de andere eenheid worden vervolgens genegeerd.

2.6.2.3 *Workflow van de geologische modellering*

De *workflow* van de modellering bestaat uit twee stappen: interpolatie van de basisvlakken van de eenheden (de top van elke eenheid is gelijk aan de basis van een of meerdere afdekkende eenheden), en de opeenstapeling van de eenheden tot een consistent 3D model:

Interpolatie: is uitgevoerd met het geostatistische softwarepakket Isatis. Een eenvoudige interpolatie levert vanwege het beperkte aantal datapunten geen geologisch plausibel vlak op. De interpolatieprocedure is daarom per eenheid afgestemd op de specifieke geologische karakteristieken van het betreffende basisvlak. Zo vraagt de interpolatie van een zwak ondulerende basis om een andere benadering dan een basis waarin diep ingesneden dalen voorkomen (Gunnink et al., 2013). Breuken zijn als barrières beschouwd. Door middel van een lineaire kriging is een grof trendvlak berekend op basis van de boringen. Het verschil tussen dit trendvlak en de boringen is bepaald, waarna deze residuen met een block-kriging zijn geïnterpoleerd. Dit vlak is 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 zijn 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: dit omvat het op een stratigrafisch consistente manier stapelen van de verschillende basisvlakken zodat een 3D raamwerk verkregen wordt. Omdat de basisvlakken apart gemodelleerd zijn, zorgt de stapeling 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 stapeling van laagvlakken is binnen de *workflow* geprogrammeerd en wordt eveneens uitgevoerd met 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 zijn afgeleid.

2.6.2.4 *Workflow van de hydrogeologische modellering*

De *workflow* van het hydrogeologische model bestaat uit de interpolatie van de vlakken van de kleiige en complexe eenheden, het consistent maken aan het geologisch model en het afleiden van de zandige eenheden:

Interpolatie: binnen het hydrogeologische model worden enkel de kleiige en complexe eenheden gemodelleerd. Een subtiel maar belangrijk verschil tussen de hydrogeologische en geologische modellering is dat er binnen de hydrogeologische modellering altijd twee parameters per modelleenheid worden berekend, namelijk top en dikte, top en basis of dikte en basis. Uit deze twee waarden kan dan de derde afgeleid worden. De gebruikte methode van interpoleren is verder gelijk aan die van het geologisch model.

Consistent maken aan het geologisch model: het geologisch model vormt het raamwerk voor het hydrogeologische 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 hydrogeologische eenheden. Pas nadat alle modelleenheden 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 zijn onderling én met de geologische eenheden vergeleken en consistent gemaakt.

Afleiden van zandige eenheden: uitgaande van het geologisch model, de geometrie van de gemodelleerde kleiige- en complexe eenheden en de eventueel bijhorende hypothetische grensvlakken is per eenheid van het geologisch model de geometrie van de zandige hydrogeologische eenheden afgeleid.

2.6.2.5 *Controle van het model*

De berekende ondiepe geologische en hydrogeologische modellen zijn gecontroleerd door middel van logische controles en een visuele beoordeling van de geologische plausibiliteit uitgevoerd in ArcGIS en het programma iMOD. De logische controles betreffen 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.

2.6.3 *Werkwijze diepe deelmodellen*

2.6.3.1 *Modellering in tijd*

Met de diepe methode is vanuit de interpretaties van de seismische lijnen en diepe boringen een model van de diepere eenheden samengesteld. Een belangrijk verschil met de ondiepe methode is dat de modellering daarbij deels met het softwarepakket GOCAD en deels met het softwarepakket Petrel (tijd-diepteconversie) is uitgevoerd. De eerste stap betrof het modelleren van de seismisch geïnterpreteerde referentievlakken. De vlakken die aldus zijn gemodelleerd, zijn aangegeven in Bijlage E ("diepe methode: "seismisch referentievlak" in de kolom "modelleermethode"). Deze stap verliep binnen het tijdsdomein, de conversie naar het dieptedomein is later in het modelleerproces uitgevoerd.

Geïnterpreteerde *horizons* langs verschillende seismische lijnen zijn binnen de workflow van GOCAD eerst geïnterpoleerd tot continue vlakken die zonder onderbreking over breuken doorlopen. In een volgende stap zijn de locaties van snijdingen met de breukvlakken bepaald. Na controle en waar nodig aanpassingen van deze snijdingen, is een breuksprong in de laagvlakken ingebracht, rekening houdende met de interpretaties op seismische lijnen. De breuksprongen dienden echter op veel locaties handmatig aangepast te worden via sturing van de snijding van het laagvlak met het breukvlak, of via steunpunten (in tijd) om tot een realistisch verloop te komen. Zonder deze aanpassingen kunnen de breuksprongen, in gebieden met weinig data, namelijk wijzigen van normaal tot invers of kon er een onrealistische sprong optreden van de dikte tussen laagpakketten over de breuk. De steunpunten zijn toegevoegd als seismische interpretaties met coördinaten en een tijddiepte-waarde. In gebieden met weinig data konden ook onrealistische tijd-diepte- en tijd-dikteverlopen ontstaan tussen de laagvlakken. Ook hier zijn met

behulp van steunpunten de rasters bijgewerkt binnen de workflow van GOCAD om tot de definitieve seismische referentievlakken in tijd te komen. Omdat dit sneller werkt, zijn de geïnterpreteerde laagvlakken initieel geïnterpoleerd tot regelmatige rasters met een celgrootte van 250 x 250 m en pas in de laatste fase van het modelleerproces verfijnd naar rasters met een celgrootte van 100 x 100 m.

2.6.3.2 *Tijd-diepteconversies*

Na de modellering van de seismisch referentievlakken is het aldus vervaardigde model van het tijdsdomein omgezet naar het dieptedomein. De referentievlakken en breukvlakken van het model zijn naar het dieptedomein geconverteerd door gebruik te maken van een zogenaamd *layer cake* snelheidsmodel van het type:

$$V(x,y,z)=V_0(x,y) + k \cdot z$$

Met:

$V(x,y,z)$: de snelheid (m/s) van de laag op locatie x,y en diepte z

$V_0(x,y)$: de snelheid (m/s) van de laag op locatie x,y aan de oppervlakte bij $z = 0$ m

k : de factor (1/s) die de lineaire toename van de snelheid met de diepte bepaalt

z : de diepte (m).

De conversie is uitgevoerd met het snelheidsmodel VELMOD-3 (Pluymaekers et al., 2017). VELMOD-3 (en voorgaande versies van VELMOD) is gebaseerd op snelheidsinformatie van diepe boringen van het Nederlands Continentaal Plat en het vasteland. Voor een tiental lithostratigrafische intervallen is een coëfficiënt k bepaald, die de toename van de snelheid weergeeft met de diepte. Per lithostratigrafisch interval zijn vervolgens lateraal variërende snelheidskaarten (V_0) gemaakt. Omdat VELMOD-3 enkel Nederland bedekt, zijn voor dit project de snelheidsdata ervan uitgebreid met snelheidsdata uit boringen in Vlaanderen.

Voor het Nederlandse deel van het modelgebied is het Cenozoïcum volgens VELMOD-3 opgedeeld in twee snelheidsintervallen met elk hun eigen k -factor, zie Tabel 10:

- van 0 m NAP tot aan de basis van de Boven Noordzee Groep (het stratigrafische interval vanaf het maaiveld tot aan de basis van de Formatie van Berchem);
- van de basis van de Boven Noordzee Groep tot aan de basis van de Onder Noordzee Groep (het stratigrafische interval vanaf de basis van de Formatie van Berchem tot aan de basis van de Formatie van Heers).

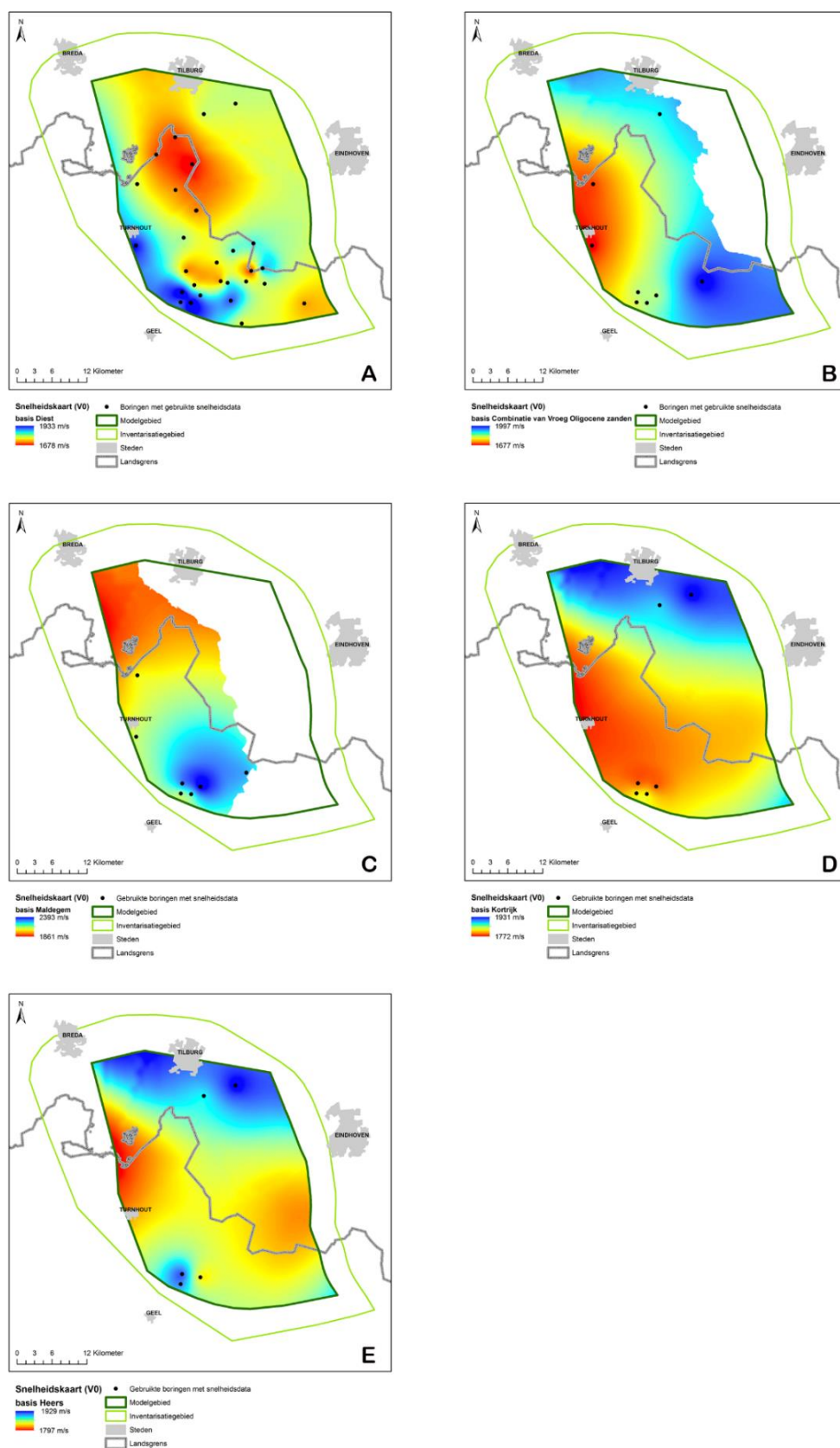
Voor het Vlaamse deel van het modelgebied is het Cenozoïcum opgedeeld in vijf snelheidsintervallen met de desbetreffende k -coëfficiënten die in VELMOD-3 bepaald werden (Tabel 10) en zijn voor elk snelheidsinterval bij de putten V_0 -waarden bepaald. Het grotere aantal snelheidsintervallen voor het Vlaamse deel is het gevolg van de aanwezigheid van meer diepe boorinterpretaties in dit gebied, waardoor een fijnere onderverdeling van het snelheidsmodel nodig is ten opzichte van het Nederlandse deel.

Tabel 10. Snelheidsintervallen k (1/s) van het snelheidsmodel VELMOD-3 (Pluymaekers et al., 2017), en van het Nederlandse en het Vlaamse deel van het modelgebied H3O - De Kempen.

Modeleenheden geologisch model	VELMOD-3	NL-deel H3O - De Kempen	VL-deel H3O - De Kempen
HL-c	0,436	0,436	0,436
Boxtel			
Sterksel			
Stramproy			
Waalre			
Maassluis			
Kiezeloöliet			
Oosterhout			
Kasterlee (klei)			
Diest	0,234	0,234	0,234
Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Miocene zanden*			
Klei van Veldhoven			
Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Miocene zanden*			
Eigenbilzen			
Boom			
Combinatie van Vroeg Oligocene zanden*			
Maldegem (exclusief Wemmel)			
Combinatie van Vroeg tot Laat Eocene zanden*			
Kleilig deel van Gentbrugge*			
Tielt			
Kortrijk			
Tienen			
Hannut			
Heers (inclusief Maaseik)*			

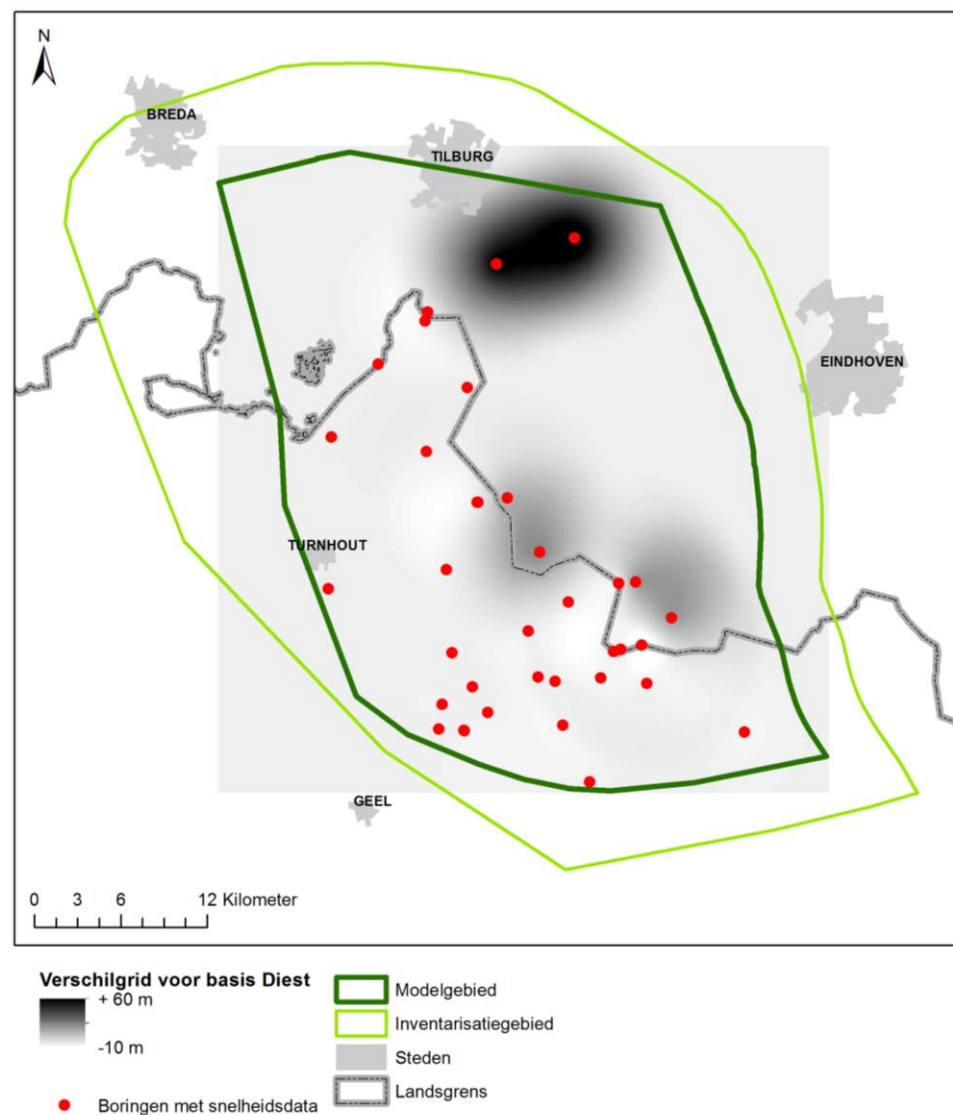
* Informele eenheden (in functie van de modellering)

Op basis van de twee snelheidsintervallen in het Nederlandse deel en de vijf snelheidsintervallen in het Vlaamse deel, zijn vijf combinatiesnelheidskaarten (V_0) gemaakt (Figuur 17). V_0 -waarden zijn in twee stappen geïnterpoleerd (via kriging) tot snelheidskaarten, waarbij in de eerste stap regionale krigingparameters zijn gebruikt (gridresolutie 1000 x 1000 m en krigingparameters uit VELMOD-3 Continentaal Plat en vasteland) en het resultaat is vervolgens geschaald naar een 100 x 100 m gridresolutie. In de tweede stap zijn de resterende verschillen in V_0 -waarden op de locaties van de boringen ten opzichte van de eerste stap berekend en binnen het inventarisatiegebied gekruid met een 100 x 100 m gridresolutie om verschillen met de interpretaties in de boringen te minimaliseren. Met dit correctiegrid is het V_0 -grid uit de eerste stap gecorrigeerd. Via de aldus verkregen snelheidskaarten zijn de seismische referentievlakken in tijd omgezet naar diepte.



Figuur 17. Snelheidskaarten (V_0) in het modelgebied voor de basis van de Formatie van Diest (A), de basis van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden (B), de basis van de formatie van Maldegem (C), de basis van de Formatie van Kortrijk (D) en de basis van de Formatie van Heers (E).

Na de tijd-diepte conversie kunnen op de locatie van de boringen nog verschillen optreden tussen de diepte-interpretaties in de boringen en de naar diepte geconverteerde seismische referentievlakken. Om dit te corrigeren zijn in het diepte-domein de verschillen tussen de dieptes van de eenheden in de boringen en laagvlakken berekend. Vervolgens zijn deze verschillen tot een vlak vergrid (zie Figuur 18) dat opgeteld is bij de initiële laagvlakken.



Figuur 18. Voorbeeld van een verschil grid tussen de diepte van het raster (van de basis van de Formatie van Diest) na tijd-diepteconversie en de waarden ervan volgens de interpretaties in de boringen.

2.6.3.3 Modellering in diepte

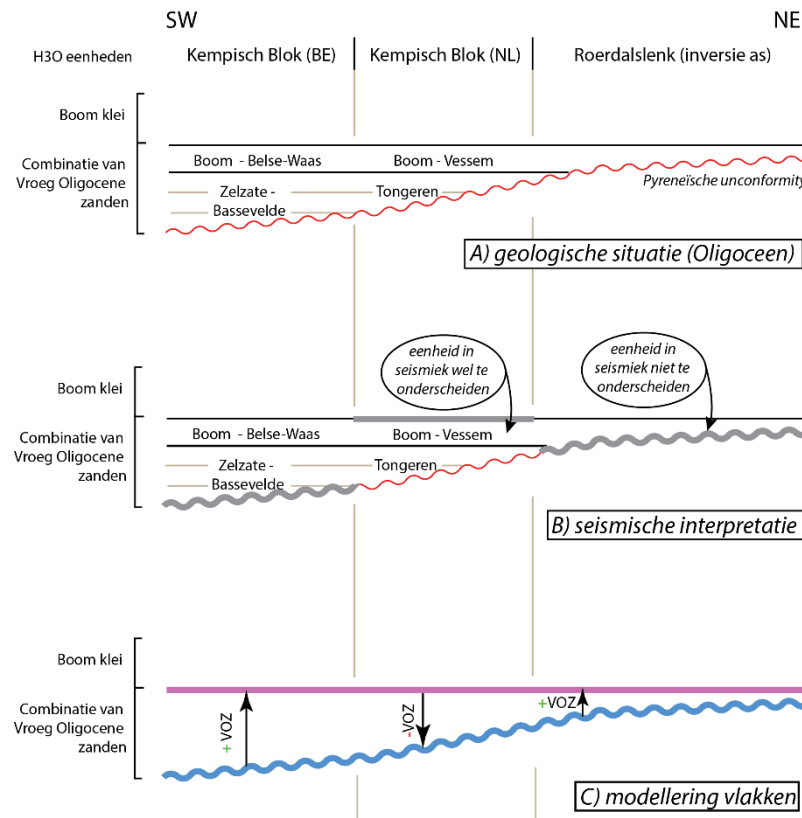
Na de tijd-diepteconversie zijn op basis van de dieptegrids van de seismische referentievlakken, vlakken van de overige, niet seismisch geïnterpreteerde eenheden vervaardigd, de zogenaamde “invulling”. Deze vlakken zijn aangegeven in Bijlage E (“diepe methode: invulling” in de kolom “modelleermethode”).

De invulling is uitgevoerd op basis van informatie van dieptes en diktes van de modeleenheden uit de (diepe) boringen, en is verder gestuurd door geologische concepten. Deze geologische concepten omvatten bijvoorbeeld regionale kennis van diktetrends (verdikking/verdunding in bepaalde richtingen), effecten van breukwerking op diktes of kennis van erosieve contacten.

Om tot de invulling van de seismische referentievlakken te komen, zijn afhankelijk van de kennis van het diepte- en dikteverloop van de betreffende eenheden, verschillende methodes gebruikt:

- Voor modeleenheden met relatief uniforme diktetrends over het gebied, bijvoorbeeld de formaties van Heers en Eigenbilzen, zijn op basis van de informatie uit de boringen en opgelegde diktetrends daartussen, diktekaarten vervaardigd. Deze diktekaarten zijn dan bij/van de seismische referentievlakken opgeteld of afgetrokken om de top of basis van de betreffende laagvlakken te verkrijgen.
- De basis van de Formatie van Boom is gebaseerd op een combinatie van seismisch geïnterpreteerde referentievlakken (te weten de Basis Boom en Basis Combinatie van vroeg-oligocene zanden) en diktetrends van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden uit boringen. De hiertoe gevolgde werkwijze is uitgelegd in Figuur 19.
- Modeleenheden die verdikken over breuken, zoals de Klei van Veldhoven (binnen de "Combinatie van laat-oligocene tot midden-miocene zanden"), kunnen niet eenvoudig via regionale diktetrends gemodelleerd worden. In plaats daarvan worden proporties berekend van de relatieve dikte van de betreffende eenheid binnen andere gemodelleerde eenheden op basis van de informatie uit boringen. Op basis van de geologische kennis, kunnen de proportietrends verder worden doorgetrokken in het gebied. De dikte van de Klei van Veldhoven werd zo proportioneel gemodelleerd binnen de "Combinatie van laat-oligocene tot midden-miocene zanden" op basis van informatie uit - onder andere - de boringen Hilvarenbeek (HVB-01) en Broekzijde (BKZ-01). Dit is aangevuld met het (hydro)geologische concept dat de Klei van Veldhoven in het zuiden lokaal begrensd wordt door de Veldhovenbreuk.
- De vlakken van de andere modeleenheden zijn samengesteld via de hierboven gebruikte methodes. Zo is de basis van de "Combinatie van laat-oligocene tot midden-miocene zanden" afgeleid uit de diktes van de "Combinatie van vroeg-oligocene zanden", de Formatie van Boom en de Formatie van Eigenbilzen, en de basis van de "Combinatie van vroeg-oligocene zanden".

Na het modelleren van de overige modeleenheden tussen de seismische referentievlakken, zijn deze - net zoals de seismische referentievlakken in een eerdere fase - ook aangesloten op de breukvlakken in diepte.

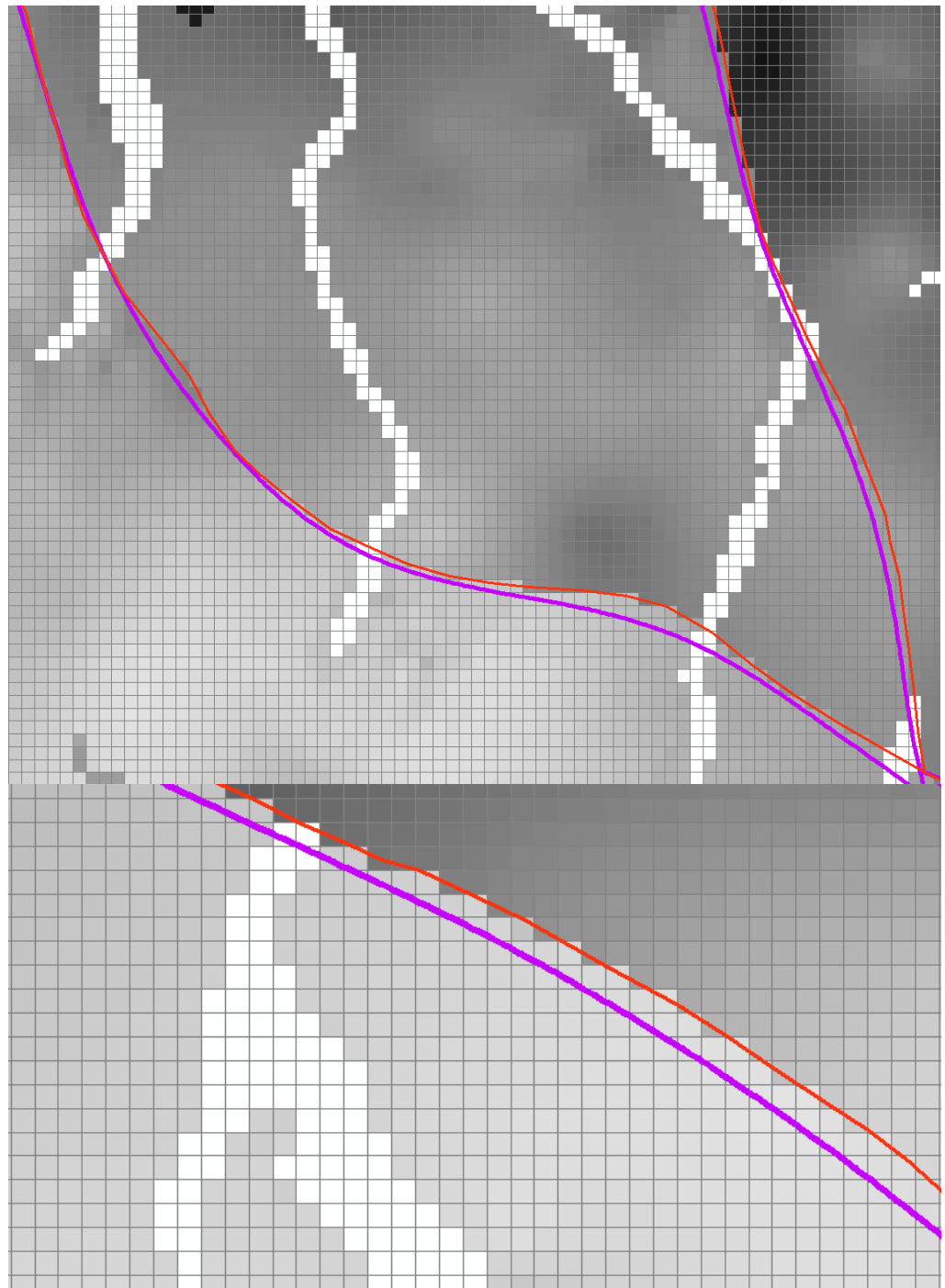


Figuur 19. Schematische weergave van de werkwijze die gevolgd is om de basis van de Formatie van Boom te modelleren. A) Geologische concept met betrekking tot de verbreiding van de modelleereenheden; B) De dikke grijze lijnen geven de seismisch geïnterpreteerde horizons weer in drie bereiken binnen het modelleergebied; C) Met behulp van de putdikte van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden (VOZ) worden vervolgens basissen van de Combinatie van vroeg-oligocene zanden en Formatie van Boom gemodelleerd, weergegeven door respectievelijk de dikke blauwe en paarse lijnen.

2.6.4 Nabewerkingen en combinatie deelmodellen

2.6.4.1 Inbrengen van hellende breuken in de ondiepe deelmodellen

Als nabewerking was voorzien om hellende breuken in het ondiepe model in te brengen. Bij het treffen van de voorbereidingen daarvoor is gebleken dat in het modelgebied schuine breuken niet tot wezenlijke veranderingen van de ondiepe modellen leiden. De wijzigingen in het model beperken zich tot een zone van maximaal 2 gridcellen (van 100 bij 100 m), maar zijn in veel gevallen kleiner (Figuur 20). De breedte van deze zone komt sterk overeen met de onzekerheid die ten aanzien van de ligging van de breuken bestaat. Vanwege de geringe meerwaarde, een verschil dat sterk overeenkomt met de onzekerheidsmarge die ten aanzien van de ligging van de breuken bestaat en anderzijds de aanzienlijke inspanning die het vergt om de wijzigingen door te voeren, is van het inbrengen van schuine breuken in de ondiepe deelmodellen afgezien.



Figuur 20. Voorbeelden van het verschil in ligging tussen een verticaal of schuin veronderstelde breuk in de basis van de aan maaiveld gelegen Formatie van Boxtel. De rode lijn is daarbij de locatie van de breuk indien de breuk verticaal wordt verondersteld; de paarse lijn is de locatie van de breuk indien van een “schuine” breuk wordt uitgegaan, dat wil zeggen dat de helling van de breuk gebaseerd is op de helling zoals die uit het 3D breukvlakkenmodel kan worden afgeleid. De gridcellen hebben een afmeting van 100 x 100 m.

2.6.4.2 Combineren ondiepe en diepe deelmodellen

Na afronding van de ondiepe en diepe modellering zijn de deelmodellen gecombineerd tot één geologisch en één hydrogeologisch model. De onderlinge consistentie van bestanden van de ondiepe en diepe modeleenheden dient daarbij gewaarborgd te worden en te blijven. Om die reden is de volgende werkwijze gevolgd:

1. converteren van de grids van de basis van de diepe eenheden van Lambert-coördinaten/TAW-referentieniveau naar RD-coördinaten/NAP-referentieniveau, waarbij de volgende stappen zijn doorlopen:
 - a. omzetten van de grids in puntenbestand
 - b. converteren naar RD-coördinaten/NAP-referentieniveau met ArcGIS (zie Paragraaf 2.2.3.4)
 - c. opnieuw verrasteren conform de griddefinitie van het ondiepe model;
2. inlezen van de geconverteerde modelgrids in Isatis;
3. onderling consistent maken van de geconverteerde grids en consistent maken van deze grids aan de basis van het ondiepe deelmodel (basis van de Formatie van Kasterlee);
4. afleiden van de top- en diktegrids;
5. exporteren van de grids naar .asc-formaat;
6. omzetten van de grids naar .img-formaat;
7. visuele controle en controle op consistentie van het model.

Na het gereedkomen van de gecombineerde modellen in RD-coördinaten/NAP-referentieniveau is nagenoeg dezelfde werkwijze doorlopen om vanuit deze gecombineerde modellen, modellen in Lambert-coördinaten/TAW-referentieniveau samen te stellen. Verschillen zijn:

- Bij het verrasteren (stap 1c) is de oorspronkelijke griddefinitie in Lambert-coördinaten van het diepe model aangehouden.
- De stappen 2 t/m 5 zijn uitgevoerd binnen Access in plaats van Isatis.

3 Resultaten en discussie

3.1 3D Breukvlakkenmodel

Met het 3D breukvlakkenmodel is het mogelijk om met de basis van elke gemodelleerde (hydro)geologische eenheid een aansnijding te maken. De aldus ontstane 2D lijnenkaarten kunnen vervolgens vergeleken worden met bestaande breukenkaarten. De nieuwe breukenkaarten voor de basissen van de Formatie van Heers en van de Formatie van Diest zijn weergegeven in Figuur 21 en Figuur 22.

De volgende zaken springen daarbij in het oog:

- Er is een verschil in dichtheid van het aantal breuken tussen het Nederlandse en Vlaamse deel van het modelgebied. Dit kan verklaard worden doordat het Nederlandse gedeelte in het oosten en noordoosten gelegen is binnen de zuidelijke randzone van de Roerdalslenk. Vanaf het Laat-Oligoceen vond sterke daling plaats van de Roerdalslenk langs de breuken in deze randzone. Binnen het Nederlandse gedeelte is de dichtheid aan breuken opvallend hoger ten noorden van de Veldhoven- en Rijenbreuk. Ten zuiden en westen van dit breuksysteem is de breukdichtheid in Nederland vergelijkbaar met die van Vlaanderen.
- In het zuiden van het modelgebied hebben de meeste breuken een NNW-ZZO oriëntatie. Verder naar het noorden (Veldhovenbreuk en verder noordelijk) zijn er ook veel breuken aanwezig met een WNW-OZO oriëntatie. Hier vertonen beide breukrichtingen dan wel een en-echelon patroon met convergerende en divergerende breukrelaties (Figuur 21).
- Iets minder dan de helft van de gemodelleerde breuken is grensoverschrijdend, terwijl de rest een beperkt lateraal verloop kent en daarom beperkt is tot de landsgrenzen.
- Vergelijking van de breukenkaarten van de basissen van de Formatie van Heers en de Formatie van Diest (Figuur 21 en Figuur 22) leert dat door de tijd sommige actieve breuken inactief werden, of omgekeerd..

De nieuwe breukvlakken en afgeleide breukenkaarten (Figuur 21 en Figuur 22) zijn lokaal sterk verschillend van eerdere breukenkaarten zoals van de kaartbladen XIII en XIV van de Geological Atlas of the subsurface of the Netherlands (TNO, 2001), het G3Dv2-model (Matthijs et al., 2013) en Vandenbergh (1990):

- **Wijzigingen ten opzichte de breukenkaarten van *Geological Atlas of the subsurface of the Netherlands*:** De kartering van de diepe ondergrond in Nederland (Kaartbladen, het DGM-diep model v4.0) is gericht op het geven van een regionaal inzicht in de geologische opbouw van de diepe ondergrond van Nederland. Gerelateerde breukbestanden geven een beeld van de meer regionale (grote) breuken in de ondergrond. In het nieuwe breukenmodel is, vergeleken met deze breukbestanden, substantieel meer detail verwerkt om aan te sluiten bij de nieuw geïnterpreteerde Cenozoïsche eenheden. De ligging van de regionale breuken is niet significant gewijzigd (Figuur 21 en Figuur 22), maar de breuken tonen lokaal aanpassingen in de aansluiting met andere breuken of zijn opgedeeld in enkele kortere breuken. De aanvulling van het breukenmodel met kortere breuken en breuken die enkel laat-mesozoïsche en paleogene eenheden verzetten, resulteert in een complexe breukconfiguratie ten noorden van de Veldhoven breuk. Het is hierbij belangrijk op te merken dat

breukinterpretaties niet altijd eenduidig zijn. Op een aantal seismische lijnen zijn meerdere interpretaties mogelijk, met name voor de breuksegmenten in de mesozoïsche eenheden. Dit heeft consequenties voor de uiteindelijk geconstrueerde breukvlakken en het verloop van breuken in de bovenliggende Cenozoïsche eenheden.

Figuur 23 toont het resultaat van een zogenaamde variantie-attributaanalyse voor de basis van de Formatie van Heers en de overeenkomst met het breukenpatroon voor dit niveau. Het variantie-attribuut (ook wel coherency genoemd) wordt bepaald door de onderbrekingen in de horizontale continuïteit van de amplitude van het seismische signaal van een 3D seismische dataset te berekenen. De variantie-attributaanalyse maakt reflectordiscontinuïteiten in een 3D seismisch volume zichtbaar, zoals bijvoorbeeld veroorzaakt door breuken. Het resultaat van de variantieanalyse is ondersteunend geweest voor de interpretatie van de breuken in het gebied waarvan 3D seismiek beschikbaar is maar ook in de breukvlakkenmodellering en het verloop van breuken naar aangrenzende 2D lijnen ten zuiden van de 3D surveys. Een dergelijke analyse geeft een betrouwbaarder beeld van breukrichtingen en -relaties die in de regio te verwachten zijn. Het resultaat hiervan kan dan ook worden meegenomen om de breukmodellering in gebieden met minder seismische bedekking (en dus meer onzekerheden) te sturen.

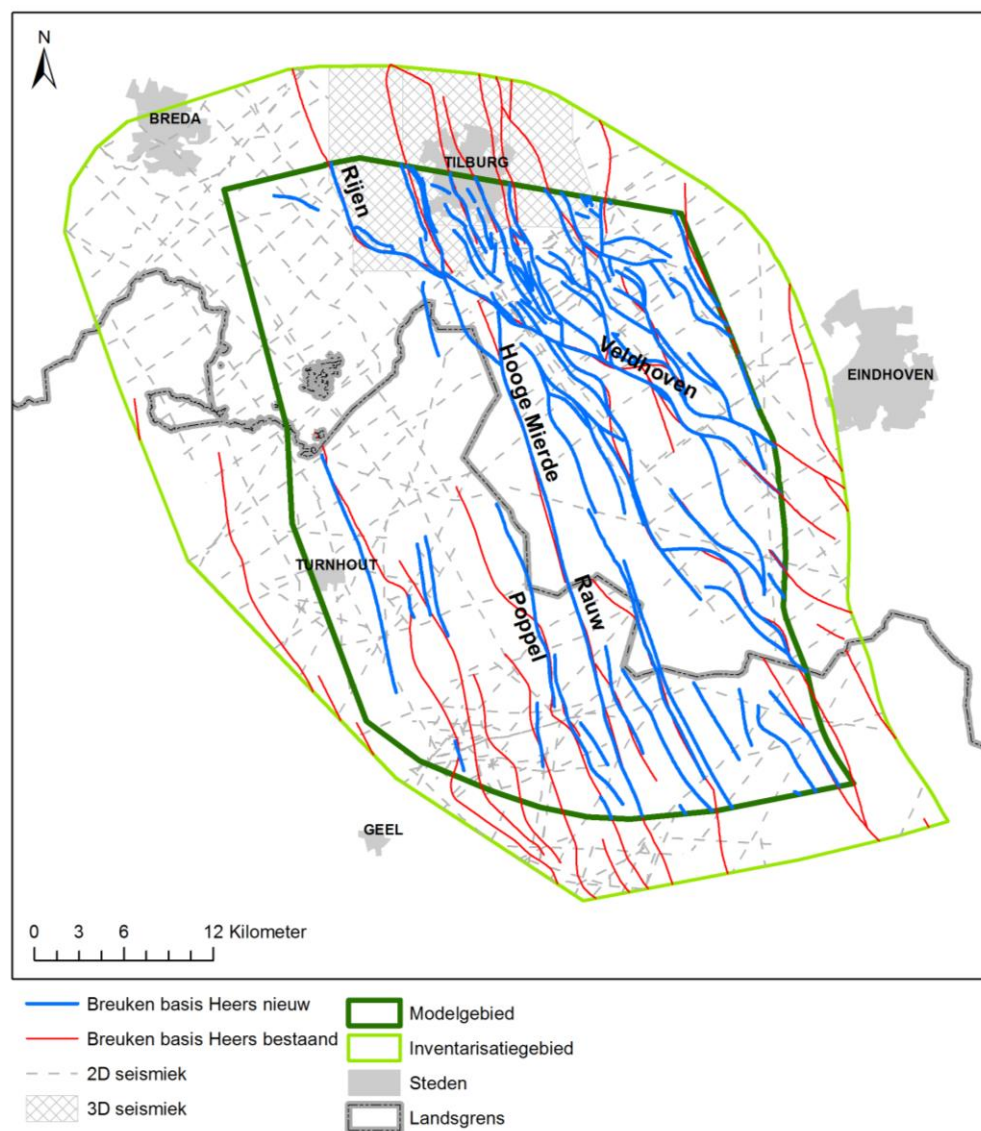
- **Wijzigingen ten opzichte van de breukenkaarten van het G3Dv2-model:** De ligging van de bestaande lange breuken uit het G3Dv2-model (gebaseerd op de conceptuele breukenkaarten in de paleozoïsche sokkel van Langenaeker (2001)) is aanzienlijk aangepast. In het zuidelijke Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn deze aanpassingen hoofdzakelijk lokale wijzigingen in de strekking van de breuken en verbindingen tussen breuksegmenten zoals op de 2D seismische data zichtbaar. In het centrale Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn de breuken korter dan voorheen geïnterpreteerd. In het noordwestelijke Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn er - net zoals in het G3Dv2-model - weinig breuken aanwezig die de basis van het Cenozoïcum doorsnijden.
- **Verschillen met de tektonische kaart van Vandenberghe (1990):** Op basis van een geomorfologische terreinanalyse in combinatie met in raaien uitgevoerde verticale elektrische sonderingen en boordata is een breukenkaart van de ondiepe, nabij maaiveld gelegen pleistocene afzettingen samengesteld. Deze breukenkaart is vergeleken met de in het kader van dit project samengestelde breukenkaart van de basis van de Formatie van Diest, zie Figuur 24. Beide breukenkaarten vertonen zowel overeenkomsten als verschillen. Vanwege het verschil in diepteniveau van beide breukenkaarten dient daarbij de aandacht uit te gaan naar de breuken die wel door Vandenberghe (1990) zijn geïnterpreteerd, in het bijzonder in de raaien, maar niet in dit project zijn aangetoond.

Een controle van de interpretaties van de breuken is uitgevoerd. De beschikbare seismiek laat in het diepere deel wel breuken zien, maar in het ondiepere, door Vandenberghe bestudeerde bereik bevat de seismiek geen bruikbare informatie en daarmee geen direct inzicht in de aan- of afwezigheid van breuken. De Hoge Mierde en Veldhoven breuken zijn wel met zekerheid in het ondiepe bereik door te trekken en de Vessem breuk mogelijk. Volgens de interpretatie van Vandenberghe (1990) begrenzen de Reusel I en II breuken een horst structuur. Deze is in de diepere ondergrond niet als zodanig te herkennen. Veel van de door Vandenberghe geïnterpreteerde breuken vertonen

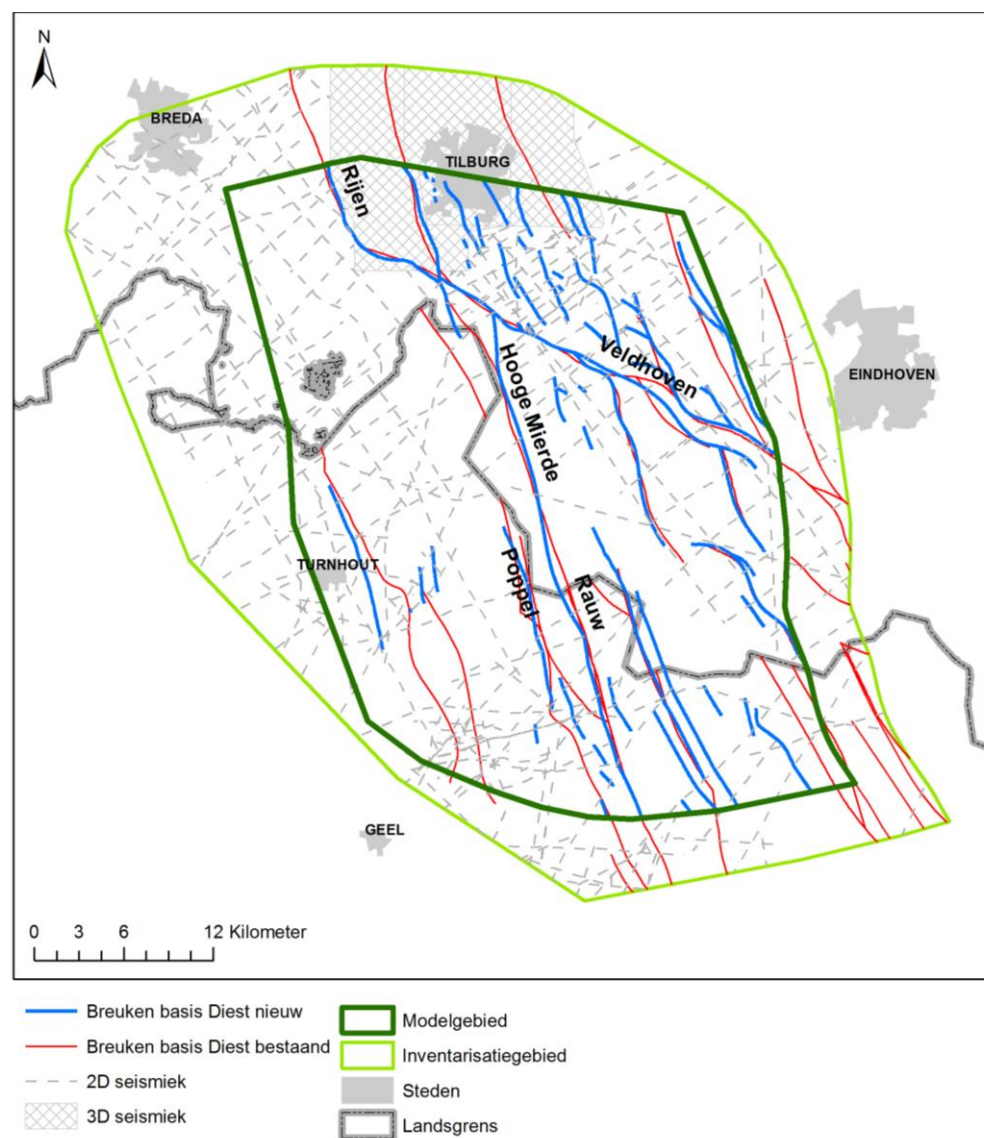
bovendien een zeer gering verzet. Als deze breuken doorlopen in het diepe bereik dan zouden deze breuken niet in de seismiek te zien zijn tenzij het verzet met de diepte toe zou nemen. In de seismiek zijn echter geen aanwijzingen gevonden dat er op grotere diepte toch breuken met een aanzienlijk verzet aanwezig zijn, zie Figuur 25.

De aanname dat breuken nabij het maaiveld in de diepte moeten doorlopen klopt meestal, maar door bijvoorbeeld lokale compactie, bijvoorbeeld als gevolg van ontwatering, en afglijdingen kunnen ook kortere, breuken ontstaan. De interpretatie van de ondiepe pleistocene eenheden in de boringen geeft echter geen aanleiding om de aanwezigheid van breuken te veronderstellen.

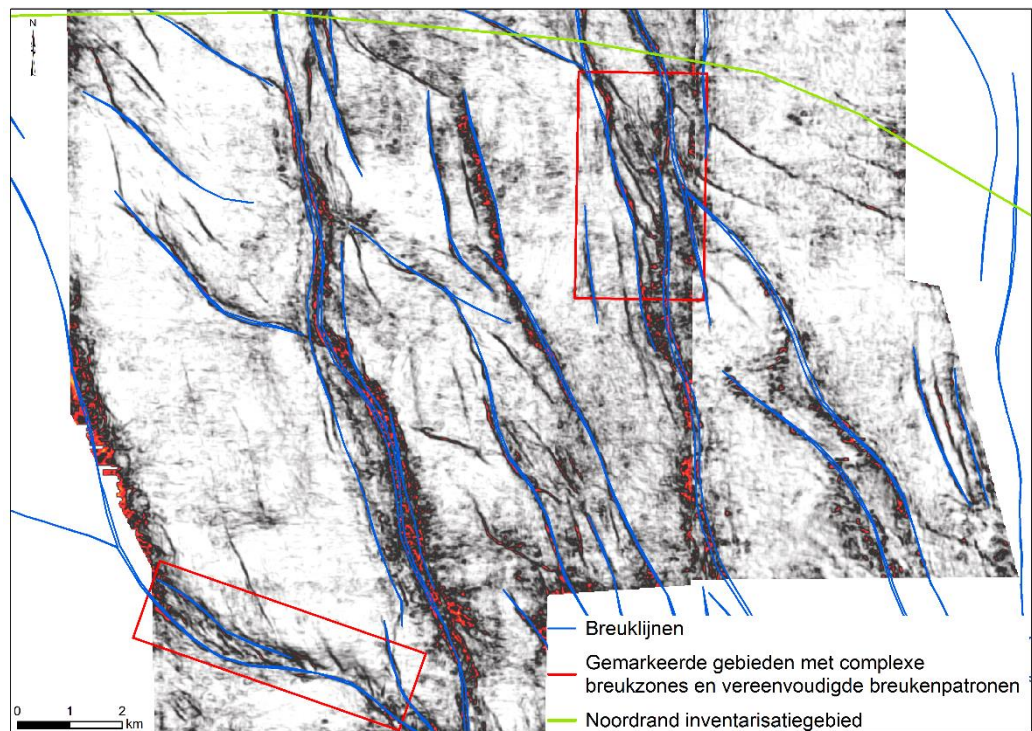
Opvallend is wel dat de oriëntatie van de door Vandenberghe geïnterpreteerde breuken overeenkomt met die van de breuken aan de basis van de Formatie van Diest.



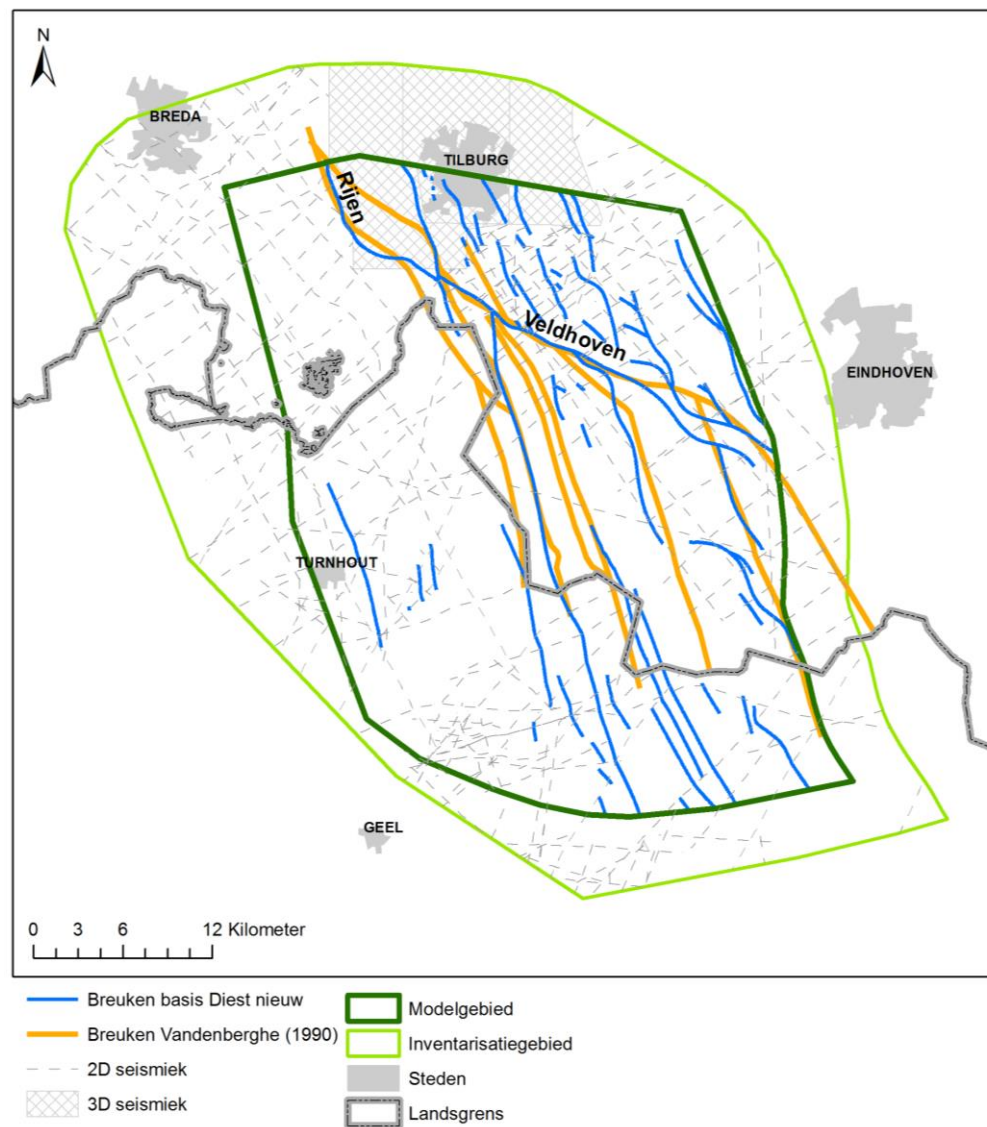
Figuur 21. Breuken aan de basis van de Onder Noordzee Groep (NL) en basis Formatie van Heers (BE) voor de aanvang van het "H3O - De Kempen"-project vergeleken met het nieuwe breukpatroon aan de basis Formatie van Heers. De bestaande breuken in het Nederlandse deel van het projectgebied zijn overeenkomstig de breukenkaart van Kaartblad XIII en XI van de Geological Atlas of the subsurface of the Netherlands (TNO, 2001); de breuken in het Vlaamse deel zijn ontleend aan het G3Dv2 model (door Matthijs et al. (2013) en Langenaeker (2001)).



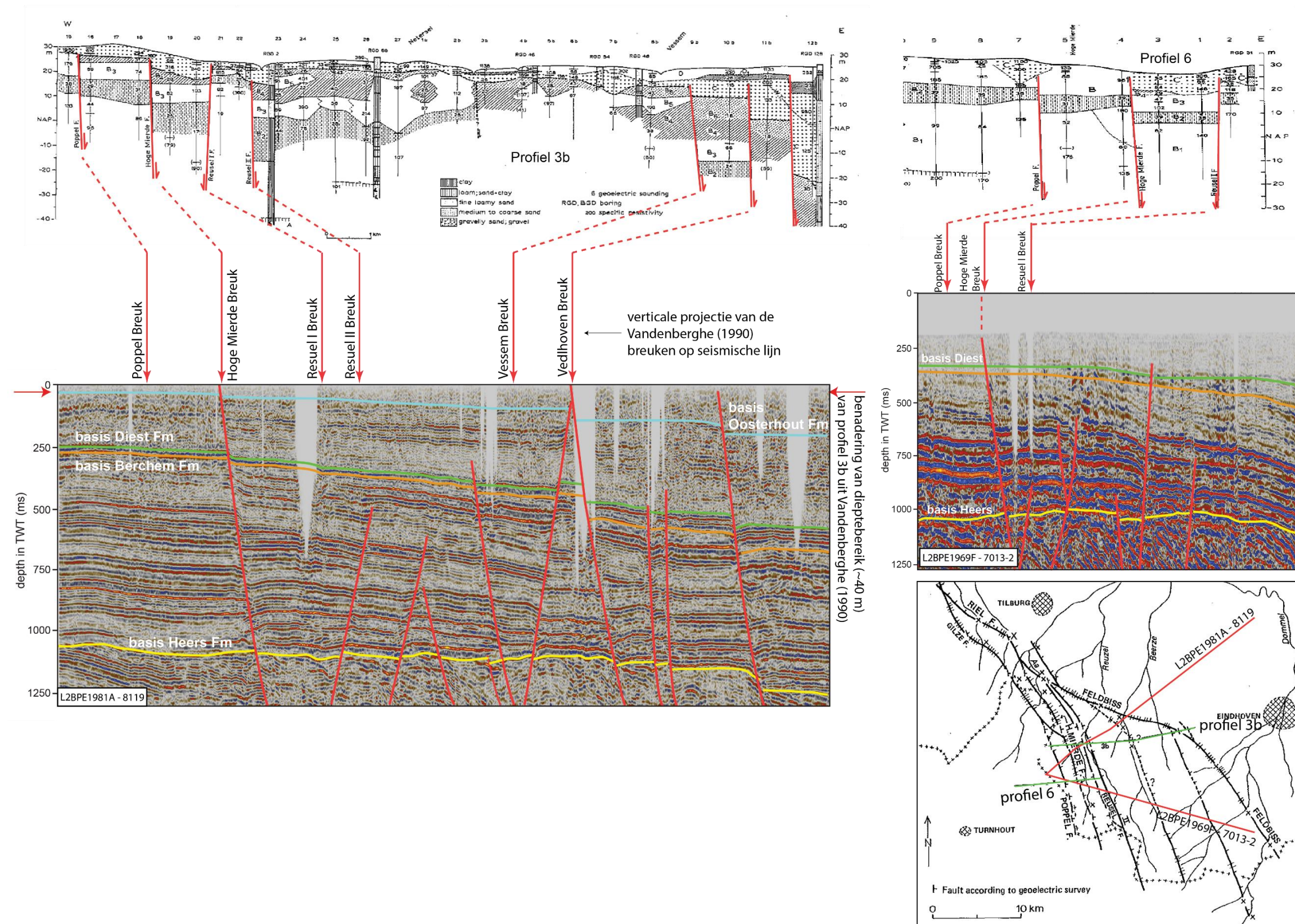
Figuur 22. Breuken aan de basis Boven Noordzee Groep (NL) en de basis Formatie van Diest (BE) voor de aanvang van het "H3O - De Kempen"-project vergeleken met het nieuwe breukpatroon aan de basis Formatie van Diest. De bestaande breuken in het Nederlandse deel van het projectgebied zijn overeenkomstig de breukenkaart van Kaartblad XIII en XI (Geological Atlas of the subsurface of the Netherlands (TNO, 2001)); de kaarten in het Vlaamse deel zijn ontleend aan het G3Dv2 model (door Matthijs et al. (2013) en Langenaeker (2001)).



Figuur 23. Variantieanalyse voor de horizon van de basis van de Formatie van Heers (in tijd) en het breukenpatroon voor diezelfde basis (blauw) in het gebied met 3D seismiek. De groene lijn geeft de noordrand van het inventarisatiegebied aan. Rode rechthoeken markeren gebieden met complexe breukzones en vereenvoudigde breukenpatronen.



Figuur 24. Intersectie van de gemodelleerde breuken met de basis van de Formatie van Diest en vergelijking met het breukenpatroon van Vandenberghe (1990).

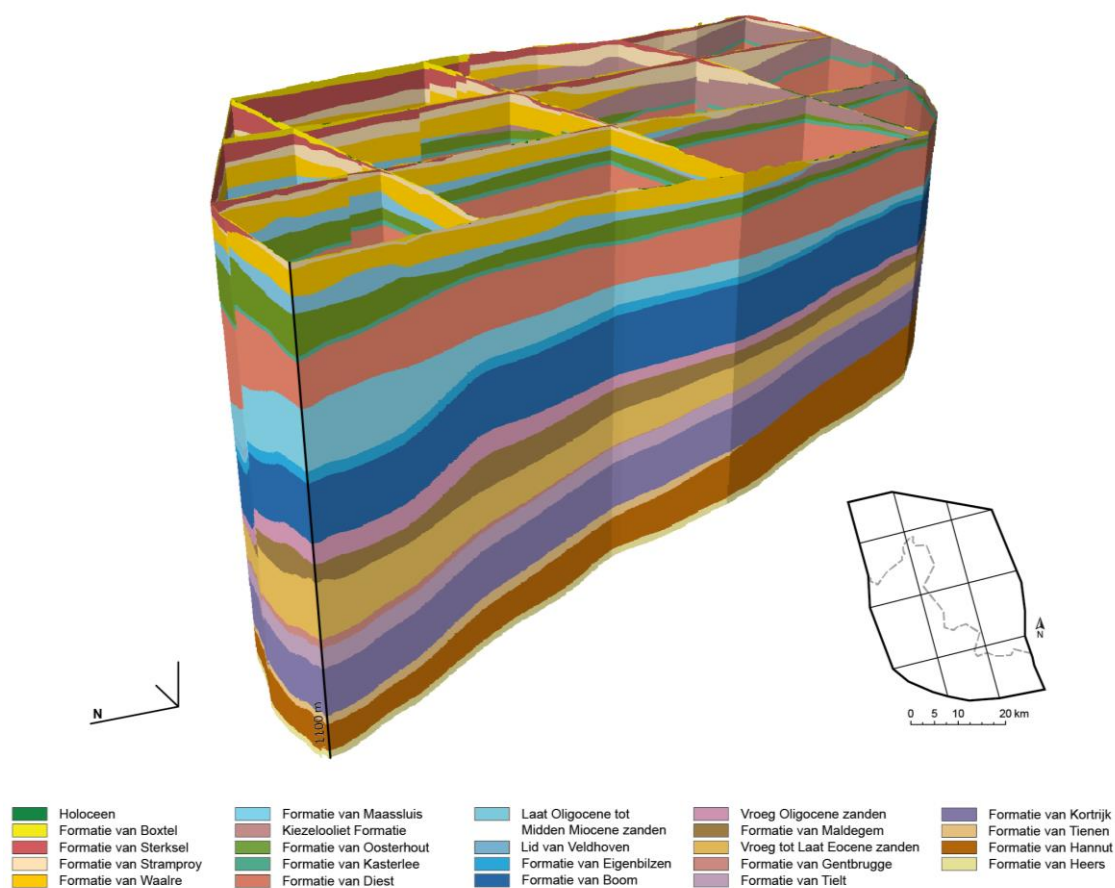


Figuur 25. Projecties van de profielen 3 en 6b uit Vandenberghe (1990) op de interpretatie van breuken in seismische lijn 8119 van survey L2BPE1981A, en lijn 7103-2 van survey L2BPE1969F.

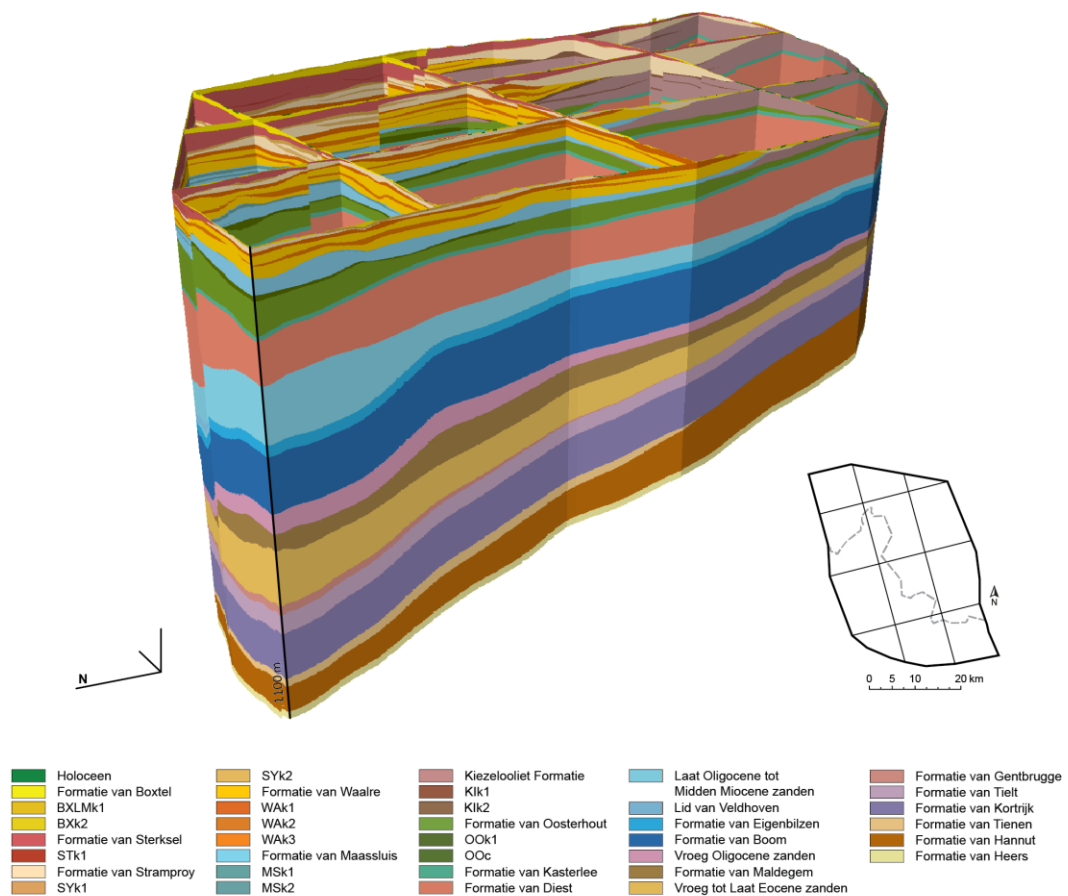
3.2 3D Geologisch en hydrogeologisch lagenmodel

3.2.1 Algemeen

De grensoverschrijdende 3D geologische en hydrogeologische lagenmodellen vormen de belangrijkste resultaten van het project, zie Figuur 26 en Figuur 27.



Figuur 26. Fence diagram door het geologische model. In de figuur rechtsonder is de ligging van de afzonderlijke profiellijnen aangegeven. De omhullende profiellijn volgt de begrenzing van het modelgebied.



Figuur 27. Fence diagram door het hydrogeologische model. In de figuur rechtsonder is de ligging van de afzonderlijke profiellijnen aangegeven. De omhullende profiellijn volgt de begrenzing van het modelgebied.

Beide modellen bestaan uit een dataset van kaartbestanden in ESRI shapefile- en gridformaat, die op een logische en overzichtelijke wijze zijn gepresenteerd in een folderstructuur. Enkele van deze kaartbestanden zijn algemeen van aard, het merendeel heeft echter betrekking op de eenheden waaruit de modellen zijn opgebouwd.

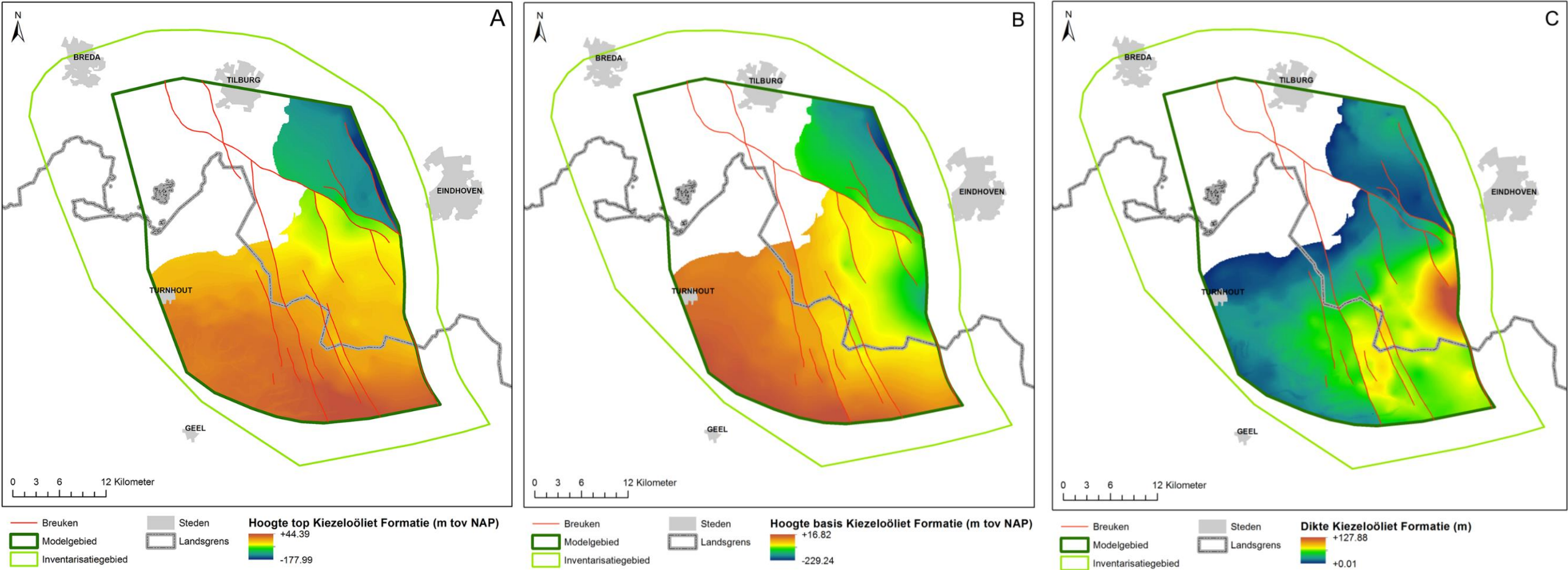
De algemene kaartbestanden betreffen:

- de gebruikte ondiepe boringen
- de gebruikte diepe boringen
- de gebruikte 2D seismiek
- de gebruikte 3D seismiek
- de begrenzing van het modelgebied
- de begrenzing van het inventarisatiegebied
- algemene topografie
- de maaiveldhoogte
- geconstateerde aandachtspunten, dit zijn bekende onvolkomenheden in het model.

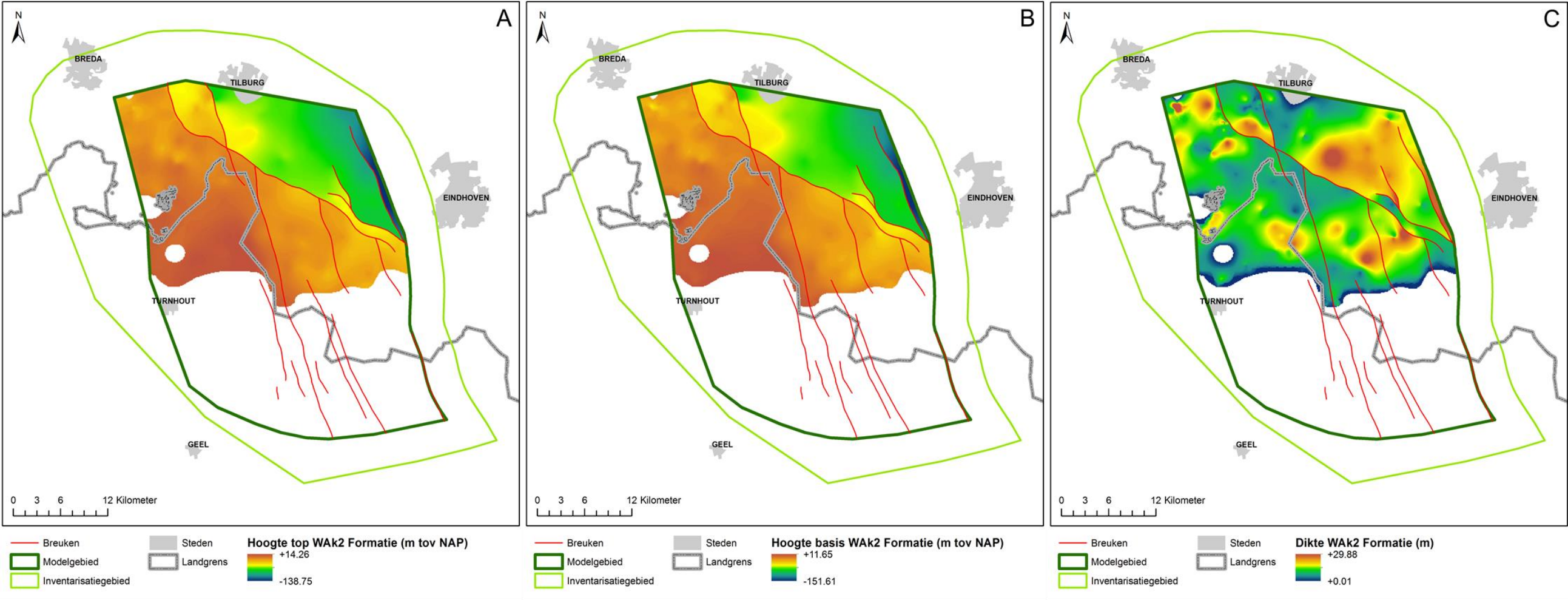
De kaartbestanden van de modeleenheden zijn:

- 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, en de boringen die te ondiep zijn om de aan- of afwezigheid van de eenheid te kunnen aantonen;
- de seismische interpretaties van de diepte van de basis van de eenheid uitgedrukt in tijd (in two-way travel time);
- de steunpunten die gebruikt zijn om de betreffende eenheid te modelleren;
- de breuken die tot in de basis van de betreffende eenheid of door de eenheid, tot in een ondiepere eenheid doorwerken;
- de hoogte van de top van de eenheid;
- de dikte van de eenheid;
- de hoogte van de basis van de eenheid.

Voorbeelden van de belangrijkste kaartbestanden zijn weergegeven in Figuur 28 en Figuur 29.



Figuur 28. Geometrie van de modelleenheid Kiezeloöliet Formatie uit het geologisch lagenmodel, a: hoogte top, b: hoogte basis, c: dikte. Deze eenheid is via de ondiepe methode gemodelleerd.



Figuur 29. Geometrie van hydrogeologische eenheid WAK2 (tweede kleiige eenheid van de Formatie van Waalre) uit het hydrogeologische model, a: hoogte top, b: hoogte basis, c: dikte. Deze eenheid is via de ondiepe methode gemodelleerd.

3.2.2 3D Geologisch lagenmodel: nieuwe/betere informatie

Het geologische lagenmodel omvat in totaal 22 modelleenheden (Tabel 9). Het is een grensoverschrijdend model. In het model en in de kaartbestanden van de modelleenheden komen daardoor ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitproblemen meer voor.

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

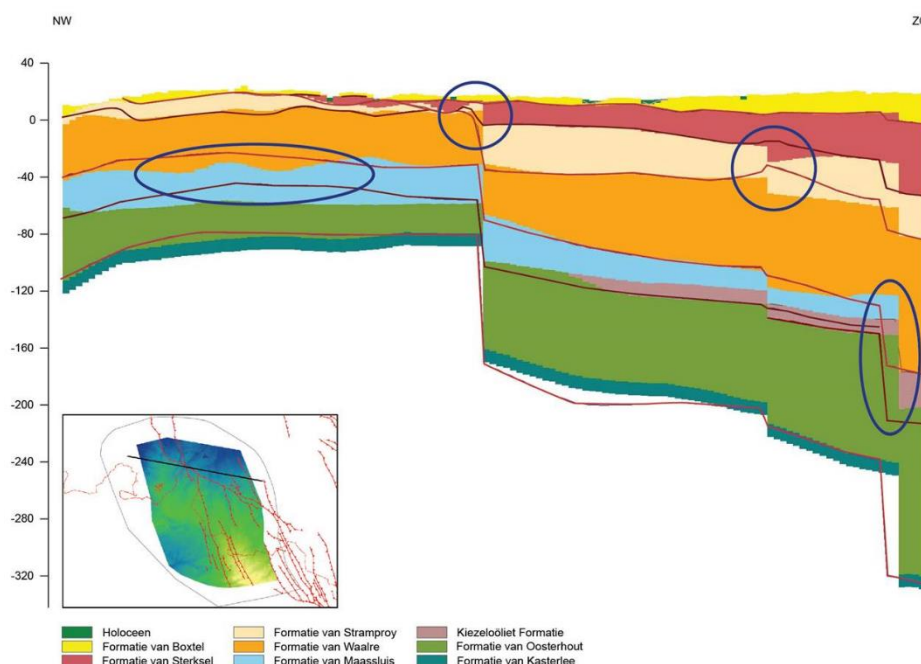
- In het nieuwe geologische model is, afwijkend van het DGM v2.2 model, ook de Belgische Formatie van Kasterlee (kleiige top van de Formatie van Breda) onderscheiden.
- In tegenstelling tot DGM-diep v4.0, dat binnen het Cenozoïcum alleen informatie bevat over de basis van de Boven-Noordzeegroep ($\approx$ basis Formatie van Bolderberg) en de Noordzeegroep ($\approx$ Formatie van Heers), 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.

Ten aanzien van de onderscheiden modelleenheden zijn de verschillen met het bestaande Vlaamse G3Dv2-model (van jong naar oud):

- De informele Formatie van Ravels werd binnen het G3Dv2-model niet onderscheiden van andere quartaire eenheden, zoals de dekzanden of de holocene rivierafzettingen. Nu wordt deze Formatie van Ravels toegekend aan de Formatie van Stramproy en dus apart gemodelleerd van de bovenliggende dekzanden van de Formatie van Boxtel.
- In het nieuwe geologische model is binnen eenheden van het Quartair en jongste Neogeen een verdere onderverdeling in formaties gemaakt. Eerder werden de formaties van Lillo en Mol samengenomen, en nu zijn deze onderscheiden als de formaties van Oosterhout en Stramproy en de Kiezeloöliet Formatie.
- Er wordt, in tegenstelling tot het G3Dv2-model, nu geen onderscheid gemaakt tussen de formaties van Berchem en Voort.
- In het nieuwe geologische model wordt, in tegenstelling tot het G3Dv2-model, de Formatie van Eigenbilzen over het gehele modelgebied gemodelleerd.
- In het nieuwe model valt de basis van de modelleenheid Formatie van Maldegem samen met de basis van het Lid van Asse en niet met die van het Lid van Wemmel. Het geofysisch contrast (en impedantie) tussen het Lid van Asse en het Lid van Wemmel is namelijk groter dan dat tussen het Lid van Wemmel en de onderliggende zanden, waardoor dit eerste contrast (duidelijker) op seismiek te interpreteren valt.
- Er wordt, in tegenstelling tot het G3Dv2-model, nu geen onderscheid tussen de formaties van Lede en Brussel gemaakt.
- Nu wordt de Formatie van Gentbrugge hydrogeologisch opgesplitst in tegenstelling tot het G3Dv2-model.
- Het voorkomen van de Formatie van Tienen is in het nieuwe geologische model op basis van seismische gegevens aangepast en verder noordelijk gelegd dan in het G3Dv2-model.

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

- **Het gebruik van seismische data:** om het verloop van de breukvlakken en diepe laagvlakken te sturen is er, in tegenstelling tot het G3Dv2-model, seismische data gebruikt. Hierdoor zijn de breuk- en laagvlakken minder conceptueel dan in het G3Dv2-model.
- **Een verdere detaillering van de modellen door het verwerken van het nieuwe 3D breukenmodel:** in het kader van dit project is een nieuw 3D model gemaakt van de breukvlakken die tot in het Cenozoïcum doorwerken. Deze breukvlakken zijn meegenomen bij de modellering van de geologische en hydrogeologische modeleenheden. In het Nederlandse deel van de Roerdalslenk vertoont het verloop van de diepe modeleenheden daardoor meer detail ten opzichte van het bestaande model DGM-diep. Ook in het Vlaamse deel zijn duidelijke verschillen met het breukenpatroon uit het G3Dv2-model waarneembaar. Door aanvullende controles vertonen het diepte- en dikteverloop van de modeleenheden daarnaast een consistent beeld aan weerszijden van de breuken.
- **Een verdere detaillering van de modellen door het gebruik van meer boordata:** ten opzichte van de selectieset van DGM v2.2 is het aantal geselecteerde boringen binnen het Nederlandse deel van het inventarisatie- en modelgebied aanzienlijk hoger (toename van 94%). Ten opzichte van de boorset van het G3Dv2-model is het aantal geselecteerde boringen binnen het Vlaamse deel van het inventarisatie- en modelgebied door een strengere kwaliteitscontrole lager (afname van 19%), maar bevat voor de quartaire eenheden boringen met meer detail. Daardoor vertonen de kaartbeelden van de gemodelleerde eenheden in het algemeen meer detail.
- **Het gebruik van dikte- en proportiekaarten:** de seismisch gekarteerde laagvlakken dienden als referentievlak voor de ophanging/invulling van de daartussen gelegen diepe modeleenheden, via diktes of proporties. In het G3Dv2-model werden de formaties niet via diktes of proporties gemodelleerd tussen dergelijke seismische referentievlakken aangezien er geen seismiek werd gebruikt.
- **Het verbeteren van bekende aandachtspunten van het bestaande model DGM v2.2:** van het model DGM v2.2 is een lijst van bekende aandachtspunten beschikbaar. Bij het maken van het geologische model zijn de aandachtspunten die betrekking hebben op het modelgebied opgelost. Een voorbeeld daarvan is de verbeterde interpretatie van de grens tussen de formaties van Waalre en Maassluis (Figuur 30).



Figuur 30. Voorbeeld van de verschillen tussen de ondiepe eenheden van het nieuwe geologische model en het geologische model DGM v2.2. De laaggrenzen van DGM v2.2 zijn als gestippelde lijnen over de eenheden van het nieuwe geologische model weergegeven. Belangrijke verschillen zijn omcirkeld.

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

- Van het Vlaamse deel van het modelgebied waren geen waterbodenhogten 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 waterbodenhogte. Omdat het aantal no-data cellen beperkt is en verspreid is gelegen, is de invloed op het geologische model gering.
- De dataset van het ondiepe geologische model is allereerst in RD-coördinaten (EPSG) aangemaakt, terwijl de dataset van het diepe geologische model eerst in Lambert-1972 (EPSG) coördinaten is aangemaakt. Hierna zijn deze databestanden voor oplevering omgezet naar het andere referentieniveau. Als gevolg van de omzetting vertonen de gridbestanden beperkte verschillen. Ook indien bijvoorbeeld de berekening van het ondiepe geologische model volledig in Lambert-coördinaten wordt uitgevoerd dan blijven deze verschillen bestaan.
- Daarnaast dient te worden opgemerkt dat bij de visualisatie van de kaartbestanden van de top, basis en de dikte van de (hydro)geologische eenheden de locaties van de boringen in het kaartbeeld herkenbaar kunnen zijn, zogenaamde “bulls eyes”. Dit hangt samen met de volgende factoren:
 - **Mate van ruimtelijke correlatie en afstand tussen de datapunten:** De gebruikte interpolatiemethode (kriging) maakt gebruik van de mate van correlatie die tussen de datapunten bestaat. De maximale afstand waarover punten nog gecorreleerd zijn, de zogenaamde *range*, verschilt per dataset en is mede afhankelijk van het geologische afzettingsmilieu van de betreffende eenheid. Mariene afzettingen in een laag energetisch milieu vertonen een grote mate van correlatie; afzettingen van vlechtende rivieren daarentegen een kleine. Indien de onderlinge afstand tussen de datapunten

groter is dan de *range* dan zal, afhankelijk van de gekozen krigingmethode, de waarde naar een gebiedsgemiddelde toegaan, waarbij alleen binnen de *range* rondom de datapunten sprake is van enige variatie. De datapunten springen er dan uit.

- **Mate waarin datapunten bij interpolatie worden gehonoreerd:** Bij de gebruikte interpolatiemethode (kriging) wordt, via de zogenaamde *nugget* tevens opgegeven in welke mate de waarden van de datapunten bij de interpolatie gehonoreerd moeten worden of niet. Bij een kleine waarde van de *nugget* zal het geïnterpoleerde vlak nagenoeg of exact door de datapunten lopen, waardoor de individuele datapunten duidelijker in het geïnterpoleerde vlak tot uitdrukking kunnen komen.

3.2.3 3D Hydrogeologisch lagenmodel: nieuwe/betere informatie

Het hydrogeologische lagenmodel omvat in totaal 51 modelleenheden. Net als het geologische model is het een grensoverschrijdend model. Ook in dit model en in de kaartbestanden van de modelleenheden komen ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitproblemen meer voor.

