



**TNO-rapport 2023 R10347**  
**VITO-rapport 2023/RMA/R/2906**  
**BGD-rapport 2023/02**

## Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Belgisch-Nederlandse grensstreek van De Noorderkempen/West-Brabant (H3O-De Voor Kempen)

Datum	19 april 2023
Auteur(s)	R.W. Vernes (Red., TNO-GDN) J. Deckers (VITO) J. Walstra (BGD-KBIN) A.F. Kruisselbrink (TNO-GDN) A. Menkovic (TNO-GDN) F. Bogemans (BGD-KBIN) M. De Ceukelaire (BGD-KBIN) K. Dirix (VITO) M. Duser (BGD-KBIN) H.J. Hummelman (TNO-GDN) R. Maes (VITO) B. Meyvis (BGD-KBIN) D.K. Munsterman (TNO-GDN) R. Reindersma (TNO-GDN) B. Rombaut (VITO) K. Van Baelen (VITO) T.J.M. van de Ven (TNO-GDN) T. Van Haren (VITO) K. Welkenhuysen (BGD-KBIN)
Aantal pagina's	149 (excl. bijlagen)
Aantal bijlagen	7
Opdrachtgevers	Vlaams Planbureau voor Omgeving Vlaamse Milieumaatschappij Belgische Geologische Dienst van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen TNO, Geologische Dienst Nederland Nederlandse Provincie Noord-Brabant Brabant Water
Projectnaam	H3O-De Voor Kempen
Projectnummers	060.37187 (TNO) 191004501_VLAKO_H3OVK (VITO)
Depotnummer	D/2023/3241/093 (Vlaamse Overheid)

## Samenvatting

Zowel in Nederland als Vlaanderen speelt de ondergrond, met de daarin aanwezige natuurlijke grondstoffen, een belangrijke rol in diverse actuele maatschappelijke thema's, zoals de energietransitie en de drinkwatervoorziening. Terwijl het voorkomen en gedrag van delfstoffen, grondwater en aardwarmte niet aan landsgrenzen gebonden zijn, hebben de beheerders ervan in de grensstreek te maken met inconsistenties en onzekerheden in ondergrondinformatie. Daarom leefde bij partijen in Nederland (provincie Noord-Brabant, Brabant Water en TNO-Geologische Dienst Nederland) en België (Vlaams Planbureau voor Omgeving, de Vlaamse Milieumaatschappij en de Belgische Geologische Dienst) de wens om na eerdere succesvolle projecten in de Roerdalslenk (H3O-Roerdalslenk) en de Kempen (H3O-De Kempen), meer kennis van de ondergrond uit te wisselen, en de (hydro)geologische modellen van Nederland en Vlaanderen verder op elkaar af te stemmen. Deze wens heeft geleid tot een vervolgproject in het grensgebied van de Noorderkempen en West-Brabant (H3O-De Voorkempen).

Het doel van dit derde Nederlands-Belgische H3O-project was het gezamenlijk samenstellen van grensoverschrijdende driedimensionale geologische en hydrogeologische lagenmodellen van het grensgebied van de Noorderkempen en West-Brabant, op basis van de meest recente gegevens, kennis en inzichten, zodanig dat deze modellen een consistent geheel vormen en voor dit gebied als referentiemodellen kunnen worden beschouwd.

Het project is in de periode van februari 2020 tot april 2023 uitgevoerd door TNO Geologische Dienst Nederland, de Vlaamse organisatie VITO en de Belgische Geologische Dienst.

Het project kende als belangrijkste stappen:

- inventarisatie en vergaring van data;
- correlatie tussen Nederlandse en Vlaamse (hydro)geologische eenheden;
- (her)interpretatie van bestaande gegevens;
- modellering in 3D van de ondergrond op basis van de geactualiseerde interpretaties.
- beschrijving, in de vorm van het voorliggende rapport, van de gevolgde werkwijze en resultaten van het project.

Afwijkend van voorgaande H3O-projecten in de Belgische-Nederlandse grensstreek, zijn in de Belgische en Nederlandse deelgebieden de landseigen (hydro)geologische indelingen aangehouden bij de interpretatie van de bestaande gegevens en de modellering. Ook is de modellering van de ondiepe modeleenheden per deelgebied uitgevoerd waarbij de bestaande methodes van VITO en TNO zijn gebruikt. Deze vernieuwde werkwijze, die erop gericht was om ervaring op te doen voor een toekomstgerichte, duurzame afstemming van de landelijke referentiemodellen, is uitvoerbaar gebleken.

De belangrijkste resultaten en conclusies zijn:

- Ten behoeve van de (hydro)geologische modellering van de ondergrond is 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.
- Van het modelgebied zijn geologische en hydrogeologische modellen van het Cenozoïcum samengesteld conform de Nederlandse en Belgische litho- en hydrostratigrafische indelingen.
- In deze modellen komen langs de grens geen aansluitingsproblemen meer voor.
- Ten opzichte van de Vlaamse G3Dv3- en H3Dv2-modellen zijn het Neogeen en Quartair nu verder gedifferentieerd. Het Paleogeen is daarentegen minder gedifferentieerd omdat in Nederland het Paleogeen lithostratigrafisch nog niet in hetzelfde detail is onderverdeeld. Daar staat tegenover dat het Paleogeen ook op basis van seismische data is gemodelleerd, wat voor meer detail in de modelvlakken zorgt, en op die plaatsen van extra data dan ook een afwijkend, verbeterd resultaat geeft.
- De modelresultaten vormen verbeteringen en detailleringen van de bestaande Nederlandse (hydro)geologische modellen. Ten opzichte van het model DGM-diep v5.0 is het paleogene interval sterk gedifferentieerd. Aangevoerd is dat een verdere onderverdeling van het Laagpakket van Ieper van de Formatie van Dongen (NL) conform de Belgische indeling mogelijk is. In vergelijking tot DGM v2.2 en REGIS II v2.2 zijn de afzonderlijke laagpakketten en de daarbinnen onderscheiden hydrogeologische eenheden van de formaties van Oosterhout (NL) en Waalre (NL) en de nieuw voorgestelde, maar nog niet formeel geaccepteerde formaties van Diessen en Groote Heide (NL), nu apart onderscheiden.
- Voor een goede aansluiting van de landelijke referentiemodellen langs de grens dienen de (hydro)stratigrafische indelingen van de buurlanden ook in de toekomst geharmoniseerd te blijven.

Periodiek worden nieuwe versies van de Vlaamse en Nederlandse (hydro)geologische referentiemodellen uitgebracht. Gezien de onafhankelijkheid van de Vlaamse en Nederlandse karterprogramma's wordt aanbevolen om een gezamenlijk protocol op te stellen dat bij deze revisies wordt gevolgd om de gewestelijke/landelijke referentiemodellen ook in de toekomst consistent te houden langs de grens.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>6</b>
1.1	Achtergrond project H3O-De Voorkempen .....	6
1.2	Probleemstelling .....	6
1.3	Doelstelling .....	7
1.4	Projectgebied .....	7
1.5	Begrenzing in de diepte .....	9
1.6	Projectorganisatie .....	9
1.7	Leeswijzer .....	9
<b>2</b>	<b>Algemene werkwijze .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Datavoorbereiding .....</b>	<b>11</b>
3.1	Basisgegevens .....	11
3.2	Boringen .....	12
3.3	Boorgatmetingen .....	18
3.4	Seismiek .....	20
3.5	Breukenbestand .....	24
3.6	Maaiveldhoogtebestand .....	24
3.7	Conversies .....	24
3.8	Palynologisch onderzoek aan enkele Nederlandse boringen .....	25
<b>4</b>	<b>Correlatie lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden .....</b>	<b>26</b>
4.1	Opstellen lithostratigrafische en hydrogeologische correlatietabel .....	26
4.2	Samenstellen correlatieprofielen .....	29
4.3	Opstellen chrono-lithostratigrafische correlatietabel en conceptueel geologisch profiel .....	37
4.4	Definitie informele (hydro)geologische eenheden .....	40
4.5	Toelichting bij de geologische eenheden .....	41
<b>5</b>	<b>(Her)interpretaties boorgegevens en seismische gegevens .....</b>	<b>42</b>
5.1	(Her)interpretaties boorgegevens .....	42
5.2	(Her)interpretaties seismische gegevens .....	47
<b>6</b>	<b>Vaststellen modeleenheden .....</b>	<b>56</b>
6.1	Algemeen .....	56
6.2	Diepe modeleenheden .....	59
6.3	Ondiepe modeleenheden .....	60
<b>7</b>	<b>Modellering geologische en hydrogeologische eenheden .....</b>	<b>63</b>
7.1	Keuze modelleringsmethodes .....	63
7.2	Keuze stratigrafie .....	63
7.3	Werkwijze diepe deelmodellen .....	64
7.4	Werkwijze ondiepe deelmodellen .....	77
<b>8</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>86</b>
8.1	Algemeen .....	86
8.2	Nieuwe Nederlandse modeleenheden ten opzichte van de referentiemodellen .....	90

8.3	Nieuwe Belgische modeleenheden ten opzichte van de referentiemodellen .....	92
8.4	Overige belangrijke verschillen met voorgaande modellen .....	94
8.5	Onzekerheidsanalyse .....	97
8.6	Beschrijving resultaten modellen .....	101
<b>9</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>137</b>
9.1	Conclusies .....	137
9.2	Aanbevelingen .....	141
<b>10</b>	<b>Dankwoord .....</b>	<b>145</b>
<b>11</b>	<b>Literatuurlijst.....</b>	<b>146</b>
<b>12</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>149</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Werkwijze gevolgd bij het samenstellen van het maaiveld- en waterbodemhoogtebestand	
	B Parameters voor de transformaties van coördinaten van RD naar Lambert 72 en van Lambert 72 naar RD in ArcGIS 10.4 of hoger	
	C Uitgevoerd palynologisch onderzoek	
	D Correlatieprofielen	
	E Toelichtingen bij de geologische eenheden	
	F Aandachtspunten en bekende fouten in de modellen	
	G Bestandsformaten en attributen	

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond project H3O-De Voorkempen

Dit rapport beschrijft de totstandkoming van een 3D geologisch en hydrogeologisch model van het Cenozoïcum<sup>1</sup> in de Belgisch-Nederlandse grensstreek van de Noorderkempen en West-Brabant.

Zowel in Nederland als Vlaanderen speelt de ondergrond, met de daarin aanwezige natuurlijke grondstoffen, een belangrijke rol in diverse actuele maatschappelijke thema's, zoals de energietransitie en de drinkwatervoorziening. Terwijl het voorkomen en gedrag van delfstoffen, grondwater en aardwarmte niet aan landsgrenzen gebonden zijn, hebben de beheerders ervan in de grensstreek te maken met inconsistenties en onzekerheden in ondergrondinformatie. Daarom leeft bij partijen in Nederland (provincie Noord-Brabant, Brabant Water en TNO-Geologische Dienst Nederland) en België (Vlaams Planbureau voor Omgeving, de Vlaamse Milieumaatschappij en de Belgische Geologische Dienst) de wens om na eerdere succesvolle projecten in de Roerdalslenk (H3O-Roerdalslenk) en de Kempen (H3O-De Kempen), meer kennis van de ondergrond uit te wisselen, en de (hydro)geologische modellen van Nederland en Vlaanderen verder op elkaar af te stemmen.

Aansluitend op de afronding van het project H3O-De Kempen zijn vanaf het najaar van 2018 door de projectpartners de mogelijkheden voor een vervolgpriject verkend. Aan deze gesprekken hebben de volgende organisaties deelgenomen:

- het Vlaams Planbureau voor Omgeving van de Vlaamse Overheid (VPO);
- de Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM);
- de Belgische Geologische Dienst (BGD-KBIN);
- het Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO);
- de Nederlandse provincie Noord-Brabant;
- het drinkwaterbedrijf Brabant Water;
- TNO-Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN).

Op grond van de wensen, prioriteiten en de beschikbare budgetten is geconcludeerd dat een vervolgpriject in het grensgebied van de Noorderkempen en West-Brabant (H3O-De Voorkempen) wenselijk is, waarbij de ondergrondmodellen van Vlaanderen en Nederland verder op elkaar worden afgestemd.

## 1.2 Probleemstelling

Geologische en hydrologische processen houden geen rekening met landsgrenzen. Om die reden is bij het beheer en gebruik van de ondergrond en de daarin aanwezige delfstoffen in grensregio's (hydro)geologische informatie uit het buurland vereist. Door verschillen in regelgeving kan de toegankelijkheid van dergelijke informatie een probleem vormen. Daarnaast heeft elk land een eigen

---

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

(hydro)geologische indeling van de ondergrond met bijbehorende naamgeving en criteria, wat het zoeken naar en gebruik van bruikbare 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:

- het niet op elkaar aansluiten van breuken;
- sprongen in de diepteligging en dikte van (hydro)geologische lagen;
- het niet over de grens kunnen vervolgen van laaggrenzen;
- 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 de projectuitvoering en tot een grotere onzekerheid in onderzoeksresultaten.

### 1.3 Doelstelling

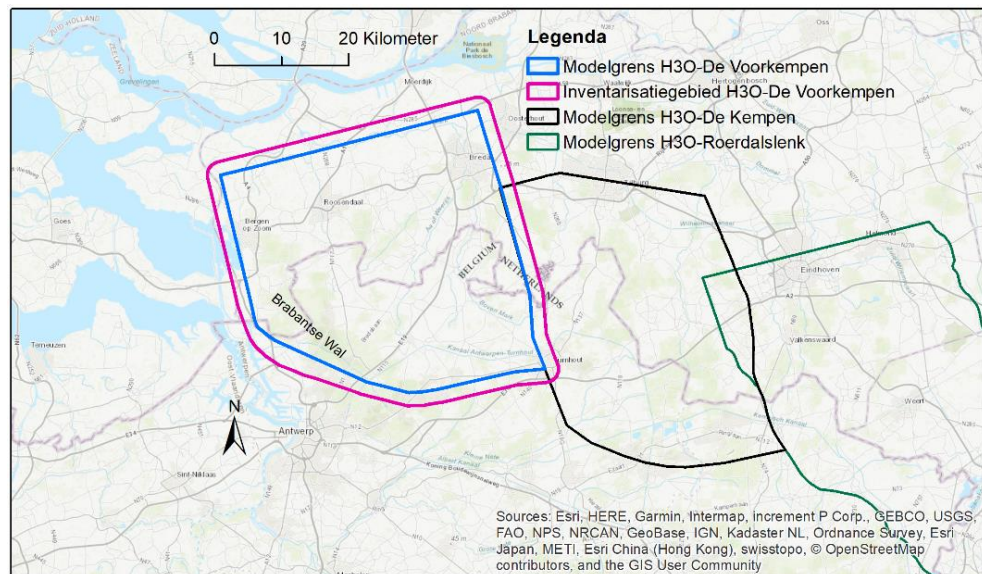
De algemene doelstelling die door de H3O-projecten wordt nagestreefd is: “Het verhelpen van aansluitproblemen tussen de bestaande geologische en hydrogeologische lagenmodellen van Nederland en Vlaanderen.”

De specifieke doelstelling van het project H3O-De Voorkempen is: “Het gezamenlijk samenstellen van 3D geologische en daarop gebaseerde hydrogeologische lagenmodellen van het Cenozoïcum van het Nederlandse en het Vlaamse deel van het projectgebied De Voorkempen, op basis van de meest recente gegevens, kennis en inzichten, zodanig dat deze modellen een consistent geheel vormen en door Vlaamse en Nederlandse partijen beschouwd worden als state-of-the-art modellen van dit gebied. De modellen dienen zo goed mogelijk aan te sluiten op bestaande referentiemodellen, zoals de G3Dv3- en H3Dv2-modellen in Vlaanderen, de modellen DGM, DGM-diep en REGIS II in Nederland, alsook op de modellen van de projecten H3O-De Kempen en H3O-Roerdalslenk Noordwest. Door voortschrijdende inzichten valt het echter niet uit te sluiten dat er voor bepaalde eenheden een afwijking zal zijn ten opzichte van voorgaande projectresultaten.”

### 1.4 Projectgebied

Bij het vaststellen van de begrenzing van het projectgebied, zie Figuur 1, is rekening gehouden met de verschillende activiteiten die bij het samenstellen van een geologisch en hydrogeologisch model dienen plaats te vinden. Deze activiteiten kunnen elk betrekking hebben op gebieden van verschillende omvang. Belangrijk is om een onderscheid te maken tussen:

- Het modelgebied: De begrenzing van het gebied waarbinnen de (hydro)geologische opbouw zal worden gemodelleerd.
- Het inventarisatiegebied: De begrenzing van het gebied waarbinnen de data-inventarisatie en -interpretatie zullen plaats vinden. Om randeffecten in de modellen te voorkomen, wordt, afhankelijk van de datadichtheid, een zone van ten minste 1,5 tot 3 km rondom het modelgebied aangehouden.



Figuur 1. Overzicht van het model- en inventarisatiegebied van H3O-De Voorkempen, alsook de modelgrenzen van de vorige grensoverschrijdende H3O-projecten.

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

- de ligging ten opzichte van de modelgebieden van voorgaande H3O-projecten;
- de geologische opbouw van het gebied;
- de omvang van het model- en inventarisatiegebied en de hoeveelheid binnen het inventarisatiegebied gelegen boringen en seismische data.

De oostelijke grens van het modelgebied valt samen met de westelijke begrenzings van de modelgebieden van het project H3O-De Kempen (zie Vernes et al., 2018) en het niet grensoverschrijdende project H3O-Roerdalslenk Noordwest (zie Vernes et al., 2023). De zuidgrens volgt de microcuesta van de Kempen. In het westen sluit deze microcuesta aan op de Brabantse Wal. De westelijke begrenzing van het modelgebied is gelegd langs de rand van dit topografisch hooggelegen gebied en valt globaal samen met de oostelijke grens van de Holocene mariene afzettingen. De verspreidingsgrens van Holocene mariene afzettingen is eveneens globaal aangehouden in het noorden. De begrenzing ligt daar in het verlengde van de noordgrens van het modelgebied van het eerdergenoemde project H3O-Roerdalslenk Noordwest.

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 Voorkempen.

	Modelgebied		Inventarisatiegebied	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Nederland	822,6	57,2	1012,3	57,5
België	616,2	42,8	747,7	42,5
<i>Totaal</i>	<i>1438,8</i>	<i>100,0</i>	<i>1760,0</i>	<i>100,0</i>



## 1.5 Begrenzing in de diepte

Overeenkomstig de voorgaande H3O-projecten beperken de (hydro)geologische modellen zich tot de afzettingen uit het Cenozoïcum. Een uitzondering hierop vormen de paleocene kalkstenen die aan de basis van dit pakket van afzettingen voorkomen. Deze paleocene kalkstenen vormen een logische geheel met de onderliggende kalkstenen uit het Boven-Krijt en zijn om die reden niet in de (hydro)geologische modellen meegenomen. De ondergrens van de modellen wordt daarmee gevormd door de basis van de Formatie van Heers (BE)/Formatie van Landen (NL) of de basis van jongere eenheden, daar waar deze formaties afwezig zijn. Om het tekstueel eenvoudig te houden, wordt in het vervolg van dit rapport gesproken over het *cenozoïsche bereik* om het verticale bereik van het project aan te geven.

## 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.

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. Daarnaast is een groep samengesteld die instaat voor de kwaliteitscontrole. Deze mensen zijn allen verbonden aan de betrokken partners, maar niet noodzakelijk bij het project.

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

Opdrachtgevers:

- Jeroen Castelijns (Brabant Water);
- Katrien De Nil (VPO);
- Erik Heskes (Provincie Noord-Brabant);
- Vanessa Heyvaert (BGD-KBIN);
- Michiel van der Meulen (TNO-GDN, als gedelegeerd opdrachtgever);
- Cis Slenter en Jan Corluy (VMM).

Uitvoerders:

- Jef Deckers (VITO);
- Ronald Vernes (TNO-GDN);
- Jan Walstra (BGD-KBIN).

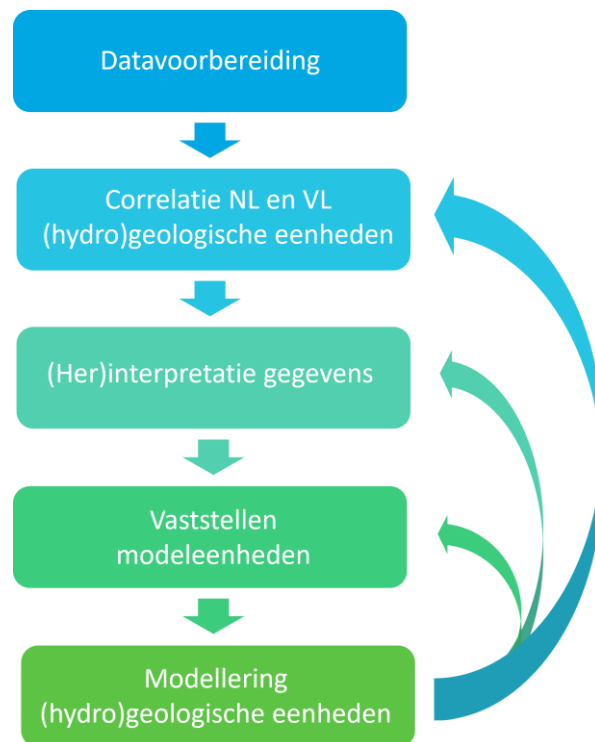
## 1.7 Leeswijzer

Een korte inleiding op de gevolgde werkwijze is opgenomen in Hoofdstuk 2. In de daaropvolgende Hoofdstukken 3 tot en met 7 zijn de opeenvolgende hoofdactiviteiten uitvoerig beschreven. De resultaten worden in hoofdstuk 8 toegelicht. Het rapport wordt in Hoofdstuk 9 afgesloten met de conclusies en aanbevelingen, gevolgd door de literatuurlijst en de ondertekening.

## 2 Algemene werkwijze

Bij de uitvoering van het project “H3O-De Voorkempen” zijn vijf hoofdactiviteiten onderscheiden die volgens een iteratief proces zijn doorlopen (Figuur 2). In dit proces worden geconstateerde fouten en onvolkomenheden uit een vorige hoofdactiviteit eerst verbeterd, voordat de uitvoering van de daaropvolgende hoofdactiviteit wordt voortgezet en afgerond. Deze hoofdactiviteiten zijn in de volgende hoofdstukken in detail beschreven.

Opgemerkt dient te worden dat in het modelgebied geen relevante breuken in het Cenozoïcum voorkomen. Afwijkend van voorgaande H3O-projecten is daarom geen hoofdactiviteit “Modellering breukvlakken” uitgevoerd.



Figuur 2. Algemene workflow van het project “H3O-De Voorkempen” met de vijf onderscheiden hoofdactiviteiten.

## 3 Datavoorbereiding

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

### 3.1 Basisgegevens

Het ondergrensvlak van het vervaardigde geologische en hydrogeologische model valt samen met de top van de kalkstenen uit het Paleoceen of Boven-Krijt. Boringen bereiken dit grensvlak 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. Gegevens zoals sonderingen en geo-elektrische metingen, die daarop een aanvulling kunnen vormen, zijn vanwege de kosten en in lijn met voorgaande H3O-projecten en de werkwijze van de voorgaande Vlaamse en Nederlandse referentiemodellen in de regio niet meegenomen. Voor de top van het model zijn ook actuele maaiveldhoogtebestanden van het inventarisatiegebied verzameld.

Naast deze ruwe data, kon er ook beroep worden gedaan op reeds bestaande geologische en hydrogeologische kaarten en modellen. Voor het Nederlandse deel van het projectgebied is uitgegaan van de volgende digitale modellen en bestanden:

- het voxelmodel GeoTOP versie 1.4;
- het Digitaal Geologische Model (DGM)-ondiep, versie 2.2;
- het hydrogeologische model REGIS II, versie 2.2;
- het Digitaal Geologische Model (DGM)-diep, versie 4.0;
- het Nederlandse deel van het geologische en hydrogeologische model van het project H3O-De Kempen;
- het geologische en hydrogeologische model van het niet grensoverschrijdende project H3O-Roerdalslenk Noordwest;
- digitale kaartbestanden van de gecombineerde kaartbladen XI Middelburg-Breskens en XII Roosendaal-Terneuzen (TNO, 2003) en XIII Breda-Valkenswaard en XIV Oss-Roermond (TNO, 2001) van de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond.

Voor het Vlaamse deel zijn het Geologisch 3D-Lagenmodel van Vlaanderen, versie 3 (geologische G3Dv3) en het Hydrogeologisch 3D-Lagenmodel van Vlaanderen, hydrogeologische H3Dv2, de meest recente modellen in het inventarisatiegebied (Deckers et al., 2019). In het G3Dv3-model alsook het H3Dv2-model zijn de resultaten van de projecten H3O-De Roerdalslenk en H3O-De Kempen geïntegreerd, en lokaal ook aangepast of aangevuld met extra eenheden conform de rest van het model.

Volgens de hierboven beschreven modellen bevinden er zich in het modelgebied – in tegenstelling tot de voorgaande H3O-projecten – geen breuken in het dieptebereik van maaiveld tot aan de top van de kalkstenen uit het Paleoceen en Boven-Krijt.

De hierboven beschreven geïnventariseerde basisgegevens zijn afkomstig uit de volgende bronnen:

- de databank DINO (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) van TNO;
- de databank BRO (Basisregistratie Ondergrond);
- de databank DOV (Databank Ondergrond Vlaanderen) van de Vlaamse overheid;
- de archieven van de Belgische Geologische Dienst (Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen – Wetenschappelijke Dienst Patrimonium);
- 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. Wel is palynologisch onderzoek gedaan op monsters uit bestaande boorkernen, zie paragraaf 3.8.

Bovenstaande databanken bevatten zowel openbare als confidentiële gegevens. Alle confidentiële gegevens mogen door de projectpartners gebruikt worden voor wetenschappelijk gebruik binnen het project; de ruwe data worden alleen in figuren gepresenteerd als daarvoor expliciet toestemming verleend is door de eigenaren.

## 3.2 Boringen

### *Gegevensbronnen*

De boorgegevens zijn ontleend aan:

- de databank DINO;
- de databank DOV;
- het archief van de BGD.

### *Selectie*

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 specificaties van de modellen DGM, REGIS II, G3Dv3 en H3Dv2**

Het project heeft als doel om de Nederlandse en Vlaamse referentiemodellen naadloos op elkaar aan te laten sluiten in de grensstreek. Deze referentiemodellen zijn gemaakt volgens vastgestelde, maar onderling verschillende specificaties, waaronder specificaties die betrekking hebben op de basisgegevens waarop de modellen zijn gebaseerd. Er wordt bij deze modellen uitgegaan van een selectieset van boringen. Belangrijke criteria bij het vaststellen van deze selectiesets zijn:

- beschikbare budget;
- kwaliteit van de boorbeschrijving;
- aanwezigheid van een boorgatmeting;
- einddiepte;
- ligging ten opzichte van andere boringen en breuken;
- aanwezigheid en betrouwbaarheid van een bestaande stratigrafische interpretatie.