Ten aanzien van de onderscheiden modelleenheden bestaan de volgende verschillen tussen het nieuwe hydrogeologische model en het bestaande Nederlandse model REGIS II v2.2:

- In het nieuwe geologische model is de Belgische stratigrafische indeling leidend geweest voor het traject vanaf de top van de Formatie van Breda tot aan de basis van het Cenozoïcum. De geologische indeling van de Formatie van Breda, de diepste geologische eenheid die in REGIS II v2.2 in het modelgebied hydrogeologisch is onderscheiden, bestaat volgens deze Belgische indeling uit meerdere stratigrafische eenheden. In het geologische model zijn deze eenheden deels gecombineerd met de onderliggende Formatie van Veldhoven tot de "Combinatie van laat-oligocene tot midden-miocene zanden". Daardoor verschilt ook de hydrogeologische indeling van dit traject ten opzichte van REGIS II v2.2.
- Het hydrogeologische model is ten opzichte van REGIS II v2.2 in de diepte uitgebreid en omvat alle eenheden vanaf maaiveld tot aan de basis van het Cenozoïcum.

Ten aanzien van de onderscheiden modelleenheden zijn de verschillen met het Vlaamse HCOV-model:

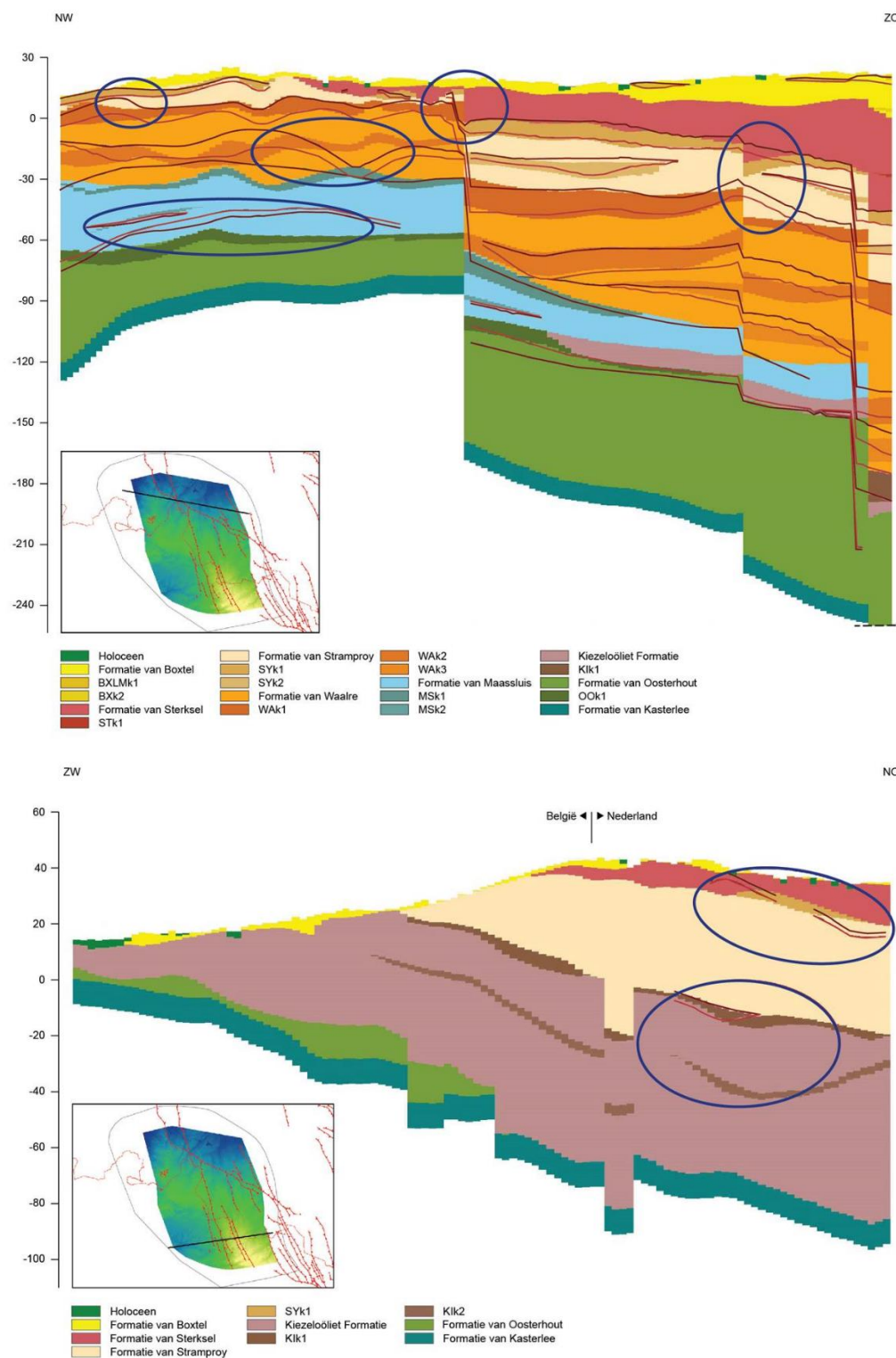
- In het nieuwe model worden er binnen de Formatie van Stramproy kleiige/venige niveaus onderscheiden.
- Het Zand van Beerse (0222) is niet afzonderlijk onderscheiden in het nieuwe model, maar met de andere eenheden van de formaties van Weelde en Malle samengenomen in de Formatie van Waalre.
- In het nieuwe model is er een kleiige eenheid (Wak2) aanwezig net onder de Formatie van Weelde (Wak1).
- In het nieuwe model worden zandige en meer kleiige of venige niveaus binnen de Formatie van Mol onderscheiden (modelleenheid Kiezeloöliet Formatie).
- In het nieuwe model is de Klei van Veldhoven (0255) opgenomen.
- In het nieuwe model is er geen onderscheid tussen het Lid van Ruisbroek (0430) en onderliggende deel van de Formatie van Zelzate (0450), maar zijn

deze samengenomen in de modeleenheid “Combinatie van vroeg-oligocene zanden”.

- In het nieuwe model wordt de “Wemmel-Lede Aquifer” (0610) niet onderscheiden van het onderliggende “Zand van Brussel” (0620), maar zijn deze eenheden samengenomen in de modeleenheid “Combinatie van vroeg- tot laat-eocene zanden”.
- Het “Landiaan Aquifersysteem” (1010) is niet apart onderscheiden in het nieuwe model. Een deel daarvan is terug te vinden in de Formatie van Tienen en een deel binnen de Formatie van Hannut.

Andere belangrijke verschillen tussen het hydrogeologische model en de bestaande modellen REGIS II v2.2 en HCOV v2007 hangen samen met volgende punten:

- Het **verbeterde geologische model**: Op basis van het verbeterde geologische model zijn in het nieuwe model onder andere de hydrogeologische eenheden WAK2, MSK1 en MSK2 beter gemodelleerd (Figuur 31).
- Het **gebruik van meer boordata, waaronder boringen aan de andere kant van de grens**: De modellering van de hydrogeologische eenheden SYK1, KIK1 en KIK2 is door de gezamenlijke kartering langs de grens verbeterd (Figuur 31).



Figuur 31. Twee voorbeelden van de verschillen tussen de ondiepe eenheden van het nieuwe hydrogeologische model en het hydrogeologische model REGIS II v2.2. De laaggrenzen van REGIS II v2.2, dat alleen voor het Nederlandse deel van het modelgebied beschikbaar is, zijn als lijnen over de eenheden van het nieuwe hydrogeologische model weergegeven. Belangrijke verschillen zijn omcirkeld.

Ten aanzien van het hydrogeologische model gelden dezelfde opmerkingen omtrent de waterbodemoogtes, coördinatenconversies en *bull's eyes* als voor het geologische model.

3.2.4 Onzekerheidsanalyse

De onzekerheidsanalyse van de geometrie omvat een vaststelling en beschrijving van de onzekerheden van de gemodelleerde (hydro)geologische modelleenheden. De voornaamste factoren die van invloed zijn op de onzekerheid zijn:

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

3.2.4.1 Aantal en ruimtelijke spreiding van de beschikbare basisgegevens

De ondiepe methode is nagenoeg volledig gebaseerd op boorgegevens; bij een onzekerheidsanalyse dient derhalve het aantal boringen (zie Tabel 2) per modelleenheid te worden beschouwd. Voor de diepe methode bestaan de basisgegevens uit een combinatie van boringen en seismische data en dient naast het aantal boringen ook per eenheid de hoeveelheid gebruikte seismische data meegenomen te worden.

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 ondiepe als diepe bereik namelijk op de locatie van de boringen zelf. De onzekerheid groeit met de afstand tot deze boringen. In het ondiepe model (dat enkel op basis van boringen tot stand kwam) neemt deze onzekerheid sterk toe met de diepte naarmate het aantal boringen vermindert, terwijl deze in het diepe bereik (dat zowel op basis van boringen als seismiek tot stand kwam) gedeeltelijk kan worden opgevangen door de 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 en 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.

De onzekerheid die bepaald wordt door de ruimtelijke spreiding van de beschikbare basisgegevens is ook sterk afhankelijk van de structurele complexiteit van het gebied. Met eenzelfde aantal boringen en kilometers seismiek kan de onzekerheid laag zijn in een weinig complex gebied en hoog in een complex gebied. Weinig complexe gebieden komen in het westen van het modelgebied voor. De complexe gebieden bevinden zich hoofdzakelijk in het midden, oosten en in bijzonder in het noordoosten van het modelgebied. De hogere dichtheid van breuken verhoogt de onzekerheid van de modellen in het oosten en noordoosten dan ook aanzienlijk.

3.2.4.2 De kwaliteit van de gegevens

Naast het aantal en de ruimtelijke spreiding van de data, wordt de onzekerheid ook bepaald door de kwaliteit van de data. Voor de ondiepe modellering is de kwaliteit van de boorbeschrijvingen bepalend. Voor de diepe modellering is de kwaliteit van zowel boringen (met boorgatmetingen) als seismiek bepalend.

De boorbeschrijvingen van de gebruikte boringen wisselen in kwaliteit. Ook binnen een boring kunnen bepaalde trajecten beter zijn beschreven dan andere. Binnen de

ondiepe modellering kunnen slecht beschreven trajecten worden genegeerd in de interpolatie van de vlakken. In het Nederlandse deel van het projectgebied is uitgegaan van een selectieset van boringen. Bij het samenstellen van deze selectieset is reeds rekening gehouden met de kwaliteit van de boorbeschrijvingen, en zijn slechte boorbeschrijvingen niet geselecteerd. In het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied blijkt de kwaliteit van de selectieset van boringen gemiddeld lager te zijn voor het ondiepe bereik, waardoor het aantal genegeerde trajecten in dit deelgebied hoger is.

Het beoogde dieptebereik en de algemene kwaliteit van de seismiek spelen een belangrijke rol (Tabel 11). Het belangrijkste kwaliteitscriterium is de mate waarin seismische reflectoren vervolgd kunnen worden en onderscheidbaar zijn. Over het algemeen is oudere seismiek (jaren 40, 50, 60 van vorige eeuw) van slechtere kwaliteit en de nieuwere seismiek (vanaf jaren 80 vorige eeuw) van een goede kwaliteit, vanwege de verbeterde acquisitie- en processingtechnieken.

Tabel 11. Overzicht van het jaartal, beoogde dieptebereik en de kwaliteit per gebruikte seismische campagne. De termen “ondiep”, “matig diep” en “diep” zijn in dit kader gedefinieerd in relatie tot de voor de olie- en gasindustrie relevante lagen: “ondiep” - dieptebereik in de bovenste 200 m; “matig diep” - dieptebereik tot ca. 1000 m; “diep” - dieptebereik tussen de 500 en 6000 m.

Surveynaam	Jaar acquisitie	2D of 3D	Beoogd dieptebereik	Kwaliteit
L2NAM1958B	1958	2D	Diep	Slecht
L2NAM1969F	1969	2D	Diep	Matig/Slecht
L2NAM1969K	1969	2D	Diep	Matig
L2NAM1970H	1970	2D	Diep	Matig
L2CHE1980A	1980	2D	Diep	Goed
L2BPE1981A	1981	2D	Diep	Goed
L2PET1981D	1981	2D	Diep	Matig
L2BPE1982A	1982	2D	Diep	Goed
L2BPE1984A	1984	2D	Diep	Goed
L2NAM1984B	1984	2D	Diep	Slecht
L2PET1984B	1984	2D	Diep	Matig/Slecht
L2PET1985A	1985	2D	Diep	Matig
L2BPE1989A	1989	2D	Diep	Matig
L2CLY1990A	1990	2D	Diep	Goed
L2CLY1992A	1992	2D	Diep	Goed
L3CLY1992A	1992	3D	Diep	Goed
L3CLY2001A	2001	3D	Diep	Goed
Rijkevorsel	1990	2D	Diep	Matig
Olmen-Meerhout	1986	2D	Diep	Matig
Kanalenseismiek Kempische kanalen	1991	2D	Ondiep	Matig
Leopoldsburg	1984	2D	Diep	Matig
N-flank Brabant Massief	1980	2D	Diep	Goed
Oostmalle	1981	2D	Diep	Matig
Mol-Herentals	2010	2D	Diep	Goed
Campine Basin	1953-1956	2D	Diep	Slecht
Poppel-Lommel-Maaseik	1984	2D	Matig diep	Goed
ONDRAF-NIRAS	1996	2D	Matig diep	Goed

Vanwege de lage kwaliteit van oudere seismiek, is in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied het overgrote deel van de gebruikte seismiek afkomstig uit de jaren 80. In delen van het Vlaamse modelgebied is geen seismiek aanwezig die jonger is dan de jaren 70. Om die reden is ook de oudere, kwalitatief mindere *survey* Campine Basin uit de jaren 1953-1956 gebruikt, die uit veel seismische lijnen bestaat (Figuur 6). In het Vlaamse deel van het modelgebied is daarom sprake van een grote spreiding in ouderdom en daarmee samenhangend van de kwaliteit van de seismische lijnen.

Het merendeel van de seismiek is geschoten voor de verkenning van eenheden ouder dan het Paleogeen. Hierdoor is de betreffende resolutie vaak slecht tot matig

voor het te bestuderen neogene tot paleogene bereik. Onafhankelijk van het bereik waarvoor de seismiek geschoten werd (Tabel 11), 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.

In het grootste deel van het inventarisatiegebied (en het gehele Vlaamse deel) is enkel 2D seismische data beschikbaar die in het algemeen minder betrouwbaar is voor lagen- en breukeninterpretaties en –modellering dan 3D seismische data. De onzekerheid over de horizontale positie van een in de seismiek geïnterpreteerd breukvlak kan oplopen tot 100 à 250 m (vooral in flexuren). Ook dragen de kwaliteit en datadichtheid van de seismische lijnen bij aan de onzekerheid van de gemodelleerde breukposities; deze laatste kan lokaal oplopen tot enkele kilometers tussen de seismische lijnen.

3.2.4.3 *De gebruikte methodiek van modelleren*

Naast 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.

De rasters van de top, basis en dikte van de gemodelleerde ondiepe eenheden bezitten lateraal variërende onzekerheden. Deze onzekerheden hangen deels samen met de gebruikte interpolatiemethode en de onzekerheden in de geologische kennis en informatie, zoals steunpunten en breuken, die daarbij is meegenomen. De interpolatie van de datapunten is uitgevoerd met kriging. Dit is een geostatistische techniek waarbij de mate van correlatie tussen de datapunten wordt gebruikt bij het interpoleren. De mate van correlatie wordt op basis van de beschikbare dataset vastgesteld. Verondersteld is dat deze correlatie over het hele gebied gelijk is, wat echter niet het geval hoeft te zijn. Het is bijvoorbeeld goed denkbaar dat er binnen het verbreidingsgebied van een (model)eenheid deelgebieden zijn waartussen, geologische gezien, toch verschillen bestaan, die tot uiting komen in verschillen in de onderlinge correlatie van de datapunten. Daarnaast wordt er bij de interpolatie tevens van uitgegaan dat de correlatie tussen de datapunten in alle richting gelijk is. Dit is in werkelijkheid vaak niet het geval. Zo zal de correlatie in de richting evenwijdig aan de strekking van een vlak veel groter zijn dan in de richting van de helling.

Een eenvoudige interpolatie van de datapunten levert door het beperkte aantal datapunten veelal geen geologisch plausibel vlak op. Daarom wordt er bij de interpolatie naast de datapunten ook geologische kennis en informatie ingebracht om het interpolatieproces te sturen. Dit kan bestaan uit het toevoegen van steunpunten op specifieke locaties waar het interpolatieproces een onbevredigend, niet plausibel resultaat oplevert, tot het opleggen van geulstructuren door model van trendvlakken. Deze bij het interpolatieproces ingebrachte geologische kennis is behept met een bepaalde mate van onzekerheid.

Breuken worden bij het interpoleren als barrières beschouwd waarbij de datapunten “in de schaduw van de breuk” niet bij de interpolatie van het gebied “aan de voorzijde van de breuk” worden meegenomen. Over de ligging van de breuken en de mate waarin breuken tot in de betreffende eenheid doorwerken bestaat onzekerheid.

Een manier om deze onzekerheden weer te geven is met behulp van onzekerheidskaarten. Met onzekerheidskaarten wordt door middel van de standaarddeviatie inzicht gegeven in de onzekerheid van de gemodelleerde top,

basis en dikte van de eenheden. In de praktijk lijken de huidige onzekerheidskaarten weinig gebruikt te worden. Om die reden is er van afgezien om in tegenstelling tot het project “H3O – Roerdalslenk” onzekerheidskaarten te vervaardigen.

Voor de diepe modellering zitten er onzekerheden in het aanmaken van tijdgrids, de omzetting hiervan naar dieptegrids en de invulling van de ruimte tussen de dieptegrids van de seismische referentievlakken met overige eenheden.

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 modelgebied is echter voornamelijk 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 zijn in sommige gebieden verkleind door het gebruik van geologische informatie nabij de oppervlakte, namelijk hoogtemodellen en boringen.

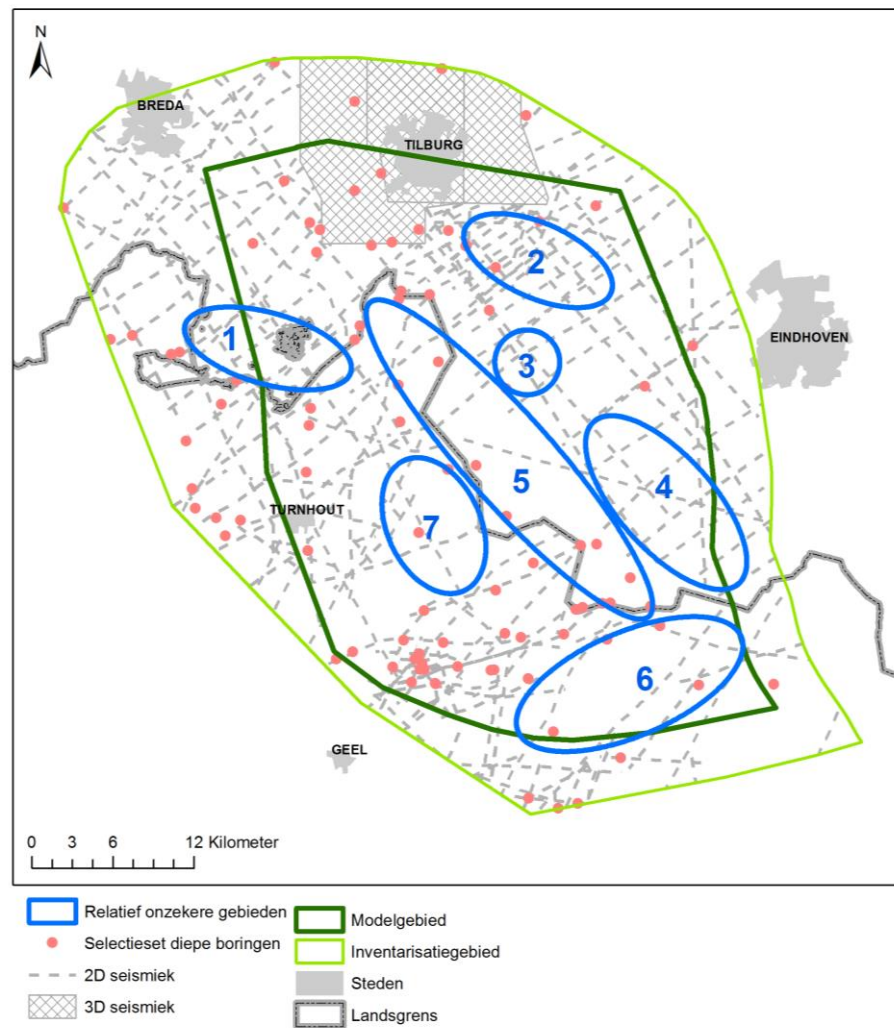
Een tweede onzekerheid hangt samen met onzekerheden in het snelheidsmodel. Een uitgebreide beschrijving van de methodiek en onzekerheidskaarten voor de snelheden is na te lezen in VELMOD-3 projectrapport (Pluymaekers et al., 2017). De snelheidsgrids in het projectgebied zijn gebaseerd op interpolatie van een beperkt aantal boringen, die bovendien enige clustering vertonen (Figuur 17), waardoor er grote onzekerheden zijn. In het Nederlandse deel van het projectgebied is dit maximaal twee boringen waarvan één boring een incomplete *sonic log* heeft en grote onzekerheid voor de V_0 -waarde oplevert. Het verticale bereik is in dit deel slechts opgedeeld in twee snelheidsintervallen, gericht op een *best fit* voor de basis van het interval. Tussenliggende intervallen kunnen een hogere of lagere snelheid hebben wat kan bijdragen aan een restverschil met de diepte volgens de boring. Door de dieptecorrectie na de tijd-diepteconversie op de locatie van de boringen is de onzekerheid op de locatie van de boringen beperkt. Op verdere afstand van de boringen neemt de onzekerheid toe mede door veranderingen in lithologie en fysische eigenschappen zoals verschillen in consolidatiegraad van de gesteenten.

Een derde onzekerheid hangt samen met de modellering van de overige eenheden (buiten de seismische referentievlakken). De modellering van deze overige eenheden is namelijk uitgevoerd op basis van slechts een beperkt aantal boorgegevens en sturing vanuit geologische concepten. Vanwege het beperkt aantal boringen zijn deze concepten echter vaak onzeker omdat ze dan amper getoetst kunnen worden aan boorinterpretaties. Verder steunt de modellering van de tussenliggende eenheden ook volledig op de seismische referentievlakken, waardoor de hierboven opgesomde onzekerheden voor de seismische referentievlakken ook voor de tussenliggende eenheden gelden. Door deze som van onzekerheden, is het verloop van de tussenliggende eenheden algemeen onzekerder dan deze van de seismische referentievlakken.

3.2.4.4 Gebieden met een hogere onzekerheid

Op grond van bovenstaande analyses is een overzicht samengesteld van de gebieden waarvan de modelresultaten relatief onzeker zijn (Figuur 32). Deze gebieden zijn hieronder beknopt beschreven:

1. De regio Ulicoten – Baarle-Nassau/Baarle-Hertog waarvan slechts weinig matig diepe boringen met een kwalitatief goede boorbeschrijving beschikbaar zijn.
2. Het gebied gelegen tussen Hilvarenbeek, Moergestel en Oirschot waarvan eveneens weinig matig diepe boringen met een kwalitatief goede boorbeschrijving beschikbaar zijn.
3. Het gebied gelegen tussen Lage Mierde en Westelbeers waar de (hydro)geologische opbouw complex is maar met daarentegen slechts een gering aantal matig diepe boringen met een kwalitatief goede boorbeschrijving.
4. De regio Hapert – Eersel – Bergeijk waar de geologische opbouw complex is maar de boringen veelal te ondiep zijn en de kwaliteit van de boorbeschrijvingen slecht is.
5. Het Nederlandse en Vlaamse deel van de grensstreek tussen ruwweg Poppel en Luyksgestel waar enerzijds sprake is van een complexe geologische opbouw maar waar anderzijds slechts een gering aantal matig diepe boringen met een goede boorbeschrijving beschikbaar is en ook de dichtheid aan seismische data laag is en de kwaliteit van de beschikbare seismische data matig is.
6. In het gebied rondom Lommel zijn er weinig ondiepe, matig diepe en geen diepe boringen aanwezig, is de seismische data algemeen van lage kwaliteit en ver gespatieerd.
7. In het gebied tussen Turnhout en Arendonk zijn er geen diepe boringen aanwezig, is de seismische data algemeen van lagere kwaliteit en ver gespatieerd.



Figuur 32. Gebieden waarvan de modelresultaten relatief onzeker zijn.

4 Conclusie en aanbevelingen

4.1 Conclusies

De specifieke doelstelling van het “H3O – De Kempen” project is:

“Het gezamenlijk samenstellen van een grensoverschrijdend, 3D geologisch en een daarop gebaseerd hydrogeologisch lagenmodel van het Cenozoïcum van het projectgebied 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:

- Ten behoeve van de (hydro)geologische modellering van de ondergrond is een correlatie tussen Belgische en Nederlandse lithostratigrafische eenheden uitgevoerd. Door deze correlaties vormen de geologische en hydrogeologische interpretaties en modellen een onderling consistent geheel.
- 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.
- Van het grensoverschrijdende modelgebied zijn uniforme geologische en hydrogeologische modellen van het Cenozoïcum samengesteld. In deze modellen komen langs de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitingsproblemen meer voor.

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 het modelgebied beschikbaar.
- Ten opzichte van de bestaande Vlaamse G3Dv2- en HCOV-modellen bevatten de modellen een verdere onderverdeling van het Quartair.
- Ten opzichte van de bestaande Nederlandse modellen DGM v2.2 en REGIS II v2.2 en het Vlaamse model G3Dv2, zijn de huidige geologische en hydrogeologische modellen op meer gegevens (meer boringen en seismiek) gebaseerd en vertonen daardoor meer detail.

Andere belangrijke constatering zijn:

- Het project heeft geleid tot een sterk toegenomen (hydro)geologisch inzicht in het Quartair en het jongste Neogeen van het Vlaamse deel van het modelgebied en in het Neogeen en Paleogeen van het Nederlandse deel.
- Enkele opeenvolgende lithostratigrafische, zandige eenheden zijn gecombineerd omdat deze eenheden moeilijk of niet van elkaar te onderscheiden zijn in de beschikbare gegevens.
- De beschikbaarheid en kwaliteit van de boorgegevens en seismische gegevens variëren sterk binnen het gebied. Daarnaast verschilt de geologische complexiteit over het gebied. De betrouwbaarheid van de modellen varieert hierdoor regionaal sterk. In het oog springende, onzekere gebieden zijn:
 - de regio Ulicoten – Baarle-Nassau/Baarle-Hertog

- het gebied tussen Hilvarenbeek, Moergestel en Oirschot
- het gebied gelegen tussen Lage Mierde en Westelbeers
- de regio Hapert – Eersel – Bergeijk
- de grensstreek tussen ruwweg Poppel en Luyksgestel
- het gebied rondom Lommel
- het gebied tussen Turnhout en Arendonk.
- Er zijn weinig snelheidsdata van het gebied beschikbaar waardoor de snelheidsmodellen, die gebruikt zijn om de seismische interpretaties van tijd naar diepte te converteren, onzeker zijn.
- Er is voor het Vlaamse deel behoefte aan een gedefinieerde selectieset van de gehele DOV-boringendatabank van kwalitatief goede boringen die volledig (van maaiveld tot einddiepte) litho- en hydrostratigrafisch geïnterpreteerd zijn.

4.2 Aanbevelingen

- In het kader van het project zijn gedetailleerde modellen opgesteld van een gebied dat gekenmerkt wordt door sterk variërende afzettingssmilieus sinds het Mioceen. Om de nieuwe inzichten hierin onder de aandacht te brengen van een groot publiek, wordt aanbevolen om de resultaten te publiceren in een internationaal peer-reviewed tijdschrift.
- Met dit project is een grensoverschrijdend geologisch en hydrogeologisch model van het gebied de Kempen in Zuidoost-Nederland en Noordoost-Vlaanderen tot stand gekomen. Om de Nederlandse en Vlaamse informatie van dit gebied consistent en actueel te houden wordt aanbevolen om door middel van 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.
- De resultaten van palynologisch onderzoek zijn gebruikt bij de oplossing van verscheidene Belgisch-Nederlandse lithostratigrafische correlaties. Bij vervolgprojecten is het aan te bevelen om in het projectplan aanvullend onderzoek, zoals palynologisch onderzoek of zware mineralenanalyses, op te nemen ter ondersteuning van de interpretatie van de boringen en de grensoverschrijdende correlatie.
- Ten behoeve van de efficiëntie dienen bij vervolgprojecten de werkzaamheden in één en hetzelfde coördinatenstelsel en referentieniveau te worden uitgevoerd; coördinaatconversies zouden beperkt moeten blijven tot omzettingen bij de datavoorbereiding en bij het samenstellen van de datasets van de definitieve, op te leveren modellen.
- Er wordt aanbevolen om voor heel Vlaanderen selectiesets aan te maken van kwalitatief hoogwaardige en volledig (van maaiveld tot einddiepte) litho- en hydrostratigrafisch geïnterpreteerde boringen.
- De vervaardigde grensoverschrijdende modellen geven een driedimensionaal beeld van de geometrie van de (hydro)geologische eenheden. Voor toepassing in (hydro)geologische studies is het wenselijk om ook een ruimtelijk beeld te hebben van de (variatie van de) lithologische en hydraulische eigenschappen van deze eenheden. Grondig onderzoek van de boringen is nodig om daarin inzicht te krijgen. Voor een goede en efficiënte analyse van de boorgegevens is het coderen van de Vlaamse boorbeschrijvingen een vereiste. Het samenstellen

van dergelijke kaarten is daardoor erg bewerkelijk en kostbaar en maakte om die reden geen deel uit van het project.

- Aanbevolen wordt om bij het uitvoeren van nieuwe boringen te kiezen voor een boormethode waarbij de monsters zo min mogelijk worden verstoord en standaard een geofysische boorgatmeting met minimaal een gamma- en resistiviteitslog uit te laten voeren. Voor de diepere boorgaten is tevens een snelheidslog van het hele boortraject wenselijk.
- Aanbevolen wordt om onderzoek te doen door middel van georadar of ondiepe seismiek op de plaatsen waar de door Vandenberghe (1990) vastgestelde geoelektrische contrasten niet aansluiten bij de op basis van de seismiek geïnterpreteerde breuken.
- Van bepaalde delen van het modelgebied zijn weinig tot geen boorgegevens en seismische gegevens beschikbaar of is de kwaliteit van deze gegevens laag. Om de modellen in deze regio's te verbeteren, is er behoefte aan nieuwe, betere gegevens. Het betreft de volgende gebieden:
 - de regio Ulicoten – Baarle-Nassau/Baarle-Hertog (goede matig diepe boringen gewenst);
 - het gebied tussen Hilvarenbeek, Moergestel en Oirschot (goede matig diepe boringen gewenst);
 - het gebied gelegen tussen Lage Mierde en Westelbeers (goede matig diepe boringen gewenst);
 - de regio Hapert – Eersel – Bergeijk (goede matig diepe boringen gewenst)
 - de grensstreek tussen ruwweg Poppel en Luyksgestel (goede matig diepe boringen en seismiek gewenst);
 - het gebied rondom Lommel (goede boringen en seismiek gewenst);
 - het gebied tussen Turnhout en Arendonk (seismiek gewenst).
- Er zijn in het centrale en oostelijke deel van het modelgebied geen seismische lijnen die over de Belgisch-Nederlandse grens lopen. Er is daardoor geen rechtstreekse aansluiting mogelijk tussen de Vlaamse en Nederlandse seismische interpretaties. Om deze aansluiting in de toekomst wel te verkrijgen, is er behoefte aan grensoverschrijdende seismische campagnes of lijnen die bestaande seismische campagnes over de grens heen verbinden.

5 Literatuurlijst

Adrichem Boogaert, H.A. van & Kouwe, W.F.P. (1993-1997). Stratigraphic nomenclature of the Netherlands; revision and update by RGD and NOGEPA. Mededelingen Rijks Geologische Dienst 50. Haarlem: Rijks Geologische Dienst.

Bisschops, J.H., Broertjes, J.P. & Dobma, W. (1985). Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1 : 50.000, Blad Eindhoven west (51W). Haarlem: Rijks Geologische Dienst.

Bogemans, F., (1997). Quartairgeologische Kaart: Kaartblad 2-8, Meerle-Turnhout. Brussel: Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

Bogemans, F., (1998). Quartairgeologische Kaart: Kaartblad 3-9, Maarle-Arendonk. Brussel: Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

Bogemans F. (2005a). Toelichting bij de Quartairgeologische Kaart : Kaartblad 2-8 Meerle-Turnhout. Brussel, Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

Bogemans F. (2005b). Toelichting bij de Quartairgeologische Kaart: Kaartblad 3-9 Arendonk-Maarle. Brussel, Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

Childs, C., Manzocchi, T., Walsh, J.J., Bonson, C.G., Nicol, A. & Schöpfer, M. (2009). A geometric model of fault zone and fault rock thickness variations. *Journal of Structural Geology*, 31, 117-127.

Deckers, J., Vernes, R.W., Dabekaussen, W., Den Dulk, M., Doornenbal, H., Duser, M., Hummelman, J., Matthijs, J., Menkovic, A., Reindersma, R., Walstra, J., Westerhoff, W. & Witmans, N. (2014). 3D Geological and hydrogeological model of the Cenozoic Roer Valley Graben in southeastern Netherlands and Flanders (H3O – Roer Valley Graben). Mol, Belgium & Utrecht, the Netherlands: VITO & TNO Geological Survey of the Netherlands.

Gullentops, F., Paulissen, E. & Vandenberghe, N. (2006). Toelichting bij de Quartairgeologische Kaart: Kaartblad 17, Mol. Brussel: Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

Gunnink, J.L., Maljers, D. Gessel, S.F. van, 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.

Langenaeker, V. (2001). The Campine Block. Stratigraphy, structural geology, coalification and hydrocarbon potential for the Devonian to Jurassic. *Aardkundige Mededelingen* 10, 1-142.

Matthijs, J., Lanckacker, T., Koninck, R. De, Deckers, J., Lagrou, D. & Broothaers, M. (2013). Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest - versie 2, G3Dv2. VITO-rapport 2013/R/ETE/43. Mol: VITO.

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). Brussel: VUB.

Meyus, Y., Cools, J., Adyns, D., Zeleke, S.Y., Woldeamlak, S.T., Batelaan, O. & De Smedt, F. (2005). Hydrogeologische detailstudie van de ondergrond in Vlaanderen. Eindrapport. Brussel: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer, Afdeling Water.

NCS (z.j.). National Commission for Stratigraphy Belgium. Geraadpleegd via: <https://ncs.naturalsciences.be/>

Pluymaekers, M.P.D., Doornenbal, J.C. & Middelburg, H. (2017). VELMOD-3.1. TNO-rapport 2017 R11014. Utrecht: TNO TNO – Geologische Dienst van Nederland. Beschikbaar via www.nlog.nl.

TNO (2001). Geological Atlas of the Subsurface of the Netherlands – Explanation to map sheets XIII and XIV Breda-Valkenswaard and Oss-Roermond. Utrecht: Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO – National Geological Survey.

TNO (2011). Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond, versie 2011. Geraadpleegd via: <http://www.dinoloket.nl/nomenclatorShallow/start/start/introduction/index.html>.

TNO (2017). Overzicht hydrogeologische eenheden REGIS II v2.2. Geraadpleegd via: https://www.dinoloket.nl/sites/www.dinoloket.nl/files/file/DINOloket_Modeleenheden_REGIS_II_v2r2_20170814.pdf.

TNO (z.j.) Zware mineralen. Geraadpleegd op 12 oktober 2017 via: <http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/i000315.html>

Vandenberghe, J. (1982). Geoelectric investigations of a fault system in Quaternary deposits. *Geophysical prospecting* 30, 879-897.

Vandenberghe, J. (1984). Possibilities and limitations in the use of the electric resistivity method in Quaternary geology (a case study from the Dutch-Belgian Campine area). *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, 39, 275-278.

Vandenberghe, J. (1990). Morphological effects of Pleistocene faulting in unconsolidated sediments (Central Graben, Netherlands). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 34, 113–124.

Vernes, R.W. & Doorn, Th.H.M. van (2005). Van Gidslaag naar Hydrogeologische eenheid, Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. TNO-rapport NITG 05-038-B. Utrecht: TNO.

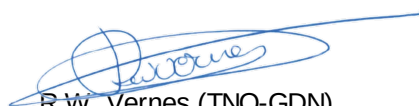
6 Ondertekening

Utrecht, juni 2018



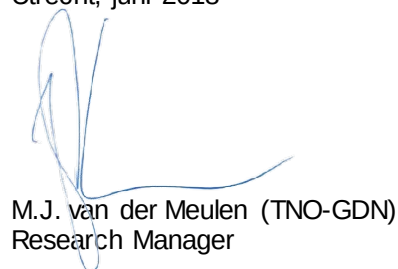
G.J. Vis (TNO-GDN)
(Tweede lezer)

Autorisatie Vrijgave:
Utrecht, juni 2018



R.W. Vernes (TNO-GDN)
Projectleider/Auteur

Utrecht, juni 2018



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

Autorisatie Vrijgave:
Mol, juni 2018



J. Deckers (VITO)
Projectleider/Auteur

Mol, juni 2018



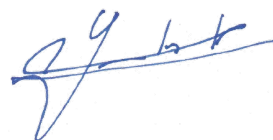
S. Janssen (VITO)
Projectenmanager

Autorisatie Vrijgave:
Brussel, juni 2018



V.M.A. Heyvaert (BGD/KBIN)
Projectleider

Brussel, juni 2018



Y. Vanbrabant (BGD/KBIN)
Directeur Belgische Geologische Dienst

A Parameters voor de transformaties van coördinaten van RD naar Lambert 72 en van Lambert 72 naar RD in ArcGIS 10.4

Parameters voor de transformaties van coördinaten van RD naar Lambert 72 en van Lambert 72 naar RD in ArcGIS 10.4

EPSG-codes:

RD new : 28992

Belge Lambert 1972: 31370

Parameters RD <-> ETRS

```
GEOGTRAN["Amersfoort_To_ETRS_1989_MB",GEOGCS["GCS_Amersfoort",DATUM["D_Amersfoort",SPHEROID["Bessel_1841",6377397.155,299.1528128]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]],GEOGCS["GCS_ETRS_1989",DATUM["D_ETRS_1989",SPHEROID["GRS_1980",6378137.0,298.257222101]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]],METHOD["Molodensky_Badekas"],PARAMETER["X_Axis_Translation",593.032],PARAMETER["Y_Axis_Translation",26.0],PARAMETER["Z_Axis_Translation",478.741],PARAMETER["X_Axis_Rotation",0.4093943874392368],PARAMETER["Y_Axis_Rotation",-0.3597051956143113],PARAMETER["Z_Axis_Rotation",1.868491000350572],PARAMETER["Scale_Difference",4.0772],PARAMETER["X_Coordinate_of_Rotation_Origin",3903453.148],PARAMETER["Y_Coordinate_of_Rotation_Origin",368135.313],PARAMETER["Z_Coordinate_of_Rotation_Origin",5012970.306]]
```

Parameters LB72 <-> ETRS

```
GEOGTRAN["Belge_1972_To_WGS_1984_3",GEOGCS["GCS_Belge_1972",DATUM["D_Belge_1972",SPHEROID["International_1924",6378388.0,297.0]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]],GEOGCS["GCS_WGS_1984",DATUM["D_WGS_1984",SPHEROID["WGS_1984",6378137.0,298.257223563]],PRIMEM["Greenwich",0.0],UNIT["Degree",0.0174532925199433]],METHOD["Coordinate_Frame"],PARAMETER["X_Axis_Translation",-106.868628],PARAMETER["Y_Axis_Translation",52.297783],PARAMETER["Z_Axis_Translation",-103.723893],PARAMETER["X_Axis_Rotation",-0.33657],PARAMETER["Y_Axis_Rotation",0.456955],PARAMETER["Z_Axis_Rotation",-1.842183],PARAMETER["Scale_Difference",-1.2747]]
```

Bron: <https://resources.arcgis.com/en/help/rest/apiref/dattrans.htm>

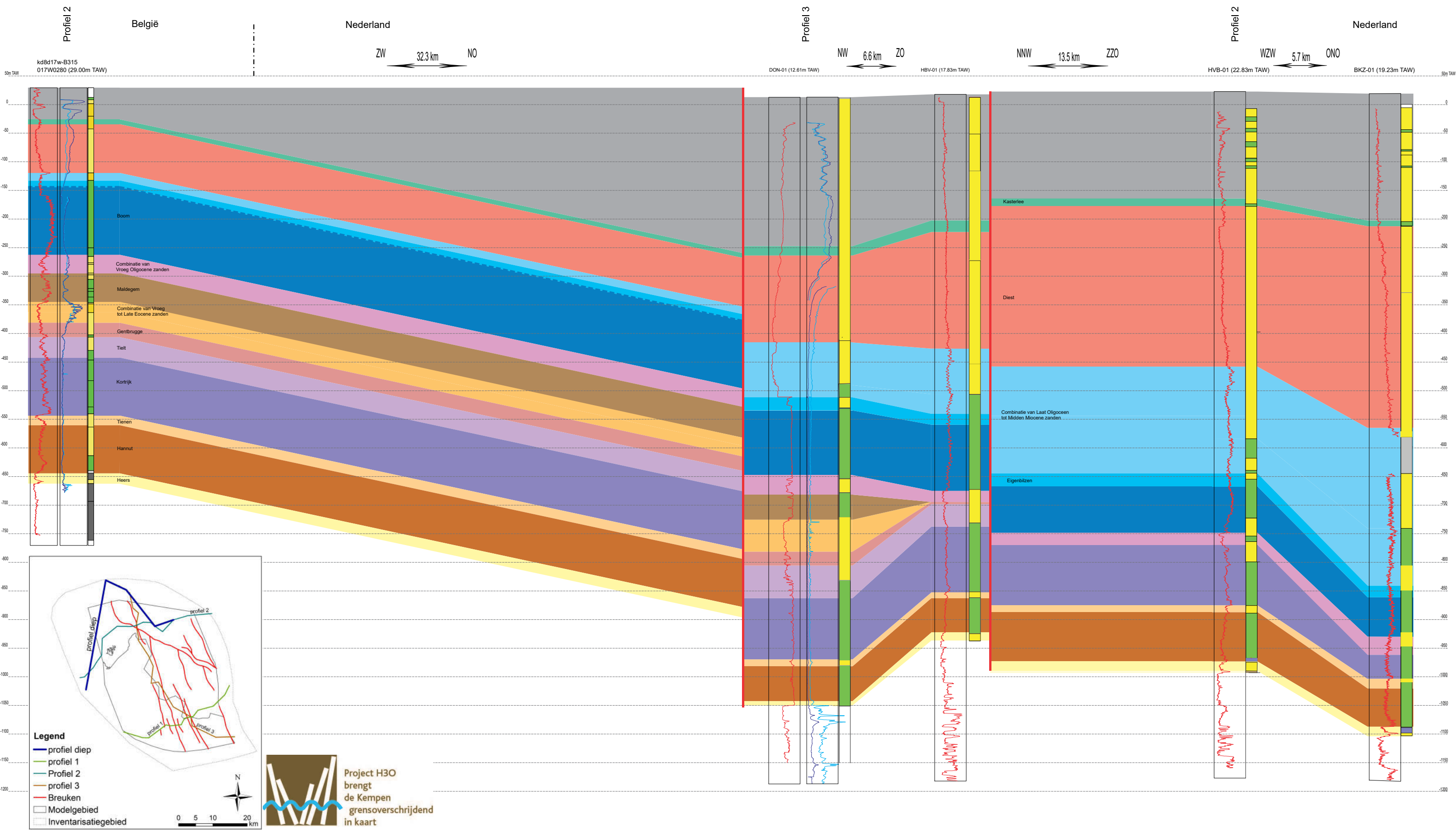
B Lithostratigrafische indelingen

Nederlandse stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)				Belgische stratigrafische eenheid (formatie - lid)				
(Tussen haakjes: karteereenheid Vlaanderen)				<i>Cursief: nieuwe eenheid ter discussie, NCS 2015</i>				
Marien	Fluviatiel - Rijn/Maas	Fluviatiel - lokale rivieren	Overig	Marien	Fluviatiel - Rijn/Maas	Fluviatiel - lokale rivieren	Overig	
			Antropogeen - opgebrachte grond				(Antropogeen)	
			Boxtel - Singraven				(Singraven)	
			Boxtel - Kootwijk				<i>Coo - Arenberg</i>	
			Boxtel - Wierden / Boxtel - Delwijnen				Hechtel-Kalmthout	
			Boxtel - Liempde				<i>Gent - Achterbos</i>	
			Boxtel - Best				Gent - Wildert	
			Boxtel - ongedifferentieerd				<i>Gent - Opgrimbie</i>	
							Gent - Sint-Lenaarts	
		<i>Gent - Tisselt</i>						
		?						
	(Complex van Meer)							
	(herwerkt Maas-Rijn)							
	<i>Limburg -partim</i>							
	Sterksel - ongedifferentieerd	Stramproy - ongedifferentieerd			Sterksel - Lommel, Bocholt	Mol - partim (Stramproy)		
					Ravels			
Waalre - ongedifferentieerd					Weelde - Turnhout			
					Weelde - Beerse			
					Weelde - Rijkvorsel			
					Malle - Vosselaar			
					Malle - Brasschaat			
Maassluis - ongedifferentieerd					Merkspas			
Lillo - Merksem + Zandvliet								
Oosterhout - ongedifferentieerd	Kiezeloëliet - Brunssum			Lillo (excl Merksem + Zandvliet) / Poederlee	Mol			
	Kiezeloëliet - Waubach							
				Kattendijk + Kasterlee (zand)				

C Correlatieprofielen

Profiel Diep

Versie 20/12/2017

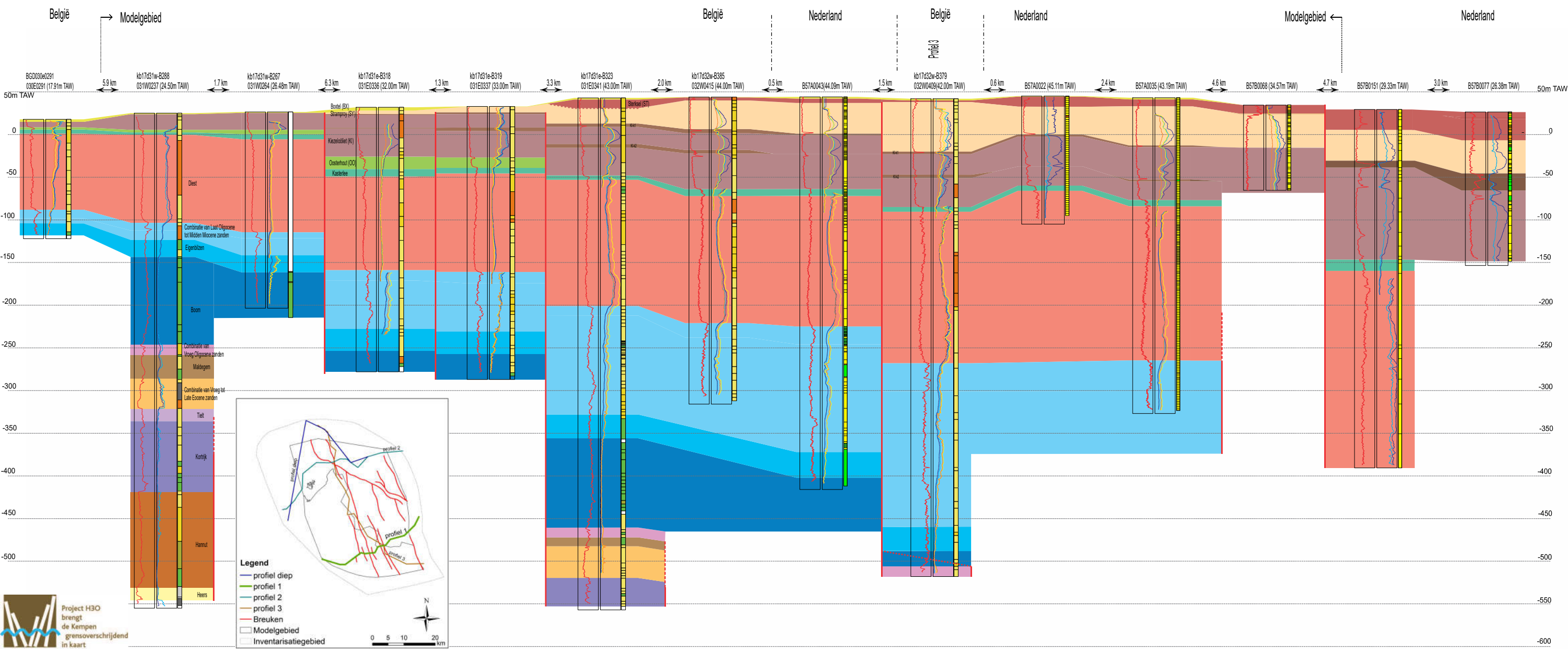


WSW

Profiel 1

Versie 20/12/2017

ENE

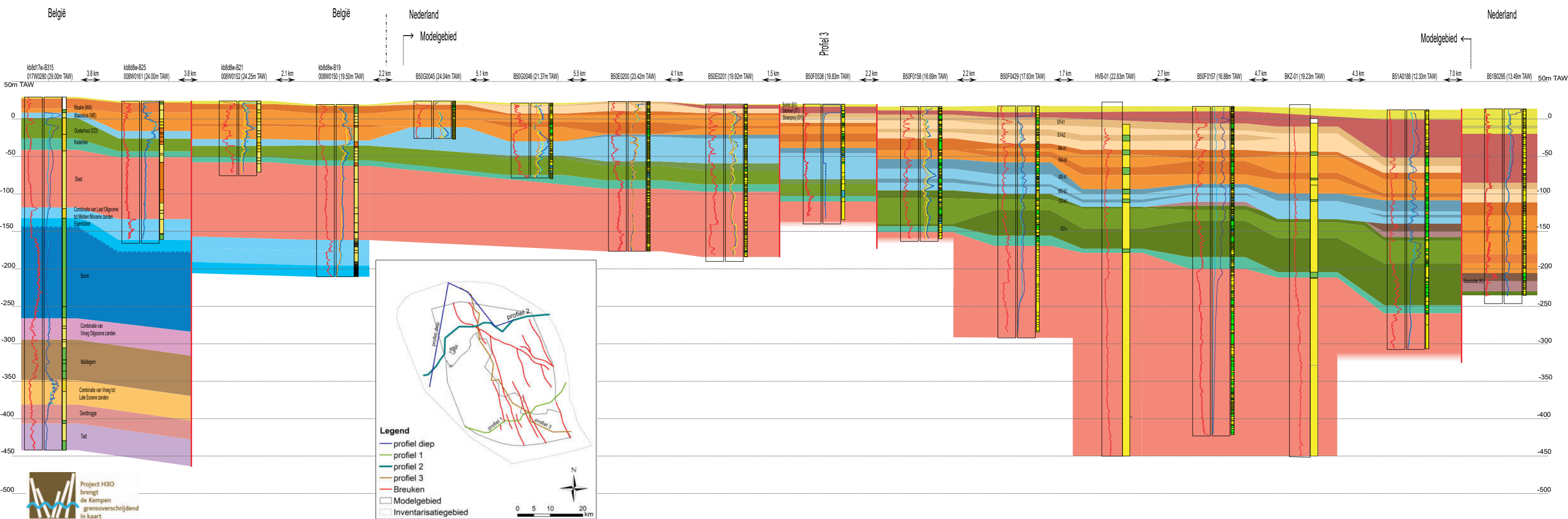


WZW

Profiel 2

Versie 20/12/2017

ONO

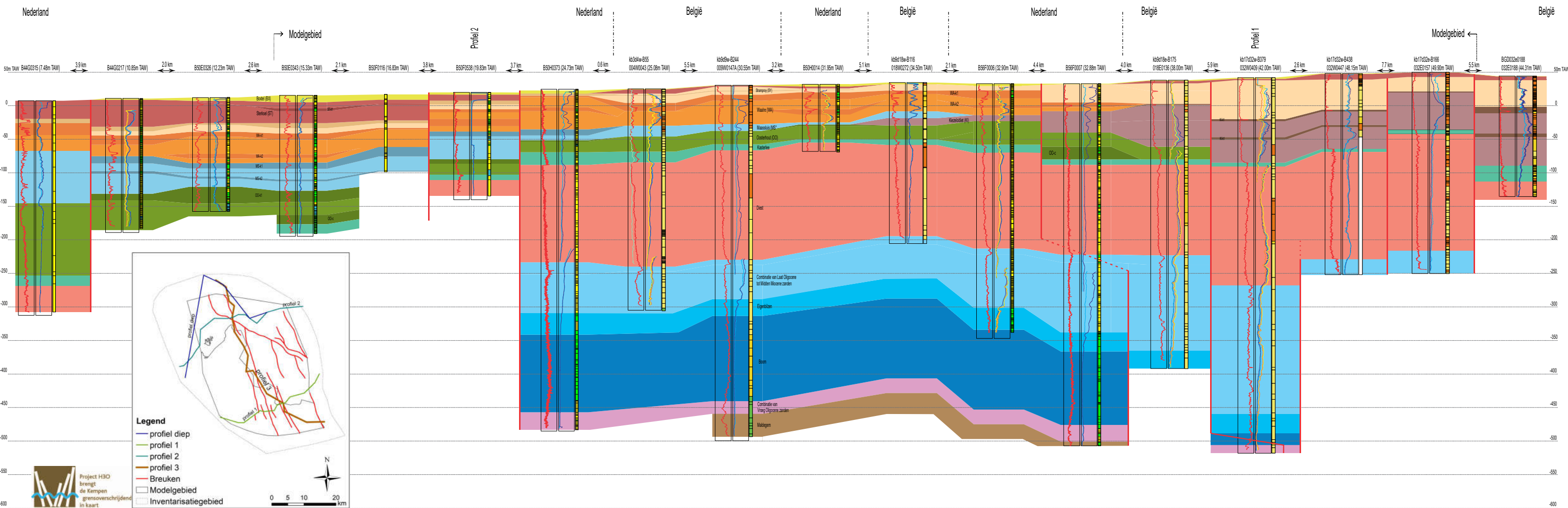


NNW

Profil 3

Versie 20/12/2017

20



Legenda

Algemeen

- . . . grens België-Nederland
- één of meerdere breuken

Boorgatmetingen

- gamma-ray (variabele schaal)
- long normal resistivity (ohmm, variabele schaal)
- long normal resistivity (ohmm, variabele schaal)
- short normal resistivity (ohmm, variabele schaal)
- short normal resistivity (ohmm, variabele schaal)

Lithologie boringen

- grof zand
- zand
- fijn zand
- silt
- klei
- veen
- schelpen
- mergel
- steen / rots

Stratigrafie

- Formatie van Boxtel
- Formatie van Boxtel (klei)
- Formatie van Sterksel

- Formatie van Sterksel (klei)
- Formatie van Stramproy
- Formatie van Stramproy (klei)
- Formatie van Waalre
- Formatie van Waalre (klei)
- Formatie van Maassluis
- Formatie van Maassluis (klei)
- Kiezeloölietformatie
- Kiezeloölietformatie (klei)
- Formatie van Oosterhout
- Formatie van Oosterhout (klei)
- Ongedefinieerd (Profiel Diep)
- Formatie van Kasterlee, kleig deel
- Formatie van Diest
- Complex van Laat-Oligocene tot Midden-Miocene zanden
- Formatie van Eigenbilzen
- Formatie van Boom
- Complex van Vroeg-Oligocene zanden
- Formatie van Maldegem
- Complex van Vroeg- tot Laat-Eocene zanden
- Formatie van Gentbrugge
- Formatie van Tielt
- Formatie van Kortrijk
- Formatie van Tienen
- Formatie van Hannut
- Formatie van Heers (Incl. Maaseik)

D Beschrijving van de geologische (model)eenheden opgesteld door Michiel Duser (BGD)

Auteur: Michiel Duser (BGD/KBIN)

- 0 Inleiding
 - 1 Formatie van Bortel
 - 2 Formatie van Sterksel
 - 3 Formatie van Stramproy
 - 4 Formatie van Waalre
 - 5 Formatie van Maassluis
 - 6 Formatie van Oosterhout
 - 7 Kiezeloöiet Formatie
 - 8 Informele eenheid Kasterlee Klei
 - 9 Formatie van Diest
 - 10 Combinatie van laat-oligocene tot midden-miocene zanden / Veldhoven Klei
 - 11 Formatie van Eigenbilzen
 - 12 Formatie van Boom
 - 13 Combinatie van vroeg-oligocene zanden
 - 13.1 Formatie van Zelzate
 - 13.2 Formatie van Bilzen
 - 13.3 Formatie van Sint-Huibrechts-Hern
 - 14 Formatie van Maldegem
 - 15 Combinatie van vroeg- tot laat-eocene Zanden
 - 15.1 Formatie van Lede
 - 15.2 Formatie van Brussel
 - 15.3 Formatie van Gentbrugge, Laagpakket van Vlierzele
 - 16 Formatie van Gentbrugge, kleig deel (Laagpakketten van Pittem en Merelbeke)
 - 17 Formatie van Tiel
 - 18 Formatie van Kortrijk
 - 19 Formatie van Tienen
 - 20 Formatie van Hannut
 - 21 Formatie van Heers
- Referentielijst

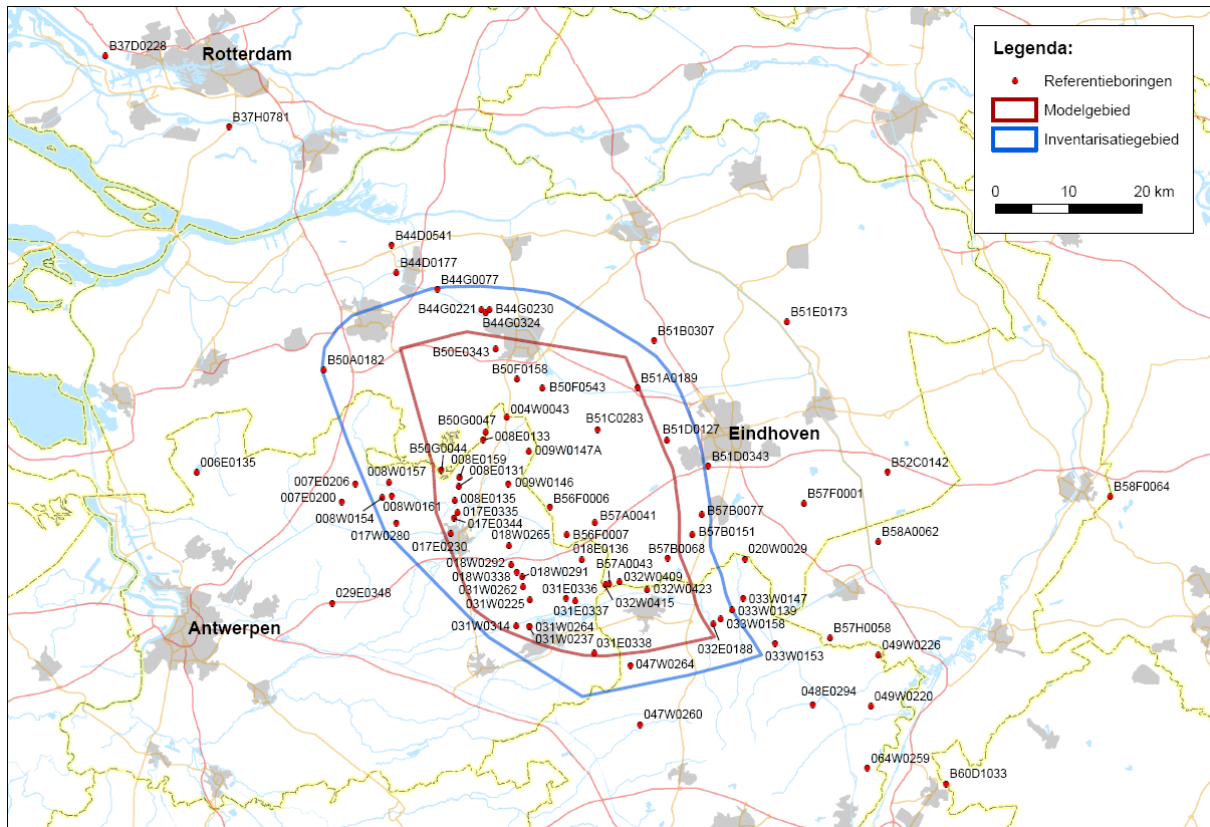
Inleiding

De grensoverschrijdende lithostratigrafische correlatietabel voor H3O - De Kempen moet voldoende gemotiveerd zijn vanuit de toch wel complexe geologische opbouw van het gebied en beantwoorden aan formele stratigrafische richtlijnen. De stratigrafische onderverdeling moet worden ondersteund door criteria, hanteerbaar op de beschikbare dataset en toepasbaar op de hydrostratigrafische onderverdeling. De correlatietabel vormt een synthese die gebruik maakt van codes voor de overeenkomstige litho- en hydrostratigrafie en de correlatie met de Belgische en Nederlandse stratigrafie.

De formele basis voor de omschrijving van de criteria is de Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond van TNO – Geologische Dienst Nederland, beschikbaar via DINoloket, dinoloket.nl/nomenclator-ondiep (TNO, 2013) enerzijds en de beschrijving van de Belgische Tertiaire en Quartaire formaties, beschikbaar op de website van de Belgische Nationale Commissie voor stratigrafie (ncs.drupalgardens) anderzijds. Naar deze informatiebronnen wordt verwezen voor wezenlijke doch moeilijk waarneembare eigenschappen zoals ouderdom, herkomst, sedimentaire structuren, evolutie van de stratigrafische inzichten. De stratigrafische indeling gevolgd in de bestaande Vlaamse en Nederlandse 2D kartering kan hieraan een eigen invulling geven of zelfs ervan afwijken (bijv. Doppert et al., 1975). Een onmiskenbaar aandachtspunt is de toepasbaarheid van de nieuwe correlatietabel op de huidige 3D kartering (zie bijv. Matthijs et al., 2013; Deckers et al., 2013). De relatie tussen litho- en hydrostratigrafie steunt op de principes uiteengezet in Vernes et al., 2005.

Vertrekpunt voor deze toelichting is de gelijkaardige oefening uitgevoerd voor het eerste grensoverschrijdend project H3O - Roerdalslenk, waarnaar in het algemeen wordt verwezen (Deckers et al., 2014b). De resultaten van dit eerste project zijn al op diverse forums voorgesteld (bijv. Heyvaert et al., 2016; Lanckacker et al., 2016; Vernes et al., 2014a, b; Walstra et al., 2016) of verwerkt in meer gedetailleerde stratigrafische studies, waarnaar wordt verwezen bij de bespreking van de betreffende formaties. Boringen vermeld in de toelichtingen staan gelokaliseerd op onderstaande kaart.

Alhoewel de meeste formaties in beide aansluitende gebieden voorkomen is het helemaal geen copy-paste oefening maar een iteratief proces geworden; daarvoor is de tectono-sedimentaire dynamiek aan de rand van het Noordzeebekken en op de overgang van de Roerdalslenk met sterke input van continentale oorsprong naar een marien milieu te sterk. Daarenboven graaft deze toelichting dieper naar kenmerken, verschillen en variabiliteit van de zowel verticaal als horizontaal opeenvolgende formaties. Deze toelichting beschrijft derhalve de stratigrafische eenheden zoals ze in het H3O De Kempen projectgebied herkend en gemodelleerd zijn.



Locatiekaart van de gebruikte boringen.

1. Formatie van Boxtel

Code: BX

De Formatie van Boxtel werd gedefinieerd door Schokker (2003), opgenomen als lithostratigrafische eenheid (Schokker et al., 2005; 2007) en groepeerde alle fijnkorrelige eolische, lacustriene en kleinschalig fluviatiele afzettingen van Midden- tot Laat-Pleistocene en Holocene ouderdom, afgezet bovenop glaciale afzettingen in noordelijk Nederland en grofkorrelige fluviatiele afzettingen van Maas en Rijn in zuidelijk Nederland. In Vlaanderen rust de Formatie van Boxtel (in het H3O-modelgebied) ook op oudere Neogene afzettingen. De Formatie van Boxtel is kenmerkend voor de Roerdalslenk en is van toepassing in de H3O-projectgebieden.

Het holostratotype van de Formatie van Boxtel is gedefinieerd in de kernboring Boxtel – Breede Heide 2 (B51B0307) nabij Boxtel in het centrale deel van de Roerdalslenk, waar de formatie zijn grootste dikte bereikt: diepte van 27,30 m tot maaiveld (Schokker, 2003) – (Fig. 1.1).

Onderverdeling

Binnen de Formatie van Boxtel worden de volgende afzettingen aangetroffen: eolische zandige en siltige afzettingen (verschillende afzettingvormen), ‘desert pavements’, kleinschalige fluviatiele afzettingen, hellingafzettingen, lacustriene afzettingen en organogene accumulatievormen. Een groot deel van deze afzettingen is onder koude, periglaciale omstandigheden gevormd, wat heeft geleid tot verstoring van de oorspronkelijke sedimentaire opeenvolging door vorstwerking.

De Formatie van Boxtel wordt in volgende laagpakketten onderverdeeld (met vereenvoudigde faciesomschrijving):

NL

Kootwijk	(stuifzandafzettingen)
Singraven	(beekafzettingen)
Delwijnen	(rivierduinafzettingen)
Wierden	(dekzandafzettingen)
Liempde	(lemige eolische en verspoelde eolische afzettingen)
Schimmert	(lössafzettingen)
Tilligte	(fluvio-lacustriene afzettingen in glaciale bekkens)
Best	(dieper gelegen fluvio-lacustriene en lacustro-eolische afzettingen)

Een groot deel van de afzettingen van de F. v. Boxtel (in de Roerdalslenk ca. 80%) wordt echter niet nader onderverdeeld op laagpakketniveau.

De Laagpakketten van Delwijnen, Schimmert en Tilligte worden in het projectgebied niet onderscheiden.

Het Laagpakket van Singraven wordt lateraal begrensd op basis van de morfologische en bodemkundige kartering van de beekvalleien (Nederlandse hydrogeologische eenheid HL-c). Het Laagpakket van Liempde en het Laagpakket van Best worden uitsluitend onderscheiden in de Roerdalslenk.

Boorgatmetingen zijn niet bepalend voor het herkennen en onderverdelen van deze formatie (Fig. 1.2). Wel is het zo dat het kwartsrijke zand van de Formatie van Boxtel een duidelijk lagere gamma-uitslag heeft dan het onderliggende veldspaat- en glimmerrijk zand van de Formatie van Sterksel.

De Formatie van Boxtel vervangt de informele Nuenen Groep (Bisschops, 1973; Bisschops et al., 1985) en de Formatie van Twente, Formatie van Asten en Formatie van Eindhoven (Doppert et al., 1975).

De Formatie van Boxtel wordt in Vlaanderen voor het eerst ingevoerd in het H3O project. In het projectgebied overlapt de Formatie van Boxtel grotendeels met de NCS Formatie van Gent maar is verschillend gedefinieerd (Beerten et al., 2016, 2017). Dit betekent dat de H3O lithostratigrafie onafhankelijk staat van de NCS lithostratigrafie. In de praktijk komen de Formatie van Boxtel en de de Formatie van Gent in het modelgebied van H3O-De Kempen echter volledig overeen. Voor meer gedetailleerde beschrijvingen met toepassing van formele NCS eenheden en informele lokale eenheden gebruikt in de Quartairkartering wordt verwezen naar Bogemans (2005a, b, c).

De Formatie van Boxtel wordt bij de lithostratigrafische herziening binnen het H3O project niet verder onderverdeeld in laagpakketten. Hydrogeologische kartering geeft in de meeste gevallen BX-z als resultaat. Aan NL-zijde worden echter ook BXWI-z, BXLM-k-1, BX-k-1 en BX-k-2 gekarteerd (Fig. 1.2).

Lithologische samenstelling

Laagpakket van Singraven: beekafzettingen Dit laagpakket bestaat uit grind, grof zand, fijn zand, silt, klei en heel dikwijls veen of veenrijk materiaal en omvat alle beekafzettingen van Weichselien tot recente ouderdom.

Laagpakket van Kootwijk: stuifzandafzettingen
lichtgrijs tot geel fijn tot matig grof zand; omvat de Holocene stuifzanden.

Laagpakket van Wierden: dekzandafzettingen.
Dit laagpakket bestaat uit middelmatig tot siltig fijn zand, afgezet tijdens het Weichselien. De dikte van het laagpakket varieert van minder dan 0,5 m tot meer dan 3 m en zelfs 6 à 7 m in ZW-NO verlopende dekzandruggen.

Laagpakket van Liempde: lemige eolische en verspoelde eolische afzettingen.
Dit laagpakket bestaat uit zandige leem en lemig zand uit het Weichselien Midden-Pleniglaciaal, voorkomend in diktes tot enkele meters en meestal bedekt door dekzanden van het Laagpakket van Wierden.

Laagpakket van Best: fluvio-lacustriene en lacustro-eolische afzettingen.
Leem- en/of kleirijk laagpakket, bestaande uit een afwisseling van lemige klei, kleiige leem, zandleem, en fijn tot soms zelfs grof zand op cm- tot dm-schaal, voorkomend in de Roerdalslenk aan de basis van de formatie waar deze een grotere dikte bereikt (de top ligt op minimaal 8 m onder maaiveld).

Boxtel ongedifferentieerd
Deze eenheid wordt gebruikt wanneer de boorbeschrijvingen niet behoren tot een van de voorgaande laagpakketten.

Bovengrens

De Formatie van Boxtel omvat de afzettingen die in het projectgebied aan het maaiveld liggen, afgezien van de antropogene ophogingen en verstoringen en, lokaal, veenafzettingen, toegewezen aan het Laagpakket van Griendtsveen (Formatie van Nieuwkoop).

Ondergrens

De Formatie van Boxtel rust in de Roerdalslenk doorgaans op de Formatie van Sterksel. Buiten de Roerdalslenk kunnen afzettingen van de Formatie van Boxtel op een verscheidenheid van andere, oudere afzettingen voorkomen.

De ondergrens wordt bepaald op basis van sedimentologische kenmerken en de lithologische samenstelling, met name de korrelgrootte. De grens met onderliggende grofkorrelige fluviale 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 aan de basis van de Formatie van Boxtel dunne lagen dekzand overgaan in herwerkte afzettingen uit de onderliggende Formatie van Sterksel, en dus grovere korrels bevatten. De aanwezigheid van silt en verweringsbodems zijn in dit geval criteria om de grens te bepalen. De ondergrens is lastig te bepalen, indien de top van de onderliggende eenheid uit (zandige) leem bestaat, b.v. in geval van de Formatie van Stramproy in het westen van Noord-Brabant.

Stratigrafische positie

Holoceen tot Laat-Pleistoceen (Weichselien – Eemien) tot Midden-Pleistoceen (Saalien en ouder).

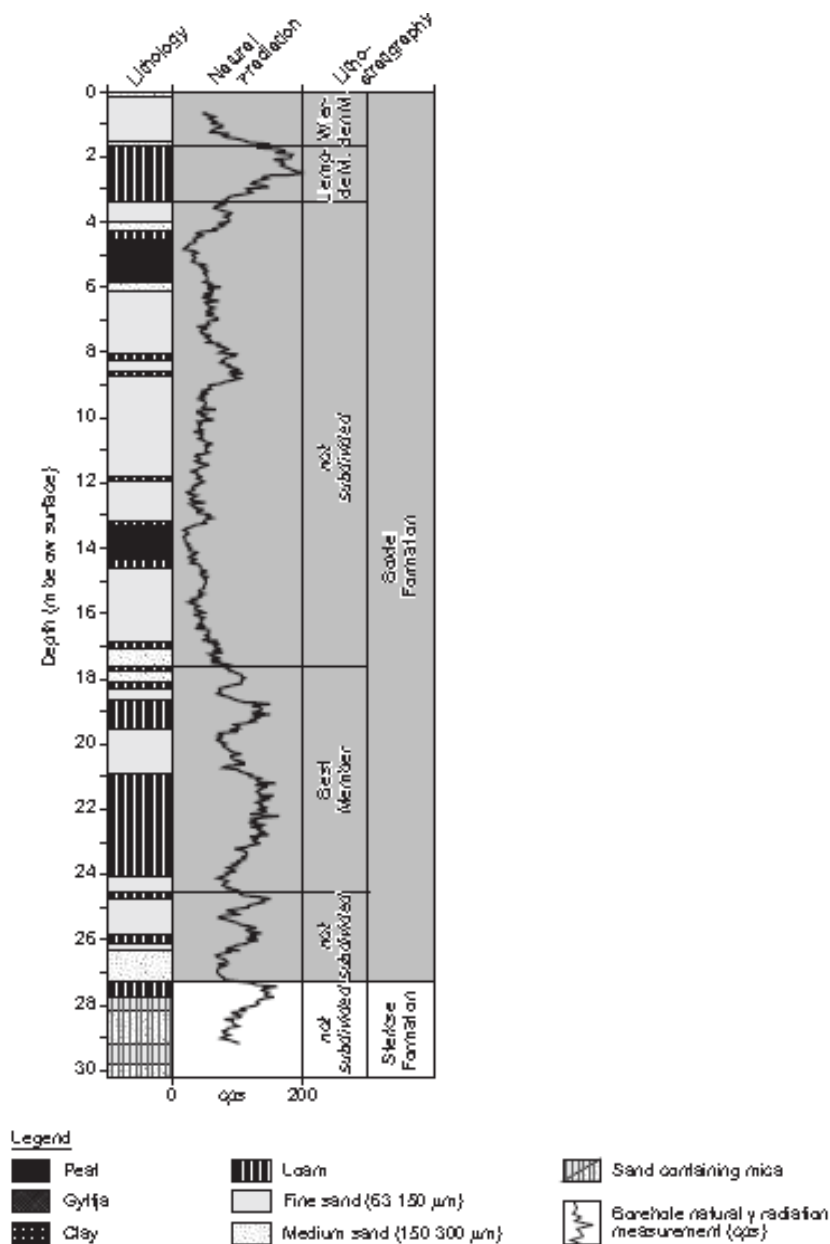
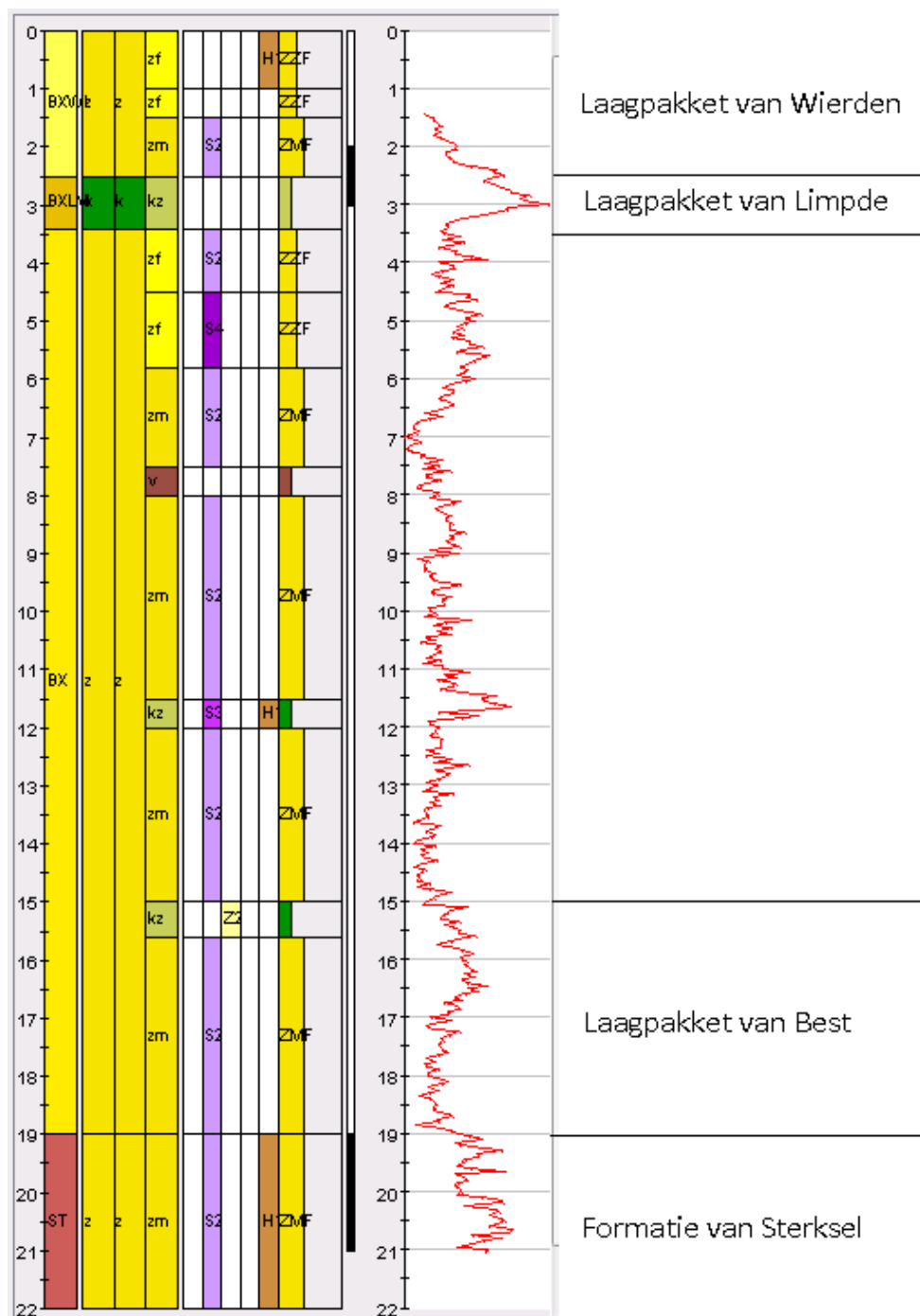


Fig. 1.1. Holostratotype van de Formatie van Boxtel in boring Boxtel – Breede Heide 2 (B51B0307) – (Schokker, 2003).



Figuur 1.2. Litholog en gammastralingsprofiel over de Formatie van Bostel (= Laagpakketten van Wierden tot en met Best) in boring B51A0189 op het NE-einde van hulpprofiel 2 waar de formatie een grote dikte bereikt, tot bijna 20 m.

2. Formatie van Sterksel

Code: ST

De Formatie van Sterksel bestaat kenmerkend uit grove zanden met fijn grind en ondergeschikt klei en veen, afgezet als fluviatiele afzettingen van de Rijn en de Maas (Westerhoff, 2003a).

Het holostratotype van de Formatie van Sterksel is gedefinieerd in de boring B57F0001 te Sterksel, traject 22,00 – 69,00 m beneden maaiveld (dit is een oudere boring zonder boorgatmetingen, basis van de formatie niet bereikt). Deze boring is gelegen in het centrale deel van de Roerdalslenk (inventarisatiegebied H3O Roerdalslenk), waar de formatie zijn grootste dikte bereikt (Westerhoff, 2003a).

De Formatie van Sterksel is ingeburgerd in de Belgische stratigrafie (Gullentops et al., 2001). Als Belgisch lectostratotype wordt boring 33W0153 voorgesteld, gelegen in het inventarisatiegebied van H3O - Roerdalslenk, waar een verdere onderverdeling van de Formatie van Sterksel werd gemaakt, weliswaar met beperkte toepassingsmogelijkheid en niet aangehouden voor H3O (Fig. 2.1). In het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied staat de formatie in de extractieve nijverheid bekend als de 'Lommelzanden'.

Onderverdeling

Er wordt geen lithostratigrafische onderverdeling gemaakt van deze formatie. Desalniettemin komen kleilenzen voor en kennen kleiige intercalaties een ruime geografische verbreiding. Dientengevolge wordt in de hydrostratigrafische kartering lokaal een zand – klei – zand opeenvolging onderscheiden (ST-k-1).

Op grond van de zware mineralen (of van de samenstelling van het microgrind, cf. Beerten, 2003) kunnen Maas en Rijn herkomst worden onderscheiden (Zonneveld, 1947; 1958). De verschillende sedimentpakketten zijn echter macroscopisch niet van elkaar te onderscheiden en kunnen derhalve niet als laagpakketten worden onderscheiden.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Sterksel bestaat hoofdzakelijk uit fluviatiele bruinigrijze matig grove tot uiterst grove licht glimmerhoudende zanden met verspreid grind. In de grove zandfractie en het grind komen roodbonte korrels en gesteentefragmentjes voor, een kenmerk dat toelaat om deze formatie aan de hand van zijn meer bruine kleur te onderscheiden. Kleilagen komen niet zelden voor. De klei kan gelaagd (mm-cm) en massief zijn en is afgezet in verlaten geulen of in de overstromingsvlakte.

De grenzen van de Formatie van Sterksel kunnen in boorgatmetingen worden herkend. Doorgaans vertoont deze formatie een iets hogere natuurlijke gammastraling dan de onderliggende Formatie van Stramproy, maar dit is afhankelijk van de klei-bijmenging in ieder van deze formaties (Fig. 2.2). Er kan dus geen uniform model op basis van logsignatuur worden opgesteld; de indeling per boring moet in eerste instantie gebeuren op basis van de lithologie van de boormonsters.

Bovengrens

De Formatie van Sterksel wordt disconform overdekt door de Formatie van Bortel, die buiten de Roerdalslenk soms beperkt blijft tot eolisch dekzand. Op grond van verschillen in korrelgrootte is de grens tussen de afzettingen van de Formatie van Bortel en die van de Formatie van Sterksel meestal duidelijk te trekken. Enkel daar waar de basis van de Formatie van Bortel bestaat uit herwerkt materiaal afkomstig van de Formatie van Sterksel kan de bepaling van de ondergrens problematisch zijn.

Ondergrens

De Formatie van Sterksel ligt op de lichtbruine tot grijswitte kwartsrijke zanden van de Formatie van Stramproy of op 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. In boorgatmetingen in het inventarisatiegebied valt vooral het hoger kleigehalte op in de Formaties van Stramproy en Waalre t.o.v. de Formatie van Sterksel (Fig. 2.3). Boorgatmetingen over de zandige intervallen tonen een consistent hogere gammastraling voor de Formatie van Sterksel (bijv. Fig. 2.3). Waar kleilagen aanwezig zijn in de onderliggende Formaties van Stramproy, Waalre of Kiezeloöliet, is de gammastraling hiervoor wel hoger dan in de Formatie van Boxtel (Fig. 2.4).

Dit onderscheid geldt eveneens voor lokale situaties langs de zuidrand van het inventarisatiegebied (regio Mol) waar de formatie op de nog oudere Kiezeloöliet Formatie ligt.

Stratigrafische positie

De Formatie van Sterksel vormt een apart fluviatiel systeem van het einde van het Vroeg-Pleistoceen tot het Vroeg Midden-Pleistoceen.

De verbreiding van deze formatie wordt sterk beïnvloed door de breuktektoniek en daling van de Roerdalslenk (zie ook profielen fig 2.6, 2.8 en fig 6.14 in Kasse, 1988). De Formatie van Sterksel neemt sprongsgewijze in dikte toe naar het centrale deel van de Roerdalslenk en kan er diktes tot 70 m bereiken (Fig. 2.4). Buiten het bereik van de zuidwestelijke randbreuken wigt de formatie in westelijke richting snel uit, zodat ze in het grootste deel van het Vlaamse inventarisatiegebied niet voorkomt, op een pediment van keien en blokken na.

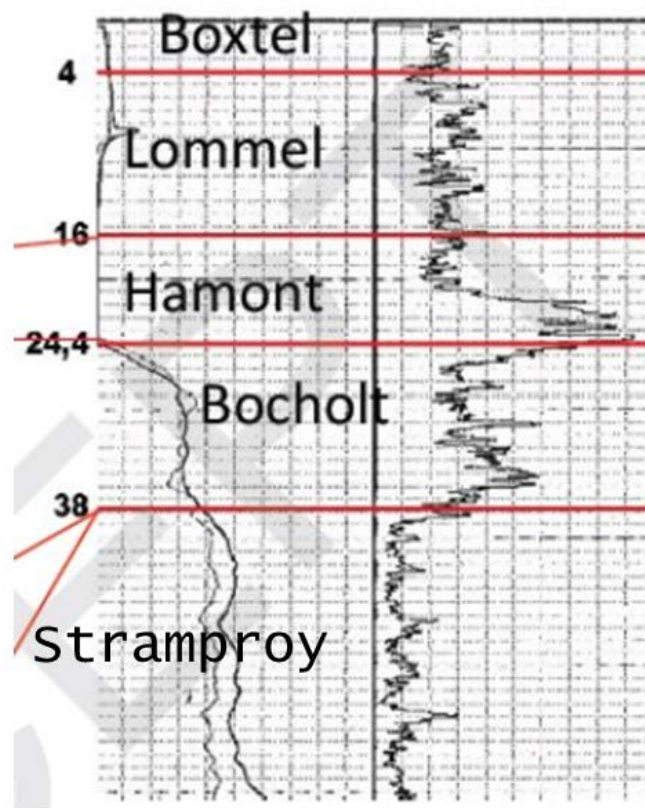
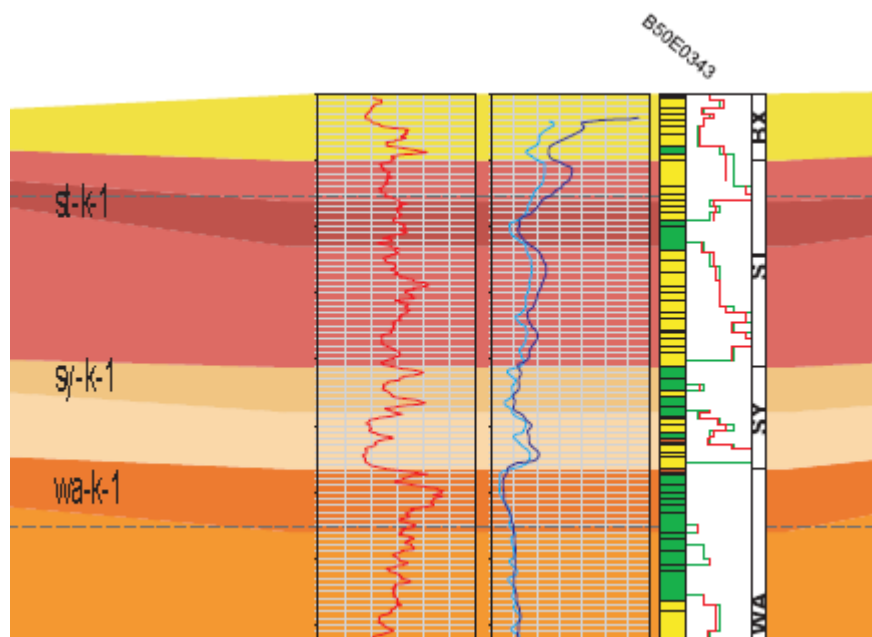


Fig 2.1. Belgisch lectostratotype boring 33W0153, DOV kb18d33w-B160, gelegen te Bocholt voor de Formatie van Sterksel, met stratigrafische onderverdeling in drie laagpakketten (leden), van onder naar boven Bocholt – Hamont – Lommel: links dubbele resistiviteit (schaal 0-250 Ωm) en rechts natuurlijke gammastraling (schaal 0-100 cps); verticale schaalverdeling in meters; diepte-aanduiding in meters vanaf maaiveld (links). De stratigrafische interpretatie steunt op de beschrijving van Van der Sluys (2000). Deze onderverdeling is enkel lokaal te maken.



Figuur 2.2. Boring B50E0343 op correlatieprofiel 3, met kenmerkende lithologie en boorgatmeting over de Formatie van Sterksel (ST). Merk op dat de kleilaag ST-k-1 gelijkaardige karakteristieken bezit als de Klei van Hamont (Fig. 2.1, boring 33W0153), evenwel zonder geometrische continuïteit in de correlatie.

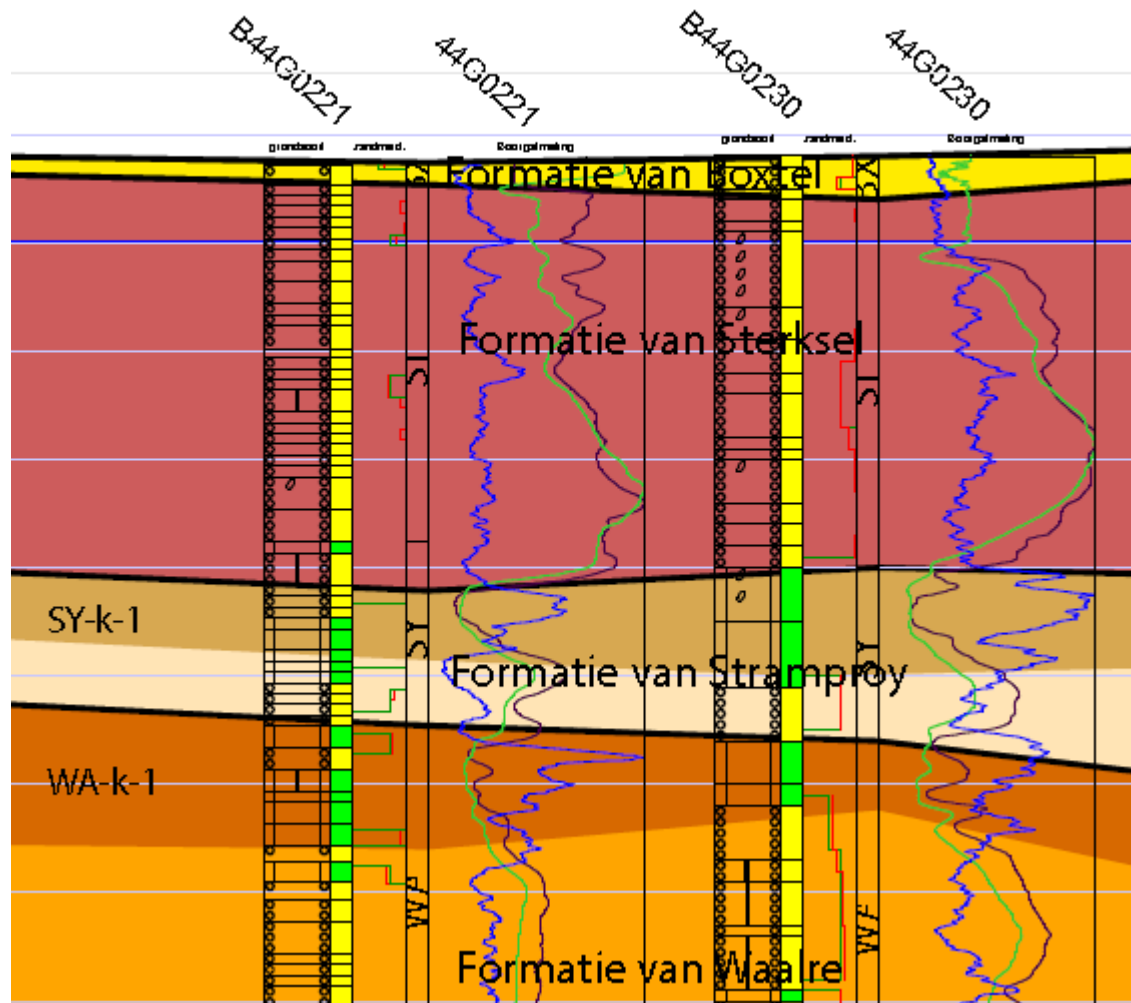


Fig. 2.3. Onderscheid Formatie van Sterksel met onderliggende Formaties van Stramproy – Waalre, uittreksel van oostelijk uiteinde van hulpprofiel 5, met kenmerkend onderscheid op basis van boorgatmetingen tussen de globaal zandiger Formatie van Sterksel en de uit een afwisseling van zandiger en kleiiger pakketten bestaande onderliggende formaties. Daardoor lijkt de gemiddelde gammastraling (blauwe curve) hoger in de onderliggende formaties; merk echter op dat de gammastralingsminima lager zijn in de Formatie van Stramproy dan in die van Sterksel. Gebruik van boorgatmetingen voor correlaties steunt echter op lithologische verschillen en lithofacies onderscheid.

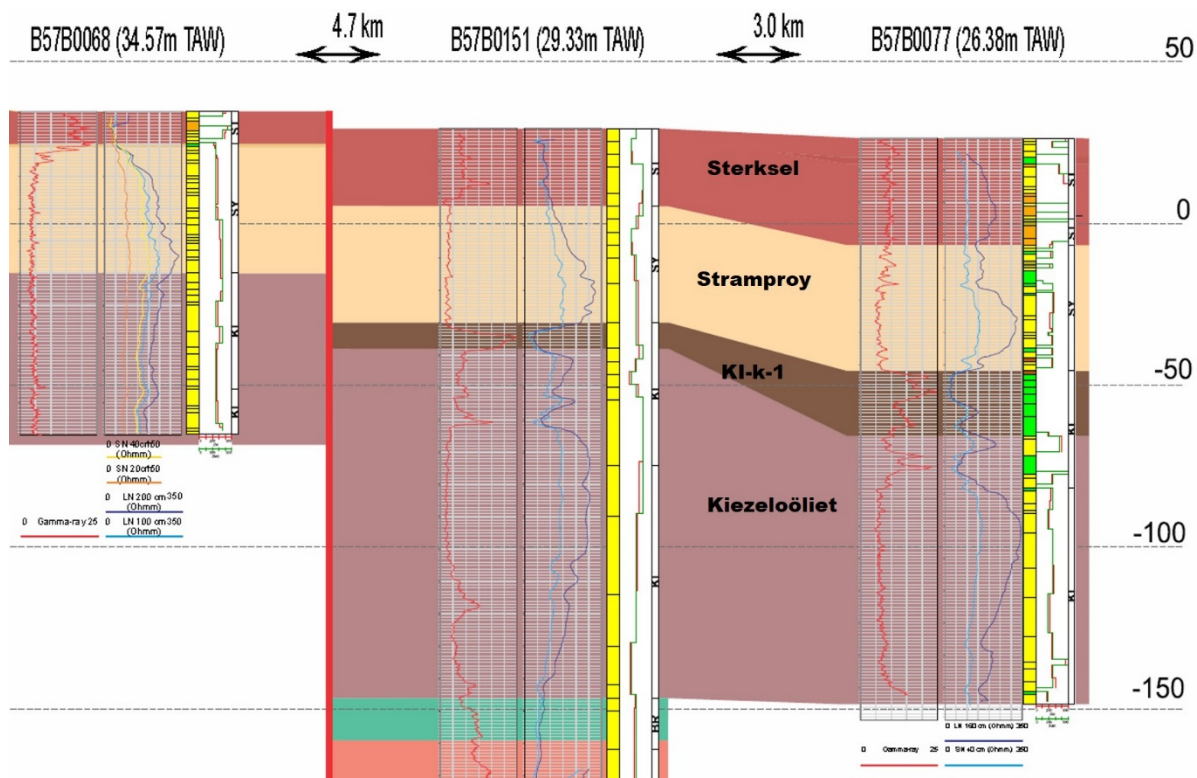


Fig. 2.4. Correlatieprofiel 1, NW uiteinde met door tektoniek bepaalde verdikking van de Formatie van Sterksel. Merk de doorgaans hogere gammastraling op over de Formatie van Sterksel in vergelijking met de onderliggende Formatie van Stramproy en de gelijkmatige dikte van deze laatste.

3. Formatie van Stramproy

Code: SY

Onderverdeling

Deze formatie wordt gedomineerd door fijne kwartzanden en werd gedefinieerd als afgezet door lokale (Belgische) rivieren, in tegenstelling tot de Maas-Rijn herkomst van de klastische sedimenten uit onder- en bovenliggende formaties (Kasse, 1988 hoofdstuk 2 en 5, 1990 tabel 1; 1993; Westerhoff, 2009; Westerhoff et al., 2008, 2009a, 2009b). De afzettingen van de Formatie van Stramproy vertegenwoordigen een grote tijdsspanne die resulteerde in een vrij dik sedimentpakket dat 110 m dikte kan bereiken in het projectgebied H3O - Roerdalslenk, 50 m in het oostelijk deel van het projectgebied H3O - De Kempen, gereduceerd tot 5 m in het centrale deel van dit laatste gebied. De Formatie van Stramproy wordt verder niet onderverdeeld in laagpakketten.

Holostratotype: Boring 57H0058 te Stramproy, traject 46,30 – 136,80 m beneden maaiveld (Fig. 3.1) - (top 53 m volgens litholog in DINOket typelokaliteit), in H3O – Roerdalslenk inventarisatiegebied (de Lang & Weerts, 2003).

De Formatie van Stramproy werd in België nieuw ingevoerd met het H3O – Roerdalslenk project (Deckers et al., 2014) en afgesplitst van de Belgische Kiezeloöliet Formatie. De Formatie van Stramproy komt in de plaats van het zandige deel van het Lid (laagpakket) van Jagersborg van de Kiezeloöliet Formatie (sensu Laga et al., 2001). De criteria ter definitie van de Formatie van Stramproy zijn echter verschillend van de wijze waarop Jagersborg werd gedefinieerd en dit heeft gevolgen voor de ondergrens. De Formatie van Stramproy staat nog ter discussie binnen de NCS.

Belgische parastratotype: kernboring Maaseik – Jagersborg, GeoDoc 049W0220; DOV K18d49w-B220, eveneens in H3O - Roerdalslenk inventarisatiegebied. Diepte interval: 22 – 62 m (volgens Vandenberghé et al, 2005 na correctie voor revisie van de lithostratigrafische onderverdeling) of 22-63,20 m (volgens log diepte, Fig. 3.2).

In het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied H3O - De Kempen correleert de Formatie van Stramproy met het bovendeel van de Formatie van Mol, en met de informele Formatie van Ravels (Bogemans, 2005a, b). Deze laatste eenheid komt overeen met unit 7, Laagpakket van Gilze van de Formatie van Kedichem/Stramproy (Kasse, 1988). De Formatie van Mol wordt informeel onderverdeeld in de volgende laagpakketten (leden), van onder naar boven: Mol-Donk, De Maat, Maatheide, Russendorp, Rees (ALBON, 2010). Er bestaat geen formele beschrijving van deze laagpakketten; ze zijn bekend uit de zandwinning (Gulinck, 1963; Wouters & Vandenberghé, 1994; Gullentops & Vandenberghé, 1996; Wittewrongel & Gullentops, 1996) – (Fig. 3.3). Niet al deze pakketten correleren met de Formatie van Stramproy (zie ook Kiezeloöliet Formatie).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

Deze formatie groepeerde ligniet- en kleihoudende, overwegend matig fijne kwartsrijke zanden die van spierwit tot bruinekleur zijn, wat onderscheid met bovenliggende formaties toelaat (de Lang & Weerts, 2003). Op boorgatmetingen onderscheidt de Formatie van Stramproy zich door de erg lage waarde van de natuurlijke gammastraling in de kwartsrijke zanden. Hogere waarden van de gammastraling zijn geassocieerd met sporadisch voorkomende kleiige lagen, vooral in het onderste deel van de formatie waar vaak twee tot drie kleiige lagen relatief dicht op elkaar aanwezig kunnen zijn. Naar de top van de formatie vermindert de resistiviteit, zonder dat daarom het zandig karakter van de afzetting vermindert.

Bovengrens

Veelal erosieve en duidelijke overgang naar grindhoudende of grofzandige afzettingen van de Formatie van Sterksel (in Vlaanderen bekend als Lommel zand). Op basis van boorgatmetingen is deze formatie goed te onderscheiden van de bovenliggende Formatie van Sterksel. In het zuiden en

westen worden de zuivere gebleekte of donker humeuze kwartszanden overdekt door ijzerrijk en meer onzuiver dekzand of jongere fluviatiele afzettingen, gegroepeerd in de Formatie van Boxtel.

Ondergrens

Duidelijk als onder de zandige afzettingen van de Formatie van Stramproy kleiige afzettingen van de Formatie van Waalre voorkomen (Fig. 3.4); onduidelijk en met wisselend hiaat als onder de Formatie van Stramproy zandige afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie voorkomen (Fig. 3.5). In de praktijk wordt de grens boven de eerste compacte kleilaag gelegd. In Nederland geldt als vuistregel dat de bovenste kleilaag van de Kiezeloöliet Formatie vast en stevig is en vaak laagjes ligniet en houtresten bevat. Deze kleilaag werd traditioneel geassocieerd met de Reuver Klei. Daarentegen zijn de onderste kleilagen van de Formatie van Stramproy veelal minder hard, zandiger en bevatten ze minder lignietresten

Op basis van boorgatmetingen valt de basis van de Formatie van Stramproy samen met de eerste duidelijke vermindering van de resistiviteit, naar klei-achtige waarden die kenmerkend zijn voor de klei-intervallen van de Kiezeloöliet Formatie (Fig. 3.6). In de natuurlijke gammastraling is de bijbehorende piek soms niet zo opvallend, vermoedelijk wegens het hoge lignietgehalte van de bovenste kleilaag van de Kiezeloöliet Formatie.

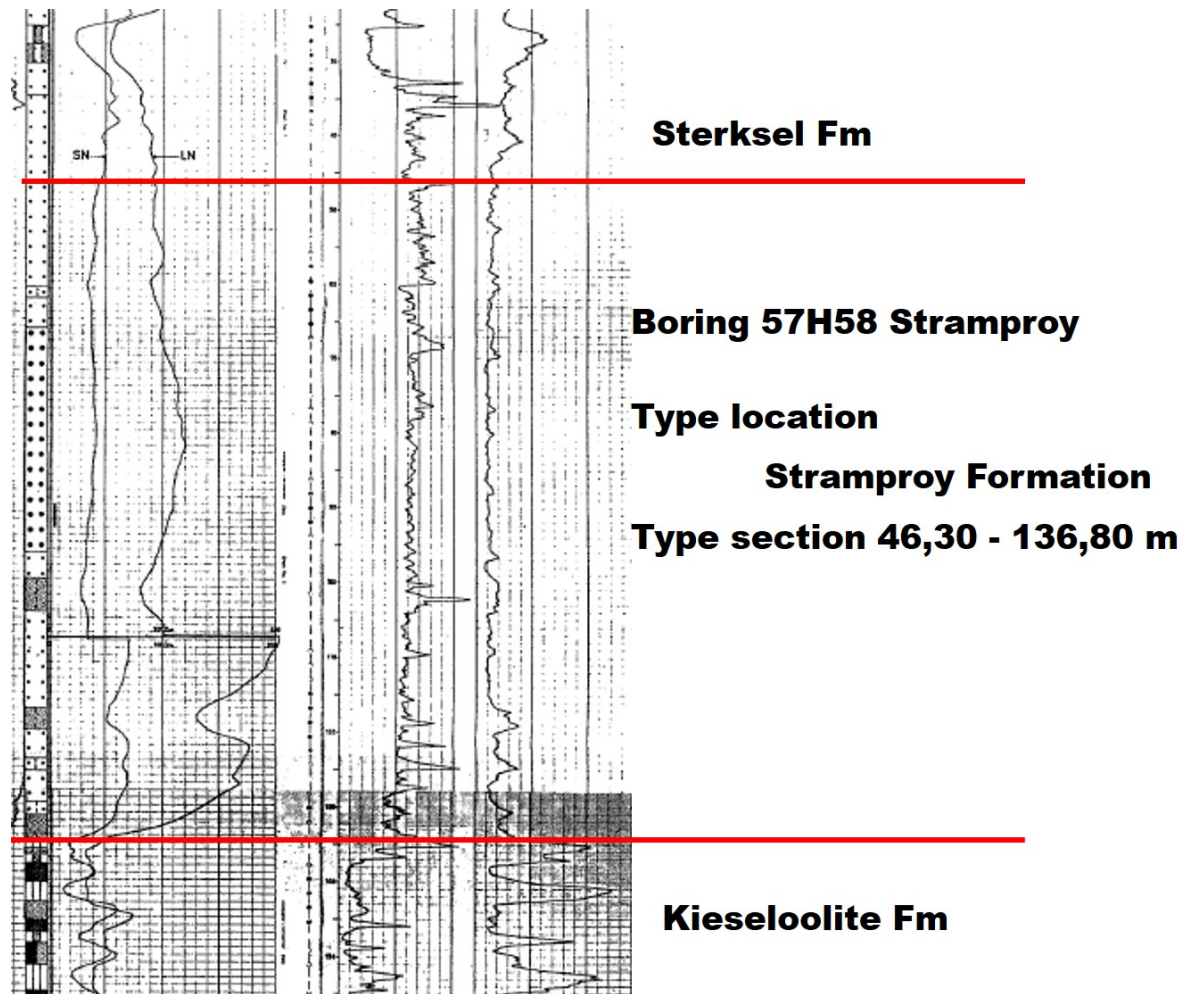
Stratigrafische positie

De Formatie van Stramproy bestaat uit fluviatiele afzettingen van Belgische rivieren, afzettingen gevormd door sneeuwsmeltwater, en eolisch gevormde lagen, deels onder periglaciale condities (Kasse, 188, 1993, Westerhoff, 2009).

De basis van de Formatie van Stramproy verloopt diachroon. Het onderste deel van de Formatie van Stramproy ligt op de Kiezeloöliet Formatie en vertandt met de Formatie van Waalre (Beerse Zand met stabiele zware mineralenassociatie, kenmerkend voor het Scheldebekken, cf. Kasse, 1988, 1990), terwijl het bovenste deel van de Formatie van Stramproy concordant boven op de Formatie van Waalre ligt (cf. Kasse 1988 fig 2.5-2.8 unit 7; Kasse, 1993; Kasse & Bohncke, 2001).

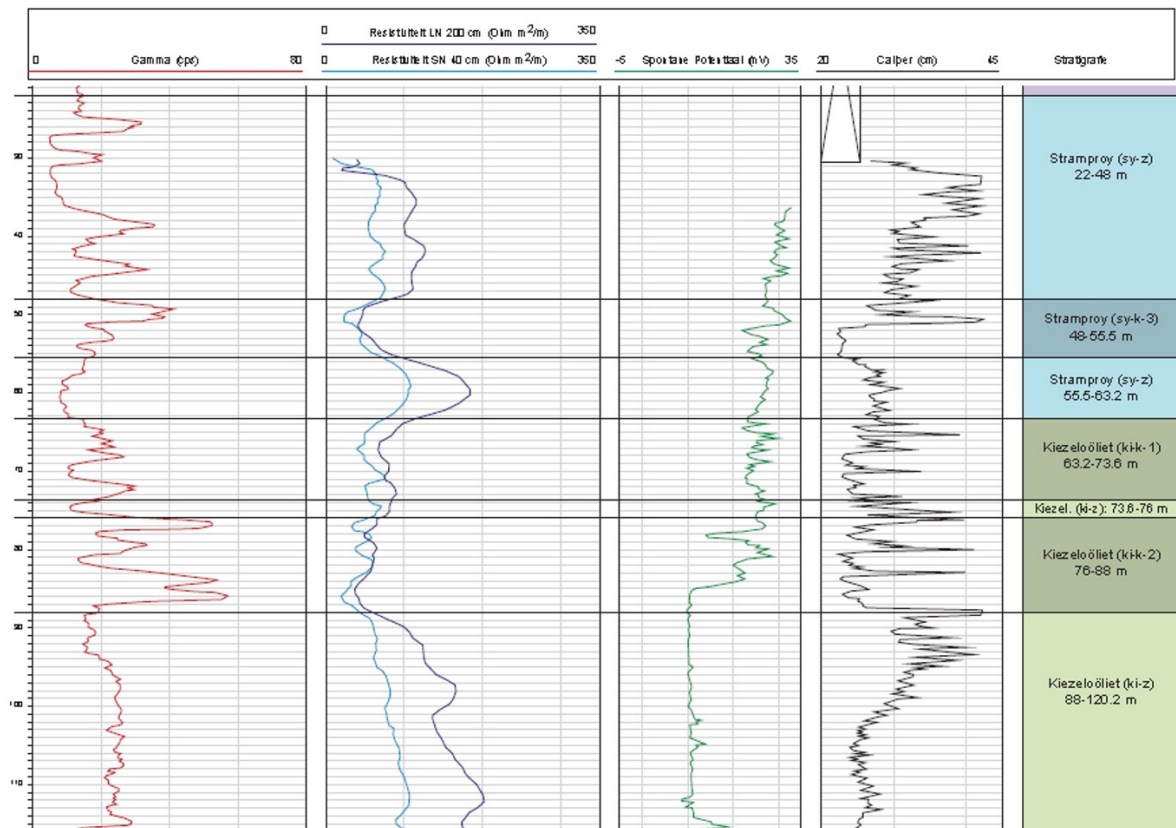
De Formatie van Stramproy wordt als Vroeg-Pleistoceen beschouwd (de Lang & Weerts 2003), en volgt op de Gauss-Matuyama paleomagnetische omkering, waargenomen in de Nederrijnslenk (Kemna, 2008; Dehnert et al., 2011). Chronostratigrafische toepassing van palynostratigrafie is niet meer aan de orde (Kemna & Westerhoff, 2007; Donders et al., 2007) – (Fig. 3.7). Het tijdsinterval waarbinnen de Reuver Klei werd afgezet lijkt evenwel een tektonisch rustige periode te zijn geweest tussen het Nederrijngebied en de Roerdalslenk, zodat het aannemelijk is dat de Plio-Pleistoceengrens ook in de Roerdalslenk binnen ditzelfde ‘Reuverien’ interval zal voorkomen.

Op plaatsen waar minder kleilagen voorkomen op het contact met de onderliggende Kiezeloöliet Formatie (bijv. bij afwezigheid van de zg. Reuverklei) kan de grens diachroon verlopen en zou de zandige basis van de Formatie van Stramproy van Pliocene ouderdom kunnen zijn (Fig. 3.8).

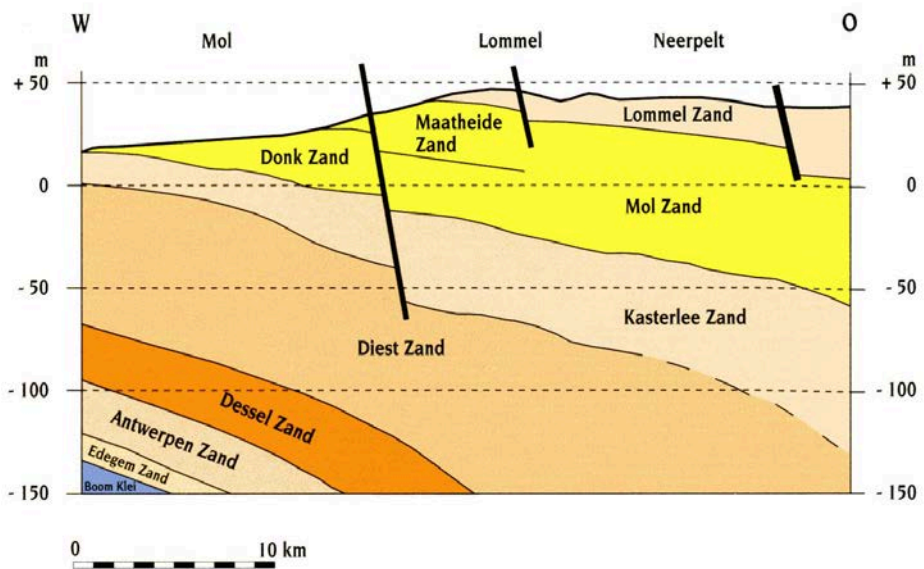


Figuur 3.1. Holostratotype voor de Formatie van Stramproy: boring 57H0058 te Stramproy, traject 46,30 – 136,80 m beneden maaiveld: originele analoge TNO log (30.8.1976): links dubbele resistiviteit (schaal 0-1000/2000 Ωm), midden doormeter en rechts natuurlijke gammastraling (schaal 0-100 cps); verticale schaalverdeling in meters; diepte-aanduiding in meters vanaf maaiveld (links).

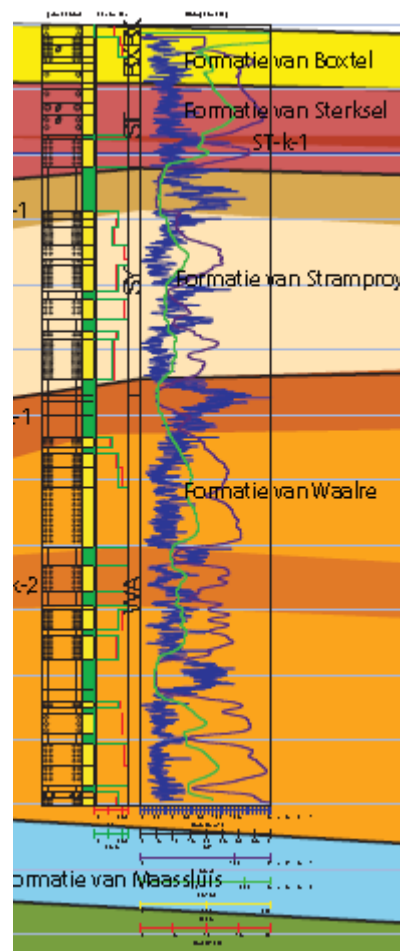
Locatie : Maaseik-Jagersborg BGD-nummer : 049W0220 Datum opname : 22/10/1980 Uitvoerder : TNO	X-coördinaat (Lambert) : 246.636 Y-coördinaat (Lambert) : 200.835 Z (m TAW) : +33,14 Diepte (m) : 302	Schaal : 1/500 Interpretatie : H30 2014	
--	--	--	---



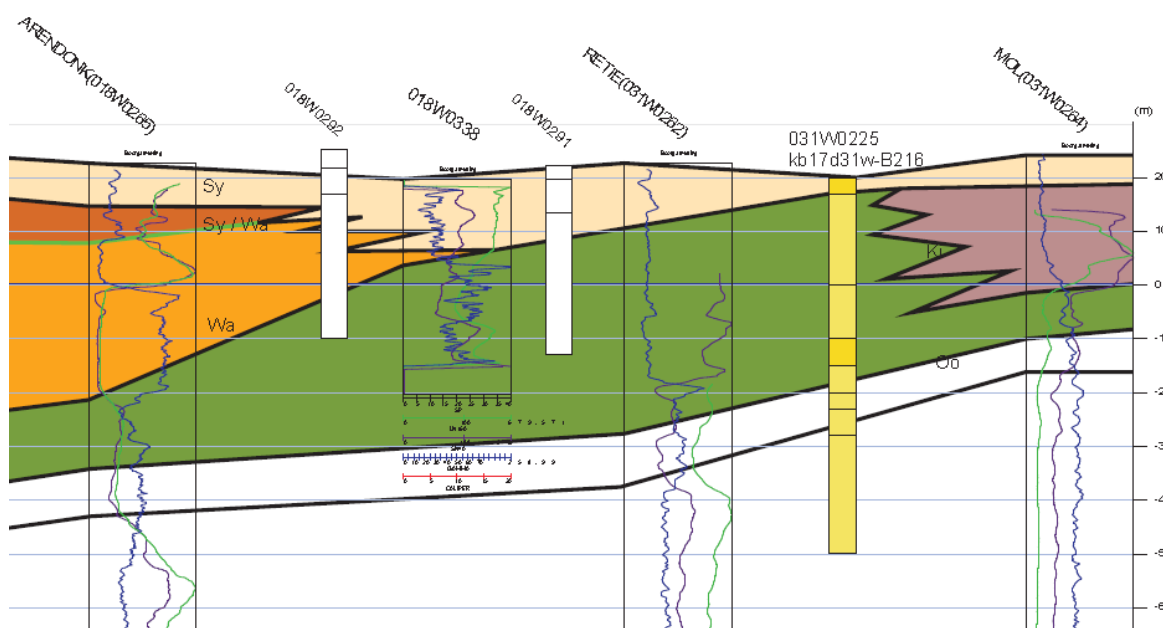
Figuur 3.2. Belgisch parastratotype van de Formatie van Stramproy: kernboring Maaseik – Jagersborg 49W0220, DOV K18d49w-B220, interval 22 – 63,20 m, met hydrostratigrafische codering, gebaseerd op de lithologische onderverdeling in Vandenberghe et al., 2005. In deze boring komen meer venige klei tussenschakelingen voor dan in de typelocatie Stramproy. Desondanks blijft de gammastralingswaarde voor de zuiverste zanden lager dan in de onderliggende Kiezelooliet Formatie.



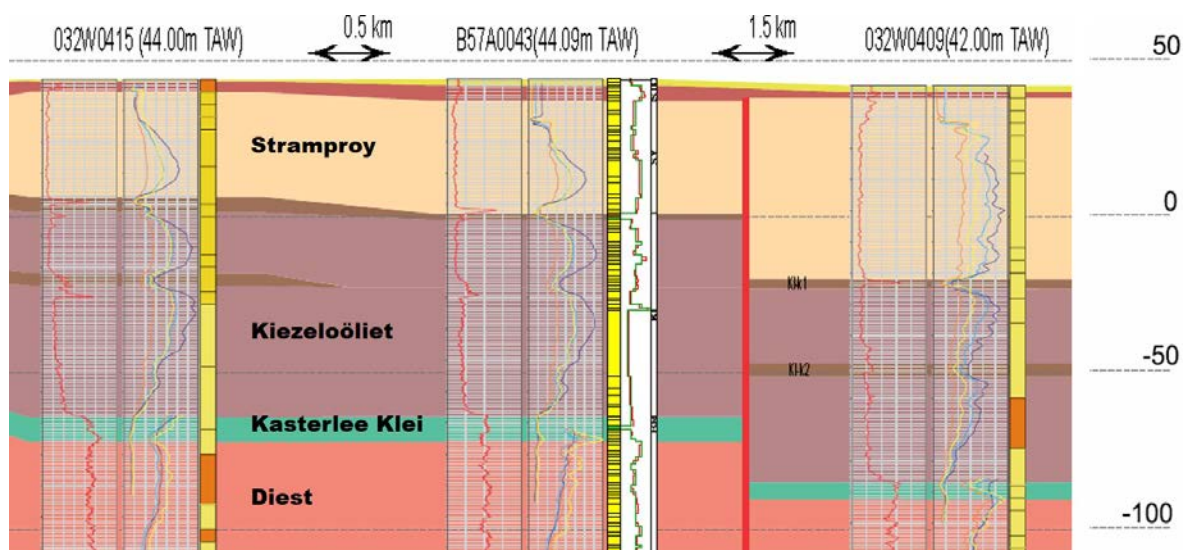
Figuur 3.3. Schematische doorsnede, met inschakeling van louter conceptuele afschuivingsbreuken waardoor de Formatie van Mol naar het oosten verdiept en verdikt, en ook onder een dikker wordend pakket overdekkende lagen van de Formatie van Sterksel terecht komt (Wittewrongel & Gullentops, 1996).



Figuur 3.4. Boring B51C0283 op hulpprofiel 2 met Formatie van Stramproy op Formatie van Waalre, kenmerkend voor het centrale deel van het inventarisatiegebied benoorden de grens BE-NL).



Figuur 3.5. Vertandingen tussen de Kiezeloöliet – Oosterhout en Stramproy – Waalre formaties op zuidelijk einde van hulpprofiel 5.



Figuur 3.6. Profiel 1 ondiep, zuidwestelijk deel langs de randbreuken met verdikking in de richting van de Roerdalslenk . De Formatie van Stramproy behoudt zijn karakteristiek profiel met extreem lage gammastraling en resistiviteitsverloop dat aansluit bij dat van de onderliggende zanden in de Kiezeloöliet Formatie.

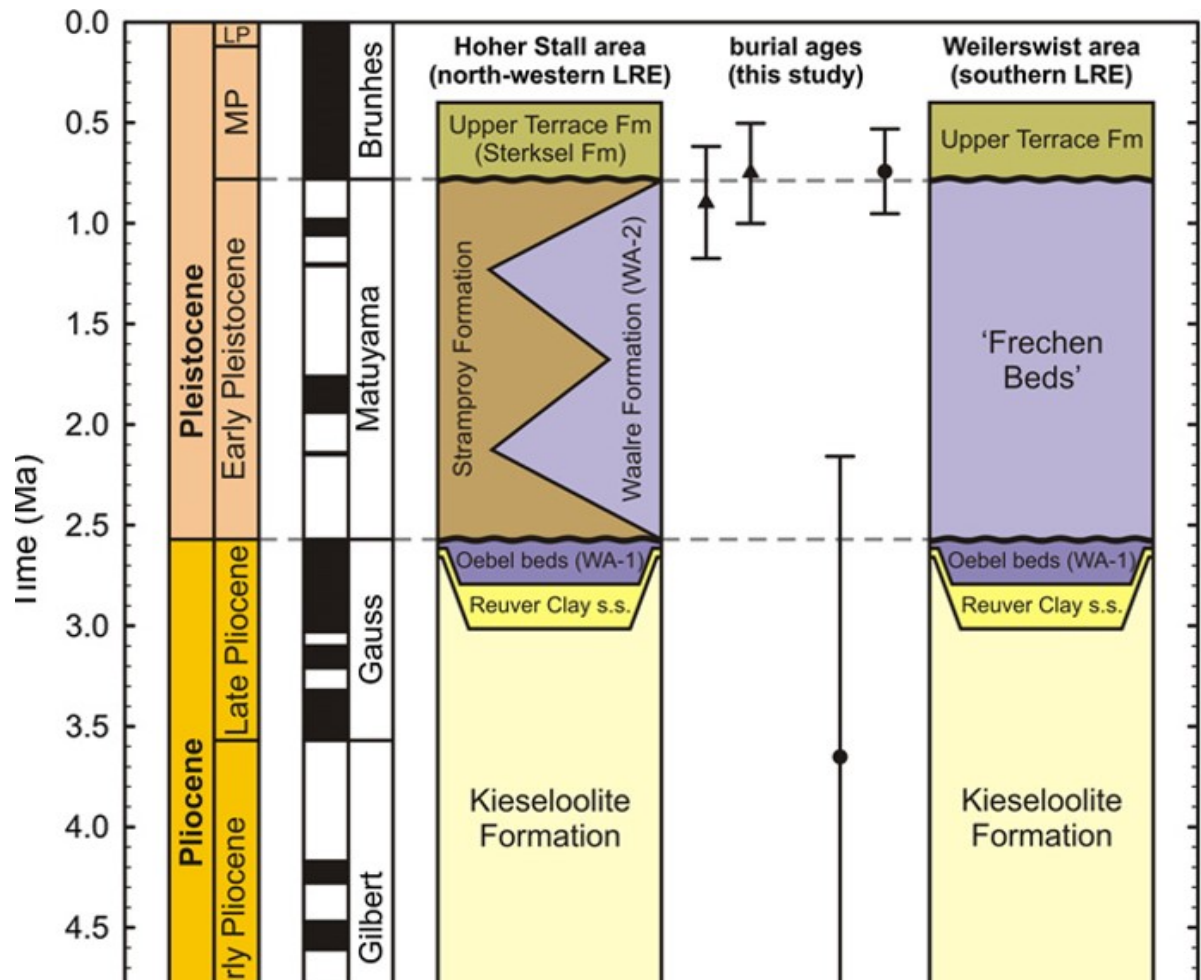
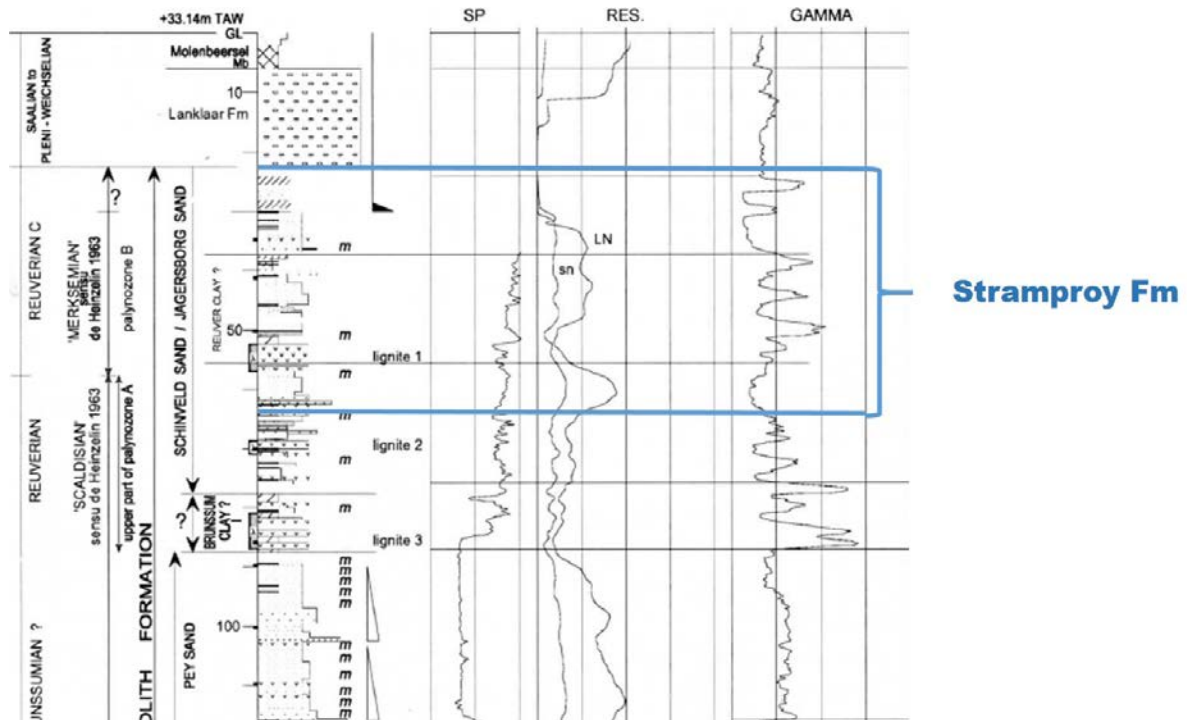


Figure 3.7. Lithostratigrafische sequenties Hoher Stall (Venlo Blok, met Stramproy Formatie) en Weilerswist (zuidelijke Nederrijnslenk) met paleomagnetische data en begravingsouderdommen, gebaseerd op cosmogenic isotope burial dating (Dehnert et al., 2011): Formaties van Stramproy en Waalre zijn in essentie jonger dan Gauss –Matuyama grens en daarmee Quartair, maar de basis kan tijdsequivalent zijn van de Reuverklei en dus nog Pliocene (Dehnert et al., 2011).



Figuur 3.8. Stratigrafische synthese over het Stramproy interval in boring Maaseik (49W0220, DOV K18d49w-B220), gebaseerd op Vandenberghe et al. (2005), in blauw kader aanduiding van de lithostratigrafische grenzen van de Formatie van Stramproy. Merk op dat er in de Formatie van Stramproy een ligniethoudende kleilaag voorkomt (lignite 1) met hydrostratigrafische code SY-k-3 (Deckers et al., 2014, H30 - Roerdalslenk project) die door pollen spectra wordt geassocieerd met de Reuver Klei en het Reuverien C. Het zand hieronder (tussen lignite 1 en lignite 2 bezit volgens Vandenberghe et al., 2005 nog de kenmerken van de bovenliggende typische Stramproy zanden, ondanks de hogere resistiviteitspiek. De Plio-Pleistoceengrens zou in dit onderste interval van de Formatie van Stramproy voorkomen, volgens waarneming van de paleomagnetische Gauss – Matuyama omkering in overeenkomstige strata van de Nederrijnslenk (cf Fig. 3.7).

4. Formatie van Waalre

Code: WA

Onderverdeling

De fluviatiele – estuariene afzettingen van de Formatie van Waalre bestaan uit sedimenten die van zeer grof (grind) tot zeer fijn (klei) kunnen gaan, maar voornamelijk uit fijn glimmerrijk zand tot klei bestaan. Onderaan de formatie overweegt zand, naar boven toe worden de kleilagen belangrijker; de basis kan grofzandig zijn. Mede op grond van een Rijn-herkomst van het sediment werd deze formatie in Nederland door Westerhoff & Weerts (2003) geherdefinieerd op basis van de vroegere Formaties van Tegelen en Kedichem (partim).

De Formatie van Waalre bereikt een dikte van 50 m, maar wigt uit naar het zuiden van het inventarisatiegebied en vertandt met de Formatie van Stramproy in het zuiden van het inventarisatiegebied, in het bereik van de westelijke randbreuken van de Roerdalslenk (breuksysteem van Hoge Mierde - Rauw).

Holostratotype: Boring 51D0343 te Waalre, traject 126,00 154,00 m beneden maaiveld (tot 209 m) – (Fig. 4. 1).

Equivalent Belgische stratigrafie: Formaties van Malle en van Weelde (beide in de Groep van de Kempen, het vroegere Complex van de Kempen) – (Gullentops et al., 2001). De hydrostratigrafische kartering is echter geen eenvoudige doorslag van de Belgische lithostratigrafische indeling. De Formatie van Weelde wordt hydrostratigrafisch nog vrij eenduidig gecorreleerd met WA-k-1, de Formatie van Malle met WA-z-2 tot WA-z-3 maar in deze laatste hydrostratigrafische eenheid kunnen reeds de zanden van de onderliggende Belgische Formatie van Merksplas zijn opgenomen. Er is immers nog veel onduidelijkheid over ouderdom en correlatiecriteria tussen de zanden afgezet in een tektonisch onstabiel overgangsgebied tussen continentaal en randmarien, met laterale facieswijzigingen en dikteverschillen, zonder ouderdomsindicaties.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

Deze formatie bestaat uit een aantal gestapelde doorgaans ‘fining upward’ sedimentatie cycli, die in korrelgrootte kunnen variëren van grind tot klei, met overwegend zand en klei aan de top (Kasse, 1988, 1990). De cycli zijn ook in boorgatmetingen herkenbaar. In vergelijking met de andere formaties in het inventarisatiegebied H30 - De Kempen vallen de dikke kleirijke lagen op. Er bestaat een grote variabiliteit in de kleiafzettingen waarvan de laterale correleerbaarheid over grotere afstanden moeilijk is (Fig. 4.2).

De volgende kenmerkende lithofaciestypen komen voor, getypeerd in het oostelijk deel van het inventarisatiegebied (Roerdalslenk):

- 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 met getijdenkenmerken (dit facies type is vooral bekend in de transitie zone naar het mariene of kustnabije sedimentatie domein).
- Eolische zandafzettingen gekenmerkt door periglaciale verschijnselen als getuige van glaciële intervallen in een overwegend warme (Tiglian) fase (voornamelijk herkenbaar in het Lid van Beerse van de Formatie van Weelde in het ontsluitingsgebied van de Vlaamse Noorderkempen) – (Kasse, 1993; Kasse & Bohncke, 2001) – (Fig. 4.3).

In het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied werden de volgende laagpakketten onderscheiden, van boven naar onder:

- Formatie van Weelde, Lid van Turnhout: heterogene kalkloze glimmerhoudende klei met zand afzetting met meerdere venige horizonten of fossiele bodems; dikte 5 – 10 m in het ontsluitingsgebied kan beduidend toenemen naar het noorden.

- Formatie van Weelde, Lid van Beerse: fijne zanden getypeerd door venige horizonten, afgezet in eolisch – fluviatiel milieu onderworpen aan cryoturbate verschijnselen; tot 3 m dik.
- Formatie van Weelde, Lid van Rijkevorsel: heterogene klei met zand afzetting met verspreide doch weinig voorkomende plantenresten en houtfragmenten; dikte 5 – 10 m, uitzonderlijk tot 20 m. Het geheel van de kleien in de Formatie van Weelde komt overeen met WA-k-1 (Fig. 4.2). Stratigrafisch en sedimentologische kenmerken werden beschreven in tal van publicaties over de ontsluitingszone volgens de kleigroeves gelegen op de microcuesta tussen Rijkevorsel en Turnhout (Kasse, 1988, 1993; Kasse & Bohncke, 2001; Paepe & Vanhoorne, 1970, 1976; Westerhoff et al., 2008) – (Fig. 4.3).
- Formatie van Malle, Lid van Vosselaar: grijs fijn tot matig fijn zand met sterke silt bijmenging en sporen van glauconiet, in fining upwards cyclus met mogelijk kleiige top en vegetatiehorizont; dikte tot max 9 m; voorkomen meer beperkt en in boorbeschrijvingen vaak niet onderscheiden van onderliggende lithostratigrafische eenheden.
- Formatie van Malle, Lid van Brasschaat: bleek, zeer fijn tot middelmatig zand, glimmerhoudend en sporen van glauconiet, met veenfragmenten en plantenresten; dikte tot max 30 m. Aan de basis van deze eenheid kan een kleipakket voorkomen dat waarschijnlijk correleert met WA-k-2. De laagpakketten waarin de Formatie van Malle is onderverdeeld worden niet gekarteerd in het H3O projectgebied, wegens onvoldoende resolutie van de boorgegevens.

Bovengrens

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. Dit uit zich door een sterk verlaagde gammastralingswaarde over de gebleekte zanden van de Formatie van Stramproy (Fig. 3.4).
- Formatie van Sterksel. De grens met afzettingen van deze formatie is over het algemeen scherp als gevolg van een erosief contact. 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 opvallend hoger dan in de zanden van de Formatie van Waalre.

Ondergrens

De afzettingen van de Formatie van Waalre liggen in het oostelijk en zuidoostelijk deel van het inventarisatiegebied op afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie. Indien de top van de Kiezeloöliet Formatie wordt gevormd door klei van het Laagpakket van Brunssum (o.a. de Laag van Reuver) 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 voorkomen van grindhoudende afzettingen aan de basis van de Formatie van Waalre eveneens een belangrijk criterium bij het bepalen van de ondergrens.

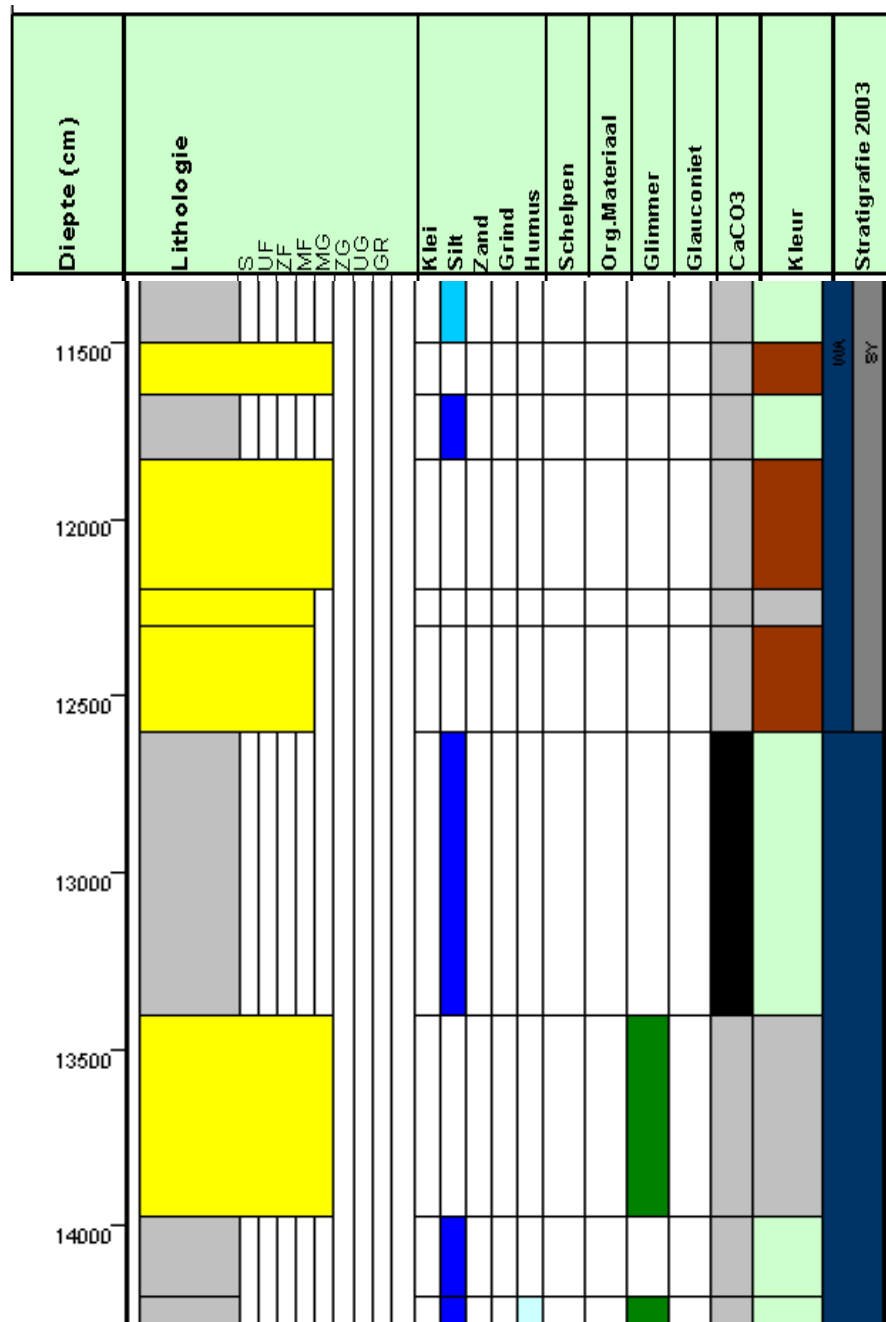
In het westelijk deel van het inventarisatiegebied liggen de doorgaans fijnkorrelige-afzettingen (zanden en kleien) van de Formatie van Waalre op de grovere en zandrijkere randmariene afzettingen van de Formatie van Maassluis. Deze grens is doorgaans erosief. De overgang tussen de Formatie van Maassluis en de bovenliggende afzettingen van de Formatie van Waalre wordt gekenmerkt door de afwezigheid van (mariene) schelpen in laatstgenoemde afzettingen. Wel kunnen in zanden onderaan de Formatie van Waalre omgewerkte mariene schelpen voorkomen, waardoor de bovengrens van de Formatie van Maassluis niet altijd duidelijk is.

In het zuiden van het inventarisatiegebied ruimt het erosief contact aan de basis van de Formatie van Waalre de Formatie van Maassluis geheel op. Zuidwestelijk van het inventarisatiegebied ligt de

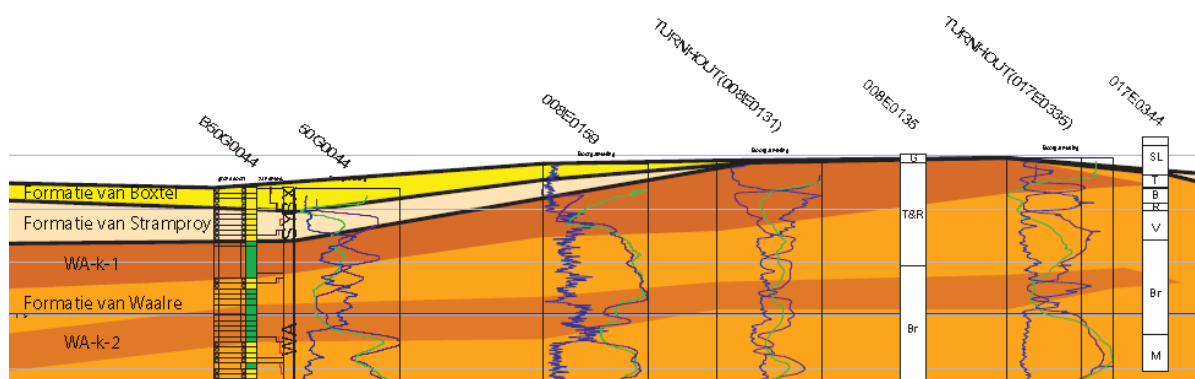
Formatie van Waalre derhalve op de Formatie van Oosterhout, waarvan het hogere glauconietgehalte, het voorkomen van fossielen en de doorgaans kleirijke top een duidelijk onderscheid toelaten. Daar waar een kleilaag (Laagpakket van Wouw) voorkomt, is de grens met de Formatie van Oosterhout scherp.

Stratigrafische positie

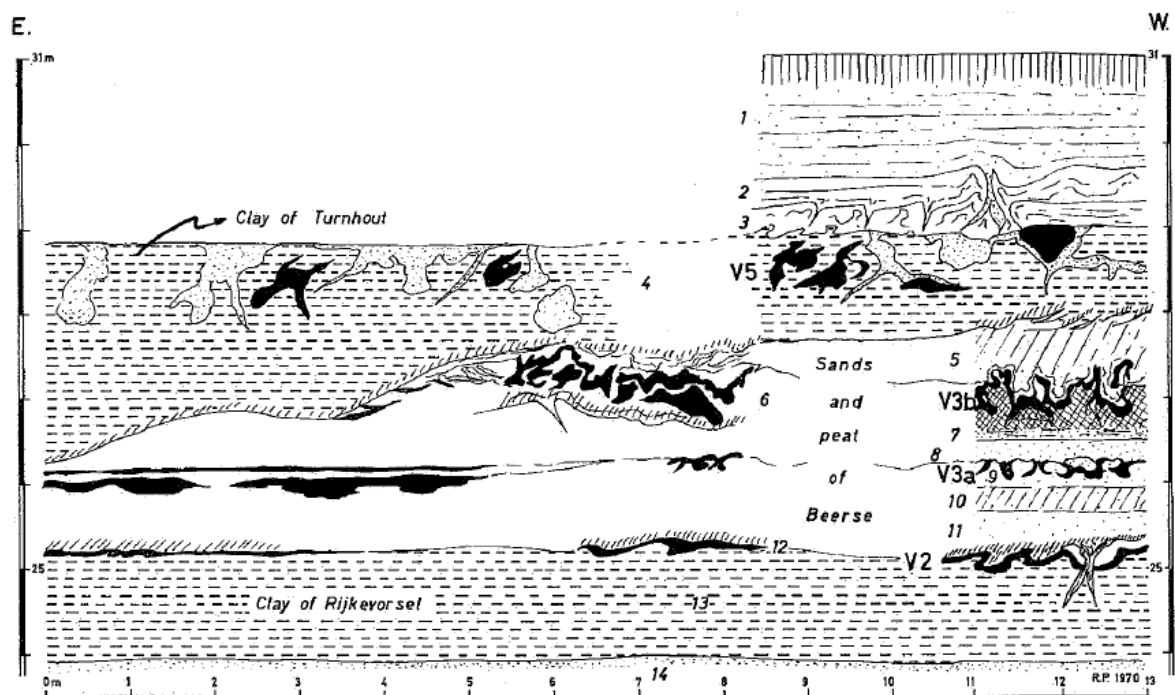
De formatie bestaat uit fluviatiele -estuariene afzettingen van de Rijn, afgezet tijdens het vroeg-Pleistoceen. De kleien beantwoorden aan de vroegere Tiglien étage. Tijdens de vorming van de afzettingen van de Formatie van Waalre stroomde de Maas via het oostelijk deel van Zuid-Limburg naar de Rijn ten noorden van Aken. Daardoor komen er in de formatie Maascomponenten voor, die vooral in de grovere fracties herkenbaar zijn. Periglaciale zand-tussenschakelingen (Lid van Beerse) gingen gepaard met een zeespiegeldaling en influx van lokale rivieren van het Scheldebekken, die geassocieerd kunnen worden met de afzettingen van de Formatie van Stramproy (Kasse, 1988, 1993; Kasse & Bohncke, 2001).



Figuur 4.1. Holostratotype Formatie van Waalre, Boring 51D0343 te Waalre: litholog van overgang Formatie van Stramproy naar Formatie van Waalre op 126 m (= 12600) beneden maaiveld (DINOloket WA_strato1_51D0343).



Figuur 4.2. Top Formatie van Waalre op hulpprofiel 4, tussen Nederlandse grens en Turnhout. WA-k-1 komt overeen met de Formatie van Weelde (Klei van Turnhout – Zand van Beerse – Klei van Rijkevorsel waarvan de log-signatuur kan veranderen omwille van de intense sedimentair en cryoturbaat gestoorde opeenvolging.



Figuur 4.3. Profiel door kleiput St.-Franciscus te Beerse (met sedimentologische opeenvolging van de Formatie van Weelde (Klei van Rijkevorsel, Zand van Beerse, Klei van Turnhout) – (Paepe & Vanhoorne, 1970). Zie ook Kasse 1993; Kasse & Bohncke 2001.

5. Formatie van Maassluis

Code: MS

Onderverdeling

De Formatie van Maassluis bestaat uit mariene, voor het grootste deel schelphoudende zanden, welke in de kustzone tot het onderzeese deltafront zijn afgezet. De eenheid komt alleen in het noordelijke deel van het inventarisatiegebied voor.

De Formatie van Maassluis is ingevoerd door Doppert et al. (1975). De naam is afkomstig van de plaats Maassluis in Zuid Holland, waar de oorspronkelijke typeboring B37B0025 is gelegen (Huizer & Weerts, 2003). Het lectostratotype B37D0228, traject 103-206 m beneden maaiveld, is eveneens gelegen te Maassluis. De Formatie van Maassluis wordt niet verder onderverdeeld in laagpakketten of lagen.

De sedimentpakketten zijn voornamelijk tijdens het Vroeg Pleistoceen (Pretiglien en een gedeelte van het Tiglien) afgezet. Tussen deze zanden, die variëren van grof tot fijn, komen (meestal zandige) kleilagen of kleilenzen voor, die wanneer ze voorkomen in dikkere pakketten, als geohydrologische eenheden worden onderscheiden (REGIS eenheden MS-k-1 en MS-k-2; Fig. 5.1). De Formatie van Maassluis heeft als equivalent in de Belgische stratigrafie de Formatie van Merksplas. Boring 6E0135 (DOV kb7d6e-B298) te Kalmthout, westelijk van het inventarisatiegebied, geldt als stratotype (Bogemans & Lanckacker, 2014; Fig. 5.2).

De Formatie omvat afzettingen welke zijn afgezet in een kustnabije omgeving, met getijden- en golfwerking. Daardoor is heterogeniteit ontstaan tussen goed gesorteerde en grovere afzettingen (onder invloed van golfwerking) en meer kleihoudende afzettingen (tijdens perioden van verminderde golfenergie). Kasse (1988, fig 2.6) beschrijft de Formatie van Merksplas als het continentale bekkenrand facies van de mariene Formatie van Maassluis.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Maassluis bestaat voornamelijk uit kwartszand, schelphoudend en/of schelpgruishoudend. Sporadisch komen veenresten, houtfragmenten en een spoor glauconiet voor. De kleur varieert van bleek beigegrijs tot bruingroen. Tussen de zandpakketten, die opvallend variëren van grof tot fijn, maar doorgaans vrij goed zijn gesorteerd, komen zandige kleilagen of kleilenzen voor. In het zuiden van het inventarisatiegebied is de aanwezigheid van deze kleilagen echter beperkt en komt de eenheid vooral, doch zeker niet uitsluitend, als grof zand voor.

In de Formatie van Merksplas worden twee afzettingstypes onderscheiden:

- kalkloos zand met klei/silt tussenschakelingen, individueel niet meer dan 10 cm dik;
- kalkhoudend grof tot matig fijn zand met schelpenresten, meestal schelpengruis.

Indien beide afzettingstypes samen voorkomen ligt het fijnere kalkloos materiaal steeds op het grovere kalkhoudende pakket.

In het grofzandige facies heeft de Formatie van Maassluis – Merksplas een hoge resistiviteit, soms met twee pieken. De gammastraling is laag maar vertoont soms een stijgende trend naar de top. Deze log signatuur is duidelijk verschillend van de onderliggende mariene formaties, welke gekenmerkt worden door hoge gamma signatuur, en sluit meer aan bij de bovenliggende terrestrische zandpakketten. Naar het noordwesten van het inventarisatiegebied toe verfijnt de gemiddelde korrelgrootte en verzwakt deze typische logsignatuur en wordt onderscheid met de onderliggende Formatie van Oosterhout geleidelijk en daarmee ook vager.

Bovengrens

De Formatie van Maassluis wordt doorgaans bedekt door fijnkorrelige fluviatiele zanden en getijde-afzettingen (zanden en kleien) met fining upward cycli van de Formatie van Waalre. Deze grens is doorgaans erosief en de basis van de Formatie van Waalre grofkorrelig.

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 en een duidelijk hoger glimmergehalte. 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 basis van de Formatie van Waalre is meer noord(oost)elijk dikwijls ook grofzandig, met een grofkorrelige sedimentfractie van dezelfde oorsprong als die in de Formatie van Maassluis – Merksplas. Het onderscheid tussen de twee eenheden wordt gelegd tussen een opwaarts verfijnende grofzandige basis van een transgressieve, mariene formatie en een in zijn geheel overwegend matig grove fluviatiele zandafzetting.

Stratigrafische interpretatie van zandpakketten in matig beschreven boringen, inzonderheid in gebied ten oosten van Turnhout, is zelden eenduidig bij gebrek aan onderscheidende lithologische elementen, zodat toewijzing van de zanden aan een of meer formaties vatbaar blijft voor discussie. Op grond van geometrische overwegingen (zichtbaar in geologische dwarsprofielen) en afwezigheid van mariene indicatoren (met name schelpen) geldt aldaar toewijzing aan de hydrostratigrafische eenheid WA-z-3.

Ondergrens

De Formatie van Maassluis ligt vrijwel overal op mariene afzettingen van de Formatie van Oosterhout. De grens tussen beide formaties lijkt meestal geleidelijk maar is veelal erosief. De overgang wordt gekarakteriseerd door de toename in korrelgrootte en het vrijwel verdwijnen van glauconiet in de Formatie van Maassluis. Daar waar een kleilaag (Laagpakket van Wouw) in de top van de Formatie van Oosterhout voorkomt, is de ondergrens scherp.

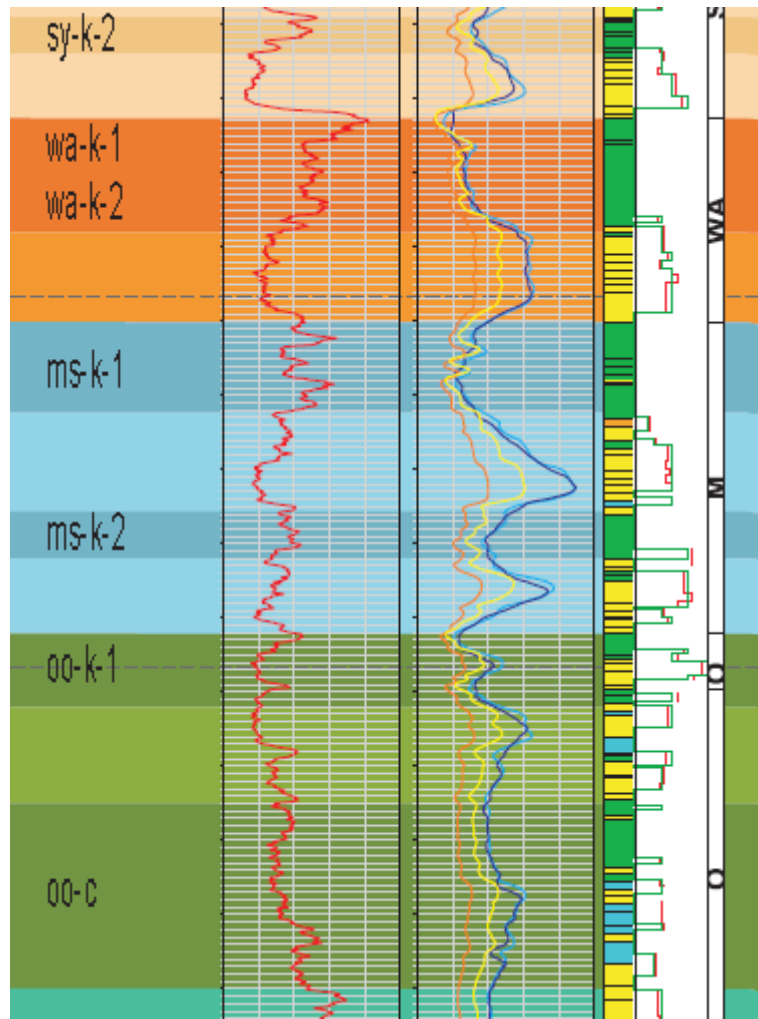
In de Formatie van Lillo, het Belgisch equivalent van de Formatie van Oosterhout, ligt aan de top van de formatie het Lid (Laagpakket) van Merksem. Het Zand van Merksem is goed gesorteerd, matig fijn en vaak schelpenrijk, met een oplopende resistiviteit. In het inventarisatiegebied is het mogelijk dat zanden die correleren met het Lid van Merksem niet goed te onderscheiden zijn van zanden van de Formatie van Merksplas, en hydrostratigrafisch worden gekarteerd als MS-z-3 (zie ook hoofdstuk herinterpretatie boorgegevens). Waar het Lid van Merksem niet voorkomt en aan de top van de Formatie van Lillo het kleiige Lid van Kruisschans voorkomt is de ondergrens scherp (Fig. 5.2).

In het uiterste zuidoosten van het inventarisatiegebied (gebied Mol – Postel) ligt de Formatie van Maassluis (Formatie van Merksplas) op de Kiezeloöiet Formatie (sensu Formatie van Mol).

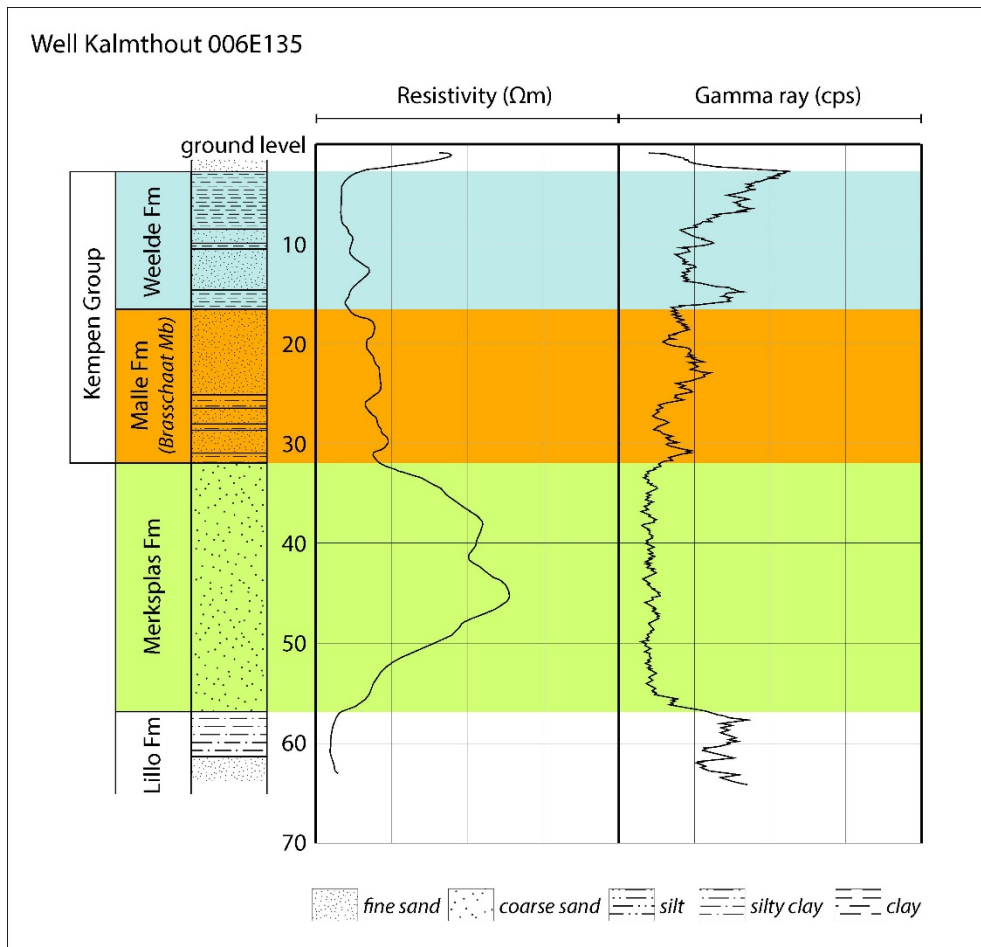
Stratigrafische positie

De Formatie van Maassluis is een mariene formatie die in de sedimentaire bekkengeschiedenis aansluit bij de onderliggende eveneens mariene Formatie van Oosterhout. Kenmerkend is een vroeg-Pleistocene 'Icenien' molluskenfauna, welke later werd toegewezen aan het 'Amsteliën' (Halet, 1933; Tavernier & de Heinzelin, 1963) – (Fig. 5.3).

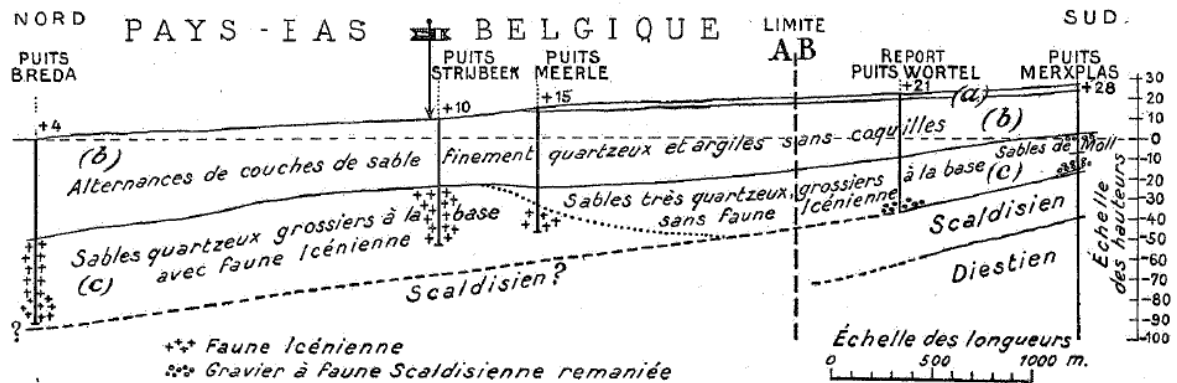
De Formatie van Maassluis bereikt zijn grootste dikte, ca 50 m, in het noordwesten van het inventarisatiegebied en wigt uit naar het zuiden. Langs de grens tussen het Vlaamse en Nederlandse deel van het inventarisatiegebied wordt een dikte van ca 20 m bereikt. De Formatie van Maassluis wordt begrensd door de westelijke randbreuken van de Roerdalslenk.



Figuur 5.1. Boring B50F0158 op correlatieprofiel 2 (weergegeven diepte-interval -10 tot -150 m), met kenmerkend litholog en boorgatmeting van de Formaties van Maassluis (MS) en Oosterhout (OO) – (rood is gammastraling, oranje-geel-blauw zijn de resistiviteitscurven). Opvallend zijn de grote resistiviteitspieken over de zanden van de Formatie van Maassluis (groter dan die in de Formatie van Stramproy in het noordelijk inventarisatiegebied) en de afgezwakte zand – klei contrasten over de Formatie van Oosterhout.



Figuur 5.2. Boring 6E0135, DOV kb7d6e-B298, Kalmthout, westelijk van het inventarisatiegebied, lectostratotype voor de Formatie van Merksplas, equivalent van de Formatie van Maassluis (Bogemans & Lanckacker, 2014). Het contact met de onderliggende Formatie van Lillo (equivalent van de Formatie van Oosterhout) is scherp op de kleiige afzettingen van het Lid van Kruisschans en minder scherp maar toch duidelijk door het grote verschil in resistiviteit met de bovenliggende Formatie van Malle.



Figuur 5.3. Noord-zuid sectie tussen Breda en Turnhout (Halet, 1933). De Formatie van Maassluis (Formatie van Merksplas) wordt hier beschreven als grove zanden met vroeg-Pleistocene 'Icenien' molluskenfauna. De Formatie van Maassluis rust op de Formatie van Oosterhout ('Scaldisien' = Formatie van Lillo). De relatie met de Formatie van Waalre is meer complex: deels rust de Formatie van Waalre (laag b) op de Formatie van Maassluis, deels komt ze er lateraal van voor (laag 'c') maar de Formatie van Maassluis wordt toch als ouder beschouwd (aangegeven door een schijnbare insnijding van de kwartzanden zonder Icenien fauna). Daarmee is de Formatie van Maassluis ook lateraal equivalent van het Zand van Mol (sensu Kiezeloöliet Formatie). Deze oudere figuur illustreert daarmee dat de stratigrafische interpretatie van het interval tussen Waalre en Oosterhout al generaties lang complex is gebleven.

6. Formatie van Oosterhout

Code: OO

Onderverdeling

De Formatie van Oosterhout omvat ondiep mariene, glauconiethoudende afzettingen, zowel zandig als kleiig, soms zeer rijk aan schelpen en andere macrofossielen.

De Formatie van Oosterhout is ingevoerd door Doppert et al. (1975) ter vervanging van de Belgische formaties van Lillo en Kattendijk. Het holostratotype is gedefinieerd in West-Brabant, ten noordwesten van het inventarisatiegebied: Boring 44D0177 te Oosterhout, traject 106,60 – 262,00 m beneden maaiveld (Ebbing & de Lang, 2003).

De sedimentpakketten van de Formatie van Oosterhout zijn van Laat-Miocene tot Pliocene ouderdom (Zancleien tot Piacenzien) en afgezet in een kustnabije zee. In het inventarisatiegebied zijn binnen de Formatie van Oosterhout het Laagpakket van Sprundel en het Laagpakket van Wouw onderscheiden. In het overige deel van de formatie kunnen hydrostratigrafisch zand- en kleilagen worden onderscheiden, eventueel gegroepeerd in een complex bij snelle en variabele opeenvolging, zoals aan de basis van de formatie (Oosterhout complex, OO-c, fig. 6.1).

De Belgische stratigrafische equivalenten van de Formatie van Oosterhout betreffen de Formaties van Lillo, Poederlee en Kattendijk en de informele eenheid Kasterlee Zand (het bovenste deel van de Formatie van Kasterlee). De Formatie van Lillo rust op de Formatie van Kattendijk; de Formatie van Poederlee correleert met een deel van de Formatie van Lillo; de informele eenheid Kasterlee Zand is een laterale afzetting van de Formatie van Kattendijk doch is ouder. Deze lithostratigrafische eenheden zijn ten zuidwesten of aan de zuidrand van het inventarisatiegebied gedefinieerd, maar vertonen minder uitgesproken faciesverschillen binnen het inventarisatiegebied. Ook qua log signatuur sluiten ze bij elkaar aan. Stratigrafische onderverdeling van sedimentaire eenheden is daarom vaak complex; boorbeschrijvingen geven vaak geen uitsluitsel.

De Formaties van Kattendijk en Poederlee zijn niet verder onderverdeeld. De Formatie van Lillo is formeel onderverdeeld in vijf leden, van onder naar boven Luchtbal, Oorderen, Kruisschans, Merksem en Zandvliet. Deze onderverdeling is gedefinieerd in het Antwerps havengebied; in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied kunnen (soms) overeenkomstige facies worden onderscheiden waarvan de correlatie met de formele lithostratigrafische indeling onduidelijk is. Nochtans kan aan de bovenkant van de formatie net als in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied een kleiig laagpakket voorkomen (Fig. 6.2).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Oosterhout bestaat uit een afwisseling van matig fijn tot matig grof zand, dat vaak glauconiet bevat en schelpenbanken met grof zand. Het Laagpakket van Sprundel omvat de schelpenbanken (crag) en het Laagpakket van Wouw de siltige grijze klei waarin weinig schelpen voorkomen. In het inventarisatiegebied wordt enkel het bovenste kleipakket (Laagpakket van Wouw) systematisch herkend en hydrostratigrafisch gekarteerd als OO-k-1.

De lithologische samenstelling van de Belgische laagpakketten van de Formatie van **Lillo** in het typegebied zijn (naar de Heinzelin, 1956):

- ontkalkte afzettingen, rijk aan steenbanken (Lid van Zandvliet);
- schelpenrijke matig grove zanden (Lid van Merksem);
- kleirijke zanden met variabele korrelgrootte en met kleilagen, rijk aan schelpfragmenten (Lid van Kruisschans);
- grijze tot 15% glauconiethoudende licht kleiige zanden (Lid van Oorderen);
- crag, lokaal genoemd 'falun' (Lid van Luchtbal).

Meer oostelijk en zuidelijk ten opzichte van het verbreidingsgebied van de Formatie van Lillo wordt de quasi tijdsequivalente Formatie van **Poederlee** aangetroffen. Deze eenheid bestaat uit bleek,

groenig getint, licht glauconiethoudend zand met (doorgaans opgeloste) schelpen, lokale kleilensjes en - in het ontsluitingsgebied rond de typelocatie (de zandrug Herentals – Lichtaart) – uit ijzerzandsteenbanken. Het Grind van Hukkelberg vormt een prominente laag aan de basis van deze formatie in het ontsluitingsgebied (Gulinck, 1960). De Formatie van Poederlee wordt nu gecorreleerd met de onderste zanden van de Formatie van Lillo of kan er zelfs de basis van vormen (Geets, 1962).

Het onderscheid tussen de Formatie van Lillo en de Formatie van Poederlee is dus niet evident in het inventarisatiegebied; er zijn dan ook veel boringen waarin de Formatie van Poederlee al dan niet arbitrair wordt toegewezen aan de basislagen van de Formatie van Oosterhout.

Bij boorgatmetingen vertoont de Formatie van Poederlee hetzelfde karakteristiek verloop als de onderkant van de Formatie van Lillo met geleidelijke afname van de gammastraling naar boven toe en een gestage stijging van de resistiviteit (Fig. 6.2). In het westelijk deel van het voorkomensgebied van de Formatie van Poederlee lijkt de overgang naar de bovenliggende pakketten op logs abrupter te verlopen dan in het oosten. Evenzeer kan het onderscheid tussen de Formatie van Poederlee en de basis van de Formatie van Lillo onvoldoende worden verantwoord. Herkenning van de overeenkomstige facies (of lithologische kenmerken) is affirmatief voor toewijzing tot de Formatie van Oosterhout maar kan moeilijk de basis vormen voor verdere lithostratigrafische onderverdeling (Fig. 6.4).