Deze criteria zijn hieronder toegelicht.

### **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 kwaliteit van de boorbeschrijving**

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 aanwezigheid van een boorgatmeting**

Geofysische boorgatmetingen, in het bijzonder van de natuurlijke gammastraling, elektrische weerstand en seismische voortplantingssnelheid, zijn erg waardevol bij het interpreteren van de boringen. Op basis van boorgatmetingen kan namelijk een beter onderbouwde en meer nauwkeurige interpretatie worden opgesteld, zeker indien de kwaliteit van de boorbeschrijving beperkt is en/of de lithologische contrasten in de boorbeschrijving gering zijn. Boringen waarin de seismische voortplantingssnelheid is gemeten maken het daarnaast mogelijk om een goede omrekening van de seismische interpretatie, die in tijd is, naar diepte uit te voeren.

### **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.

### **De ligging van boringen ten opzichte van andere boringen en breuken**

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. Afhankelijk van de gebruikte methode van modelleren kunnen dicht bij elkaar gelegen boringen met grote verschillen in interpretatie tot artefacten leiden bij de

ruimtelijke interpolatie. Dit is het geval bij de methode die gebruikt wordt bij het maken van de Nederlandse modellen DGM en REGIS II.

### **De aanwezigheid en betrouwbaarheid van een bestaande stratigrafische interpretatie**

Een deel van de boringen in de databanken is reeds eerder geologisch geïnterpreteerd. Dergelijke boringen zijn zondermeer interessant om in de selectieset op te nemen want een deskundige heeft al naar de boring gekeken en het moeite waard gevonden om deze te interpreteren. Echter, indien de boorbeschrijving kwalitatief slecht is kan de interpretatie van een of meerdere eenheden in een boring ook foutief of onbetrouwbaar zijn. Om die redenen kan de boring als onbruikbaar worden geacht en toch uit de selectiesets zijn gelaten.

De selectiesets van de bestaande referentiemodellen vormen logischerwijs het uitgangspunt voor het huidige project. Doordat er aan Nederlandse en Vlaamse zijde verschillend is omgegaan met de hierboven opgesomde criteria (vanwege bijv. verschillen in doelstelling, detail, methodologie, ... van de referentiemodellen), is ook de resulterende selectieset van boringen verschillend tussen beide landen.

Voor het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied is uitgegaan van de selectieset van matig diepe boringen (mechanische boringen, meestal dieper dan 10 meter en ondieper dan 500 meter) die gebruikt is voor de modellen DGM/REGIS II v2.2. Deze selectieset, die de beste, meest representatieve, matig diepe boringen omvat, is op basis van bovengenoemde criteria aangevuld met een nagenoeg even groot aantal matig diepe boringen, en alle niet-confidentiële olie- en gasboringen. Opgemerkt dient te worden dat 423 boringen met een diepte tussen 20m en 100m buiten de selectie zijn gelaten. Deze boringen, waarvan een deel gelegen is in gebieden met een lage dichtheid aan boringen, voldoen niet aan de gewenste minimale kwaliteit en zouden, indien wel meegenomen, een negatief effect op de modelresultaten hebben.

Voor het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied is uitgegaan van de selectiesets van boringen die gebruikt zijn voor enerzijds de G3Dv3- en H3Dv2-modellen en anderzijds de Quartair-geologische kartering. De boringen voor het G3Dv3-model omvatten veel detail onder het quartaire bereik. De boringen van de Quartair-geologische kartering vullen deze aan met meer detail voor het quartaire bereik. Voor de boringen van het G3Dv3-model zijn diegene die beschikken over boorgatmetingen reeds grondig gecontroleerd over het gehele bereik van deze boorgatmeting.

De selectiesets zijn tevens uitgebreid met boringen die buiten het inventarisatiegebied vallen. Het meenemen van de boringen ten oosten van het inventarisatiegebied biedt houvast tijdens de seismische interpretatie en zorgt voor consistentie tussen het project H3O-De Voorkempen en H3O-Roerdalslenk Noordwest. De boringen ten noorden van het inventarisatiegebied bieden mogelijk inzicht in de differentiatie van de leper klei (zie Paragraaf 3.8). De boringen ten zuidwesten van het inventarisatiegebied bieden inzichten in het verdere verloop en voorkomen van de paleogene eenheden.

### *Vertrouwelijkheid*

De selectieset bevat geen vertrouwelijke Nederlandse boringen. De geselecteerde gegevens in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied omvatten 39 boringen die als vertrouwelijk worden beschouwd, waarvan 38 van Fluxys en een van NIRAS-SCK. De vertrouwelijke boringen van Fluxys zijn uit de opgeleverde interpretatiesets gelaten.

### *Controle*

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. Bij een tiental locaties van Brabant Water ontbreken boorbeschrijvingen maar zijn wel boorgatmetingen aanwezig. Voor deze locaties zijn boorbeschrijvingen door Brabant Water aangeleverd. Na invoering van de boorbeschrijvingen in DINO database zullen deze locaties aan de selectieset toegevoegd worden. De gegevens van de geselecteerde Vlaamse boringen zijn bij aanvang van het project zorgvuldig gecontroleerd en waar nodig verbeterd of aangevuld door VPO, VITO en de BGD. Het gaat daarbij met name om de juiste koppeling tussen boornummers, boorbeschrijvingen en bijbehorende interpretaties, en de aanvulling van ontbrekende einddieptes.

### *Bewerkingen*

Omdat de selectieset van Vlaamse boringen uit diverse databronnen is samengesteld, is het noodzakelijk om de verschillende interpretaties te combineren tot één consistent geheel. De volgende gegevens zijn daarbij gecombineerd:

- formele stratigrafie uit DOV;
- informele stratigrafie uit DOV;
- interpretaties uit de Quartair-kartering;
- interpretaties uit G3Dv3.

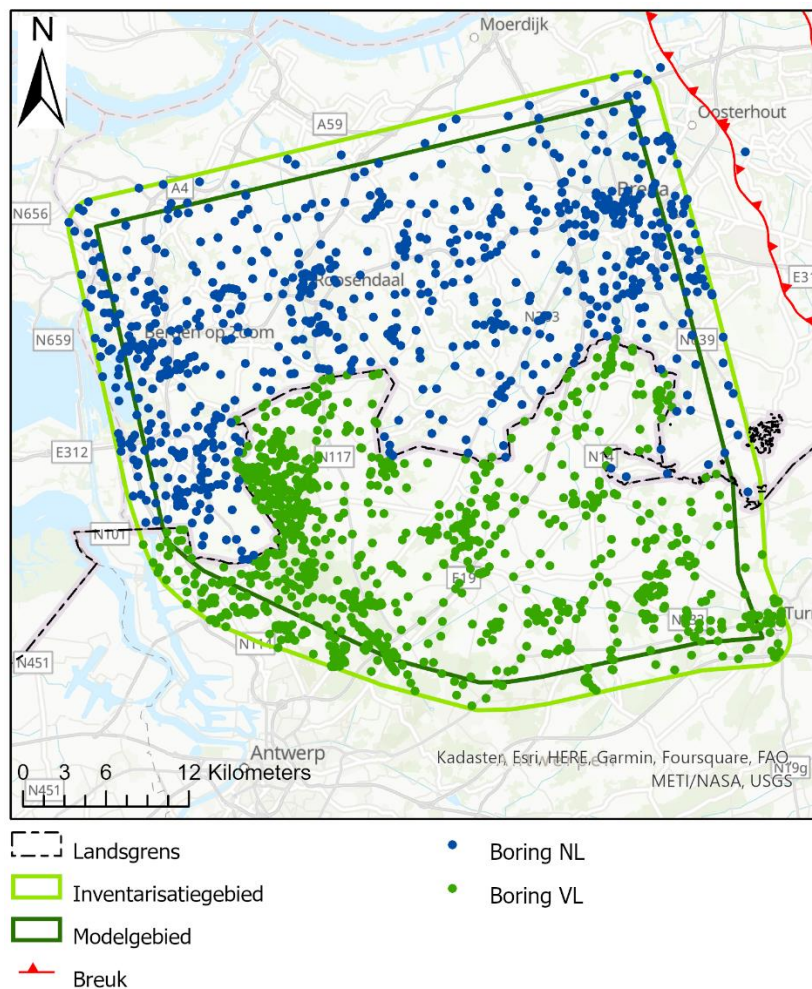
Eén van de uitdagingen is de correcte koppeling tussen gegevens uit verschillende bronnen (DOV vs. BGD-archief); als uitgangspunt zijn steeds de DOV-nummers genomen (meer specifiek de 'pkey\_boring'; pkey of primary key is een unieke id die binnen het databanksysteem van DOV aan iedere boring wordt toegekend). Er dient opgemerkt te worden dat bij de samenvoeging van verschillende, conflicterende interpretaties er soms overlappende of lege intervallen zijn ontstaan; deze zullen manueel gecorrigeerd worden tijdens de (her)interpretatiefase.

### *Resultaten*

Tabel 2 geeft een overzicht van het aantal boringen in het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatie- en modelgebied. De locaties van de geselecteerde boringen zijn weergegeven in Figuur 3. Een histogram met de verdeling van de einddiepten van de geselecteerde boringen is in Figuur 4 opgenomen.

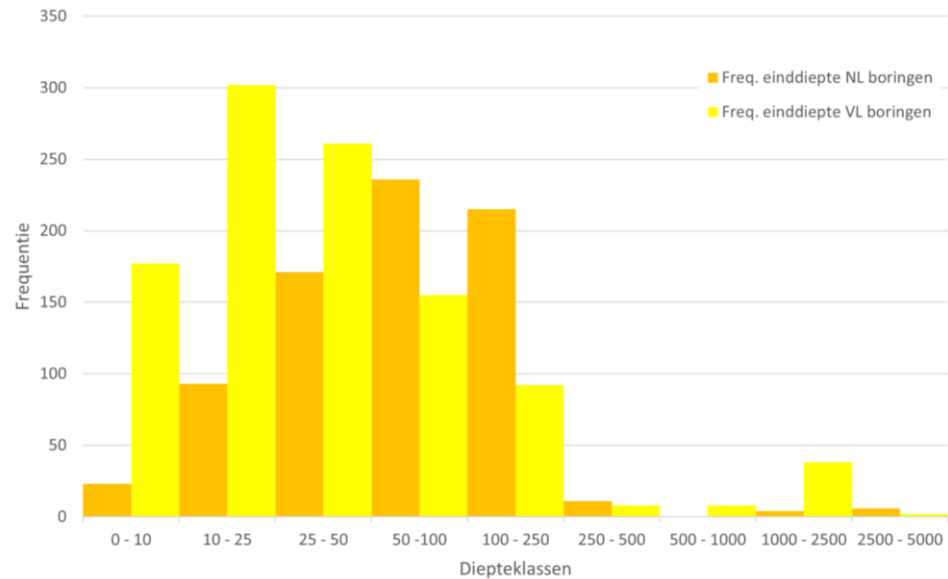
Tabel 2. Overzicht van het aantal boringen van de selectieset in het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatie- en modelgebied met een voorlopige inschatting van het aantal boringen dat de basis Quartair, de basis van de Formatie van Breda/Berchem en de basis van het Cenozoïcum bereikt heeft.

	Inventarisatiegebied			Modelgebied		
	NL	VL	Geheel	NL	VL	Geheel
Totaal	759	1043	1802	616	852	1468
Basis Quartair doorboord	459	381	840	392	252	644
Basis Formatie van Breda/Berchem doorboord	66	83	149	55	64	119
Basis Cenozoïcum doorboord	10	46	56	3	45	48



Figuur 3. Locaties van de geselecteerde boringen.





Figuur 4. Histogram van de einddiepte van de geselecteerde boringen in het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatiegebied.

De dichtheid aan boringen is in het Vlaamse deel van het model- en inventarisatiegebied ruim twee keer zo groot als in het Nederlandse deel (Tabel 3, Figuur 5). Dit heeft te maken met een hogere datadichtheid van de gecombineerde selectiesets van de G3Dv3- en H3Dv2-modellen en die van de Quartair-geologische kartering ten opzichte van de selectieset van de Nederlandse modellen DGM/REGIS II v2.2 alsook met verschillen in de uitbreidingen van deze selectiesets die gedaan zijn in het kader van dit project. Relatief ondiepe boringen met een einddiepte tot 25 meter komen in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied meer voor dan in het Nederlandse deel (Figuur 4). Dit wordt gecompenseerd door een groot aantal diepe boringen waardoor de gemiddelde einddiepte van de boringen in het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatiegebied nagenoeg gelijk is.

De geselecteerde boringen zijn ruimtelijk niet homogeen over het inventarisatiegebied verdeeld. Opvallende concentraties van boringen komen voor in het Vlaamse deel van de Kalmthoutse Heide, Loenhout (gasopslag Fluxys) en ter hoogte van Breda, Roosendaal en Bergen op Zoom. In het oog springende gebieden met een lage dichtheid aan boringen zijn het Nederlandse gebied ten zuiden van Breda en het Nederlandse gebied ten noorden van Essen. Van deze gebieden zijn geen aanvullende boringen van voldoende kwaliteit en einddiepte beschikbaar.

In het inventarisatiegebied hellen de lagen in noordnoordoostelijke richting. Hierdoor liggen in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied dezelfde lagen algemeen ondieper dan in het Nederlandse deel. In combinatie met de hogere dichtheid aan boringen verklaart dit waarom in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied de basis Quartair, de basis van de Formatie van Breda/Berchem en de basis van het Cenozoïcum vaker aangeboord zijn (Tabel 3).

Aangenomen dat de gemiddelde kwaliteit van de Nederlandse en Vlaamse boringen gelijk is dan zal het verschil in dichtheid aan boringen in het Nederlandse

en Vlaamse deel van het inventarisatiegebied leiden tot een verschil in detail in het ondiepe bereik van de modellen, dat alleen op boorgegevens is gebaseerd. In het diepe bereik van de modellen, dat gebaseerd is op zowel boringen als seismiek, wordt de lagere boordichtheid in het Nederlandse deel gecompenseerd door een groot aantal seismische lijnen die bovendien homogeen over het gebied zijn verdeeld, zie paragraaf 3.4. Hierdoor zal er naar verwachting in het diepere deel van de modellen weinig tot geen verschil in detail tussen de twee deelgebieden aanwezig zijn.

### 3.3 Boorgatmetingen

#### *Gegevensbronnen*

De boorgatmetingen zijn afkomstig uit:

- de databank DINO;
- het archief van Brabant Water;
- de databank DOV (met name archief Prof. Em. W. De Breuck, Universiteit Gent);
- het archief van de BGD.

#### *Selectie*

De selectie van de te gebruiken boorgatmetingen is uitgevoerd in combinatie met de selectie van de boringen, zie hierboven.

#### *Vertrouwelijkheid*

Alle geselecteerde boorgatmetingen in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn openbaar. De Vlaamse selectieset bevat 36 boringen met boorgatmetingen die als vertrouwelijk worden beschouwd, waarvan er 35 van Fluxys zijn en een van NIRAS-SCK.

#### *Controle*

De boorgatmetingen van de olie- en gasboringen in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn als eerste controle in Petrel ingelezen. Van de drie boringen in het inventarisatiegebied heeft alleen boring Rijsbergen (NLOG RSB-01) goede boorgatmetingen (gamma ray, sonic). Boringen Woensdrecht (NLOG WDR-01) en Steenberg (NLOG STB-01) dateren van voor de ontwikkeling van deze technieken (1912 en 1949 resp.).

De metingen van de boringen NLOG STH-01, HBV-01, HVB-01 en DON-01 zijn gebruikt in het project H3O-Roerdalslenk Noordwest en zijn reeds eerder gecontroleerd. Boorgatmetingen van boringen ten noorden van het inventarisatiegebied zijn, daar waar ze uit verschillende logs bestonden, gecombineerd en continue gemaakt voor het dieptebereik van het project H3O-de Voorkampen.

De boorgatmetingen van de matig diepe boringen in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied zijn niet gecontroleerd.

Van de boorgatmetingen aan Vlaamse zijde is eerst gecontroleerd of deze in digitaal formaat beschikbaar waren. Alle relevante data uit het BGD-archief bleken reeds gevectoriseerd te zijn. Van de boorgatmetingen uit het archief Prof. Em. W. De Breuck zijn alleen papieren kopieën bewaard gebleven, waarvan digitale scans via DOV toegankelijk zijn.

#### *Vectorisatie*

Van het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied waren alle relevante boorgatmetingen reeds gevectoriseerd.

Voor het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn de 49 boorgatmetingen uit het archief Prof. Em. W. De Breuck gevectoriseerd.

#### *Resultaten*

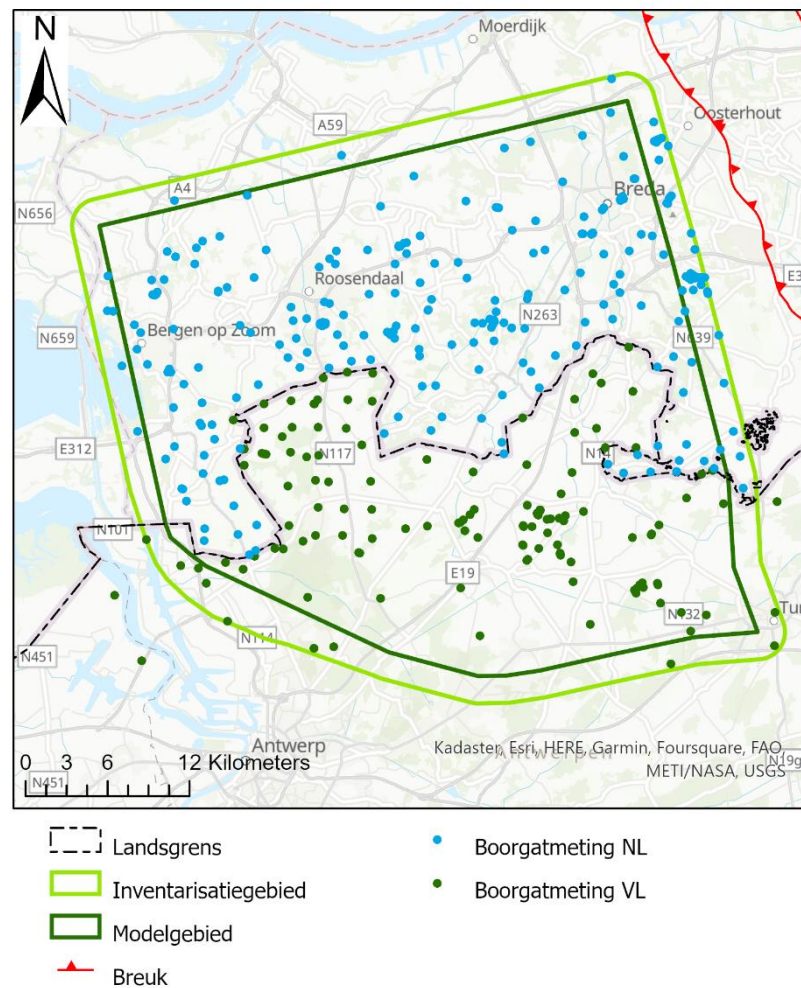
In Tabel 3 zijn de aantallen geselecteerde boringen met boorgatmetingen vermeld. De locaties van de boringen zijn weergegeven in Figuur 5.

In tegenstelling tot de boringen zonder boorgatmetingen, is het aantal boringen met boorgatmetingen in het Nederlandse deel van inventarisatiegebied groter dan in het Vlaamse deel (Tabel 4). De dichtheid per oppervlakte-eenheid is in het Nederlandse deelgebied ook iets groter.

Gebieden met een opvallend lagere dichtheid aan boorgatmetingen zijn het meest noordelijke en zuidelijke deel van het inventarisatiegebied.

Tabel 3. Overzicht van het aantal boringen met boorgatmetingen in de selectiesets van het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatie- en modelgebied.

	Inventarisatiegebied			Modelgebied		
	NL	VL	Geheel	NL	VL	Geheel
Aantal boorgatmetingen	267	140	407	220	130	350



Figuur 5. Locaties van geselecteerde boringen met boorgatmetingen.

### 3.4 Seismiek

#### *Gegevensbronnen*

De beschikbare seismische data zijn afkomstig uit:

- het dataportaal NLOG;
- het archief van TNO-GDN;
- het archief van de BGD.

#### *Selectie*

De geïnventariseerde digitale seismiek bestaat volledig uit 2D seismische lijnen. Publieke 3D seismische campagnes zijn niet in het inventarisatiegebied aanwezig.

Van het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied is alle bestaande digitale 2D seismiek in de selectieset opgenomen.

In december 2021 zijn de resultaten van twee nieuwe, in het kader van het SCAN-programma geschoten, seismische lijnen beschikbaar gekomen (EBN, 2021, 15 december). Gezien de meerwaarde van lijn 34 in het westelijke, met name

Nederlandse deel van het modelgebied en de mogelijke afbreuk die het niet meenemen van deze SCAN-lijnen zou kunnen hebben op de acceptatie van het eindresultaat, is besloten om deze twee lijnen te interpreteren en in de toen in uitvoering zijnde modellering mee te nemen.

In het kader van het SCAN-programma worden ook bestaande seismische data gereprocessed. Van het inventarisatiegebied was op 7 oktober 2020 alleen een nieuwe versie beschikbaar van een diepe lijn uit de survey L2NAM1984N (EBN, 2019). De kwaliteit van deze nieuwe versie is beter. Daarom is de nieuwe versie van deze lijn voor het huidige project gebruikt.

In het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn alle seismische data geselecteerd, voor zover deze in digitaal formaat en openbaar beschikbaar zijn. Analoge data uit het BGD-archief zijn niet geselecteerd wegens onvoldoende kwaliteit voor het relevante dieptebereik.

#### *Resolutie & kwaliteit*

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. Deze surveys zijn ten behoeve van dit project beoordeelt op kwaliteit en tevens voorzien van een dieptewaarde, in milliseconde, vanaf waar de survey bruikbaar is voor seismische interpretatie.

#### *Vertrouwelijkheid*

Alle geselecteerde seismische data zijn openbaar.

#### *Vectorisatie*

In het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied bleek één lijn (8104) van de seismische campagne Oostmalle te ontbreken in vectorformaat. Vectorisatie van deze lijn is door de BGD uitbesteed aan de firma FolloWave.

#### *Reprocessing*

Vanwege de kosten is geen seismiek geprocessed om een betere kwaliteit te verkrijgen.

#### *Resultaten*

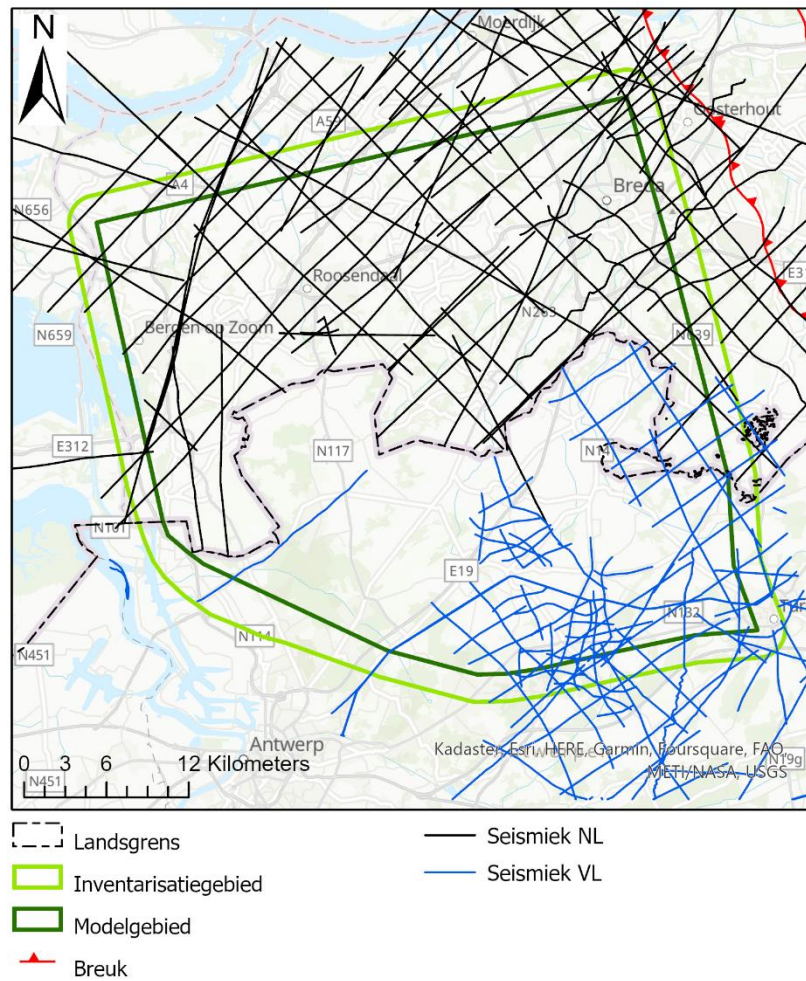
Tabel 4 en Tabel 5 geven een overzicht van de geselecteerde seismische datasets. De ligging van geselecteerde seismische lijnen zijn weergegeven in Figuur 6.

Tabel 4. Kengetallen van de geselecteerde 2D seismische gegevens in het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatie- en het modelgebied. 3D seismiek is niet in deze gebieden aanwezig.

	Inventarisatiegebied		Modelgebied	
	NL	VL	NL	VL
Totale lengte (km)	877,4	372,9	710,7	290,1

Tabel 5. Overzicht van de 2D seismische campagnes in het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatiegebied waarvan alle lijnen of een deel van de lijnen geselecteerd is.