De Formatie van **Kattendijk** bestaat uit dofgrijs tot grijsgroen matig fijn zand en kleiig zand waarbij de zandkorrels zijn ingebed in een klei coating; ze voelen zacht aan. Het zand is relatief glauconietrijk, met een glauconietgehalte dat afneemt van onder naar boven (van circa 30% naar 15%). Sporadisch komen schelpenbanken en verweerde serpula kalkkokerbuisjes voor. Deze laatste zijn diagnostisch voor deze eenheid. De dikte is vrij stabiel en bedraagt 10 – 20 m. Klei-opvulling tussen de zandkorrels en glauconiet leiden tot verhoogde gamma waarden, waarbij de resistiviteit vrij laag is.

De informele eenheid **Kasterlee Zand** bestaat uit bleek groen-grijs, micahoudend en licht glauconiethoudend zand, welke matig-fijn en soms kleiig is, met wat bijmenging van grofkorrelige kwarts. Ze bevat geen macrofossielen noch schelpengruis, wat onderscheid met de lateraal equivalente (maar jongere) Formatie van Kattendijk toelaat.

Een kenmerk van praktische waarde is de olijfgroene verkleuring van het boorslib tijdens het opboren van dit geelgrijs gespikkeld zandpakket. De spikkeling wordt toegewezen aan glauconiet, maar kan vooral in het oosten, onder invloed van sedimentaanvoer uit de Nederrijnslenk, eveneens uit phytoklasten (detrietische lignietkorrels) bestaan. In de praktijk blijkt het onderscheid Kattendijk – Kasterlee weinig relevant (Wemaere et al., 2005) – (Fig. 6.4).

Bovengrens

In het (noord)westen van het inventarisatiegebied wordt de Formatie van Oosterhout bedekt door de Formatie van Maassluis (of Belgisch equivalent de Formatie van Merksplas), in het oosten komt daartussen soms de Kiezeloöliet Formatie voor. Ten zuidwesten ligt de jongere Formatie van Waalre direct bovenop de Formatie van Oosterhout.

De overgang tussen de Formatie van Oosterhout en de bovenliggende formaties wordt gekenmerkt door het vrijwel verdwijnen van glauconiet en het terug verschijnen van grofkorrelige zanden in de bovenliggende eenheden. De bovengrens is scherp wanneer de top van de Formatie van Oosterhout uit een kleilaag bestaat (Laagpakket van Wouw in het noorden van het inventarisatiegebied, een onbenoemd kleiig pakket in het zuiden, cf. fig. 6.3). De bovengrens is geleidelijk wanneer de top zandig is ontwikkeld. In dat geval zijn verandering in korrelgrootte en glauconietgehalte leidend), maar ook de context: facies kenmerkend voor Kasterlee Zand leidt doorgaans tot opvolging door Zand van Mol (Kiezeloöliet Formatie), Kattendijk tot Lillo (Fig. 6.4).

Ondergrens

De Formatie van Oosterhout ligt op de Formatie van Breda, meer specifiek op de informele eenheid Kasterlee Klei, onderdeel van de Formatie van Kasterlee. Deze overgang komt overeen met een systematische, verdere verhoging van het glauconietgehalte, een tijdelijke verhoging van het kleigehalte en daaraan gekoppelde karakteristieke en karteerbare verhoging van de gammastraling.

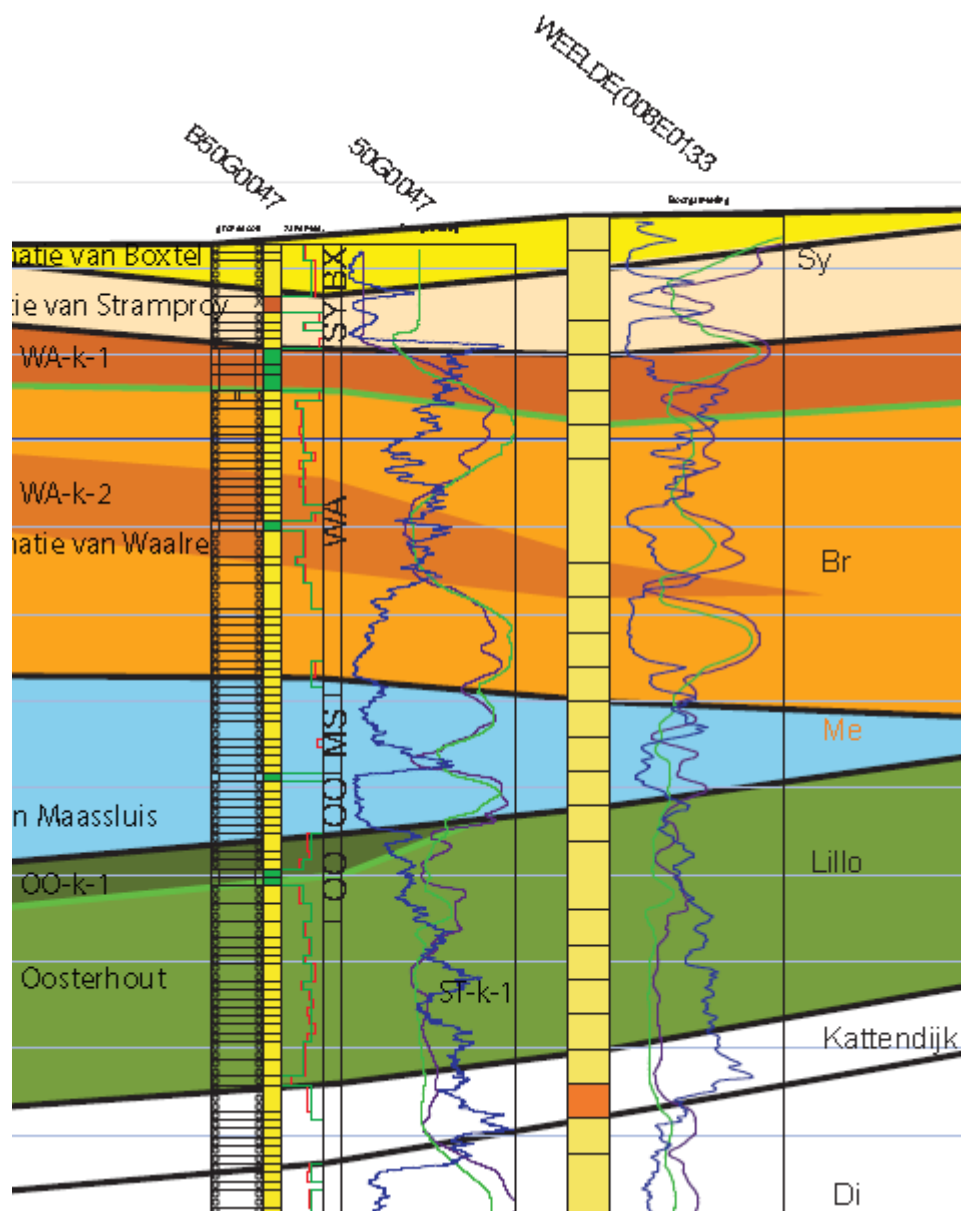
Laterale overgang

De mariene Formatie van Oosterhout gaat in zuidoostelijke richting lateraal over in de fluviatiele Kiezeloöliet Formatie. Door zeespiegelschommelingen en tektonische bewegingen heeft deze overgang een vertand karakter.

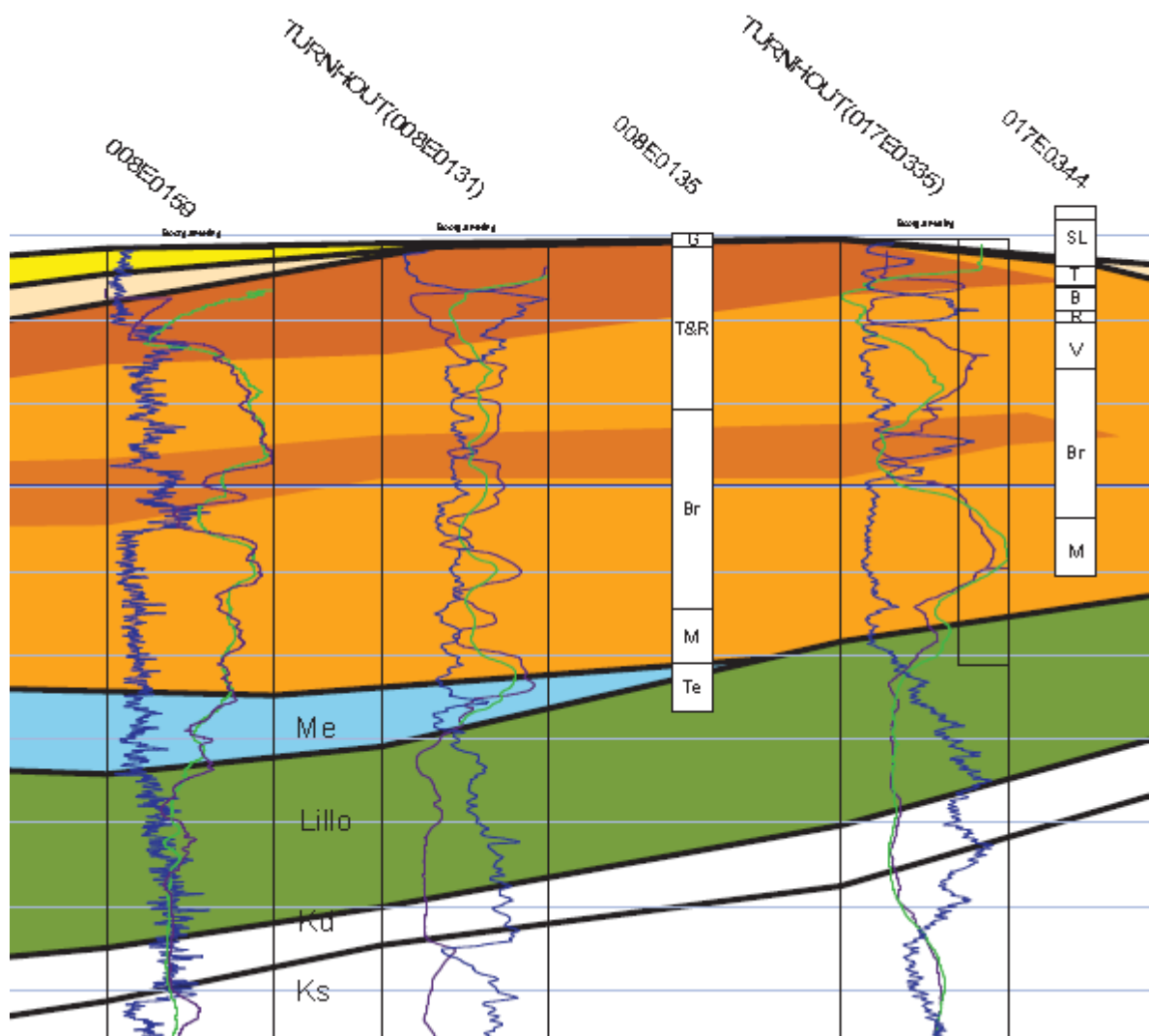
Stratigrafische positie

De Formatie van Oosterhout afwezig in het zuidoosten van het inventarisatiegebied en bereikt de grootste dikte (150 m) in het noordwesten. In dezelfde, bekkenwaartse richting zijn de lithologische contrasten minder uitgesproken, behoudens een meer kleiige top van de formatie. Van noordwest naar zuidoost wordt de formatie zandiger en vertandt verder zuidoostwaarts met de fluviatiele Kiezeloöliet Formatie (Formatie van Mol in de Belgische naamgeving).

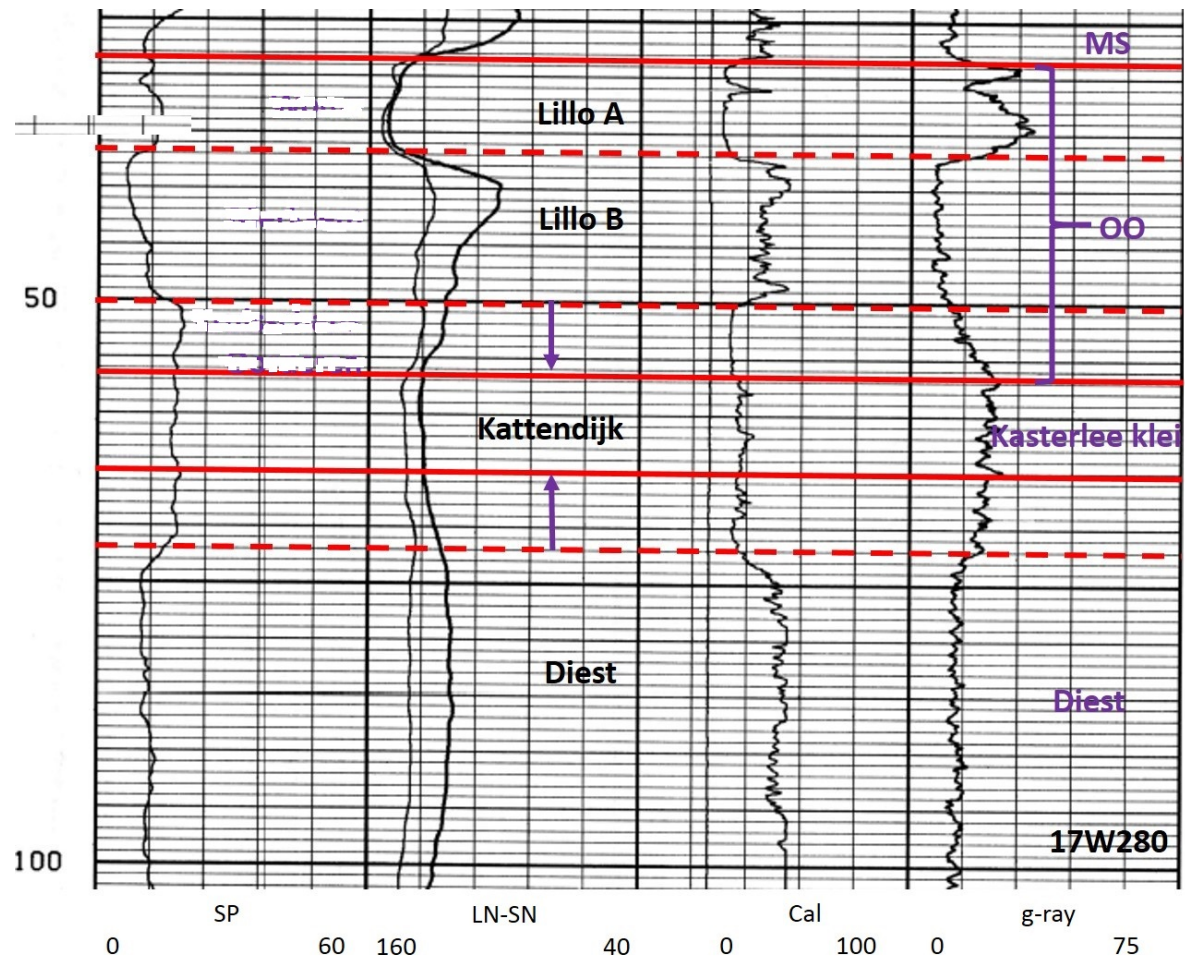
De incorporatie van de informele eenheid Kasterlee Zand in de Formatie van Oosterhout heeft als gevolg dat de basis (ten minste in het zuidoostelijk deel van het inventarisatiegebied) van Miocene ouderdom is (Louwye et al., 2007).



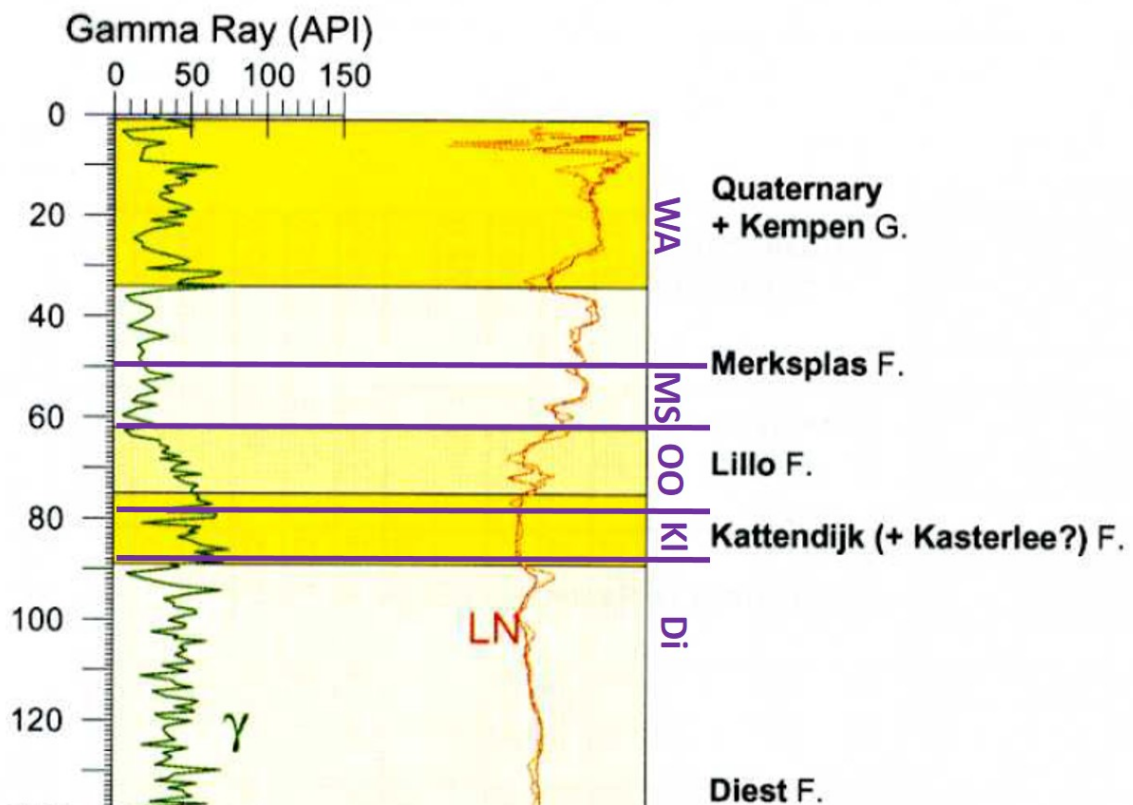
Figuur 6.1. Detail van hulpprofiel 5 ter hoogte van de Nederlands-Belgische grens bij Weelde (diepte-bereik +30 -90 m, horizontale lijnen volgens diepte-interval 10m). Het betreft een noord-zuid profiel met binnen de Formatie van Oosterhout karakteristiek oplopende trend in de gammastraling (blauwe curve). In zuidelijk en zuidoostelijke richting wordt deze karakteristiek minder duidelijk en gaat de eenheid over in de Kiezeloöliet Formatie.



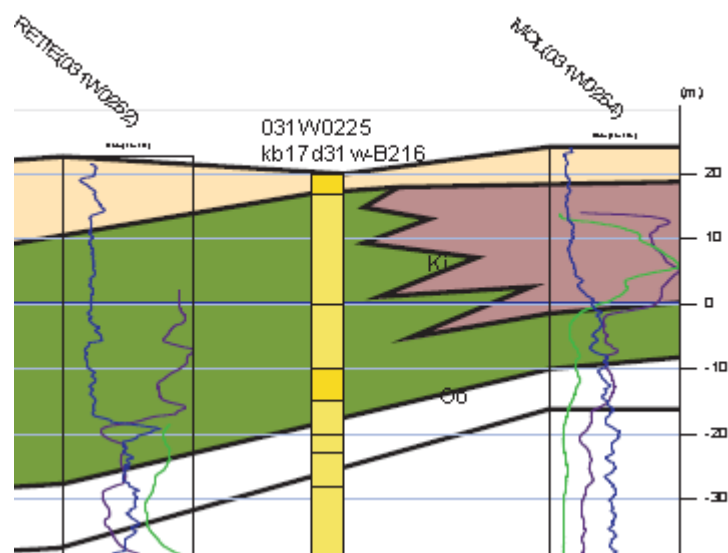
Figuur 6.2. Detail van hulpprofiel 4 in de omgeving van Turnhout, noord-zuid doorsnede door de microcuesta van de Noorderkempen (diepte-bereik +30 -65 m, horizontale lijnen volgens diepte-interval 10m). De Formatie van Oosterhout (aangeduid als Lillo - Kd) ligt in dit gebied in een volledig mariene opeenvolging, nog in het bereik van de Formatie van Kattendijk en buiten de invloedzone van de fluviale Kiezeloöiet Formatie. De Formatie van Oosterhout onderscheidt zich door een naar onder oplopende gammastraling (blauwe curve).



Figuur 6.3. 17W0280, DOV kb8d17w-B315, Merksplas-Beerse-2, origineel standaard TNO log, met rechts de H3O interpretatie, in het midden de oorspronkelijke interpretatie (Vandenberghe et al., 2000). Deze interpretatie toont de driedeling van de Formatie van Oosterhout, met een bovenste kleilig pakket (Lillo A), een middelste matig grof zandpakket (Lillo B), en een onderste pakket met naar onder toenemende gammastraling en afnemende resistiviteit (blauwe pijl naar onder wijzend).



Figuur 6.4. Logbeeld van de SCK boring Weelde-1 (8E0159, DOV kb8d8e-B161) tot aan de Formatie van Diest. Merk de grote verschillen op in interpretatie van het interval tussen de Formaties van Waalre en Kasterlee tussen de SCK interpretatie (zwart) en de H3O interpretatie (paars) - (aanduiding van H3O indeling volgens codes van formaties/modeleenheden).



Figuur 6.5. Detail van het zuidelijk uiteinde van hulpprofiel 5 (gebied Retie – Mol) dat de vertanding tussen de mariene Formatie van Oosterhout en de fluviale Kiezeloöliet Formatie laat zien. Het circa 10 m dikke zandpakket onder de Kiezeloöliet Formatie betreft het Kasterlee Zand, dat wordt geassocieerd met de Formatie van Oosterhout op basis van het zwak glauconiethoudende karakter .

7. Kiezeloöliet Formatie

Code: KI

Onderverdeling

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 Rijnleisteinmassief. Ze transporteren de sterk door chemische verwerking aangetaste deklagen, dat op de Neogene 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 ingekoelde veenlagen komen veelvuldig voor en representeren perioden van non-depositie. De vorming van de kleilagen hangt, daar we ze meerdere meters dikten bereiken mogelijk samen met synsedimentaire lokale tot regionale daling binnen de grotere tektonische eenheden van het afzettingsgebied. Bij gemiddelde dikten van 5-10 m hebben de kleien alle facies kenmerken van komkleien (Westerhoff, 2003b).

De Kiezeloöliet Formatie komt enkel voor in het oosten van het inventarisatiegebied. In het westen komt de mariene Formatie van Oosterhout in de plaats.

Op grond van kenmerkende lithologie, stratigrafische positie en verbreiding worden in de Kiezeloöliet Formatie twee laagpakketten onderscheiden: de Laagpakketten van Waubach en Brunssum (Westerhoff, 2003b).

Als typelocatie geldt het Erft Block van de Nederrijnslenk (Klostermann, 1992) – (Fig. 7.1-2). Voor Nederland is de boring 60D1033 te Broeksittard, traject 19,00 201,00 m beneden maaiveld, als lectostratotype aangewezen. In deze boring zijn de laagpakketten van Brunssum en Waubach aanwezig. Deze boring is gelegen in Zuid-Limburg in het zuidoostelijk deel van het inventarisatiegebied van het H3O – Roerdalslenk project (Westerhoff, 2003b).

Belgisch parastratotype: verkenningsboring Maaseik – Jagersborg (Vandenbergh et al., 2005) – (Fig. 7.3); GeoDoc 049W0220; DOV kb18d49w-B220; traject 62 – 166 m (diepte volgens Vandenbergh et al, 2005) of 63,20 – 164 m (diepte volgens boorgatmeting) beneden maaiveld. Deze boring is eveneens in het zuidoostelijk deel van de Roerdalslenk gelegen. Een beschrijving van de Kiezeloöliet Formatie in het Belgische deel van de Roerdalslenk, op basis van H3O – Roerdalslenk project is gegeven in Duser et al., 2014. Een beschrijving van de Belgische Kiezeloöliet Formatie werd als proposal op de website van de NCS gepost (Duser, 2016).

In de Vlaamse deel van het inventarisatiegebied correleert de Kiezeloöliet Formatie met het onderste deel van de Formatie van Mol; de top van deze formatie wordt gecorreleerd met de Formatie van Stramproy (cf. Toelichting 3, Stramproy). Globaal blijft het centrale deel van de Roerdalslenk ten oosten van het Feldbiss breuksysteem de gedetailleerde laagopvolging van de Kiezeloöliet Formatie vertonen, ten zuidwesten ervan werd de Formatie van Mol gekarteerd. Deze laterale overgang van Kiezeloöliet Formatie naar Formatie van Mol valt daarmee samen met de overgang tussen beide H3O projectgebieden.

Verheyen & Vandenbergh (2003) stelden vast dat het laagpakket bekend als de Spriet van De Maat in de Formatie van Mol in de richting van de Roerdalslenk overgaat in de kleirijkere afzettingen van het Laagpakket van Brunssum van de Kiezeloöliet Formatie. Deze laagpakketten zijn echter onvoldoende gedefinieerd om te worden toegepast in de H3O lithostratigrafie. Klei- en/of ligniet tussenschakelingen zijn wel als hydrogeologische eenheden gekarteerd (zie correlatietabel).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Kiezeloöliet Formatie kan in het inventarisatiegebied een dikte van 160 m bereiken, verdeeld over twee laagpakketten (stratigrafisch van boven naar onder):

1. Laagpakket van Brunssum; klei, grijsbruin tot donkerbruin, zwak zandig tot sterk siltig, in dikte wisselende (dm tot enkele m) inschakelingen van fijn tot matig grof zand en veelvuldig ingeschakelde bruinkoollagen. De klei is veelal compact en stevig. Plaatselijk komen lichtgekleurde kleilagen voor.

In boorgatmetingen is dit laagpakket goed af te bakenen op grond van de kleilagen die als aquiclude optreden ook al worden tussenliggende goed doorlatende zanden (met hoge resistiviteitswaarden) ingesloten. In de boorpraktijk voor grondwaterproductie komt het er vooral op aan deze kleilagen te onderscheiden.

2. Laagpakket van Waubach; kwartsrijk grind en zand, van grof tot fijn.

Het Laagpakket van Waubach is de onderste en vrij regelmatige eenheid aan de basis van de Kiezeloöliet Formatie. Het bereikt aanzienlijke diktes, gemiddeld zo'n 60 m. De kleiige tussenlagen zijn niet overal als dusdanig ontwikkeld, bijvoorbeeld niet in het zuidelijke deel van het studiegebied. In de boorgatmetingen is dit laagpakket goed af te bakenen door het voorkomen van een of meerdere coarsening upwards sequenties, gescheiden door dunne kleiige tussenlagen.

In de praktijk wordt de Kiezeloöliet Formatie niet in laagpakketten opgedeeld, maar worden de kleilagen gekarteerd (hydrogeologische eenheden KI-k-1 en KI-k-2 in Laagpakket van Brunssum, KI-k-3 in Laagpakket van Waubach, cf Fig. 7.4, zie ook correlatietabel).

Van oost naar west, van het centrale deel van de slenk naar de randzone ervan wordt het Laagpakket van Brunssum, dat kleilagen KI-k-1 en KI-k-2 bevat stelselmatig in dikte gereduceerd (Fig. 7.5). In het Belgische deel van het inventarisatiegebied blijft alsof doorgaans één kleilaag over aan de top van de Kiezeloöliet Formatie die als gidslaag dienst doet om de Formaties van Kiezeloöliet en van Stramproy te onderscheiden.

Bovengrens

In het zuidelijk deel van het inventarisatiegebied worden de afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie bedekt door afzettingen van de Formatie van Stramproy (Fig. 7.6). De grens tussen deze twee eenheden is moeilijk vast te stellen op basis van de zandige component en wordt daarom boven de bovenste duidelijke bruinkool- en/of kleilaag geplaatst (Fig. 7.4). Een duidelijk verschil is effectief 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 minder dik zijn, een wat hoger zandgehalte hebben en ook minder stevig zijn.

Meer noordwestelijk in het inventarisatiegebied wordt de Kiezeloöliet Formatie bedekt door afzettingen van de Formatie van Waalre (Fig. 7.7). De grens met afzettingen van de Formatie van Waalre is niet altijd duidelijk wanneer beide formaties in zandig facies zijn ontwikkeld; de grens is scherp wanneer kleilagen op het contact voorkomen, indien ten minste de lithofacieskenmerken herkenbaar zijn. Lokaal wordt de Kiezeloöliet Formatie overdekt door de Formatie van Maassluis, in zijn geheel grofzandiger dan de Formatie van Waalre en schelpengruishoudend, alhoewel doorgaans voorkomend tussen de Formaties van Oosterhout en Waalre.

Ondergrens

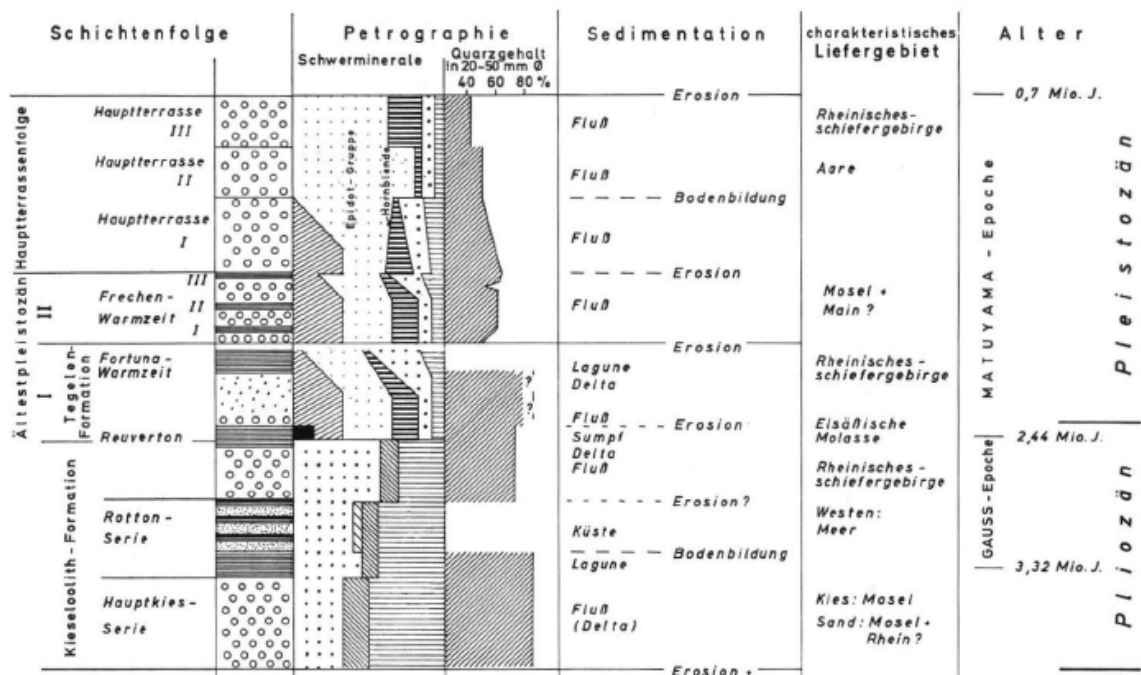
De afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie liggen in het oosten op de Kasterlee Klei, een informele eenheid die de afzettingen van de Formatie van Breda afsluit (Fig. 7.6), in het noordwesten van het inventarisatiegebied op de Formatie van Oosterhout (Fig. 7.7). De grens met de Kasterlee Klei is scherp. Het contrast tussen de grovere, witte, kwartsrijke afzettingen van de Kiezeloöliet Formatie en de fijnere, grijze of groene, glauconiethoudende afzettingen van de mariene Kasterlee Klei of de Formatie van Oosterhout is duidelijk.

Lithostratigrafisch is de ondergrens formeel niet goed gepreciseerd waar tussen de basis van de Kiezeloöliet Formatie en de informele eenheid Kasterlee Klei zeer licht glauconiethoudende zanden voorkomen die 'Kasterlee Zand' en een equivalent van Poederlee omvatten, en die als deel van de Formatie van Oosterhout worden geïnterpreteerd. Dit laagpakket komt voor als een vermoedelijk lateraal equivalent van de Formatie van Inden uit het oosten van de Roerdalslenk (H3O – Roerdalslenk inventarisatiegebied).

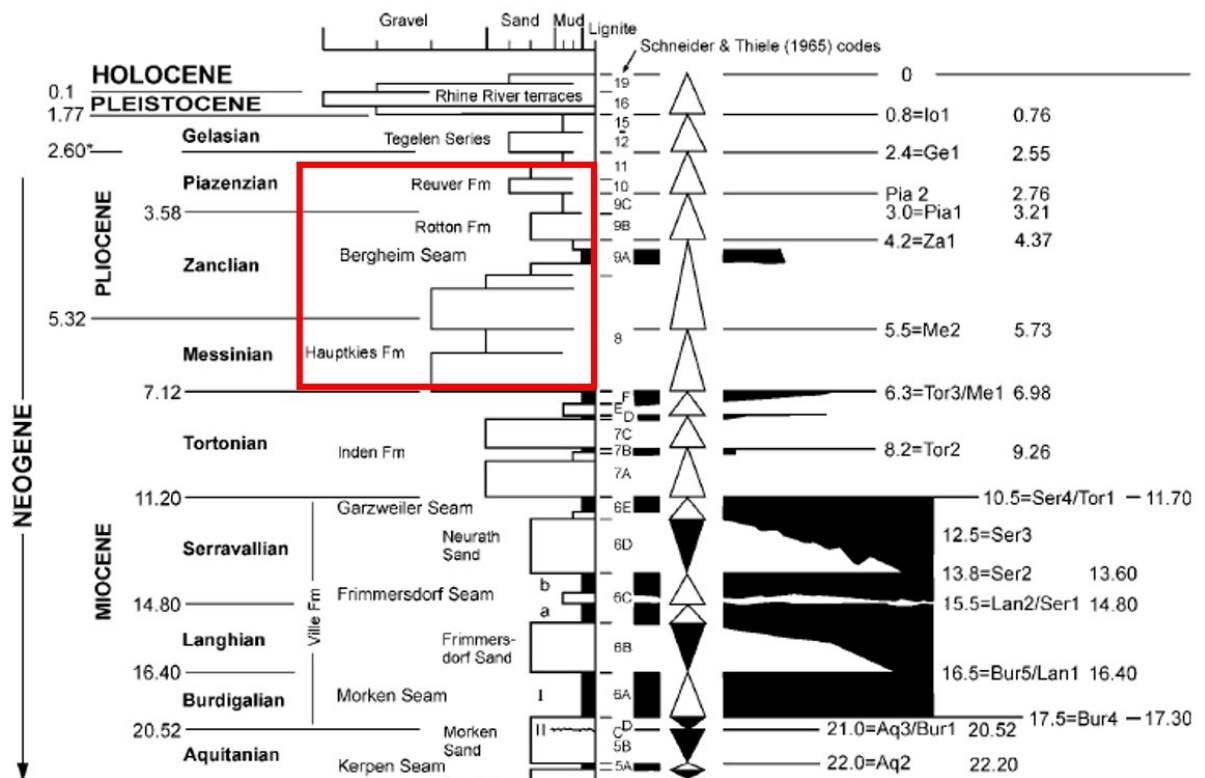
Stratigrafische positie

Vanaf de Laat-Miocene tot Pliocene Kiezeloöliet Formatie verdwijnt definitief de mariene invloed in het oosten van het inventarisatiegebied en wordt dit het afzettingsdomin van fluviatiele systemen. Overgang naar de mariene sedimenten van de tijdsequivalente Formatie van Oosterhout in het westen van het inventarisatiegebied gebeurt door vertanden tussen fluviatiele en mariene facies. De faciesgrens tussen beide formaties verplaatst zich tijdens de sedimentatieperiode van de oostrand van het inventarisatiegebied steeds verder naar het westen, met als gevolg dat de Kiezeloöliet Formatie in westelijke richting verdunt en op een steeds dikker wordend pakket sedimenten van de Oosterhout Formatie rust.

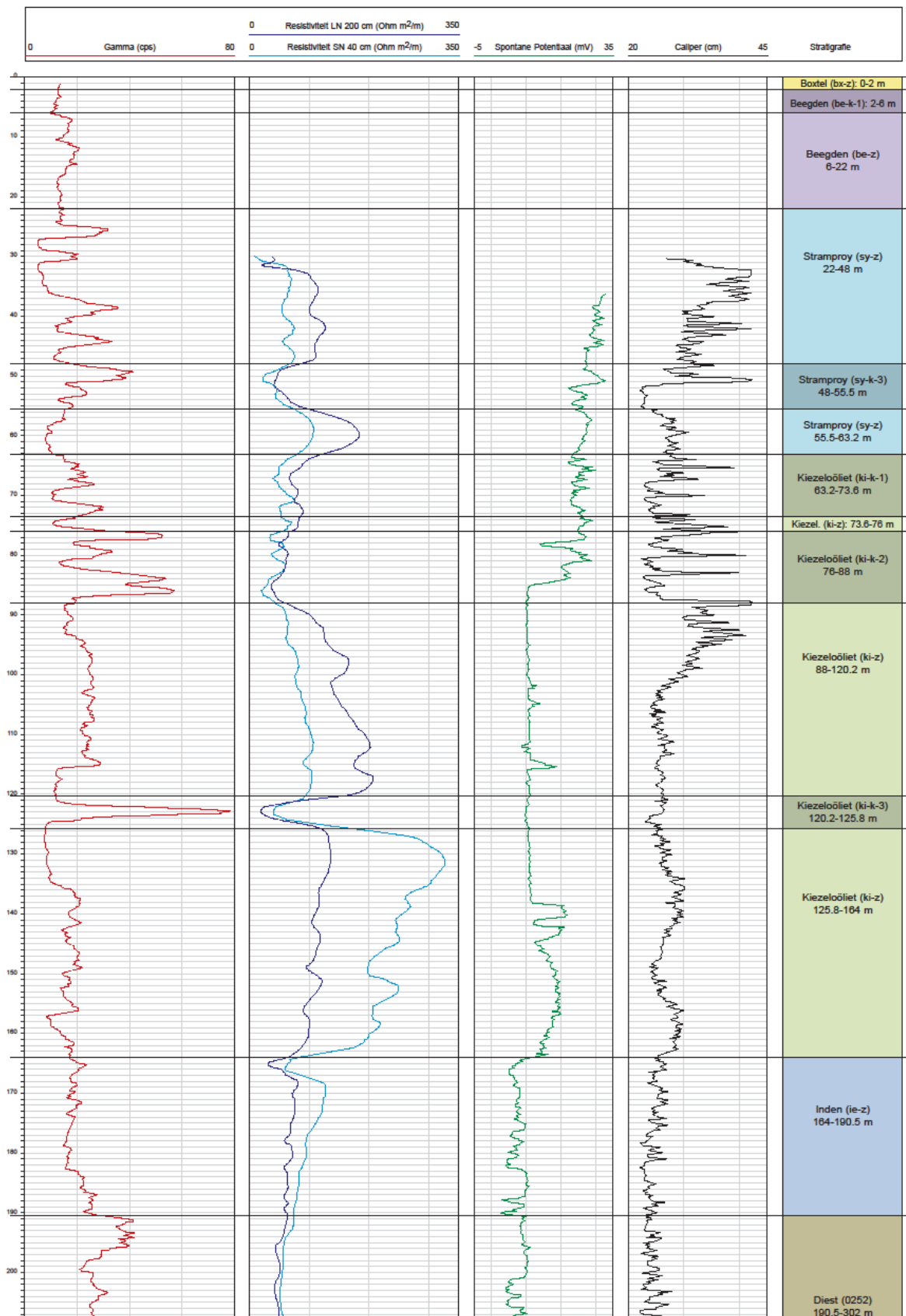
In het estuariene bereik, op de overgang van continentaal naar marien is er ook een verticale overgang doorheen de tijd van de glauconietrijke zanden van de Formatie van Breda (vanaf de Kasterlee Klei) naar de Kiezeloöliet Formatie. Deze overgangslagen sluiten aan bij de informele eenheid 'Kasterlee Zand', in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied en zijn nog van Miocene ouderdom (Louwye et al., 2007), vermoedelijk tijdsequivalent van de continentale Inden Formatie in het oosten van de Roerdalslenk. In het H3O - Roerdalslenk project werden deze overgangslagen, zeer licht glauconiethoudende maar ook ligniethoudende matig fijne zanden met kleiige tussenschakelingen, nog tot de Formatie van Breda gerekend. Nu is echter beslist de top van Breda gelijk te stellen met de gammastralingspiek overeenkomend met 'Kasterlee Klei', zie Toelichting 8), en zijn deze overgangslagen aan Formatie van Oosterhout toegewezen, doch een meer formele stratigrafische omschrijving is aangewezen.



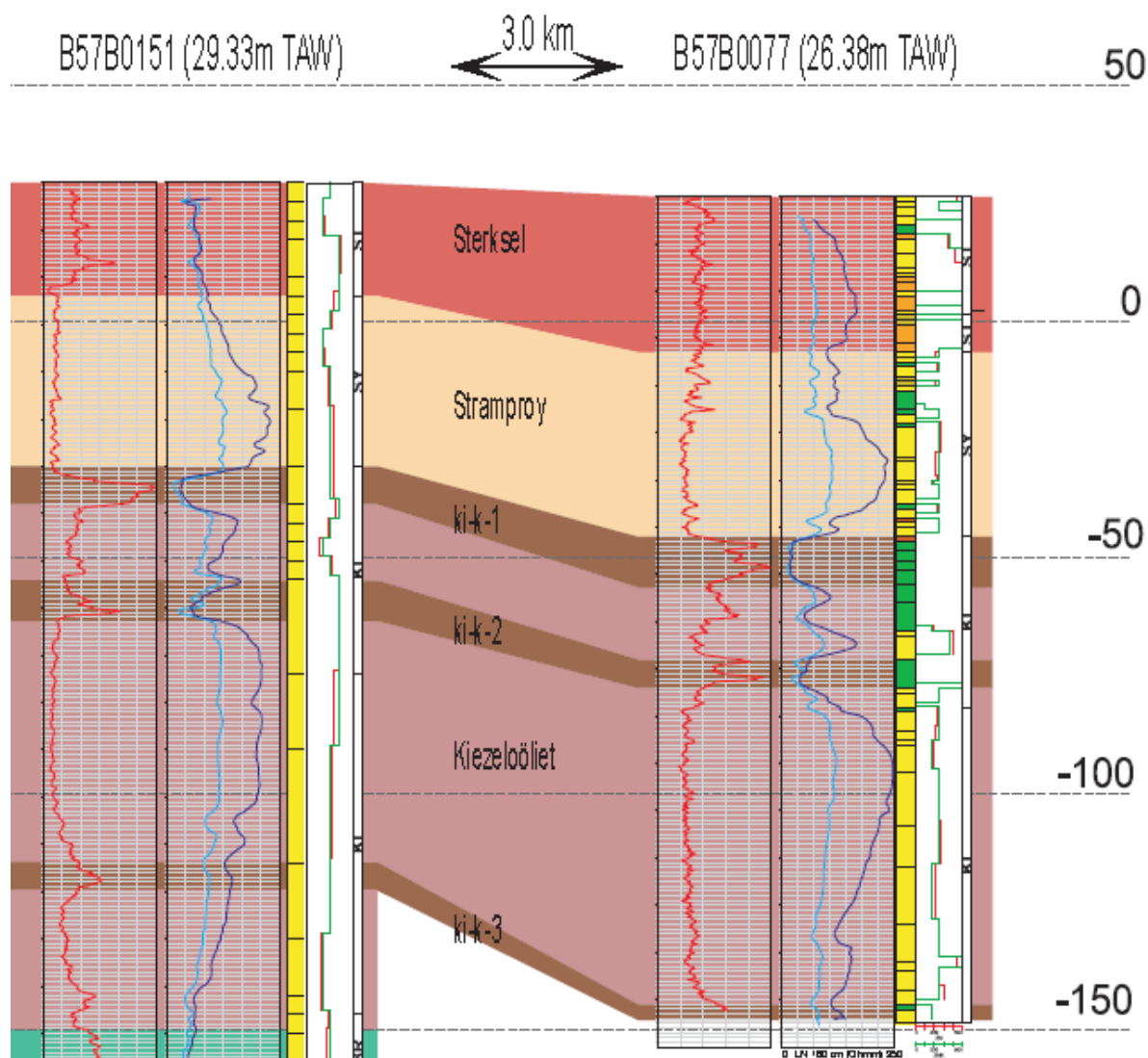
Figuur 7.1. Lithostratigrafische opeenvolging in de Nederrijnslenk (Boenigk, 1978). De Kiezeloöliet Formatie komt overeen met de Kieseloolith Formation tot en met de Reuverton.



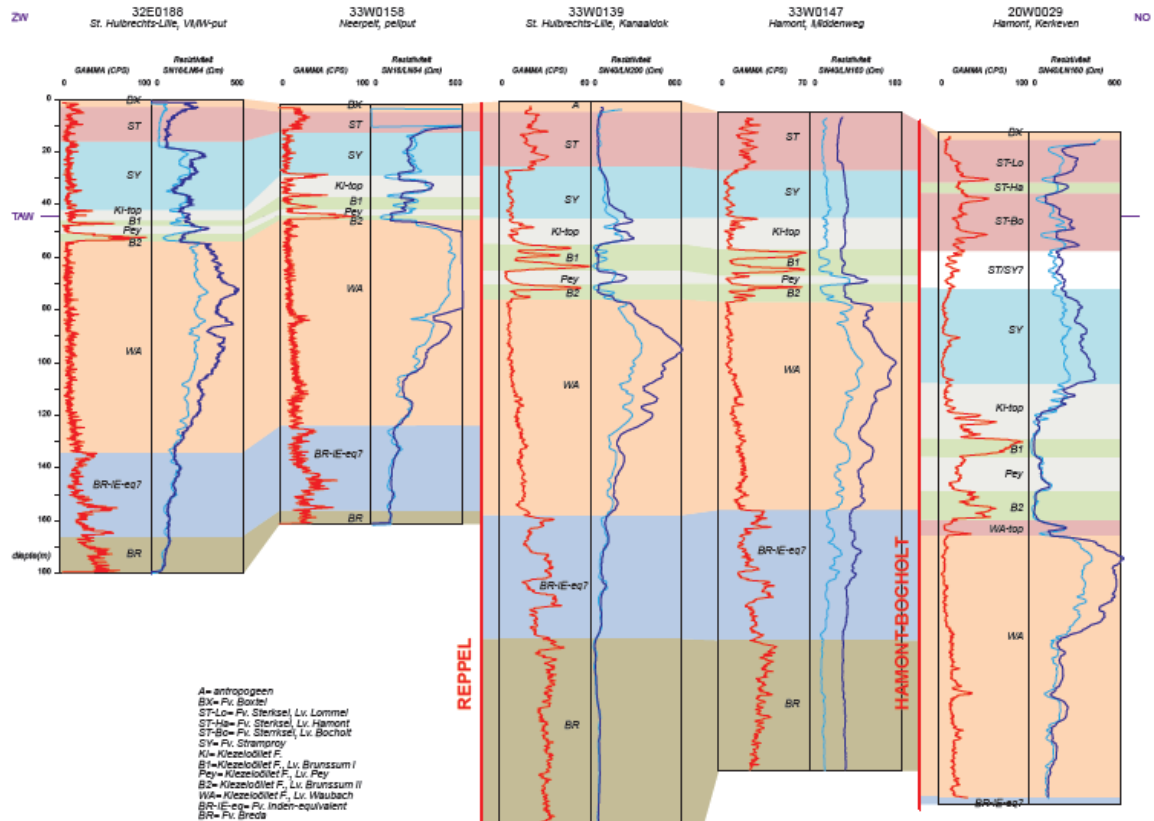
Figuur 7.2. Sequentiestratigrafische opeenvolging in de Nederrijnslenk (Schäfer et al., 2005). De Kiezeloöliet Formatie omvat de laagpakketten in rood kader, gaande van lokale Hauptkies Formatie tot de basis van de Reuver Klei in de lokale Reuver Formatie.



Figuur 7.3. Verkenningsboring Maaseik – Jagersborg, GeoDoc 049W0220; DOV kb18d49w-B220, Belgisch parastratotype voor de Formaties van Inden, Kiezeloöliet en Stramproy. Interpretatie H3O 21.05.2014, op basis van Vandenberghe et al., 2005.



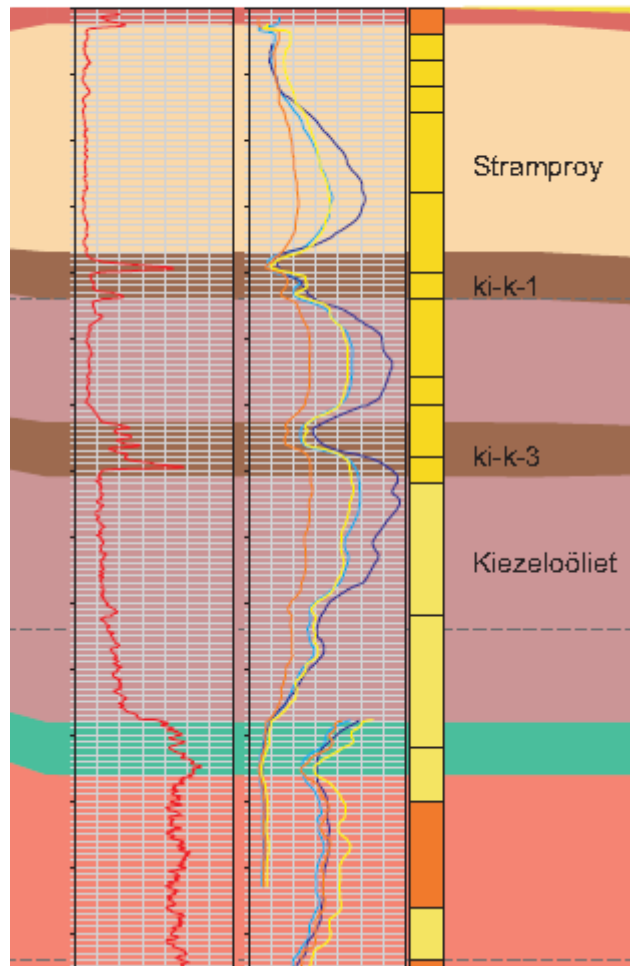
Figuur 7.4. Kenmerkende litholog en boorgatmeting over de zanden en kleien van de Kiezeloöliet Formatie, overdekt door de zanden van de Stramproy Formatie, boringen gelegen op het ENE uiteinde van correlatieprofiel 1: de kleilaag KI-k-1 bepaalt de grens tussen beide formaties.



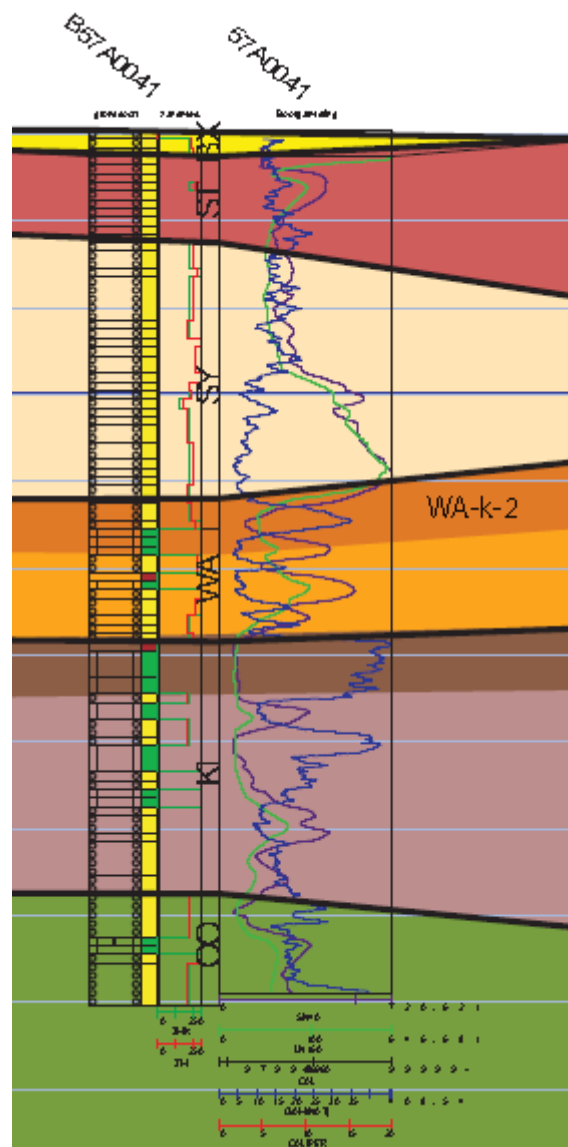
Figuur 7.5. Hulpprofiel langs de westrand van H30 - Roerdalslenk doorheen het noorden van Belgisch Limburg. Van belang hier is de sterke verdunning van het Laagpakket van Brunssum (lichtgroen gekleurd), van NE naar SW. De kleilagen, hier B1 (Brunssum 1, KI-k-1) en B2 (Brunssum 2, KI-k-2) genoemd, blijven correlleerbaar maar de onderlinge afstand en dikte van het Laagpakket van Brunssum worden steeds meer gereduceerd tussen het centrale deel van de Roerdalslenk en de zuidwestelijke breuktrappen.

kb17d32w-B385

032W0415 (44.00mTAW)



Figuur 7.6. Doorsnede door boring 32W0415 (DOV kb17d32w-B385), gelegen in het Belgisch-Nederlands grensbereik op correlatieprofiel 1. De Kiezeloöliet Formatie overdekt de informele eenheid Kasterlee Klei (groen), top van het dikke pakket groene glauconiethoudende zanden, toegewezen aan de Formatie van Breda. De Kiezeloöliet Formatie wordt overdekt door de Formatie van Stramproy. De top van de Kiezeloöliet Formatie wordt aangeduid door de kleilaag KI-k-1, in feite de samenvoeging van de kleilagen KI-k-1 en KI-k-2 van het Laagpakket van Brunssum. Horizontale stippellijnen stellen 50 m diepte-intervallen voor.



Figuur 7.7. Doorsnede door boring B57A0041, gelegen op hulpprofiel 3. De Kiezeloöliet Formatie wordt overdekt door de Formatie van Waalre en rust zelf op de Formatie van Oosterhout (waarmee de Kiezeloöliet Formatie vertandt). Zowel de Kiezeloöliet Formatie als de Formatie van Waalre bestaan uit een zand – klei opeenvolging. De lithologische kenmerken zullen bepalen of een kleilaag aan de ene of de andere formatie wordt toegewezen.

8. Informele eenheid Kasterlee Klei

Code: Kl

Onderverdeling

De Formatie van Kasterlee sluit de opmerkelijke sequentie van groene glauconietrijke zanden af en werd van oudsher samen met de (huidige) Formaties van Diest en Kattendijk tot de Diestien étage gerekend. Merk op dat traditioneel de Formatie van Kasterlee als Pliocene werd beschouwd, gecorrigeerd naar Boven Mioceen (Louwye et al., 2007). In het typegebied is deze formatie een tiental meter dik en wordt formeel niet verder onderverdeeld. Informeel worden twee pakketten onderscheiden, die kartografisch worden gescheiden. De bovenste eenheid, informeel Kasterlee Zand genoemd, wordt gemodelleerd samen met de Formatie van Oosterhout (zie Toelichting nr 6); de onderste eenheid, informeel Kasterlee Klei genoemd, is herkenbaar over het gehele inventarisatiegebied, vormt zelfs een gidshorizont, en wordt als afzonderlijke eenheid gemodelleerd. Kasterlee Klei vormt het voorwerp van deze Toelichting.

De tweeledige samenstelling van de Formatie van Kasterlee werd eerder herkend in stratigrafische studies met kartografische doelstelling, waarin de onderverdeling vooral op boorgatmetingen wordt gebaseerd (bijv. Verheyen, 2003; Welkenhuysen & De Ceukelaire, 2009). Deze praktijk sluit overigens aan bij de wijze van onderverdeling in Nederland.

De Formatie van Kasterlee is oorspronkelijk gedefinieerd in ontsluitingsgebied Kasterlee – Lichtaart langs de zuidrand van het inventarisatiegebied (De Meuter & Laga, 1976) en in meer detail beschreven voor de regio Mol door Gulinck et al. (1963), ook al werd in deze studie de Kasterlee Klei nog tot de top Diest gerekend. Als lectostratotype geldt boring Dessel-2, GeoDoc 31E0338, , DOV kb17d31e-B320, traject 23,2 – 34,25 m beneden maaiveld (Fig. 8.1)- (Louwye et al., 2007; Wouters & Schiltz, 2011; Adriaens, 2015).

De informele lithostratigrafische eenheid Kasterlee Klei komt overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheid 0242 (Meyus et al., 2000).

In de Nederlandse stratigrafie komt de modelleenheid Kasterlee Klei overeen met de niet gedifferentieerde top van de Formatie van Breda, meer specifiek met de hydrostratigrafische eenheid BR-k-1 (Westerhoff, 2003c).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Kasterlee bestaat uit groenig grijs micahoudend licht glauconiethoudend matig-fijn, soms kleiig zand tot zandrijke klei, met wat bijmenging van grofkorrelige kwarts. Ze bevatten geen kalkige macrofossielen noch schelpengruis, wat onderscheid met de lateraal equivalente (maar daarom niet tijdsequivalente) Formatie van Kattendijk toelaat. Een bijzonder kenmerk van praktische waarde in de boorpraktijk is de olijfgroene verkleuring van de boorspoeling bij het doorboren van deze formatie. Deze verkleuring gaat door oxidatie snel verloren en wordt dan niet meer herkend in de boormonsters, die bestaan uit geelgrijs licht gespikkeld zand.

De H3O modelleenheid is beperkt tot het onderste zandrijke klei pakket (Kasterlee Klei) en wordt gekenmerkt door een verhoogde gammastraling en verlaagde resistiviteit ten opzichte van de onderliggende en zeker de bovenliggende zandige lagen. De logsignatuur uit zich door een afgeknotte piek. Referentieborings Dessel-2, GeoDoc 31E0338, interval 29,5 – 34,25 m bestaat uit groengrijs fijnkorrelig zand met 10-20% glauconiet, vaak kleihoudend en met bleekgroene overall zalmkleurige tot violette kleilenzen. De basis van Kasterlee Klei duidt op een belangrijke herwerking die waarschijnlijk gerelateerd is aan de emersie van de Diest Formatie tijdens het laat-Mioceen. De mineralogie van de kleifracie bestaat uit glauconiet-smectiet en een naar boven toe toenemende hoeveelheid kaoliniet (Adriaens, 2015).

Het bovenliggende zandpakket (Kasterlee Zand) dat wordt toegewezen aan de modelleenheid Formatie van Oosterhout wordt gekenmerkt door een snelle verlaging van de gammastraling en verhoging van de resistiviteit. Referentieborings Dessel-2, interval 23,2 - 29,5 m bestaat uit fijn

glauconietarm (2-3%) maar veldspaaathoudend (5%) zand met wit zand intervallen (Louwye et al., 2007). De grens Kasterlee Zand – Laagpakket van Mol-Donk (overgang tussen de Formatie van Oosterhout en de Kiezeloöliet Formatie) werd gedefinieerd op basis van de stijging in kaolinietgehalte en de scherpe daling van de hoeveelheid glauconietkorrels.

Bovengrens

De Formatie van Kasterlee, inzonderheid de informele eenheid Kasterlee Zand, wordt in het naamgevingsgebied overdekt door de Formatie van Poederlee, met het Grind van Hukkelberg aan de basis. In het zuidelijk voorkomingsgebied, tevens de zuidrand van het inventarisatiegebied heeft de Quartaire erosie het Zand van Kasterlee blootgelegd of wordt er overdekt door laatquartaire dekzanden met basisgrind, eventueel door alluviale afzettingen.

De grens Kasterlee Klei (de modeleenheid) en Kasterlee Zand (gekarteed als Oosterhout Formatie) is bepaald op basis van log signatuur, gekoppeld aan een geleidelijke doch stelselmatige verandering in mineralogische samenstelling (Fig. 8.1-2) en dinocysten associaties.

Ondergrens

De Formatie van Kasterlee ligt disconform op de Formatie van Diest en wordt ervan gescheiden door een basisgrind, dat meestal niet wordt waargenomen. Het Zand van Diest is glauconietrijker en grofkorreliger, echter twee kenmerken die nogal kunnen variëren en daarom moeilijk als algemeen geldend criterium kunnen worden genomen. In de praktijk wordt daarom de ondergrens gelegd aan de basis van het kleirijke pakket met de gammastralingspiek (Fig. 8.4).

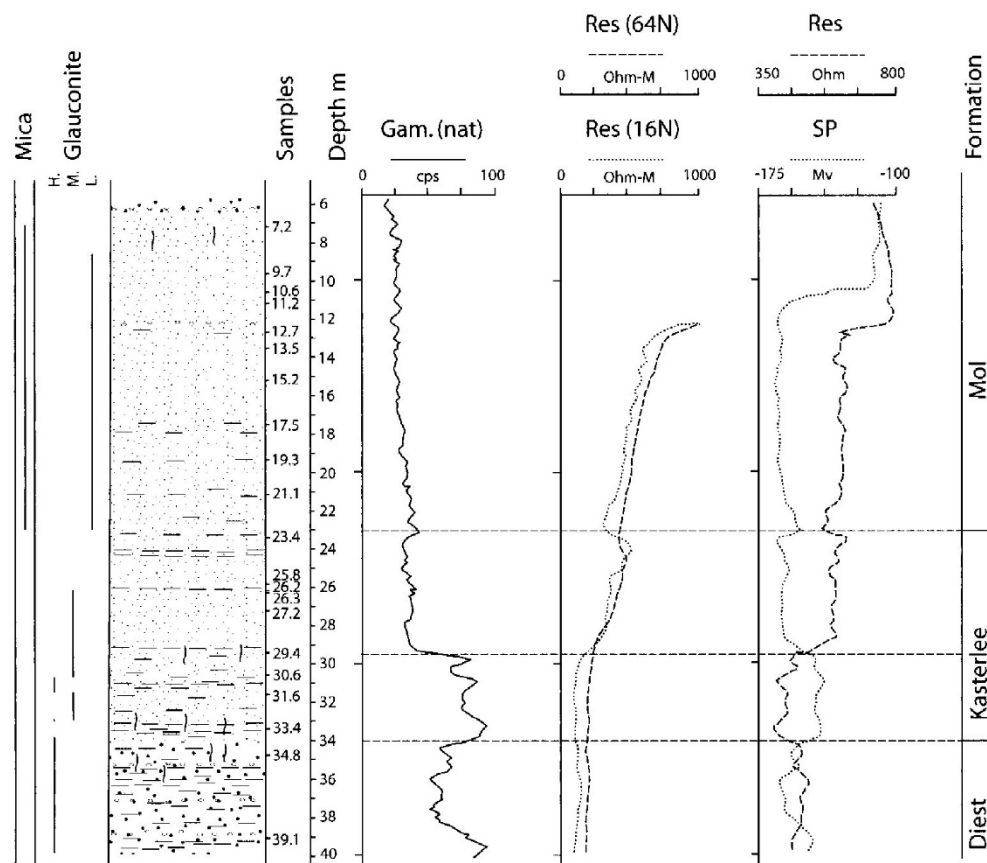
Stratigrafische positie

De Laat-Miocene (laat-Tortonien tot Messinien) Formatie van Kasterlee werd afgezet in zeer ondiep water marien milieu in een nieuwe transgressie die volgt op de zeespiegeldaling na de afzetting van de Formatie van Diest. Het basisgrind en de herwerkte sedimenten aan de basis van de Formatie van Kasterlee (dus ook aan de basis van Kasterlee Klei) wijzen op een emersie en erosiefase. Het sediment bevat componenten (algen, phytoklasten, herwerkte microfossielen) die wijzen op aanvoer door rivieren.

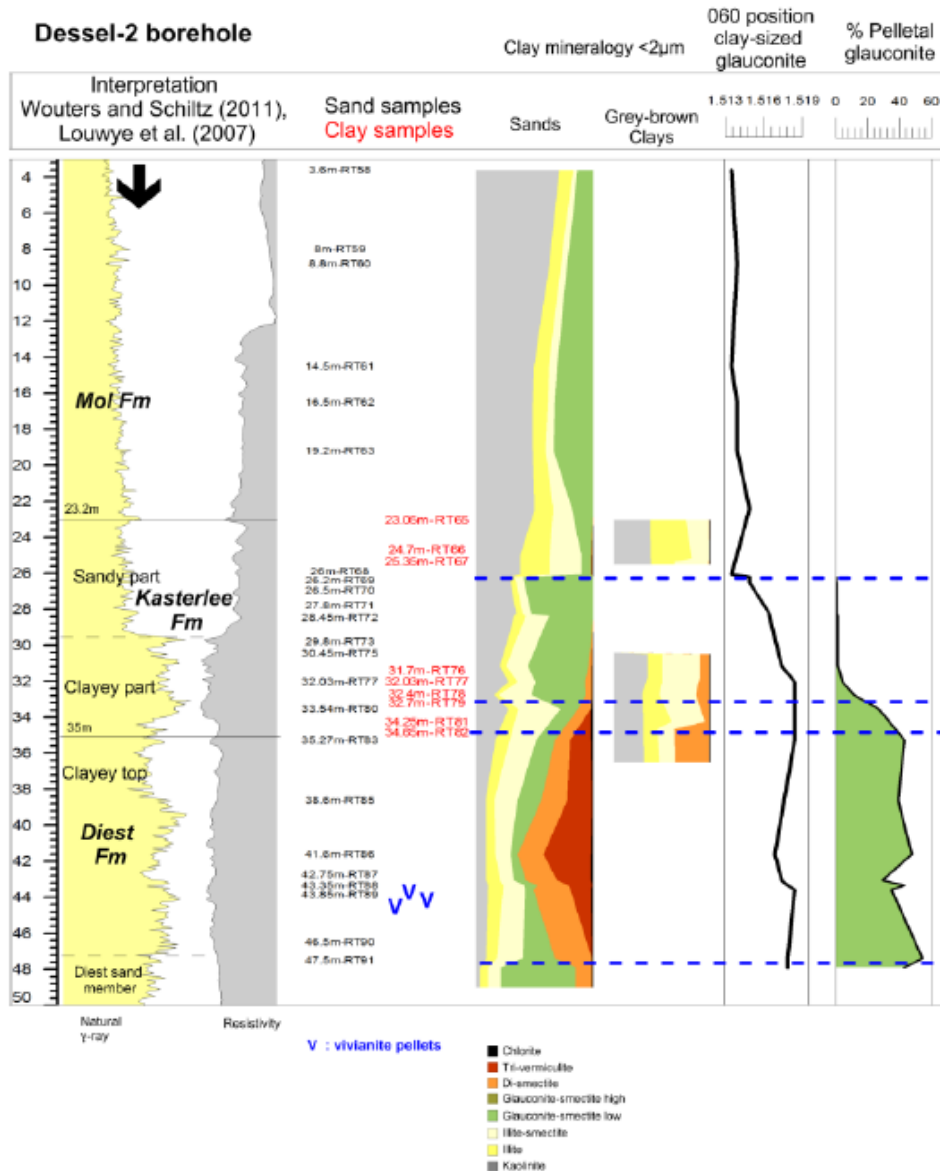
Door dinoflagellaten werd de ouderdom herzien van vroeg Pliocene naar laat Mioceen, waardoor een tijds onderscheid kan worden gemaakt met de geometrisch gezien lateraal equivalent maar Pliocene Formatie van Kattendijk (Louwye et al., 2007).

In de Nederlandse stratigrafie wordt de grens tussen de Formaties van Breda ('Mioceen') en Oosterhout ('Pliocene') vooral gebaseerd op een terugval in glauconiet en overeenkomstige verlaging van de gammastraling. Deze grens komt in de Vlaamse stratigrafie overeen met de grens tussen de informele eenheden 'Kasterlee Zand' en 'Kasterlee Klei'.

De afzetting van de Zanden van Kasterlee heeft net als die van Diest plaatsgevonden voor de wereldwijde zeespiegeldaling, geassocieerd met de Messiniaanse crisis. Ten gevolge van de tektonische dynamiek (daling en sterke aanvoer van continentaal sediment) van de Roerdalslenk – Nederrijnslenk blijkt nochtans vertanding op te treden tussen de mariene sedimenten van Kasterlee en estuariene tot fluviatiele zanden die de Roerdalslenk opvullen en lateraal equivalent zijn van de Formatie van Inden (Fig. 8.5). Het is intrigerend vast te stellen dat het kleipakket met de gammastralingspiek in de Formatie van Kasterlee, die de sequentie van glauconietrijke Neogene zanden afsluit, overeenkomt met een vergelijkbare piek aan de top van dezelfde sequentie in de Roerdalslenk, waar de glauconietrijke zanden worden opgevolgd door de continentale afzettingen van Inden en Kiezeloöliet formaties.



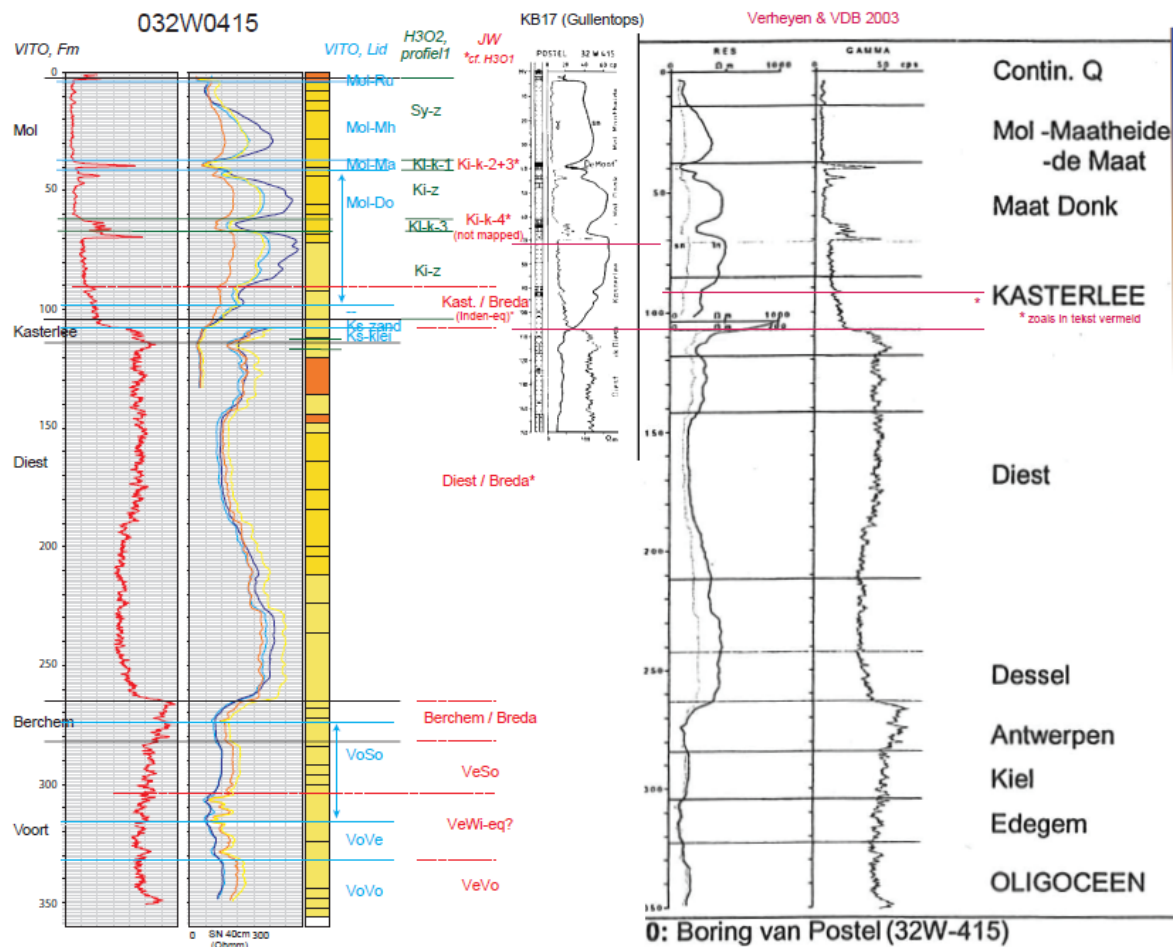
Figuur 8.1. Lectostratotype Dessel-2, GeoDoc 31E0338, DOV kb17d31e-B320, voor de Formatie van Kasterlee met aanduiding van de informele tweedeling tussen 'Kasterlee Zand' bovenaan en 'Kasterlee Klei' onderaan, duidelijk te onderscheiden op basis van boorgatmetingen (Louwye et al., 2007).



Figuur 8.2. Kleimineralogische analyse van boring Dessel-2 (31E0338, , DOV kb17d31e-B320) vergeleken met de stratigrafische interpretatie op basis van boorgatmetingen (gammastraling en resistiviteit), gevolgd door Louwye et al. (2007). De grens Mol – Kasterlee Zand (= Kiezeloöliet – Oosterhout) is op basis van de glauconietmineralogie licht verschoven (bovenste blauwe stipellijn). Onderaan de grens Diest – Kasterlee Klei komt een laag herwerkte Diest sedimenten voor (tussen de blauwe stipellijnen boven 35 m) – (Adriaens, 2015).

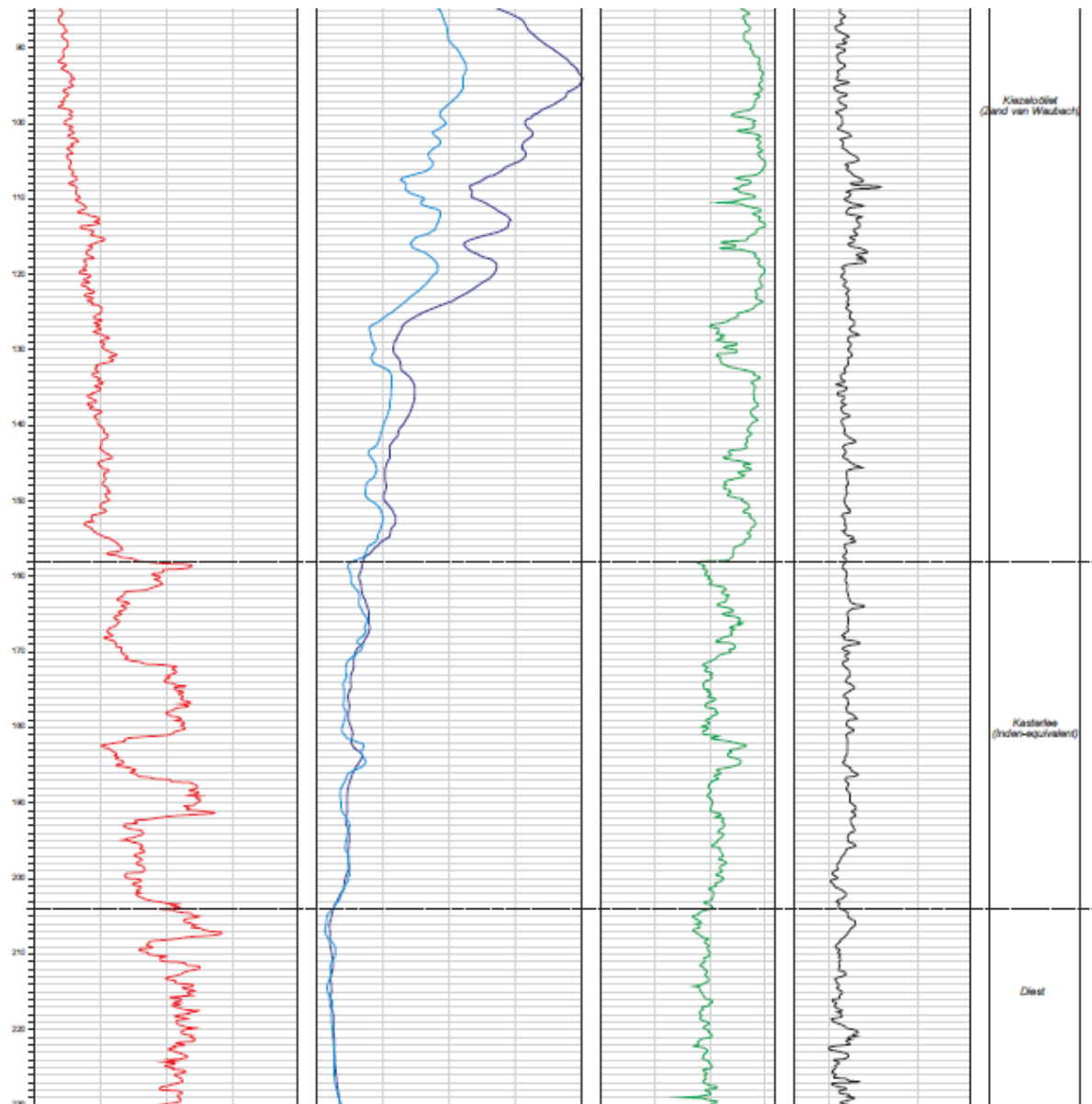


Figuur 8.3. Kernboring Dessel-2, diepte 32,03 m, kleivoorkomens, van boven groene klei rijk aan glauconiet-smectiet in de kleifraction, in het midden zalmkleurige klei rijker aan smectiet en kaoliniet, onderaan glauconietrijk kleiig zand met dezelfde kleien (Adriaens, 2015).



Figuur 8.4. Boring 32W0415, DOV kb17d32w-B385, Postel, met verschillende interpretaties, door Verheyen (2003) als lectostratotype voor de Formatie van Kasterlee voorgesteld. Hieruit blijkt duidelijk het onderscheid tussen 'Kasterlee Klei' (interval tussen de onderste lila streep en de onderliggende zwarte streep op de figuur rechts) en 'Kasterlee Zand' (interval tussen de beide lila strepen), waarbij de top van 'Kasterlee Zand' en overgang naar de Formatie van Mol voor interpretatie vatbaar blijft.

Merk tevens de onderverdeling van de Formatie van Mol op en de toewijzing aan de Kiezeloöliet Formatie en de Formatie van Stramproy.



Figuur 8.5. Boring 33W0139, DOV kb18d33w-B142 (zuidwestrand H3O Roerdalslenk projectgebied, met interval 158 – 204 m overeenkomend met de informele eenheid Kasterlee Zand, tussen Kiezeloöliet Formatie – Waubach Zand bovenaan en Diest Formatie onderaan, als Kasterlee (equivalent Inden Formatie) geïnterpreteerd. De onderliggende gammastralingspiek op 204 – 208 m vertoont op basis van de boorgatmetingen dezelfde signatuur als de informele eenheid Kasterlee Klei, maar werd in H3O - Roerdalslenk naar analogie met de referentieboring Maaseik – Jagersborg als top Formatie van Diest geïnterpreteerd.
Legende: zie fig. 7.3.

9. Formatie van Diest

Code: Di

Onderverdeling

De Formatie van Diest bestaat uit Boven-Miocene glauconietrijke zanden die in de Antwerpse Kempen een dikte van 150 m bereiken (boring Ravels, 009W0146), een dikte die nog oploopt tot 250 m aan de noordrand van het inventarisatiegebied. De sediment-opbouw is complex en intraformationele correlaties als basis voor verdere kartering zijn amper mogelijk.

Aan de basis van de formatie worden twee lateraal equivalente laagpakketten (leden) onderscheiden, Deurne en Dessel. De kenmerken waarmee deze laagpakketten van de rest van de formatie worden onderscheiden zijn eerder ambigu en hun voorkomen is slechts in beperkte mate gedocumenteerd. Hoger op in de formatie worden geen laagpakketten onderscheiden maar wel informele facies, die gebeurlijk het statuut van laagpakket kunnen krijgen. Vandenbergh et al. (2014) onderscheidt zo informeel de 'Campine Diest' zanden (in de Antwerpse Kempen) en de 'Hageland Diest' zanden (in het Hagelandse typegebied maar ook in Belgisch Limburg). Deze laatste zanden zijn afgezet in de Hagelandse Golf, die een diepe insnijding heeft opgevuld die tot in de Eocene zanden reikt en recht in de richting van de Roerdalslenk loopt (Vandenbergh et al., 2014) – (Fig. 9.1).

Ten zuiden van het inventarisatiegebied geeft ijzerzandsteenvorming in de toplagen van de formatie steun aan de kenmerkende Hagelandse getuigenheuvels en een roestbruine kleur aan lokale historische monumenten.

De lithostratigrafische Formatie van Diest komt overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheid 0252 (Meyus et al., 2000).

In de Nederlandse stratigrafie komt de modelleenheid Formatie van Diest overeen met de niet gedifferentieerde top van de Formatie van Breda, meer specifiek met de hydrostratigrafische eenheid BR-z-2 (partim) - (Westerhoff, 2003c). Het equivalent van de Formatie van Diest (samen met de Kasterlee Klei) wordt informeel als Boven Breda eenheid omschreven.

Lectostratotype van de Formatie van Breda: Boring 58F0064 te Groote Heide, traject 314,80 - 99,75 m beneden maaiveld (Fig. 9.2).

De Formatie van Breda bereikt in zijn totaliteit een maximale dikte van 700 m in de Roerdalslenk maar neemt snel in dikte af naar het westen en zuidwesten en wordt opgedeeld in drie seismostratigrafische eenheden. De Formatie van Diest wordt geassocieerd met de zandige prograderende middelste en bovenste eenheden van de (seismische) Formatie van Breda, onderaan afgesloten door de Mid-Miocene Discordantie (MiMU) - (Verbeek et al., 2002).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De informele 'Campine Diest' zanden zijn grof, kruisgelaagd in zandbanken afgezet, slecht gesorteerd van fijn tot matig grof, glauconietrijk (herwerkt uit oudere lagen, vooral uit de Zanden van Antwerpen) met een gemiddeld glauconietgehalte van 30 tot 50% (met uitschieters tot 70%), behalve de onderste 20 m waar het glauconietgehalte vermindert tot 20 – 30%, zwak kleihoudend met violette kleilaagjes vooral naar de top toe. In tegenstelling tot de onderliggende Zanden van Antwerpen (Formatie van Berchem) zijn de kwartskorrels iets grover dan de glauconietkorrels (Verheyen, 2003) - (Fig. 9.3).

Het logbeeld van deze formatie met complexe sedimentatiegeschiedenis is nogal eentonig maar varieert volgens meer lokale patronen. In het centrale deel van het inventarisatiegebied (Mol – Weelde) vertoont de resistiviteit aan de basis een snel oplopende resistiviteit, gevolgd door een langdurig dalende trend, met naar de top van de formatie opnieuw een stijgende trend tot waarden vergelijkbaar met die van de basis van de formatie, weliswaar met afwijkende intervallen (Figs. 9.4-5).