Survey naam	Jaar acquisitie	Confidentieel	Aantal lijnen	Resolutie / kwaliteit	Interpreteerbaar vanaf diepte (ms)
Campagne 1953-1956 (53_56)	1953-1956	N	7	Matig	100
Northern Flank Brabant Massif (Nfb80)	1980	N	14	Goed	150-200
Oostmalle (Ost81)	1981	Y	11	Goed	250-300
Belcorp86	1986	N	1	Slecht	500-600
Limestone Subcrop (Lsc89)	1989	N	2	Redelijk	50-100
Loenhout-1990 (Loenho90)	1990	Y	19	Redelijk tot goed	100-150
Loenhout-1991 (Loenho91)	1991	Y	13	Goed	100
L2PET1981D	1981	N	14	Redelijk tot goed	200-300
L2PET1984B	1984	N	12	Goed	200-250
L2PET1985A	1985	N	3	Goed	200
L2NAM1970H	1970	N	2	Slecht	300
L2BGD1980A	1980	N	15	Goed	150-200
L2NAM1984B	1984	N	14	Matig tot goed	250
L2NAM1984N	1984	N	1	Goed	100
L2NAM1985C	1985	N	13	Redelijk tot goed	250
L2NAM1964A	1964	N	9	Slecht tot matig	400-500
L2AMC1981A	1981	N	6	Matig tot redelijk	250
L2NAM1976D	1976	N	4	Matig	250
L2NAM1979H	1979	N	1	Matig	250
Roosendaal970X	1997	N	3	Redelijk	75 (tot 450)
L2EBN2021ASCAN032	2021	N	1	Goed	50-100
L2EBN2021ASCAN034	2021	N	1	Goed	50-100



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

De dichtheid aan seismiek is in het Nederlandse deel van het inventarisatie- en modelgebied hoger dan in het Vlaamse deel (Tabel 4).

Wat betreft de ligging van de beschikbare seismiek bestaat er verder een opvallend verschil tussen het Nederlandse en Vlaamse deel van het inventarisatiegebied (Figuur 6). In het Nederlandse deel is de seismiek homogeen verdeeld waardoor er geen gebieden voorkomen zonder seismiek. In het Vlaamse deelgebied is daarentegen sprake van enkele gebieden met een hoge dichtheid aan seismische lijnen, met name langs de zuidgrens van het gebied, met daarnaast gebieden zonder seismiek. Opvallend is het nagenoeg ontbreken van seismiek ten westen van de lijn tussen Wuustwezel in het noorden en Sint-Job-in-'t-Goor in het zuiden.

### 3.5 Breukenbestand

In het hele inventarisatiegebied zijn voor zover bekend geen breuken in de basis van het Cenozoïcum en ondieper aanwezig.

### 3.6 Maaiveldhoogtebestand

Voor de maaiveld- en waterbodemhoogten van het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied is het landsdekkende maaiveld- en waterbodemhoogtebestand, versie 2.2 (2016) 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) waarvan de terreingegevens van het inventarisatiegebied zijn ingewonnen in 2007 en 2009 (Actueel Hoogtebestand Nederland (z.d.)). De waterbodemhoogten van dit bestand zijn gebaseerd op gegevens van de beheerders of geschat indien geen gegevens bekend waren (zie Hummelman et al., 2019).

In Vlaanderen is voor het gebiedsdekkende maaiveldhoogtebestand gebruik gemaakt van het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen (DHMV II) met een resolutie van 100 meter. Dit hoogtebestand is afkomstig uit de databank van AIV. De terreingegevens voor dit bestand zijn ingewonnen in de periode 2013-2015. Er zijn geen waterbodemhoogtes in het DHMV II verwerkt voor het huidige project. Uit beide openbare maaiveldhoogtebestanden is een uitsnede gemaakt van het inventarisatiegebied.

#### *Samenstellen gebiedsdekkend maaiveld- en waterbodemhoogtebestand*

Beide uitsneden zijn na een conversie van de coördinaten en hoogten (zie Paragraaf 3.7) samengevoegd tot één gebiedsdekkend maaiveldhoogtemodel. Voor een technische beschrijving van de daarbij gevolgde werkwijze wordt verwezen naar Bijlage A.

Aldus zijn twee grensoverschrijdende maaiveldhoogtebestanden verkregen, één in de Vlaamse rasterdefinitie, in Lambert-72 coördinaten en TAW-referentiehoogte, en het ander in de Nederlandse rasterdefinitie, RD-coördinaten en NAP-referentiehoogte. Deze maaiveldhoogtebestanden vormen telkens de top van de (hydro)geologische modellen. In het Vlaamse deelgebied, waar de waterbodemhoogten van de grote oppervlaktewateren niet in het bestand zijn verwerkt, geeft het bestand ter hoogte van deze oppervlaktewateren een overschatting. De grootte van deze overschatting is afhankelijk van de diepte van het oppervlaktewater.

### 3.7 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 of hoger. Daarbij zijn standaard de in Tabel 6 vermelde transformaties gebruikt. De parameters van deze transformaties zijn in Bijlage B opgenomen.



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

Input	Transformatie	Output
RD_new	Amersfoort_To_ETRS_1989_MB Belge_1972_To_ETRS_1989_2	Belge_Lambert_1972
Belge_Lambert_1972	Belge_1972_To_ETRS_1989_2 Amersfoort_To_ETRS_1989_MB	RD_new

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.

### 3.8 Palynologisch onderzoek aan enkele Nederlandse boringen

In het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied bestaat er onzekerheid over de lithostratigrafische interpretatie van specifieke trajecten in een aantal diepere boringen. Ten behoeve van de herinterpretatie van deze boringen en de correlatie daarvan met de Belgische boringen zijn twee palynologische onderzoeken op monsters uit deze trajecten uitgevoerd. Het eerste deelonderzoek is gericht geweest op een aantal lithostratigrafische onduidelijkheden in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied. In een tweede studie is nagegaan in hoeverre de Groep van Ieper (Formatie van Dongen) in Nederland nader kan worden (gedifferentieerd en) gecorreleerd naar de hogere resolutie lithostratigrafie in België.

Omdat dit onderzoek alleen door TNO is uitgevoerd en gericht is geweest op de interpretatie van Nederlandse boringen zijn de resultaten om praktische redenen in een tweetal aparte TNO-rapporten vastgelegd. Deze rapporten zijn als Bijlage C opgenomen.

## 4 Correlatie lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden

Voorafgaand aan de (her)interpretatie van boringen en seismische gegevens is het noodzakelijk een eenduidige correlatie tussen de Belgische en Nederlandse lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden vast te stellen. Daartoe zijn een lithostratigrafische en hydrogeologische correlatietabel en een chrono-lithostratigrafische correlatietabel opgesteld, die gevalideerd en verfijnd zijn aan de hand van een aantal grensoverschrijdende correlatieprofielen. Inzichten met betrekking tot de aanwezige geologische eenheden en hun onderlinge relaties zijn ten slotte verwerkt in een conceptueel geologisch profiel.

Concreet heeft deze hoofdactiviteit tot doel:

- Een actueel overzicht te geven van de Belgische/Vlaamse<sup>2</sup> en Nederlandse lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden binnen het inventarisatiegebied, en hun onderlinge correlaties.
- Overeenkomsten en verschillen vast te stellen tussen de gecorreleerde eenheden.
- Een overzicht te maken van potentieel te interpreteren eenheden.

### 4.1 Opstellen lithostratigrafische en hydrogeologische correlatietabel

Op basis van bestaande geologische kaarten, modellen, relevante literatuur en expertise bij de opdrachtnemers is een correlatietabel opgesteld met daarin alle Belgische/Vlaamse en Nederlandse lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden die binnen het inventarisatiegebied voorkomen.

Zoals bij de vorige H3O-projecten is hierbij de volgende werkwijze gehanteerd:

- Alle Belgische en Nederlandse lithostratigrafische eenheden binnen het inventarisatiegebied zijn op het niveau van formatie en lid (BE) dan wel formatie en laagpakket (NL) opgesomd. Als basis hiervoor zijn de actuele stratigrafische indelingen van België (cf. website van de Nationale Commissie voor Stratigrafie: NCS, 2022) en Nederland (cf. Stratigrafische Nomenclator van Nederland: TNO-GDN, 2022) gebruikt.
- Naar aanleiding van recente studies, waaronder voorgaande H3O-projecten, zijn diverse voorstellen gedaan voor aanpassingen van de Belgische en Nederlandse lithostratigrafische indelingen (met name van de neogene formaties). Wat betreft de Belgische lithostratigrafie is steeds uitgegaan van de officieel aanvaarde indeling op het moment van aanvang van het huidige project (d.d. 15 februari 2020); deze is verder aangevuld met informele eenheden die bij de Quartair-kartering werden onderscheiden (complex van Meer, formatie van Ravels) de gedurende de doorlooptijd van het project voorgestelde herziening van de neogene stratigrafie (o.a. formele definitie van leden binnen de formaties van Diest en Kasterlee; De Nil & Verhaegen, 2022) en andere eenheden die nog onderwerp van discussie zijn bij de NCS (de leden Heers-Maaseik en Hannut-Beselare; Matthijs, 2017). Wat betreft de Nederlandse

---

<sup>2</sup> In deze tekst wordt de lithostratigrafische indeling aangeduid als Belgisch (opgesteld door de Belgische Nationale Stratigrafische Commissie) en de hydrogeologische indeling als Vlaams (opgesteld in opdracht van de Vlaamse Overheid).

indeling zijn, vooruitlopend op de beoordeling van een voorstel door de Nederlandse stratigrafische commissie, enkele thans nog informele eenheden die in de formaties van Breda en Oosterhout worden onderscheiden, ook in de correlatietabellen opgenomen (Munsterman et al., 2019).

- Aansluitend zijn alle Vlaamse en Nederlandse hydrogeologische eenheden binnen het inventarisatiegebied opgesomd. Hierbij zijn de meest recente hydrogeologische indelingen van Vlaanderen (HCOVv2: Deckers et al., 2019) en Nederland (REGIS II v2.2: Hummelman, 2019) aangehouden. Bovendien zijn in de tabel voorstellen opgenomen voor uitbreidingen en aanpassingen aan de indeling of codering.
- Ten slotte zijn op basis van hun stratigrafische positie, afzettingsmilieu en lithologische kenmerken de Belgische/Vlaamse en Nederlandse eenheden met elkaar gecorreleerd. In de correlatietabel zijn de gecorreleerde eenheden overzichtelijk naast elkaar gezet (Tabel 7).

In vergelijking met het vorige project H3O – De Kempen bevat de correlatietabel een aantal aanvullende lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden, overeenkomstig hun voorkomen in het huidige inventarisatiegebied:

- Formatie van Aalter-Lid van Oedelem (BE);
- Formatie van Zelzate-Lid van Watervliet (BE) / Formatie van Tongeren-Lid van Watervliet (NL);
- Formatie van Berchem-Lid van Edegem (BE);
- Formatie van Kattendijk (BE) / Formatie van Oosterhout-laagpakket van Tilburg (NL, informeel);
- Formatie van Eeklo-Lid van Eke (BE) / Formatie van Koewacht (NL);
- lid van Doel (BE, informele eenheid) / Kreekrak Formatie (NL);
- lid van Antwerpen (BE, informele eenheid) / Formatie van Nieuwkoop (NL);
- Formatie van Vlaanderen (BE) / Naaldwijk (NL).

Anderzijds zijn afwezige eenheden weggelaten uit de tabel:

- Kiezeloöliet Formatie (BE, NL);
- Formatie van Mol (BE), waardoor de Formatie van Stramproy (NL) nu alleen nog met de formatie van Ravels (BE, informeel) correleert;
- Formatie van Gent-Lid van Dilsen (BE);
- Kleilagen in de Formatie van Boxtel (NL).

Daarnaast kunnen sommige eenheden in de huidige inventarisatie verder onderverdeeld worden, waar dat (nog) niet mogelijk was in het vorige projectgebied, of werden sindsdien nieuwe stratigrafische benamingen geïntroduceerd of voorgesteld:

- Introductie van de nieuw-gedefinieerde (informele) laagpakketten van Goirle en Tilburg in de Formatie van Oosterhout (NL) en verdere hydrogeologische indeling van deze formatie, inclusief de “crag” in het Laagpakket van Sprundel.
- Introductie van het lid van Poppel (BE, informeel, niet aanwezig binnen het inventarisatiegebied) voor het equivalent van de Formatie van Oosterhout-laagpakket van Tilburg (NL).
- Onderverdeling van de Formatie van Lillo (BE) in leden, inclusief het lid van Poederlee (voorheen formatie).
- Onderverdeling van de formaties van Malle en Weelde (BE) / Formatie van Waalre (NL) in leden/laagpakketten, inclusief hun correlatie met hydrogeologische eenheden.



Voorstellen tot aanpassing/uitbreiding van de Nederlandse hydrogeologische indeling en codering, waarbij de correlatie met lithostratigrafische eenheden wordt geformaliseerd (WAWOk1, WAWOz2, WAHOk1, WAHOz2, OOWOk1, OOSP1, OOTIk1, OOGOz1, Diz1, GRz1, RUSTz1, RUBEz1, DOASz1, DOBRz1, DOOOz1, LAREk1, LALIk1, LAGEk1, LAORz1);

- De informele formatie van Singraven (BE) wordt nu Formatie van Arenberg-ongedifferentieerd (BE) genoemd.

Tenslotte zijn er naar aanleiding van nieuwe inzichten enkele correlaties tussen Nederlandse en Belgische eenheden gewijzigd:

- De leden van Rijkevorsel en Turnhout (BE) zijn gecorreleerd met de laagpakketten van Hoogerheide en Woensdrecht (NL) en dus met de twee kleilagen in de Formatie van Waalre (NL); in project H3O – De Kempen werden beide leden (Formatie van Weelde, BE) nog gezamenlijk gecorreleerd met alleen de bovenste kleilaag in Waalre.
- Als gevolg daarvan is de Formatie van Malle (BE) in de hydrostratigrafische kolom naar beneden doorgeschoven en vormt samen met de Formatie van Merksplas (BE) één zandig pakket; beide formaties zijn gecorreleerd met het ongedifferentieerde deel van de Formatie van Waalre (NL).
- De Formatie van Merksplas (BE) wordt niet langer deels gecorreleerd met de Formatie van Maassluis (NL), maar in het geheel met de Formatie van Waalre (-ongedifferentieerd, NL).

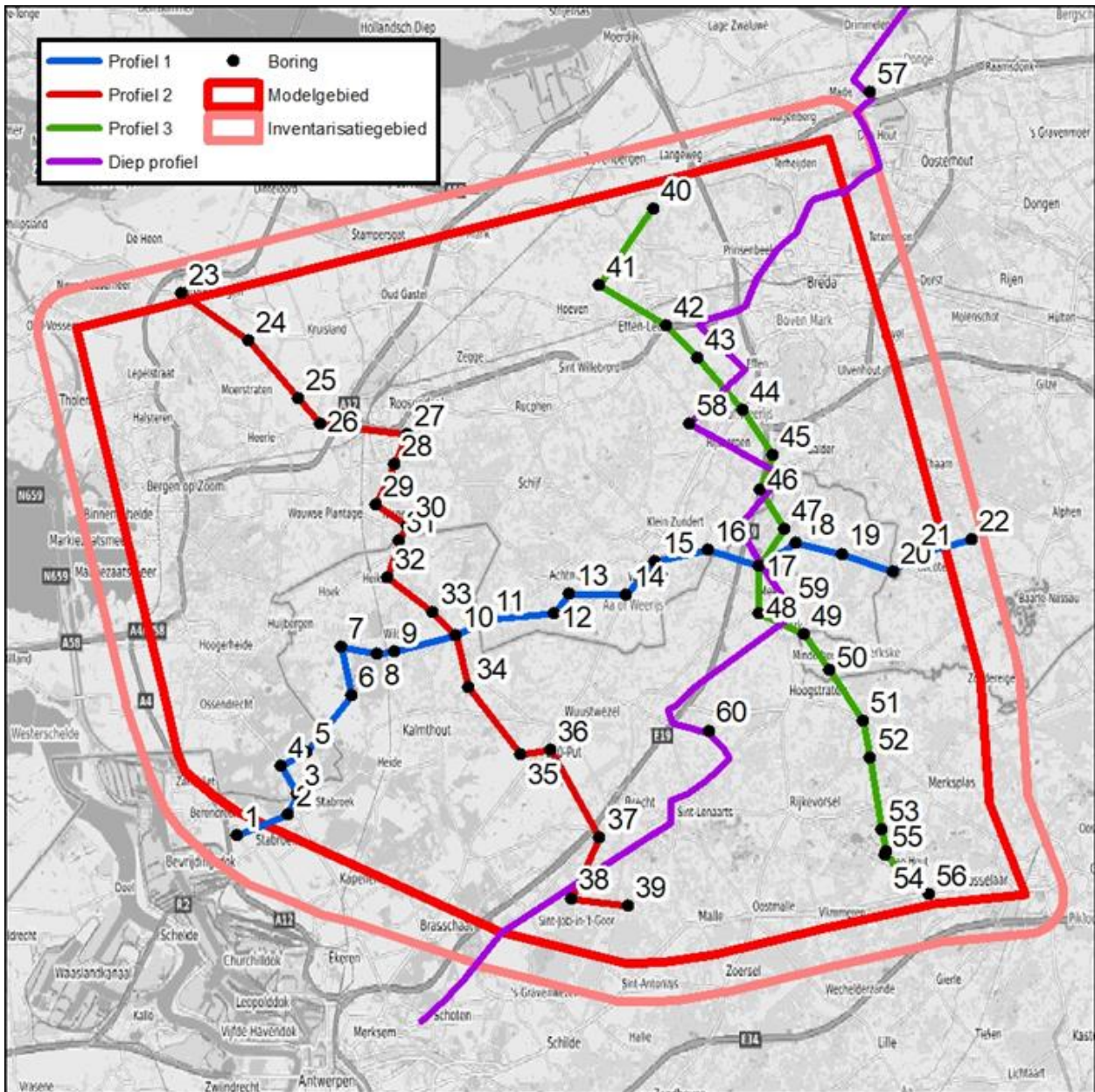
Alle wijzigingen ten opzichte van het vorige project H3O – De Kempen zijn weergegeven in extra kolommen aan de rechterzijde van de correlatietabel (Tabel 7).

#### 4.2 Samenstellen correlatieprofielen

Een aantal grensoverschrijdende profielen is samengesteld op basis van boringen, boorgatmetingen en seismische data. Deze correlatieprofielen zijn van belang tijdens deze en latere fasen van het project:

- ten behoeve van toetsing en onderbouwing van de correlaties tussen de Belgische/Vlaamse en Nederlandse lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden;
- voor de visualisatie van structurele trends en laterale overgangen;
- als raamwerk voor de (her)interpretatie van boringen en seismische gegevens;
- bij de controle van de modelresultaten.

Op basis van de beschikbaarheid van data, de richting van de geologische structurele trends en laterale overgangen binnen het gebied, en de positie van de grens tussen België en Nederland, zijn tracés voor drie ondiepe correlatieprofielen en één diep profiel gekozen (Figuur 7).



Figuur 7. Ligging van de ondiepe en diepe correlatieprofielen binnen het inventarisatiegebied H30-De Voorkempen. Voor een overzicht van de gebruikte boringen, zie Tabel 8.

Tabel 8. Een overzicht van de boringen gebruikt voor het samenstellen van de correlatieprofielen. De locaties van de boringen zijn weergegeven in Figuur 7; BGM = boorgatmetingen beschikbaar.

Nr	TNO	NLOG	BGD	DOV	Diepte	BGM	Profiel
1			015w0216	<a href="#">kb7d15w-B296</a>	62	JA	1
2			015w0224	<a href="#">BGD015w0224</a>	80	JA	1
3	B49G0959				311	JA	1
4	B49G0191				98,6	JA	1
5	B49G0161				60	JA	1
6			006e0135	<a href="#">kb7d6e-B298</a>	132	JA	1
7			006e0110	<a href="#">kb7d6e-B239</a>	138	NEE	1
8			006e0134	<a href="#">kb7d6e-B297</a>	86	JA	1
9				<a href="#">kb7d6e-B283</a>	29,7	JA	1
10			006e0133	<a href="#">kb7d6e-B296</a>	72	JA	1, 2
11	B49H0007				59,5	JA	1
12	B49H0044				141,5	JA	1
13	B50C0077				80	JA	1
14	B50C0079				192	JA	1
15	B50C0078				80	JA	1
16	B50C0029				54,5	JA	1
17			002E0132	<a href="#">BGD002E0132</a>	184	JA	1, 3
18			002E0134	<a href="#">BGD002E0134</a>	154,5	JA	1
19			003w0088	<a href="#">kb2d3w-B88</a>	103	JA	1
20			003W0068	<a href="#">kb2d3w-B68</a>	197,5	NEE	1
21	B50D0037				154,2	JA	1
22	B50G0046				101	JA	1
23	B43G0023				156,5	JA	2
24	B49E0285				137	JA	2
25	B49E0282				143	JA	2
26	B49E0005				142	JA	2
27	B49F0264				114	JA	2
28	B49F0435				235	JA	2
29	B49F0422				160	JA	2
30	B49F0326				180	JA	2
31				<a href="#">UG-TGO-81/08A-18DB2</a>	31,5	JA	2
32			001e0044	<a href="#">B/1-0358</a>	120	JA	2
33				<a href="#">kb7d6e-B286</a>	31,3	JA	2
34				<a href="#">kb7d6e-B278</a>	31,5	JA	2
35			007w0158	<a href="#">kb8d7w-B53</a>	68	JA	2
36			007w0235	<a href="#">kb8d7w-B252</a>	163	JA	2
37			016w0155	<a href="#">kb8d16w-B52</a>	116	JA	2
38			016w0141A	<a href="#">kb8d16w-B51</a>	104	NEE	2
39			016W0302	<a href="#">B/1-1104a</a>	336	JA	2
40	B44C0215				269	JA	3
41	B44C0051				154,5	JA	3
42	B50A0340				154,25	JA	3
43	B50A0094				124	JA	3
44	B50A0238				250	JA	3
45	B50B0215				105	JA	3
46	B50B0209				237	JA	3
47			002e0067	<a href="#">kb2d2e-B67</a>	52	JA	3
48			007e0195B	<a href="#">kb8d7e-B299</a>	465,7	JA	3
49				<a href="#">UG-TGO-85/30-S1</a>	60	JA	3
50	B50D0013				200	JA	3
51			008W0157	<a href="#">kb8d8w-B46</a>	63,94	NEE	3
52			008w0161	<a href="#">kb8d8w-B25</a>	180	JA	3
53			017W0280	<a href="#">kb8d17w-B315</a>	791	JA	3
54			017W0288	<a href="#">kb8d17w-B90</a>	45,24	NEE	3
55			017w0337	<a href="#">B/1-1114a</a>	383	JA	3
56			017w0312	<a href="#">kb8d17w-B340</a>	86,5	JA	3
57		STH-01			2806	JA	Diep
58		RSB-01			4644,5	JA	Diep
59			007e0205	<a href="#">kb8d7e-B224</a>	2513	JA	Diep
60			007e0196	<a href="#">kb8d7e-B219</a>	1399	JA	Diep

#### 4.2.1 *Ondiepe correlatieprofielen*

In totaal zijn drie ondiepe correlatieprofielen samengesteld op basis van geïnterpreteerde boringen en boorgatmetingen (zie Bijlage D). De boringen zijn geselecteerd op basis van de beschikbaarheid van geofysische boorgatmetingen, gebruikte boortechniek en kwaliteit van de boorbeschrijvingen.

Voor elke boring zijn de lithologische kolom (met hoofdlithologie), de gammastraling en resistiviteit (indien beschikbaar), en de lithostratigrafische interpretaties weergegeven. De profielen zijn getekend op een horizontale schaal van 1/50.000 en verticale schaal van 1/1000; de hoogte van het maaiveld is weergegeven ten opzichte van TAW. Omwille van consistentie met het project H3O-De Kempen zijn dezelfde kleurcodes voor de (hydro)geologische eenheden aangehouden; dat wil zeggen dat voor de ondiepe eenheden (Quartair en Laat-Neogeen) de "Nederlandse kleuren" (cf. kleurcodering TNO) zijn gebruikt, en voor de diepere eenheden (Vroeg-Neogeen en Paleogeen) de "Vlaamse kleuren" (cf. lithostratigrafische tabel van DOV). Het bleek niet nodig om de positie van breuken in te tekenen, aangezien er geen waargenomen zijn binnen het projectgebied.

In eerste instantie zijn de lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden langs de profielen gecorreleerd op basis van bestaande interpretaties en een voorlopige correlatietabel. Daarna zijn de profielen door het team van Belgische en Nederlandse opdrachtnemers gezamenlijk en interactief gecontroleerd, waarbij inconsistenties zijn opgespoord en geherinterpreteerd. Nieuwe inzichten zijn zo nodig teruggekoppeld naar de correlatietabellen en het conceptuele profiel.

Het algemene beeld van de ondiepe correlatieprofielen toont dat de Formatie van Boom (NL) / Rupel Formatie-Laagpakket van Boom (NL) geleidelijk in noordoostelijke richting afhelt, terwijl daarboven achtereenvolgens de laat-oligocene eenheden verschijnen (Formatie van Eigenbilzen (BE) / Laagpakket van Steensel (NL) en Formatie van Voort (BE) / Veldhoven (NL)), en de miocene en pliocene mariene afzettingen aanzienlijk in dikte toenemen. In de profielen 2 en 3 is een duidelijke "knik" zichtbaar in de top van de Formatie van Diest (BE) / Diessen (NL); ten noorden daarvan wordt de afname in dikte van deze eenheid gecompenseerd door een toename in dikte van de daarboven liggende Formatie van Oosterhout (NL). Deze plotselinge sprong in de top van Diest/Diessen wordt geïnterpreteerd als een progradatiefront en bevestigd door seismische en biostratigrafische data.

De vroeg-pleistocene estuariene afzettingen (formaties van Maassluis, Waalre en hun Belgische equivalenten) dagzomen langs de westelijke en zuidelijke grenzen van het projectgebied, en hellen noordwaarts; naar het noorden neemt de dikte van de Formatie van Maassluis toe ten koste van de Formatie van Waalre. Vanaf de grensstreek aan Vlaamse zijde en verder naar het noorden in het Nederlandse deel van het projectgebied zijn de fluviaatiele afzettingen van de formatie van Ravels (BE) / Formatie van Stramproy (NL) aanwezig. Vrijwel het gehele gebied is overdekt door een dunne laag eolisch dekzand (Formatie van Gent (BE) / Boxtel (NL)), met lokaal ingesneden en opgevolde beekdalen (Formatie van Arenberg (BE) / Formatie van Boxtel-Laagpakket van Singraven (NL); niet waargenomen in de profielen). Tenslotte zijn er in het noordwesten en westen van het gebied pleistocene en holocene Schelde-afzettingen (Formatie van Eeklo (BE) / Koewacht (NL) en lid van Doel (BE) / Kreekrak Formatie (NL)) en estuariene afzettingen (Formatie van



Vlaanderen (BE) / Naaldwijk (NL)) aanwezig; in de profielen wordt alleen de laatste formatie in het uiterste noorden van profiel 2 waargenomen.

Hoewel de geologische opbouw van het gebied vrij eenvoudig is, is op basis van de ervaringen bij het opstellen van de correlatieprofielen de verwachting dat de interpretatie/correlatie van sommige stratigrafische/hydrogeologische eenheden toch wat problemen kan opleveren:

- De onderverdeling van de formaties van Weelde, Malle en Merksplas in Vlaanderen is grotendeels gebaseerd op ontsluitingen en gekernde boringen en steunt sterk op sedimentologische kenmerken die in spoelboringen niet zijn waar te nemen; vooraf waren er dan ook (nog) geen eenduidige regels vastgesteld voor de interpretatie van boorgatmetingen tot op lid-niveau. Bovendien is de formele onderverdeling niet rechtstreeks te vertalen naar homogene hydrogeologische eenheden.
- In het Nederlandse deel worden voor het eerst de laagpakketten van Woensdrecht en Hoogerheide van de Formatie van Waalre systematisch geïnterpreteerd. Deze onderverdeling naar laagpakketten is gebaseerd op fining upwards sequenties, met zand aan de basis en klei aan de top van beide laagpakketten. De relatie met de bijbehorende nieuwe Nederlandse hydrogeologische eenheden is in de correlatieprofielen duidelijk, maar of dit ook in de rest van het inventarisatiegebied het geval is, zal tijdens de interpretatie van de overige boringen moeten blijken. De correlatie met de Belgische stratigrafische eenheden is in theorie eenvoudig, maar in de praktijk moet nog blijken of equivalente grenzen inderdaad op basis van dezelfde criteria en inzichten worden geïnterpreteerd.
- Op basis van lithologische eigenschappen en de stratigrafische positie is het aannemelijk dat het Lid van Merksem van de Formatie van Lillo (BE) correleert met (het onderste deel van) de Formatie van Maassluis (NL). Chronologisch stelt zich hier wel een probleem, aangezien de Formatie van Maassluis (NL) als vroeg-pleistocene afzetting wordt gezien in Nederland, terwijl het Lid van Merksem (BE) een pliocene ouderdom heeft in het typegebied. Correlatie is dus alleen mogelijk als de bovengrens van het Lid van Merksem (BE) chronostratigrafisch omhoog wordt getrokken en/of die van de Formatie van Maassluis (NL) naar omlaag; anderszins kan de basis van het Lid van Merksem (BE) / de Formatie van Maassluis (NL) als een diachroon vlak beschouwd worden, met verjonging vanuit het typegebied van Merksem naar het noordoosten toe, waarbij de pliocene-pleistocene grens wordt overbrugt (zie figuur 15 in Bijlage E).
- Binnen de Formatie van Merksplas (BE) worden twee verschillende facies herkend, waarvan de ene (schelpenhoudend) eventueel zou correleren met de mariene-estuariene Formatie van Maassluis (NL) en de andere (schelpenarm) met de basis van de fluviatiele-estuariene Formatie van Waalre (NL). In Nederland worden de formaties van Waalre en Maassluis als deels tijdsequivalent beschouwd, terwijl de stratigrafische relatie tussen beide facies van Merksplas in België twijfelachtig is. De beide facies zijn in België altijd als één geheel geïnterpreteerd, en eenduidige correlatie op basis van bestaande data en interpretaties is niet mogelijk.
- De schijnbaar laterale overgang tussen de formaties van Kattendijk en Kasterlee (BE), in het zuidoosten van het projectgebied, is moeilijk te herkennen zowel in boorbeschrijvingen als boorgatmetingen.

- De Formatie van Diest (BE) / Diessen (NL) lijkt lokaal karakteristiek van het Poppel-facies (BE) / laagpakket van Goirle (NL) te hebben, en andersom lijkt het Diessen-facies (NL) naar het noorden toe een vroeg-pliocene ouderdom te hebben (Munsterman, 2020). In dit project worden lithostratigrafische grenzen gemodelleerd, maar deze vallen dus niet noodzakelijk samen met biostratigrafische grenzen.
- Als de Formatie van Boom (BE) / Rupel Formatie-Laagpakket van Boom (NL) compleet aanwezig is, met daarboven nog de Formatie van Eigenbilzen (BE) / het Laagpakket van Steensel (NL), dan is de grens daartussen alleen vast te stellen op basis van boorgatmetingen, waarbij de boring diep genoeg moet zijn om de volledige reeks van karakteristieke siltige laagjes bovenin de formatie te kunnen herkennen.

#### 4.2.2 *Diep correlatieprofiel*

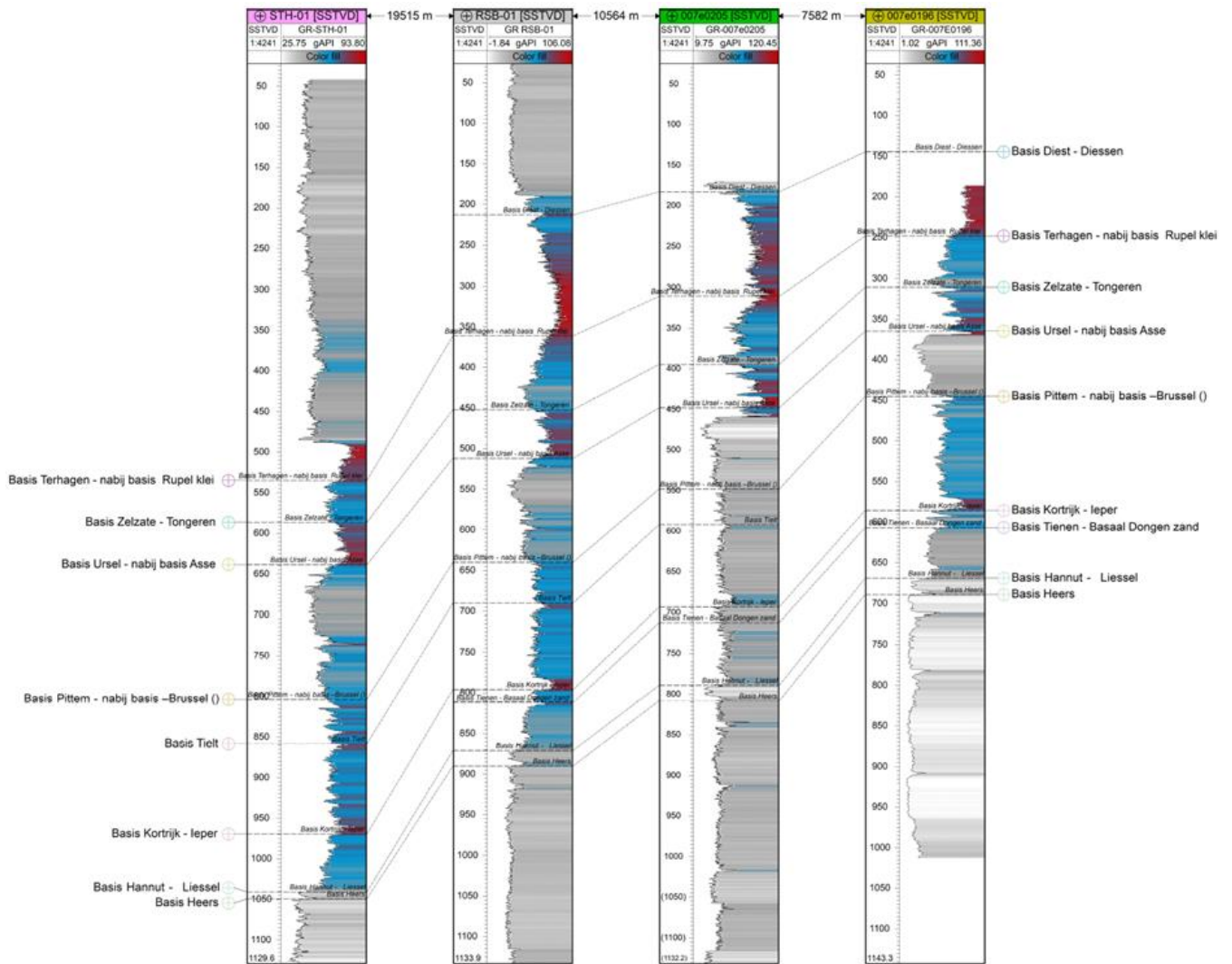
Om de correlaties tussen de seismische interpretaties van het Nederlandse en Belgische deel van het studiegebied toe te lichten, is een grensoverschrijdende seismische composietlijn gemaakt (Figuur 9). Dit is een profiel dat bestaat uit een combinatie van verschillende 2D seismische lijnen. Deze composietlijn loopt langs een NNO-ZZW transect door het inventarisatiegebied (Figuur 7) en omvat delen van 13 seismische lijnen (Tabel 9). De totale lengte van de composietlijn is ongeveer 64 kilometer.

Tabel 9. Een overzicht van de seismische lijnen waaruit de composietlijn is samengesteld en de seismische campagnes waartoe ze behoren.

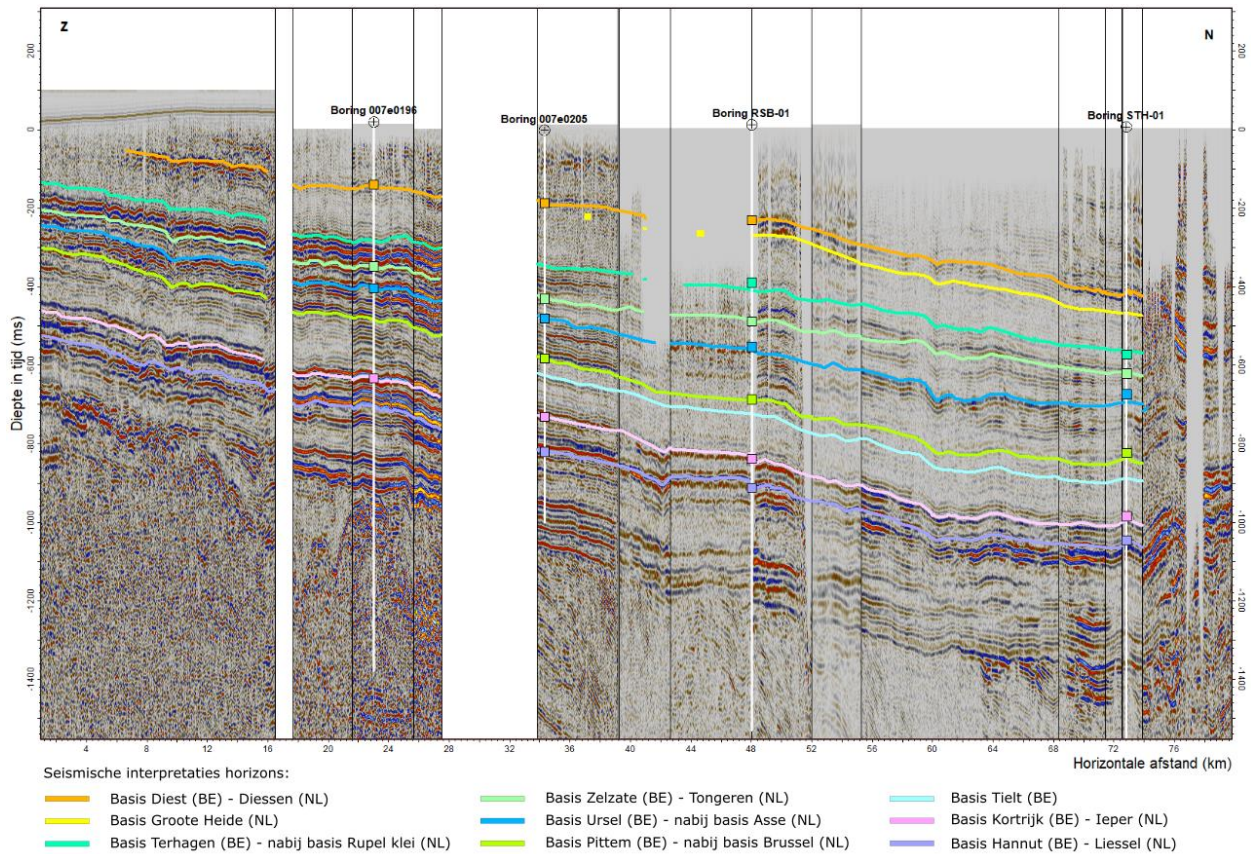
Survey	Lijn
LSC89	[8902FM10]
Loenhout1991	Fluxys_43_2D_91 - 28 DZH91-07
Loenhout1991	9101
Loenhout1991	Fluxys_43_2D_91 - 28 DZH91-14
L2BGD1980A	8014
L2NAM1964A	2437
L2NAM1964A	2439
L2PET1981D	BR81-05
L2PET1981D	BR81-04
L2PET1984B	BR84-07
L2PET1985A	BR8502
L2PET1985A	BR8501
L2PET1981D	BR81-10

Het tracé van de composietlijn is zo gekozen dat deze over vier boringen loopt die het gehele Cenozoïcum hebben doorboord en waarvan tijd-diepte informatie beschikbaar is. Dit zijn de boringen van Loenhout (DOV: [kb8d7e-B219](#); BGD: 007e0196), Meer (DOV: [kb8d7e-B224](#); BGD: 007e0205), Rijsbergen (NLOG: RSB-01) en Steelhoven (NLOG: STH-01). De tijd-diepte informatie van deze boringen maakt het mogelijk om hun stratigrafische interpretaties weer te kunnen geven in tijd als zogenaamde seismische horizonten op de nabijgelegen of snijdende seismische lijn (Figuur 8). Vanuit deze lijnen nabij de boringen, kunnen de interpretaties van seismische horizonten dan verder worden gezet op de snijdende seismische lijnen (Figuur 9). Zodoende worden alle seismische lijnen waaruit de

composietlijn is opgebouwd, geïnterpreteerd. Doordat verschillende boringen langs de composietlijn zijn gelegen, is het mogelijk om de seismische horizonten te controleren op inconsistenties. Een belangrijke eerste stap was daarbij ervoor te zorgen dat ook de stratigrafische interpretaties van de boringen consistent zijn met elkaar. Om dit te verwezenlijken, zijn de vier geselecteerde boringen met elkaar gecorreleerd voor het diepe bereik zoals getoond in Figuur 8.



Figuur 8. Correlatie tussen de op het diepe profiel gelegen boringen, vanaf het noordoosten (links) naar het zuidwesten (rechts). Per boring zijn telkens de gamma logs getoond. De seismisch geïnterpreteerde horizonten zijn aan de linker- en rechterzijde van de figuur aangegeven.



Figuur 9. Diep seismisch correlatieprofiel (zie Bijlage D voor uitvergroting).

Bij de interpretatie van de seismische composietlijn wordt in eerste instantie gebruik gemaakt van de stratigrafie uit de boringen. Vanwege de vaak beperkte verticale resolutie (~15-30 m) van de seismische data alsook de grote verschillen in resolutie tussen de seismische campagnes, konden niet alle grensvlakken tussen de stratigrafische eenheden geïnterpreteerd worden als seismische horizonten. Daarom is de keuze gemaakt om slechts die horizonten seismisch te interpreteren die 1) belangrijke discordanties vormen, 2) sterke impedantiecontrasten voorstellen of 3) als input dienen voor de modellering van horizonten op basis van dikten vastgesteld in boringen. In het inventarisatiegebied worden op basis van deze criteria zeven seismische horizonten geïnterpreteerd die globaal overeenkomen met grenzen tussen stratigrafische eenheden (Tabel 10).

Tabel 10. Seismisch geïnterpreteerde horizonten en hun interpretatiecriteria.

Horizont	Discordantie	Impedantie-contrast	Input dikte modellering
Basis Diest - Diessen		X	
Basis Groote Heide (alleen in Nederland)		X	
Basis Terhagen - nabij basis Rupel klei		X	X
Basis Zelzate - Tongeren	X		
Basis Ursel - nabij basis Asse		X	
Basis Pittem - nabij basis –Brussel		X	
Basis Kortrijk - Ieper		X	X
Basis Hannut - Liessel		X	X

In tegenstelling tot de voorgaande H3O-projecten is het niet mogelijk om de seismische horizonten van de boven- en ondergrenzen van het diepe bereik te interpreteren binnen het gehele inventarisatiegebied. De bovengrens (basis van de formaties van Kattendijk en Kasterlee (BE)/Formatie van Oosterhout (NL)) ligt in het inventarisatiegebied te ondiep om er een volledig en duidelijk seismisch beeld van te verkrijgen. De meest ondiepe reflector die nog seismisch geïnterpreteerd kan worden is die van de basis van de Formatie van Diest (BE) / Diessen (NL). De modeleenheid die de onderkant van het verticale bereik vormt (Formatie van Heers (BE) / laagpakketten van Orp en Gelinden (NL)) is daarentegen weer te dun om seismisch te kunnen onderscheiden op seismische lijnen met een lage resolutie. Daarom wordt ervoor gekozen om niet de basis van deze lithostratigrafische eenheid seismisch te vervolgen, maar wel de top ervan, die samenvalt met de basis van de Formatie van Hannut (BE) / Laagpakket van Liessel (NL) en een veel duidelijkere reflectie heeft.

Langs de composietlijn wordt het gebied gekenmerkt door een relatief eenvoudig verloop van de cenozoïsche afzettingen. Zoals de composietlijn toont, hellen de afzettingen in het algemeen naar het noorden en worden ze niet door breuken opgebroken. De diktes van de eenheden zijn meestal relatief constant. De grootste geologische complexiteit voor het diepe bereik wordt echter verwacht langs een O-W lijn, namelijk het uitwijken van een aantal eocene eenheden in oostelijke richting, en wordt dus niet op deze composietlijn getoond.

#### 4.3 Opstellen chrono-lithostratigrafische correlatietabel en conceptueel geologisch profiel

Op basis van de bevindingen van de correlatieprofielen zijn de correlaties tussen de Belgische en Nederlandse lithostratigrafische eenheden verder verfijnd en grafisch uitgewerkt door middel van een chrono-lithostratigrafische correlatietabel (Figuur 10). In dit diagram worden de eenheden in een indicatief tijds kader geplaatst en de onderlinge relaties op een stratigrafisch correcte wijze gepresenteerd (met name discordanties en laterale overgangen).

De ruimtelijke samenhang tussen de verschillende lithostratigrafische eenheden (zowel in diepte als lateraal) is schematisch gepresenteerd in een conceptueel

geologisch profiel door het projectgebied (Figuur 11). Voor dit profiel is een ZZW-NNO-tracé gekozen, haaks op de algemene geologische trends.

Het conceptueel profiel toont de geologische opbouw van het gebied, met geleidelijk in noordoostelijke richting afhellende laagvlakken en een duidelijke toename in dikte van laat-oligocene tot vroeg-pleistocene eenheden.

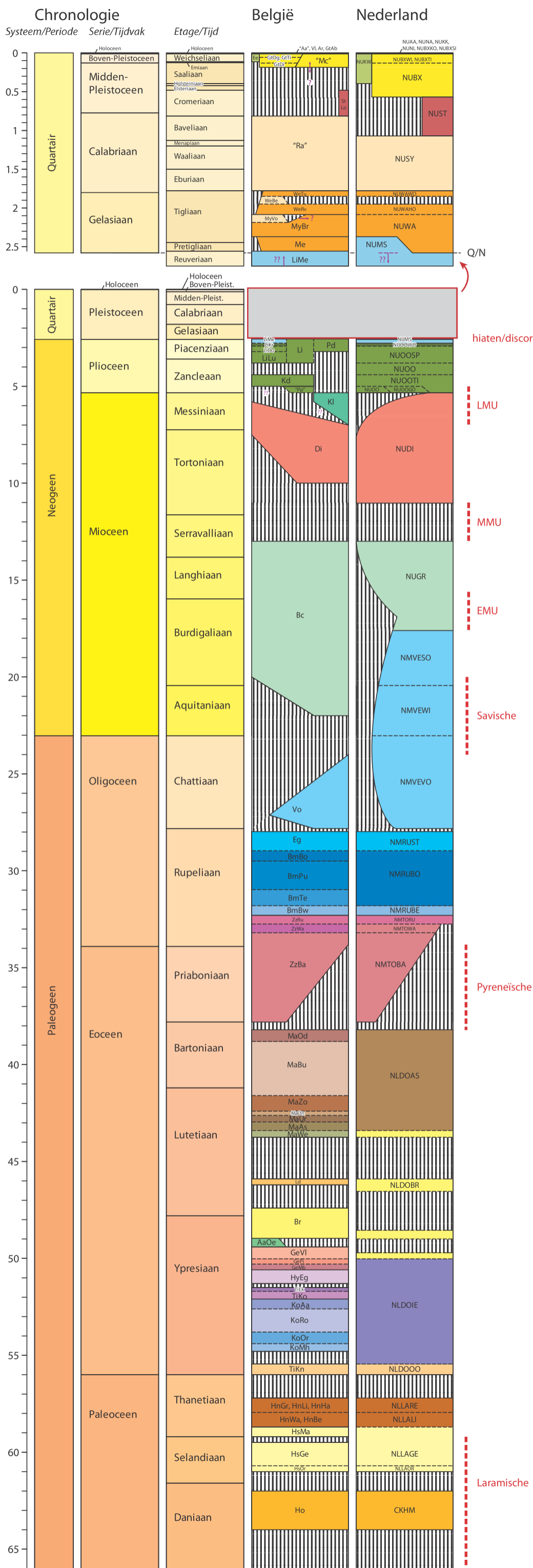
De belangrijkste discordantievlakken in de ondergrond van het gebied zijn:

- basis van de Formatie van Heers (BE)/Landen (NL) (Laramische fase);
- basis van de Formatie van Zelzate (BE)/Tongeren (NL) (Pyreneïsche fase);
- basis van de Formatie van Voort (BE)/Veldhoven (NL) (Savische fase);
- basis van de Formatie van Berchem (BE)/Groote Heide (NL) (Early Miocene Unconformity of EMU);
- basis van de Formatie van Diest (BE)/Diessen (NL) (Mid-Miocene Unconformity of MMU);
- basis van de Formatie van Kattendijk (BE)/Oosterhout (NL) (Late Miocene Unconformity of LMU).

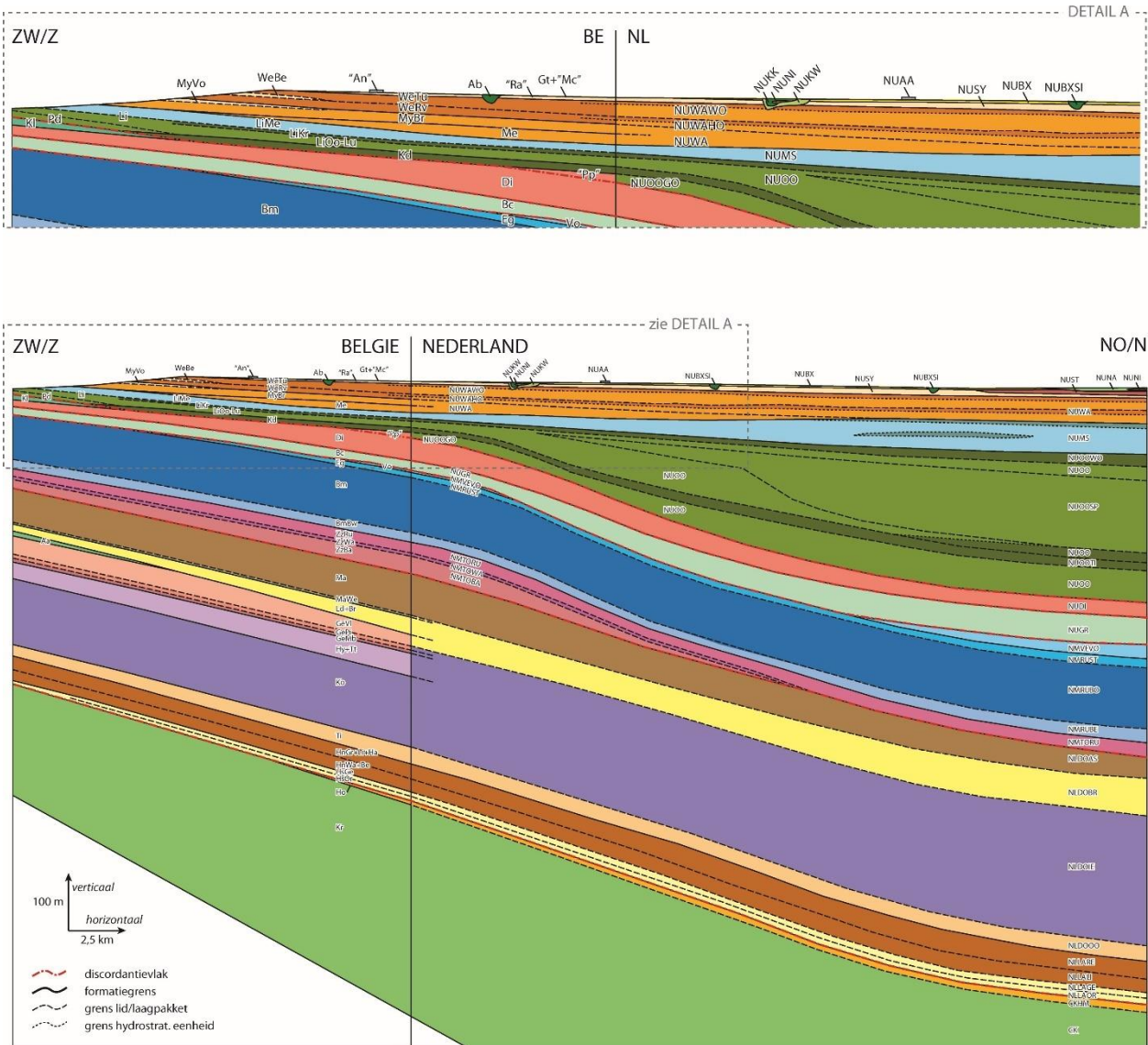
Andere (plaatselijk significante) erosieve niveaus zijn:

- basis van de Formatie van Tienen (BE)/Formatie van Dongen-Laagpakket van Oosteind (NL);
- bases van de formaties van Brussel, Lede en Maldegem (BE)/verschillende niveaus binnen het Laagpakket van Brussel van de Formatie van Dongen (NL);
- verschillende niveaus binnen de formaties van Weelde en Malle (BE)/Formatie van Waalre (NL);
- bases van de Formatie van Gent en het complex van Meer (BE)/Formatie van Boxtel (NL) / en de Formatie van Eeklo (BE)/Koewacht (NL);
- bases van de Formatie van Arenberg (BE)/Formatie van Boxtel-Laagpakket van Singraven (NL), het lid van Doel (BE)/Kreekrak Formatie (NL) en de Formatie van Vlaanderen (BE)/Naaldwijk (NL).

# Chrono-lithostratigrafische correlatietabel H30 - De Voorkempen



Figuur 10 Chrono-lithostratigrafische correlatietabel voor het inventarisatiegebied H30-De Voorkempen. De rechter kolommen geven de chronologie (systeem/periode, serie/tijdvak, etage/tijdsnede) weer; de linker kolommen geven een overzicht van de Belgische en Nederlandse lithostratigrafische eenheden die in het gebied aanwezig zijn en hun onderlinge samenhang.