Verder noordwaarts waar de Formatie van Diest nog dikker wordt en vooral dieper ligt verzwakken deze trends en worden ze moeilijk interpreteerbaar en correleerbaar. Deze afzettingen worden toegewezen aan een deltafront (Westerhoff, 2003c).

Meer oostelijk in het Belgisch Limburgse deel, met aan het Hageland gerelateerd sedimentatiepatroon komt een afwijkend patroon voor, met geleidelijke zelfs sterke daling van de resistiviteit vanaf de basis van de formatie en dan een omgekeerde trend in de toplagen, voor een omgekeerde trend in de gammastraling.

De Formatie van Breda is in Nederland veel ruimer gedefinieerd dan de formatie van Diest, maar bestaat eveneens uit een complexe opeenvolging van ondiep mariene en in kustzone gevormde afzettingen, hoofdzakelijk matig fijn zand tot matig grove zanden met ondergeschikt zandige klei. De Formatie van Breda wordt gekenmerkt door glauconiet en een (grijs)groene kleur van het sediment. De laagpakketten onderscheiden in de Formatie van Breda in het inventarisatiegebied vinden hun Belgische equivalenten in de onderliggende Formaties van Berchem en Bolderberg.

Bovengrens

De Formatie van Diest wordt disconform gevolgd door de Formatie van Kasterlee, meer specifiek de informele eenheid Kasterlee Klei.

Lithologisch wordt de grens tussen de Formatie van Diest en Kasterlee Klei gekenmerkt door een beduidende terugval in het glauconietgehalte en in de korrelgrootte (cf. Fig. 8.2).

Langs de oostrand van het inventarisatiegebied kan de Formatie van Diest overdekt worden door de Kiezeloöliet Formatie, of door overgangslagen tussen het Kasterlee Zand en de Formatie van Inden (deze laatste formatie is beperkt tot het H3O Roerdalslenk projectgebied) – (cf. Figs 7.5, 8.5).

Ondergrens

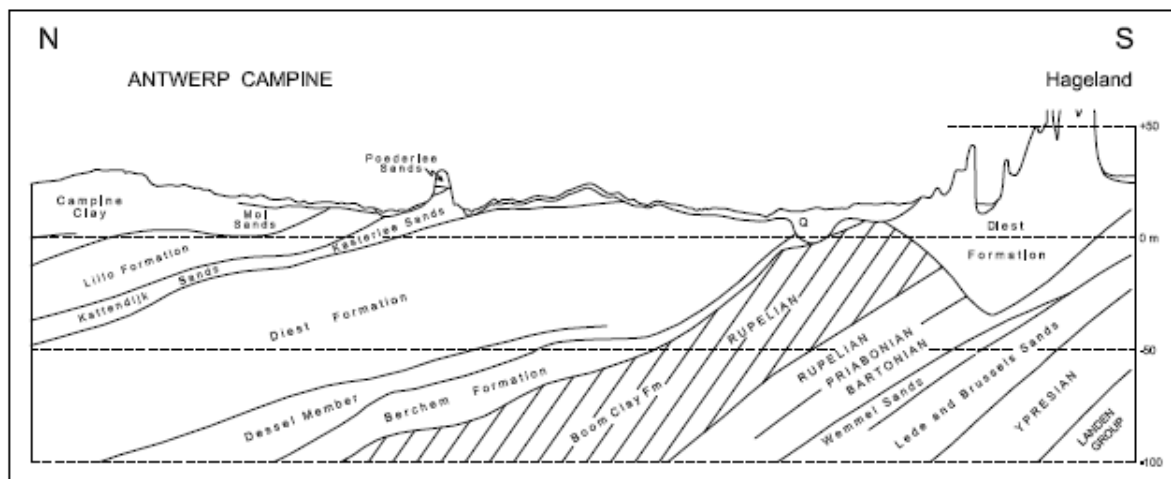
De Formatie van Diest overdekt disconform de Formatie van Berchem in de provincie Antwerpen en de tijdsequivalente Formatie van Bolderberg in Belgisch Limburg. Deze grens bouwt een sterke seismische reflector. Ten gevolge van een insnijdingsfase tijdens het Serravallien, tot 100 m diep in de Hagelandse geul en opgevuld met Zand van Diest, staat deze formatie in contact met oudere formaties, tot de Formatie van Brussel toe langs de zuidoostrand van het inventarisatiegebied. De Formatie van Diest begint onderaan met een bult in de resistiviteit, die snel hogere waarden bereikt dan onderliggende formaties.

Stratigrafische positie

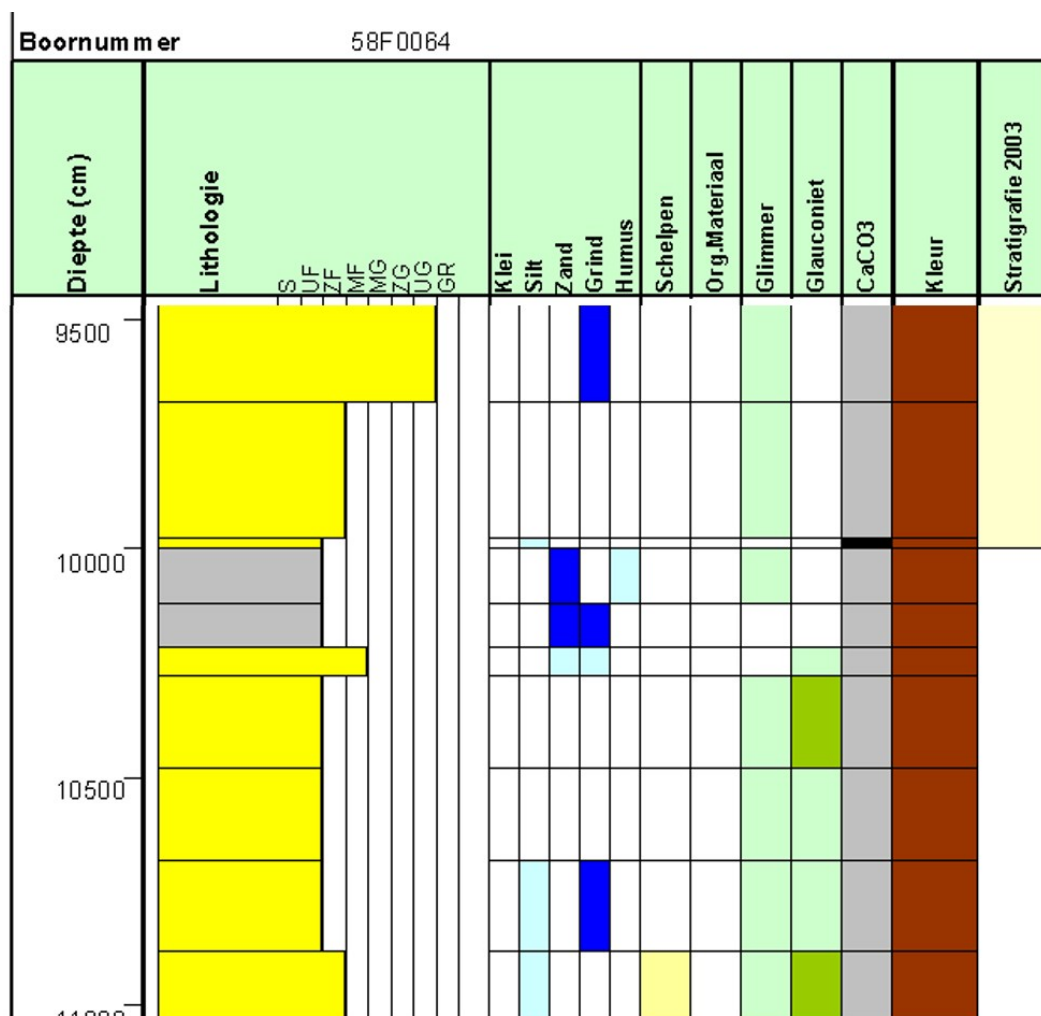
Afzetting van de Formatie van Diest wordt aangestuurd door sterke daling in de Roerdalslenk, die insnijdingen in het zuidelijk deel van het inventarisatiegebied genereert.

Het sediment wordt opgebouwd uit kwarts grotendeels aangevoerd uit de continentale Nederrijnslenk en glauconiet herwerkt uit de onderliggende Zanden van Antwerpen en aangevoerd vanuit het westen (Vandenberghe et al., 2014). De afzettingsperiode is Boven-Mioceen (Tortonien tot basis Messinien) volgens Vandenberghe et al. (2014), maar Vroeg tot Midden Mioceen volgens de Nederlandse stratigrafische nomenclator. Hiermee wordt een daterings- en correlatieprobleem scherpgesteld dat ook impact heeft op de onderliggende modelleenheid.

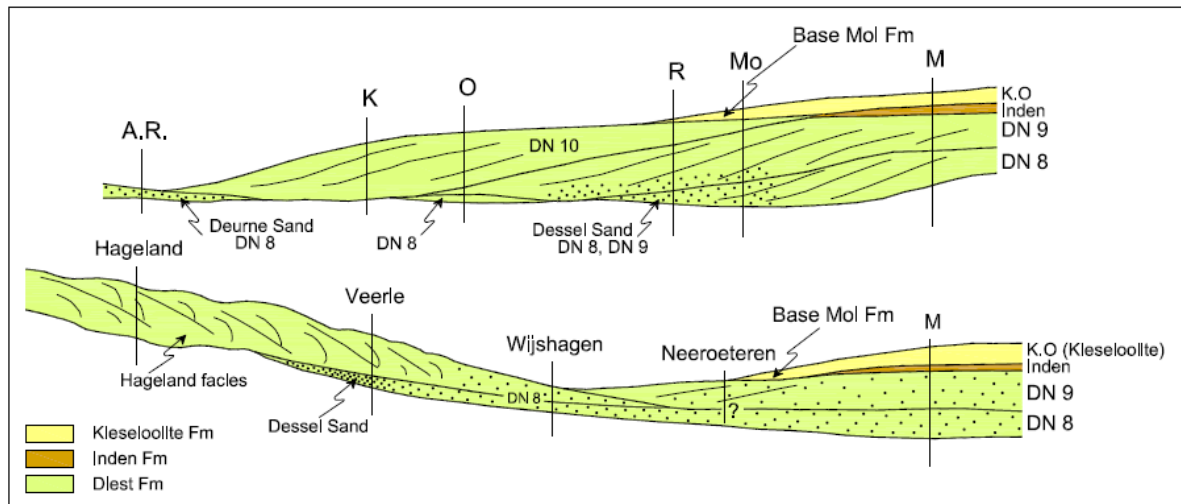
De Formatie van Diest ligt bijgevolg disconform op de Onder Mioceen Formaties van Berchem en Bolderberg, in de geul discordant op oudere Oligocene en zelfs Eocene formaties, zelf disconform overdekt door de Formatie van Kasterlee. Meer algemeen vormt de Mid-Mioceen Unconformity (MIMU) de basis van deze eenheid.



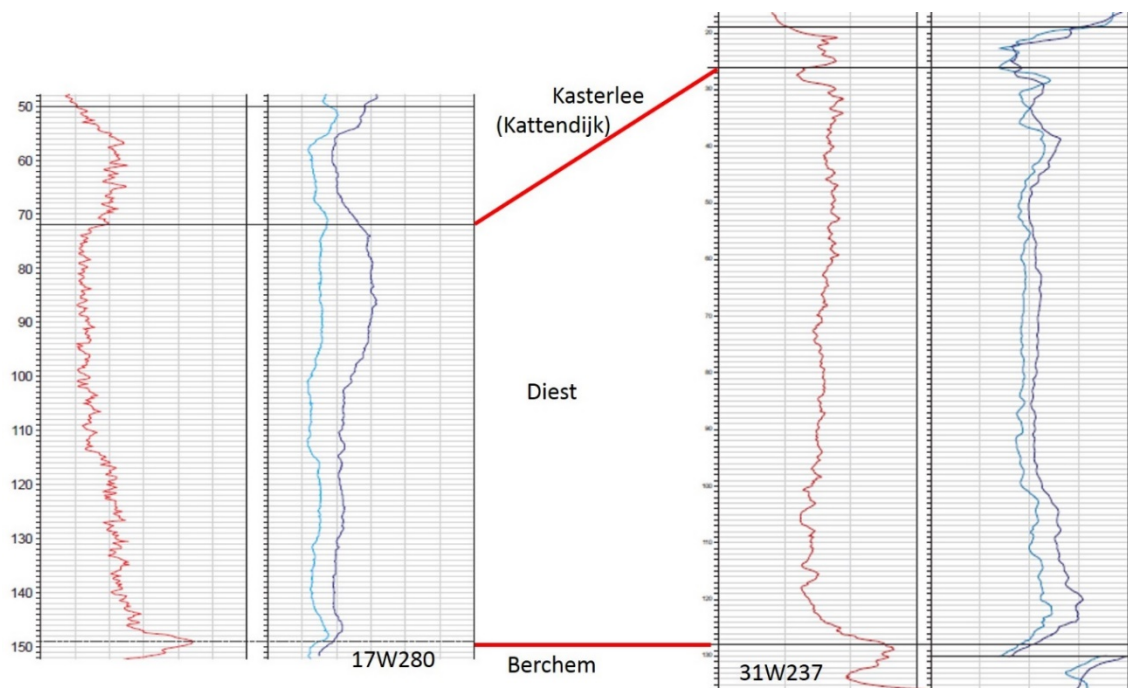
Figuur 9.1. Noord-zuid profiel van de Antwerpse Kempen (zuidwestelijk projectgebied) naar het Hageland toont de heterogeniteit in de afzettingsgeschiedenis van de Formatie van Diest (Vandenbergh et al., 2014). Opmerking: de geometrische gelijkschakeling van de afdekkende lagen houdt niet in dat ze ook stratigrafisch equivalent zijn.



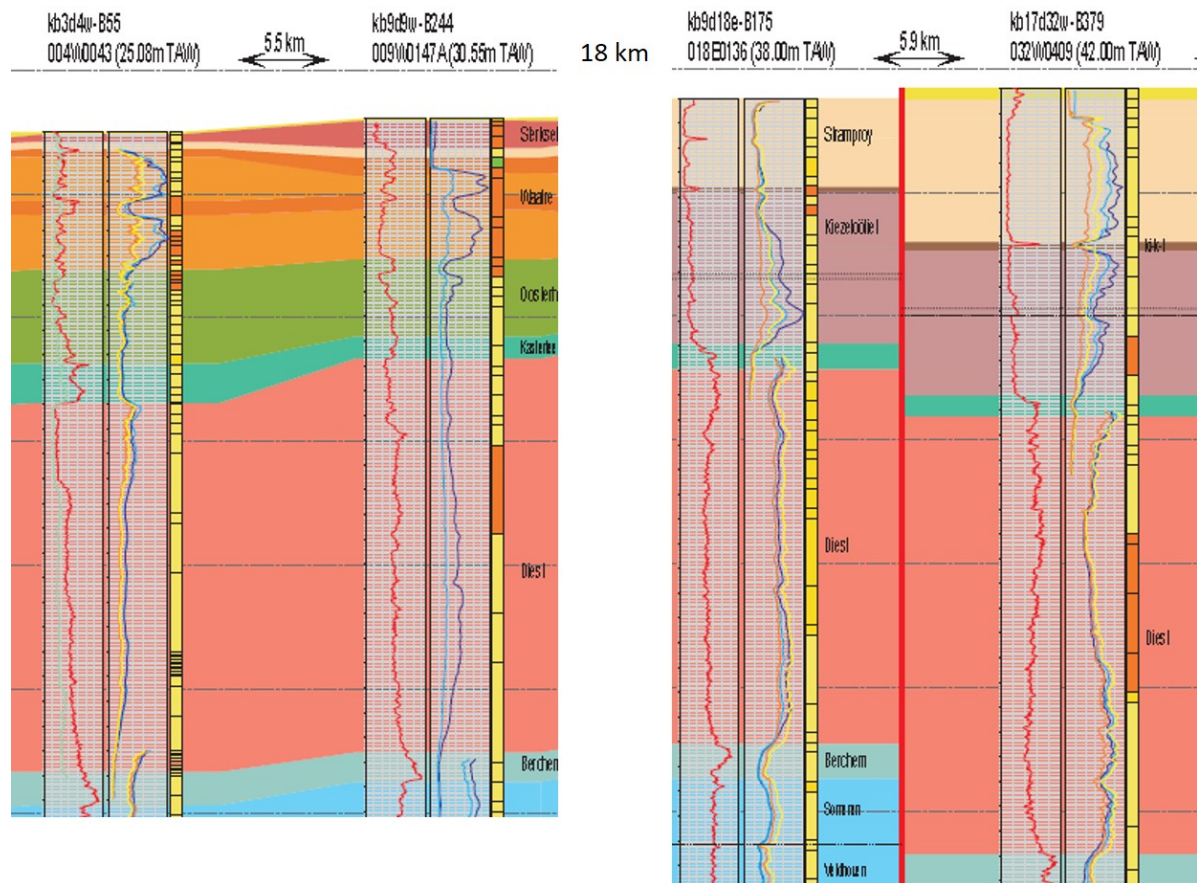
Figuur 9.2. Lectostratotype voor de Formatie van Breda: boring 58F0064 Groote Heide (Peelhorst), contact met de overliggende Kiezeloöliet Formatie op 99,75 m, waarbij vooral het verschijnen van glaucaniet opvalt als voornaamste diagnostisch kenmerk (Westerhoff, 2003c).



Figuur 9.3. West-oost profiel van Antwerpen (A.R.) tot Maaseik (M) en zuidwest-noordoost profiel van het Hageland tot Maaseik, met interne prograderende structuren in de Formatie van Diest gerelateerd aan de continentale afzettingen van de Rijn in de Roerdalslenk, volgens Dinocyst zones DN8 (midden Tortonien), DN9 (boven Tortonien) en DN10 (laat Tortonien tot Messinien) – (Vandenberghe et al., 2014).



Figuur 9.4. Vergelijking Diest Formatie tussen boringen Merksplas-Beerse-2 (17W280, DOV kb8d17w-B315) en Mol SCK15 (31W237) met duidelijk toenemende dikte in de richting van de insnijdingsgeul en daarmee ook in de richting van de Roerdalslenk. De Formatie van Diest bestaat uit verschillende sequenties die – indien ze overeenkomen tussen beide boringen – een sterk verschillende dikte-ontwikkeling vertonen. Standaard TNO log weergave met gammastraling en dubbele resistiviteit.



Figuur 9.5. Logbeeld van de Formatie van Diest op correlatieprofiel 3, vanaf de BE-NL grens richting Hagelandse Golf, met vanaf de basis (top Berchem Formatie) een oplopende resistiviteit, vervolgens een dalende en naar de top (basis Kasterlee Klei) opnieuw een oplopende trend.

10. Combinatie van Laat-Oligocene tot Midden-Miocene zanden / Veldhoven Klei

Informeel model eenheid bestaande uit overwegend matig-fijne glauconiethoudende zanden, waartoe binnen het inventarisatiegebied behoren: de Formatie van Berchem die overeenkomt met het onderste deel van de Formatie van Breda en de onderliggende Formatie van Voort / Veldhoven, waarin door klei gedomineerde lagen en laagpakket voorkomen. De Formatie van Berchem komt over het grootste deel van het inventarisatiegebied voor (maar niet in de Roerdalslenk waar het Laagpakket van Vrijherenberg. De Formatie van Voort / Veldhoven wigt uit in het zuidwesten van het inventarisatiegebied.

Onderverdeling

De **Formatie van Berchem** (code: Bc) bestaat uit ondiepwater mariene zanden. Vlaamse hydrogeologische eenheid 0254 (Meyus et al., 2000).

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Breda, Laagpakket van Rucphen, dat qua facies aansluit op het Lid (Laagpakket) van Antwerpen (Westerhoff, 2003c). In het inventarisatiegebied – met inbegrip van het Nederlandse deel – wordt de Formatie van Berchem herkend met een lithologische samenstelling die goed aansluit bij die van het Laagpakket van Antwerpen in de typelokaliteit. De Formatie van Berchem is goed herkenbaar op boorgatmetingen aan de hand van een kenmerkende ‘kick’ (Fig. 10.1).

Meer algemeen wordt de Formatie van Berchem geassocieerd met de onderste eenheid van de Formatie van Breda, onder de MiMU, die onderaan echter ook het Laagpakket van Someren (mogelijk zelfs een deel van het onderliggende Laagpakket van Veldhoven) van de Formatie van Voort/Veldhoven kan omvatten, of op zijn minst een facies-equivalent voor zover gelegen boven de Savisch-2 onconformiteit (Fig. 10.2) - (= informele eenheid Berchem sensu lato).

Definitie van de grens tussen de Formaties van Berchem en Voort/Veldhoven en correlatie tussen lithostratigrafie, biostratigrafie, sequentiestratigrafie, boorgatmetingen, en daarmee ook de grensoverschrijdende correlatie is dus problematisch: wat te doen met het Laagpakket van Someren dat formeel tot de Formatie van Voort/Veldhoven behoort? De rek op de interpretatie van de Formatie van Berchem is geen uitsluitend Nederlands probleem. Grote dikteverschillen die wel eens aan de Formatie van Berchem in Vlaamse boringen werden toegewezen waren het gevolg van het niet herkennen van de Formatie van Voort / Veldhoven. Zo hebben ook de Formaties van Berchem en Voort een gemeenschappelijke Vlaamse hydrogeologische code 0254 (Meyus et al., 2000).

In de (richting van de) Roerdalslenk wordt in plaats van de Formatie van Berchem het Laagpakket van Vrijherenberg van de Formatie van Breda aangetroffen dat in de Belgische stratigrafie eerder wordt geassocieerd met de bovenkant van de Formatie van Bolderberg die overigens in het Belgische deel van het inventarisatiegebied niet voorkomt (wel in H3O – Roerdalslenk).

De **Formatie van Voort / Veldhoven** (code: Vo /VE) berust op de combinatie van de Belgische Formatie van Voort en de Nederlandse Formatie van Veldhoven. De Vlaamse Formatie van Voort heeft de indeling overgenomen van de Nederlandse Formatie van Veldhoven (de Lang, 2003). Deze formatie is in herziening door de NCS, vandaar dat dubbele nomenclatuur wordt aangehouden in dit document (Dusar & Vandenberghe, 2015).

De Formatie van Veldhoven omvat de zandige en kleiige sedimenten afgezet tijdens het Chattien tot Vroeg-Mioceen in marien milieu. Het is de eerste formatie die duidelijk onder invloed van actieve daling van de Roerdalslenk tot stand is gekomen (Fig. 10.3).

Aanvankelijk werd de Formatie van Voort in België beschreven als donkergroen glauconiethoudend fijn kleiig zand met macrofossielen. Dit was echter enkel gebaseerd op het onderste deel van deze formatie, zoals die in het Kempisch Bekken ten zuiden van de Roerdalslenk is bewaard gebleven. In de formele Belgische (NCS) en Vlaamse (DOV) stratigrafie zijn slechts 2 leden gedefinieerd, Voort en Veldhoven binnen de Formatie van Voort. Nu worden er op basis van de Nederlandse indeling

van de Formatie van Veldhoven (als synoniem voor de Formatie van Voort) op basis van zand – klei dominantie drie laagpakketten onderscheiden, van boven naar onder: Someren, Veldhoven sensu stricto (voorgestelde benaming Wintelre), Voort sensu stricto. Om dubbel gebruik van eenzelfde benaming voor formatie en laagpakket te vermijden wordt in de NCS discussion note (Dusar & Vandenberghe, 2015) de volgende naamgeving voorgesteld: Veldhoven als unieke naam voor de formatie / Someren – Wintelre – Voort als benaming voor de laagpakketten.

Holostratotype : Boring 51D0127 Veldhoven1 (NAM) te Veldhoven, traject 860,00 – 1103,00 m beneden rotatietafel.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De **Formatie van Berchem** bestaat uit donkergroene tot zwarte zeer glauconietrijke zanden van middelmatige korrelgrootte die schelpenbanken bevatten. Het glauconietgehalte ligt doorgaans boven 50% en kan tot 80% oplopen. De formatie bereikt een gemiddelde dikte van 15 tot 25 m, en varieert weinig, minder zuidwaarts en meer noordwaarts (tot ruim 30 m in Meer).

In boorgatmetingen tekent de Formatie van Berchem zich vrij duidelijk af en vertonen zowel gammastraling als resistiviteit een tussenwaarde ten opzichte van onderliggende kleiige formaties en bovenliggende zandige formaties. De sprongen in de logsignatuur zijn dus afhankelijk van de samenstelling van de onder- en bovenliggende formaties. In het inventarisatiegebied ligt de Formatie van Berchem meestal tussen zandige formaties zodat de Formatie van Berchem afgetekend hogere gammastraling en lagere resistiviteit vertoont (Fig. 10.1).

Opvallend is de ont koppeling tussen gammastraling die reageert op de glauconiet en de resistiviteit die reageert op het kleigehalte. Zowel gammastraling als resistiviteit vertonen van onder naar boven een opwaartse trend (Figuur 10.4).

Het **Laagpakket van Vrijherenberg** bestaat uit matig fijn, zwak tot matig siltig, weinig glauconiethoudend, bruineel tot groengrijs zand (Westerhoff, 2003c).

De lithologische kenmerken van de Formatie van Breda, glauconiethoudend, overwegend fijn, soms kalkhoudend of kleiig zand, zijn niet bevorderlijk voor een zinvolle opdeling. Weliswaar kunnen verschillende sequenties worden onderscheiden die gescheiden worden door intervallen met verhoogde gammastraling en die dienstig kunnen zijn voor correlaties.

De **Formatie van Voort / Veldhoven** is een complexe eenheid. Grenzen en diktes zijn gebaseerd op trends in log signatuur; vandaar dat soms aanzienlijke dikteverschillen kunnen optreden tussen de boringen. De aangeboorde dikte van de formatie bereikt 295 m in boring Molenbeersel (Fig. 10.5), 243 m in boring Veldhoven en 363 m (gecorrigeerd t.o.v. 433 m opgegeven in de Nomenclator) in boring Asten-01 (Fig. 10.6).

Het Laagpakket (Lid) van Someren bestaat uit grijs tot groengrijs licht glauconiethoudend zand met kleilenzen en schelpengruis. De dikte bedraagt 85 m in boring Asten-01 en 94 m in boring Molenbeersel.

Vlaamse hydrogeologische eenheid: 0254, Zanden van Berchem en/of Voort.

Nederlandse hydrogeologische eenheid: VESO-c.

Het Laagpakket (Lid) van Veldhoven / Wintelre (naam voorgesteld in de Lang, 2003) bestaat uit grijsgroene siltige en zandhoudende klei. Dit pakket onderscheidt zich door een verhoogde gemiddelde gammastraling en verlaagde gemiddelde resistiviteit ten opzichte van de onder- en bovenliggende zandige eenheden. De dikte bedraagt 112 m in typelocatie boring Veldhoven, 136 m in boring Asten-01, slechts 66 m in boring Molenbeersel. Het komt niet voor ten zuiden van de Roerdalslenk in de Limburgse Kempen en indien aldaar gedocumenteerd in boorbeschrijvingen is dit een foutieve interpretatie van het kleiige interval in het Lid van Voort (cf. Dusar & Vandenberghe, 2015).

Vlaamse hydrogeologische eenheid: 0255, Klei van Veldhoven.

Nederlandse hydrogeologische eenheid: VEWI-k-1.

Het Laagpakket (Lid) van Voort bestaat uit donkergroene fijnkorrelige glauconiethoudende en fossielhoudende zanden die vooral aan de basis kleihoudend kunnen zijn (vandaar ook verhoogde gammastraling aan de basis van de formatie). Hierin komt een vrij standvastig meer kleihoudend pakket voor, goed herkenbaar door verhoogde gammastraling, dat gebeurlijk door een laagje rolkeien wordt begrensd. De dikte bedraagt 142 m in boring Asten-01 (212 m volgens NL Nomenclator maar gecorrigeerd voor Eigenbilzen, Fig. 10.6), 135 m in boring Molenbeersel, door erosie van bovenuit verminderd tot 70 m voorbij de breuk van Rauw en van 0 tot 25 m in het typegebied ten noorden van steenkoolmijn Zolder in het Kempisch bekken. Het persistente kleiige interval in dit laagpakket bereikt een dikte van 10-20 m buiten de slenk tegenover 39 m in boring Molenbeersel, in de Roerdalslenk (Fig. 10.3).

Vlaamse hydrogeologische eenheid: 0254, Zanden van Berchem en/of Voort.

Nederlandse hydrogeologische eenheid: VEVO-c.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat in het Laagpakket van Voort een kleiige sequentie voorkomt die goed kan worden afgebakend en herkend (genoemd ST06 naar de Duitse hydrostratigrafische code), maar waarvoor geen afzonderlijke lithostratigrafische definitie wordt ingevoerd.

Hydrostratigrafisch kan het Laagpakket van Voort daarmee wel worden onderverdeeld in een zand/klei/zand pakket, en daarmee de gehele Formatie van Voort / Veldhoven in 5 (zand/klei/zand/klei/zand) – (Dusar & Vandenberghe, 2015).

In bestaande boorbeschrijvingen van het Kempisch bekken, waar de Formatie van Voort/Veldhoven onvolledig is, is deze kleiige sequentie binnen het Laagpakket van Voort vaak verkeerdelijk geïnterpreteerd als Veldhoven Klei.

Het niet herkennen van het Laagpakket van Someren in Vlaamse boring Molenbeersel heeft ertoe geleid dat het overeenkomstig zandpakket werd toegewezen aan de bovenliggende Miocene Formatie van Bolderberg. Deze foutieve toewijzing werd dan weer overgenomen in Nederlandse stratigrafische overzichten (bijv. Wong et al., 2007).

Evenzeer kan het niet herkennen van de Formatie van Eigenbilzen in Nederlandse boringen ertoe leiden dat de dikteverhoudingen tussen de Formaties van Voort / Veldhoven en Eigenbilzen verkeerd worden ingeschat (zie fig. 10.6 voor boring Asten).

Bovengrens

De Formatie van Berchem wordt steeds overdekt door de Formatie van Diest. Het verschijnen van bijna zwarte klei-arme zanden, vergezeld door verhoogde gammastraling is een karakteristiek element. Indien echter aan de basis van de Formatie van Diest het Zand van Dessel voorkomt is deze grens minder opvallend. De Formatie van Diest wordt wel gekenmerkt door merkelijk hogere resistiviteitswaarden, zeker in absolute waarde.

Grens Breda / Berchem en Voort / Veldhoven Formaties

Binnen het inventarisatiegebied liggen de Zanden van Berchem discordant op de geërodeerde top van de Formatie van Voort / Veldhoven in het noorden en oosten (Fig. 10.1), op de Formatie van Eigenbilzen (met mogelijk residueel Voort zand aan de top ervan) in het zuidoosten (Fig. 10.3), en op de Formatie van Boom in het zuidwesten (Fig. 10.4) van het inventarisatiegebied.

Er is geen typische log-signatuur voor deze overgang. De basis van de Formatie van Berchem wordt meestal gekarakteriseerd door een goed herkenbare piek in de gammastraling; de MiMu1 ligt aan de 'kick' op de gammalog ten grondslag. Deze verhoogde gammastraling kan soms aanhouden over het geheel van de formatie, vooral in het oosten. In het westen is de facies-variabiliteit in de Formatie van Berchem dermate groot dat het logbeeld van boring tot boring kan wijzigen.

Ondergrens

De Formatie van Voort / Veldhoven rust met een scherp maar weinig opvallend contact op de Formatie van Eigenbilzen wanneer de basis van de Formatie van Voort / Veldhoven bestaat uit glauconietrijk kleihoudend zand (klei aanwezig als afzonderlijk afgezette laagjes), daar waar de top van de Formatie van Eigenbilzen bestaat uit licht glauconiethoudend kleiig zand (klei aanwezig als

een kleifilm rond de zandkorrels). Vooral naar het westen toe wordt het onderscheid vaag en daarmee ook de log signatuur weinig onderscheidend.

In Nederland is niet steeds onderscheid gemaakt tussen het Laagpakket van Voort en de onderliggende Formatie van Eigenbilzen (Laagpakket van Eigenbilzen van de Formatie van Rupel in de Nederlandse stratigrafie) - (de Lang, 2003). Een voorbeeld van alternatieve toewijzing kan zelfs voor parastratotype boring Asten worden gegeven (Fig. 10.6).

Stratigrafische positie

De midden Miocene (Burdigalien - Seravallien) **Formatie van Berchem** ligt discordant op de Oligocene tot vroeg-Miocene Formaties van Voort / Veldhoven, Eigenbilzen of Boom en wordt zelf disconform overdekt door de laat-Miocene Formatie van Diest. De Formatie van Berchem is afgezet in een kustnabije mariene omgeving. Belangrijke hiaten markeren de formatiegrenzen, maar ook binnen de formatie treden hiaten of sedimentatiestilstanden op.

Meer in de richting van de Roerdalslenk treedt de tijdsequivalente Formatie van Bolderberg als lateraal equivalent op. Deze formatie die bekend is ten zuidoosten van het inventarisatiegebied, bereikt in de Roerdalslenk aanzienlijke grotere diktes dan de Formatie van Berchem (Fig. 10.7).

De basis van de Breda Formatie is gedefinieerd in boring Groote Heide en biostratigrafisch gepreciseerd dank zij een palynologische studie in de additionele referentieboring Broekhuizenvorst (communic. D. Munsterman). Deze grens ligt met een hiaat op het Laagpakket van Someren van de Voort/Veldhoven Formatie (sensu Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993). Daarentegen is op grotere afstand van de slenk in de meer “condensed” ontwikkelde Formatie van Berchem aan de evident aanwezige onconformiteit MiMu1 i,n de praktijk voorbijgegaan: bijvoorbeeld in boring Balmatt/Mol is in het onderste deel van de Formatie van Berchem, onder de MiMu1, reeds een (equivalent van het) Laagpakket van Someren van de Voort/Veldhoven Formatie herkenbaar (info D. Munsterman). Dit is vergelijkbaar met de opeenvolging van het Laagpakket van Someren onder de Formatie van Bolderberg in de boring Molenbeersel (Fig 10.5).

Dit wordt bevestigd door palynologisch onderzoek van de luchtliftboring Goirle in het Belgisch-Nederlandse grensgebied, waarop zowel de Belgische (VITO) als de Nederlandse (GDN) lithostratigrafische definities zijn toegepast. De basis van de Formatie van Berchem valt hier samen met het Laagpakket van Someren en komt overeen met de basis van de zandvoorkomens boven de Savisch-2 onconformiteit (communic. D. Munsterman / J. Deckers).

De **Formatie van Voort / Veldhoven** is afgezet tijdens het Chattien (Boven Oligoceen) en Aquitanien – Burdigalien (Onder Mioceen). De formatie ligt met een hoekdiscordantie op de Rupelien Formatie van Eigenbilzen en wordt zelf discordant overdekt door jongere eenheden van Midden Mioceen ouderdom met toenemend hiaat van noordoost naar zuidwest. Deze eenheid verdikt dan ook aanzienlijk in de richting van de Roerdalslenk en zal in die richting de Oligoceen/Mioceen grens overspannen.

In het zuidwesten van het inventarisatiegebied komt deze eenheid over het algemeen niet voor, maar is mogelijk wel afgezet zoals blijkt uit outliers van deze formatie gevonden bij Antwerpen, en onderscheiden van de erop liggende Formatie van Berchem op paleontologische gronden. Dit betekent dat ook elders niet of nauwelijks karteerbaar residueel Voort/Veldhoven aanwezig kan zijn maar nu kartografisch in de basis van de Formatie van Berchem (of Breda F in NL) is opgenomen.

Naar het Nederrijngebied toe gaat deze formatie over in de Köln Schichten, bestaande uit alternerend fluvio-mariene afzettingen. Biostratigrafische en sedimentologische studies en de hydrostratigrafische codering (S&T code, Hager et al., 1998; Fig. 10.9) in dit gebied vormen de referenties voor een beter inzicht in de ontwikkeling en mogelijke indeling van de Formatie van Voort / Veldhoven.

Het Laagpakket van Someren, geïnterpreteerd in boring Goirle, is van Burdigalien ouderdom, Zone M3 sensu Munsterman & Brinkhuis, 2004. De basale successie van de Formatie van Berchem (onder

de fase MiMu1) in boring Balmatt/Mol is eveneens het laterale equivalent van het Laagpakket van Someren en even oud gedateerd (Burdigalien, Zone M3).

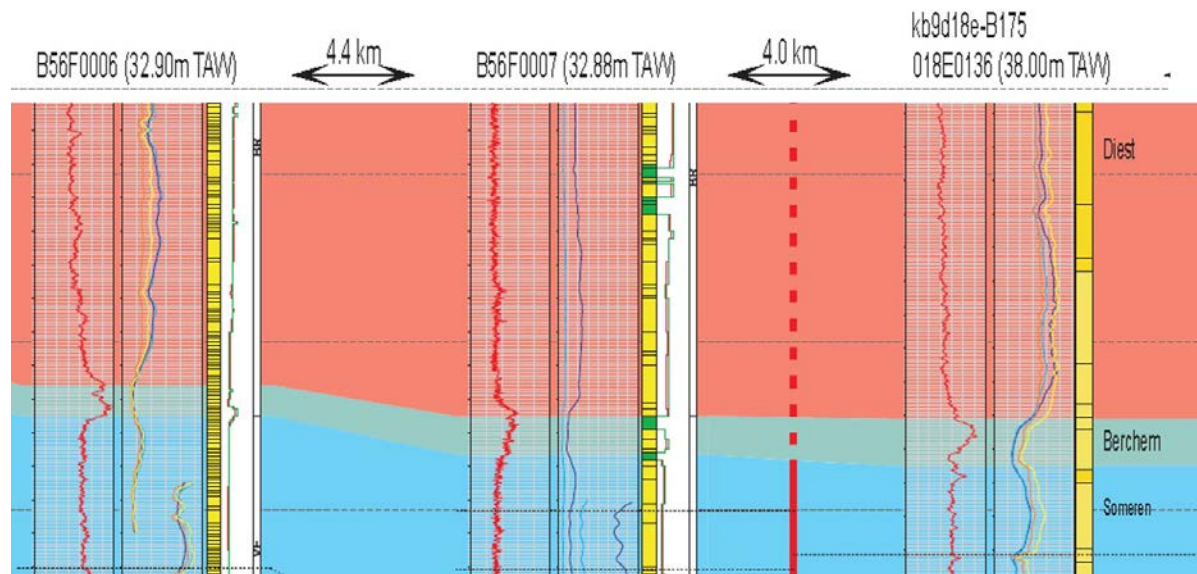
Er is daarmee een tweespalt in de interpretatie van deze formatie en daarmee ook de definiëring van zijn grenzen en ouderdom.

De sediment-dynamische interpretatie ziet de Formatie van Voort / Veldhoven als een afzetting met geleidelijke lithologische en facieswijzigingen zowel lateraal als in tijd enerzijds, of als een afzetting met vervolgbare sequentiestratigrafische pulsen doorheen verschillende faciesgebieden anderzijds.

In het eerste model, gevolgd door Wong et al. (2007) en Deckers (2015b) – (Fig. 10.10-12) plaatst de Laagpakketten van Veldhoven / Wintelre en Someren in het Mioceen na de Savisch 2 tektonische puls en ontstaat er aldus gelijkschakeling in de tijd tussen de Formatie van Berchem en het Laagpakket van Someren, beide met Burdigalien ouderdom (communic. D. Munsterman, TNO).

Het tweede model berust op een stratiforme opbouw (Fig. 10.8) en beperkt de Formatie van Voort / Veldhoven tot het tijdsinterval tussen de twee Savische tektonische pulsen (Fig. 10.2), dus tot het Chattien (Hager et al., 1998; Dusaar & Vandenberghe, 2015). In dat geval moeten er vragen worden gesteld bij de lithostratigrafische toewijzing van de biostratigrafisch als Mioceen (Aquitanië – Burdigalien) gedateerde monsters die nu aan het Laagpakket van Someren worden toegewezen. Criteria voor de afgrenzing en onderverdeling van deze formatie en de afzettingsgeschiedenis gebaseerd op een sedimentologisch model blijven fundamentele maar onopgeloste vragen.

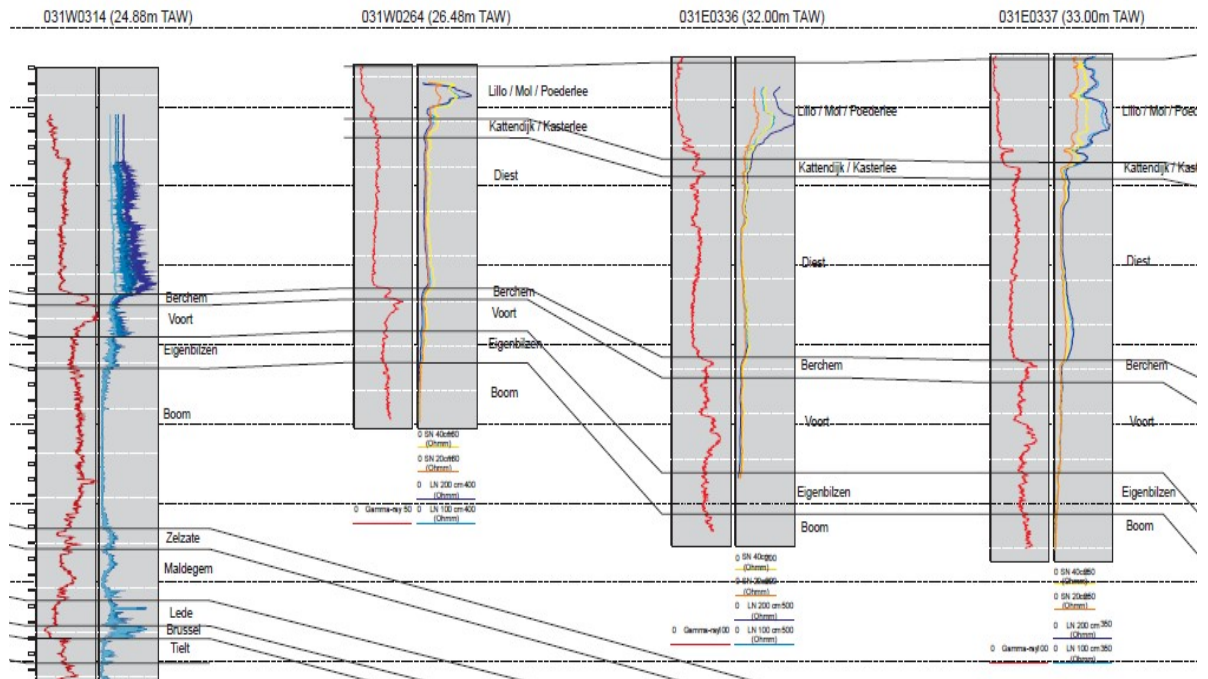
Intussen worden beide formaties als één geheel gemodelleerd.



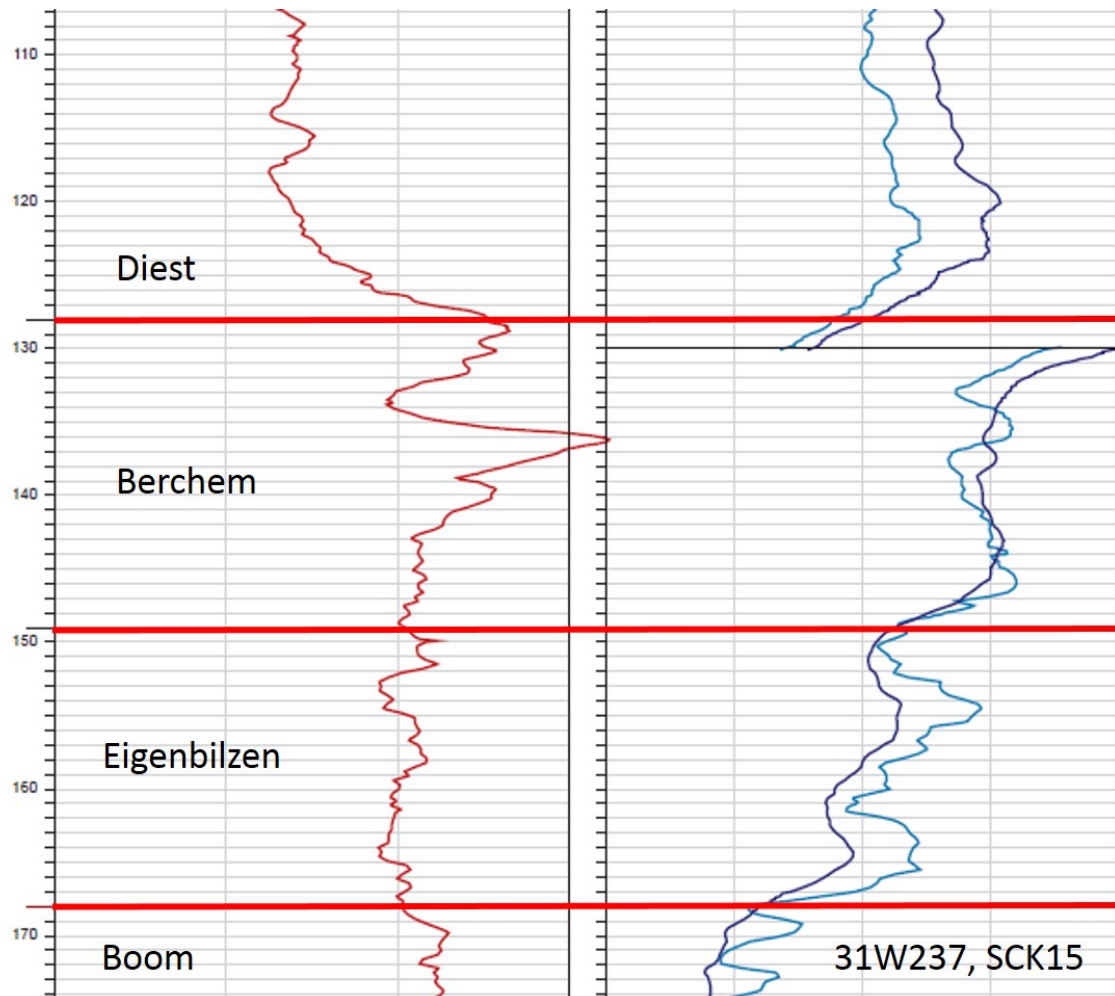
Figuur 10.1. Correlatieprofiel 3, voorkomen van de Formatie van Berchem langs de BE-NL grens, met verhoogde gammastraling als een duidelijk herkenbare 'kick' en verlaagde resistiviteit ten opzichte van de omgevende formaties.

Midden – Laat Mioceen	Serravalien-Tortonien grens	MiMU2	Grote seismische reflector
Vroeg – Midden Mioceen	Burdigalien- Langhien grens	MiMU1	Deze valt vaak samen met MiMU2
Vroeg Mioceen	Chattien –Aquitanië grens	Savisch 2	Heeft Boven-Oli afzettingen in NL geërodeerd
Vroeg – Laat Oligoceen	Rupelien – Chattien grens	Savisch 1	in België en Roerdalslenk

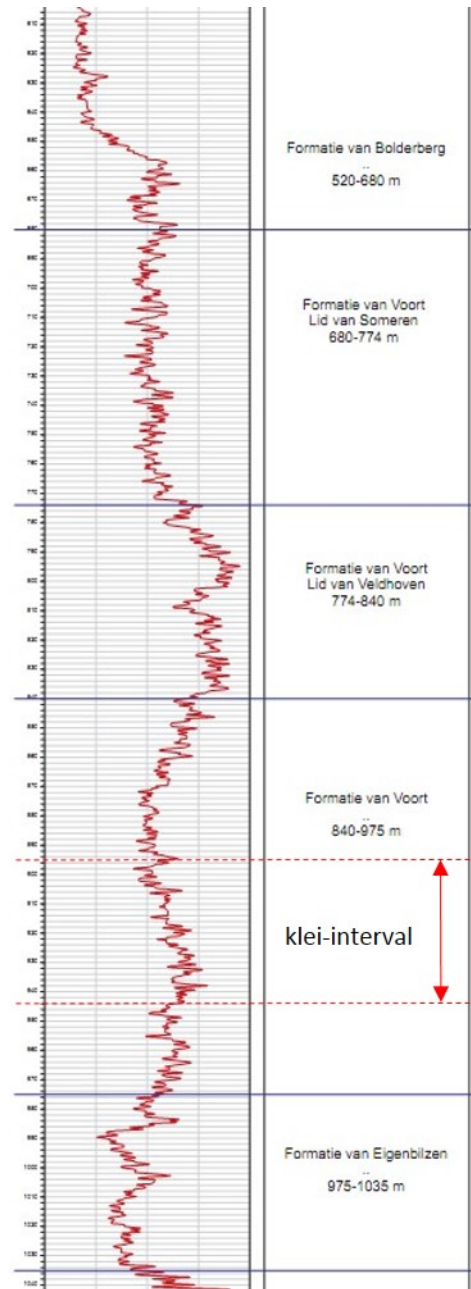
Figuur 10.2. Tektonische pulsen in de Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Miocene zanden/ Veldhoven Klei (TNO werkdokument). De Formatie van Diest volgt op MiMU; de Formatie van Berchem op Savisch 2; de Formatie van Voort/Veldhoven op Savisch 1. Merk op dat in de Nederlandse interpretatie de Formatie van Voort/Veldhoven doorloopt tot na Savisch 2 en daarmee nauw aansluit bij Berchem.



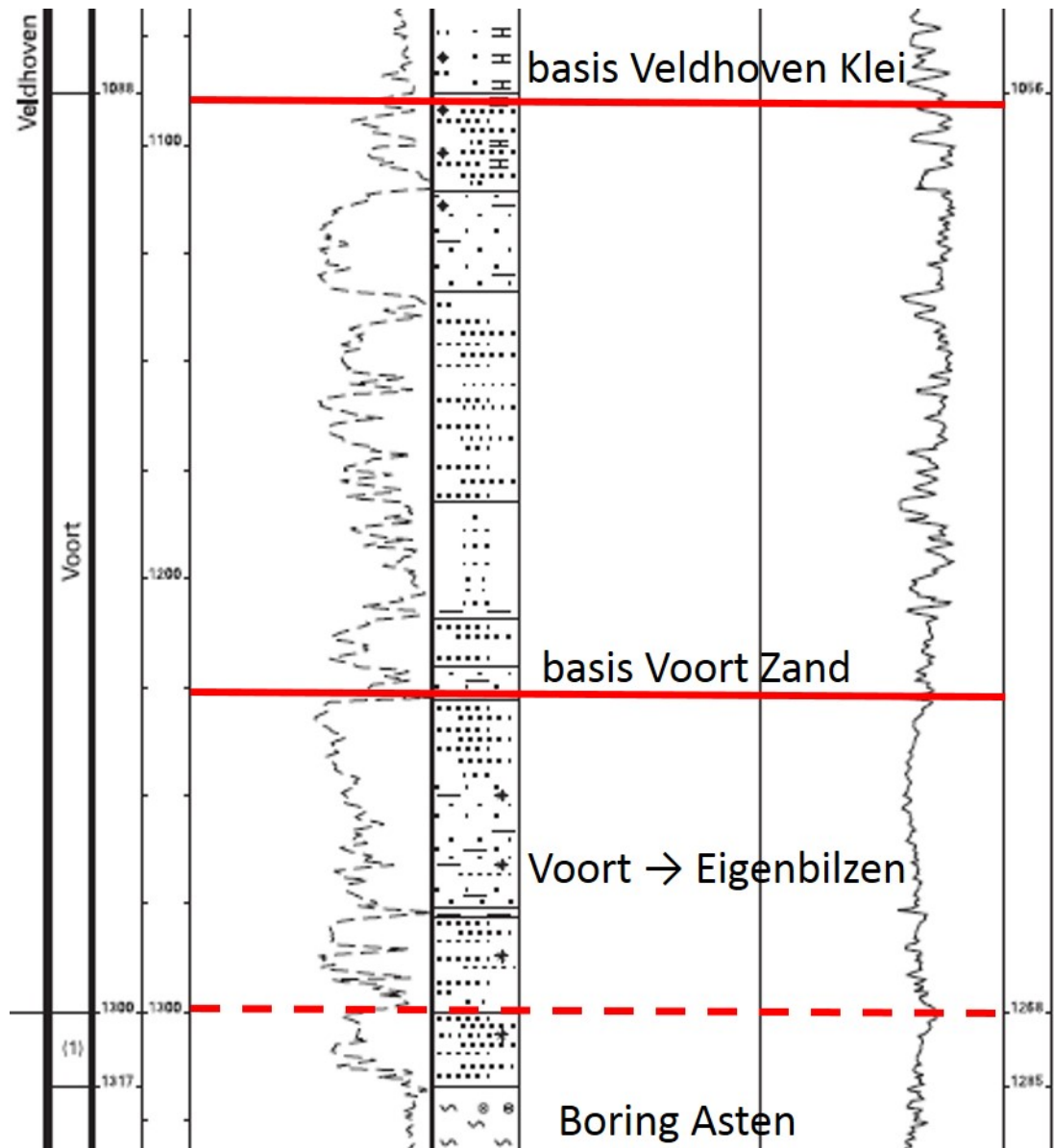
Figuur 10.3. Werkprofiel H3O - De Kempen in de omgeving van Mol, met aanzienlijke verdikking van de Formatie van Voort/Veldhoven ('Voort') van west naar oost. Deze verdikking is zowel het gevolg van toenemende daling in de richting van de Roerdalslenk, maar ook en vooral van het meer volledig worden van de sequentie. Zie bijvoorbeeld de verschuiving van de sequentie met opwaarts verhogende gammastraling (overeenkomend met de Duitse hydrostratigrafische code voor het Nederrijng gebied S&T06, cf. Fig. 10.9), van de top (in boringen 031W0314 – 0264) naar het midden (in boringen 031E0336 – 0337) van de formatie.



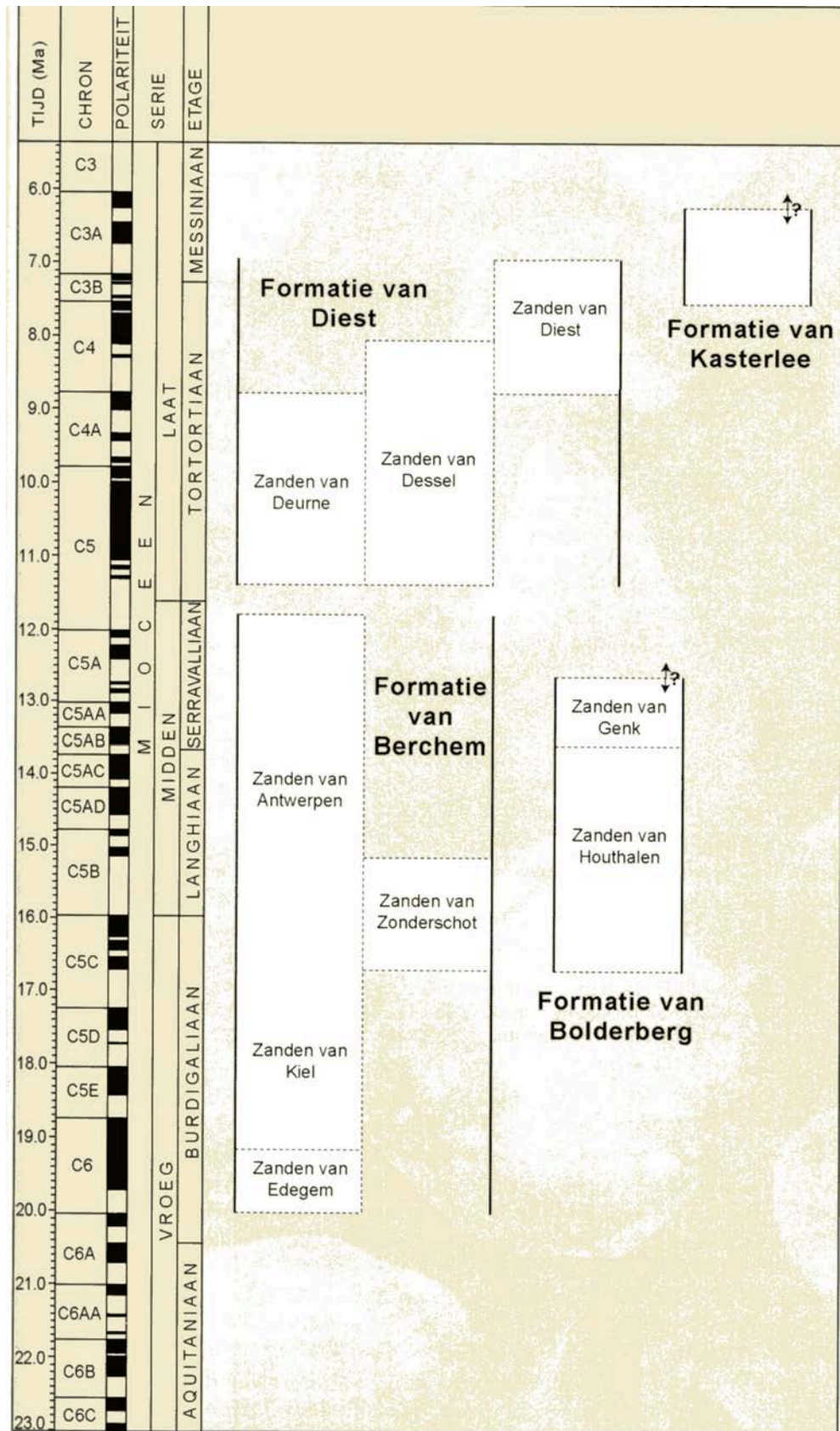
Figuur 10.4. Formatie van Berchem in boring SCK15 te Mol (31W237), interval gekenmerkt door verhoogde gammastraling en stapsgewijs oplopende resistiviteit vanaf de Boomse Klei tot het Diest zand. De gammastralingscurve en die van de resistiviteit verlopen onafhankelijk in het zwarte glauconietrijke zand. Standaard TNO log weergave met gammastraling en dubbele resistiviteit.



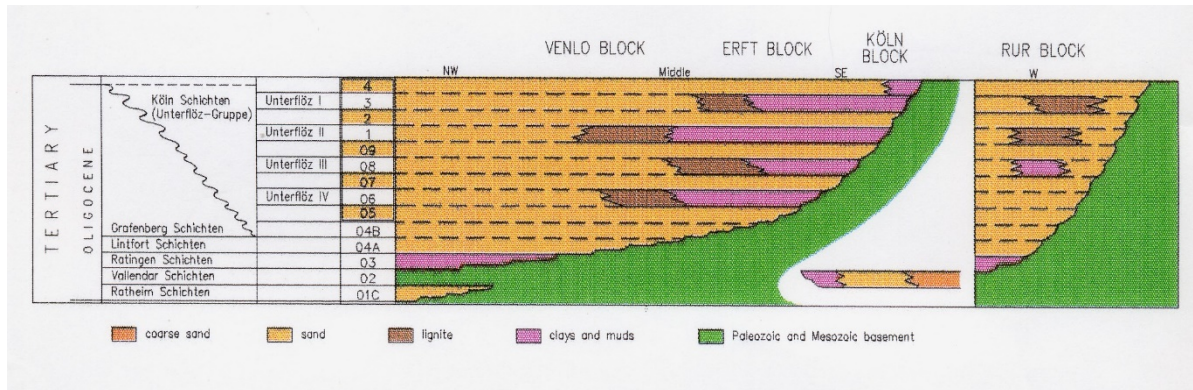
Figuur 10.5. Boring Molenbeersel (projectgebied H3O Roerdalslenk) met onderverdeling Formatie van Voort / Veldhoven en aanduiding kleiig interval overeenkomend met Schneider & Thiele code S&T 06 in de hydrostratigrafische onderverdeling van de Köln Schichten in het Nederrijngebied (de Klei van Veldhoven / Wintelre komt overeen met S&T 1), naar Duser & Vandenberghe (2015) - (zie fig 10.8 voor verduidelijking van deze codes).



Figuur 10.6. Boring Asten-01, uit NL Stratigrafische nomenclator, met voorstel tot invoering van de Formatie van Eigenbilzen, ten nadele van de Formatie van Voort / Veldhoven, met verschuiving basis Voort / Veldhoven van 1300 m naar 1230 m (van onderste rode stippellijn naar volle rode lijn) en overeenkomstige diktevermindering van de formatie van 433 m naar 363 m.



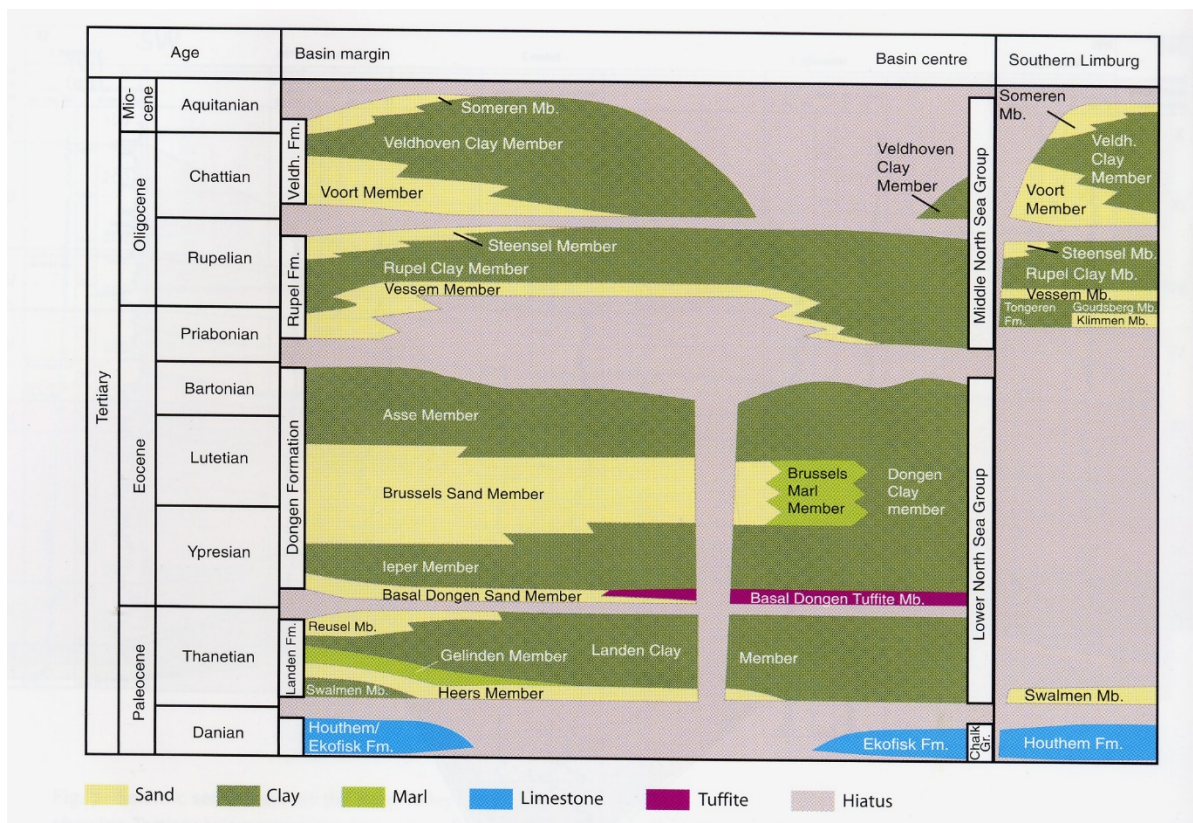
Figuur 10.7. Chronostratigrafisch schema voor de Vroeg- tot Laat-Miocene formaties in België (document N. Vandenbergh).



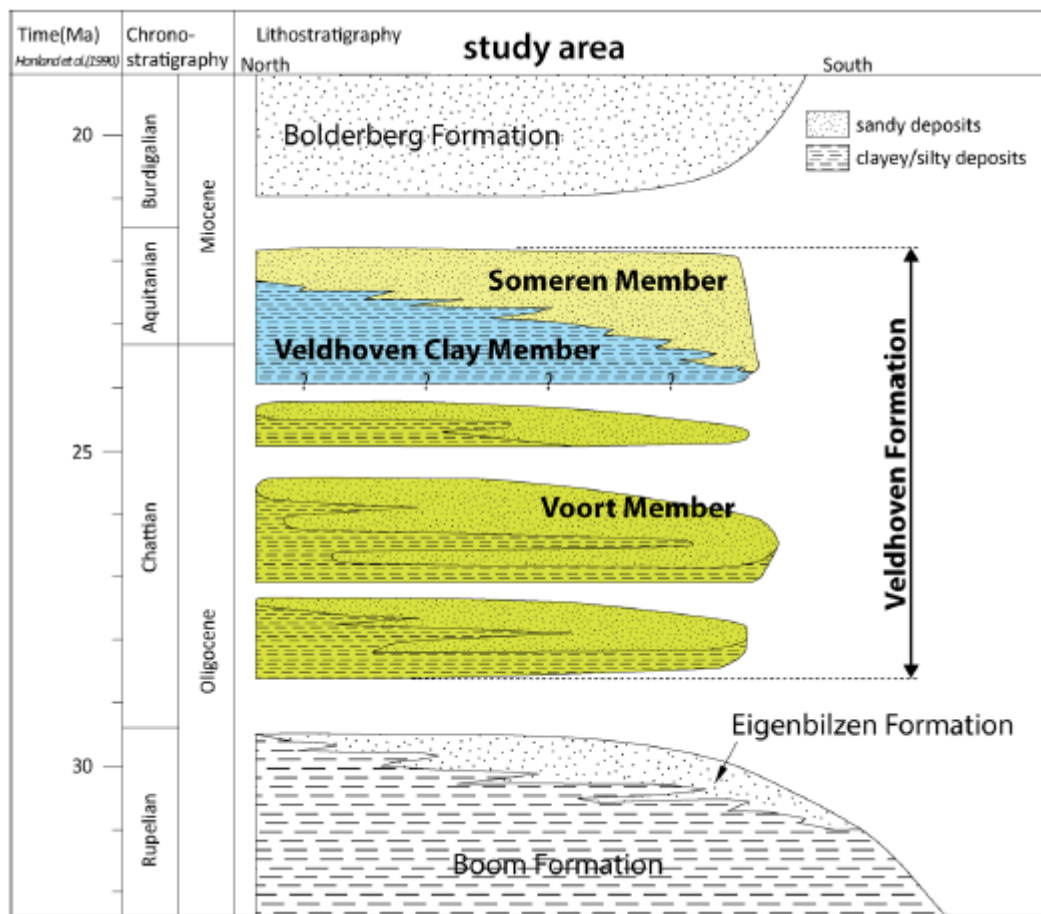
Figuur 10.8. Schematisch diagram met aanduiding van de genummerde Schneider & Thiele codes voor de hydrostratigrafische onderverdeling van de Köln Schichten, equivalent van de Formatie van Voort / Veldhoven (Hager et al, 1998).

Merk ook op dat volgens dit schema laterale overgangen zand – klei – ligniet consistent zijn en dus correlatiewaarde bezitten, terwijl bestaande Nederlandse paleogeografische reconstructies (Fig. 10.10) volledige laterale overgangen tussen zand en klei veronderstellen, waarbij de kleipakketten dus geen correlatiewaarde zouden bezitten.

De goede correlatiewaarde van het kleipakket ingeschakeld in het Zand van Voort (S&T code 06 = Unterflöz IV) toont aan dat het model van Hager bruikbaar is en verdere (hydrostratigrafische) indeling van de Formatie van Voort / Veldhoven gerechtvaardigd.



Figuur 10.9. Chrono – lithostratigrafisch schema voor het Paleogeen volgens dynamisch sedimentologisch model, inzonderheid voor de Voort / Veldhoven Formatie met laterale overgangen tussen de verschillende laagpakketten (Wong et al., 2007).



Figuur 10.10. Laat Oligoceen tot Vroeg Mioceen chrono-lithostratigrafisch schema voor de Roerdalslenk (Deckers, 2015a): de Formatie van Voort / Veldhoven kruist de Oligoceen / Mioceen grens en daarmee ook de Savisch 2 onconformiteit.

11. Formatie van Eigenbilzen

Code: Eg

Onderverdeling

De Formatie van Eigenbilzen onderscheidt zich van de onderliggende Formatie van Boom door het verschijnen en naar boven toe verder toenemen van fijn zand in een afwisseling van kleiige en siltige laagjes. De dikte is afhankelijk van de laterale overgangen tussen de Formaties van Boom en Eigenbilzen: hoe lager het stratigrafisch niveau waarop Boom in Eigenbilzen overgaat hoe langer de tijdsduur van afzetting en potentiële dikte van de Formatie van Eigenbilzen.

Er worden geen formele laagpakketten of lagen onderscheiden.

Vlaamse hydrogeologische eenheid: 0256, Zand van Eigenbilzen. Merk op dat eenheid 0301, gedefinieerd als Kleiig deel van Eigenbilzen (Meys et al., 2000) nu wordt toegewezen aan het Lid (Laagpakket) van Putte van de Formatie van Boom.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Laagpakket van Eigenbilzen (Rupel Formatie) – (de Lang & Ebbing, 2003), synoniem Steensel (van Adrichem Bogaert & Kouwe, 1993). Nederlandse hydrogeologische eenheid RU-z-1.

Basis seismostratigrafische eenheid V, samen met Voort zand en Veldhoven klei.

Merk op dat het Laagpakket van Eigenbilzen niet overal werd herkend en geïncorporeerd in de ongedifferentieerde Rupel Formatie of toegewezen aan de overliggende Voort / Veldhoven Formatie (cf. Fig. 10.9).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Eigenbilzen bestaat uit grijsgroene licht glauconiethoudende fijne kleiige zanden met bandenstructuur ten gevolge van variaties in korrelgrootte, een kenmerk dat de Formatie van Eigenbilzen deelt met de Formatie van Boom. De fijne Milankovic cycliciteit gaat wel verloren (Vandenbergh et al., 2014b).

De trends in boorgatmetingen waarneembaar aan de top van de Formatie van Boom zetten zich voort in Eigenbilzen, met toenemende amplitude: opwaartse vergroving die zich uit door stijging resistiviteit en daling gammastraling om dat deze formatie reeds een zandtextuur bezit (Fig. 11.1). De dikte kan 30 m bedragen in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied.

Op het Kempisch Plateau (ten oosten van de breukstructuur van Mol – Rauw) wordt op schematische wijze een driedeling voorgesteld: het oudste pakket A is lateraal equivalent van het bovendeel van het Lid van Putte van de Formatie van Boom, pakket B is lateraal equivalent van het Lid van Boeretang, het jongste pakket C is jonger dan het Lid van Boeretang. Van west naar oost verschijnen achtereenvolgens pakketten C, B, A, dit laatste vermoedelijk niet in het inventarisatiegebied waar de Boomse Klei zich handhaaft (Fig. 11.2).

Meer westelijk in de Antwerpse Kempen is het onderscheid tussen het Lid van Boeretang en de Formatie van Eigenbilzen gebaseerd op de oplopende resistiviteit en/of het verdwijnen van echte kleilagen, en op het niet meer kunnen correleren van de fijne klei – silt bandjes.

Bovengrens

De Formatie van Eigenbilzen wordt discordant overdekt door de Formatie van Voort/Veldhoven, afgezet na een op seismische profielen waar te nemen kanteling van het sedimentatiebekken in de richting van de slenk, aanwijzing voor de eerste tektonische Savische puls, maar evengoed voor een versnelde zakking van de Roerdalslenk (cf. fig. 10.5 en 10.7). De overgang Eigenbilzen – Voort kenmerkt zich doorgaans door een weliswaar weinig systematische verhoging van zowel gammastraling als resistiviteit in Voort/Veldhoven, vermoedelijk ten gevolge van een hoger glauconietgehalte en betere scheiding van zand en kleifracatie in de basislagen van Voort/Veldhoven (Fig. 11.3).

In het westen, waar Voort afwezig is en ook Eigenbilzen verdunt en minder karakteristiek is wordt het onderscheid tussen beide formaties onduidelijk en valt vooral het contact met de Miocene

Formatie van Berchem op, wanneer dit is gekenmerkt door veel hoger glauconietgehalte en verhoogde gammastraling en ook uitdieping van de resistiviteit.

Ondergrens

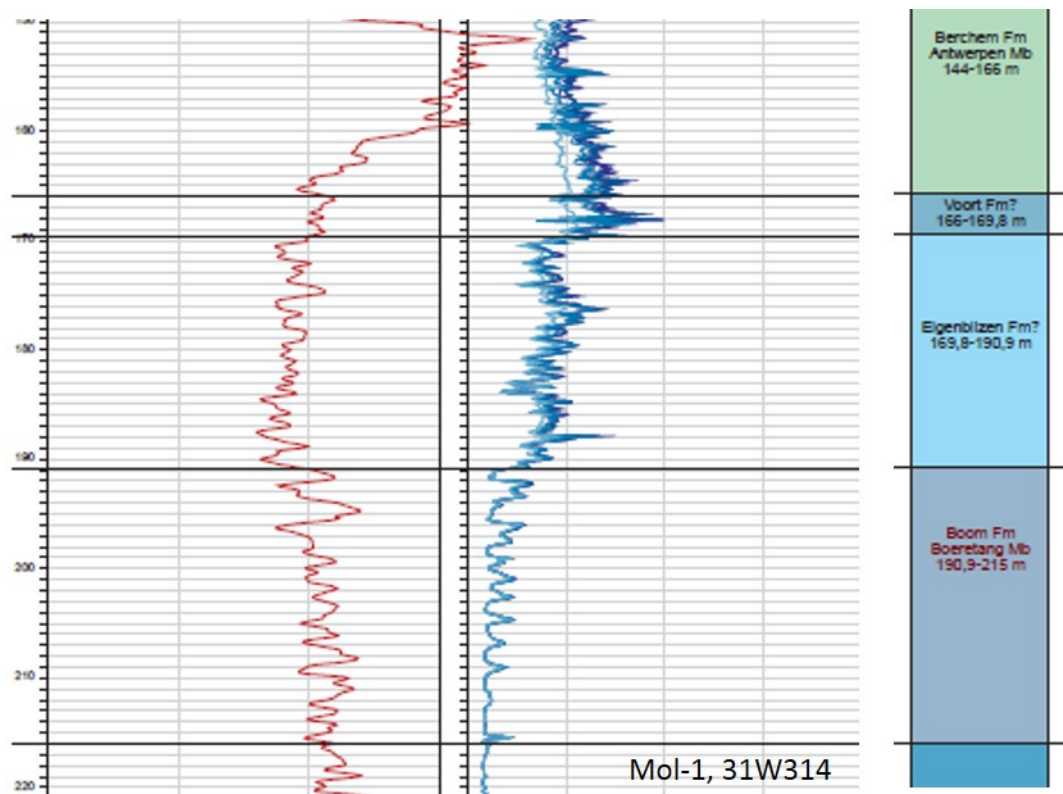
De grens tussen de Formaties van Boom – Lid van Boeretang en van Eigenbilzen wordt getrokken waar de cyclische opeenvolging van silt – klei laagjes verloren gaat door toename van de korrelgrootte en het zandgehalte zichtbaar toeneemt (cf. Fig. 34 in Vandenberghe et al., 2014b). Concreet staat Eigenbilzen voor het voorkomen van zandige sedimenten, dit in tegenstelling tot Boom. Dit betekent dat het grensvlak zal vertanden.

In het oosten van Belgisch Limburg is het contrast sterk en scherp tussen de gecondenseerde top van het Lid van Putte (met extreem hoge gammastralingspieken) en de overliggende Formatie van Eigenbilzen. Dit is een breuklijn in de sedimentatie. In het westen van Belgisch Limburg is eenzelfde weliswaar afgezwakt logbeeld te zien, maar daar wordt bovenop de gecondenseerde top van het Lid van Putte het Lid van Boeretang geïnterpreteerd en verschuift de formatiegrens Boom-Eigenbilzen naar boven.

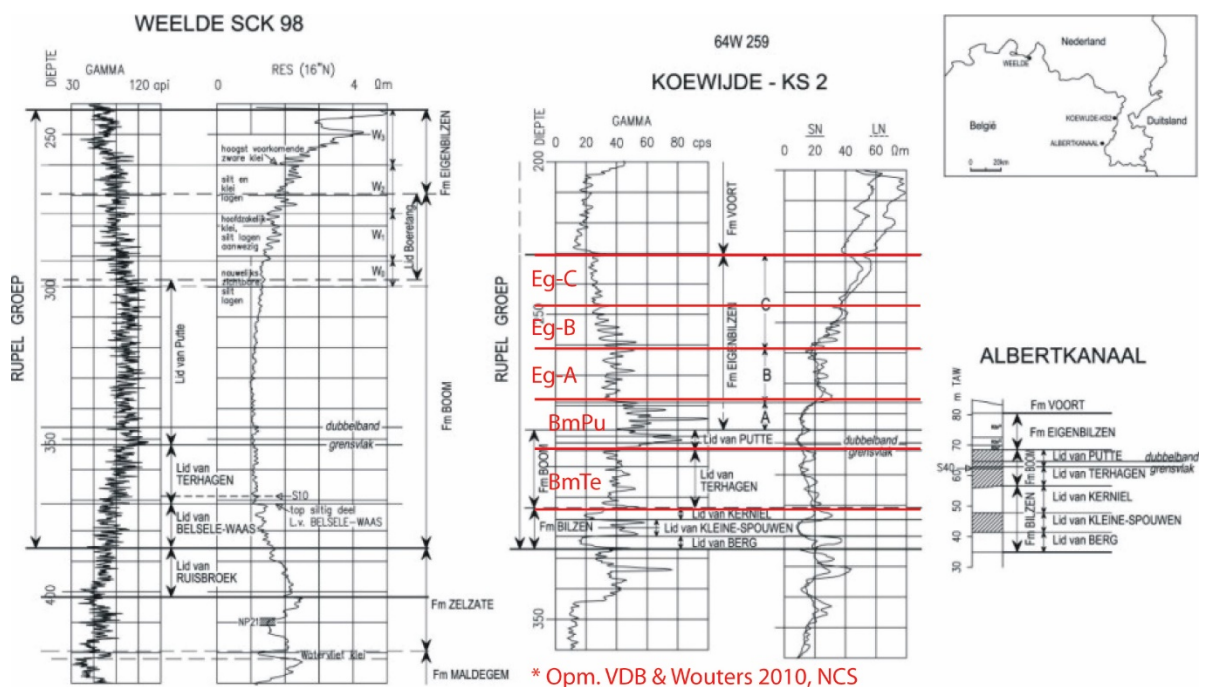
Onderscheid tussen top Boom Fm (Boeretang Lid) en Eigenbilzen Fm is mogelijk op basis van kwaliteitsdata: hoe hoger de resolutie hoe meer kans dat de cycli van het Boeretang Lid worden herkend. Dit leidt ertoe dat een afzetting die in hetzelfde tijdsinterval is afgezet aan de ene of de andere formatie wordt toegewezen op basis van zandgehalte, maar eventueel ook op basis van resolutie van de logs. De grens vertandt niet alleen maar is ook enigszins arbitrair (Fig. 11.4).

Stratigrafische positie

De overgang tussen de Rupelien Formaties van Boom en Eigenbilzen is het gevolg van een geleidelijke vergroving van het sediment. Het voorkomen van zand is bepalend om onderscheid te maken met de Formatie van Boom. Het is niet duidelijk of er hiaten in deze sequentie voorkomen. Aan de oostrand van het inventarisatiegebied is de overgang Boom - Eigenbilzen scherp, in het westen wigt Eigenbilzen uit onder de discordantievlakken aan de basis van het Chattien en het Mioceen.

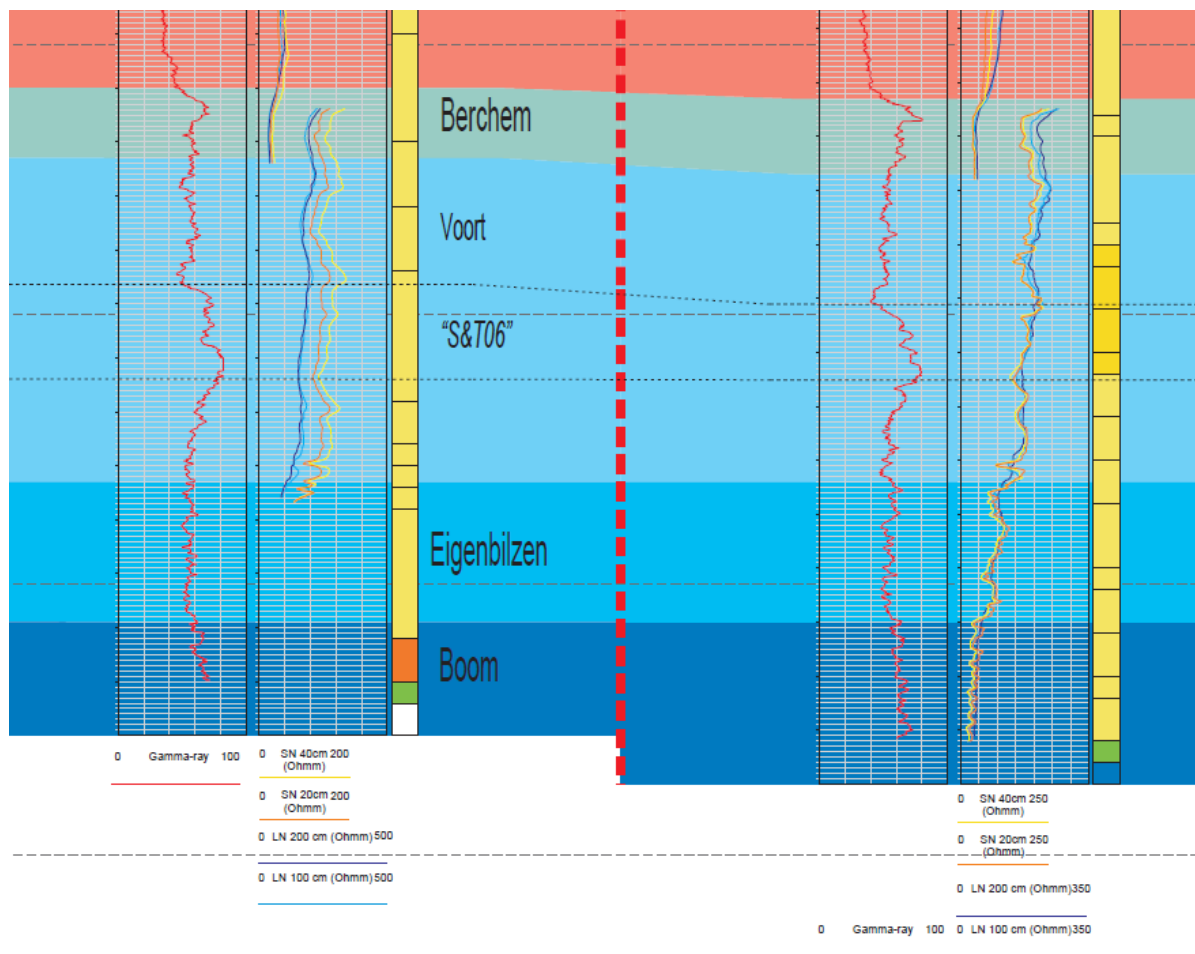


Figuur 11.1. Boring 31W0314, Mol-1 over de Formatie van Eigenbilzen, met voortzetting van de trends waargenomen in de onderliggende Formatie van Boom, Lid van Boeretang, echter met minder fijne cycliciteit. Digitalisatie op basis van standaard TNO log met gammastraling en dubbele resistiviteit.