Figuur 11. Conceptueel geologisch profiel door het inventarisatiegebied H3O-De Voor Kempen, ruwweg ZZW-NNO georiënteerd, met indicatie van de Belgische en Nederlandse lithostratigrafische eenheden en detailweergave van de meest ondiepe eenheden.

#### 4.4 Definitie informele (hydro)geologische eenheden

Hoewel gekozen is om de bestaande lithostratigrafische en hydrogeologische indelingen aan weerszijden van de grens te behouden, hebben de correlaties tussen Nederlandse en Belgische eenheden in sommige gevallen aanleiding gegeven tot verdere onderverdeling of combinatie van meerdere eenheden, waarbij het soms nodig was om (nieuwe) informele eenheden te (her)introduceren:

- Zo is in Nederland nog geen volledige hydrogeologische indeling opgesteld voor het diepere Neogeen en Paleogeen. Om die reden zijn conform de systematiek van REGIS II nieuwe eenheden voorgesteld, zie Tabel 7.
- In Vlaanderen is in de hydrogeologische codering geen onderverdeling gemaakt binnen de formaties van Weelde en Malle; in Nederland is er geen formele relatie vastgelegd tussen hydrogeologische en stratigrafische eenheden op het



niveau van laagpakket binnen de Formatie van Waalre. In dit project zijn de correlaties tussen de verschillende leden/laagpakketten verduidelijkt en overeenkomstig wordt een volledige hydrogeologische indeling voorgesteld.

- In navolging van de praktijk bij de Quartair-kartering worden in Vlaanderen de informele eenheden complex van Meer en formatie van Ravels geïnterpreteerd; deze eenheden correleren met (delen van) de formaties van Boxtel en Stramproy in Nederland.
- Zoals bij de vorige H3O-projecten wordt (het kleiige deel van) de Formatie van Kasterlee (BE) onderscheiden. In de vorige projecten werd deze eenheid gecorreleerd met de top van de Formatie van Breda (NL), een belangrijke hydrogeologische grens en de scheidslijn tussen het “ondiepe bereik” en het “diepe bereik”. Door nieuwe biostratigrafische gegevens is er thans een nieuwe lithostratigrafische indeling van het Laat-Mioceen/Vroeg-Plioceen in Nederland, waardoor het equivalent van de Formatie van Kasterlee (BE) geheel binnen de formatie van Diessen valt (NL).
- In Vlaanderen wordt de informele eenheid “Poppel-zand” geïnterpreteerd, die (waarschijnlijk) correleert met het nieuw-gedefinieerde, pliocene laagpakket van Goirle (Formatie van Oosterhout) in Nederland; deze eenheid werd voorheen in België als deel van de miocene Formatie van Diest (BE) geïnterpreteerd, maar is in het laatste voorstel voor herziening van de neogene stratigrafie bij de (pliocene) Formatie van Kattendijk ingedeeld.

#### 4.5 Toelichting bij de geologische eenheden

De toelichting bij de geologische eenheden dient de volgende doelen:

- Stratigrafische onderbouwing en motivering van de grensoverschrijdende geologische eenheden binnen het modelgebied.
- Beknopte beschrijving van de criteria voor interpretaties en correlaties (met nadruk op lithologische, geofysische en/of seismische kenmerken cf. beschikbare datasets).
- Input leveren voor discussies binnen de nationale stratigrafische werkgroepen of commissies (buiten opdracht van dit project).

De criteria voor interpretaties en correlaties moeten grensoverschrijdend bruikbaar zijn en kunnen dus niet simpelweg een kopie van de bestaande Belgische en Nederlandse nomenclators zijn (NCS, 2022; TNO-GDN, 2022). De stratigrafische indelingen van België en Nederland vormden een belangrijke basis, maar inhoudelijk zijn de criteria aangepast aan voortschrijdende inzichten verworven tijdens de uitvoering van het project, en getoetst door de deskundigen in de Stuurgroep en Begeleidingscommissie. Om de criteria duidelijk te stellen is daarom voor iedere geologische eenheid een toelichting opgesteld (Bijlage E).

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

- lithologische kenmerken;
- geofysische en/of seismische kenmerken;
- regionale trends in de samenstelling, grenzen of chronologie;
- stratigrafische context (boven- en ondergrens, laterale overgangen);
- ouderdom;
- eventuele correlatieproblemen en -oplossingen.

## 5 (Her)interpretaties boorgegevens en seismische gegevens

### 5.1 (Her)interpretaties boorgegevens

Zowel voor wat betreft het Quartair als het Neogeen/Paleogeen is er in eerste instantie uitgegaan van de bestaande lithostratigrafische en hydrogeologische interpretaties. Voor boringen die nog geen actuele interpretatie hadden (bijvoorbeeld oude stratigrafische naamgeving), werd deze toegevoegd. Voor de boringen in de grensoverschrijdende correlatieprofielen, werden de interpretaties initieel hieruit overgenomen. Nieuwe inzichten uit recente studies (met name betreffende de neogene stratigrafie, bijv. Munsterman et al. (2019) en het speciale volume in *Geologica Belgica* (Vandenberghe et al. 2020) werden meegenomen bij de herinterpretatie van de gegevens.

Als hulpmiddel bij de interpretaties werden naast de al vervaardigde correlatieprofielen nog enkele hulpprofielen samengesteld. Deze hulpprofielen waren hoofdzakelijk bedoeld om de onderlinge consistentie van de stratigrafische en hydrogeologische (her)interpretaties te waarborgen. Daarnaast verschafften deze hulpprofielen een beter ruimtelijk inzicht in de opbouw van de ondergrond. Allereerst werden de boringen (al dan niet met boorgatmetingen) langs de hulpprofielen geïnterpreteerd en deze zijn vervolgens als kapstok gebruikt voor de interpretatie van de overige, tussenliggende boringen.

Nadat alle boringen van interpretaties waren voorzien, werden deze (per laag) ruimtelijk uitgezet om te controleren op ruimtelijke consistentie. Uitschieters werden gedetecteerd en nader bekeken; indien mogelijk werden foutieve interpretaties gecorrigeerd of desnoods, als de gegevens onbetrouwbaar bleken, verwijderd uit de dataset. Tijdens de activiteit van de modellering, zal er verdere aandacht besteed worden aan het consistente diepte- en dikteverloop van de eenheden. Mochten er in die fase nog uitschieters of onregelmatigheden aan het licht komen, dan zullen de betreffende interpretaties herbekeken en eventueel gecorrigeerd worden. De resultaten van deze activiteit dienen dan ook in eerste instantie beschouwd te worden als tussenproduct; de interpretaties worden pas definitief vastgesteld nadat de modellering afgerond is.

In sommige gevallen is het moeilijk om de grenzen van een eenheid met zekerheid vast te stellen, bijvoorbeeld wanneer de boorbeschrijving onvoldoende gedetailleerd is, of wanneer het beschreven interval zo groot is, dat deze één of meerdere stratigrafische grenzen omvat. Deze intervallen werden van een speciale code voorzien<sup>3</sup> en vervolgens genegeerd. Indien de hele boring slecht beschreven is of uit grote intervallen bestaat, waardoor interpretatie niet mogelijk is, dan werd de volledige boring uit de dataset verwijderd.

---

<sup>3</sup> Voor de Belgische interpretaties werd code '-7777' voorzien, in overeenstemming met de praktijk bij de G3Dv3/H3Dv2-modellen.

### 5.1.1 *Nederlandse boorgegevens*

Voor de Nederlandse boringen bestond het uitgangspunt uit de bestaande lithostratigrafische en hydrogeologische interpretaties van de modellen DGM v2.2 (2014) en REGIS II v2.2 (2017). 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 vertrekpunt voor de herinterpretaties gebruikt. De belangrijkste aandachtspunten in het Nederlandse deelgebied waren:

- De interpretatie van laagpakketten binnen de Formatie van Waalre (laagpakketten van Hoogerheide en Woensdrecht) en de Formatie van Oosterhout (laagpakketten van Sprundel, Wouw en Tilburg). Omdat de tyelocaties van deze laagpakketten in het modelgebied zijn gelegen en deze eenheden tot dusverre nog niet gebiedsdekkend geïnterpreteerd zijn, vormt het huidige project een uitgelezen gelegenheid om de karteerbaarheid van deze eenheden te toetsen.
- Het verhelpen van inconsistenties in de interpretatie van de boven- en ondergrens van de Formatie van Maassluis (respectievelijk met de formaties van Waalre en Oosterhout).
- De onderverdeling van de Formatie van Breda in de nieuw voorgestelde formaties van Groote Heide en Diessen en het laagpakket van Goirle binnen de Formatie van Oosterhout, conform de laatste geologische inzichten uit recente onderzoeks- en karteerprojecten, waaronder de vorige H3O-projecten (Deckers et al. 2014, Vernes et al. 2018).

Wat betreft de boringen uit de selectieset van DGM/REGIS v2.2 is van alle boringen de stratigrafische interpretatie bijgesteld door de interpretatie van laagpakketten. Ten opzichte van REGIS II v2.2 hebben de meeste herinterpretaties plaatsgevonden in de formaties van Waalre, Oosterhout en Breda. Van de 338 aanvullende boringen zijn nieuwe stratigrafische interpretaties opgesteld (301 boringen) of zijn de bestaande, verouderde stratigrafische interpretaties geactualiseerd (37 boringen). Aansluitend zijn van al deze boringen ook hydrogeologische interpretaties gemaakt.

Uit de initiële Nederlandse selectieset werden in totaal 90 boringen verwijderd, wegens slechte kwaliteit, en in plaats daarvan zijn er 60 nieuwe boringen toegevoegd.

### 5.1.2 *Belgische boorgegevens*

Voor de Belgische boringen bestond het uitgangspunt uit de bestaande lithostratigrafische en hydrogeologische interpretaties van de modellen G3Dv3 en H3Dv2 (2019), interpretaties van de Quartairkartering (1997-1999) en aanvullende formele en informele interpretaties uit DOV. De interpretaties uit de verschillende databronnen werden zoveel mogelijk via een automatische workflow gekoppeld en gecombineerd, waarbij in geval van “dubbele” interpretaties steeds voorrang werd gegeven aan de meer volledige en betrouwbare interpretaties over het desbetreffende interval<sup>4</sup>. In gevallen waar de informele interpretaties niet rechtstreeks omgezet konden worden naar formele interpretaties, bijvoorbeeld

---

<sup>4</sup> Interpretaties op basis van boorgatmetingen gaan boven interpretaties uit de Quartairkartering, dan (overige) interpretaties uit de G3Dv3-modellering, andere formele interpretaties in DOV en tenslotte informele interpretaties.

omdat deze meerdere of verouderde lithostratigrafische eenheden omvatten, dienden de boringen geherinterpreteerd te worden.

Bij de herinterpretaties in het Vlaamse deelgebied werd er speciaal aandacht besteed aan enkele verbeterpunten die in de rapportage van de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werden aanbevolen:

- Aandachtspunt 2.4: Het dikteverloop van de Formatie van Maldegem of *Bartoon Aquitardsysteem (A0500)*.
- Aandachtspunt 2.6: Het dikteverloop van de formaties van Hyon en Gentbrugge (G3D) of *Zand van Egem (A0801)*.

Omdat het dikteverloop van deze eenheden onrealistisch groot werd in het grensgebied met Nederland, is hier speciale aandacht aan gegeven bij de interpretaties, zowel van boringen als seismiek.

Andere belangrijke aandachtspunten in het Vlaamse deelgebied waren:

- De onderverdeling van de Formatie van Weelde in zowel leden als hydrogeologische eenheden. Bij de opmaak van de G3Dv3/H3Dv2-modellen is geen onderscheid gemaakt op lid-niveau, terwijl deze bij de eerdere Quartairkartering wel werden geïnterpreteerd. Ook een hydrogeologische onderverdeling werd nog niet eerder gemaakt; het tot stand brengen van een eenduidige correlatie met de hydrogeologische onderverdeling van de Formatie van Waalre in Nederland bouwt hierbij voort op de inzichten uit het project H3O-De Kempen.
- De onderverdeling van de Formatie van Lillo in leden. Voor de G3Dv3/H3Dv2-modellen kon de onderverdeling wel gemaakt worden in het westen, maar niet in het oostelijke voorkomingsgebied; tussen beide gebieden werd een arbitraire grens getrokken.
- Het onderscheid tussen de formaties van Kattendijk en Kasterlee. Bij de opmaak van de G3Dv3/H3Dv2-modellen werden beide eenheden nog samengenomen.
- De inzichten met betrekking tot het Neogeen uit het speciale volume in *Geologica Belgica* (Vandenberghe et al. 2020), in zoverre deze niet al verwerkt zijn in de interpretaties van de G3Dv3-modellering.
- Het verhelpen van inconsistenties tussen de interpretaties uit de Quartairkartering (voornamelijk gebaseerd op criteria die herkenbaar zijn in gekernde boringen) en de interpretaties van quartaire eenheden uit de G3Dv3/H3Dv2-modellering (voornamelijk gebaseerd op criteria herkenbaar in boorgatmetingen) (zie Bijlage E).

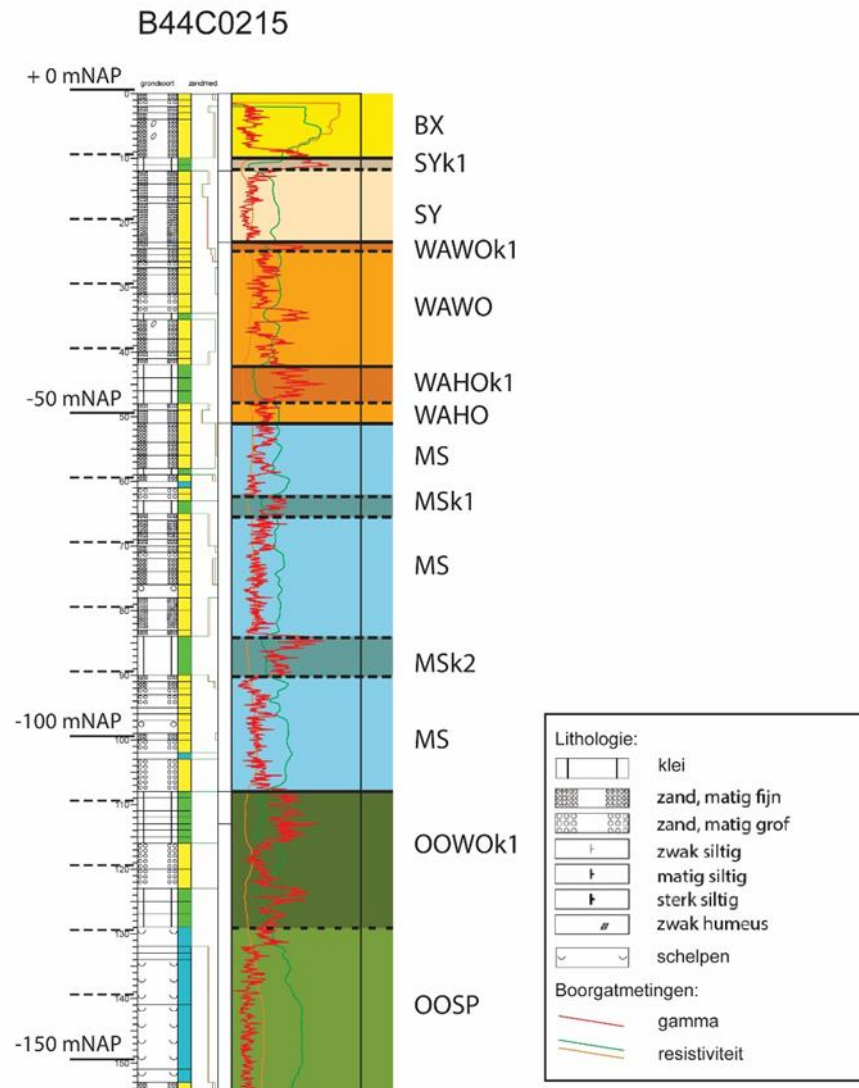
Een aantal Belgische boringen (323 stuks) werd verwijderd uit de initiële selectieset, omdat de kwaliteit van de boorbeschrijving te laag was voor betrouwbare interpretatie.

### 5.1.3 *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 en de verdere opdeling van beide formaties.

In bijzonder 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 (Figuur 12).



Figuur 12. Interpretatie van de geologische en hydrogeologische eenheden (kleiige niveaus) in boring B44C0215, gelegen ten noordwesten van Breda, op basis van de lithologische beschrijving en boorgatmetingen (gamma- en resistiviteitslogs). Voor betekenis van de codes, zie Tabel 11.

#### 5.1.4 Zware mineralenanalyse

Bij de (her)interpretatie van de Nederlandse boringen zijn naast de boorgatmetingen ook zware mineralendiagrammen gebruikt bij de bepaling van stratigrafische grenzen. In het noordoostelijke deel van het projectgebied zijn de

zware mineralen gebruikt voor het onderscheid te maken tussen de Formatie van Sterksel en de Formatie van Stramproy. De Formatie van Stramproy wordt immers gekenmerkt door een stabiele mineraalassociatie, terwijl de formaties van Sterksel en Waalre typisch een instabiele mineraalassociatie vertonen.

#### 5.1.5 *Palynologisch onderzoek*

Bij de herinterpretatie is verder gebruik gemaakt van dateringen met behulp van dinoflagellaatcystenanalyse (palynologie) op geselecteerde intervallen van boringen in Nederland en België (zie Paragraaf 3.8 en Bijlage C).

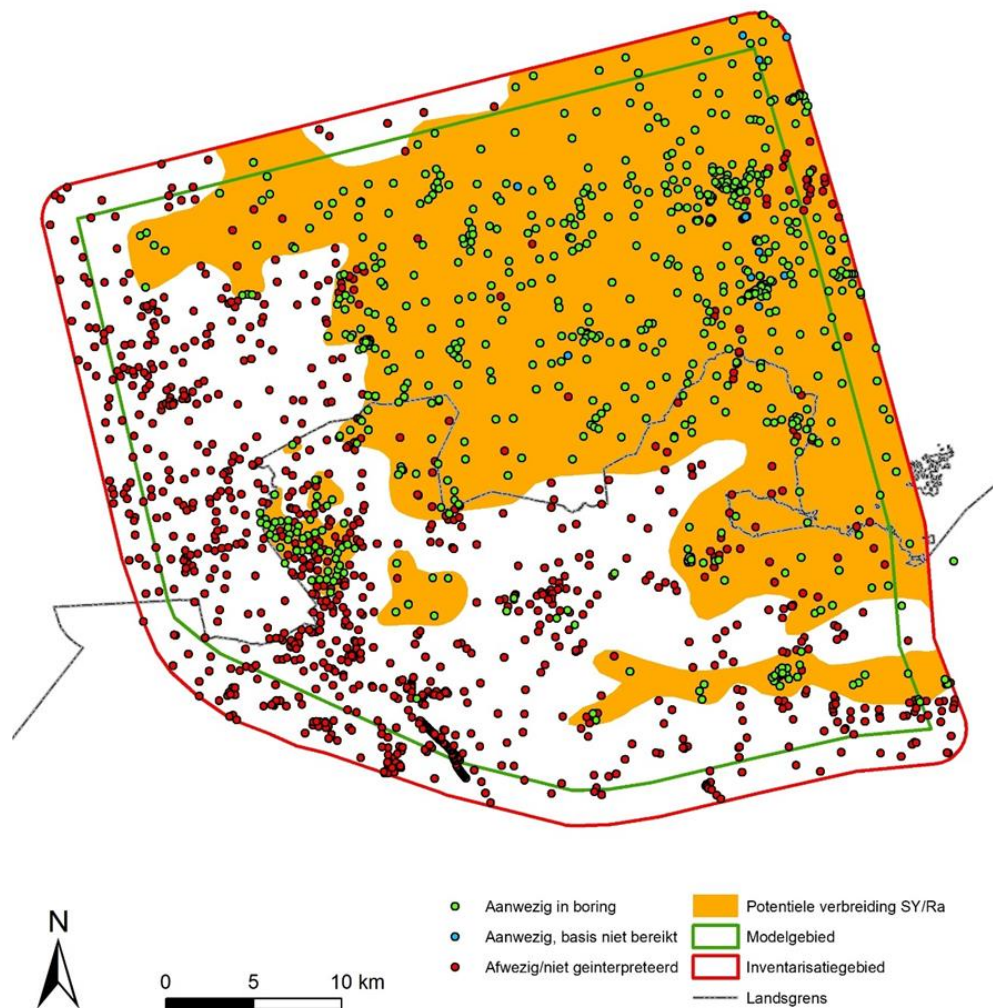
#### 5.1.6 *Potentiële verbreidingen*

Van de 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.
- Dieper dan: top van de eenheid is geïnterpreteerd maar de basis is niet bereikt (dus basis ligt dieper dan de einddiepte van de boring).
- Afwezig: eenheid is niet aangetroffen terwijl een stratigrafische onderliggende eenheid wel is bereikt. De kolommen van dieptes van interpretatie krijgen hierbij de code '-9999'.

Op grond van de ruimtelijke verdeling van de boringen waarin de eenheid met zekerheid aan- of afwezig is, is de potentiële verbreiding vastgesteld (Figuur 13). 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 immers uit de modellering.

In het kader van de geologische modellen GeoTOP v1.4 en DGM v2.2 en het hydrogeologische model REGIS II v2.2 zijn potentiële verbreidingen geïnterpreteerd van Nederland. Voor het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied zijn de verbreidingen gebaseerd op de potentiële voorkomingsgrenzen uit de G3Dv3/H3Dv2-modellen en voorkomens uit de Quartairkartering. Deze verbreidingen zijn gecontroleerd aan de hand van de nieuwe (her)interpretaties van de boringen en waar nodig bijgesteld of nader gedetailleerd. Voor nieuwe (hydro)geologische eenheden zijn eveneens potentiële verbreidingen vervaardigd.



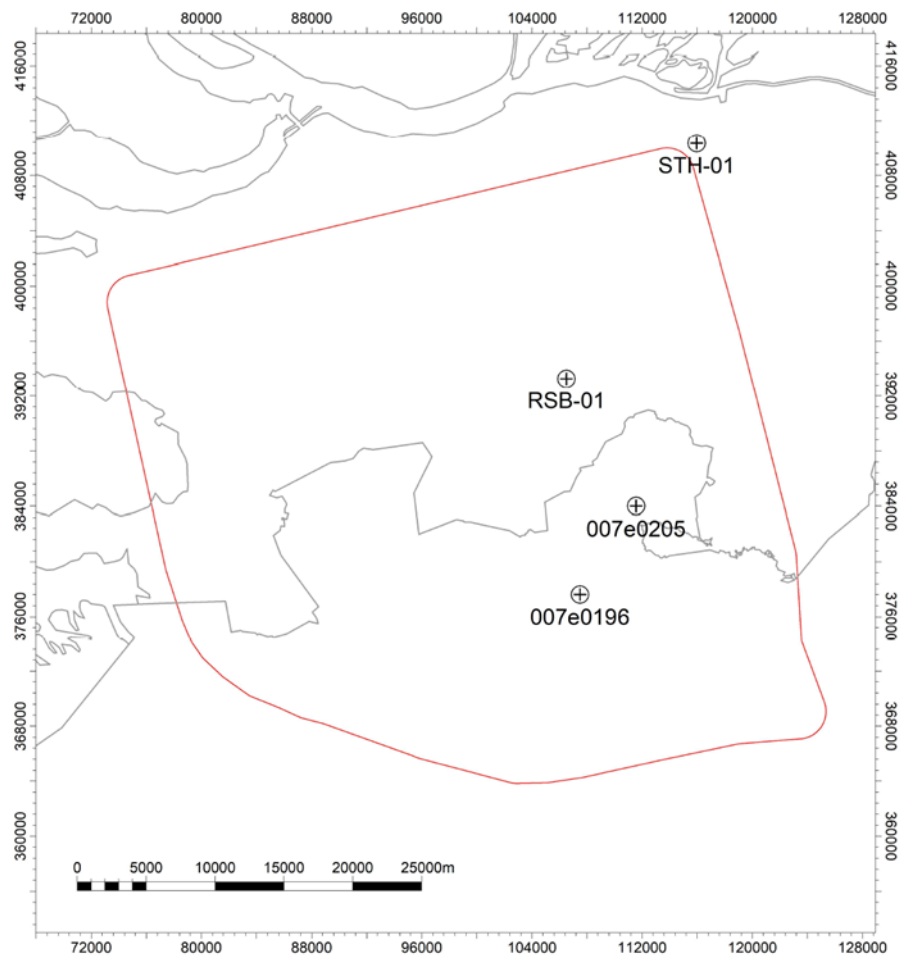
Figuur 13. Ligging van de boringen waarin de Formatie van Stramproy (NL)/Formatie van Ravels (BE) geïnterpreteerd is en de daaruit afgeleide potentiële verbreiding.

## 5.2 (Her)interpretaties seismische gegevens

### 5.2.1 *Seismic to well-tie*

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 in staat de diepteligger van de stratigrafische niveaus in de boringen op de seismische lijnen te visualiseren. Om de diepteschaal om te zetten naar tijdschaal worden snelheidsdata gebruikt (sonic logs en/of checkshots) uit boringen die vlakbij seismische lijnen gelegen zijn; deze boringen vormen de kapstokboringen. Voor de interpretatie van de diepe eenheden zijn vier van dergelijke kapstokboringen gebruikt. De locaties van deze kapstokboringen zijn aangegeven in Figuur 14:

- in Nederland: RSB-01: sonic log en STH-01: sonic log;
- in België: 007e0205 ([kb8d7e-B224](#)): sonic log en dichtheid log + VSP en 007e0196 ([kb8d7e-B219](#)): sonic log en dichtheid log.

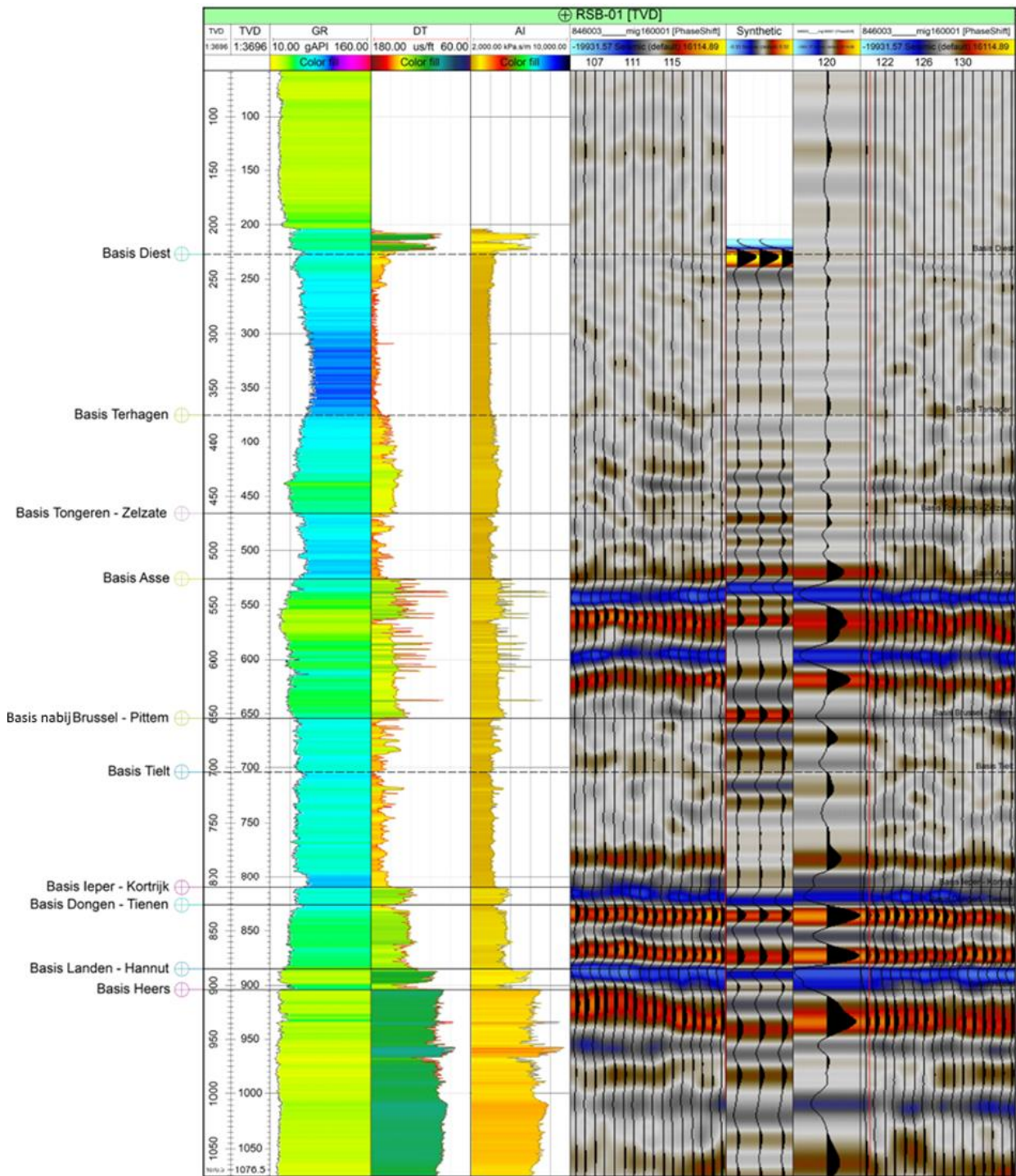


Figuur 14. Ligging van de vier kapstokboringen binnen het inventarisatiegebied.

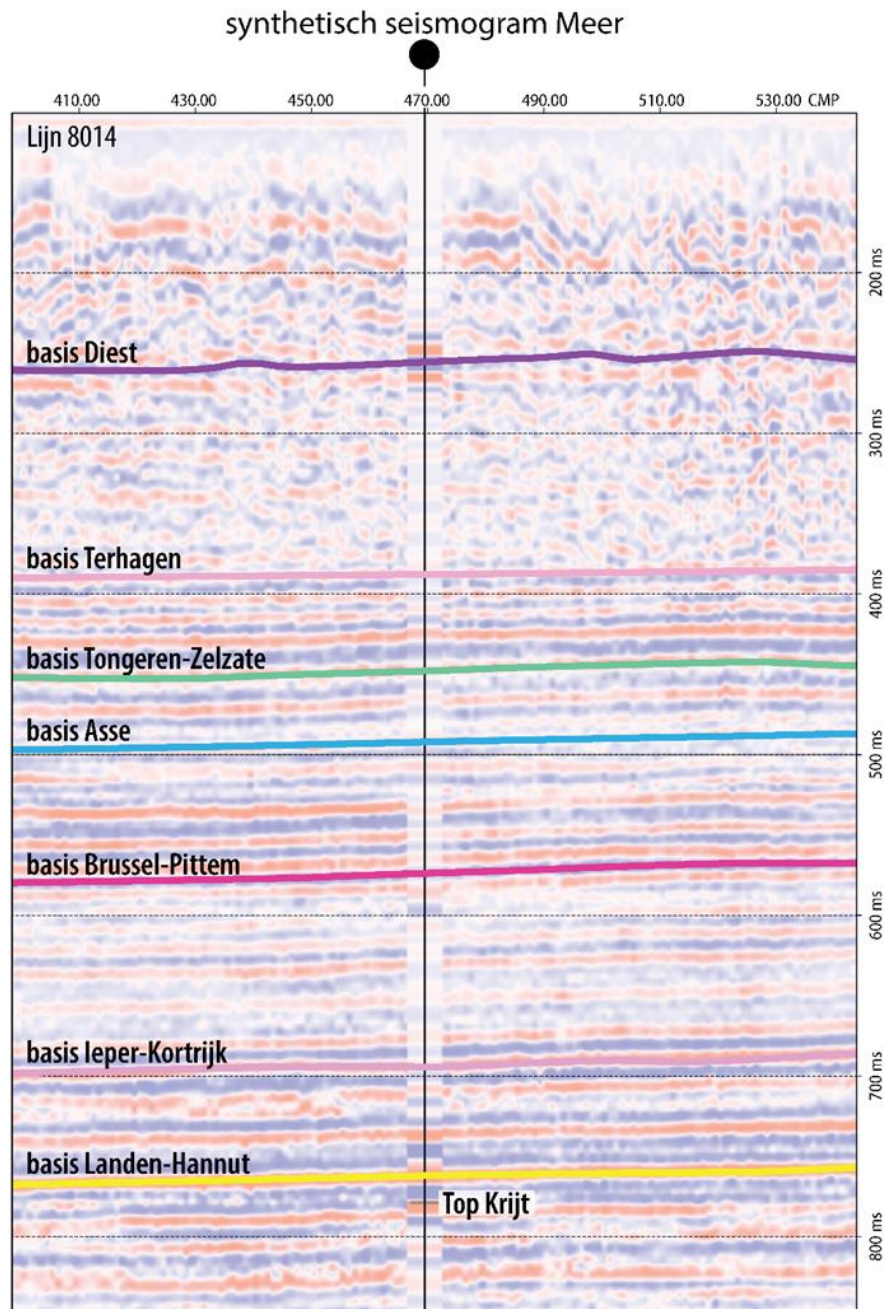
De snelheids- en dichtheidsdata uit boringen kunnen ook gebruikt worden om synthetische seismogrammen te creëren. Deze synthetische seismogrammen simuleren de te verwachten seismische respons en dienen ter herkenning van geïnterpreteerde stratigrafische overgangen van de boring op het seismisch beeld en ondersteunen zo de seismische interpretatie. Voor de Nederlandse kapstokboringen zijn met behulp van Petrel synthetische seismogrammen gemaakt (Figuur 15) en voor de Belgische boringen met behulp van GOCAD (Figuur 16).

De interpretaties van de eenheden in de diepe kapstokboringen zijn via de seismische lijnen verder geëxtrapoleerd door het inventarisatiegebied.





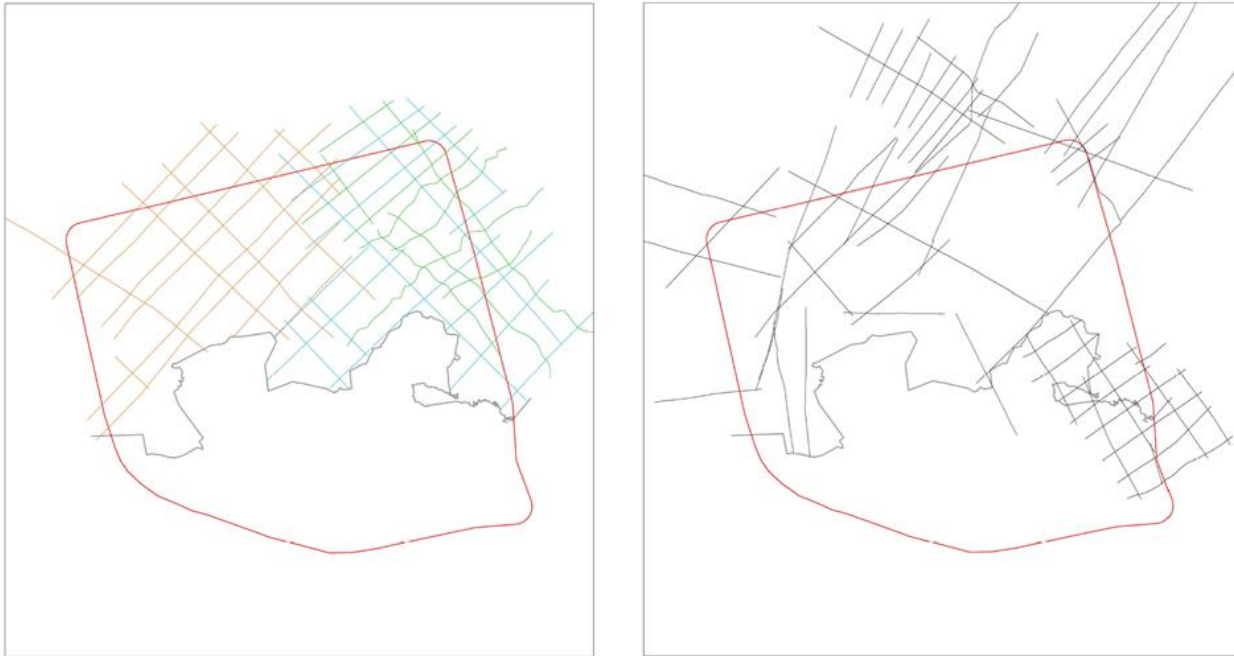
Figuur 15. Synthetisch seismogram van kapstokboring Rijsbergen-01 (NLOG-nr. RSB-01). De akoestische impedantie is het product van de sonic velocity (DT) en density (RHOB). Indien er geen RHOB-log bestaat (zoals hier het geval) kan deze met Petrel© berekend worden middels Gardners equation, welke een correlatie tussen beide parameters veronderstelt. De reflectiecoëfficiënt (de sterkte van het impedantiecontrast) wordt vertaald naar een synthetisch seismisch signaal (derde kolom van rechts) door gebruik te maken van seismische golven die overeenkomstig zijn met de oorspronkelijke seismische data (in de kolom direct links en uiterst rechts daarvan) langs het boortraject. De seismische conventie is zero phase, normal polarity. De stratigrafische horizonten geven de voor H3O - De Voorkepen seismisch geïnterpreteerde "diepe" geologische modelleenheden weer met toevoeging van de Formatie van Tienen en de Formatie van Heers.



Figuur 16. Synthetisch seismogram van kapstokboring Meer (BGD 007e0205; DOV: [kb8d7e-B224](#)) bovenop een seismische lijn van de Nfb80 campagne die doorheen deze boring loopt. Het koppelen van het synthetisch seismogram aan de seismische lijn werd ondersteund door een VSP die in dezelfde boring uitgevoerd werd. De seismische conventie is zero phase, reverse polarity. De stratigrafische horizonten geven de voor H3O - De Voorkepen seismisch geïnterpreteerde "diepe" geologische modeleenheden weer.

Bij de interpretatie van de seismische data wordt in eerste instantie uitgegaan van de lithostratigrafie uit de boringen. Tevens is er in NL een onderscheid aangebracht tussen "primaire" en "secondaire" surveys. Het inventarisatiegebied wordt in NL goed bedekt door een drietal surveys van redelijk goed tot goede kwaliteit: L2PET1981D, L2PET1984B en L2NAM1984B (Figuur 17). Deze surveys zijn

onderling door middel van timeshifts en mis-tie correcties goed op elkaar aangesloten en interpretaties op lijnen van deze surveys vormen de basis van de seismische interpretaties en zullen bij de modellering meer gewicht krijgen dan interpretaties op lijnen van “secondaire” surveys. Dit is gedaan om onnodige ruis en uitschieters te voorkomen in een gebied van weinig complexe geologie.



Figuur 17. Primaire (links) en secondaire (rechts) seismische surveys.

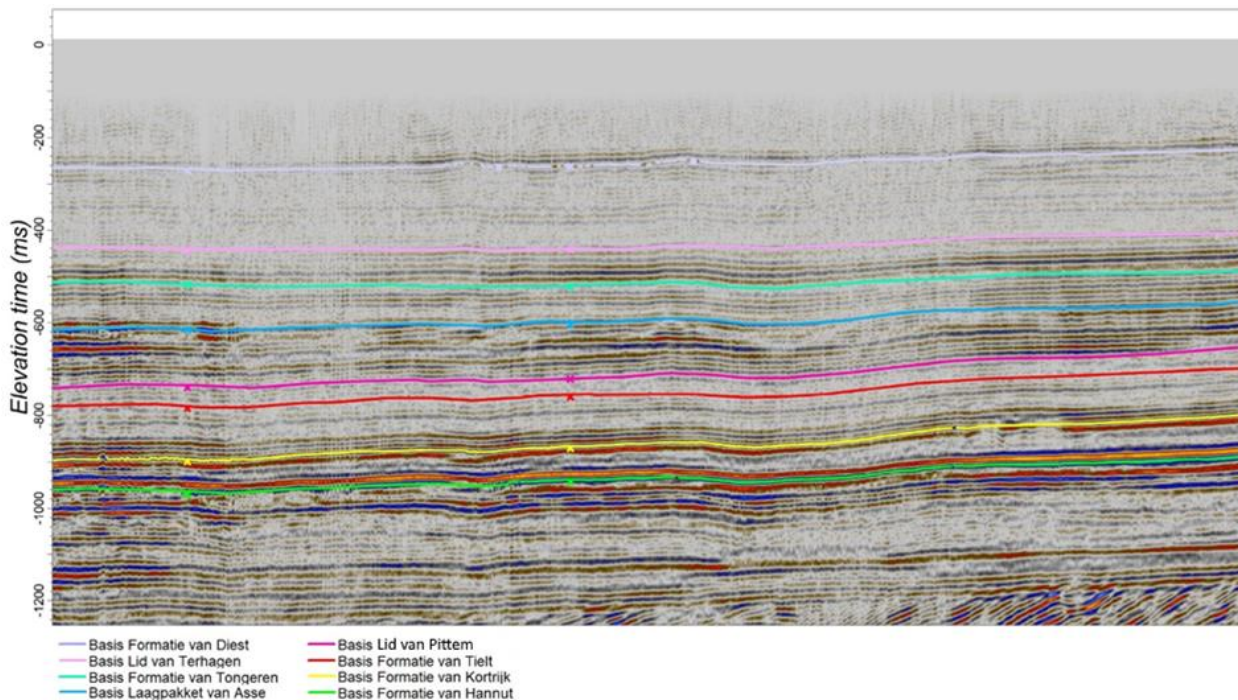
Vanwege de vaak beperkte verticale resolutie (~15-30 m) van de seismische data, de grote verschillen in resolutie tussen de seismische campagnes en het gebrek aan sterke impedantiecontrasten, of de beperkte dikte van een modeleenheid, konden niet alle grensvlakken tussen lithostratigrafische eenheden seismisch geïnterpreteerd worden. Daarom is de keuze gemaakt om slechts die vlakken seismisch te interpreteren die:

- sterke impedantiecontrasten voorstellen;
- belangrijke discordanties vormen;
- van groot belang zijn voor de sturing van de modellering van horizonten (met andere woorden, deze kunnen niet bepaald worden door slechts de dikte uit de boringen te gebruiken).

De volgende reflectiepatronen en karakteristieken worden herkend:

- **Reflectieintensiteit:** transparante intervallen zijn hierbij indicatief voor relatief homogene pakketten en sterk reflectieve intervallen geven sterk wisselende lithologieën aan.
- **Reflectortruncatie:** indicatief voor hoek- en/of erosiediscordanties.

Op basis van deze criteria kunnen maximaal 8 seismische eenheden worden onderscheiden die exact of bij benadering overeenkomen met de hieronder beschreven eenheden.



Figuur 18. Seismisch geïnterpreteerde horizonten op lijn 84-10 van de survey L2PET1984B.

## 5.2.2 Seismostratigrafische beschrijving/resultaten

### **Basis formatie van Diessen (NL) / Diest (BE)**

De basis van de formatie van Diessen/Diest wordt gekenmerkt door een sterk negatief impedantie contrast. Dit contrast wordt gevormd door de overgang van grof zand naar fijner zand. De sterke reflector is duidelijk vervolgbaar in het noordoostelijke Belgische deel van het modelgebied, maar wordt wel minder duidelijk naarmate de basis van de formatie ondieper komt te liggen richting het zuidwesten.

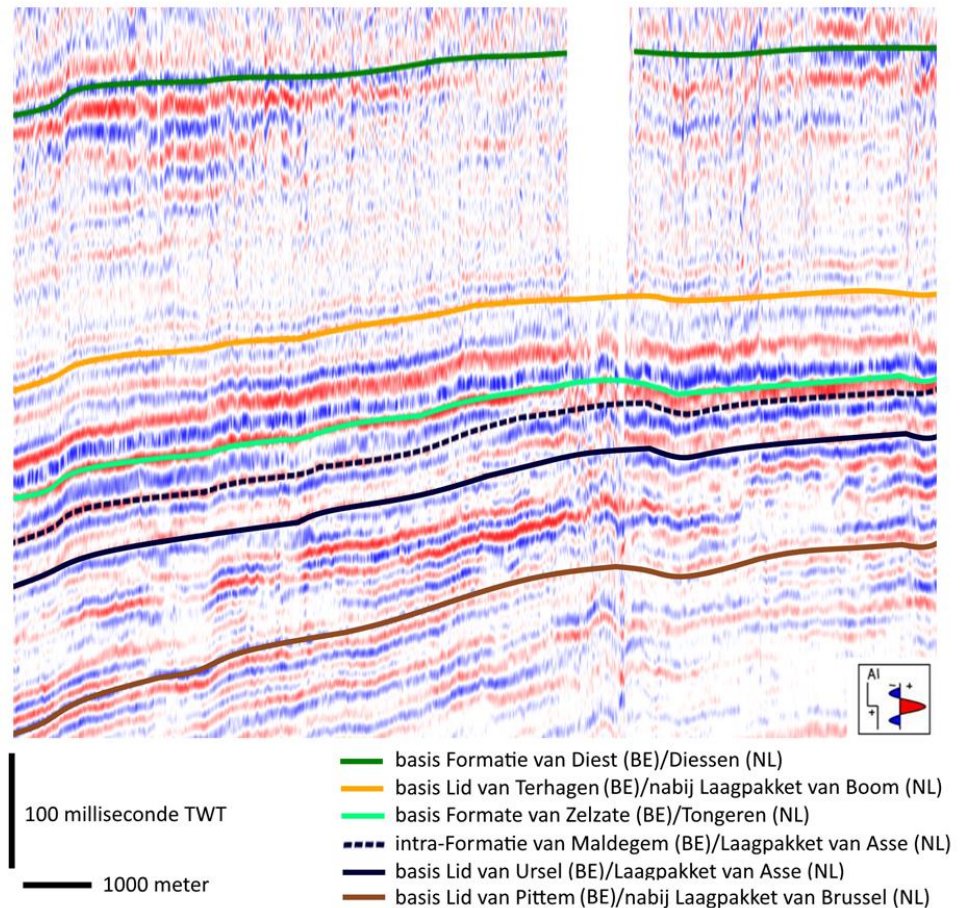
### **Basis nabij Laagpakket van Boom (NL) / Formatie van Boom (BE) (excl. Lid van Belsele-Waas)**

De basis van het Laagpakket of Formatie van Boom, het Lid van Belsele-waas, is niet altijd duidelijk te interpreteren in boringen. Het seismische contrast tussen dit lid en de onderliggende Formatie van Tongeren (NL)/Zelzate (BE) is erg beperkt. Een duidelijker seismisch contrast, namelijk een toename in impedantie, wordt geboden door de overgang van het bovenliggende Lid van Terhagen naar het Lid van Belsele-waas (Figuur 15). Deze overgang is tevens gemakkelijker te interpreteren op resistiviteitslogs (overgang van continue lage resistiviteit van het Lid van Terhagen naar stijgende resistiviteit in het Lid van Belsele-Waas). Om deze redenen is besloten om de basis van het Lid van Terhagen seismisch te interpreteren als representatief voor de basis van het Laagpakket of Formatie van Boom, ook al valt deze daar iets boven (10-20 milliseconden).

### **Basis Formatie van Tongeren (NL) / Zelzate (BE)**

De Formatie van Tongeren/Zelzate ligt hoekdiscordant op het Laagpakket van Asse (NL)/Formatie van Maldegem (BE) (Figuur 19). Door de hoekdiscordantie is het onderliggende sediment, en daarmee het reflectieve karakter van deze horizon,

variabel. Lokaal is deze hoekdiscordantie daarom moeilijk te vervolgen. In Nederland, waar deze hoekdiscordantie minder uitgesproken is, wordt de basis van de Formatie van Tongeren in het algemeen gekenmerkt door een impedantie afname (Figuur 15). In het Belgische deel, waar de Formatie van Zelzate sterker begint in te snijden in de Formatie van Maldegem, wordt de horizon dominant gekenmerkt door een impedantie toename.



Figuur 19. Lijn 8013 van de Hoogstraten, of NFB Campagne, die de hoekdiscordantie van de Formatie van Zelzate/Tongeren op de Formatie van Maldegem/Laagpakket van Asse toont.

De Nederlandse Formatie van Dongen:

**Basis Laagpakket van Asse (NL) / Lid van Ursel van de Formatie van Maldegem (BE)**

De overgang van het kleiige Laagpakket van Asse/Lid van Ursel naar de zanden en zandsteenbanken van het Laagpakket van Brussel/formaties van Brussel en Lede (incl. leden van Asse en Wemmel van de Formatie van Maldegem) wordt in de boorgatmetingen gekenmerkt door de overgang van hoge naar lage gamma ray waarden en een toename van seismische snelheid. Deze overgang is daardoor goed herkenbaar op de seismiek door een sterk positief impedantie contrast (Figuur 15).

**Basis nabij Laagpakket van Brussel (NL)/formaties van Brussel en Lede, incl. leden van Asse en Wemmel van de Formatie van Maldegem, en leden van Vlierzele en Pittem van de Formatie van Gentbrugge (waarbij het Lid van Pittem behoort tot het Laagpakket van Ieper in Nederland)**

De overgang van het laagpakket van Brussel naar het onderliggende Laagpakket van Ieper wordt gekenmerkt door een graduele overgang van zand naar klei. Hierdoor ontbreekt een duidelijk impedantiecontrast tussen beide laagpakketten (grens tussen de leden van Vlierzele en Pittem van de Formatie van Gentbrugge in België). Echter vormt de overgang tussen de onderliggende leden van Pittem en Merelbeke van de Formatie van Gentbrugge wel een belangrijk impedantiecontrast, namelijk een sterke impedantie afname (Figuur 15). Daarom is ervoor gekozen om deze overgang seismisch te interpreteren. Deze grens ligt ook slechts een 10-tal milliseconden onder de basis van het Laagpakket van Brussel/Lid van Vlierzele, dankzij de relatief beperkte dikte van het Lid van Pittem.

**Het Nederlandse Laagpakket van Ieper**

Het Nederlandse Laagpakket van Ieper (NLDOIE) is binnen de Belgische stratigrafie opgedeeld in vier formaties: Gentbrugge (Lid van Merelbeke en normaal ook het Lid van Pittem dat seismostratigrafisch in het bovenliggende pakket is opgenomen), Tielt, Hyon en Kortrijk. Binnen het project H3O- de Voorkempen is het grensvlak tussen de formaties van Tielt/Hyon en Kortrijk seismisch gekarteerd om uiteindelijk een tweedeling conform de Belgische stratigrafie te bewerkstelligen.

**Basis Formatie van Tielt (BE) – bovenste deel Laagpakket van Ieper (NL)**

De basis van de Formatie van Tielt valt samen met de top van het Lid van Aalbeke van de Formatie van Kortrijk. De diepteligging van de top van dit laagpakket is in één Belgische en vier Nederlandse boringen bepaald aan de hand van palynologisch onderzoek (TNO Rapport R11754; De resultaten van het palynologisch onderzoek naar geselecteerde Ypresien successies in een Belgische en vier Nederlandse boringen uit de Voorkempen; Munsterman, 2020). De top van de klei van het Lid Aalbeke komt in de boorgatmetingen overeen met hoge pieken op de gamma ray logs. Het vormt de overgang van zandige eenheden naar klei, resulterende in een impedantie afname (Figuur 15). Deze horizon is in België vanwege de heel geleidelijk variërende dikte van de Formatie van Kortrijk - zoals blijkt uit tal van boringen - niet seismisch geïnterpreteerd.

**Basis Formatie van Kortrijk (BE) – Laagpakket van Ieper (NL)**

De basis van de Formatie van Kortrijk komt overeen met de basis van het Nederlandse laagpakket van Ieper. Deze horizon vormt de overgang van de compacte kleien van de Formatie van Kortrijk naar de zanden en kleien van het laagpakket van Oosteind (NL)/Formatie van Tienen (BE). Deze overgang wordt gekenmerkt door een positief impedantie contrast (Figuur 15). Lokaal zijn er onder de basis van deze horizon, of dus in de Formatie van Tienen, indicaties te vinden voor kleine geulen. Dat stemt overeen met het lokaal sterk erosieve karakter van de Formatie van Tienen.

**Basis Formatie van Hannut (BE) – Formatie van Landen (NL) (excl. Laagpakket van Gelinden en Orp overeenkomende met de Formatie van Heers in België)**

De basis van de Formatie van Hannut vormt de overgang van klei naar de mergels en zanden van de relatief dunne Formatie van Heers (10-20 meter). Deze overgang

wordt gekenmerkt door een sterk positief impedantiecontrast. Echter, door de beperkte dikte van de Formatie van Heers vindt lokaal interferentie plaats tussen de sterke reflectoren van de basis van de Formatie van Hannut en het contact Krijt – Paleogeen, de overgang van de Formatie van Heers naar de onderliggende krijtkalken (Figuur 15). Daarom is besloten om de meest duidelijke overgang, namelijk deze van de Formatie van Hannut naar de Formatie van Heers, seismisch te vervolgen.