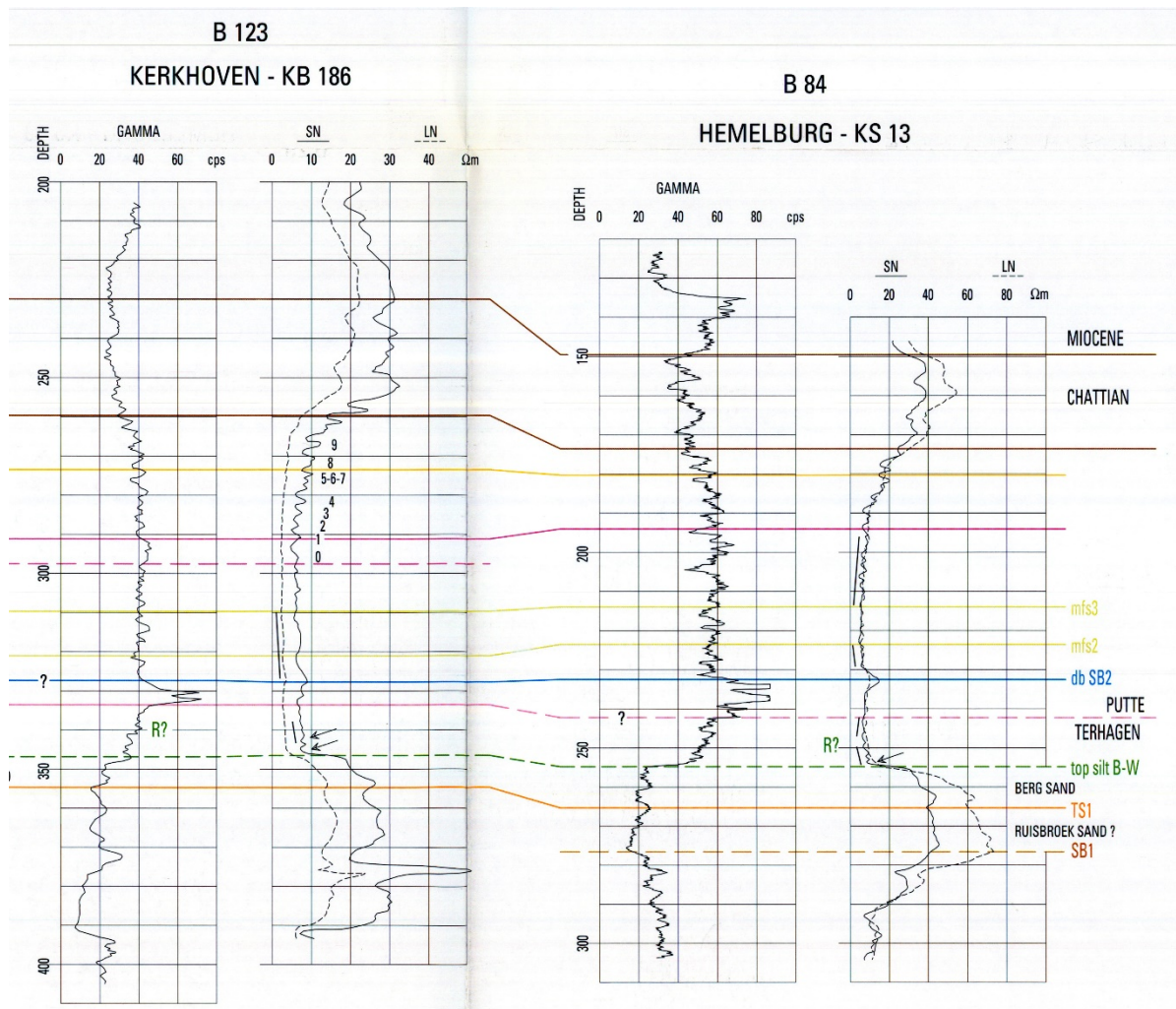


Figuur 1. De Rupelgroep in het oosten van de Kempen (Koewijde-KS2, Albertkanaal) en in het westen (Weelde-SCK 98)

Figuur 11.2. Vergelijking Formaties van Boom – Eigenbilzen in het inventarisatiegebied (boring Weelde SCK98, 8E0159, waarin enkel Eigenbilzen C rustend op Laagpakket van Boeretang voorkomt) en langs de Maas (boring Dilsen – Koeweide, 64W0259, met Eigenbilzen A-B-C op gecondenseerd Laagpakket van Putte) – (Vandenbergh & Wouters, 2011).



Figuur 11.3. Uittreksel correlatieprofiel 1 met boringen 31E0336, DOV kb17d31e-B318 (links) en 31E0337, DOV kb17d31e-B319 (rechts) met logbeeld over de Formatie van Eigenbilzen, aan de basis van een oplopende trend in de resistiviteit die doorloopt tot in de Formatie van Diest. De gammastralingspieken van het S&T06 interval in het Laagpakket van Voort (Formatie van Voort/Veldhoven) en van het contact tussen de Formaties van Berchem en Diest zijn de duidelijkste gidshorizonten.



Figuur 11.4. Steenkoolverkenningboringen KB186 (47W0264, DOV kb17d47w-B262) en KS13 (47W260, DOV) langs de zuidostrand van het inventarisatiegebied met gecondenseerd Laagpakket van Putte en hierop een sequentie die met Eigenbilzen correleert maar nog voldoende kleiig is om kenmerken van het Lid van Boeretang te vertonen. Identificatie als de Formatie van Eigenbilzen (tussen lila en bruine lijn onder basis Chattien, tussen 260 en 290 m in boring Kerkhoven KB186 of tussen 150 en 175 m in boring Hemelbrug KS13) wordt aldus twijfelachtig.

12. Formatie van Boom

Code: Bm

Onderverdeling

De Formatie van Boom bestaat hoofdzakelijk uit vaste grijze fijnzandige siltige klei, en is de voornaamse aquiclude die overal in het inventarisatiegebied voorkomt. De klei is pyriethoudend, ritmisch geband op schaal van 20 – 50 cm door cyclische wijzigingen in siltgehalte, organisch materiaal en carbonaatgehalte. De klei is afgezet onder open-mariene omstandigheden in een relatief diepe shelfzee. De dikte van de Formatie van Boom loopt op tot 150 m vanaf het ontsluitingsgebied in noordelijke richting (waar de formatie volledig is), maar vermindert zeer snel tot 20-30 m in oostwaartse richting voorbij de randbreuken van de Roerdalslenk.

De met de Formatie van Boom vertandende Formatie van Bilzen komt vermoedelijk ook voor in het diepste deel van de Roerdalslenk dat binnen het inventarisatiegebied valt.

De Formatie van Boom wordt opgedeeld in vier laagpakketten (leden), van onder naar boven Belsele-Waas (lateraal equivalent van de Formatie van Bilzen, Lid van Berg), Terhagen (gedeeltelijk lateraal equivalent van de Klei van Kleine Spouwen en het zand van Kerniel van de Formatie van Bilzen), Putte, Boeretang. De Formatie van Eigenbilzen (NL equivalent Laagpakket van Steensel van de Rupelklei Formatie) is gedeeltelijk lateraal equivalent van het Lid van Putte en Boeretang, en zet dezelfde sedimentaire sequentie voort, maar is zodanig zandig-siltig dat ervan een aparte formatie is gemaakt (Fig. 12.1). Een synthese van de Formatie van Boom en zijn relaties met de Formaties van Eigenbilzen, Bilzen en Zelzate is gemaakt door Vandenberghe et al. (2014b).

Vlaamse hydrogeologische eenheden (Meyus et al., 2000) 0300, opgesplitst als:

0301, Kleiig deel van Eigenbilzen (= Boeretang)

0302, Klei van Putte

0303, Klei van Terhagen

0304, Klei van Belsele-Waas

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Laagpakket van Boom, Rupel Formatie (de Lang & Ebbing, 2003), ook bekend staand als de Rupelklei (Nederlandse hydrogeologische eenheid RUBO-k-1). In de Roerdalslenk kan als onderste zandige sequentie in de Rupel Formatie het Laagpakket van Vessem voorkomen (equivalent van de Formatie van Bilzen), dat wordt gemodelleerd samen met de Formatie van Boom. Indien er aan de basis van het Laagpakket van Vessem een zandlaag zou voorkomen met de karakteristieken van het Zand van Berg kan deze bij de onderliggende eenheid 'Combinatie van Vroeg-Oligocene Zanden' zijn toegevoegd.

Het Laagpakket van Eigenbilzen, synoniem Steensel (Rupel Formatie, equivalent van de Formatie van Eigenbilzen, zie Toelichting 11, Eigenbilzen) is vaak niet als afzonderlijke eenheid gekarteerd.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Boom (Figs. 12.2-3) bestaat van boven naar onder uit:

- het Lid (Laagpakket) van Boeretang, bestaande uit meer siltrijke klei in vergelijking met het onderliggend Lid van Putte, het siltgehalte van klei verhoogt stelselmatig naar boven toe; de gammastraling neemt bijgevolg naar boven toe langzaam in waarde af terwijl de resistiviteit een stijgende trend vertoont verdeeld over een aantal silt - klei piekjes (9 in het typegebied) die met Milankovic cycli overeenkomen; de dikte bereikt 30 m in het typegebied;
- het Lid (Laagpakket) van Putte, bestaande uit vaste compacte grijze tot zwarte, door oxidatie soms paarsbruin verkleurde klei met meer siltige lenzen en met septaria. Het Lid van Putte begint in het zuidoosten met twee of drie opvallend sterke pieken in de gammastraling, terwijl in het noordwesten eerder sprake is van een uitgesmeerde bult. De gammastraling houdt over het verdere verloop van dit lid een hoge waarde aan, terwijl de resistiviteit zeer laag blijft maar naar boven toe geleidelijk oploopt; de dikte bedraagt ruim 50 m;
- het Lid (Laagpakket) van Terhagen, bestaande uit compacte grijze klei met septaria; de top wordt bepaald door het verschijnen van zwarte banden; het Lid van Terhagen heeft een doorlopende lage resistiviteit en een gammastraling die naar boven toe verhoogt; de dikte bedraagt ruim 20 m;

- het Lid (Laagpakket) van Belsele-Waas bestaande uit bruin- tot groengrijze glauconiethoudende siltige klei tot kleiig silt met fijn silt lenzen; de gammastraling stijgt en de resistiviteit daalt geleidelijk over dit laagpakket met bovenaan onregelmatiger piekjes om te eindigen met een dikker dan gewoonlijke siltlaag (met terugval gammastraling en stijging resistiviteit); de dikte bedraagt 10 – 20 m.

Bovengrens

De Formatie van Boom wordt concordant overdekt door de Formatie van Eigenbilzen die een gelijkaardig sedimentatiepatroon vertoont als de top van de Formatie van Boom, maar een lithologische verschuiving vertoont naar zandtextuur, vandaar een lichte daling van de gammastraling maar een beduidende en oplopende stijging van de resistiviteit. Op basis van dit criterium zal de grens Boom – Boeretang met Eigenbilzen naar het oosten toe verlagen totdat in Limburg bezuiden de Roerdalslenk het Laagpakket van Boeretang volledig en het Laagpakket van Putte gedeeltelijk wordt vervangen door de Formatie van Eigenbilzen. In detail is dit contact Boom – Eigenbilzen een vertanding tussen het diepere sedimentatiebekken en de rand van het sedimentatiebekken (zoals ook het geval is maar contrastrijker tussen de basis van Boom en Bilzen formaties).

Ondergrens

De Formatie van Boom ligt ondanks het siltige karakter van de basislagen (Laagpakket van Belsele-Waas) met scherp contact op het Zand van Neerrepen, bovenste laagpakket van de Formatie van St. Huibrechts-Hern (in het zuidoostelijk deel van het inventarisatiegebied), of op het Zand van Berg, onderste laagpakket van de Formatie van Bilzen (mogelijk in het centraal oostelijk deel van de Roerdalslenk waar dan het Lid van Terhagen de basis vormt van de Formatie van Boom).

De overgang naar het Zand van Ruisbroek, bovenste laagpakket van de Formatie van Zelzate, dat over het grootste deel van het inventarisatiegebied onder de Formatie van Boom voorkomt is echter meer geleidelijk. In het westen van het inventarisatiegebied is de exacte formatiegrens moeilijk aan te duiden.

De onderliggende lithostratigrafische eenheid wordt echter steeds gemarkeerd door sterke terugval van de resistiviteit die op aquiferkenmerken wijst terwijl dit voor de Boomse Klei zeker niet het geval is.

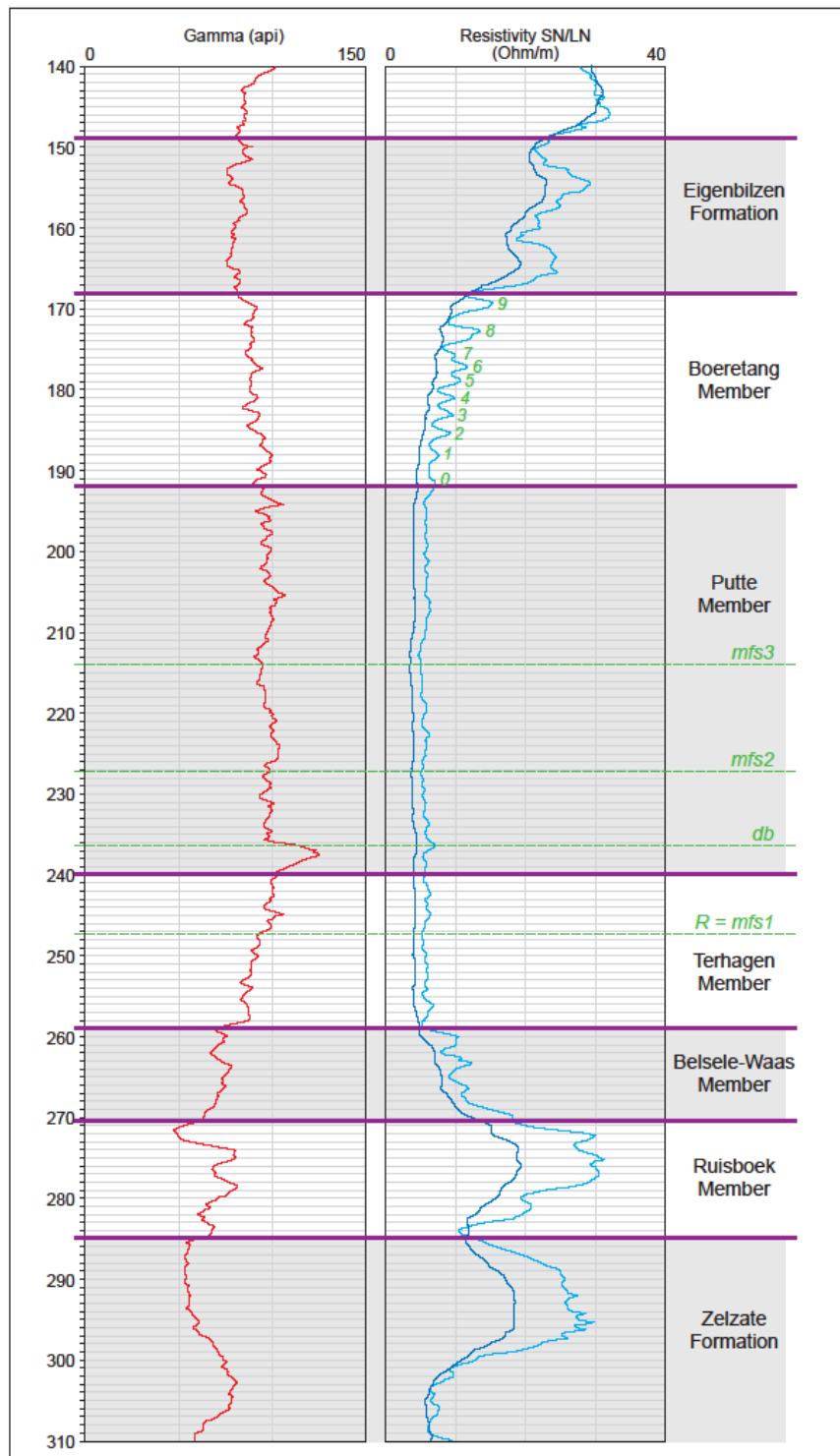
Stratigrafische positie

De Formatie van Boom bevat meerdere types van cycliciteit maar maakt in zijn geheel samen met Eigenbilzen, Bilzen en boven Zelzate (Ruisbroek) deel uit van een complexe sedimentaire sequentie die de essentie van de Rupelien étage uitmaakt en die gevat zit tussen de Savische discordantie (contact Eigenbilzen – Voort/Veldhoven) en de Pyreneïsche discordantie (in Bassevelde zand, Formatie van Zelzate) – (Figs. 12.4-5, Vandenberghe et al., 2014b).

		<< West		Oost >>	
Rupeliaan / Vroeg-Oligoceen (33,7 - 28,5 M)	Rupel Groep	Formatie van Eigenbilzen ("west van Rauw-breuk")		Formatie van Eigenbilzen	"Pakket C"
		Formatie van Boom	Lid van Boeretang		"Pakket B"
			Lid van Putte		"Pakket A"
			Lid van Terhagen	Formatie van Boom	Lid van Putte
			Lid van Belsele-Waas		Lid van Terhagen
	Tongeren Groep	Formatie van Zelzate	Lid van Ruisbroek	Formatie van Bilzen	Lid van Kerniel
			Lid van Watervliet		Lid v. Kleine Spouwen
			Lid van Bassevelde (bovenste deel)	Formatie van Borgloon	Lid van Berg
				Formatie van Sint-Huibrechts-Hern	

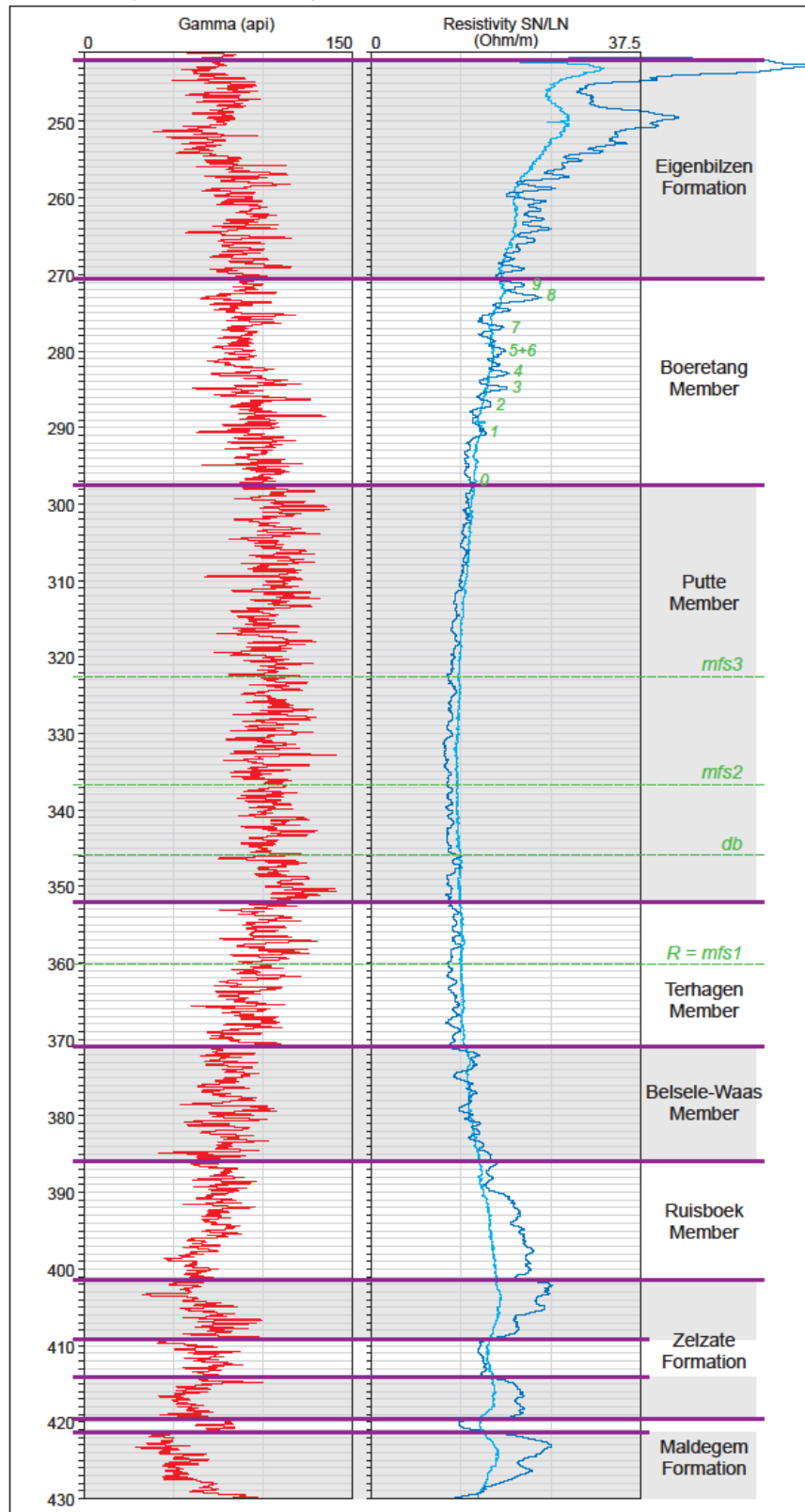
Figuur 12.1. Schematisch overzicht van Rupelienafzettingen met hun onderlinge relaties (of vertandingen), naar Vandenberghe et al. (2014b). De lithostratigrafische eenheden toegewezen aan de Formatie van Boom in rood kader illustreren de laterale variabiliteit. De aanduiding 'West' is representatief voor het grootste deel van het inventarisatiegebied; 'Oost' komt enkel voor langs de oostrand ervan.

031W0237 (Mol SCK-15)



Figuur 12.2. Boring 31W0237 Mol SCK15: log over de Formaties van Boom en Eigenbilzen, met aanduiding van representatieve referentievlakken of lagen in de Formatie van Boom (db is siltrijke dubbelband) aan de basis van het Laagpakket van Putte).

008E0159 (Weelde SCK-98)



Figuur 12.3. Boring 8E0159, DOV kb8d8e-B161, Weelde, typelokaliteit voor het Lid van Boeretang, log over de Formaties van Boom en Eigenbilzen met overgang naar onderliggende formaties en aanduiding van representatieve referentievlakken of lagen in de Boomse Klei. Merk op dat het Laagpakket van Ruisbroek deel uitmaakt van de Formatie van Zelzate.

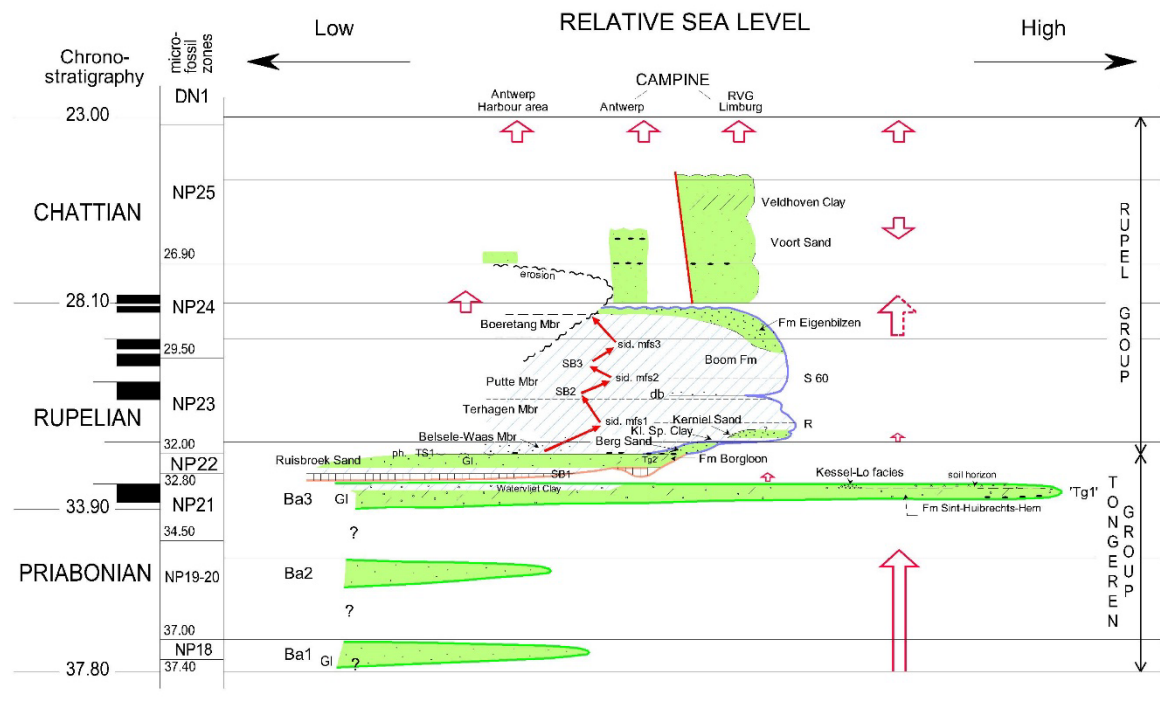
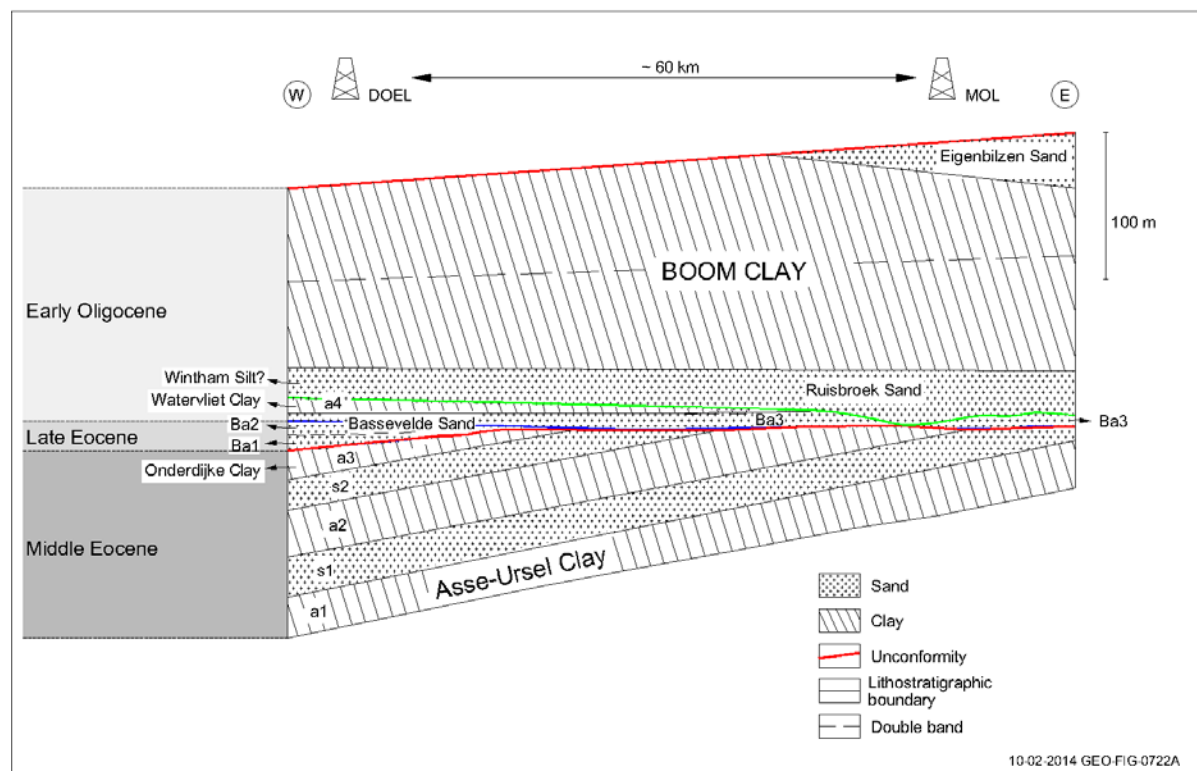


Fig. 12.4. Sequentiestratigrafische interpretatie van het Rupelien in en omheen het inventarisatiegebied. (groen ondiep marien en kustnabij, licht blauwgestreept dieper marien, SB sequence boundaries, mfs main flooding surfaces) (Fig. 23 uit Vandenbergh et al., 2014b).



Figuur 12.5. Schematische west-oost doorsnede door de provincie Antwerpen (Vandenbergh et al., 2014b, The Boom Clay geology. Memoir of the Geological Survey of Belgium).

13. Combinatie van Vroeg-Oligocene zanden

Informeel modelleerend in functie van de modellering, groepeerde de Formaties van Zelzate en Sint-Huibrechts-Hern, en het Laagpakket van Berg van de Formatie van Bilzen, voor zover aanwezig in het inventarisatiegebied. De Formatie van Zelzate komt voor over het grootste gedeelte van het inventarisatiegebied en dient als basis voor de kartering en weergave op de profielen. De Formatie van Sint-Huibrechts-Hern komen voor in het zuidoostelijk deel van het inventarisatiegebied, op de overgang naar het Kempisch Plateau.

De lithostratigrafische toewijzing van de opeenvolgende zand – kleipakketten onder de Boomse Klei wordt bij conventie als volgt geregeld. Het bovenste zandpakket wordt als Lid van Ruisbroek geïdentificeerd wanneer dit rust op de zand-klei opeenvolging toegewezen aan de Formaties van Maldegem en Zelzate, als Formatie van St. Huibrechts-Hern (equivalent Laagpakket van Klimmen) wanneer er aan de basis sprake is van een discordantie en toenemend hiaat, als Formatie van Borgloon (equivalent Laagpakket van Goudsberg) wanneer de Tongeriaanlagen naar boven toe in het mariene – continentale randbereik komen. Dit kenmerk verdwijnt naar het noorden, en daarmee ook de Formatie van Borgloon, die afwezig blijft in het modelgebied.

In het oosten van het inventarisatiegebied komt hierboven door vertanding met het Laagpakket van Belsele-Waas aan de basis van de Boomse Klei nog een zandpakket, het Laagpakket van Berg van de Formatie van Bilzen (gecorrleerd met Laagpakket van Vessem van de Rupel Formatie in Nederland). Het Laagpakket van Berg dat bestaat uit littorale afzettingen bezit een logsignatuur die gelijkend is op die van Neerrepn en vooral Ruisbroek, met een uitgesproken resistiviteitsmaximum in het midden van het lid. Ruisbroek, Neerrepn en Berg vertonen daarmee sterke overeenkomst in logsignatuur, maar zouden van verschillende ouderdom kunnen zijn (Neerrepn het oudst en samen met Grimmertingen te correleren met Bassevelde – Watervliet van de Formatie van Zelzate; Ruisbroek als lowstand deposit te correleren met de afzettingen van de Formatie van Borgloon in geheel ander randmariene facies ontwikkeld; Berg in de Formatie van Bilzen als lateraal equivalent van de basislagen van de Formatie van Boom waar het sedimentatiebekken in kustnabije positie meer klastische influx kreeg te verwerken (Vandenbergh et al., 2014b, Fig. 12.4).

De Combinatie van Vroeg-Oligocene zanden omvat de Vlaamse hydrogeologische eenheden 0430 + 0450.

In de Nederlandse stratigrafie komt de Combinatie van Vroeg-Oligocene zanden overeen met de Formatie van Tongeren en met het Laagpakket van Vessem (RU-z-2) van de Rupel Formatie.

13.1. Formatie van Zelzate

Code: Zz

Onderverdeling

De Formatie van Zelzate is een mariene lithostratigrafische eenheid die voornamelijk bestaat uit matig fijne zanden met een intercalatie van zandige klei. De dikte bedraagt 25 tot 30 m en is vrij regelmatig. Naar het oosten en zuidoosten komt als lateraal equivalent de Formatie van St Huibrechts-Hern voor, waarvan de top mogelijk ouder is dan die van Zelzate (aanwezigheid van de overliggende Formatie van Borgloon is niet gedocumenteerd).

De Formatie van Zelzate bestaat uit drie leden, van boven naar onder: Ruisbroek – Watervliet - Bassevelde (Fig. 13.1). Deze komen overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheden, resp. 0435 Zand van Ruisbroek, 0442 Klei van Watervliet, 0453 Kleiig zand van Bassevelde.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Tongeren, Laagpakket van Zelzate, met Laag van Ruisbroek als equivalent van het Lid van Ruisbroek (Nederlandse hydrogeologische eenheid TO-z-2 partim), Laag van Zelzate - Watervliet als equivalent van het Lid van Watervliet (Nederlandse hydrogeologische eenheid TOZEWA-k-1), Laag van Bassevelde als equivalent van het Lid van

Bassevelde (Nederlandse hydrogeologische eenheid TO-z-3) - (Ebbing, Menkovic & Busschers, 2003); de Belgische lithostratigrafie dient hierbij als richtlijn. Net als bij andere Belgische formaties het geval is zijn de Nederlandse lithostratigrafische eenheden een hiërarchische eenheid lager geschaald (zie bijvoorbeeld Eigenbilzen als formatie in België en laagpakket in Nederland, Diest, Berchem en Bolderberg formaties in België die in Nederland samen de Formatie van Breda uitmaken).

De Formatie van Tongeren omvat de bovenste drie lagen van het vroeger omschreven Complex van Kallo (Wouters & Vandenberghe, 1994). Van Adrichem Boogaert & Kouwe (eds., 1993) rekenen het bovenste zandig pakket van de Formatie van Zelzate tot het Laagpakket van Vessem van de Formatie van Rupel. Dit kan beter gelijkgeschakeld worden met de Zanden van Berg uit het Laagpakket van Bilzen (Ebbing, Menkovic & Busschers, 2003).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Zelzate bestaat van boven naar onder uit (Fig. 13.2):

- het Lid (Laagpakket) van Ruisbroek bestaande uit bleek groengrijs fijn tot grof glauconiethoudend zand met kleilenzen en schelpenresten, met een logsignatuur van poreus zand met uitgesproken verhoging van de resistiviteit over het gehele interval, met een opwaarts stijgende trend in de gammastraling, over twee brede pieken gespreid, waarvan de dikte gemiddeld 7-8 m bedraagt, in het inventarisatiegebied echter het dubbele kan bedragen;
- het Lid (Laagpakket) van Watervliet bestaande uit donkergroene zand- en glauconiethoudende maar nog plastische klei, waarvan de dikte minder dan 1 tot 5 m bedraagt; de kleisignatuur is weinig uitgesproken;
- het Lid (Laagpakket) van Bassevelde bestaande uit grijs matig fijn glauconiethoudend soms silteus (slibrijk) zand, mogelijk met kleilenzen, met erg variabele dikte van 4 tot 20 m; hoe dikker de eenheid hoe zuiverder het zand bovenaan, met verhoogde resistiviteit en verlaagde gammastraling.

De lithostratigrafische toewijzing van de opeenvolgende zand – kleipakketten en met name de identificatie van het grensvlak Maldegem - Zelzate blijft een aandachtspunt zie bijv. boringen Merksplas-Beerse-2 en Dessel-1 en met verschillende interpretaties (Figs. 13.3-4).

Bovengrens

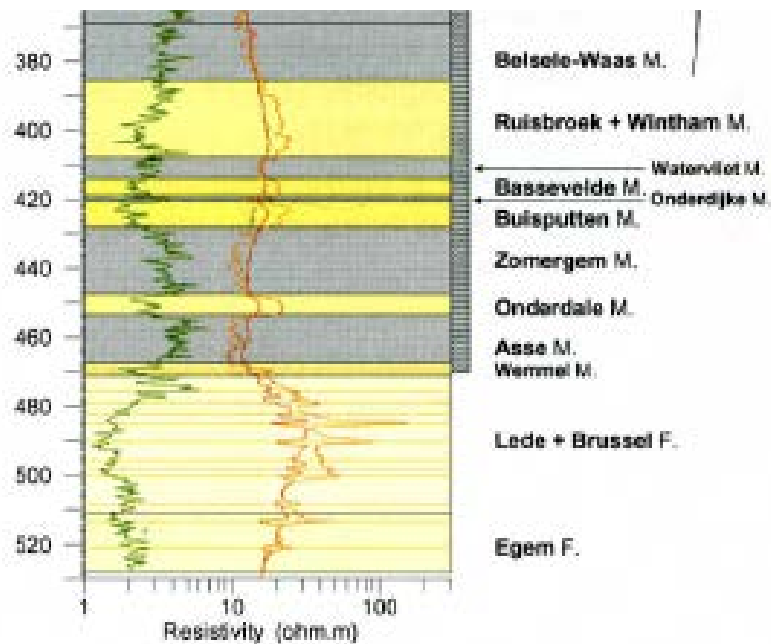
De Formatie van Zelzate wordt met een geleidelijke overgang bedekt door de Formatie van Boom, Lid van Belsele-Waas, wat zich uit door een zeer geleidelijke stijging van de gammastraling en een daling van de resistiviteit. De exacte positionering van de grens tussen beide formaties op basis van boorgatmetingen is dan ook problematisch, vooral in het westen van het inventarisatiegebied (Fig. 13.3).

Ondergrens

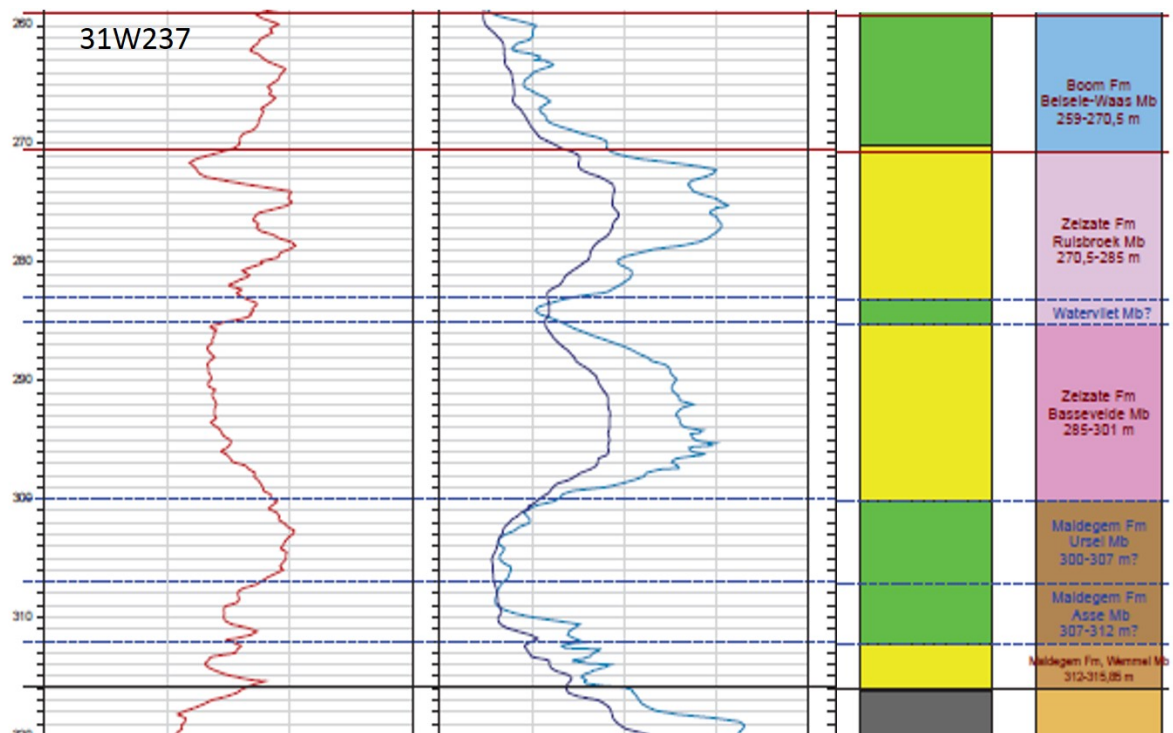
De Formatie van Zelzate ligt met scherp, zelfs erosief contact op de Formatie van Maldegem (Formatie van Dongen in Nederland) dat goed waarneembaar is wanneer de top van de Formatie van Maldegem uit een kleilaag bestaat. Mocht de top van Maldegem uit een zandlaag bestaan dan is het bovenste zandje doorgaans verkeerdelijk als Zelzate geïnterpreteerd en is de Formatie van Maldegem op deze locaties te dun ingeschat. Naar het zuidoosten toe vertoont de Zelzate – Maldegem opeenvolging een groter wordend hiaat (Fig. 13.2).

Stratigrafische positie

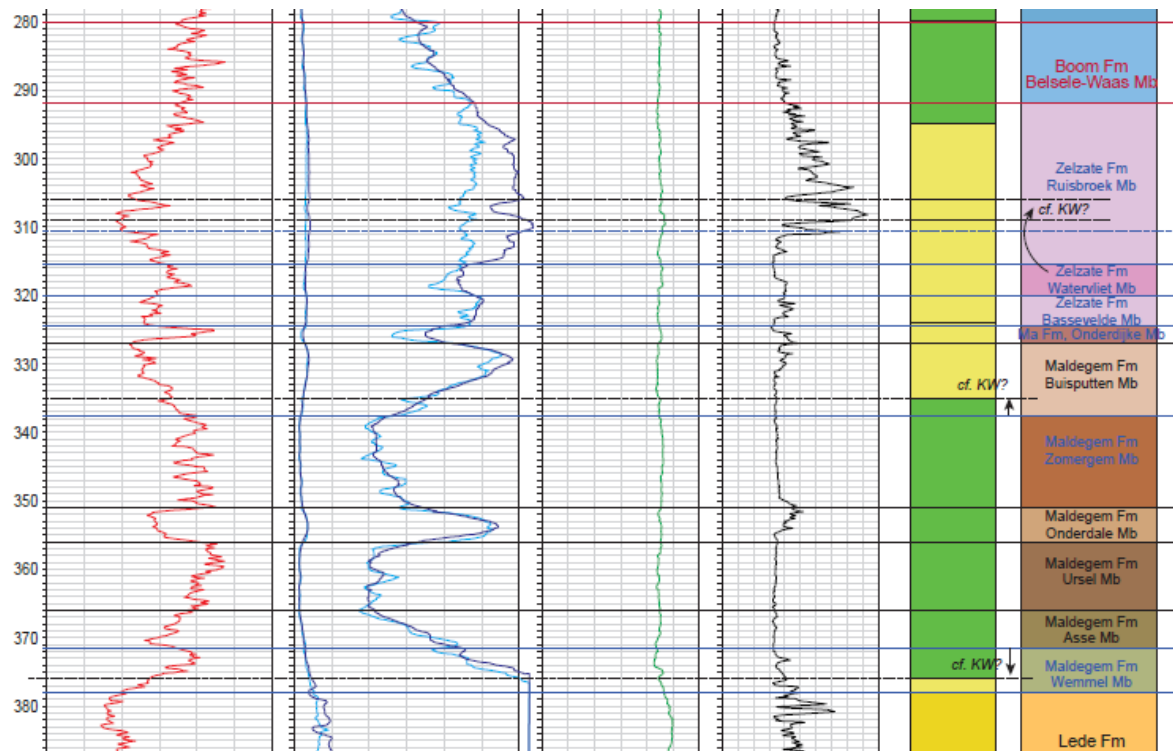
De Formatie van Zelzate bevindt zich op de grens van Eoceen naar Oligoceen en ligt disconform op de Formatie van Maldegem, waarvan het gescheiden is door een erosiefase die in het inventarisatiegebied van west naar oost toeneemt. In het westen is de opeenvolging nog volledig (zie boring 17W280, Formatie van Maldegem). Sequentiestratigrafisch is het een heterogene formatie met twee sequenties in het Lid van Bassevelde en bijbehorende highstand in het Lid van Watervliet. Het Lid van Ruisbroek vormt een lowstand afzetting waarvan de highstand in de Boomse Klei ligt (Vandenberghe et al., 2014b; cf. figs. 12.4-5).



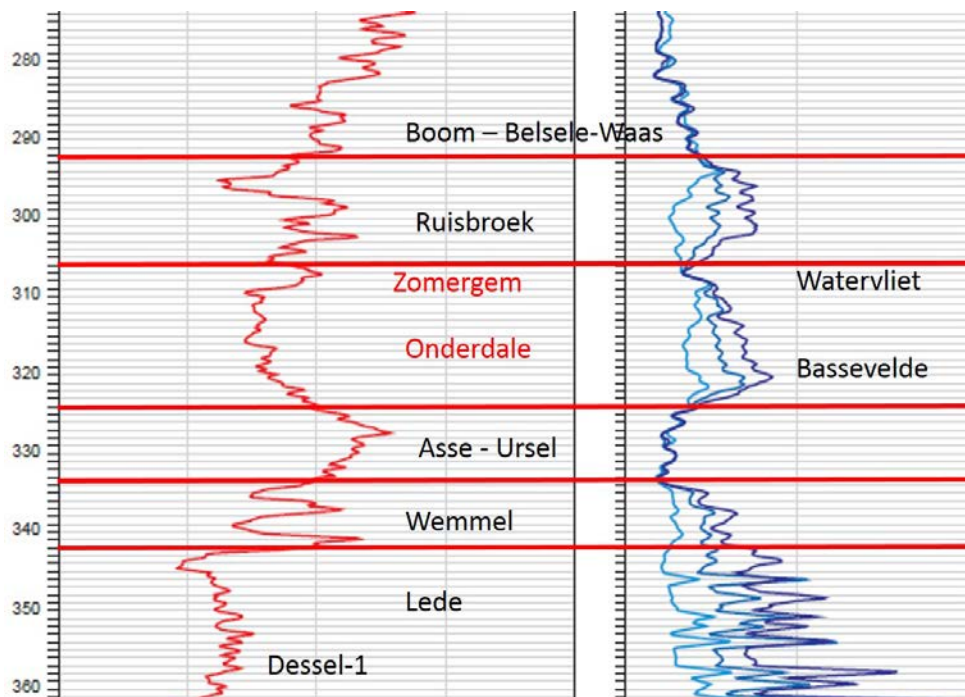
Figuur 13.1. Weelde-1 (8E0159, DOV kb8d8e-B161), uitvoering SCK in opdracht van NIRAS, noordelijk gelegen van Dessel, geeft een volledige sequentie voor het interval met de Formaties van Maldegem en Zelzate, zij het dat de toplagen van Maldegem en de basislagen van Zelzate in dikte gereduceerd blijven.



Figuur 13.2. Boring SCK15 31W0237 Mol, interval Maldegem-Zelzate, met reductie van het aantal onderscheiden leden in de Formatie van Maldegem.



Figuur 13.3. Boring 17W280, DOV kb8d17w-B315, Merksplas-Beerse-2, interval Maldegem – Zelzate met volledig aantal leden (naar Welkenhuysen & De Ceukelaire, 2009, overeenkomend met de huidige interpretatie in DOV), aangepast voor H3O (volgens aanduiding cf. KW in lithologische kolom).



Figuur 13.4. Boring 31W0300, Dessel-1 (NIRAS) in vergelijkbare opeenvolging als boring 31W0237, SCK15 te Mol, maar met verschillende identificatie van de opeenvolging van zand – klei pakketten, met links de oorspronkelijke interpretatie door SCK en rechts de gecorrigeerde interpretatie voor H3O – De Kempen. Het interval onder Ruisbroek en boven Ursel wordt nog tot de Formatie van Zelzate gerekend maar verandert wel van karakter t.o.v. het meer westelijk gelegen typegebied.

13.2. Formatie van Bilzen

Code: Bi

Onderverdeling

De Formatie van Bilzen is een mariene lithostratigrafische eenheid die in het typegebied (zuidoosten van Belgisch Limburg) van boven naar onder bestaat uit een opeenvolging zand (Laagpakket of Lid van Kerniel), klei (Laagpakket of Lid van Kleine Spouwen), zand (Laagpakket of Lid van Berg) – (Fig. 12.1). Enkel het Lid (Laagpakket) van Berg is in het inventarisatiegebied aanwezig. Dit komt overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheid 0431 Zand van Berg.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Rupel Formatie, Laagpakket van Vessem (Ebbing, Menkovic & Busschers, 2003), overeenkomend met de Nederlandse hydrogeologische eenheid RU-z-2.

Het is enkel in het diepere deel van de Roerdalslenk, in het oosten van het inventarisatiegebied dat deze eenheid zal voorkomen, en vermoedelijk zal correleren met het Laagpakket van Berg, wat impliceert dat enkel het Laagpakket van Belsele-Waas, dus het basispakket van de Boomse Klei is verzand en door vertanding vervangen door het Laagpakket van Vessem (Fig. 13.7).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Bilzen start met grijsgele, soms glauconiethoudende fijne zanden die in het typegebied fossielrijk zijn (Laagpakket of Lid van Berg), gevolgd door groene fossielhoudende stijve klei met zand tussenschakelingen (Laagpakket of Lid van Kleine Spouwen), en ten slotte grijswit fijn zand met kleilenzen, lokaal eveneens fossielhoudend (Laagpakket of Lid van Kerniel). De dikte bedraagt ongeveer 15 m.

In boring Molenbeersel (projectgebied H3O - Roerdalslenk) lijkt de Formatie van Bilzen te bestaan uit zand met kleiige basis (Fig. 13.5). Er wordt van uitgegaan dat ook in het aangrenzende projectgebied H3O – De Kempen enkel het Laagpakket van Berg aanwezig is in het diepere deel van de Roerdalslenk.

Bovengrens

De Formatie van Bilzen wordt met een scherpe overgang bedekt door de Formatie van Boom, en dit contact is diachroom; het schuift steeds hoger in zuidoostelijke richting.

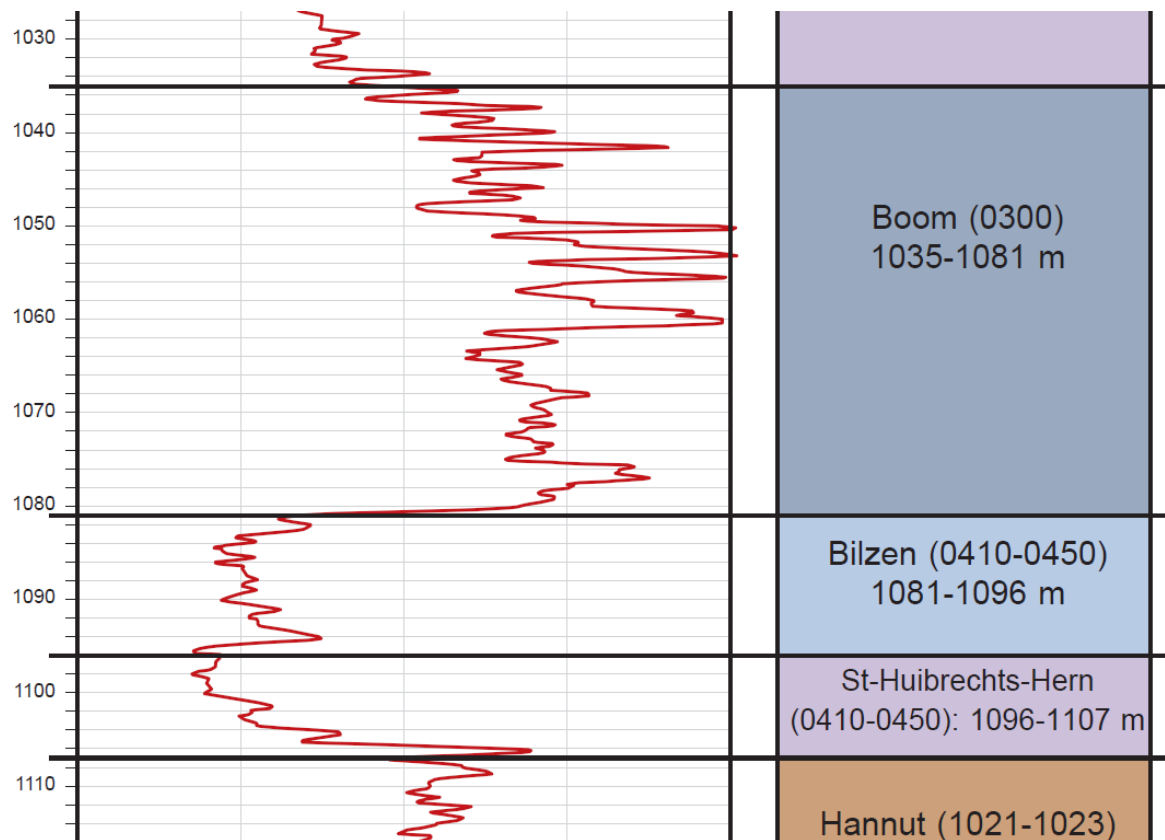
Ondergrens

De Formatie van Bilzen ligt met scherp, maar slecht gedefinieerd contact op de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern (Formatie van Tongeren, Laagpakket van Klimmen in Nederland). De tussenliggende Formatie van Borgloon met lagunaire facies is afwezig in het inventarisatiegebied.

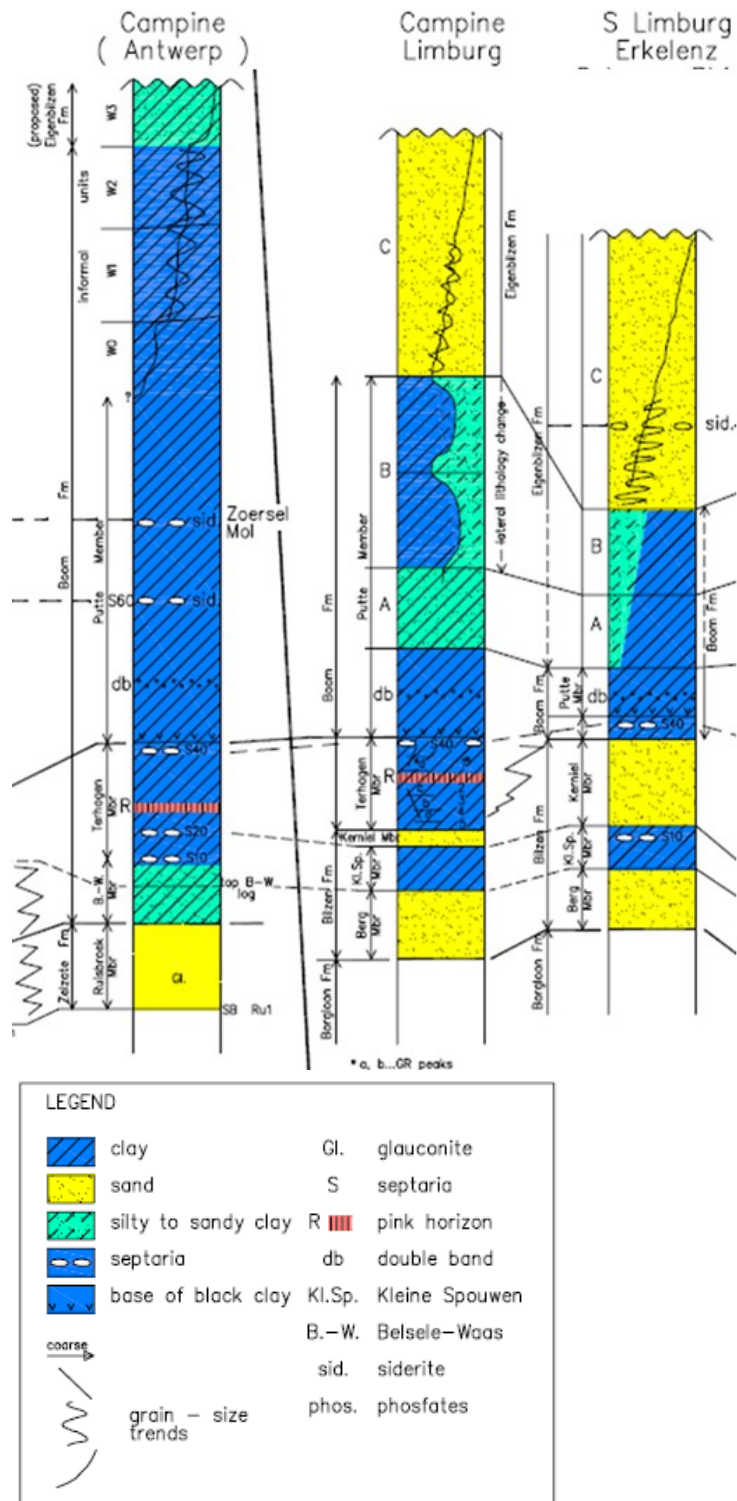
Stratigrafische positie

De Formatie van Bilzen wordt gerekend tot de Rupel Groep (wat in Nederland overeenkomt met de Rupel Formatie) en ontstaat door vertanding met het onderste deel van de Formatie van Boom, ten gevolge van een faciesverandering van kleiig open marien naar zandig meer kustnabij facies. Het Laagpakket van Berg correleert met het Laagpakket van Belsele-Waas van de Formatie van Boom. Het is niet uitgesloten dat het Laagpakket van Ruisbroek, top van de Formatie van Zelzate eveneens een lateraal equivalent is van het Laagpakket van Berg.

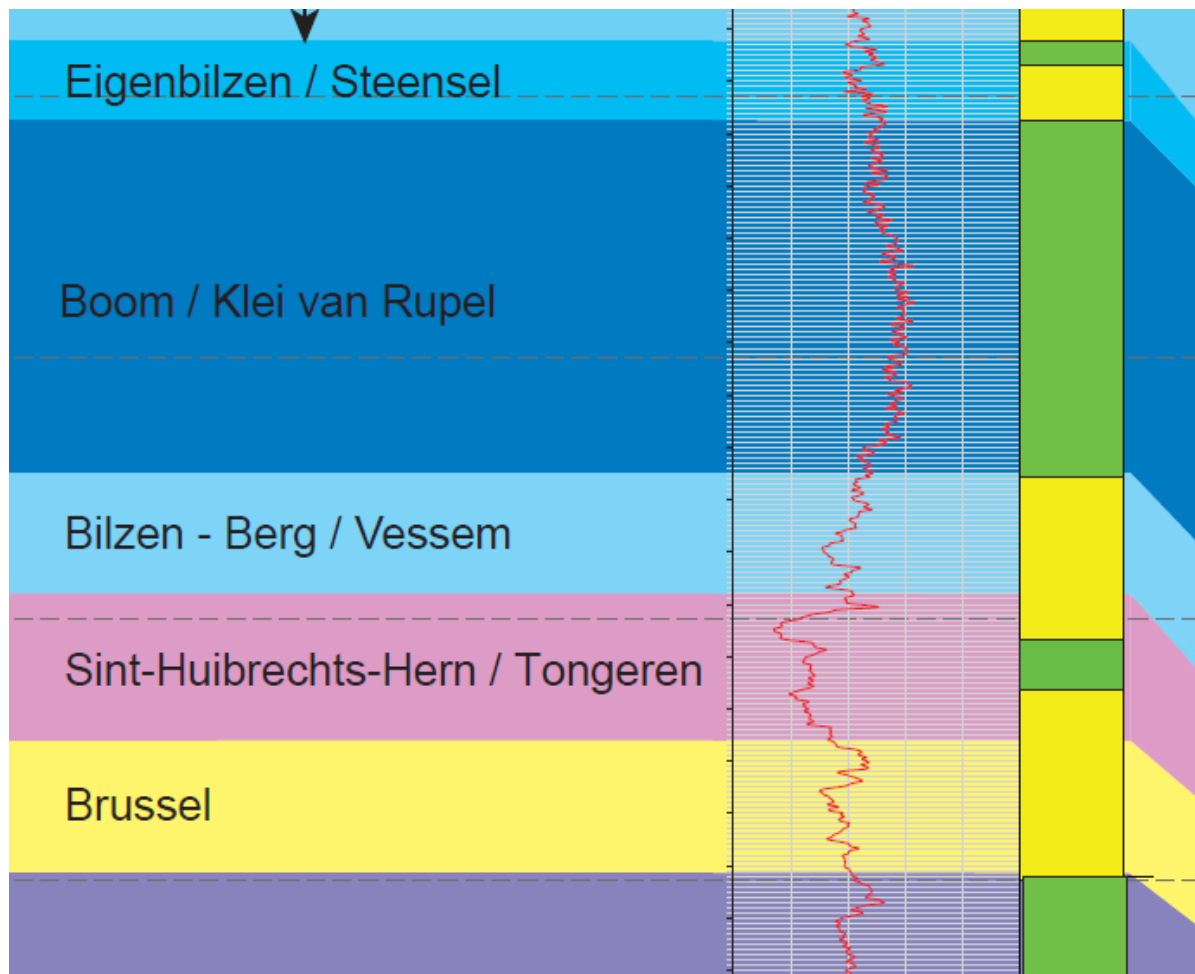
Het Laagpakket van Kleine Spouwen, dat als kleipakket ontwikkeld blijft in het voorkomensgebied van de Formatie van Bilzen, komt vermoedelijk overeen met de basislagen van het Laagpakket van Terhagen. Het Laagpakket van Kerniel vormt een zandige inschakeling in het Laagpakket van Terhagen die naar het noordwesten toe zal uitwijken, zodat bijgevolg er geen onderscheid meer kan worden gemaakt tussen de Laagpakketten van Kleine Spouwen en Terhagen (Fig. 13.6, Vandenberghe et al., 2014b).



Figuur 13.5. Uittreksel boorlog met enkel gammastraling van boring Molenbeersel, 49W0226, DOV kb18d49w-B226, in het diepere deel van de Roerdalslenk (inventarisatiegebied H3O – Roerdalslenk), traject tussen de Formaties van Eigenbilzen en Hannut, met de Formatie van Boom, op te splitsen tussen het Laagpakket van Putte (1035 – 1061 m) en van Terhagen (1061 – 1081 m), waaronder de Formatie van Bilzen, Laagpakket van Berg (Nederlands equivalent: Laagpakket van Vessem) en de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern (Nederlands equivalent Formatie van Tongeren, Laagpakket van Klimmen). De grote en tevens scherpe sprongen in de gammastraling op de formatiegrenzen wijzen vermoedelijk op hiaten en/of onconformiteiten in de sequentie.



Figuur 13.6. Stratigrafische correlatie van de Formatie van Boom aan de hand van representatieve profielen in de Antwerpse Kempen, de Limburgse Kempen en Zuid-Limburg (vergelijkbaar met de oostelijke Roerdalslenk), met laterale overgang tussen het Laagpakket van Boeretang (hier genoemd de informele eenheden W1, W2 in de Antwerpse Kempen) en de Formatie van Eigenbilzen (W3 en eenheid C in Limburgse Kempen en Zuid-Limburg), evenals de laterale overgangen tussen het Laagpakket van Belsele-Waas, het Laagpakket van Terhagen (partim) van de Formatie van Boom en mogelijk ook het Laagpakket van Ruisbroek van de Formatie van Zelzate met de Formatie van Bilzen in de Limburgse Kempen en Zuid-Limburg (Fig. 14 in Vandenberghe et al., 2014b).



Figuur 13.7. Boring HVB-01, traject tussen de Formaties van Voort / Veldhoven (boven) en Kortrijk (onder) met opeenvolging Rupel (= Formatie van Boom), Vessem (= Formatie van Bilzen), Tongeren (= Formatie van Sint-Huibrechts-Hern) en Brussel (= Brussel – Lede Complex). Rechts weergave van gammastraling en dominante lithologie. De horizontale stippellijnen stellen 50 m diepte-intervallen voor.

13.3. Formatie van Sint-Huibrechts-Hern

Code: Sh

Onderverdeling

De Formatie van Sint-Huibrechts-Hern is een transgressieve lithostratigrafische eenheid op de overgang van Eoceen naar Oligoceen die voornamelijk bestaat uit fijne glauconiethoudende zanden. De dikte bedraagt ca 30 m en is vrij regelmatig, net als het facies, en verdeeld over twee laagpakketten, Grimmertingen en Neerepen, die steeds samen voorkomen in het subcropgebied. Deze leden (laagpakketten) komen overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheden 0451 Zand van Neerepen, en 0452 Zand-klei van Grimmertingen.

Deze formatie vormt het onderste mariene deel van de Tongeren groep (Tongeren Formatie in Nederland), dat via een emersiefase met bodemvorming (Bodem van Neerepen) overgaat in de waddenafzettingen (waddenklei, brakwater stormafzettingen, getijdengeulen) van de Formatie van Borgloon als bovenste deel van de Tongeren groep. De Formatie van Borgloon komt niet voor in het inventarisatiegebied (mogelijk is het lagunaire facies van Borgloon vervangen door mariene facies zodat Sint-Huibrechts-Hern een langer doorlopende sequentie bezit in het inventarisatiegebied ten opzichte van het ontsluitingsgebied waar de typelocaties liggen).

Naar het westen noordwesten komt als ten minste gedeeltelijk lateraal tijdsequivalent de Formatie van Zelzate voor.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Tongeren, Laagpakket van Klimmen (Ebbing, Menkovic & Busschers, 2003), overeenkomend met de Nederlandse hydrogeologische eenheid TO-z-2.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Sint-Huibrechts-Hern bestaat van boven naar onder uit:

- het Lid (Laagpakket) van Neerepen bestaande uit lichtgroengrijs licht glauconiet- en micahoudend soms licht kleihoudend zand en een dikte van maximaal 20 m; lagere gammastraling en vooral verhoogde resistiviteit zijn kenmerkend voor een zandpakket met aquifer eigenschappen;
- het Lid (Laagpakket) van Grimmertingen bestaande uit groengrijs glauconiethoudend kleilig fijn zand en plastische zandrijke klei, met weinig variabel facies en een dikte van maximaal 20 m, doorgaans eerder in de orde van grootte van 10m; gammastraling en resistiviteit zijn die van kleilig zand, zonder aquiferkwaliteit.

Qua logbeeld valt vooral de trapsgewijze overgang tussen beide laagpakketten op en het merkkelijk regelmatig verloop van vooral de gammastraling en in mindere mate de resistiviteit over ieder laagpakket.

Bovengrens

De Formatie van Sint-Huibrechts-Hern wordt in het oostelijk inventarisatiegebied bedekt door de Formatie van Bilzen (Laagpakket van Berg of Vessem), in het zuidoostelijke inventarisatiegebied in scherp contact door de Formatie van Boom (tenzij een lokaal equivalent van de Formatie van Bilzen niet is herkend en geïncorporeerd in de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern) – (Fig. 13.8). Verder zuidelijk en oostelijk wordt deze formatie overdekt door de Formatie van Borgloon, inzonderheid de Klei van Henis die als waddenklei een beperkte paleogeografische verbreiding heeft.

De wijze waarop de Formatie van Borgloon verdwijnt en de relatie tussen Zand van Ruisbroek en Zand van Berg, waaraan een vergelijkbare log-signatuur werd toegewezen, is nog onduidelijk.

Ondergrens

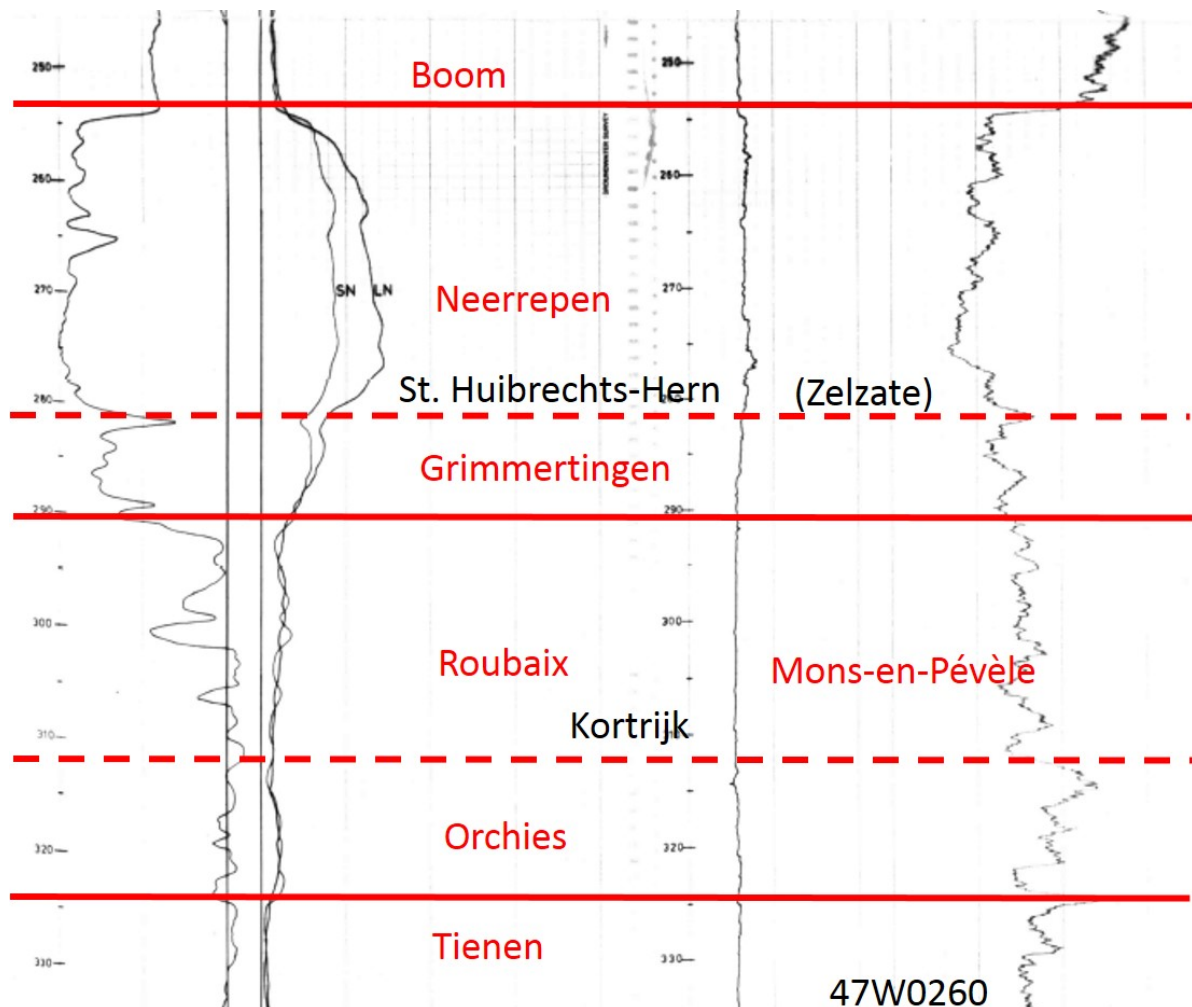
De Formatie van Sin-Huibrechts-Hern ligt steeds met erosief contact op oudere formaties, in het noordoostelijk deel van het inventarisatiegebied op het Lede-Brussel Complex (Fig. 13.7), in het zuidoostelijk deel van het inventarisatiegebied de Formatie van Kortrijk afsnijdend. Verder oost- en zuidwaarts snijdt de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern in nog oudere formaties, tot in het Krijt in Belgisch Limburg en het Carboon in Nederlands Zuid-Limburg.

Stratigrafische positie

De Formatie van St. Huibrechts-Hern ligt discordant en met een groot hiaat op Eocene sequenties, een kenmerkend fenomeen voor het in de Roerdalslenk gelegen oostelijk deel van het inventarisatiegebied en het zuidoostelijk randgebied. Dit is het gevolg van de Eocene inversie die de slenk beïnvloed heeft. Verder zuidoostwaarts neemt het hiaat stelselmatig toe totdat de formatie in Zuid-Limburg op de paleozoïsche sokkel rust. In het inventarisatiegebied komt deze formatie enkel voor langs de zuidoostelijke rand en het diepere deel van de Roerdalslenk. De geologische voorgeschiedenis verklaart dus of de Formatie van Zelzate dan wel die van St. Huibrechts-Hern moet worden verwacht.

De Formatie van St. Huibrechts-Hern wordt op gammastraling gekenmerkt door van onder naar boven een verlagende trend, gevolgd door een licht verhogende trend. Dezelfde trends kunnen worden herkend in de Formatie van Zelzate, met minimum van gammastraling in de top Bassevelde, zij het dat het bovenliggend interval Watervliet – Ruisbroek meer door opeenvolgende pieken oploopt.

Alhoewel de top van Zelzate en St. Huibrechts-Hern niet gelijk in tijd hoeft te zijn is gelijkschakeling van St. Huibrechts-Hern met Zelzate dus mogelijk voor kartografische doeleinden.



Figuur 13.8. Boring 47W0260, DOV kb17d47w-B258 = KS13 Koersel Hemelbrug, aan de zuidoostelijke rand van het inventarisatiegebied, met Formatie van St.-Huibrechts-Hern op sterk gereduceerde Ieperklei sequentie (Formatie van Kortrijk). Interne grens tussen de Leden van Neerepen en Grimmertingen is indicatief, aangezien er weinig informatie bestaat over de paleogeografische ontwikkeling van de Formaties van Sint-Huibrechts-Hern, Borgloon en Bilzen en in noordelijke richting.

14. Formatie van Maldegem

Code: Ma

Onderverdeling

De Formatie van Maldegem is een mariene lithostratigrafische eenheid bestaande uit zanden en kleien met geleidelijke overgangen.

De Formatie van Maldegem bereikt een dikte van 50 m bij volledige ontwikkeling in het westen van het inventarisatiegebied, maar wigt volledig uit naar het oosten. Bij volledige ontwikkeling komen de volgende leden voor, van onder naar boven (inclusief de a-, s- codering door Gulinck, 1965, 1969): Wemmel (We), Asse (a1), Ursel (a1), Onderdale (s2), Zomergem (a2), Buisputten (s3), Onderdijke (a3). Deze zand (= s) – klei (= a) indeling loopt door in de bovenliggende Formatie van Zelzate. Bij volledige ontwikkeling van de formatie is het logbeeld erg karakteristiek (Fig. 14.1), bij erosief contact gaan de bovenste eenheden één voor één verdwijnen (Fig. 14.2).

De Formatie van Maldegem komt overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheden 0500 Bartoon aquitardsysteem, en 0611 Zand van Wemmel. Omwille van het hydrologische karakter van de kartering, is evenwel besloten om binnen H3O het pakket Maldegem zonder het Lid (Laagpakket) van Wemmel te karteren dat bijgevolg werd opgenomen in de Combinatie van Vroeg- tot Laat-Eocene Zanden.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Dongen, Laagpakket van Asse (de Lang, 2003b). Holostratotype: Boring Dongen1 (NAM) te Dongen (langs de noordwestelijke rand van het inventarisatiegebied), traject 691 – 735 m beneden rotatietafel (Fig. 14.3).

Het Laagpakket van Asse bestaat hoofdzakelijk uit donkergrijze tot blauwgrijze, meestal kalkloze plastische klei, glauconiethoudend aan de basis. In de randzone van het bekken komen enkele zandlagen voor. Ook de basis is daar zandig en bevat schelpen en nummulieten (de Lang, 2003b). De basiseenheid, het Zand van Wemmel zal (voor zover ontwikkeld in zand facies) tot het onderliggende Laagpakket van Brussel wordt gerekend.

Het Laagpakket van Asse komt overeen met de Nederlandse hydrogeologische eenheden DO-z-1 en DOAS-k-1. Zanden die te correleren zijn met het Lid (Laagpakket) van Wemmel maken deel uit van eenheid DO-z-2.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Maldegem bestaat van boven naar onder uit:

- het Lid (Laagpakket) van Onderdijke bestaande uit grijsgroenblauwe zandige klei met perforaties van weinig zand als teken van regressie; dit lid vertoont in boorgatmetingen een typische kleisignatuur (verlaagde resistiviteit en verhoogde gammastraling) met abrupte overgang naar de opvolgende zandige eenheid uit de Formatie van Zelzate; de dikte kan 10 m bereiken maar is veelal minder, slechts enkele meters in het inventarisatiegebied;
- het Lid (Laagpakket) van Buisputten, bestaande uit donkergrijs silteus matig fijn zand, wederom goed gelijkend op het Zand van Onderdale en met zandsignatuur in boorgatmetingen; de gemiddelde dikte bedraagt 6-7 m (meer in het studiegebied);
- het Lid (Laagpakket) van Zomergem bestaande uit grijsblauwe zware klei van eenzelfde type als dat van het onderliggende Lid van Ursel, ook qua boorgatmetingen; de gemiddelde dikte bedraagt 8 m (toenemend in het inventarisatiegebied);
- het Lid (Laagpakket) van Onderdale bestaande uit donkergrijs silteus matig fijn zand, ca 7 m dik in het oostelijk verbreidingsgebied, op boorgatmetingen gekenmerkt door een duidelijke stijging van de resistiviteit en daling van de gammastraling tussen twee kleipakketten;
- het Lid (Laagpakket) van Ursel bestaande uit grijsblauwe kalkloze zware klei zonder zand of glauconiet, ca 12 m dik, resistiviteitsminimum over dit lid gekoppeld aan verhoogde gammastraling, naar boven licht toenemend; daar het onderscheid met het onderliggend Lid van Asse meestal niet te maken is worden deze twee laagpakketten bij boorbeschrijvingen meestal samengevoegd;
- het Lid (Laagpakket) van Asse bestaande uit glauconietrijke klei met lenzen grof glauconietzand ("bande noire"), ca 4m dik; verdere afname van de resistiviteit en onregelmatige gammastraling over dit lid met een klein piekje aan de basis;

- het Lid (Laagpakket) van Wemmel bestaande uit grijs fijn glauconiethoudend zand met Nummulieten en gerolde fossielen en zandsteen en dus kalkig, overgaand in grof-glauconiethoudende klei, ca 5 m dik; afnemende resistiviteit over dit lid en verhoging van de gammastraling met piekje bij de basis.

Bovengrens

De Formatie van Maldegem wordt bedekt door de Formatie van Zelzate. De overgang Onderdijkse klei – Bassevelde zand is scherp, mogelijk als gevolg van de tijdelijke regressie tussen beide formaties. Bij onvolledige sequentie kan het moeilijk zijn de Formatie van Maldegem tot op het niveau van de laagpakketten in te delen. Globaal is over de Formatie van Maldegem de kleisignatuur dominerend, terwijl dit over de Formatie van Zelzate de zandsignatuur is.

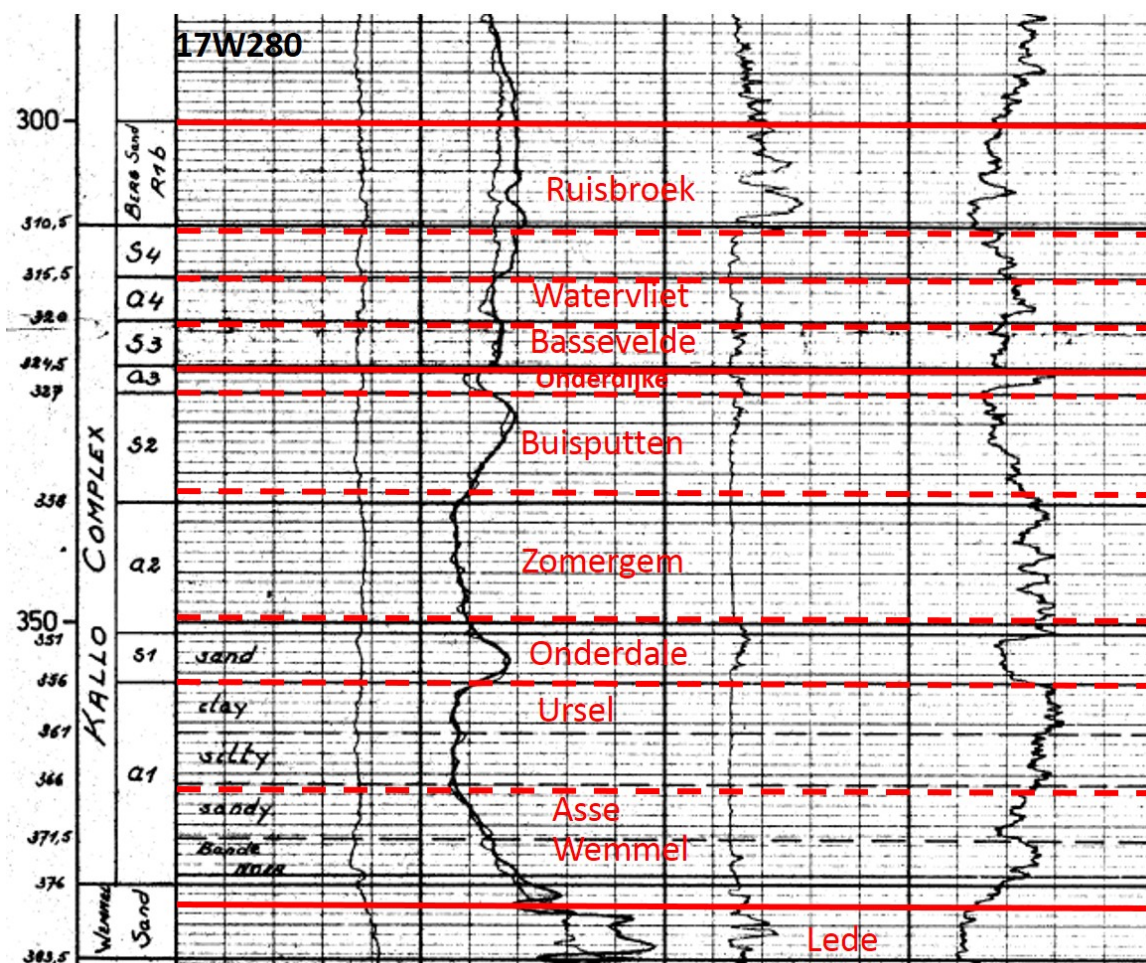
Ondergrens

De Formatie van Maldegem ligt op de Formatie van Lede met scherp contact wegens het groot verschil in resistiviteit vooral tussen de sterk doorlatende Zanden van Lede en de meer silteuze tot kleihoudende zanden in de Formatie van Maldegem.

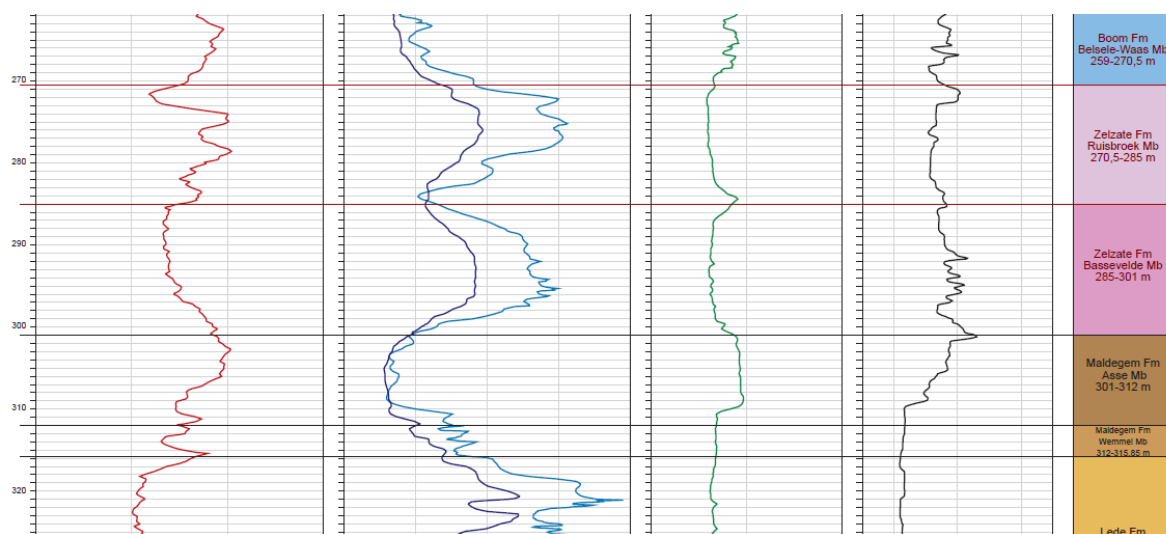
Stratigrafische positie

De Laat-Eocene Formatie van Maldegem is gescheiden door stratigrafische hiaten van onder- en bovenliggende formaties (met disconform contact) en bestaat zelf uit drie sequenties. De onderste sequentie omvat de Leden van Wemmel, Asse en Ursel, beginnend met een transgressieve sequentie, main flooding surface ter hoogte van de 'Bande noire' en vervolgens highstand systems track over het overige deel van Asse en Ursel.

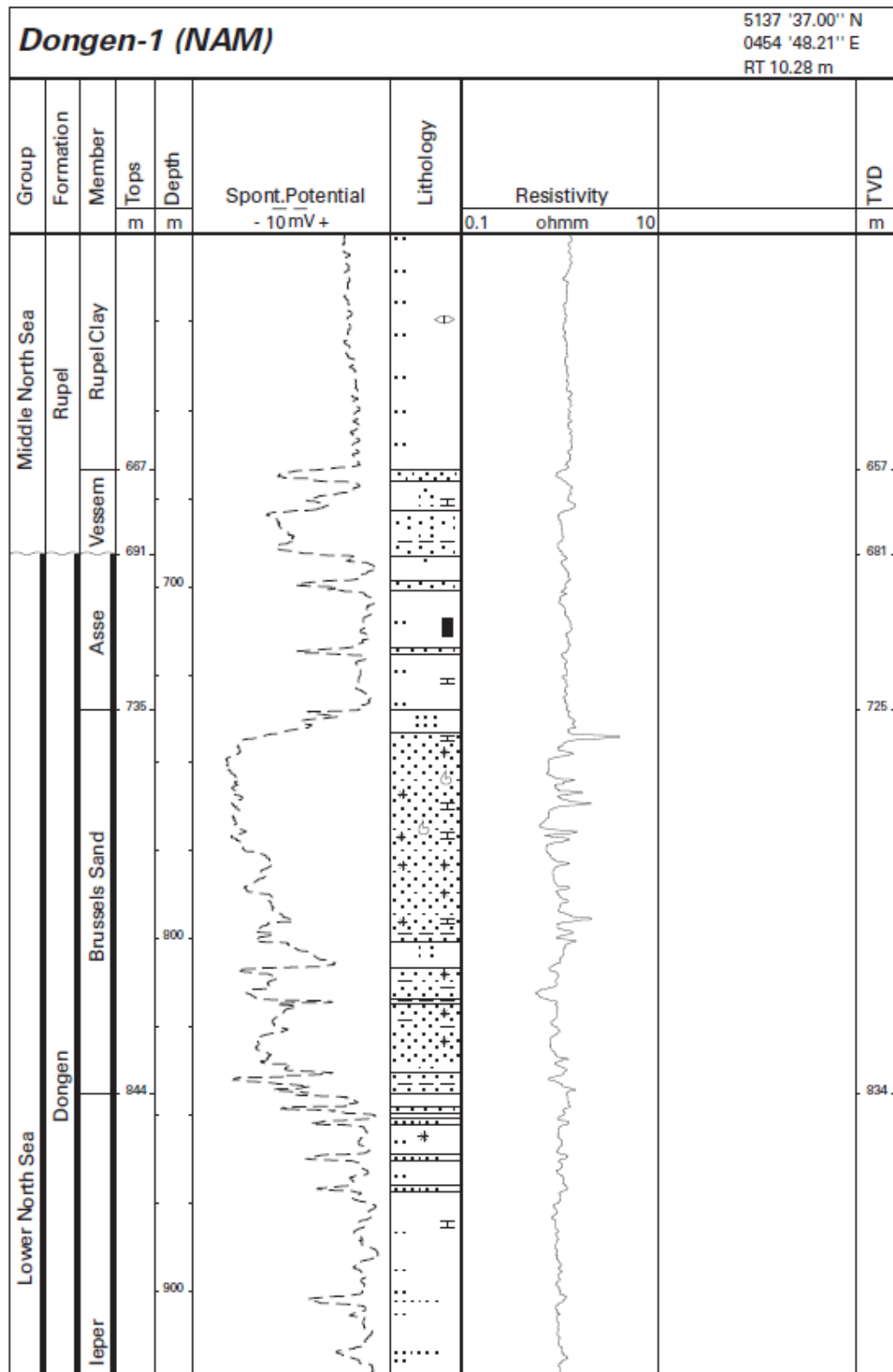
Een nieuwe transgressieve sequentie begint met het Zand van Onderdale; de Klei van Zomergem is de highstand tract terwijl de overgang naar het Zand van Buisputten de regressiefase inleidt. De derde sequentie begint met de transgressieve zanden van Buisputten, met highstand over de Klei van Onderdijkse die door een regressiefase met overgang naar continentale toestand wordt afgesloten. De erosie die met deze regressie gepaard ging kan een steeds dieper deel van de Formatie van Maldegem afsnijden (bijv. in Mol enkel de onderste sequentie bewaard, Fig. 14.2). Verder oostelijk wordt de volledige formatie afgesneden (Fig. 14.4).



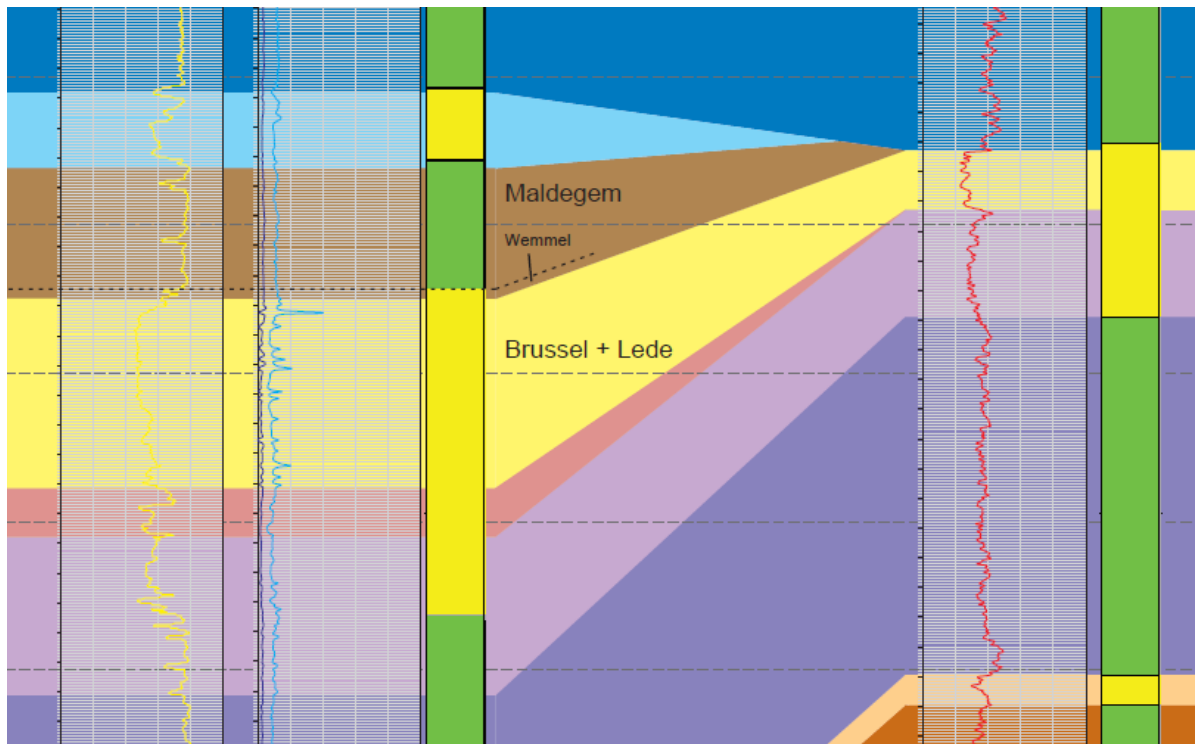
Figuur 14.1. Boring Merksplas-Beerse 2, 17W0280, DOV kb8d17w-B315, traject tussen de Formaties van Lede (onder) en Boom (boven), oorspronkelijk log (SP, dubbele resistiviteit, caliper, gammastraling) en oorspronkelijke interpretatie (Vandenberghe et al., 2000) volgens indeling van het Kallo Complex (links, a staat voor klei, s voor zand), vergeleken met de in H3O aangehouden onderverdeling in laagpakketten van de Formaties van Maldegem en Zelzate (rood). De opeenvolging in laagpakketten is volledig.



Figuur 14.2. Referentiebooring SCK15 31W0237 Mol, interval Maldegem –Zelzate, met reductie van het aantal onderscheiden leden in de Formatie van Maldegem.



Figuur 14.3. Boring Dongen-1, holostratotype voor de Dongen Formatie, uittreksel over de Laagpakketten van Asse (= Formatie van Maldegem) en Brussel (= Brussel – Lede Complex), dat de kleine ontwikkeling van de Formatie van Maldegem benadrukt. Merk op dat het Zand van Brussel Laagpakket vanaf diepte 780 m de Zanden van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge omvat (met oplopende spontane potentiaal), en vanaf diepte 800 m het kleiig deel van de Formatie van Gentbrugge, gevolgd door het zandig Laagpakket van Egem van de onderliggende Formatie van Hyon (ex Tielt). De H3O modelleenheden volgen dus een andere indeling.



Figuur 14.4. Uittreksel diep correlatieprofiel 1 over de boringen DON-1 (links, zie ook Fig. 14.4) en HBV-01 (rechts), traject tussen de Boomse Klei en de Ieperklei, met uitwiggings van de meer zandige Formatie van Zelzate (lichtblauw) en de meer kleiige Formatie van Maldegem van west naar oost. De eenheid Brussel + Lede omvat onderaan ook de Zanden van Vlierzele (bovenste Laagpakket van de Formatie van Gentbrugge). Eveneens uitwiggend van west naar oost zijn de onderliggende meer kleiige eenheden van de Formatie van Gentbrugge (Pittem – Merelbeke) – (in lilakleur) en de top van de Formatie van Tielt (lichtpaarse kleur).

15. Combinatie van Vroeg- tot Laat-Eocene Zanden

Tussen de meer kleiige Formaties van Maldegem (bovenaan) en het onderste kleiig deel van de Formatie van Gentbrugge (onderaan) komt een hoofdzakelijk zandig pakket voor, dat in verschillende lithostratigrafische eenheden is opgedeeld: het Laagpakket van Wemmel (Maldegem Formatie), de Formaties van Lede en Brussel en het Laagpakket van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge.

Net zoals ook het geval is voor de bovenliggende Formaties van Zelzate en Maldegem wiggen deze eenheden uit van west naar oost, een uitwiggingsdiepte die zich gedeeltelijk voltrekt binnen het inventarisatiegebied (Fig. 14.4).

Er is geen hydrostratigrafisch onderscheid tussen de Formaties van Lede en Brussel; ze worden dan ook vaak omschreven als het Complex van Brussel - Lede. Indien onderliggend het Laagpakket van Vlierzele voorkomt zal dit vermoedelijk tot dezelfde aquifer behoren (het z.g. Ledo-Paniseliaan) maar slechts een weinig productieve bijdrage leveren. De resulterende hydrogeologische modeleenheid omvat 0611 + 0612 + 0620 + 0640.

Deze eenheden zijn in de Nederlandse stratigrafie samengevoegd in het Laagpakket van Brussel (de Lang, 2003b) – (Fig. 14.3).

15.1. Formatie van Lede

Code: Ld

Onderverdeling

De Formatie van Lede is een mariene lithostratigrafische eenheid bestaande uit kalkhoudend zand en kalkzandsteen. In deze verschilt het niet veel van de onderliggende Formatie van Brussel, waarmee het vaak wordt gegroepeerd.

De Formatie van Lede bereikt een vrij regelmatige dikte van 10 – 15 m, maar wigt uit in het oosten van het inventarisatiegebied. Ze wordt niet verder onderverdeeld. De Formatie van Lede komt overeen met de hydrogeologische eenheid 0612 Zand van Lede.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Dongen, Laagpakket van Brussel (partim) – (de Lang, 2003b). De Formatie van Lede sensu stricto is niet geïdentificeerd in Nederlandse boringen. Het is daarom beter te spreken van het Complex Brussel – Lede (cf. toelichting 15.2).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Lede bestaat uit kalkrijk fijn licht glauconiethoudend zand met enkele (1 tot 3) kalkzandsteenbanken. Resistiviteitspiekjes kunnen overeenkomen met de steenbanken. Aan de basis komt een grindlaagje voor met gerolde keien. In het zand komen z.g. rijstkorrelgrindjes voor, niveaus rijk aan zeer grove (1-2 mm) afgeronde en matglanzende kwartskorrels en kleine nummulieten (*Nummulites variolarius* of 'speldekoppen'). Het logbeeld is vergelijkbaar met dat van de onderliggende Formatie van Brussel.

Bovengrens

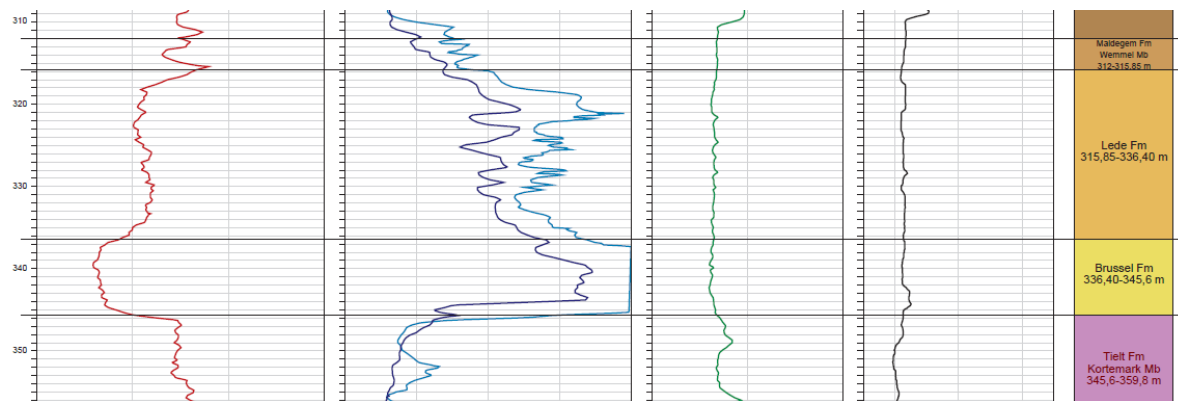
De Formatie van Lede wordt disconform overdekt door de Formatie van Maldegem, waartussen een stratigrafisch hiaat met erosiefase bestaat. De basislagen van de Formatie van Maldegem bestaan uit kalkhoudend glauconiethoudend zand met nummulieten, waardoor verwarring mogelijk is. Vermits in het Zand van Wemmel (basis Formatie van Maldegem) kleilenzen voorkomen wordt de grens Lede – Maldegem gelegd op een terugval in de resistiviteit.

Ondergrens

De Formatie van Lede rust in het inventarisatiegebied overal op de Formatie van Brussel die een vergelijkbaar log beeld vertoont. De grens Brussel – Lede wordt derhalve in het inventarisatiegebied bij conventie gelegd op een resistiviteitssprong die doorgaans in deze sequentie kan worden onderscheiden (Fig. 15.1).

Stratigrafische positie

Een erosiefase scheidt de Midden Eocene formaties van Brussel en Lede. De Formatie van Lede bestaat uit transgressieve zanden waarvan de top eveneens is geërodeerd.



Figuur 15.1. Referentiebooring SCK15 31W237: Boorgatmeting over Brussel – Lede interval, waarin beide pakketten worden onderscheiden.

15 2. Formatie van Brussel

Code: Br

Onderverdeling

De Formatie van Brussel bestaat uit kalkrijke zanden en zandstenen, afgezet in diep uitgeschuurde getijdengeulen (met scherpe kwartsrijke zanden) of ertussen liggende ondiepe platforms (met fijne kalkzanden, grotendeels van biogene oorsprong). Er bestaat een indeling in laagpakketten volgens afzettingskarakteristieken opgemaakt in het ontsluitingsgebied, maar die is complex en niet van toepassing op het inventarisatiegebied (Houthuys, 2011). Een revisie en vervanging door laagpakketten op basis van granulometrische criteria is voorwerp van discussie binnen de Belgische Nationale Commissie voor Stratigrafie (NCS) – (Houthuys et al., 2017).

De oostelijke verbreedingsgrens valt ongeveer samen met de zuidoostgrens van het inventarisatiegebied.

De Vlaamse hydrogeologische eenheid 0620 Zand van Brussel beantwoordt aan de lithostratigrafische Formatie van Brussel.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Dongen, Laagpakket van Brussel, holostratotype DON-01 traject 735-800 m (partim) – (Fig. 14.3). Dit laagpakket kan tevens de Zanden van Vlierzele, Aalter (minstens gedeeltelijk lateraal equivalent van Brussel), Lede en Wemmel omvatten.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Brussel vormt een mariene afzetting die bestaat uit een afwisseling van licht grijsgroene tot bleekbeige kalkarme en kalkrijke zandpakketten. Het kiezelfacies is matig grof, licht tot sterk glauconiethoudend, kruisgelaagd, vrijwel kleilloos op wat fijne mergelige laminaties na, en bevat bolvormige tot plaatvormige concreties van verkiezelde zandsteen.

Het kalkfacies bestaat uit fijn zand, dat nauwelijks glauconiet maar wel 20 tot 60% kalk kan bevatten, afgezet in horizontale laagjes. Kalksteenbanken komen veelvuldig voor, naast kiezelconcreties.

De Formatie van Brussel is een aquifer en onderscheidt zich door zeer hoge resistiviteiten en lage gammastraling.

De dikte varieert sterk naargelang de positie in een getijdengeul of op de tussenliggende platforms. In het inventarisatiegebied is de diepte van de insnijding beperkter dan verder zuidwaarts en zijn de dikteverschillen beperkter. Zo blijft de dikte van de formatie doorgaans onder 20 m.

Bovengrens

De Formatie van Brussel wordt conform overdekt door de Formatie van Lede. In de Formatie van Lede komt geen grof zand voor, noch verkiezelde concreties. Het grensvlak bevat weliswaar geremanieerde elementen (rolkeien, fossielen, zandstenen) maar in spoelboringen is dit meestal niet te herkennen. Daarom wordt de grens arbitrair op basis van boorgatmetingen tussen twee opeenvolgende sequenties gelegd.

Ondergrens

De Formatie van Brussel rust op de Formatie van Gentbrugge in het westen van het inventarisatiegebied, op de Formatie van Tielt of Kortrijk verder naar het oosten. Ondanks het verschillende stratigrafisch niveau van de onderliggende laag blijft deze grens goed herkenbaar wegens de sterke sprong in resistiviteit en ook gammastraling.

Stratigrafische positie

De Midden-Eocene Formatie van Brussel ligt discordant op oudere formaties ten gevolge van een lowstand met insnijding waarin de Zanden van Brussel zijn afgezet.

15.3. Formatie van Gentbrugge, Laagpakket van Vlierzele

Code: GeVI

Onderverdeling

De Formatie van Gentbrugge vormt een mariene afzetting die bestaat uit zandig - kleiige sedimenten met een kleilaag als basis, en die naar boven toe overgaan in zanden . De formatie is onderverdeeld in drie laagpakketten, van boven naar onder Vlierzele, Pittem en Merelbeke.

Het bovenste Laagpakket van Vlierzele vormt de basis van de Modeleenheid Combinatie van Vroeg- tot Laat-Eocene Zanden en is het voorwerp van deze Toelichting. De Laagpakketten van Pittem en Vlierzele vormen als modeleenheid Kleiig deel van Gentbrugge het voorwerp van Toelichting 16. Het Lid (Laagpakket) van Vlierzele komt overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheid 0640 Zandige afzettingen van het Onder-Paniseliaan.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Dongen, Laagpakket van Brussel (partim) – (de Lang, 2003b) en komt overeen met het onderste deel van de Nederlandse hydrogeologische eenheid DO-z-2.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

Het Lid (Laagpakket) van Vlierzele bestaat uit groengrijs glauconietrijk fijn tot matig grof kruisgelaagd zand, dat vooral onderaan erg kleiig kan zijn. Gammastraling ligt dus wat lager dan in Pittem en resistiviteit wat hoger. Steenbanken met fossiel-steenkernen en gerolde schelpen zijn niet zeldzaam; verspoelde ligniet komt voor, met name in de informele eenheid Aalterbrugge aan de bovenkant van het laagpakket. Het glauconiet is dikwijls beduidend grofkorreliger dan de kwarts. De dikte bedraagt max 20 m.

Bovengrens

In het inventarisatiegebied wordt het Laagpakket van Vlierzele en dus ook de Formatie van Gentbrugge discordant overdekt door de Formatie van Brussel, waarvan de basis erosief is (de tussenliggende Formatie van Aalter is afwezig). Deze grens wordt gekenmerkt door een opvallende sprong in de resistiviteit en ook daling van de gammastraling.

Ondergrens

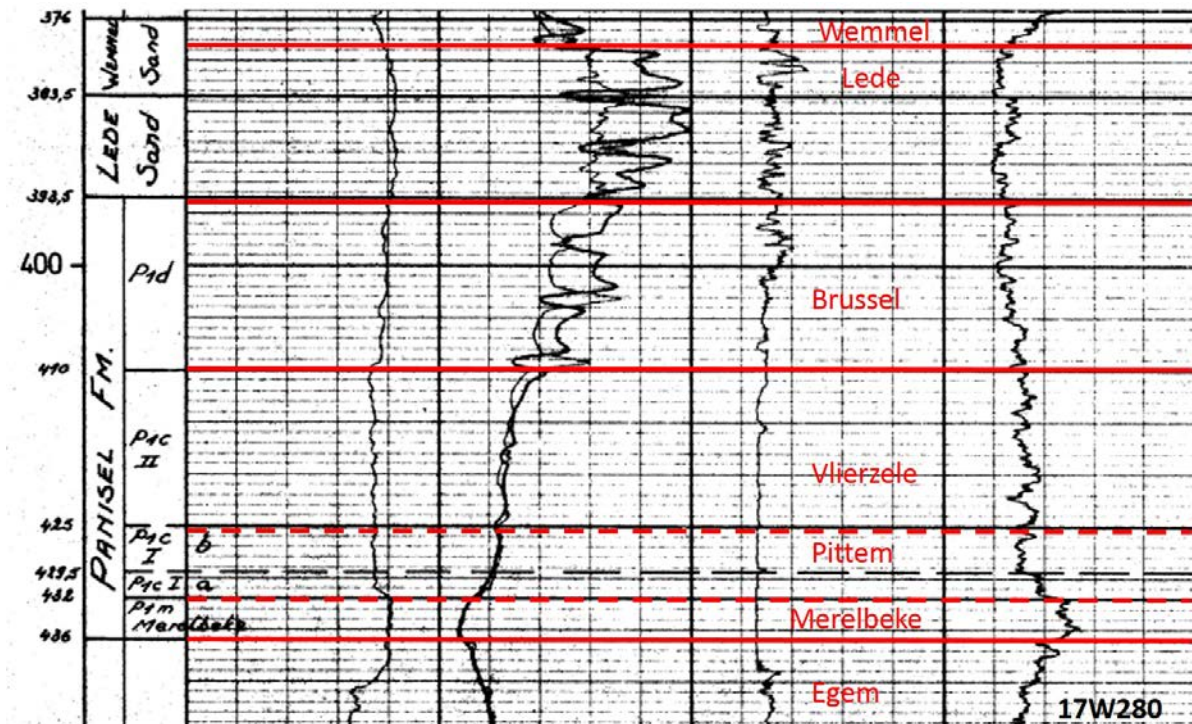
Het Laagpakket van Vlierzele rust op het Laagpakket van Pittem, dat kleiiger is en gekenmerkt wordt door een hogere gammastraling en lagere resistiviteit.

Stratigrafische positie

De Vroeg-Eocene Formatie van Gentbrugge omvat de afzettingen die vroeger als Paniseliaan bekend stonden. Ze vertonen een regressieve trend en zijn minder regelmatig qua dikte en verbreiding met meer hiaten, kenmerkend voor kustnabije afzettingen, in vergelijking met de onderliggende Ieperklei. Het Laagpakket van Vlierzele is tot stand gekomen als lowstand afzetting na een erosiefase .

In de Formatie van Gentbrugge kunnen intraformationele hiaten optreden, ook tussen de laagpakketten van Pittem en Vlierzele, die de opeenvolging minder volledig maken. De logsignatuur kan sterk verschillen tussen deze laagpakketten, cf. de oplopende resistiviteit en dalende gammastraling over het Laagpakket van Vlierzele, trends die niet voorkomen in het Laagpakket van Pittem (Fig. 15.2). De logsignatuur over het Laagpakket van Vlierzele is ook verschillend ten opzichte van het bovenliggend Complex van Brussel – Lede, gekenmerkt door veel hogere resistiviteitsprongen.

Het contact met de overliggende Midden-Eocene afzettingen is discordant, gekenmerkt door de insnijding waarin het Zand van Brussel is afgezet.



Figuur 15.2. Interpretatie boorgatmetingen boring Merksplas-Beerse 1 (17W0280, DOV kb8d17w-B315) over de Formatie van Gentbrugge (Laagpakketten van Merelbeke – Pittem – Vlierzele) en de Formaties van Brussel en Lede: oorspronkelijke log weergave (van links naar rechts SP, dubbele resistiviteit, caliper, gammastraling met interpretatie door Vandenberghe et al., 2000 (links) en H3O interpretatie (rood).

16. Formatie van Gentbrugge, kleig deel (Laagpakketten van Pittem en Merelbeke)

Code: Ge

Onderverdeling

De Formatie van Gentbrugge vormt een mariene afzetting die bestaat uit zandig - kleiige sedimenten met een kleilaag als basis, en die naar boven toe overgaan in zanden. De formatie is onderverdeeld in drie laagpakketten, van boven naar onder Vlierzele, Pittem en Merelbeke.

Het Laagpakket van Vlierzele behoort tot de Modeleenheid Combinatie van Vroeg- tot Laat-Eocene Zanden (zie toelichting 15.3). De Laagpakketten van Pittem en Merelbeke vormen als modeleenheid Kleig deel van Gentbrugge het voorwerp van deze Toelichting.

Het Kleig deel van Gentbrugge vormt de hydrogeologische modeleenheid 0701 + 0702, samengesteld uit 0701 Klei van Pittem en 0702 Klei van Merelbeke.

Het inventarisatiegebied bevindt zich aan de oostelijke rand van het afzettingsgebied, zoals ook het geval is voor de onderliggende Formatie van Tielt en de bovenliggende Formaties van Zelzate, Maldegem en het Complex Brussel - Lede. Dit betekent dat van west naar oost het sedimentpakket eerst nog volledig aanwezig is (Fig. 15.2) maar ook volledig zal verdwijnen (Fig. 14.3, 16.1), zoals in de richting Mol (Fig. 15.1), overeenkomstig de situatie in project H3O - Roerdalslenk.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Dongen (de Lang, 2003b). In de nomenclator wordt geen correlatie gemaakt met de Formatie van Gentbrugge. Bij vergelijking met boring DON-01, holostatotype Formatie van Dongen, komt het kleig deel van de Formatie van Gentbrugge overeen met het traject aangeduid als een kleipakket onder 800 m diepte, met dikte beperkt tot 15 m (Fig. 14.3). Het Laagpakket van Brussel van de Formatie van Dongen wordt dus wel ruimer geïnterpreteerd dan enkel gelijkgesteld aan de Combinatie van Vroeg- tot Laat-Eocene zanden, modeleenheid van H3O – De Kempen.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Gentbrugge wordt van boven naar onder onderverdeeld in de volgende leden, die behoren tot de Modeleenheid Gentbrugge kleig deel:

Lid (Laagpakket) van Merelbeke: grijze stevige zeer fijnsiltige klei met zandlaminaties. Op boorgatmetingen valt het op tussen de meer zandige boven- en onderliggende lagen door verhoogde gammastraling en verlaagde resistiviteit. Het Lid van Merelbeke bereikt een gemiddelde dikte van 5 m. Het is de highstand afzetting van een sequentie waarvan het onderliggende Lid van Egem van de Formatie van Tielt de transgressieve systems track vormt.

Lid (Laagpakket) van Pittem: afwisseling van groengrijs glauconietrijk fijn zand en zandige klei, verstoord door bioturbatie, soms onderbroken door uitgeschuurde getijdengeulen.

Het Lid van Pittem bevat fossielrijke zandsteenbanken. Boorgatmetingen zijn beïnvloed door de nadrukkelijke aanwezigheid van klei, ondanks een zandtextuur, zodat gammastraling vrij hoog en resistiviteit vrij laag is. De dikte bedraagt ca 15 m maar is onregelmatig want beïnvloed door de wijze waarop de grens met de bovenliggende eenheid van Vlierzele wordt gelegd. Nochtans is het Lid van Pittem een aparte sequentie.

Bovengrens

In het inventarisatiegebied wordt het kleig deel van de Formatie van Gentbrugge overdekt door het Laagpakket van Vlierzele van dezelfde formatie. Deze eenheid is zandiger, zodat de gammastraling er wat lager is en de resistiviteit wat hoger dan in Pittem. Vermits het Laagpakket van Vlierzele vooral onderaan erg kleig kan zijn, is onderscheid met het Lid van Pittem niet evident (Fig. 15.2).

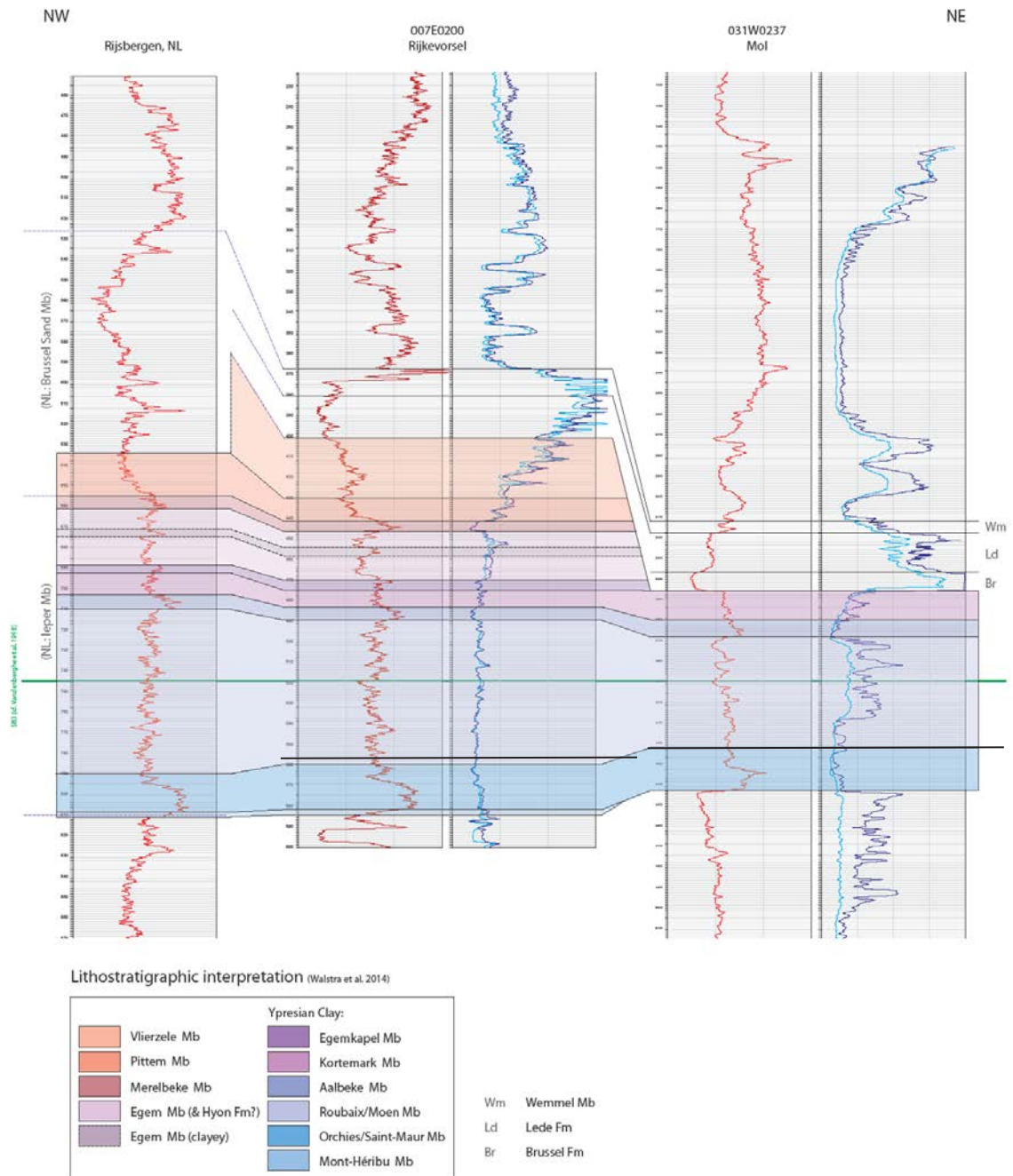
Ondergrens

De Formatie van Gentbrugge rust op het Zand van Egem, dat steeds zandiger is dan het bovenliggende Lid van Merelbeke, waardoor de ondergrens gepaard gaat met een duidelijke terugval in de resistiviteit en verhoging van de gammastraling (Fig. 17.2).

Stratigrafische positie

De Vroeg-Eocene Formatie van Gentbrugge behoort samen met de onderliggende Formaties van Kortrijk en Tielt tot het Ieperien (Ypresien) maar niet meer tot de Ieperklei. Het omvat de afzettingen die vroeger als Paniseliaan bekend stonden. Ze vertonen een regressieve trend, minder regelmatig qua dikte en verbreiding, meer hiaten, met kustnabije afzettingen in vergelijking met de onderliggende Ieperklei.

De Formatie van Gentbrugge ligt disconform op de onderliggende Formatie van Tielt. Er kunnen intraformationele hiaten optreden die de opeenvolging minder volledig maken.



Figuur 16.1. Logsignatuur volgens NW – SE profiel van de leperien sequentie (Formaties van Kortrijk, Tielt, Gentbrugge) door de boringen Rijsbergen (NL ten westen van inventarisatiegebied), Rijkvorschel 7E0200, DOV kb8d7e-B42 (langs de westrand van het inventarisatiegebied) en referentieboring Mol SCK15 - 31W0237. Dit profiel toont goed de afsnijding van de bovenste laagpakketten van de leperien sequentie en de diktevermindering van west naar oost (interpretatie volgens Walstra et al., 2014). De initiële interpretatie van de grens Orchies – Roubaix is gebaseerd op Welkenhuysen & De Ceukelaire, 2009. Rekening houdend met de nieuwe indeling van het Ypresien aanvaard door de NCS komt deze grens overeen met de top van de Orchies-1 sequentie en wordt de grens Orchies – Roubaix naar boven verlegd door insluiting van de Orchies-2 sequentie naar de zwarte lijn op het profiel.

Opmerkelijk zijn de hoge resistiviteitswaarden voor het interval overeenkomend met het Laagpakket van Roubaix in Mol, teken van laterale overgang van het kleiig-siltige Laagpakket van

Roubaix naar de meer zandige Formatie van Mons-en-Pévèle (Formatie van Mons-en-Pévèle in boring Mol tussen vette zwarte lijn en laagpakket van Aalbeke, cf. Toelichting 18, Kortrijk Formatie).

17. Formatie van Tielt

Code: Tt

Onderverdeling

De Formatie van Tielt, traditioneel onderverdeeld in de Leden van Kortemark en Egem, vormt samen met de onderliggende Formatie van Kortrijk de traditionele Ieperklei (Laga et al., 2001). Tussen Egem en Kortemark is recent het Lid van Egemkapel gedefinieerd.

De zandige bovenlagen van de Formatie van Tielt (inzonderheid het Lid van Egem) komen overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheid 0800 ongedifferentieerde Ieperien aquifer; de onderliggende kleiige Leden (Laagpakketten) van Egemkapel en Kortemark komen overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheid 0910 Silt van Kortemark.

De stratigrafische onderverdeling is op 11.1.2017 formeel gewijzigd door de NCS (Nationale Commissie voor Stratigrafie in België) – (Steurbaut et al., 2016). Volgens dit NCS document wordt het Laagpakket van Egemkapel geformaliseerd en kan fungeren als toplaag voor de klei- gedomineerde Ieper Groep; het Laagpakket van Egem wordt afgescheiden van de Formatie van Tielt en toegevoegd aan de Formatie van Hyon (Fig. 17.1). De hier voorgestelde indeling in laagpakketten blijft dus behouden. De voornaamste consequentie is dat de Formatie van Tielt (sensu lato) wordt opgesplitst in twee formaties, de Formatie van Tielt sensu stricto dat de Laagpakketten van Kortemark en Egemkapel omvat, en de Formatie van Hyon die in het projectgebied het Laagpakket van Egem omvat.

De modeleenheid Formatie van Tielt (sensu lato) omvat dus de nieuwe NCS Formaties van Hyon en Tielt sensu stricto.

De Formatie van Tielt is een mariene afzetting die voornamelijk bestaat uit fijnkorrelige sedimenten, van kleiig silt tot zeer fijn zand, naar boven toe overgaand in uitgesproken zandiger facies. Kleilagen zijn tussengeschaald.

Het inventarisatiegebied bevindt zich deels binnen deels buiten de oostelijke rand van het afzettingsgebied. Dit betekent dat van west naar oost het sedimentpakket eerst nog volledig aanwezig is maar ook volledig zal verdwijnen (Fig. 16.1).

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Dongen, Laagpakket van Ieper (partim) vermits dit laagpakket ook het equivalent van de Formatie van Kortrijk omvat (de Lang, 2003b). De Formatie van Tielt behoort formeel tot hetzelfde laagpakket maar wordt er in de praktijk deels uitgehouden, vermits het Zand van Egem bij het bovenliggend Laagpakket van Brussel wordt gevoegd (zie figuur 14.3). De nieuwe Belgische indeling komt hierin de Nederlandse aanpak tegemoet.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

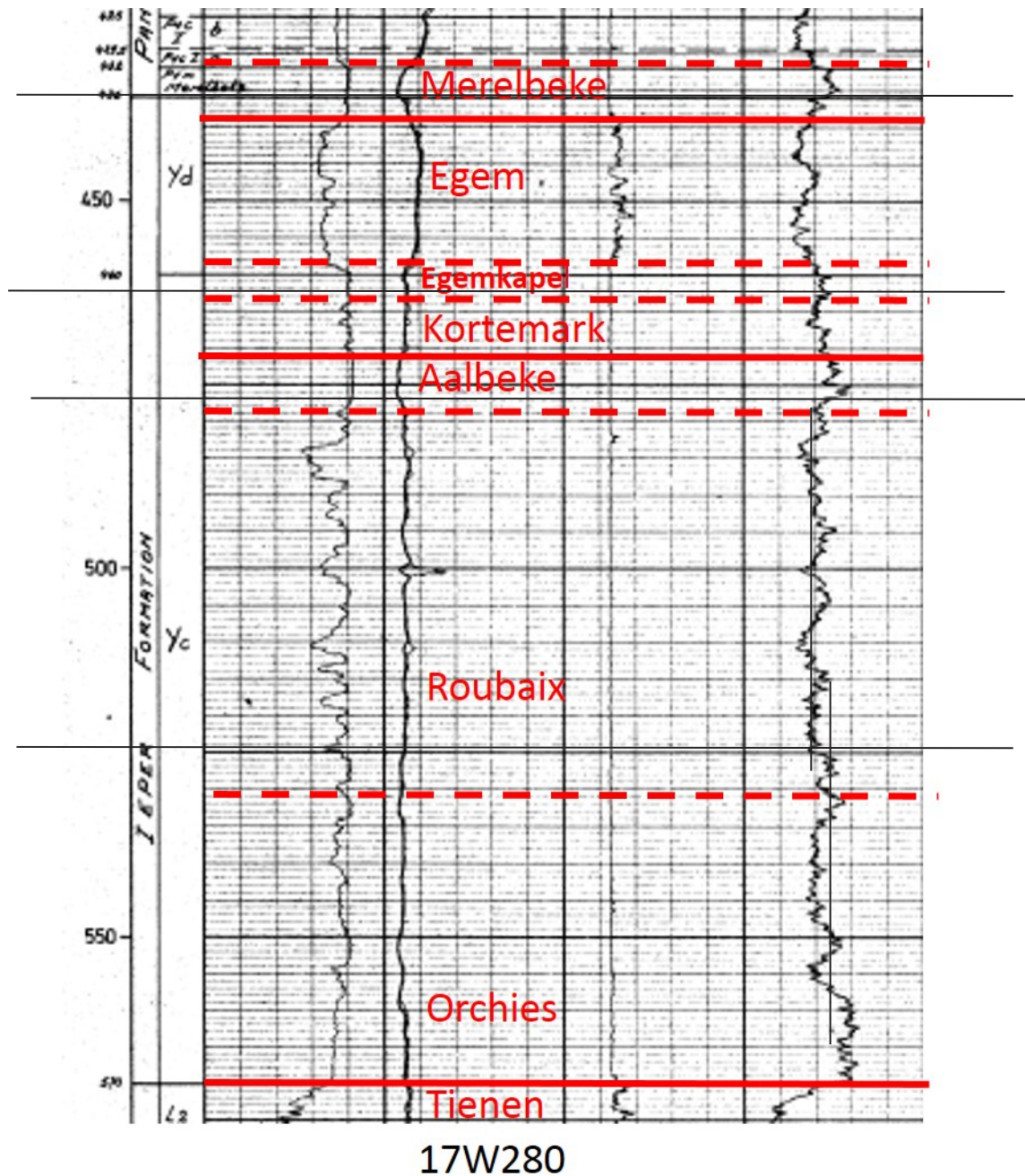
De Formatie van Tielt sensu lato (of oud concept) wordt onderverdeeld in de volgende laagpakketten (toegepast in Fig. 17.2), van boven naar onder:

Lid (Laagpakket) van Egem van de nieuwe formatie van Hyon: groengrijs fijn micahoudend en glauconiethoudend, soms kleiig zand met sedimentaire structuren en met klei tussenschakelingen. Het Lid van Egem onderscheidt zich door de hogere resistiviteit als kenmerk voor een zandlaag met typische coarsening upwards trend. De dikte bedraagt max 30 m.

Lid (Laagpakket) van Egemkapel (top Formatie van Tielt sensu stricto): stijve klei met zandige glauconiethoudende basis, in boorgatmetingen te onderscheiden van onder- en bovenliggende meer zandhoudende eenheden. Het Lid van Egemkapel bereikt een dikte van 6 m.

Lid (Laagpakket) van Kortemark (basis Formatie van Tielt sensu stricto en sensu lato): blauwgrijze tot groengrijze compacte kleiige tot fijnzandige silt met dikke kleilenzen en kleisteen. Geofysisch primeert de kleisignatuur maar de eenheid wordt zandiger naar het oosten. De dikte bedraagt max 25 m.

Naar het noorden (noordwesten) toe zullen de lithologische verschillen binnen de Ieperklei afzwakken en wordt het kleiig karakter van de afzetting minder onderbroken, zodat opdeling en correlatie moeilijker wordt en ook minder zinvol is (cf. de uitgesproken kleisignatuur van de gehele sequentie in boring Knokke, Vandenberghie et al., 1990).



Figuur 17.2. Boring Merksplas-Beerse 2 (17W0280, DOV kb8d17w-B315) traject over de Ieperien sequentie volgens de oorspronkelijke weergave van de boorgatmetingen (van links naar rechts spontane potentiaal, dubbele resistiviteit, caliper, gammastraling). De NCS Werkgroep Ypresian en de H3O interpretatie (rood) bevestigen de initiële interpretatie (Vandenberghe et al., 2000, links weergegeven). De criteria voor exacte begrenzing op boorgatmeting tussen de Leden (Laagpakketten) van Orchies en Roubaix volgen hierbij het NCS document (Steurbaut et al., 2016).

18. Formatie van Kortrijk

Code: Ko

Onderverdeling

De Formatie van Kortrijk vormt samen met het erop volgende Laagpakket van Kortemark uit de Formatie van Tielt de traditionele Ieperklei (intussen uitgebreid tot en met het Laagpakket van Egemkapel; Walstra et al., 2014, Fig. 18.1) aanvaard op 11.1.2017 door NCS (Steurbaut et al., 2016, cf. Fig. 17.1). De Formatie van Kortrijk is een mariene afzetting die voornamelijk bestaat uit kleiige sedimenten zonder veel macroscopische kenmerken die een verdere onderverdeling zouden vergemakkelijken. Correlaties zijn voornamelijk gebaseerd op sequentiestratigrafie die aan de hand van trends in korrelgroottevariaties in de boorgatmetingen wordt herkend. De lithostratigrafische onderverdeling is eerder conventioneel dan gebaseerd op abrupte lithologische of facies wijzigingen. Er zit behoorlijk wat ruis op de interpretaties wanneer het logbeeld monotoon is.

Het inventarisatiegebied bevindt zich aan de oostelijke rand van het afzettingsgebied. Dit betekent dat van west naar oost het sedimentpakket minder volledig wordt en in dikte wordt gereduceerd, en dat het zand/silt gehalte zodanig gaat toenemen dat sprake is van laterale faciesovergangen en laterale lithostratigrafische eenheden (Fig. 16.1). Zo zal de klassieke indeling in vier leden, Mont-Héribu, Orchies, Roubaix, Aalbeke enkel in het noordwesten worden aangetroffen (Fig. 18.2). Naar het oosten toe wordt Roubaix vervangen door de zandiger eenheid van Mons-en-Pévèle (Fig. 18.3). De Formatie van Kortrijk komt overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheid 0920, die fungeert als aquitard, samengesteld uit 0921 Klei van Aalbeke, 0922 Klei van Moen (= Roubaix), 0924 Klei van Saint-Maur (= boven Orchies), 0925 Klei van Mont-Héribu (= onder Orchies), met de aquifer 0923 Zand van Mons-en-Pévèle als lateraal equivalent van Roubaix.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Formatie van Dongen, Laagpakket van Ieper (partim) vermits dit laagpakket ook het onderste deel van de Formatie van Tielt omvat. De nomenclator omschrijft als kenmerkende lithologie voor dit laagpakket: klei, vet, hard, brokkelig, grijs en bruin, onderste deel overwegend kalkloos, middelste en bovenste deel kalkhoudend tot kalkrijk (de Lang, 2003b, Fig. 18.4). De Formatie van Gentbrugge behoort formeel tot hetzelfde laagpakket maar wordt er in de praktijk uitgehouden (cf. Toelichting 16 kleiig deel van Gentbrugge). Dit Laagpakket van Ieper komt overeen met de Nederlandse hydrogeologische eenheid DOIE-k-1.

Het onderste laagpakket of Basaal Zand van de Formatie van Dongen (DO-z-4) behoort in België nog tot de Landen Groep. Inlassing van het Laagpakket van Mont-Héribu in die basale eenheid (Fig. 18.4) beantwoordt niet aan de Belgische indeling.

Een correlatie tussen de door klei gedomineerde boring van Knokke en de Nederlandse boringen werd uitgevoerd door de Lugt (2007).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Kortrijk wordt onderverdeeld in de volgende leden, van boven naar onder:

Lid (Laagpakket) van Aalbeke: vaste fjnsiltige klei zonder zandfractie, waarvan de dikte beperkt is tot enkele meters. Aalbeke is goed herkenbaar in boorgatmetingen door de brede piek in de gammastraling en overeenkomstig dal in de resistiviteit. De dikte van het Laagpakket van Aalbeke varieert licht van 5 tot 10 m.

Lid (Laagpakket) van Roubaix (Moen op DOV): afwisselend vaste en slappe kleiige silten met intercalaties van zand en mogelijk versteningen in kalkhoudende intercalaties. De dikte kan sterk schommelen maar overtreft ruim die van Orchies en kan 100 m bereiken, in het inventarisatiegebied doorgaans 65 tot 40 m, gaande van west naar oost (waar men in het lateraal facies van Mons-en-Pévèle terecht komt). De boorgatmetingen verlopen meer getand dan in de onderliggende eenheid met piekjes in de resistiviteit en lagere gammastraling dan over Orchies.

Lid (Laagpakket) van Orchies (Saint-Maur in DOV): de meest homogene en fijnkorrelige afzetting, bestaande uit vaste kalkloze fjnsiltige klei met dunne intercalaties van grofsiltige klei en kleiig silt.

De dikte bedraagt ca 30 – 40 m. De boorgatmetingen vertonen een doorlopend lage resistiviteit en vrij hoge gammastraling. Bij de aanvang van dit project werd het Laagpakket van Orchies beperkt op basis van Welkenhuysen & De Ceukelaire (2009) tot de massieve klei met deze geofysische kenmerken, in de typeregio informeel bekend als Orchies-1 (KoOr onder 'red' op fig. 18.2, Lower Orchies op fig. 18.3). Op basis van aanbevelingen van de NCS (die hierover nog geen consensus heeft bereikt) wordt ook de Orchies-2 sequentie in het Laagpakket van Orchies opgenomen (KoOr tot 'orange' op Fig. 18.2, Upper Orchies tot OR ES 88 op Fig. 18.3). Correlaties van west (typegebied) naar oost (project-inventarisatiegebied) gebeuren volgens nummering van zandiger intercalaties (herkenbaar als kleine piekjes in de resistiviteit) in De Ceukelaire & Jacobs (1998). Het Lid van Orchies loopt tot de grens 'oranje' in deze publicatie, onder resistiviteitspiekje 6. Onder deze grens vertoont de resistiviteit een vlakker patroon en bereikt de gammastraling iets hogere waarden.

Lid (Laagpakket) van Mont-Héribu: opeenvolging van donkergekleurde glauconiethoudende kleiige zandlaagjes en kleiige siltlaagjes. Het is een erg dunne eenheid die in het inventarisatiegebied wordt aanzien als de zandige basis van het erop volgend kleipakket van Orchies en niet afzonderlijk wordt gekarteerd. Het wordt dus eerder als een Laag dan als een Laagpakket aanzien Fig. 18.2). Geofysisch wordt het dus gekarakteriseerd door een stijgende trend in de gammastraling en dalende trend in de resistiviteit.

De Formatie van Mons-en-Pévèle is een zandige laterale equivalent, in essentie van het Laagpakket van Roubaix. Het bestaat uit fijne zanden met wisselend klei- en siltgehalte en komt voor in het oostelijk deel van het inventarisatiegebied, o.a. in Mol (Fig. 18.3).

Bovengrens

De bovengrens op het contact tussen de stijve Klei van Aalbeke en de kleiige silt van Kortemark is in het inventarisatiegebied op boorgatmetingen goed herkenbaar, alhoewel weinig opvallend. De Ieperklei sequentie loopt immers door.

Ondergrens

De onderliggende lithostratigrafische eenheden die tot de Formaties van Tienen of Hannut behoren zijn aan de top veel zandiger en vertonen zo lagere waarden voor de gammastraling en hogere voor de resistiviteit. Enkel in de uitschuringsgeul in het uiterste zuidoosten van het inventarisatiegebied kunnen aan de top van Tienen ligniteuze kleien voorkomen met zeer hoge gammastraling.

Stratigrafische positie

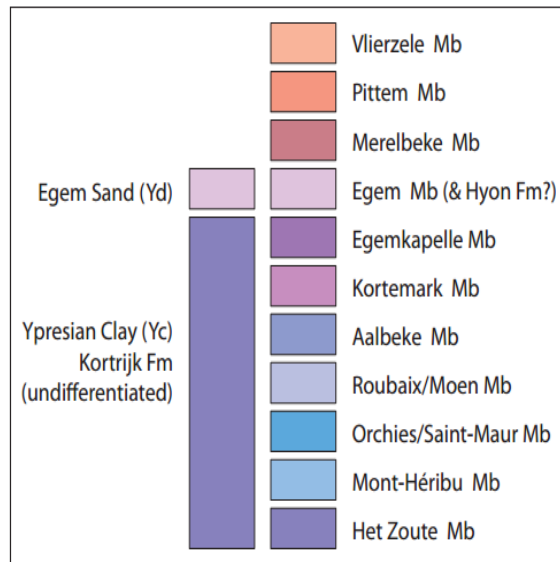
De Vroeg-Eocene Formatie van Kortrijk rust disconform op de Formaties van Hannut of Tienen, en wordt zelf niet meer beïnvloed door de uitschuringsgeul van Loksbergen. De Formatie van Kortrijk wordt conform opgevolgd door de Formatie van Tielt.

Hedendaagse interpretatie laat de top van de Ieperklei samenvallen met de top van het Laagpakket (Lid) van Egemkapel in de Formatie van Tielt (eenheid niet in DOV schema), goed aansluitend bij de Nederlandse praktijk (cf. Fig. 18.4). De Ieperien (Ypresien) afzettingen omvatten eveneens het daaropvolgende Laagpakket van Egem en de Formatie van Gentbrugge (Fig. 18.1).

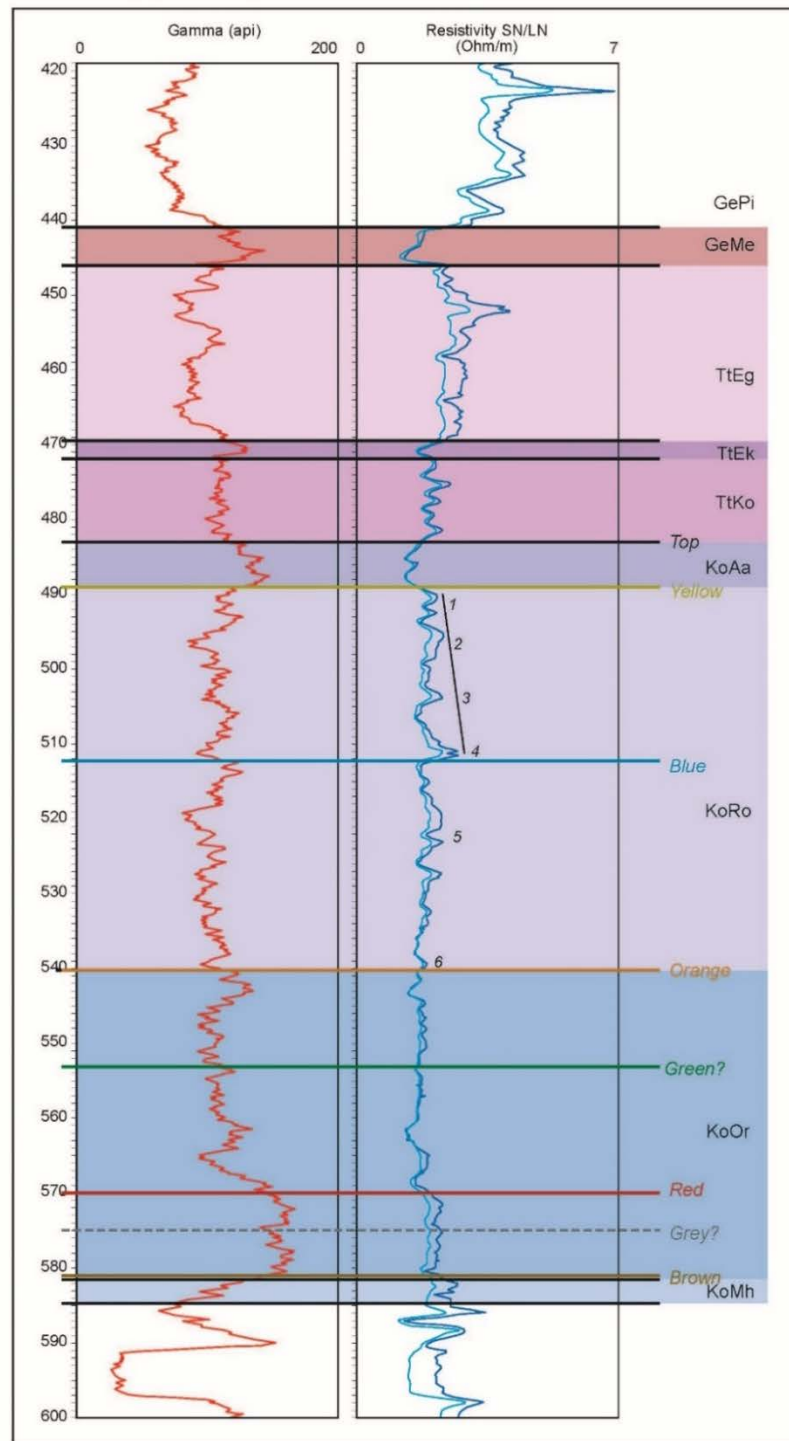
De grens Orchies – Roubaix kan volgens verschillende criteria worden gelegd: de top van de stijve klei volgen met als gevolg dat de grens diachroon verloopt of deze grens in een referentieboring vastleggen en hetzelfde geofysisch correlatieniveau blijven aanhouden, ongeacht (beperkte) laterale granulometrische veranderingen. Deze laatste optie wordt weerhouden door de NCS.

De laterale faciesovergang tussen Roubaix en Mons-en-Pévèle is allicht vertand met verticale opeenvolging of mogelijk zelfs afwisseling tussen beide laagpakketten tot gevolg. Positionering van de grens Orchies – Roubaix onder piek 6 op niveau 'orange' (Fig. 18.2) heeft als voordeel dat de grens Orchies – Mons-en-Pévèle daarmee perfect correleert (niveau OR ES 88 of Fig. 18.3).

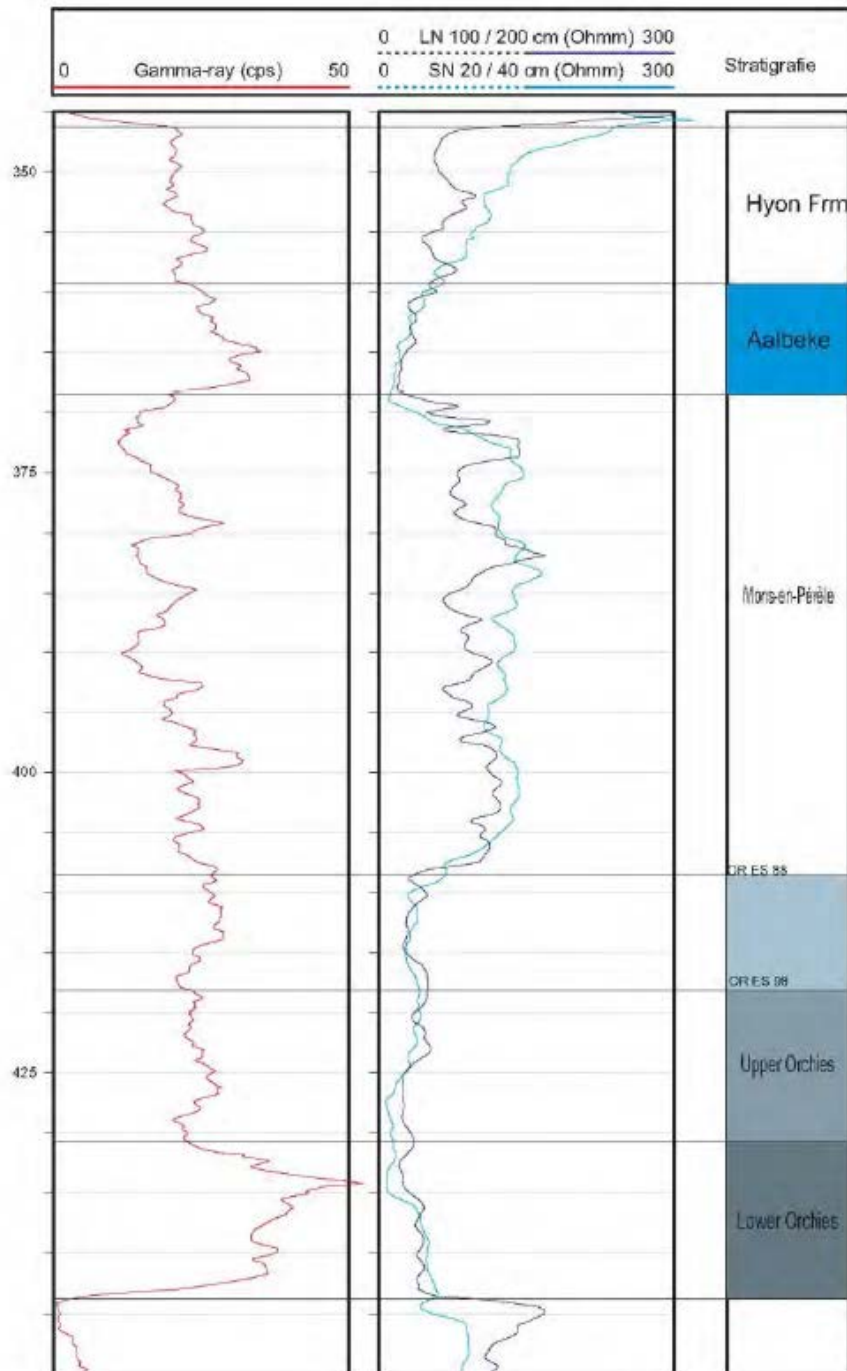
Sequentiestratigrafisch vormen de kleien van Orchies en Aalbeke highstands met een sequence boundary ertussen in, ongeveer in het midden van het Laagpakket van Roubaix. De meeste facieswijzigingen die tot opdeling in verschillende leden leiden zijn vooral goed merkbaar in meer marginale delen van het sedimentatiebekken. Meer naar het noorden zullen verschillen worden afgezwakt zodat opdeling minder relevant wordt (cf. Vandenberghe et al., 1990).



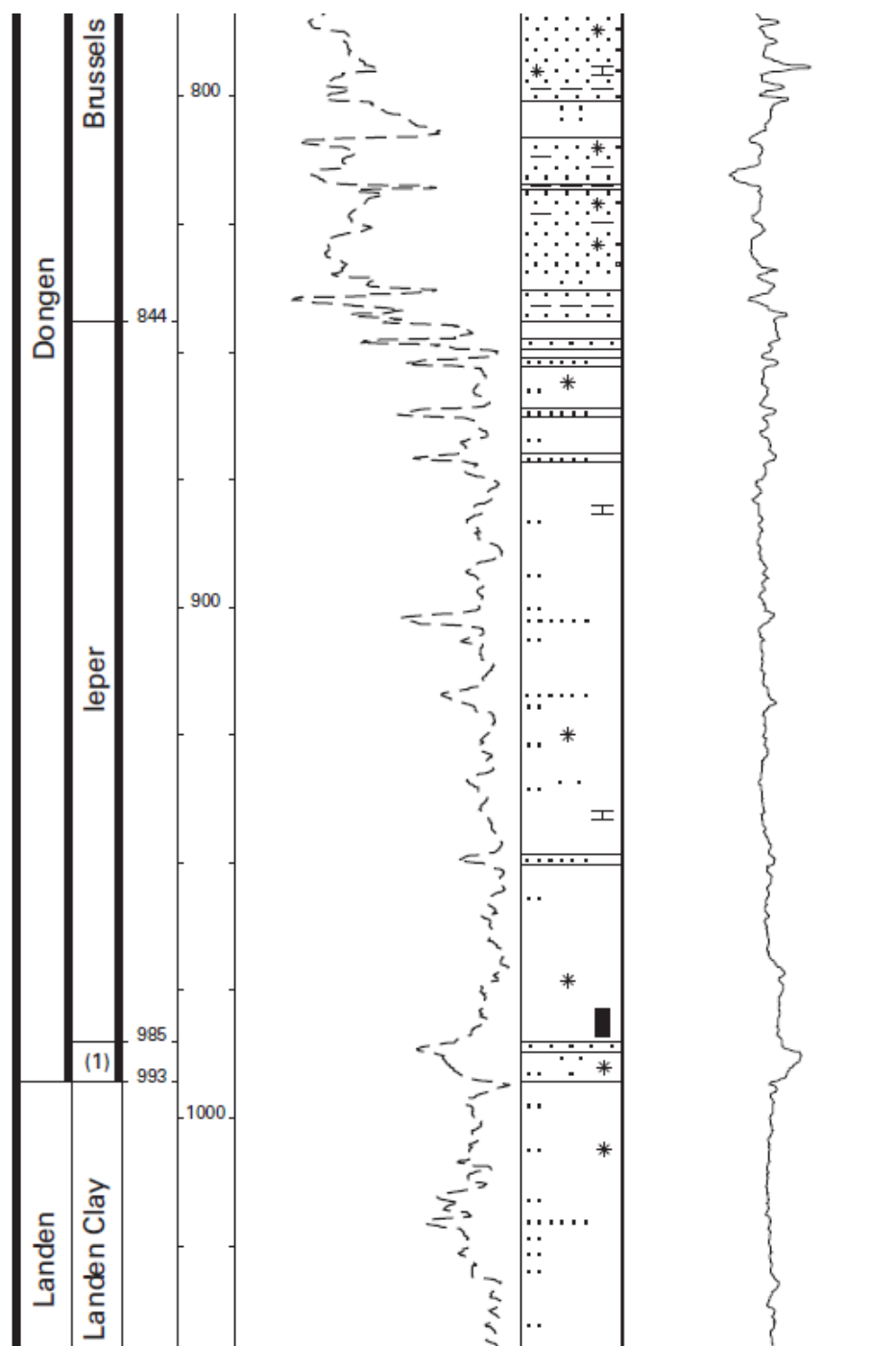
Figuur 18.1. Overzicht afzettingen van de Ieper Groep, die de afzettingen van het Ieperien (Ypresien) groepeerd (naar Laga et al., 2001). De Ieperklei sensu stricto (blauwe kolom links) groepeerd naar voorstel van Walstra et al. (2014) de laagpakketten van de Kortrijk en Tielt Formaties, met uitzondering van het bovenste Laagpakket van Egem, dat volgens nieuw NCS voorstel wordt toegewezen aan de Hyon Formatie (uit Walstra et al., 2014).



Figuur 18.2. Boring Rijkevorsel 7E0200, DOV kb8d7e-B42, gelegen langs de westrand van het inventarisatiegebied: interpretatie van de Ieperklei volgens systeem van De Ceukelaire & Jacobs (1998). De opeenvolging in deze boring komt goed overeen met die van referentieboring Kallo. In de Formatie van Kortrijk valt de grens Orchies– Roubaix (KoOr – KoRo) ‘orange’ onder resistiviteitspiekje 6. Het Lid van Mont-Héribu (KoMh) wordt hier aanzien als de zandige transgressieve aanzet van Orchies en niet als een karteerbaar laagpakket. In de bovenliggende Formatie van Tielt wordt het Laagpakket van Kortemark (TiKo) al erg dun, aanwijzing voor uitwigging verder oostwaarts. Het Laagpakket van Egen (TiEg) wordt sinds 11.1.2017 uit de Formatie van Tielt gehaald en ondergebracht in de Formatie van Hyon. Het Laagpakket GePi van de Formatie van Gentbrugge bovenaan dit traject vertoont overgangskennmerken tussen de Laagpakketten van Pittem en Vlierzele.



Figuur 18.3. Referentieboring SCK15, 31W0237, in detail beschreven door Gulinck (1975, GeoDoc archief Belgische Geologische Dienst), log over de Formaties van Hyon, Mons-en-Pévèle en Kortrijk, rustend op de Formatie van Tienen (onbenoemd), volgens Steurbaut et al. (2016). Het fijnzandig pakket met kleilaminaties maar zonder versteningen boven de Aalbeke Klei (= top Kortrijk Formatie) werd door Steurbaut (1988) toegewezen aan de Formatie van Tielt en onderverdeeld in de laagpakketten van Egem (boven) en Kortemark (onder) met grens op 355 m. Volgens het nieuwe NCS concept wordt de Formatie van Tielt alhier de Formatie van Hyon, Laagpakket van Egem. De Formatie van Kortrijk wordt onderverdeeld op horizon OR ES 88, overeenkomend met de grens tussen een kleipakket onderaan, het Laagpakket van Orchies (dat zelf nog verder kan worden onderverdeeld) en een fijn zand pakket bovenaan, dat omwille van het zandgehalte niet langer tot het Laagpakket van Roubaix (of Moen) van de Formatie van Kortrijk behoort, maar toegewezen wordt aan de Formatie van Mons-en-Pévèle.



Figuur 18.4. Holostratotype DON-01 voor de Formatie van Dongen, spontane potentiaal, litholog en resistiviteit over traject met het Laagpakket van Ieper, 944-985 m (bijlage bij de Lang, 2003b). Dit laagpakket komt goed overeen met de Ieperklei, die de Formatie van Kortrijk en de kleiige Laagpakketten van Kortemark en Egemkapel uit de Formatie van Tielt groepeert. Het interval (1) tussen 985 en 993 m is het Basale Zand van Dongen Laagpakket, herbenoemd als Laagpakket van Oosteind (de Lang, 2003b) en komt mogelijk overeen met de Formatie van Tienen (zie Toelichting 19, Tienen).

19. Formatie van Tienen

Code: Ti

Onderverdeling

Fluviolagunaire eenheid van heterogene samenstelling, die niet overal in het inventarisatiegebied voorkomt. Ten zuidoosten van het inventarisatiegebied komt een noord-zuid gerichte geul voor die door Halen en Leopoldsburg loopt en die de verbinding maakt met het ontsluitingsgebied op het Massief van Brabant, waar het versteende woud van Hoegaarden dagzoomt. De afzettingen in deze geul zijn gegroepeerd in het Laagpakket van Loksbergen (Fig. 19.1). Elders is de Formatie van Tienen niet verder formeel onderverdeeld.

De Formatie van Tienen komt overeen met de Vlaamse hydrogeologische eenheid 1012 Zandige afzettingen van Loksbergen en/of Dormaal.

Equivalent Nederlandse stratigrafie: Basale Zand van Dongen Laagpakket aan de basis van de Formatie van Dongen (van Adrichem Bogaert & Kouwe, 1993) of Laagpakket van Oosteind (de Lang, 2003b). De Nomenclator omschrijft het Laagpakket van Oosteind lithologisch als: Zand, fijn, kleiig, kalkloos, groengrijs en klei, zeer zandig met tuflaagjes en tuflenzen. In Zuid-Nederland komt de "Basaal Dongen Tuffiet" laag echter niet voor.

Het Basaal Zand van de Formatie van Dongen komt overeen met de Nederlandse hydrogeologische eenheid DO-z-4 (zie Fig. 18.4, boring DON-01, traject 985-993 m).

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Tienen bestaat uit fijn groengrijs tot donkergrijs, soms kleiig en glauconiethoudend zand, met gerolde schelpen en schelpengruis, lignietbrokjes, met tussenschakelingen van grijze zandige klei en kleisteen.

Lid (Laagpakket) van Loksbergen: groene zandige klei en grijsgroen, soms kalkhoudend zand, donkere ligniethoudende klei en bleke mergelige klei. De maximale dikte in de erosiegeul kan 35 m bedragen (en dan is de dikte van de onderliggende Formatie van Hannut overeenkomstig verminderd en het Laagpakket van Grandglise geërodeerd).

Vermits het Lid van Loksbergen een geografische en geometrische extensie in zuidoostelijke richting vormt van de Formatie van Tienen is onderscheiden stratigrafische identificatie of kartering eigenlijk overbodig.

De signatuur van de boorgatmetingen verschilt niet sterk van de onderliggende eenheid Grandglise (Fig. 19.2). De lagere gammastraling en hogere resistiviteit van de zandlagen wordt in de Formatie van Tienen wel onderbroken door pieken in de gammastraling en dalen in de resistiviteit op de klei-intercalaties. Dikkere venige kleipakketten met hoge gammastraling en lage resistiviteit komen voor in het meer continentaal beïnvloede Lid van Loksbergen (Fig. 19.1).

Bovengrens

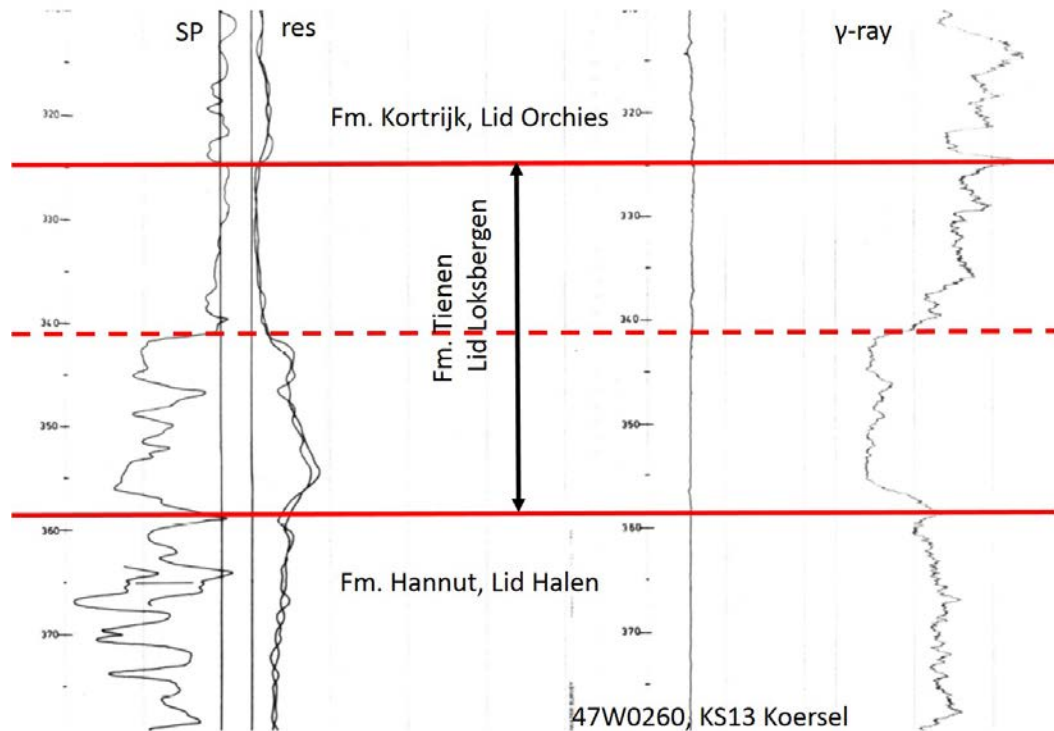
De Formatie van Tienen wordt overal bedekt door de Formatie van Kortrijk. De grens is scherp door de overgang van een heterogene zand-klei afzetting naar de kleien van het Lid van Orchies, ook al zijn deze aan de basis vrij silteus (Fig. 19.1). Indien er aan de top van het Lid van Loksbergen dikke venige kleilagen voorkomen hebben deze echter een zeer hoge natuurlijke gammastralingswaarde en zeer lage resistiviteit, vergelijkbaar met de Klei van Opoeteren in de Formatie van Opglabbeek (niet voorkomend in het inventarisatiegebied, en dus niet opgenomen in deze toelichting).

Ondergrens

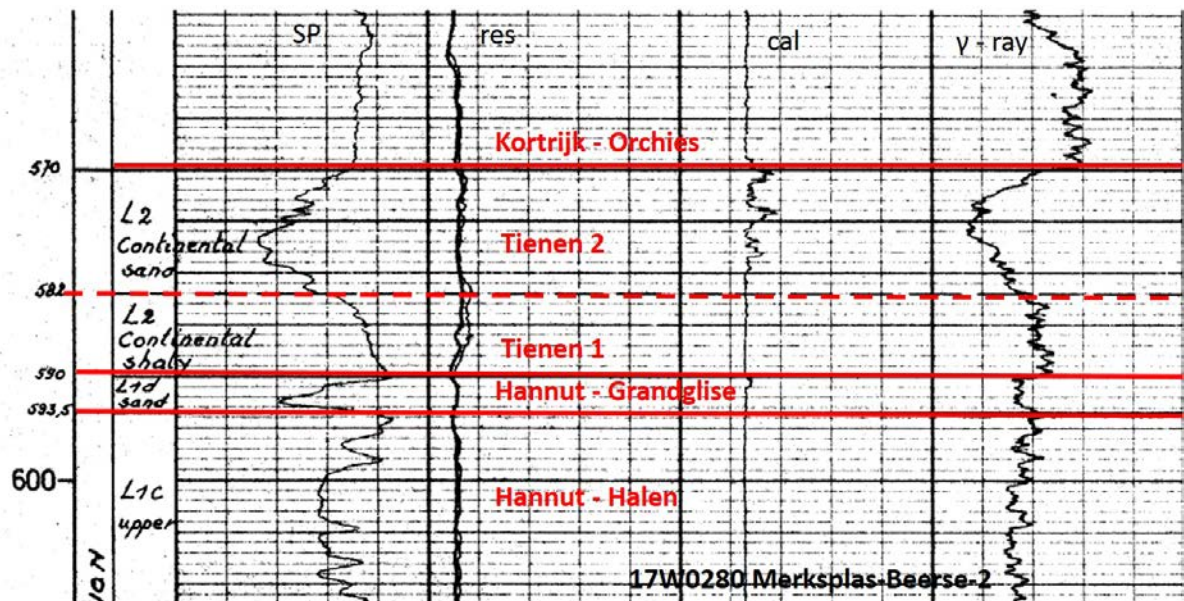
De grens met het onderliggende Lid van Grandglise van de Formatie van Hannut is lithologisch minder duidelijk; echter is het Lid van Grandglise grotendeels door erosie verwijderd waar de Formatie van Tienen grotere dikte bereikt. Er is een duidelijk onderscheid met het Lid van Halen, zowel lithologisch als in boorgatmetingen.

Stratigrafische positie

De Paleoceen – Eoceen grens loopt waarschijnlijk door deze formatie. De Formatie van Tienen rust disconform op de Formatie van Hannut. Dit is vooral duidelijk in de uitschuring die door Halen (Loksbergen) en Leopoldsborg loopt en seismische als een insnijding is waar te nemen. Dit betekent ook dat meer zuidelijk de Formatie van Tienen buiten deze uitschuring niet zal voorkomen. Meer noordwaarts breidt de Formatie van Tienen zich over een groter gebied uit, maar gaat het facies onderscheid tussen Grandglise en Tienen vervagen.



Figuur 19.1. Steenkoolverkenningboring KS13, 47W0260, DOV kb17d47w-B258, met standaard TNO log opname. Logsignatuur van de Formatie van Tienen in de noord – zuid gerichte uitschuringszone ter hoogte van Leopoldsborg (Laagpakket van Loksbergen): de Formatie van Tienen bestaat er uit een bovenste weinig-kleiig deel en een onderste zandig deel, goed af te grenzen van de bovenliggende Ieperklei (Formatie van Kortrijk, Laagpakket van Orchies dat hier wat silteus is) en onderliggende Formatie van Hannut, Laagpakket van Halen met een zandig – kleiig – stenige samenstelling.



Figuur 19.2. Boring 17W0280, DOV kb8d17w-B315, Merksplas-Beerse 2, oorspronkelijk TNO log met links de oorspronkelijke interpretatie en midden de H3O interpretatie (rood). Logsignatuur van de Formatie van Tienen, met kleiig pakket onderaan en zandig pakket bovenaan, informeel benoemd Tienen 1 en 2. Merk op dat deze log signatuur tegengesteld verloopt aan die van boring KS13 gelegen in de uitschuringszone van Loksbergen (Fig. 19.1). De Formatie van Tienen rust op een restant van het zandige Laagpakket van Grandglise, wat onderscheid tussen de Formaties van Tienen en Hannut bemoeilijkt. De klei aan de basis van de bovenliggende Formatie van Kortrijk, Laagpakket van Orchies is veel zuiverder dan in de zuidoostelijke boring KS13; het contact is scherp.

20. Formatie van Hannut

Code: Hn

Onderverdeling

De Formatie van Hannut is van mariene oorsprong en wordt aangetroffen over het gehele inventarisatiegebied; de dikte kan 100 m bereiken. De geleidelijke afname van kalk en klei, toename van de zandfractie en intercalaties van versteningen laten toe een onderscheid tussen drie opeenvolgende laagpakketten te maken, van boven naar onder Grandglise, Halen, Waterschei (Fig. 20.1). De stratigrafische eenheid van Maaseik wordt als Laagpakket van de onderliggende Formatie van Heers beschreven, alhoewel formeel nog altijd deel van de Formatie van Hannut (ALBON, 2010). De detailstratigrafie van de grens tussen Hannut en Heers is in herziening (Matthijs, 2017). De modelleenheid Formatie van Hannut komt overeen met de HCOV codes 1013 - 1015 + 1021 + 1022, overeenkomend met de volgende Vlaamse hydrogeologische eenheden 1013 Zand van Grandglise aquifer, 1014 kleilig deel van Lincent aquitard, 1021 siltige afzetting van Halen aquitard, 1022 Klei van Waterschei aquitard.

Equivalent Nederlandse stratigrafie is de Formatie van Landen partim, vermits deze formatie ook de onderliggende Formaties van Heers en Opglabbeek omvat (de Lang, 2003c). Het Belgische Laagpakket van Grandglise, aan de top van de Formatie van Hannut, is al dan niet toegewezen aan het Laagpakket van Oosteind, aan de basis van de Formatie van Dongen (cf. Toelichting19, Tienen). Nederlands holostratotipe: Boring Veldhoven1 (NAM) te Veldhoven (51D0127), gelegen in de randzone met H3O – Roerdalslenk project, traject 1279,00 1395,00 m beneden rotatietafel, exclusief Grandglise (Fig. 20.4).

De Nomenclator vermeldt voor het Laagpakket van Reusel: Klei, zandig, siltig, leem, zand, zeer fijn (105 – 150 µm) dat lokaal verhard is tot zandsteen. Kleur varieert tussen lichtgrijs en donkergroen. - Laagpakket van Liessel: Klei, hard en homogeen, donkergrijs tot donkergroen met glimmers, pyriet en spoor glauconiet.

Het Laagpakket van Liessel wordt op de logs Landen Clay genoemd (Fig. 20.2).

Equivalent Laagpakket van Reusel: Laagpakket van Halen en mogelijk Grandglise (partim).