### 5.2.3 *Verschillen met eerdere H3O-projecten*

- In voorgaand H3O-project werd de basis van de Formatie van Oosterhout (NL)/Formatie van Lillo (BE) seismisch geïnterpreteerd in het Nederlandse deel van het modelgebied. Dit is in deze projecten het meest ondiepe niveau dat seismisch geïnterpreteerd is. Voor H3O-de Voorkempen is het seismisch interpreteren van dit niveau niet haalbaar vanwege de ondiepe ligging van deze horizon.
- De geïnterpreteerde basis van het Laagpakket van Boom (NL)/Formatie van Boom (BE), de basis van het Lid van Terhagen, wijkt af van eerdere H3O-projecten. Binnen voorgaande H3O-projecten werd het laagpakket van Boom in Nederland seismisch geïnterpreteerd op basis van de Pyrenese (hoek) discordantie, de overgang van het laagpakket van Boom naar de Formatie van Dongen of de Formatie van Landen, die in deze projectgebieden in de seismiek te herkennen is.
- De basis van de Formatie van Tielt (BE) binnen het Nederlandse laagpakket van Ieper is voor het eerst seismisch geïnterpreteerd. Deze interpretatie beperkt zich tot het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied. Binnen het project H3O-de Kempen is deze horizon gemodelleerd op basis van boorinformatie. Binnen het project H3O-Roerdalslenk Noordwest is deze horizon niet gemodelleerd.
- Vanwege de geringe dikte en daarmee samenhangende onzekerheid van de seismische interpretatie is ervoor gekozen om de basis van het laagpakket van Landen (NL) of de Formatie van Heers (BE) niet seismisch te interpreteren. De sterke reflector van de overgang van de kleien van de Formatie van Hannut naar de Formatie van Heers interfereert namelijk met de reflector behorende bij de overgang van de Formatie van Heers naar de onderliggende krijtkalken. De Formatie van Heers wordt binnen dit project daarom louter op basis van boorinformatie gemodelleerd.

## 6 Vaststellen modeleenheden

### 6.1 Algemeen

Op basis van de geïnterpreteerde boringen en seismiek wordt in dit hoofdstuk vastgesteld welke geologische en hydrogeologische eenheden gebiedsdekkend gemodelleerd kunnen worden, welke niet, en wat de gevolgen daarvan zijn voor de modellen en eventueel voor de aansluiting van de deelmodellen op de grens. Dit hoofdstuk is nieuw ten opzichte van de vorige H3O-projecten waarin de vaststelling van de modeleenheden niet apart gerapporteerd werd, maar verwerkt werd in andere hoofdstukken en weergegeven werd in de vorm van een tabel. Een belangrijk verschil ten opzichte van de vorige H3O-projecten is dan ook dat voor het huidige project de stratigrafie per landsdeel behouden zal blijven, en niet wordt geïntegreerd in één grensoverschrijdende stratigrafie.

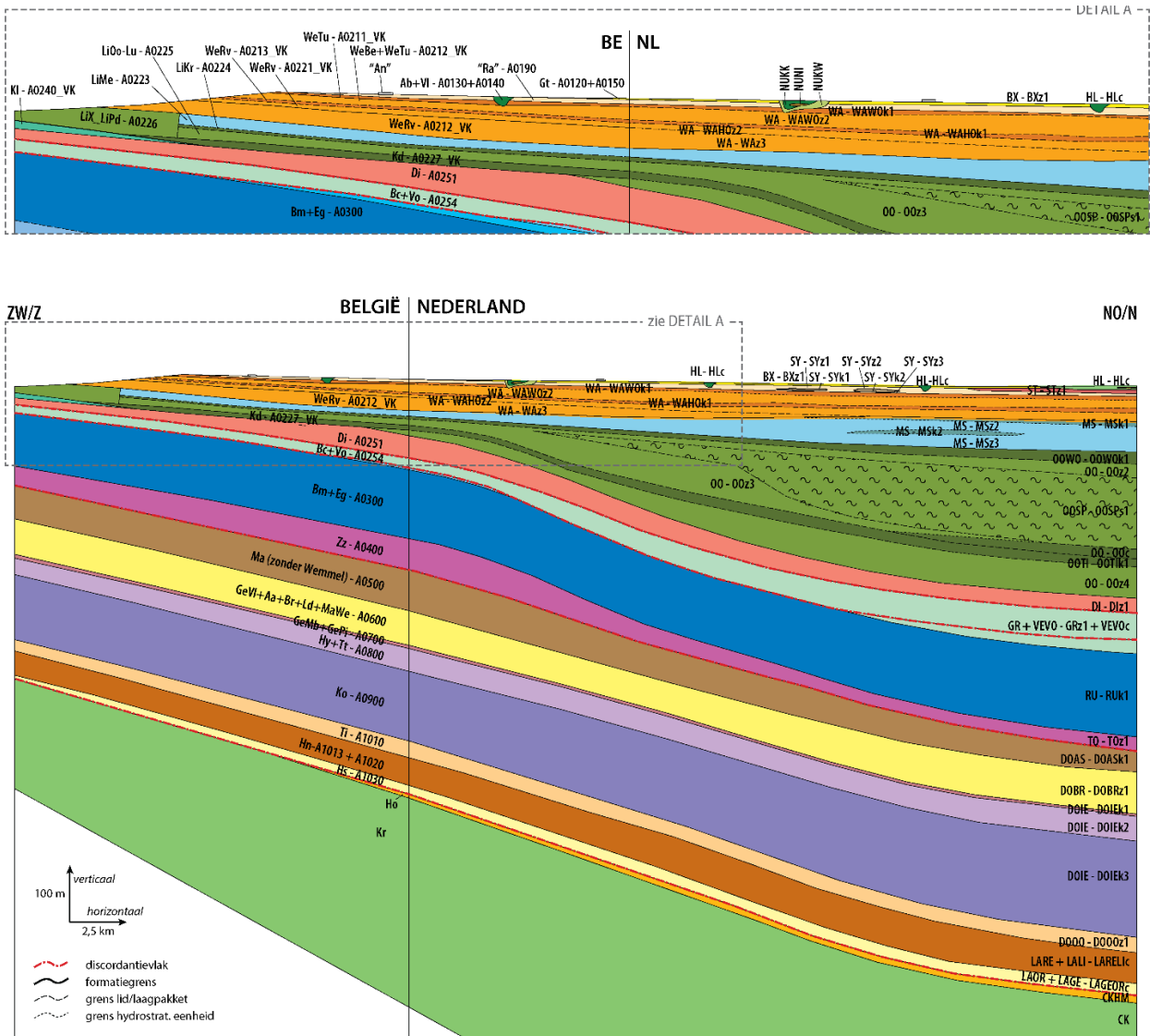
Het aantal eenheden dat gemodelleerd zal worden, wordt al deels bepaald door de richtlijnen in het Plan van Aanpak van het huidige project. Daarin staat namelijk tot welk detail gemodelleerd zou worden voor het ondiepe bereik (tot aan de top “Boomse klei”) en het diepe bereik (onder de top “Boomse klei”). Voor eenheden van het ondiepe bereik wordt tot op het niveau van lid of laagpakket (geologisch model) en basiseenheid (hydrogeologische model) gemodelleerd. Daarbij wordt een uitzondering gemaakt voor de polderafzettingen in het uiterste westen van het modelgebied die voor dit project niet tot in het fijnste detail gemodelleerd zullen worden. Voor het diepe bereik wordt tot op het niveau van formaties (geologische model) en minstens hoofdeenheid (hydrogeologische model) gemodelleerd. Verder wordt de mogelijkheid om een eenheid te modelleren bepaald doordat deze al dan niet in boringen of op seismiek te interpreteren valt. Uiteindelijk wordt in overleg met de Stuurgroep bepaald welke eenheden al dan niet gemodelleerd zullen worden.

Een overzicht van de modeleenheden is weergegeven in Tabel 11. Een inzicht in de ligging en het grensoverschrijdende verloop van deze modeleenheden wordt verkregen via het conceptuele profiel van de modeleenheden in Figuur 20. Dit conceptuele profiel van de modeleenheden is gebaseerd op het conceptuele profiel dat werd opgemaakt bij de activiteit Correlaties, maar toont daarbij de (hydro)geologische modeleenheden in plaats van de geologische eenheden.



Tabel 11. Een overzicht van de geologische (links) en hydrogeologische (rechts) modelleenheden per landsdeel en hun codes.

NL Geologische modelleenheid H30-VK	BE Geologische modelleenheid H30-VK	NL Hydrogeologische modelleenheid H30-VK	BE Hydrogeologische modelleenheid H30-VK (code hoofd-, sub- en basiseenheid, naam)				Geologische modelleenheid H30-DK	Hydrogeologische modelleenheid H30-DK	Extra eenheden H30-DK, niet aanwezig in H30-VK
Antropogeen	Antropogeen	AAC		A0110		Ophogingen			
Holoceen	Arenberg en Vlaanderen	HLc		A0130 + A0140		Polderafzettingen en Alluviale dekkingen	HL-c	HL-c	
Boxtel	Gent	Bx1		A0120 + A0150		Dunen en eolische dekkingen buiten de Roerdaalslenk	Boxtel	Bx2 Bx3 Bx4	Bx1 Bx2
Konwacht	Eeklo	KWz1		A0170		Pleistocene afzettingen	/	/	
Sterksel	Sterksel	STz1		A0180		Maas- en Rijnafzettingen	Sterksel	STz1 STK1 STz2 SYz1	
mt	mt	mt		mt		mt			
Stramproy	Ravels	SYz1 SYk1 SYz2 mt		A0190_VK		Zand van Ravels	Stramproy	SYk1 SYz2 SYk2 SYz3 WAK1	
Waaike - Woensdrecht	Weelde - Beerse en Turnhout	WAWOK1		A0210	A0211_VK	Zandige klei van Turnhout	Waaike	PZWAZ2	
		WAWOz2			A0212_VK	Kleilig zanden van Turnhout en Beersa			
Waaike - Hoogenheide	Weelde - Rijkvorsel	WAHOK1			A0213_VK	Zandige klei van Rijkvorsel			
		WAHOz2			A0221_VK	Kleilig zand van Rijkvorsel			
Waaike - ongedifferentieerd	Merkspas en Malle	WAZ3			A0222_VK	Zanden van Malle en Merksplas			WAK3
		MSz1				mt			
Maassluis	mt	MSK1 MSz2 MSK2					Maassluis	MSz1 MSK1 MSz2 MSK2	
	Lillo - Merkseem en Zandvliet	MSz3							
Oosterhout - Wouw	Lillo - Knieschens	OOGOK1			A0223	Zanden van Zandvliet en Merkseem			Klz1, k1, z2, k2, z3
		OOGz1			A0224	Kleilig zand van Knieschens			OOG1
Oosterhout - Ongedifferentieerd	Lillo - Luchtbal en Oorderen	OOSPz1 OOz3 OOc			A0225	Zanden van Oorderen en Luchtbal			
					(A0225A_VK_NL)	(Schelpenrijke zand van Sprundel)			
					A0225	Zanden van Oorderen en Luchtbal			
					(A0225B_VK_NL)	(Klei-zand complex aan de basis van Oosterhout)			
mt	Lillo en Poederlee - ongedifferentieerd	mt			A0226	Ongedifferentieerde zanden van Poederlee en Lillo			
Oosterhout - Tiburg	Kattendijk	OOTz1			A0227_VK	Zand van Kattendijk			
Oosterhout - Ongedifferentieerd	Diest	OOz4 (OOGz1)			A0250	Zand van Diest buiten de Roerdaalslenk			
/	Kasterlee	/			A0240_VK	Kleilig zand van Kasterlee	Kasterlee (klei)	0242	
Diesse	Diest	Dtz1			A0251	Zand van Diest buiten de Roerdaalslenk	Diest	0252	
Groote Heide en Veldhoven	Voort en Berchem	GRVEc			A0254	Zanden van Berchem en Voort buiten de Roerdaalslenk	Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Mioceen zanden*	0253 + 02541	
							Klei van Veldhoven	0255	
							Combinatie van Laat Oligoceen tot Midden Mioceen zanden	2542	
							Eigenbilzen	0256	
Rupel	Boom en Eigenbilzen	RUBOK1				Boom Aquitard	Boom	0300	
Tongeren	Zelzate	TOz1				Oligoceen Aquifersysteem	Combinatie van Vroeg Oligoceen zanden	0430 + 0450	
Dongen - Asse	Maldegem (exclusief Wemmel)	DOASK1				Bartoon Aquitardsysteem	Maldegem (exclusief Wemmel)	0500	
Dongen - Brussel	Gentbrugge - Vlierzele, Aalter, Brussel, Ledo en Maldegem - Wemmel	DOBRz1				Ledo Panisellaan Brussellaan Aquifersysteem	Combinatie van Vroeg tot Laat Eocene zanden	0611 + 0612 + 0620 + 0640	
						Panisellaan Aquitardsysteem	Kleilig deel van Gentbrugge	0701 + 0702	
Dongen - Ieper	Tielt en Hyon	DOIEk2				Ieperiaan Aquifersysteem	Tielt	0800 + 0910	
	Kortrijk	DOIEk3				Ieperiaan Aquitardsysteem	Kortrijk	0920	
Dongen - Oostende	Tienen	DOOOz1		A1010	A1011	Zand van Knokke	Tienen	1012	
Landen - Reusel en Liesel	Hannut	LARELK1		A1013+ A1020		Zand van Grandgillee en Landeniaan Aquitard	Hannut	1013 + 1014 + 1021 + 1022	
Landen - Gelinden en Op	Heers	LAGEORc		A1030		Heersiaan en Oglabbeek Aquifersysteem	Heers (inclusief Maaseik)	1023 + 1032	



Figuur 20. Een conceptueel profiel van het grensoverschrijdend verloop van de modeleenheden. Voor het Belgische deel wordt per modeleenheid eerst de afkorting van de lithostratigrafische naam vermeld en daarachter (met een “-”) de hydrogeologische code. Voor het Nederlandse deel wordt per modeleenheid de afkorting van de lithostratigrafische naam vermeld met daarachter eventueel de hydrogeologische codering.

De overzichtstabel (Tabel 11) toont aan dat bijna alle (hydro)geologische modeleenheden laterale equivalenten aan weerszijden van de landsgrens kennen en dus grensoverschrijdend gemodelleerd kunnen worden. Uitzonderingen zijn de modeleenheden met een 1-op-n-relatie: de Belgische eenheid Formatie van Diest heeft de formatie van Diessen en onderkant van de Formatie van Oosterhout (OOz4) als Nederlands equivalent of de Belgische formaties van Malle, Merksplas en Weelde hebben de Formatie van Waalre als Nederlandse equivalent. Enkele eenheden zijn qua verbreiding binnen het projectgebied beperkt tot één van beide landen, en hoeven daarom niet grensoverschrijdend gemodelleerd te worden. De Formatie van Kasterlee komt bijvoorbeeld niet voor in het Nederlandse deel van het modelgebied, terwijl de Formatie van Sterksel niet voorkomt in het Belgische deel.

Het hiërarchische niveau in de stratigrafie is ook niet altijd dezelfde voor de modeleenheden aan beide delen van de landsgrens. Zo kan een lid in het ene land overeenstemmen met een formatie in het andere land. Dit zorgt voor een complexe samenstelling van de grensoverschrijdende modeleenheden. Omdat voor het huidige project – in tegenstelling tot de voorgaande H3O-projecten – gekozen wordt om geen gemeenschappelijke stratigrafie aan te houden maar deze per landsdeel apart te houden, zorgt deze samenstelling van modeleenheden ook voor een complexe samenstelling van hun overeenkomstige (hydro)geologische namen. Om deze naamgeving eenvoudig en kort weer te geven (voor shapefiles en grids), werd er een codering ontwikkeld voor het huidige project per geologische en per hydrogeologische modeleenheid. Deze codes dienen louter als technische ondersteuning gebruikt voor dit project, en zullen niet verder in het rapport besproken worden.

Voor de finale naamgeving van de geologische eenheden is gesteund op hun formele naam bij de Nationale Commissies voor Stratigrafie.

Voor de naamgeving van de hydrogeologische eenheden is voor het Belgische gebied gesteund op de HCOVv2-codering. Aanpassingen in codes ten opzichte van het HCOVv2-model, zoals door nieuwe hydrogeologische basiseenheden of een aangepaste samenstelling van subeenheden, worden duidelijk gemaakt door het suffix “\_VK”. Deze aanpassingen zullen bij voorkeur in de toekomst ook overgenomen worden in de HCOV-codering. Toevoegingen van Nederlandse hydrogeologische eenheden die niet of amper in België voorkomen, worden duidelijk gemaakt door het suffix “\_VK\_NL”. In dat laatste geval kan gewerkt worden met toevoegingen van a, b achter de naam als logische nummering in de codering moeilijk wordt. Deze aanpassingen zullen naar de toekomst waarschijnlijk niet overgenomen worden in de HCOV-codering, tenzij de betreffende eenheid een hydrogeologische invloed heeft naar Vlaanderen toe.

Bij de naamgeving van de Nederlandse hydrogeologische eenheden is uitgegaan van de bestaande codes van REGIS II v2.2. Voor de nieuw onderscheiden hydrogeologische eenheden zijn nieuwe codes vastgesteld conform de systematiek van REGIS II, zie Hummelman et al.(2019b).

## 6.2 Diepe modeleenheden

De diepe modeleenheden zijn hoofdzakelijk gebaseerd op de seismische geïnterpreteerde horizonten. Echter, niet alle diepe modeleenheden werden seismisch geïnterpreteerd. De diepe modeleenheden die niet seismisch geïnterpreteerd/gemodelleerd worden, zullen worden gemodelleerd op basis van diktekaarten die boven of onder een seismisch gemodelleerd vlak gestapeld worden. Een voorbeeld hiervan is de basis van het Laagpakket van Dongen – Oosteind (NL)/Formatie van Tienen (BE) die gemodelleerd zal worden op basis van een diktestapeling onder het seismische geïnterpreteerde en gemodelleerde Laagpakket van Dongen – Ieper (NL)/Formatie van Kortrijk (BE). Deze diktekaarten worden opgemaakt op basis van diktes uit de boringen.

Voor het diepe bereik zijn de modeleenheden grotendeels dezelfde als die in H3O-De Kempen onderscheiden werden. Ten opzichte van H3O-De Kempen werd enkel de Formatie van Eigenbilzen (BE) of laagpakket van Steensel (NL) niet langer onderscheiden voor het huidige project. Deze eenheid verdunt namelijk vanuit het

H3O-De Kempen projectgebied naar het huidige modelgebied, waardoor deze verwaarloosbaar dun wordt.

Over het algemeen corresponderen de modeleenheden met één of meerdere formaties/laagpakketten die de voornaamste hydrogeologische pakketten of hoofdeenheden voorstellen, daarbij ingedeeld/gegroepeerd in hoofdzakelijk kleiige en hoofdzakelijk zandige eenheden. Alle diepe modeleenheden zijn gebiedsdekkend, met uitzondering van de Formatie van Tienen die niet voorkomt in het uiterste zuidoostelijke deel van het modelgebied in België.

Ten opzichte van de G3Dv3- en H3Dv2-modellen, waarbij tot op lidniveau werd gekarteerd, wordt er nu dus in minder detail gemodelleerd in het diepe bereik, ongeveer tot op het niveau van de H3Dv2-hydrogeologische hoofdeenheden. Afwijkend van het hydrogeologische model REGIS II v2.2 in het zuidelijke deel van de provincie Zeeland wordt in het modelgebied het Laagpakket van Watervliet van de Formatie van Tongeren niet als aparte modeleenheid onderscheiden. De reden daarvoor is enerzijds de beperkte dikte van deze kleiige eenheid die kleiner is dan de resolutie van de seismiek waardoor deze niet in de seismiek kan worden geïnterpreteerd. Anderzijds varieert de dikte in het beperkte aantal boringen waarbij geen patroon in het dikteverloop kan worden vastgesteld. Om die reden wordt de Formatie van Tongeren in het modelgebied niet verder onderverdeeld. Voor het diepe model komen de modeleenheden van de geologische eenheden overeen met de modeleenheden van het hydrogeologische model.

### 6.3 Ondiepe modeleenheden

De ondiepe modeleenheden worden hoofdzakelijk gekarteerd op basis van boorgegevens. Enkel de formatie van Diessen (NL)/Diest (BE) wordt ook seismisch uitgekarteerd in het uiterste noorden van het Belgische deel van het modelgebied en het gehele Nederlandse modelgebied.

Voor het ondiepe bereik wordt er in groter detail gemodelleerd dan voor het diepe bereik. Wat betreft de modeleenheden in het ondiepe bereik zijn er diverse verschillen en nieuwigheden ten opzichte van H3O-De Kempen. Omwille hiervan volgt hieronder een uiteenzetting van de ondiepe modeleenheden van oud naar jong:

- De top van de Formatie van Boom of Rupel wordt bedekt door de glauconietrijke zanden van de formaties van Voort/Berchem (BE) of Veldhoven/Groote Heide (NL). Deze afzettingen zijn te dun (vaak minder dan 40 m) om te onderscheiden op basis van seismische data. Op basis van recente studies in de regio blijken ook in boringen beide pakketten niet duidelijk lithologisch te onderscheiden (Munsterman & Deckers, 2020). Daarom worden beide formaties gebundeld in één (hydro)geologische modeleenheid. Dit gold ook voor H3O-De Kempen, waarbij toen nog wel de Klei van Veldhoven van de Formatie van Veldhoven (NL) onderscheiden werd; deze is in het huidige modelgebied echter afwezig of verwaarloosbaar dun.
- De over het algemeen grofzandige Formatie van Diest (BE)/Diessen (NL) wordt apart gemodelleerd, net zoals in H3O-De Kempen. Het facies van het laagpakket van Goirle (NL) of het informele 'Zand van Poppel' (BE) kan lokaal in de top van deze eenheid worden vastgesteld, maar lijkt daarin niet continu, en wordt daarom niet apart gemodelleerd van de Formatie van Diest (BE)/Diessen (NL).

- De verbreiding van de kleiige Formatie van Kasterlee blijkt op basis van de huidige interpretaties beperkt tot het uiterste zuidoosten, in het Belgische deel van het inventarisatiegebied, net op de rand van het modelgebied. Dit is een belangrijk verschil ten opzichte van het H3O-De Kempen project waarin deze eenheid gebiedsdekkend werd gemodelleerd, ondanks dat deze daar ook niet overal geïnterpreteerd kon worden (niet in Nederland). Deze eenheid wordt nu afzonderlijk van de Formatie van Kattendijk gemodelleerd (in tegenstelling tot de G3Dv3 en H3Dv2-modellen).
- De glauconiethoudende, soms kleiige zanden van de Formatie van Kattendijk (BE)/Laagpakket van Tilburg (Formatie van Oosterhout) (NL) worden nu apart onderscheiden en gebiedsdekkend gemodelleerd. Deze zanden worden voor het eerst gemodelleerd in Nederland. Omdat deze eenheid in België voor het eerst apart van de Formatie van Kasterlee wordt gemodelleerd (op basis van het voorkomen van schelpen/kalk in de Formatie van Kattendijk en niet in de Formatie van Kasterlee), wordt er een nieuwe hydrogeologische code voor voorzien. Omdat blijkt dat de Formatie van Kattendijk hoofdzakelijk zandig is, wordt deze dan ook uit de eerdere waterhoudende HCOVv2 subeenheid A0240 gehaald en verschoven naar de watervoerende eenheid A0220\_VK waar het als basiseenheid de nieuwe code A0227\_VK krijgt.
- Boven het Lid van Tilburg is een kleiig hydrogeologisch complex in de Formatie van Oosterhout aanwezig dat in voorkomen beperkt is tot Nederland. Dit pakket werd ook in het H3O-De Kempen project gemodelleerd in Nederland. Binnen Vlaanderen maakt het deel uit van A0225 - *Zanden van Luchtbal en Oorderen*. Om de eenheid alsnog hydrogeologisch te onderscheiden voor het Vlaamse hydrogeologische model, wordt de code en naam A0225B - *Klei-zand complex aan de basis van Oosterhout* ingevoerd voor dit project.
- Hierboven zitten in de Formatie van Oosterhout schelprijke opeenvolgingen of zogenaamde “crag” van het Lid van Sprundel (NL). Dit pakket is beperkt tot het Nederlandse deel van het modelgebied. De schelprijke zanden lateraal van de crags komen wel beperkt voor in België waar ze deel uitmaken van A0225 - *Zanden van Luchtbal en Oorderen*. Om de eenheid alsnog hydrogeologisch te onderscheiden voor het Vlaamse hydrogeologische model, wordt de code en naam A0225A - *Schelpenrijke zand van Sprundel* ingevoerd voor dit project.
- Voor het H3O-De Kempen project werden deze leden van Luchtbal en Oorderen niet apart gemodelleerd.
- De zanden aan de basis van de formaties van Lillo en Oosterhout worden bedekt door de schelprijke kleien en kleiige zanden van het Lid van Kruisschans (BE) of Wouw (NL). Deze kleiige eenheid komt gebiedsdekkend voor, uitgezonderd het zuidoostelijke deel van het modelgebied in België. Waar deze eenheid niet voorkomt, zijn ook de onder- en bovenliggende zanden van de Formatie van Lillo niet goed te onderscheiden van elkaar. Deze (hydro)geologische eenheid werd reeds apart gemodelleerd in het Nederlandse deel van H3O-De Kempen, en nu ook in het Belgische deel van het huidige modelgebied.
- Bovenop de kleiige eenheid, is weer een schelprijke, zandige (hydro)geologische eenheid aanwezig van de leden van Merksem en Zandvliet van de Formatie van Lillo (BE) of de Formatie van Maassluis (NL).
- De formaties van Malle en Merksplas (BE) vormen één modeleenheid samen met het ongedifferentieerde onderste deel van de Formatie van Waalre (NL). Naar het noorden toe, ten noorden van de landgrens, gaat het basale deel van

de bovenliggende Formatie van Waalre over in de Formatie van Maassluis waardoor deze sterk verdikt.