Equivalent Laagpakket van de Landen Klei of van Liessel: Laagpakket (Lid) van Waterschei.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Hannut bestaat uit de volgende laagpakketten, van boven naar onder:

Lid (Laagpakket) van Grandglise: grijsgroen licht glauconiethoudend kalkloos fijn zand met dunne kleilige intercalaties, soms met schelpfragmenten, in een ondiep marien milieu afgezet. Het Laagpakket van Grandglise begint onderaan met een geleidelijke verlaging van de gammastraling en verhoging van de resistiviteit totdat hiervoor een brede piek wordt bereikt, waarna de waarde sterk terugvalt. De dikte kan 30 m bereiken maar is duidelijk minder tot zelfs afwezig waar de bovenliggende Formatie van Tienen in een erosiegeul is afgezet.

Lid (Laagpakket) van Halen: blauwgrijze zandrijke glauconiethoudende klei met donkergrijze (verkiezelde) siltsteen, vaak kalkhoudend aan de basis. Fijne schelpenresten of deels opgeloste sponsnaalden zijn de meest waarschijnlijke fossielen die men in dit laagpakket kan waarnemen. Gammastraling en resistiviteit vertonen een relatief vlak verloop met hogere waarden voor de gammastraling en lagere voor de resistiviteit in het midden van het Laagpakket van Halen. De gemiddelde dikte bedraagt 25 tot 35 m. Het Lid (Laagpakket) van Lincent is een meer kalkrijk en geoxideerd lateraal equivalent van het Lid van Halen, dat bekend is uit het meer zuidelijk gelegen ontsluitingsgebied en de ondiepe subcrop.

Lid (Laagpakket) van Waterschei: grijsblauwe kalkhoudende vaste klei, soms siltrijk, met aan de basis lokaal glauconietrijk kleilig zand (Laag van Overbroek). De overgang van mergel naar vaste klei is vaak abrupt, wat zich uit als een sterke positieve uitwijking in gammastraling en resistiviteit. De piekwaarden kunnen zich vlak boven de basis of hogerop de lithostratigrafische eenheid

bevinden. Naar boven toe neemt de waarde van de gammastraling merkelijk af terwijl die van de resistiviteit zachtjes stijgt. De dikte kan 40 m bereiken doch is meestal niet meer dan 10 – 20 m.

Bovengrens

De Formatie van Hannut wordt bedekt door de Formatie van Kortrijk of door de Formatie van Tienen. In het eerstgenoemde geval is de grens meestal scherp door de overgang van zand naar klei. In het tweede geval is de overgang eerder vaag.

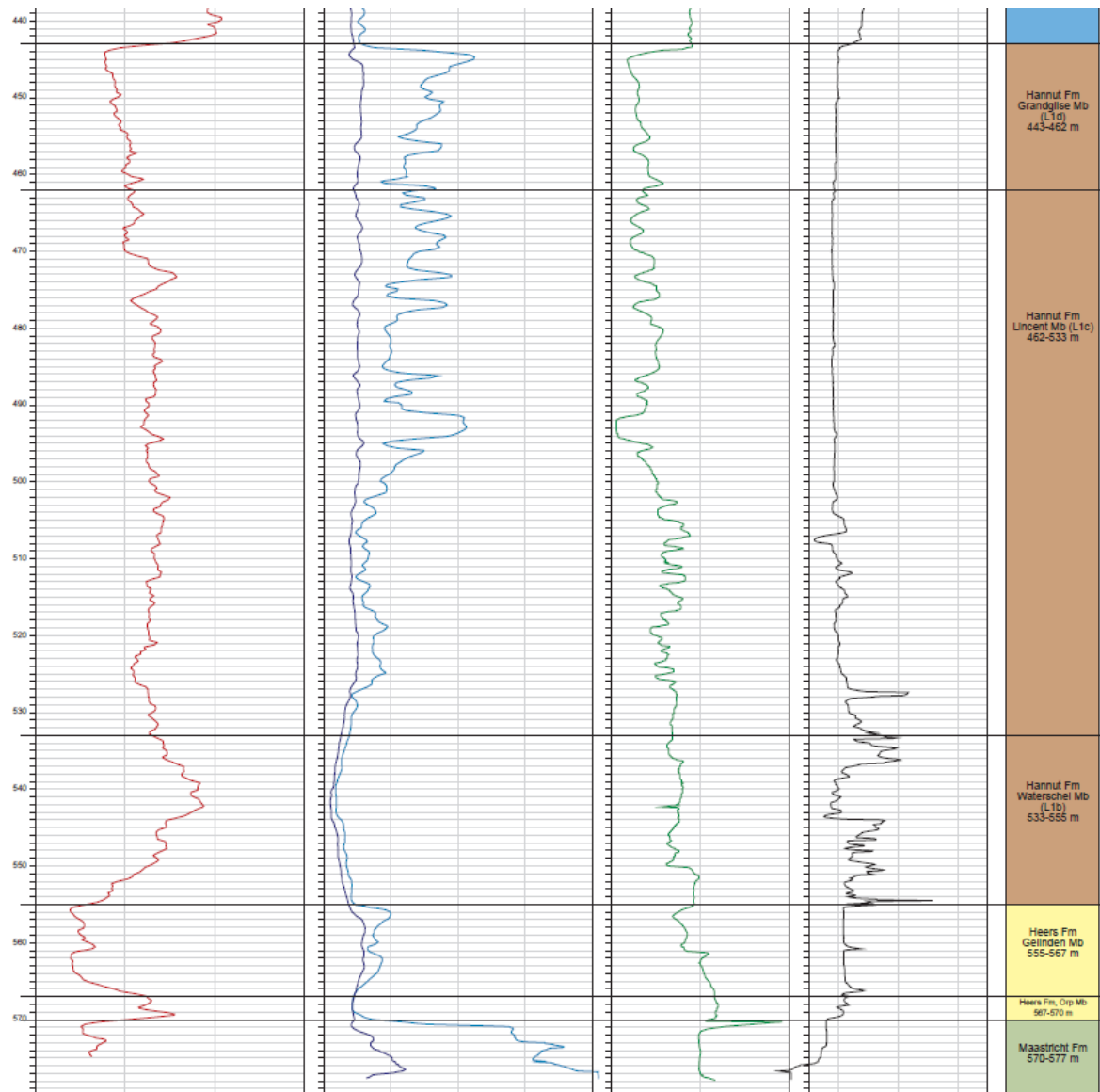
Ondergrens

De grens met de onderliggende mergel van het Laagpakket van Maaseik is altijd duidelijk op basis van boorgatmetingen door de hogere gammastraling aan de basis van het Laagpakket van Waterschei (Fig. 21.1). De grens is ook betrouwbaar vast te stellen in spoelboringen op basis van de kleurverandering van de boorspoeling en het verhoogde kalkgehalte.

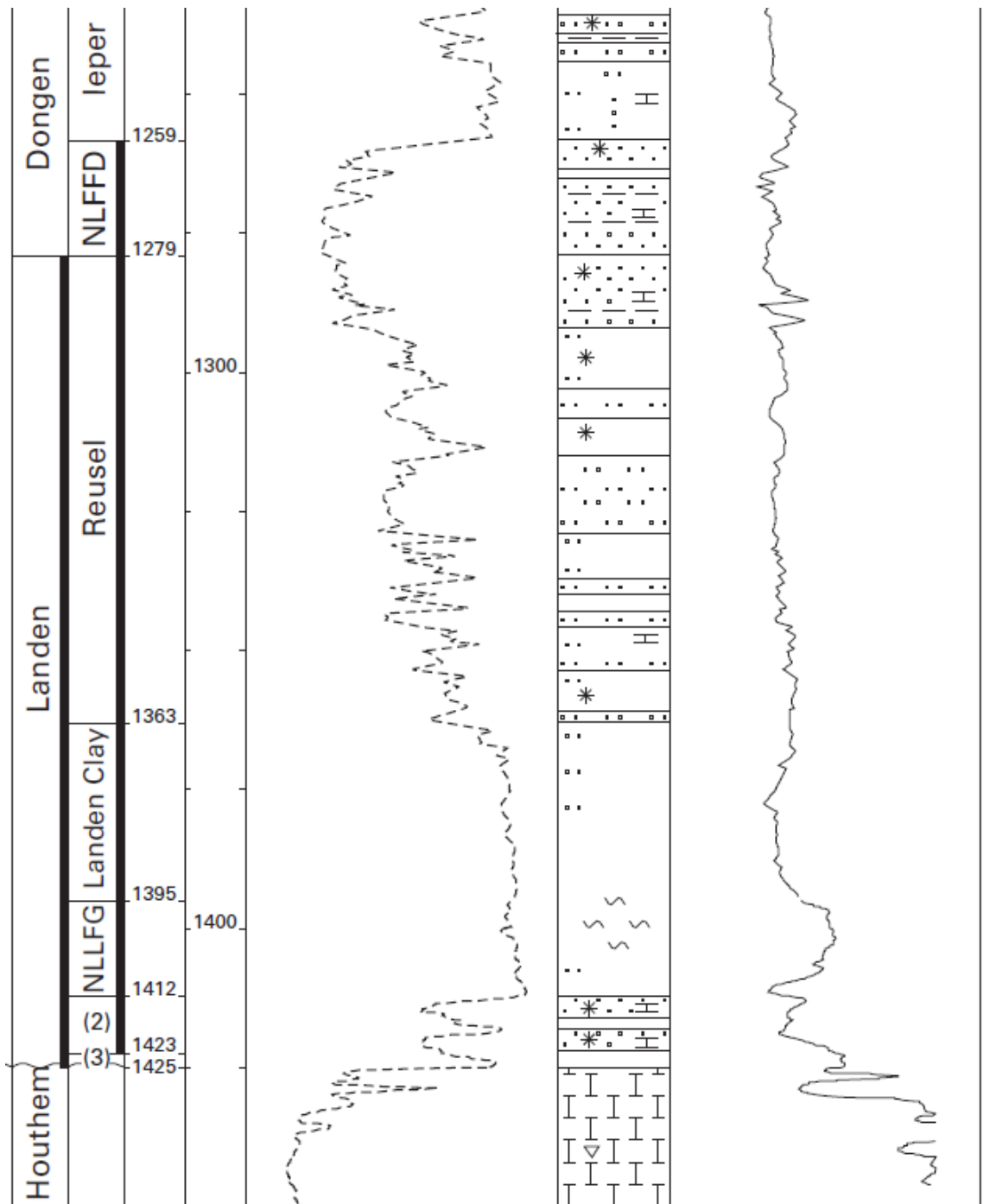
Het Laagpakket van Maaseik is vooral in het zuidoosten goed te onderscheiden van het erop volgende Laagpakket van Waterschei (Fig. 20.3). Naar het noordwesten toe wordt de log signatuur veel minder contrasterend en ontstaat de indruk van een geleidelijke overgang, ook al blijft het lithologisch verschil tussen grijze kalkrijke klei en grijswitte kleiige mergel opvallend (Fig. 20.4).

Stratigrafische positie

De Boven-Paleocene Formatie van Hannut vormt samen met de bovenliggende Formatie van Tienen de Groep van Landen. De Formatie van Hannut rust quasi conform op de Formaties van Heers of Maaseik, ook al is het sedimentatiebekken van verschillende configuratie, een fenomeen dat vooral effect heeft op de meer marginale delen van de sedimentatiebekkens, buiten het inventarisatiegebied. Het contact met de overliggende Formatie van Tienen is erosief naar het zuidoosten en concordant naar het noordwesten.



Figuur 20.1. Referentieboring SCK15 31W0237 met Paleocene interval (Formaties van Hannut en Heers) tussen de Ieperklei en het Krijt, standaard log met van links naar rechts gammastraling, dubbele resistiviteit, spontane potentiaal en caliper. De Formatie van Tienen is afwezig in de regio Mol, maar het zandige Laagpakket van Grandglise aan de top van de Formatie van Hannut is goed ontwikkeld.



Figuur 20.2. Holostratotype Veldhoven-1 (NAM) voor de Nederlandse Formatie van Landen, traject 1279-1425 m beneden draaitafel, met weergave van spontane potentiaal, litholog en resistiviteit.

Correlatie met Belgische equivalenten als volgt:

NLFFD (Basale Zand van Dongen Laagpakket of Laagpakket van Oosteind) => Formatie van Tienen en/of Laagpakket van Grandglise (partim) in de Formatie van Hannut;

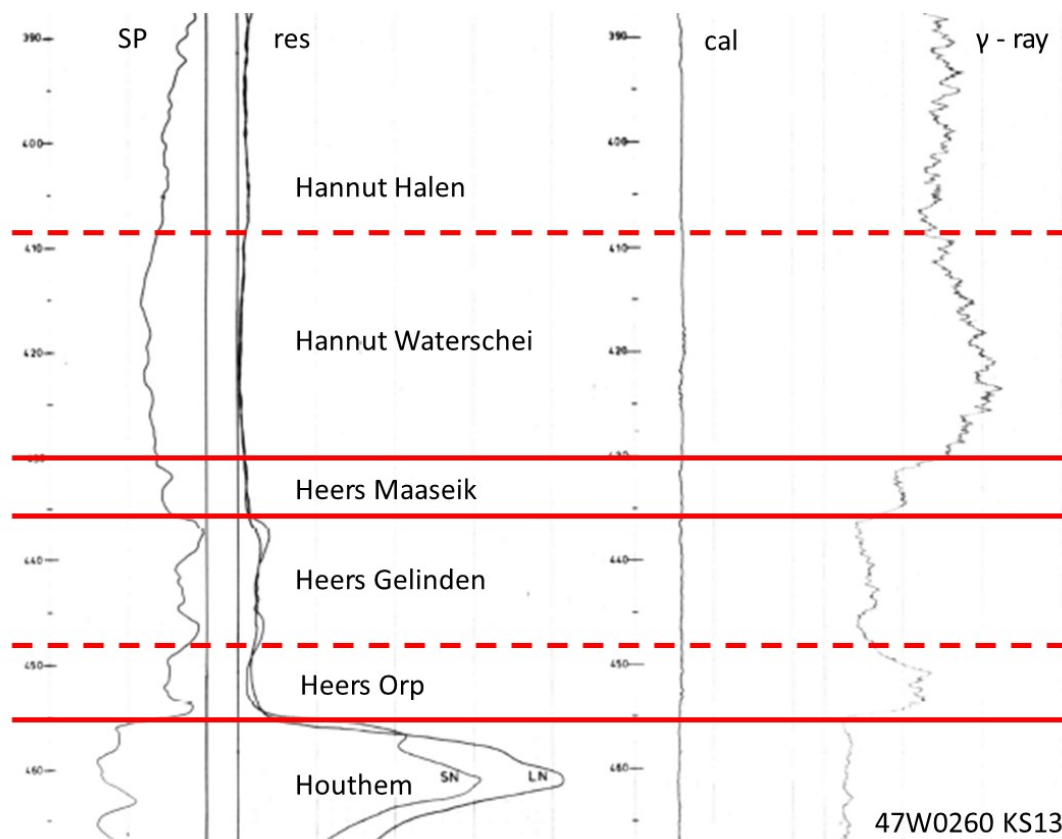
Laagpakket van Reusel => Laagpakket van Halen – Grandglise (partim) in de Formatie van Hannut;

Landen Clay => Laagpakket van Waterschei in de Formatie van Hannut;

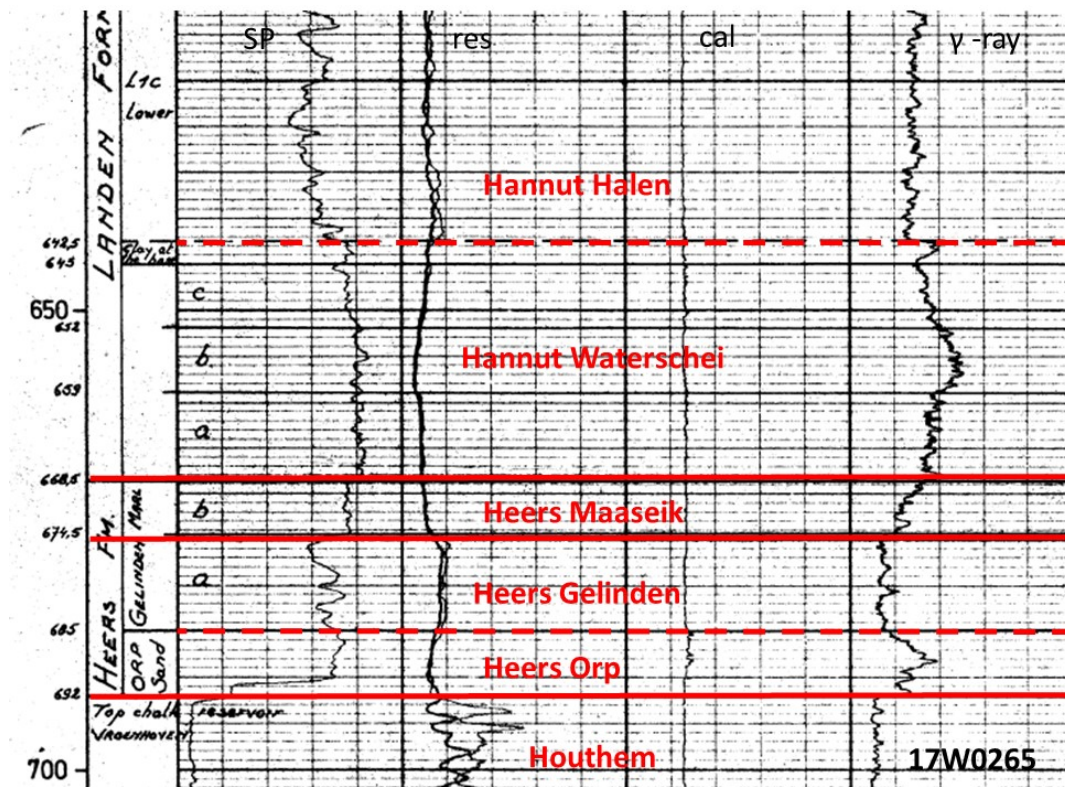
NLLFG (Laagpakket van Gelinden) => Laagpakketten van Maaseik – Gelinden in de Formatie van Heers;

(2): Laagpakket van Heers => Laagpakket van Orp in de Formatie van Heers;

(1): Laagpakket van Swalmen => Formatie van Opglabbeek.



Figuur 20.3. Steenkoolverkenningboring KS13 Koersel-Hemelbrug, 47W0260, DOV kb17d47w-B258, langs de zuidostrand van het inventarisatiegebied, standaard TNO log met afbakening van de Paleocene eenheden. In tegenstelling tot de Roerdalslenk en zuidoostelijke schouder van de Roerdalslenk op het Kempisch Plateau (projectgebied H3O – Roerdalslenk) is de Formatie van Opplabbeek afwezig en rust de onderliggende Formatie van Heers rechtstreeks op de Paleocene krijtlagen. De Formatie van Heers is goed gedifferentieerd tussen de Laagpakketten van Maaseik, Gelinden en Orp. In de Formatie van Hannut vertoont het kleiige Laagpakket van Waterschei een fining / coarsening upward cyclus, een trend die niet meer voorkomt in het bovenliggend Laagpakket van Halen.



Figuur 20.4. Geothermieboring Mersplas-Beerse 2, 17W0280, DOV kb8d17w-B315, gelegen in het westen van het inventarisatiegebied. Oorspronkelijke weergave van de boorgatmeting met afbakening van de Paleocene eenheden volgens oorspronkelijke interpretatie (links) en H3O interpretatie (rood). Het patroon is opvallend vergelijkbaar met boring KS13 gelegen in het zuidoostelijke deel van het inventarisatiegebied, met uitzondering van het Laagpakket van Maaseik dat in de boorgatmetingen eerder aansluit bij de Formatie van Hannut, terwijl de lithologie naar het onderliggend Gelinden blijft verwijzen.

21. Formatie van Heers

Code: Hs

Onderverdeling

Formatie van mariene oorsprong. Van boven naar onder worden drie laagpakketten onderscheiden waartussen een snelle overgang bestaat, respectievelijk het Lid (Laagpakket) van Maaseik, Gelinden en Orp (Fig. 21.1).

De H3O modelleenheid Heers (inclusief Maaseik) komt overeen met HCOV codes 1023 + 1032, opgebouwd uit de Vlaamse hydrogeologische eenheden 1023 Slecht doorlatend deel van de Mergels van Gelinden, en 1032 Zand van Orp. Er staat geen HCOV code tegenover het Laagpakket van Maaseik. Het Laagpakket van Gelinden wordt als sterk doch onregelmatig watervoerend beschouwd. Hoge transmissiviteiten komen voor in het ontsluitingsgebied en onder geringe bedekking door spleetporositeit en drukontlasting. In het inventarisatiegebied is het Laagpakket van Gelinden echter diep begraven en eerder ondoorlatend.

Equivalent Nederlandse stratigrafie is de Formatie van Landen partim, vermits deze formatie ook de bovenliggende Formatie van Hannut en onderliggende Formatie van Opglabbeek omvat (de Lang, 2003c).

Binnen deze Formatie van Landen zijn er twee laagpakketten die met de Belgische Formatie van Heers correleren: het Laagpakket van Gelinden dat correleert met de Laagpakketten van Maaseik en Gelinden, en het Laagpakket van Heers dat correleert met het Laagpakket van Orp (Bisschops, 1973; cf. Fig. 20.2, 21.2).

Let op de naamsverwarring over Heers, waaraan in Nederland een andere invulling wordt gegeven dan in België. Anderzijds staat het Nederlandse Laagpakket van Gelinden voor Gelinden sensu lato, dus de Belgische Laagpakketten van Maaseik en Gelinden sensu stricto.

De H3O modelleenheid Heers correleert dus met de Laagpakketten Gelinden en Heers in Nederland en met de Formatie van Heers en de basiseenheid Maaseik van de Formatie van Hannut volgens de DOV lithostratigrafie.

Lithologische samenstelling en logsignatuur

De Formatie van Heers bestaat van boven naar onder uit de volgende laagpakketten:

Lid (Laagpakket) van Maaseik: grijswitte licht glauconiethoudende mergel (mergel in de zin van kalkrijke klei) met een dikte tot 9 m. In de meeste boorgatmetingen (zie fig. 20.3, 21.1) toont het pakket een gelijkaardig blokvormig verloop zoals het onderliggende Lid van Gelinden, maar door het verhoogde kleigehalte zijn de waarden intermediair ten opzicht van de bovenliggende klei.

Lid (Laagpakket) van Gelinden: compacte witte mergel (= in feite zachte krijtachtige kalksteen met een carbonaatgehalte van 60 tot 85%), soms licht glauconiethoudend. In boorgatmetingen toont het pakket een blokvormig verloop van lage waarden voor de gammastraling en vrij hoge naar boven toe oplopende waarden voor de resistiviteit. De dikte kan ± 25 m bereiken.

De overgang naar het bovenliggende eveneens mergelige Laagpakket van Maaseik is duidelijk op basis van boorgatmetingen door het hogere kleigehalte die het Laagpakket van Maaseik onderscheidt van het Laagpakket van Gelinden: het blokvormig patroon verspringt naar hogere gammastraling en lagere resistiviteit. Op basis van cuttings is het onderscheid echter niet te maken. In het westelijk en centraal voorkomingsgebied waar er slechts één mergelpakket van beperkte dikte voorkomt is het niet steeds duidelijk of dit nu om Gelinden sensu stricto of reeds om Maaseik gaat (Fig. 20.1).

Lid (Laagpakket) van Orp: donkergroen zeer fijn, kleiig zand met een hoog gehalte aan glauconiet. Boorteknisch onderscheidt dit laagpakket zich door het gemakkelijk uitspoelen van het boorgat, te wijten aan het goed erodeerbaar zand. De afzetting is gevormd tijdens een mariene transgressie fase. In boorgatmetingen kan het pakket vooral worden herkend door de matig hoge gammastraling ten opzichte van onder- en bovenliggende laagpakketten. De dikte kan oplopen van enkele meters tot ± 35 m, en neemt toe van west naar oost.

Bovengrens

De overgang naar het bovenliggende Lid van Waterschei (Formatie van Hannut) is duidelijk op basis van boorgatmetingen door de hogere gammastraling en lagere resistiviteit voor de bovenliggende klei. Op basis van cuttings is het onderscheid duidelijk door het verschijnen van een opmerkelijk blekere kleur in cuttings en boorspoeling en de sterke toename van het kalkgehalte. Dit is een van de meest betrouwbare grenzen die in een spoelboring te maken is.

In het westelijk gebied echter vertoont de logsignatuur een geleidelijke overgang op het bovenliggende Laagpakket van Waterschei.

Ondergrens

De grens met de onderliggende zanden van de Formatie van Opglabbeek of Kalksteen van de Formatie van Houthem of Maastricht is altijd scherp en wordt in de lithologie vooral gekenmerkt door de sterke toename van glauconiet in het basale deel van de formatie (Laagpakket van Orp). In boorgatmetingen zien we naast de stijging van de gammastraling, op het grensvlak vaak een kenmerkend piekje in de gammastralingscurve (cf. fig.21.1). Merk op dat de Formatie van Opglabbeek in het modelgebied zou uitgewigd zijn (Fig. 21.3 uit Deckers et al., 2014a).

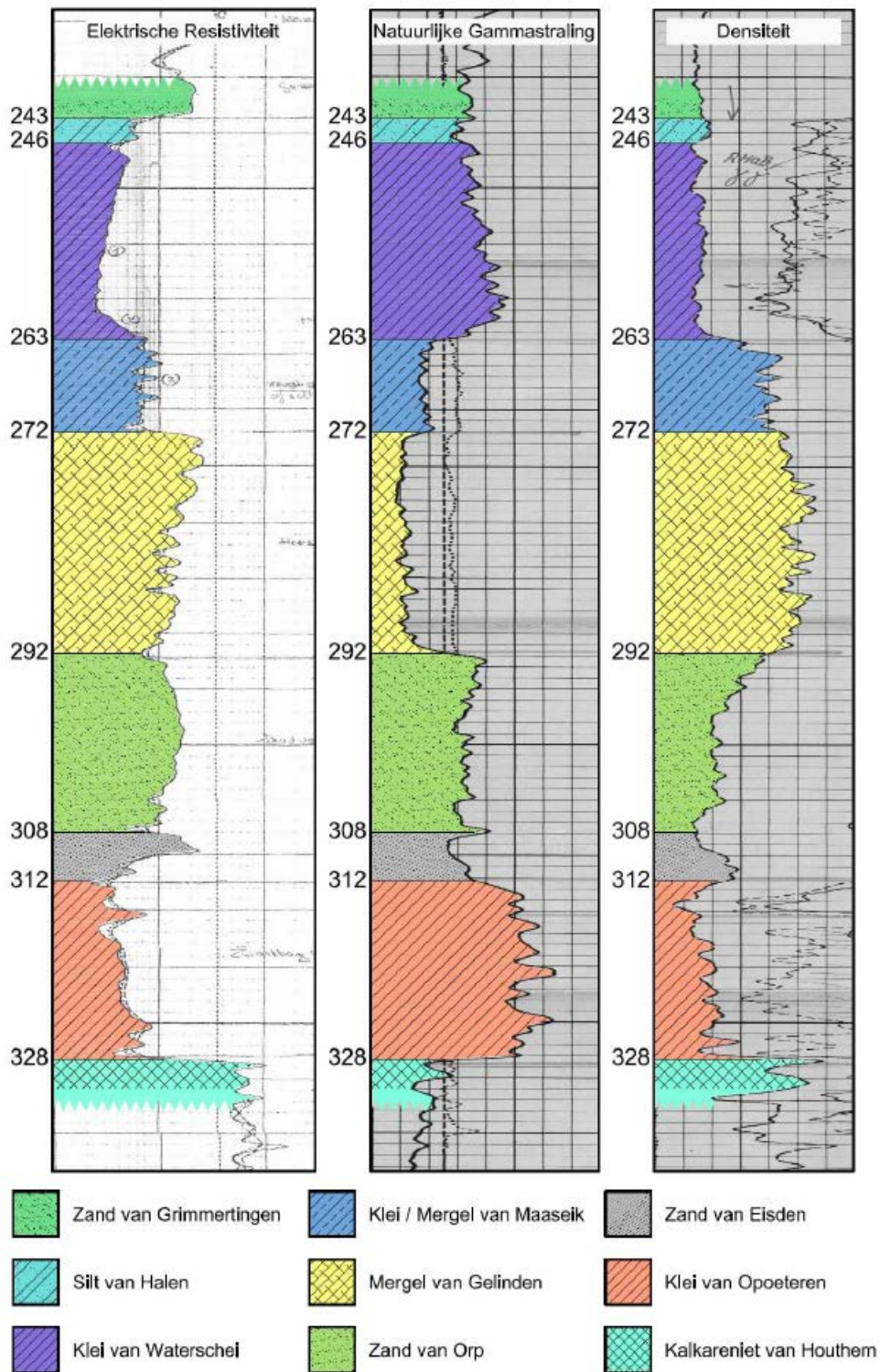
Stratigrafische positie

De Vroeg-Paleocene Formatie van Heers ligt disconform op de Formatie van Opglabbeek (in het oosten) of discordant op kalkgesteenten van de Formatie van Houthem eventueel oudere Mesozoïsche gesteenten van de Krijtgroep (in het westen). Ook de grens met de onderliggende Formatie van Opglabbeek is matig erosief. De Formatie van Heers wordt disconform bedekt door de Formatie van Hannut: op lokale schaal lijkt er concordantie maar op regionale schaal tonen beide formaties een verschillend sedimentatiepatroon. Deze grens komt bovendien overeen met een harde seismische reflector (waarvan de stratigrafische positie en betekenis is herzien door Deckers et al., 2014a) – (Fig. 21.4).

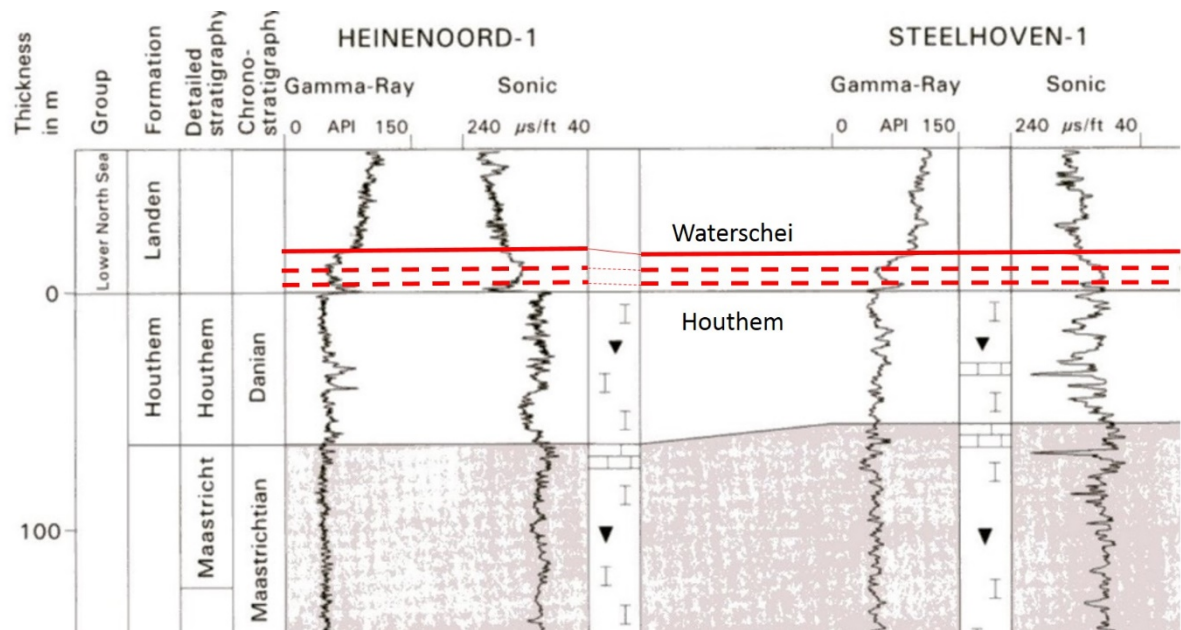
De Paleogene laagpakketten bereiken hun maximale sediment dikte in het zuidoosten van de Roerdalslenk en verminderen in dikte tot uitwissing toe in zowel noordelijke als zuidelijke richting (cf. Fig. 21.3, Deckers et al., 2014a; Deckers & Matthijs, 2014).

Er loopt een chronostratigrafische grens doorheen de Formatie van Heers: de Laagpakketten van Orp en Gelinden zijn afgezet tijdens het Selandien, het Laagpakket van Maaseik tijdens het Thanetien. Deze lithostatigrafische eenheid werd in 1998 door Steurbaut omwille van de Thanetiaan ouderdom als een afzonderlijke formatie geïntroduceerd en als Maaseik benoemd. In de DOV stratigrafie werd deze eenheid als lid (laagpakket) toegevoegd aan de Formatie van Hannut (cf. ALBON, 2010). Nochtans werd dit pakket tot 1998 steeds bij Gelinden gerekend en in de informele stratigrafie (door Marcel Gulinck) ‘Gelinden b’ genoemd, ter onderscheid met het Laagpakket van Gelinden sensu stricto dat ‘Gelinden a’ werd genoemd (Fig. 20.3). In boringen zonder logs of zonder mogelijkheid tot onderscheid tussen Gelinden sensu stricto en Maaseik werd dit pakket bij Gelinden gerekend. Het voornaamste motief om Gelinden van Maaseik te scheiden is paleontologisch, vermits Gelinden Selandien is en Maaseik Thanetien, en sequentiestratigrafisch eerder bij de bovenliggende formatie van Hannut zou aansluiten. Er is echter geen lithologische reden om dit te doen. Integendeel is de meest opvallende en scherpste lithologische grens die in de boorspoeling en cuttings over de Paleogene formaties kan worden waargenomen het verschijnen van de bleke mergel op het contact tussen Waterschei en Maaseik.

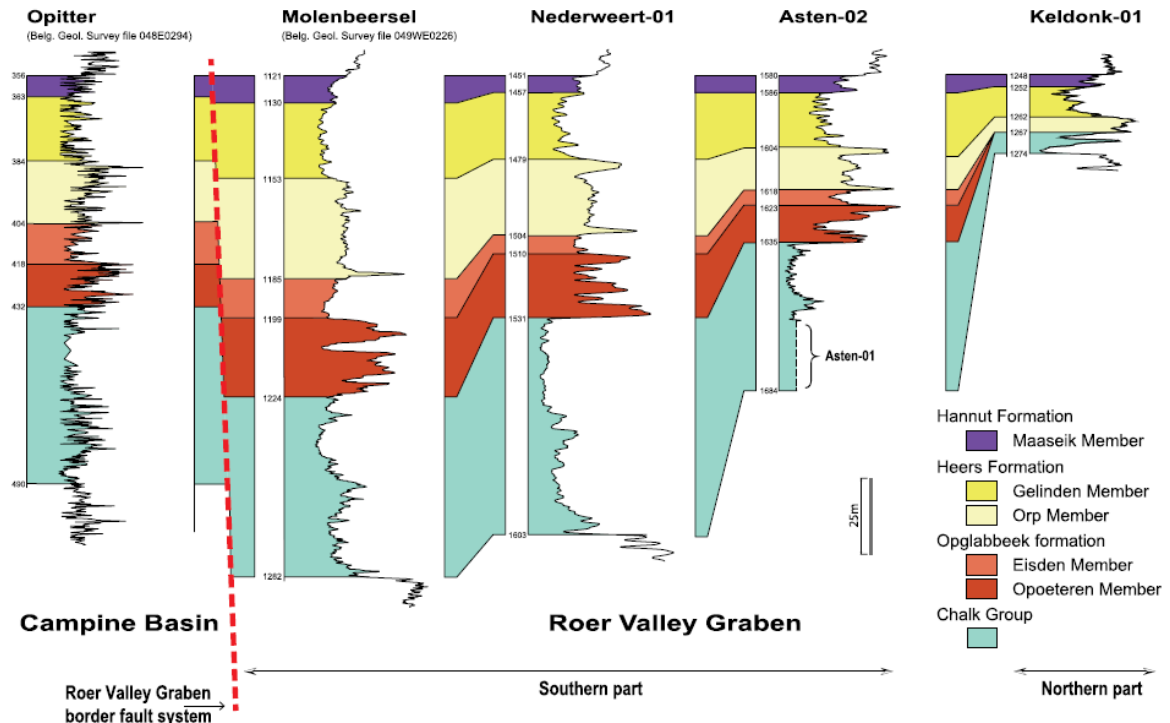
Op de vergadering met de begeleidingscommissie van 2.9.2015 was er een akkoord om de lithostatigrafische eenheid Maaseik kartografisch bij de Formatie van Heers te houden, conform aan de consensus die hierover ook binnen NCS bestaat (Matthijs, 2017). Het 3D lagenmodel van het Vlaamse deel van de Roerdalslenk is reeds op deze inzichten gebaseerd (Broothaers et al., 2012).



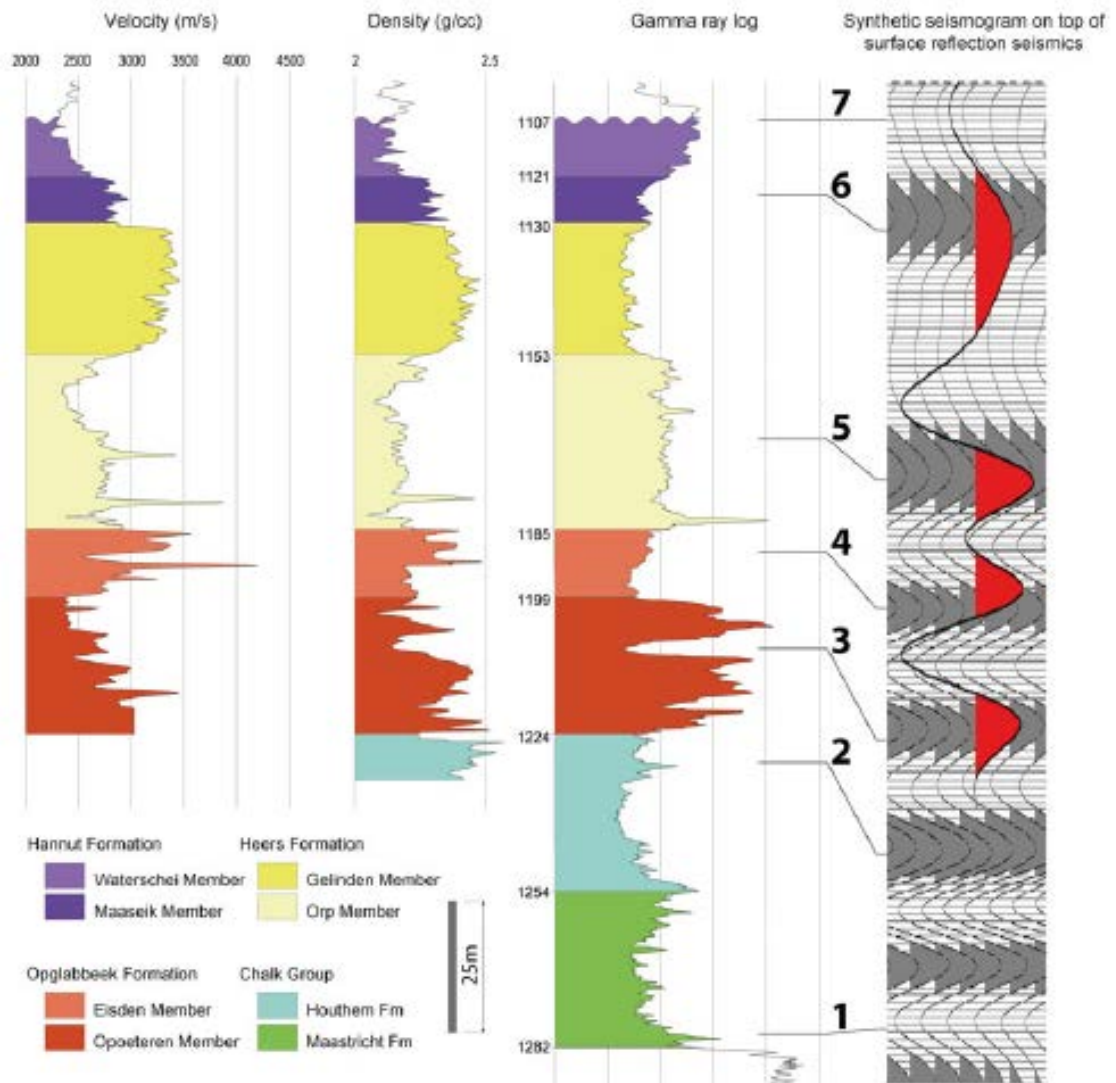
Figuur 21.1. De Formaties van Hannut (Halen – Waterschei), Heers (Maaseik – Gelinden – Orp) en Opplabbeek (Eisden – Opoeteren) tussen Sint-Huibrechts-Hern (Grimmertingen) bovenaan en de Krijtgroep (Houthem) onderaan op boorgatmetingen in boring Opitter 048E0294, DOV BGD048e0294 (projectgebied H3O - Roerdalslenk, waar de opeenvolging het meest volledig is) (fig. uit Deckers et al., 2014).



Figuur 21.2. Overgang kalkig naar klastisch Tertiair in Noordbrabantse boringen ten NW van inventarisatiegebied (Geological Atlas of the Subsurface of the Netherlands, XIII-XIV fig 12.2) met aanduiding van het contact tussen de Formaties van Opglabbeek en Heers (= grens Swalmen – Heers, onderste stippellijn), tussen Gelinden en Maaseik (= intra Gelinden volgens de Nederlandse nomenclatuur, middelste stippellijn), tussen Maaseik en Waterschei (intra Hannut volgens de Vlaamse nomenclatuur, grens Gelinden – Landen Klei volgens de Nederlandse nomenclatuur, volle lijn).



Figuur 21.3. Log correlaties doorheen boringen van SE naar NW doorheen de Roerdalslenk, van Krijtgroep tot en met het Laagpakket van Maaseik (Deckers et al., 2014a). Deze reconstructie toont de stelselmatische verdunning van dit sedimentpakket in NW richting, vanaf een maximum aan de SE rand van de Roerdalslenk, waarbij de Formatie van Opglabbeek (NL equivalent Laagpakket van Swalmen in de Formatie van Landen) verdwijnt in het H30 – De Kempen inventarisatiegebied.



Figuur 21.4. Boring Molenbeersel 49E0226, DOV kb18d49w-B226 (H3O – Roerdalslenk), koppeling boorgatmetingen en synthetisch seismogram. De harde reflector “6” komt overeen met de top Gelinden en niet met de top Houthem (Deckers et al., 2014a).

REFERENTIELIJST

- Adriaens, R., 2015. Neogene and Quaternary clay minerals in the southern North sea. KU Leuven, PhD proefschrift. Aardkundige Mededelingen 47, 272 p.
- ALBON, 2010. Lithostratigrafische tabel van het Neogeen en Paleogeen (Tertiair). www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/lithostratigrafische-tabel-van-het-neogeen-en-paleogeen-tertiair (versie 3/7/14).
- Beerten, K., 2003. Vroeg- en Midden-Pleistocene sedimentatiegeschiedenis van Maas en Rijn in de Belgische Roergraben. Onderzoeksresultaten van gekernde boringen (Project VLA01-3.1.3). ALBON, 36 p. + ann.
- Beerten, K.; Bogemans, F.; Heyvaert, V.M.A.; Vandenberghe, D. & Van Nieuland, J., 2016. Gent Formation v15012016. National Commission for Stratigraphy. <http://ncs.naturalsciences.be/quaternary/42-gent-formation-v15012016> (geconsulteerd 8.3.2016).
- Beerten, K.; Heyvaert, V.M.A.; Vandenberghe, D.A.G.; Van Nieuland, J. & Bogemans, F., 2017. Revising the Gent Formation: a new lithostratigraphy for Quaternary wind-dominated sand deposits in Belgium. *Geologica Belgica*, 20/1-2: 95-102.
- Bisschops, J.H., 1973. Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Eindhoven Oost (51O). Haarlem: Rijks Geologische Dienst, 132 p.
- Bisschops, J.H., J.P. Broertjes & W. Dobma, 1985. Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Eindhoven West (51W). Haarlem: Rijks Geologische Dienst, 216 pp.
- Boenigk, W., 1978. Die Flussgeschichtliche Entwicklung der Niederrheinischen Bucht im Jungtertiär und Altquartär. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 28: 1-9.
- Bogemans, F., 2005a: Toelichting bij de Quartairgeologische kaart. Kaartblad 2-8 Meerle-Turnhout, ISBN: 90-403-0221-9.
- Bogemans, F., 2005b: Toelichting bij de Quartairgeologische kaart. Kaartblad 3-9 Arendonk – Maarle, ISBN: 90-403-0234-0.
- Bogemans, F., 2005c. Technisch verslag bij de opmaak van de quartairgeologische overzichtskaart van Vlaanderen. Toelichting bij de Quartairgeologische kaart, 19 p.
- Bogemans, F. & Lanckacker, T., 2014. Neogene - revised lithostratigraphy accepted 06/2014: 2.10. Merksplas Formation – Me. <http://ncs.naturalsciences.be/paleogene-neogene/210-merksplas-formation>.
- Broothaers, M.; Deckers, J.; Lagrou, D. & Matthijs, J., 2012. 3D-lagenmodel van de Tertiaire afzettingen in de Roerdalslenk in Vlaanderen. VITO, 2012/SCT/R/191 Oktober 2012, 58 p.
- De Ceukelaire, M. & Jacobs, P., 1998. Indeling van de Formatie van Kortrijk op basis van kwalitatieve interpretatie van resistiviteitsmetingen. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, 78: 27-51.
- Deckers, J., 2015a. The late Oligocene to early Miocene early evolution of rifting in the southwestern part of the Roer Valley Graben. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, DOI 10.1007/s00531-015-1234-5, 11 p.
- Deckers, J., 2015b. Middle Miocene Mass Transport Deposits in the southern part of the Roer Valley Graben. *Marine and Petroleum Geology* 66: 653-659.
- Deckers, J. & Matthijs, J., 2014. A late Danian change in deformation style in the south-eastern part of the Campine Basin. *Geologica Belgica* 17/3-4: 236-243.

Deckers, J.; Broothaers, M.; Lagrou, D. & Matthijs, J., 2014a. The late Maastrichtian to Late Paleocene tectonic evolution of the southern part of the Roer Valley Graben (Belgium). *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw* 93-3: 183-193.

Deckers J.; Vernes, R.; Dabekaussen, W.; Den Dulk, M.; Doornenbal, H.; Duser, M.; Hummelman, J.; Matthijs, J.; Menkovic, A.; Reindersma, R.; Walstra, J.; Westerhoff, W. & Witmans, N., 2014b. Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Roerdalslenk in Zuidoost-Nederland en Vlaanderen (H3O – Roerdalslenk). 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; VITO/Energyville; in samenwerking met de Belgische Geologische Dienst. Maart 2014. 193 p.

de Heinzelin, J., 1956. Considérations nouvelles sur le Néogène de l'ouest de l'Europe. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 64: 463-476.

Dehnert, A.; Kracht, O.; Preusser, F.; Akçar, N.; Kemna, H.A.; Kubik, P.W. & Schlüchter, C., 2011. Cosmogenic isotope burial dating of fluvial sediments from the Lower Rhine Embayment, Germany. *Quaternary Geochronology* 6: 313-325.

de Lang, F.D., 2003a. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Veldhoven. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINOloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-veldhoven>).

de Lang, F.D., 2003b. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Dongen. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINOloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-dongen>).

de Lang, F.D., 2003c. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Landen. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINOloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-landen>).

de Lang, F.D. & Ebbing, J.H.J., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Rupel. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINOloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-rupel>).

de Lang, F.D. & Weerts, H.J.T., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Stramproy. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINOloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-stramproy>).

de Lugt, I., 2007. Stratigraphical and structural setting of the Paleogene siliciclastic sediments in the Dutch part of the North Sea basin. *Geologica Ultraiectina*, N°270 112p.

De Meuter, F. & Laga, P., 1976. Lithostratigraphy and biostratigraphy based on benthonic foraminifera of the Neogene deposits of northern Belgium. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 85: 133-152.

Donders, T.H., Kloosterboer-van Hoeve, M.L.; Westerhoff, W.E.; Verreussel, R.M.C.H. & Lotter, A.F., 2007. Late Neogene continental stages in NW Europe revisited. *Earth-Science Reviews*, 85: 161-189.

Doppert, J.W.C., Ruegg, G.H.J.; van Staalduinen, C.J.; Zagwijn, W.H. & Zandstra, J.G., 1975. Formaties van het Kwartair en Boven-Tertiair in Nederland. In: W.H. Zagwijn & C.J. van Staalduinen, eds., *Toelichting bij de Geologische Overzichtskaarten van Nederland*. Haarlem: Rijks Geologische Dienst, 11-56.

Dusar, M., 2016. Kieselooliet Formation v012016. National Commission for Stratigraphy Belgium, Subcommission Paleogene and Neogene. Proposals and discussions, on website 4.1.2016.
<http://ncs.naturalsciences.be/paleogene-neogene/kieselooliet-formation-v012016>.

Dusar, M.; Deckers, J.; Juhasz-Holterman, M.; Matthijs, J.; Menkovic, A.; Six, S.; Walstra, J. & Westerhoff, W.E., 2014. De Roerdalslenk. In: Watervoerende lagen & grondwater in België / Aquifères & eaux souterraines en Belgique. Academia Press: 47-57.

Dusar, M. & Vandenberghe, N., 2015. Discussion note about the Chattian (Upper Oligocene) lithostratigraphic units Voort sand /Veldhoven clay /Somerensand. Can we bring the Dutch, Belgian and German practice in line by using a common nomenclature ? National Commission for Stratigraphy Belgium, Subcommission Paleogene and Neogene. Proposals and discussions, on website 7.9.2015.
<http://ncs.naturalsciences.be/paleogene-neogene/chattian-voort-sand-veldhoven-clay-somerensand>.

Ebbing, J.H.J. & de Lang, F.D., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Oosterhout. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINoloket
(<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-oosterhout>).

Ebbing, J.H.J., Menkovic, A. & Busschers, F.S., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Tongeren. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINoloket
(<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-tongeren>).

Geets, S., 1962. Stratigrafische positie van het Poederliaan in de Antwerpse Kempen. Natuurwetenschappelijk Tijdschrift, 44: 143-152.

Gulinck, M., 1963. Essai d'une Carte géologique de la Campine. Etat de nos connaissances sur la nature des terrains néogènes recoupés par sondages. Mémoires de la Société belge de Géologie. Mém. In-8° N.6: 30-39.

Gulinck, M., 1965. Le passage du Bartonien au Rupélien dans la région Boom – Malines. Bulletin de la Société belge de Géologie, 74: 115-120.

Gulinck, M., 1969. Coupe résumée des terrain traversés au sondage de Kallo et profil géologique Woendrecht - Kallo – Halle. Memoirs of the Geological Survey of Belgium, 11: 3-7.

Gulinck, M.; Geets, S. & van Voorthuysen, J.H., 1963. Note sur les sondages du Centre Nucléaire à Mol. Bulletin de la Société belge de Géologie, 72 : 283-294

Gullentops, F. ; Bogemans, F. ; De Moor, G. ; Paulissen, E. & Pissart, A., 2001. Quaternary lithostratigraphic units (Belgium). Geologica Belgica, 4/1-2: 153-164.

Gullentops, F. & Vandenberghe, N., 1995. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Kaartblad (17) Mol. Schaal 1:50.000. BGD – ANRE / ALBON, 64 p.

Hager, H.; Vandenberghe, N.; van den Bosch, M.; Abraham, M.; von der Hocht, F.; Rescher, K.; Laga, P.; Nickel, E.; Verstraelen, A.; Leroi, S. & van Leeuwen, R.J.W., 1998. The geometry of the Rupelian and Chattian depositional bodies in the Lower Rhine district and its border area: implications for Oligocene lithostratigraphy. Bulletin of the Geological Society of Denmark, 45: 53-62.

Halet, F., 1933. Observations nouvelles sur l'âge des dépôts dits amstéliens de la partie septentrionale de la Campine anversoise. Bulletin de la Société belge de Géologie, 43: 394-409.

Houthuys, R., 2011. A sedimentary model for the Brussels sands, Eocene, Belgium. Geologica Belgica, 14/1-2: 55-74.

Houthuys, R.; Vandenberghe, N. & Matthijs, J., 2017. Discussion on Brussels Formation. Version 23 October 2017 – on website 27/10/2017. National Commission for Stratigraphy, Subcommission Paleogene and Neogene. . <http://ncs.naturalsciences.be/paleogene-neogene/brussels-formation-27102017>.

Huizer, J. & Weerts, H.J.T., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Maassluis. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINoloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-maassluis>).

Kasse, C., 1988. Early-Pleistocene tidal and fluvial environments in the southern Netherlands and northern Belgium. Vrije Universiteit Amsterdam, Academisch Proefschrift, 190 p. + ann.

Kasse, C., 1993. Periglacial environments and climatic development during the Early Pleistocene Tiglian stage (Beerse Glacial) in northern Belgium. *Geologie en Mijnbouw*, 72: 107-123.

Kasse, C. & Bohncke, S., 2001. Early Pleistocene fluvial and estuarine records of climate change in the southern Netherlands and northern Belgium. In: Maddy, D., Macklin, M.G. and Woodward, J.C. (eds.) *River Basin Sediment Systems: Archives of Environmental Change*. Balkema: 171-193.

Kemna, H.A., 2008. A revised stratigraphy for the Pliocene and Lower Pleistocene deposits of the Lower Rhine Embayment. *Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw* 87: 91: 106.

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.

Klostermann, J., 1992. Das Quartär der Niederrheinischen Bucht. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld.

Laga, P. ; Louwye, S. ; Geets, S., 2001. Paleogene and Neogene lithostratigraphic units (Belgium). *Geologica Belgica*, 4/1-2: 135-152.

Louwye, S.; De Schepper, S.; Laga, P. & Vandenberghe, N., 2007. The Upper Miocene of the southern North Sea Basin (northern Belgium): a palaeoenvironmental and stratigraphical reconstruction using dinoflagellate cysts. *Geological Magazine* 144: 33-52.

Matthijs, J., 2017. Discussion texts Beselare Member / Maaseik Member – on web 2017/05/10. National Commission for Stratigraphy Belgium, Subcommission Paleogene and Neogene. . <http://ncs.naturalsciences.be/paleogene-neogene/beselare-member-maaseik-member-web-20170510>.

Meyus, Y.; De Smet, D.; De Smedt, F.; Walraevens, K.; Batelaan, O. & Van Camp, M., 2000. Hydrogeologische codering van de ondergrond van Vlaanderen (HCOV). @WEL Water, Energik, VLARIO (W.E.L.), 8: 1-13.

Paepe, R. & Vanhoorne, R., 1970. Stratigraphical position of periglacial phenomena in the Campine clay of Belgium based on palaeobotanical analysis and palaeomagnetic dating. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 79: 201-211.

Schäfer, A., Utescher, T., Klett, M. & Valdivia-Manchego, M., 2005. The Cenozoic Lower Rhine Basin – rifting, sedimentation, and cyclic stratigraphy. *International Journal Earth Science (Geologische Rundschau)*, 94. 621–639.

Schokker, J., 2003. Patterns and processes in a Pleistocene fluvio-aeolian environment. Roer Valley Graben, south-eastern Netherlands. *Nederlandse Geografische Studies* 314 (ISSN 0169-4839) & Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht (ISBN 90-6809-352-5), 141 p.

- Schokker, J.; de Lang, F.D.; Weerts, H.J.T.; den Otter, C.; Passchier, S., 2005. Beschrijving lithostratigrafische eenheid. Formatie van Boxtel. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINOloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-boxtel>).
- Schokker, J., Weerts, H.J.T., Westerhoff, W.E., Berendsen, H.J.A. & Den Otter, C., 2007. Introduction of the Boxtel Formation and implications for the Quaternary lithostratigraphy of the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw*, 86: 197-210.
- Steurbaut, E., 1988. The Ypresian in the Belgian basin. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 96: 339-351.
- Steurbaut, E.; De Ceukelaire, M.; Lanckacker, T.; Matthijs, J.; Stassen, P.; Van Baelen H. & Vandenberghe, N., 2016. An update of the lithostratigraphy of the Ieper Group. National Commission for Stratigraphy Belgium, Subcommission Paleogene and Neogene. Proposals and discussions, on website 15.6.2016. <http://ncs.naturalsciences.be/paleogene-neogene/ieper-group-proposal-062016>.
- Tavernier, R. & de Heinzelin, J., 1963. Introduction au Néogène de la Belgique. *Mémoires de la Société belge de Géologie, Mém. In-8° N.6*: 7-30.
- Van Adrichem Boogaert, H.A. & W.F.P. Kouwe (eds.), 1993, Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGPA. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* 50: 1-39, Annexes I 1-6.
- Vandenberghe, N. ; Laga, P. ; Herman, J. ; Baccaert, J., 1990. Lithological description of the Knokke well. *Memoirs of the Geological Survey of Belgium*, 29: 9-17.
- Vandenberghe, N.; Dusar, M.; Boonen, P.; Lie S.F.; Voets, R.; Bouckaert, J., 2000. The Merksplas-Beerse geothermal well (17W265) and the Dinantian reservoir. *Geologica Belgica*, 3/3-4: 349-367.
- 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.
- Vandenberghe, N. & Wouters, L., 2011. 2.11. Rupel Group. National Commission for Stratigraphy Belgium, Subcommission Paleogene – Neogene. Ncs.drupalgardens.com/Paleogene-neogene/211-rupel-group.
- Vandenberghe, N.; Harris, W.B.; Wampler, J.M.; Houthuys, R.; Louwye, S.; Adriaens, R.; Vos, K.; Lanckacker, T.; Matthijs, J.; Deckers, J.; Verhaegen, J.; Laga, P.; Westerhoff, W.; Munsterman, D., 2014a. 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.; De Craen, M. & Wouters, L., 2014b. The Boom Clay geology from sedimentation to present-day occurrence. A review. *Memoirs of the Geological Survey of Belgium*, 60: 76 p.
- Van der Sluys, J., 2000. Verkenningsboringen in het Belgische deel van de Roerdalslenk. *Geological Survey of Belgium Professional Paper* 2000/3 N.292: 92 p.
- Verbeek, J.W.; de Leeuw, C.S.; Parker, N. & Wong, Th.E., 2002. Characterisation and correlation of Tertiary seismostratigraphic units in the Roer Valley Graben. *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw*, 81 (2): 159-166.
- Verheyen, A., o.l.v. Vandenberghe, N., 2003. Uitdieping van het Neogeen. Project i.o.v. NIRAS / ONDRAF. Katholieke Universiteit Leuven, Historische Geologie. Verslag: 41 p.; interpretaties van boringen: 44 + 6 p.; profielen 1 tot en met 5, profielen A & B: 41 p.

- Walstra, J.; Duser, M. & De Ceukelaire, M., 2014. Geological model of the Ypresian Clay. Commissioned by: ONDRAF-NIRAS. Geological Survey of Belgium, 77 p.
- Welkenhuysen, K. & De Ceukelaire, M., 2009. Tertiair lithostratigrafische interpretatie op basis van geofysische boorgatmetingen van de boringen van Meetnet 1 VMM - Afdeling Water uitgevoerd in 2005-2006. Geological Survey of Belgium Professional Paper 2009/2 N. 306, 77 p. + ann.
- Wemaere, I.; Marivoet, J.; Labat, S.; Beaufays, R. & Maes, T., 2004. Zoersel borehole of the hydro/96neb campaign: technical aspects and hydrogeological investigation. Restricted contract report SCK.CEN-R-3892, 106 p. + Annex.
- Wemaere, I.; Marivoet, J.; Labat, S.; Maes, T.; Beaufays, R., 2005. Weelde boreholes of the hydro/96neb campaign: technical aspects and hydrogeological investigation. Restricted contract report SCK.CEN-R-4187 + Annex.
- Westerhoff, W.E., 2003a. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Sterksel. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINoloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-sterksel>).
- Westerhoff, W.E., 2003b. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Kiezeloöliet. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINoloket (<https://www.dinoloket.nl/kiezeloöliet-formatie>).
- Westerhoff, W.E., 2003c. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Breda. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINoloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-breda>).
- Westerhoff, W.E., 2009. Stratigraphy and sedimentary evolution. The lower Rhine-Meuse system during the Late Pliocene and early Pleistocene (southern North Sea Basin). Vrije Universiteit Academisch Proefschrift. TNO Geological Survey of the Netherlands - Geology of the Netherlands, 2, 168 p.
- Westerhoff, W.E., & Weerts, H.J.T., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Waalre. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, DINoloket (<https://www.dinoloket.nl/formatie-van-waalre>).
- 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 87-1: 107-125.
- Westerhoff, W.E.; Menkovic, A. & de Lang, F.D., 2009a. A revised lithostratigraphy of Upper Pliocene and Lower Pleistocene fluvial deposits from Rhine, Meuse and Belgian rivers in the Netherlands. In: W.E. Westerhoff, Stratigraphy and sedimentary evolution. VU Academisch Proefschrift". TNO Geological Survey of the Netherlands - Geology of the Netherlands, Vol. 2, chapter 2: 20-43.
- Westerhoff, W.E.; Weerts, H.J.T. & Menkovic, A., 2009b. The evolution of the lower Rhine-Meuse system during the Early Pleistocene (southern North Sea Basin). In: W.E. Westerhoff, Stratigraphy and sedimentary evolution. VU Academisch Proefschrift. TNO Geological Survey of the Netherlands - Geology of the Netherlands, Vol. 2, chapter 6: 121-147.
- Wittewrongel, Y. & Gullentops, F., 1996. Industriezand. In: L. Wouters & F. Gullentops, Delfstoffen in Vlaanderen, ALBON: 151-157.

Wong, Th.E.; de Lugt, I.R.; Kuhlmann, G. & Overeem, I., 2007. Tertiary. In : Th.E. Wong, D.A.J. Batjes & J. de Jager, Geology of the Netherlands. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences: 151-171.

Wouters, L. & Vandenberghe, N., 1994. Geologie van de Kempen. Een synthese. ONDRAF.NIRAS, 208 p.

Wouters, L. & Schiltz, M., 2011. Overview of field investigations in and around the nuclear site of Mol-Dessel. ONDRAF/NIRAS open report, 100 p. + ann.

Zonneveld, J.I.S., 1947. Het Kwartair van het Peelgebied en naaste omgeving. Mededelingen van de Geologische Stichting, Serie C-VI-3: 1-223.

Zonneveld, J.I.S., 1958, Litho-stratigrafische eenheden in het Nederlandse Pleistoceen. Mededelingen van de Geologische Stichting, Nieuwe Serie 12: 31-64.

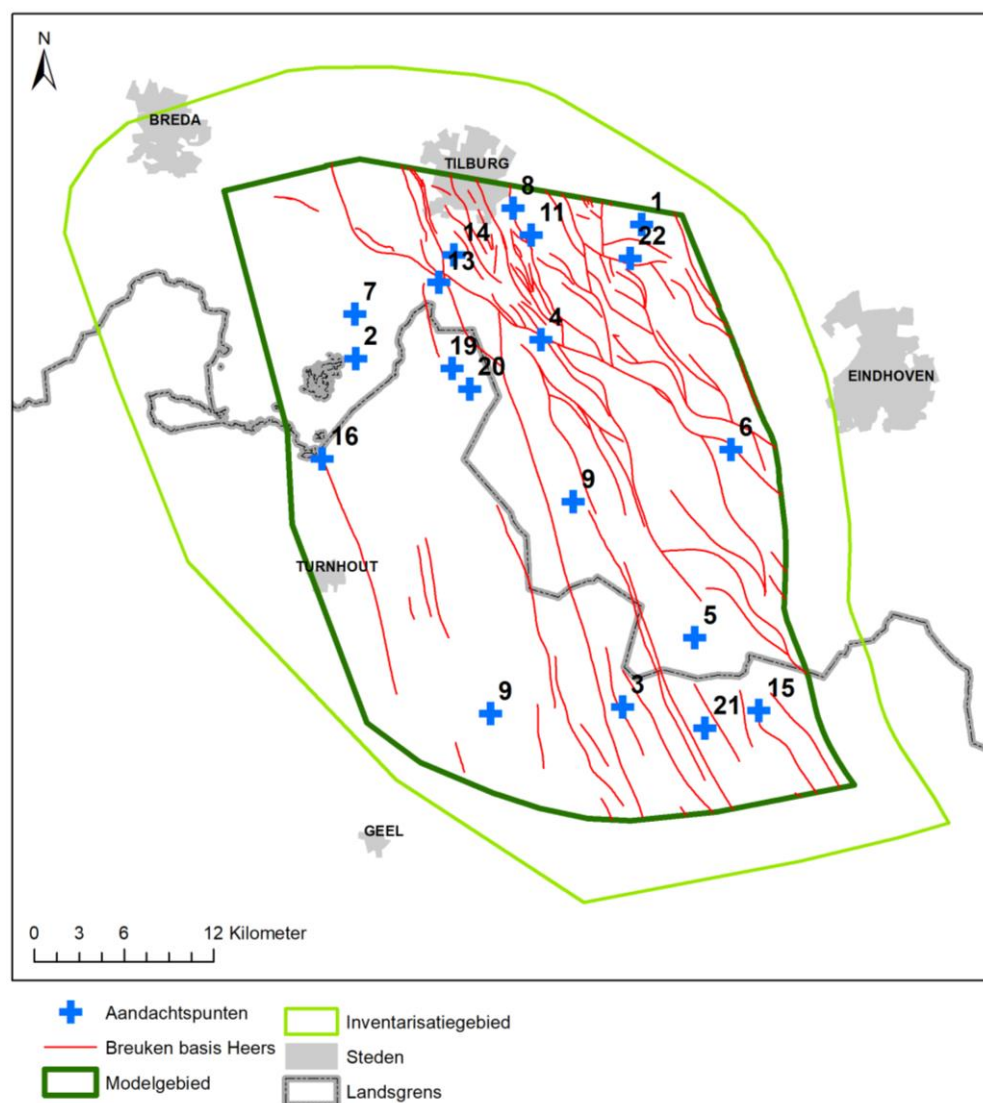
E Overzicht van de gemodelleerde eenheden en de daarbij gebruikte methodes

Modeleenheden geologisch model	Modeleenheden hydrogeologisch model	Modelleermethode
HL-c	HLc	Ondiepe methode
Boxtel	BXz2	Ondiepe methode
	BXLMk1	Ondiepe methode
	BXz3	Ondiepe methode
	BXk2	Ondiepe methode
	BXz4	Ondiepe methode
Sterksel	STz1	Ondiepe methode
	STk1	Ondiepe methode
	STz2	Ondiepe methode
Stramproy	SYz1	Ondiepe methode
	SYk1	Ondiepe methode
	SYz2	Ondiepe methode
	SYk2	Ondiepe methode
	SYz3	Ondiepe methode
Waalre	PZWAZ1	Ondiepe methode
	WAK1	Ondiepe methode
	PZWAZ2	Ondiepe methode
	WAK2	Ondiepe methode
	PZWAZ3	Ondiepe methode
	WAK3	Ondiepe methode
	PZWAZ4	Ondiepe methode
Maassluis	MSz1	Ondiepe methode
	MSk1	Ondiepe methode
	MSz2	Ondiepe methode
	MSk2	Ondiepe methode
Kiezeloöliet	MSz3	Ondiepe methode
	KIz1	Ondiepe methode
	KIk1	Ondiepe methode
	KIz2	Ondiepe methode
	KIk2	Ondiepe methode
Oosterhout	KIz3	Ondiepe methode
	OOz1	Ondiepe methode
	OOK1	Ondiepe methode
	OOz2	Ondiepe methode
	OOc	Ondiepe methode
Kasterlee (klei)	0242	Ondiepe methode
Diest	0252	Diepe methode - seismisch referentievlaak
Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Miocene zanden*	0253 + 02541	Diepe methode - invulling
Klei van Veldhoven	0255	Diepe methode - invulling
Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Miocene zanden*	2542	Diepe methode - invulling
Eigenbilzen	0256	Diepe methode - invulling
Boom	0300	Diepe methode - seismisch referentievlaak
Combinatie van Vroeg Oligocene zanden*	0430 + 0450	Diepe methode - seismisch referentievlaak
Maldegem (exclusief Wemmel)	0500	Diepe methode - seismisch referentievlaak
Combinatie van Vroeg tot Laat Eocene zanden*	0611+ 0612 + 0620 + 0640	Diepe methode - invulling
Kleig deel van Gentbrugge*	0701 + 0702	Diepe methode - invulling
Tielt	0800 + 0910	Diepe methode - invulling
Kortrijk	0920	Diepe methode - seismisch referentievlaak
Tienen	1012	Diepe methode - invulling
Hannut	1013 + 1014 + 1021 + 1022	Diepe methode - invulling
Heers (inclusief Maaseik)*	1023 + 1032	Diepe methode - seismisch referentievlaak

* Informele eenheden (in functie van de modellering)

F Overzicht van aandachtspunten en bekende fouten in de modellen

Deze bijlage geeft een overzicht van aandachtspunten en reeds bekende fouten in het geologische en hydrogeologische model. De locaties of gebieden waar deze punten spelen, zijn vastgelegd in de shapefile “aandachtspunten”. Het in deze bijlage vermelde volgnummer verwijst naar het attribuut “VOLGNUMMER” van deze shapefiles. In Figuur F.1 zijn de locaties van deze aandachtspunten aangegeven.



Figuur F.1 Ligging van aandachtspunten in het geologische en hydrogeologische model, stand 12/10/2017. Algemene aandachtspunten zijn niet in deze figuur aangegeven.

Geologisch model

Volgnummer	Omschrijving
1	In het noordoostelijk deel van het modelgebied zit een sprong in de basis Formatie van Boom. Deze sprong is afwezig in de basis van de Formatie van Kortrijk waardoor een verdikking tussen beide formaties ontstaat. Seismische interpretaties wijzen hier als oorzaak op een breuk die niet verder uitgekarteerd is door beperkte seismische dekking.
2	De verbreidingsgrens van het kleiig deel van Gentbrugge is conceptmatig gemodelleerd wegens beperkte informatie uit boringen binnen het modelgebied. Hierdoor is een rechtlijnig, geologisch eerder onrealistisch patroon in de oostelijke verbreidingsgrens ontstaan.
3	De verbreidingsgrens van Tielt is, in het zuidelijk deel van het modelgebied, conceptmatig gemodelleerd wegens beperkte informatie uit boringen binnen het modelgebied. Hierdoor is een rechtlijnig, geologisch eerder onrealistisch patroon in de zuidelijke verbreidingsgrens ontstaan.
4	In het model wordt de klei van Veldhoven aan de zuidkant voornamelijk begrensd door de Veldhoven breuk. Of de klei van Veldhoven daadwerkelijk niet meer voorkomt aan de zuidkant van deze breuk staat momenteel nog ter discussie. Een lemig lateraal equivalent van de klei van Veldhoven is onderscheiden in de Nederlandse boring Goirle (B50H0373), gelegen ten zuiden van de Veldhoven breuk. De Klei van Veldhoven werd verder geïnterpreteerd in de Nederlandse boringen B56F0006, B56F0006 en B57A0013 ten zuiden van de Veldhoven breuk, maar niet in de nabijgelegen Vlaamse boringen.
5	Middels een aanvullende correctie is de basis van vroeg-oligocene zanden en basis van de Formatie van Boom nabij de boringen BKZ-01 en HVB-01 aangepast. Een wat onrealistisch dikteverloop (randen) van de vroeg-oligocene zanden is aanwezig in gebieden met weinig boringen. Dit komt door een correctie van het seismisch geïnterpreteerd vlak naar de boringen BKZ-01 en HVB-01 toe.
6	Het diktegrid van de Formatie van Hannut laat een sterke toename zien bij de "zuidelijke" Veldhoven breuk. Op deze locatie zit de breuktrap inconsequent in het model.
7	Het dikteraster van de Formatie van Maldegem vertoont een lijnvormig raster-artefact dat veroorzaakt is door conversies tussen de coördinatenstelsels Lambert-72 en het Nederlandse RD.
8	Antropogene ophogingen zijn niet als aparte modelleenheid binnen het geologische en hydrogeologische model onderscheiden en samengenomen bij de onderliggende (hydro)geologische eenheid. Lokaal komen daardoor in de aan maaiveld gelegen modelleenheden verdikkingen voor die veroorzaakt worden door antropogene ophogingen.
9	Er is in gebieden sprake van interfingering van geologische eenheden. Een dergelijke complexe afwisseling van eenheden is op basis van de beschikbare gegevens en met de bestaande workflow niet te modelleren. In deze gebieden geeft het model daarom een vereenvoudigd beeld van de complexe geologische opbouw. (Op twee locaties aangegeven in Figuur F.1)

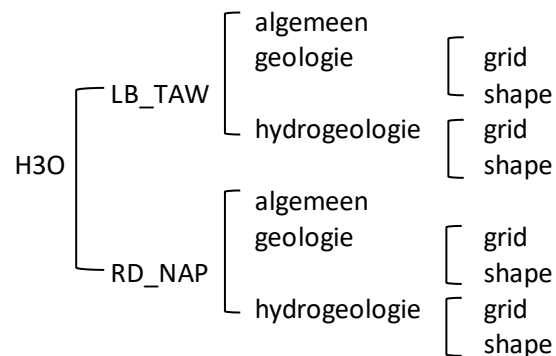
10	Ter hoogte van breuken kan soms een onrealistisch verloop van de eenheden voorkomen waarbij een eenheid die een verzet vertoont ook langs het breukvlak aanwezig is terwijl er logischerwijze sprake zou moeten zijn van een gat. (Algemeen punt waarvoor geen specifieke locatie is aangegeven in Figuur F.1)
11	Het Wilhelminakanaal ten noordoosten van de Beekse Bergen snijdt wellicht te diep in de formaties van Boxtel en Sterksel in omdat de bodemhoogte wellicht incorrect is.
12	In het Vlaamse deelgebied van het model zijn geen waterbodenhogten in het maaiveld- en waterbodenhogtebestand verwerkt. Daardoor is de top van de aan maaiveld gelegen eenheden te hoog ter plaatse van oppervlaktewater en is de dikte te groot. Deze afwijkingen zijn groter naarmate het oppervlaktewater dieper is. (Algemeen punt waarvoor geen specifieke locatie is aangegeven in Figuur F.1)
13	Het breukenpatroon van de Formatie van Oosterhout en de daarboven gelegen eenheden wijkt af van dat van de diepere eenheden wat onlogisch is.
14	Boring B50F0026 is foutief geïnterpreteerd waardoor het verloop van de formaties van Boxtel, Sterksel, Stramproy en Waalre in de naastgelegen boring B50F0158 een vreemd dikte- en diepteverloop vertonen.
15	Er is een grote onzekerheid omtrent het breukenverloop in deze regio.
16	Het noordelijke uiteinde van deze breuk is volgens het model gelegen op een seismische lijn. Dit is niet realistisch omdat er op deze seismische lijn nog een duidelijke breuksprong waarneembaar is. De breuk dient daarom te eindigen iets ten noorden van deze seismische lijn.

Hydrogeologisch model

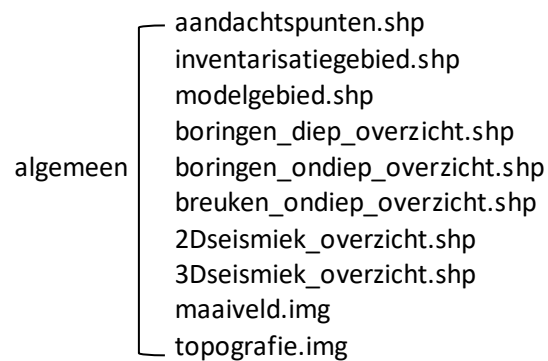
Volgnummer	Omschrijving
17	Insnijdingen in het maaiveld zoals zandwinputten en kanalen werken niet alleen door in de bovenste zandige hydrogeologische eenheid, maar ook in de direct daaronder gelegen zandige eenheden van dezelfde formatie, alhoewel de insnijding niet tot die diepte doorgaat. (Algemeen punt waarvoor geen specifieke locatie is aangegeven in Figuur F.1)
18	De consistentie van de breuksprongen is soms erratisch in het hydrogeologisch lagenmodel. (Algemeen punt waarvoor geen specifieke locatie is aangegeven in Figuur F.1)
19	Er is een grote onzekerheid omtrent het verloop van eenheid SYk1 in deze regio.
20	Er is een grote onzekerheid omtrent het verloop van eenheid OOk1 in deze regio.
21	Er is een grote onzekerheid omtrent de aanwezigheid van eenheid KIk1 in deze regio.
22	De top van eenheid KIk1 vertoont in dit gebied onnatuurlijke, lijnvormige sprongen in de diepteligging van ca. 2 m die niet samenhangen met de aanwezigheid van breuken. Deze sprongen komen eveneens voor in de dikte van deze eenheid en werken door in de bovenliggende eenheid KIk1.

G Overzicht shapefiles en rasters van de modellen

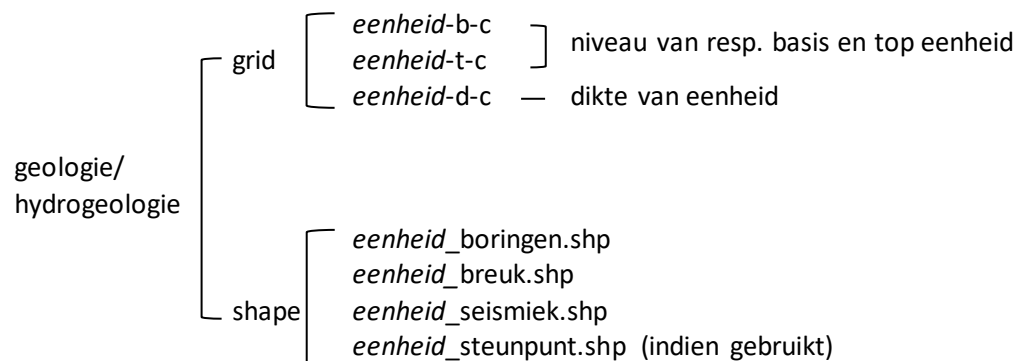
Dit document geeft een overzicht van de shapefiles en rasters zoals aanwezig in de MXD's van het geologische en hydrogeologische model van het H3O-project. De directory waarin de bestanden zijn opgeslagen is als volgt gestructureerd:



In de mappen “algemeen” staan shapefiles en grids die zowel voor het geologisch als het hydrogeologisch model van belang zijn:



In de mappen “grid” en “shape” van het geologische en het hydrogeologische model zijn de beschikbare bestanden per eenheid weergegeven:



H Attributen van de shapefiles van de modellen

Dit document geeft een overzicht van de shapefiles en de bijbehorende attribuutgegevens van het geologische en hydrogeologische model van het H3O-project. Enkel de attribuutgegevens die hieronder besproken worden zijn belangrijk. De attribuutgegevens die hieronder niet besproken worden (en in sommige shapefiles aanwezig zijn), zijn in dit kader niet van belang.

De attribuuttabel van alle shapefiles bevat enkele standaardkolommen:

Attribuutnaam	Omschrijving
FID	Volgnummer
Shape of Shape*	Type shapefile (Point, Point ZM, Polyline, Polyline ZM of Polygon)
ID	Bij het maken van sommige shapefiles wordt deze kolom automatisch gegenereerd; de inhoud is hier niet van belang.
Layer	Bij het maken van sommige shapefiles wordt deze kolom automatisch gegenereerd; de inhoud is hier niet van belang.

Algemeen

1. Aandachtspunten (H3OdeKempen_aandachtspunten.shp)

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

2. Overzicht boringen

- i. H3OdeKempen_boringen_ondiep_overzicht.shp
- ii. H3OdeKempen_boringen_diep_overzicht.shp

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
NR	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databanken DINO, NLOG (diepe boringen in Nederland) of DOV.	-	-
MV	Maaiveldhoogte van de boorlocatie ten tijde van de uitvoering, afhankelijk van de folder t.o.v. NAP of TAW	m	2

3. Overzicht 2D seismiek (H3OdeKempen_2Dseismiek_overzicht.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
LIJNNAAM	Naam van de seismische lijn	-	-
LENGTE	Lengte van de seismische lijn	km	6

4. Overzicht 3D seismiek (H3OdeKempen_3Dseismiek_overzicht.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
SURVEYNAAM	Naam van de seismische campagne	-	-
OPPERVLAKTE	Oppervlakte van de 3D survey	km ²	6

5. Shapefiles zonder extra kolommen:
- i. Ondiepe breuken (H3OdeKempen_breuken_ondiep_overzicht.shp)
 - ii. Modelgebied (H3OdeKempen_modelgebied.shp)
 - iii. Inventarisatiegebied (H3OdeKempen_inventarisatiegebied.shp)

Geologisch en Hydrogeologisch model

6. Boringen (H3OdeKempen_eenheid_boringen.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
NR	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 de folder t.o.v. NAP of TAW. Bij boringen die de top van de eenheid niet bereiken hebben "-9999"	m	0-2
BASIS	Hoogte van de geïnterpreteerde basis van de eenheid, afhankelijk van de folder t.o.v. NAP of TAW. Bij boringen die de basis van de eenheid niet bereiken hebben "-9999"	m	0-2
TYPE	"aanwezig" als de eenheid volledig aanwezig is in de boring, "afwezig" als de eenheid afwezig is in de boringen en "dieper dan" als de eenheid in de boring werd aangetroffen, maar de basis niet eenduidig geïnterpreteerd kon worden, waardoor een maximum hoogte voor de basis in deze boringen werd bepaald	-	-

7. Steunpunten voor ondiepe eenheden (H3OdeKempen_eenheid_steunpunt.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
NR	Willekeurige nummer van het steunpunt	-	-
BASIS	Hoogte van het steunpunt ten opzichte van het referentieniveau, afhankelijk van de folder t.o.v. NAP of TAW	m	2
GEOLOOG	Afkorting van de naam van de geoloog of modelleur die het steunpunt heeft toegevoegd	-	-
OPMERKING	Reden voor het plaatsen van het steunpunt	-	-

8. Steunpunten voor diepe eenheden (H3OdeKempen_eenheid_steunpunten.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
STEUNPUNT	Willekeurige nummer van het steunpunt	-	-
BASIS	Diepte van het steunpunt in tijd (ms)	milliseconden(ms)	0-2
GEOLOOG	Afkorting van de naam van de geoloog of modelleur die het steunpunt heeft toegevoegd	-	-
OPMERKING	Reden voor het plaatsen van het steunpunt	-	-

9. Seismische interpretaties (H3OdeKempen_eenheid_seismiek.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
BASIS	Diepte van de seismische interpretatie van de basis van de betreffende eenheid in tijd (ms)	milliseconden(ms)	2-6

10. Shapefiles zonder extra kolommen:

- Breuken (H3OdeKempen_eenheid_breuk.shp)