- Daarboven bevindt zich een complex van afwisselend kleiige en zandige lagen, behorende tot de formatie van Weelde (BE) en de laagpakketten van Hoogerheide en Woensdrecht (Formatie van Waalre, NL). Voor het eerst worden deze eenheden tot op het niveau van lid/laagpakket gemodelleerd, en bovendien hydrogeologisch nog verder onderverdeeld. Uitzonderingen hierop is het Belgische Lid van Beerse, dat vanwege het beperkte voorkomen, én de beperkte herkenbaarheid in boorbeschrijvingen van matige kwaliteit, wordt gemodelleerd samen met het Lid van Turnhout (Formatie van Weelde). De hydrogeologische indeling is weliswaar dezelfde als in H3O-De Kempen, maar het verschil is dat de eenheden nu expliciet aan de formele lithostratigrafische indeling gekoppeld zijn.
- Bovenop de kleiige eenheden, ligt de hoofdzakelijk zandige Formatie van Stramproy (NL) waarin evenwel kleiige lichamen worden onderscheiden die aanleiding geven tot een hydrogeologische onderverdeling van drie zandige en twee kleiige eenheden in Nederland. In het Belgische deel van het projectgebied is enkel het bovenste deel aanwezig, dat correspondeert met de informele Formatie van Ravels (BE), conform de Quartairkartering van desbetreffende kaartbladen (Bogemans, 2005a, b). In de Vlaamse G3Dv3/H3Dv2-modellen werd dit zand van Ravels samengenomen met de Formatie van Mol, maar nu wordt het alsnog apart onderscheiden. Het krijgt daardoor ook een nieuwe, aparte hydrogeologische code, namelijk A0190\_VK – Zand van Ravels.
- In het noordelijke of Nederlandse deel van het inventarisatiegebied wordt de Formatie van Stramproy bedekt door de Formatie van Sterksel. Het voorkomen van een kleiige eenheid hierbinnen geeft aanleiding tot een hydrogeologische driedeling. In het H3O-De Kempen project kwam deze eenheid veelvuldiger voor, ook in het oostelijke deel van het Belgische modelgebied.
- In het uiterste westen van het inventarisatiegebied, in de ingesneden en opgevulde Scheldevallei, zijn pleistocene zanden van de Formatie Koewacht (NL) of Eeklo (BE) aanwezig. Deze eenheid is nieuw voor de H3O-projecten.
- Hierboven komt langs de noordrand van het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied de Formatie van Kreftenheye voor met mogelijk een kleilichaam dat voor een hydrogeologische driedeling zou kunnen zorgen.
- De fluvio-eolische zanden van de Formatie van Gent en het Complex van Meer (BE) of Formatie van Boxtel (NL) liggen aan maaiveld in het grootste deel van het modelgebied.
- Bovenliggende zanden werden tenslotte lokaal ingesneden en opgevuld door laatglaciale en holocene afzettingen van de Formatie van Arenberg (BE) of het Lid van Singraven van de Formatie van Boxtel (NL). Verder naar het westen, in de Scheldevallei, vormden zich tijdens dezelfde periode de polderafzettingen van de Formatie van Vlaanderen (BE) of van de Kreekrak, Nieuwkoop en Naaldwijk formaties (NL). Alle laatglaciale en holocene afzettingen worden in dit project samen gemodelleerd als één (hydro)geologische modeleenheid.
- Menselijke ingrepen hebben tenslotte het landschap en de ondergrond ook lokaal beïnvloed. De modeleenheid Antropogeen omvat alle door de mens opgebrachte grond.

## 7 Modelling geologische en hydrogeologische eenheden

De lagenmodellering wordt hieronder besproken volgens de methodes die daarbij zijn gebruikt. Ten opzichte van de andere H3O-projecten, zijn er in het huidige project geen breuken vastgesteld en dus ook niet gemodelleerd. Daarom is er in dit rapport geen hoofdstuk gewijd aan de modellering van breukvlakken.

### 7.1 Keuze modelleringsmethodes

Bij de modellering zijn twee sterk verschillende werkwijzen gevolgd, die in deze rapportage “ondiepe” en “diepe methode” worden genoemd. De ondiepe methode berust hoofdzakelijk op boorgegevens, terwijl de diepe methode hoofdzakelijk van seismische data uitgaat. Dit omdat het aantal beschikbare boringen met de diepte sterk verminderd, waardoor hier seismische data een nuttige aanvulling vormen voor de modellering van het paleogene bereik. Vanwege de ondiepe ligging, zijn de seismische data in het algemeen onbruikbaar voor de modellering van het bovenliggende quartaire en neogene bereik, waardoor deze enkel met boringen gemodelleerd worden. Aangezien de lagen in algemeen naar het noorden tot noordoosten hellen, liggen deze dieper in het Nederlandse deel dan in het Belgische deel van het modelgebied. Hierdoor is het gebruik van seismische data voor de diepste neogene eenheden alsnog mogelijk in het Nederlandse deel. Een belangrijk ander verschil tussen de ondiepe en diepe 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 dit tijdmodel naar diepte wordt omgezet.

Binnen het modelgebied zijn de ondiepe (quartaire en neogene eenheden) en diepe eenheden (paleogene eenheden) via respectievelijk de ondiepe en diepe methode gemodelleerd. Afwijkingen hierop vormen de oudste neogene formaties van Diest, Berchem en Voort (BE) / Diessen, Groote Heide en Veldhoven (NL) die in België en Nederland via respectievelijk de ondiepe en diepe methode zijn gemodelleerd, vanwege verschillen in diepteligging zoals hierboven aangehaald. Van Nederland en Vlaanderen zijn reeds eerder digitale geologische en hydrogeologische modellen van de ondergrond vervaardigd, waarvoor uitgebreide modelleringsmethodes zijn ontwikkeld. Deze methodes zijn, gezien hun waarde en langdurige ontwikkelingsprocessen, ook zoveel mogelijk ingezet bij de ondiepe en de diepe methode. Hierdoor zijn er in totaal vier verschillende methodes gebruikt voor de modellering: 1) diep in Nederland op basis van Petrel-software, 2) diep in België op basis van GOCAD-software, 3) ondiep in Nederland op basis van Isatis-software en 4) ondiep in België op basis van ArcGIS.

### 7.2 Keuze stratigrafie

Bij het definiëren van het huidige project is ervoor gekozen om per land uit te gaan van de eigen (hydro)stratigrafie. Omdat de (hydro)stratigrafische indelingen onderling verschillen, worden daarmee in beide landen niet noodzakelijkerwijs dezelfde eenheden gemodelleerd. Zo kan een formatie in één land samenvallen

met een lid//laagpakket als onderdeel van een andere formatie in het andere land, of kan een formatie in één land samenvallen met meerdere formaties in het andere land.

Afwijkend van de vorige grensoverschrijdende H3O-projecten tussen Nederland en België, zijn voor elk land de landseigen (hydro)stratigrafische eenheden gemodelleerd. Dit heeft tot gevolg dat er vier verschillende modellen ontstaan: 1) volgens de Nederlandse lithostratigrafie 2) volgens de Nederlandse hydrostratigrafie, 3) volgens de Belgische lithostratigrafie en 4) volgens de Belgische hydrostratigrafie. Dit terwijl er bij de voorgaande grensoverschrijdende H3O-projecten tussen Nederland en België maar twee modellen waren, namelijk een geologisch en een hydrogeologisch model. Ondanks deze verschillen, zijn de laagvlakken die de grenzen vormen van de geologische en hydrogeologische modellen afgestemd op elkaar en grensoverschrijdend gemodelleerd. Op die manier zijn dus de laagvlakken gelijk in beide landsdelen, maar niet de stratigrafie die daaraan toegekend wordt.

### 7.3 Werkwijze diepe deelmodellen

De diepe modellering omvat het interpoleren van seismische interpretaties in het tijdsdomein, die daarna via een snelheidsmodel zijn omgezet naar put-gecorrigeerde grensvlakken in het diepte-domein.

#### 7.3.1 *Modellering in tijd*

De interpretaties van de grensvlakken die aan weerszijde van de Belgisch-Nederlandse grens seismisch geïnterpreteerd zijn, zijn binnen het softwarepakket GOCAD samengevoegd tot één interpretatie-set. Met deze geïntegreerde interpretaties zijn zeven seismische grensvlakken geïnterpoleerd in tijd (zie Tabel 12). Discrete Smoothing Interpolatie (DSI) wordt gebruikt in GOCAD om tot een getrianguleerd vlak te komen. Voor de resolutie van de ribben van de driehoeken is 500 meter aangehouden. Dit getrianguleerd oppervlak is dan doorprikt met een 100x100 raster om zo de omzetting naar een regulier grid te bekomen.

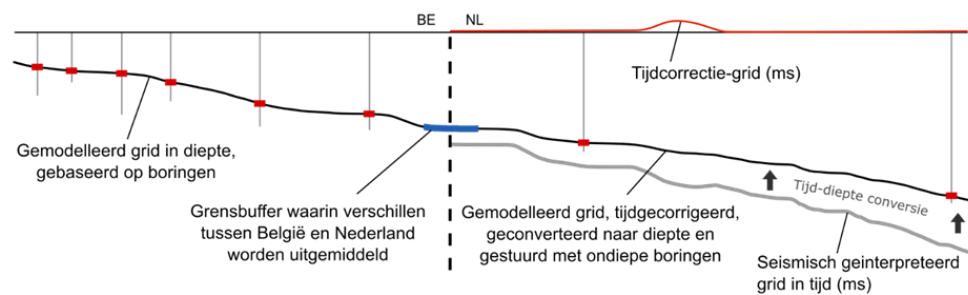
De top van het laagpakket van Groote Heide (NL) / Berchem (BE) is het meest ondiepe horizon dat wordt gemodelleerd in de diepe modellering. Deze horizon is, in tegenstelling tot de overige grensvlakken, aan Nederlandse zijde gebaseerd op seismische interpretaties, met aanvulling van informatie uit ondiepe boringen, en aan Belgische zijde op diepte informatie uit boringen (Tabel 12). De Nederlandse seismische interpretaties zijn ten behoeve van een goede aansluiting met de ondiepe boringen gecorrigeerd met een tijdcorrectievlak. Deze horizon vormt de basis van het ondiepe deelmodel (Figuur 21).

In tegenstelling tot eerdere H3O-projecten bevinden zich geen breuken in het modelgebied. Derhalve zijn er geen steunpunten gecreëerd om de interpolatie te sturen.



Tabel 12. Overzicht van in tijd gemodelleerde grensvlakken in de Nederlandse en Belgische delen van het modelgebied.

	Seismisch gemodelleerd in NL	Seismisch gemodelleerd in BE	k-waarde
Top formatie van Groote Heide (NL)/Top Formatie van Berchem (BE)	Ja	Nee	0,436
Basis nabij Laagpakket van Boom (NL) / Lid van Terhagen van de Formatie van Boom (BE)	Ja	Ja	0,235
Basis Formatie van Tongeren (NL) / Formatie van Zelzate (BE)	Ja	Ja	
Basis Laagpakket van Asse (NL) / Lid van Ursel van de Formatie van Maldegem (BE)	Ja	Ja	
Basis nabij Laagpakket van Brussel (NL)/Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge	Ja	Ja	
Basis Laagpakket van Ieper (NL) / Formatie van Kortrijk (BE)	Ja	Ja	
Basis Formatie van Landen (NL) / Formatie van Hannut (BE)	Ja	Ja	



Figuur 21. Schematisch overzicht van de constructie van de top van het laagpakket van Groote Heide.

### 7.3.2 Tijd-diepteconversies

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

$$v(x, y, z) = v_0(x, y) + k * z$$

$$z = \left(\frac{v_0}{k}\right) * ((e^{-k*t}) - 1)$$

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)

$t$  = tijd (one-way time (OWT)), (s).

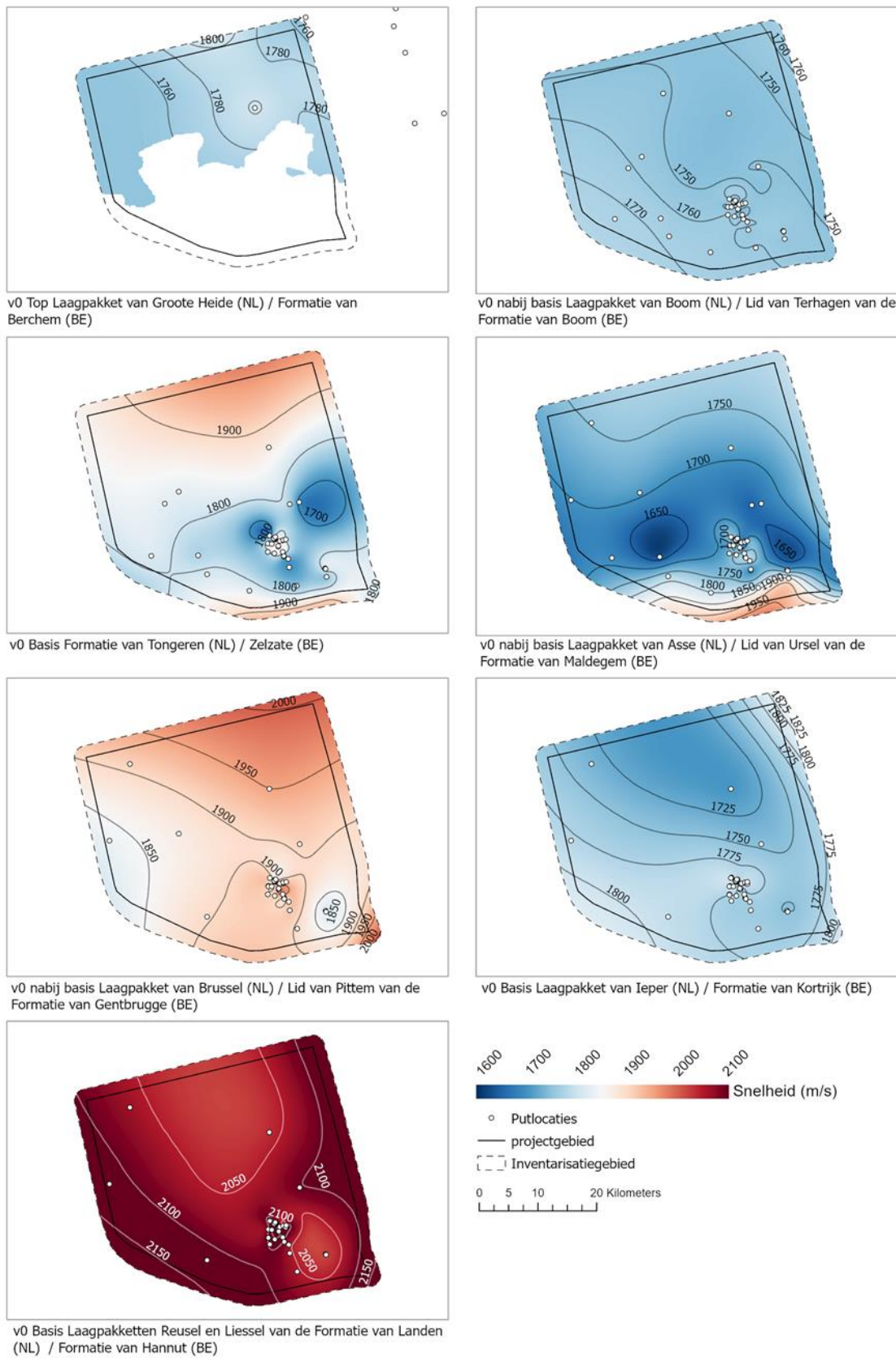
Ten behoeve van de conversie van tijd naar diepte zijn voor de zeven grensvlakken aparte snelheidskaarten gemaakt. Dit is afwijkend ten opzichte van het project H3O-de Kempen, waarin in het Nederlandse deel uitsluitend gebruik werd gemaakt van het snelheidsmodel VELMOD 3.0, dewelke slechts een tweedeling inhoudt voor het gehele Cenozoïcum (Pluymaekers et al., 2017).

De dichtheid van snelheidsinformatie in het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied is echter onvoldoende gebleken en tevens afwijkend ten opzichte van Belgische snelheidsinformatie. Om deze reden is gekozen om Nederlandse en Belgische snelheidsinformatie te aggregeren en van daaruit voor elk grensvlak een snelheidsmodel op te stellen met een  $v_0$ -kaart en een coëfficiënt  $k$ .

Voor coëfficiënt  $k$ , die de toename van de snelheid weergeeft met de diepte, is wel gesteund op VELMOD 3.0, en is dus enkel een onderscheid gemaakt tussen de Boven-Noordzee Groep (interval van 0 m NAP tot aan de top van het laagpakket van Grootte Heide/Formatie van Berchem) en Onder-Noordzee Groep (het stratigrafische interval vanaf de top van het laagpakket van Grootte Heide/Formatie van Berchem tot aan de basis van de Formatie van Heers) (Tabel 12). Per lithostratigrafisch interval zijn vervolgens lateraal variërende  $v_0$ -snelheidskaarten gemaakt als volgt.

In het Nederlandse deelgebied zijn per boring  $v_0$ -waarden afgeleid met behulp van de  $k$ -waarden en beschikbare intervalsnelheden. Deze intervalsnelheden zijn bepaald aan de hand van de sonic-logs van de boringen.

In België zijn intervalsnelheden afgeleid op basis van de combinatie van het tijdsmodel en de dieptes in de boringen om zo ook via coëfficiënt  $k$  een  $v_0$  af te leiden voor ieder interval per boring. De gecombineerde  $v_0$ -waardes vanuit de boringen in België en Nederland zijn vervolgens samengevoegd tot één dataset. Met deze dataset zijn  $v_0$ -kaarten per grensvlak gemaakt middels een minimum curvature interpolatie (Figuur 22). Om deze interpolatie voldoende te sturen in gebieden zonder  $v_0$ -data zijn enkele steunpunten toegevoegd. Voor de top van het laagpakket van Grootte Heide (NL) / Berchem (BE) is de  $v_0$ -snelheidskaart uit VELMOD 3.0 gebruikt.



Figuur 22. v<sub>0</sub>-snelheidskaarten voor de zeven grensvlakken.

### 7.3.3 *Modellering in diepte*

Het Nederlandse naar diepte geconverteerde grid van de top van het laagpakket van Grootte Heide (NL) / Berchem (BE) is na tijd-diepteconversie geïntegreerd met het overeenkomstige Belgische dieptegrid. Om tot een vloeiende aansluiting te komen tussen de Nederlandse en Belgische dieptegrids is een smoothing toegepast binnen een buffer van 1.3 km rondom de Belgisch-Nederlandse grens (Figuur 21).

#### **Residuals**

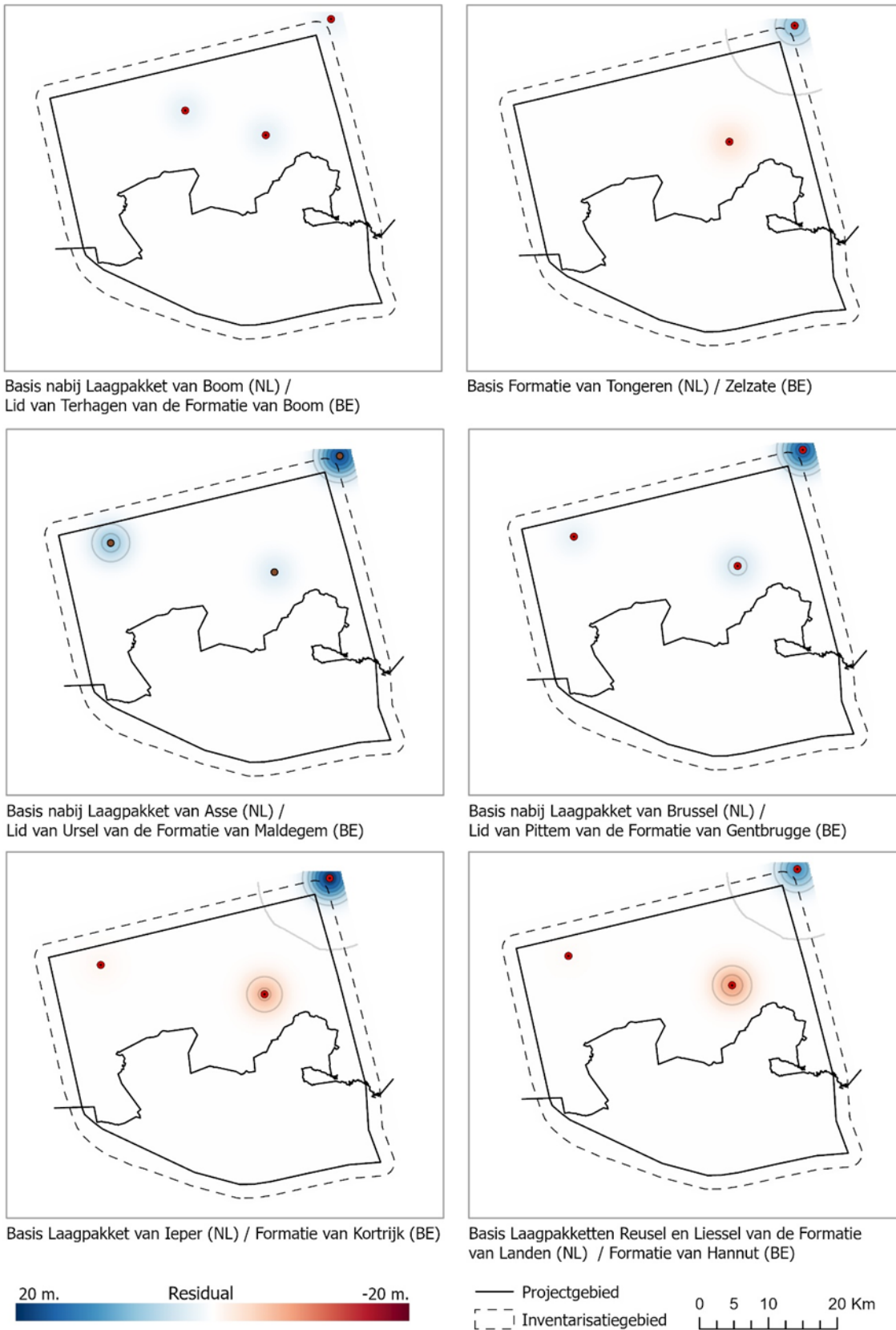
Na de tijd-diepte conversie kunnen op de locatie van de boringen aan Nederlandse zijde nog verschillen optreden tussen de diepte-interpretaties in de boringen en de naar diepte geconverteerde seismische grensvlakken. Om dit te corrigeren zijn in het diepte-domein de verschillen tussen de dieptes van de eenheden in de boringen en laagvlakken berekend voor de Nederlandse boringen. Vervolgens zijn deze verschillen tot een vlak vergrid (Figuur 23) dat opgeteld is bij de initiële laagvlakken. Aan de Belgische zijde was deze correctie niet nodig omdat deze hier reeds opgevangen wordt door het snelheidsmodel.

#### **Resultaten grensvlakken**

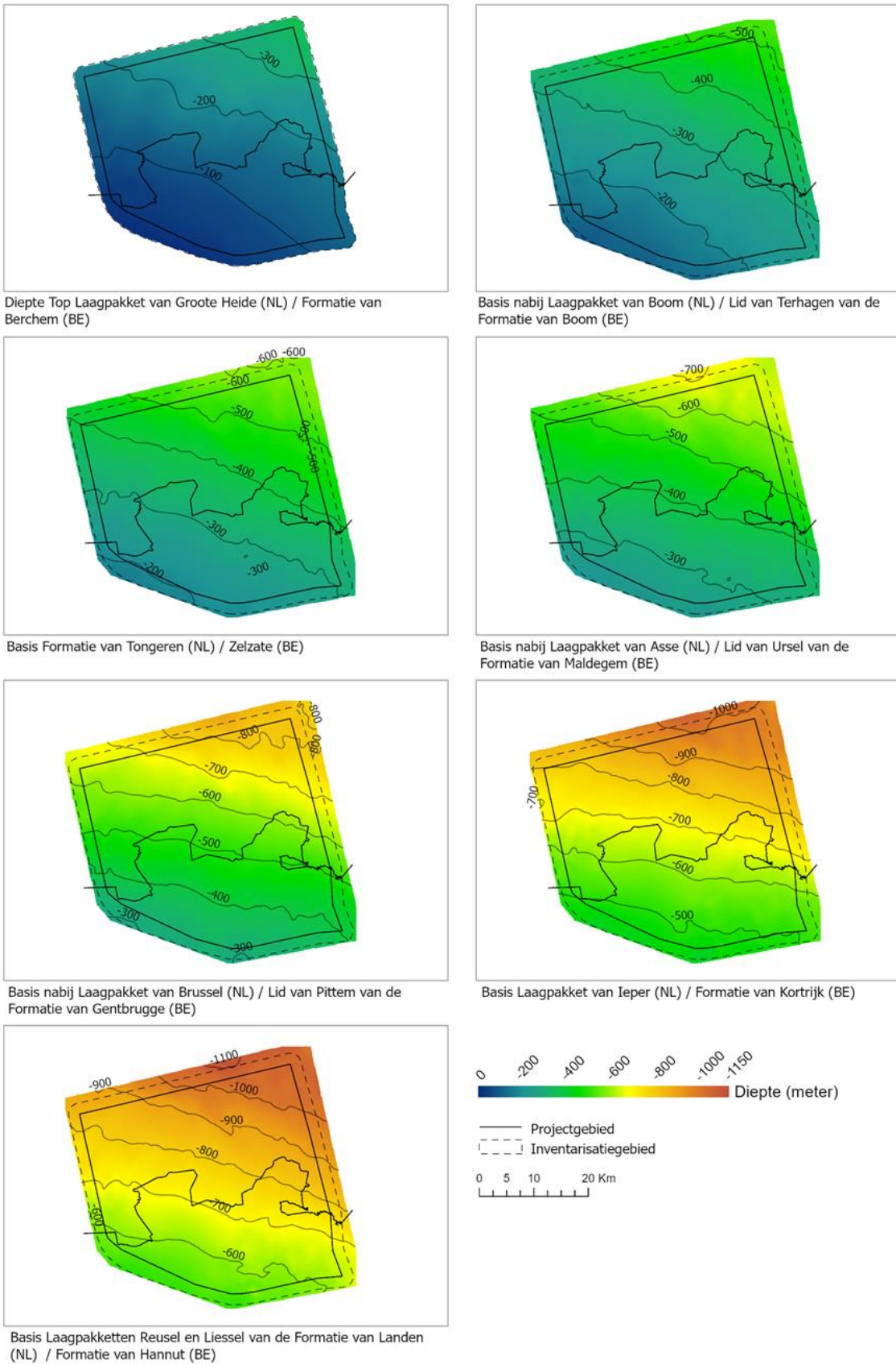
De gemodelleerde grensvlakken kennen overeenkomstige eigenschappen; ze zijn volledig inventarisatiegebied dekkend en verdiepen richting het noordoosten. Hieronder wordt per grensvlak toegelicht hoe de diepte van het vlak varieert, wat de onzekerheid is op de seismische interpretaties, en dus op het grensvlak zelf, en wat de onderlinge verdiepingstrends zijn tussen de grensvlakken. Waar voor een grensvlak niet gekozen is voor een laagpakket- of formatiegrens, wordt de reden hiervoor eveneens toegelicht.

#### *Top Laagpakket van Grootte Heide (NL) / Formatie van Berchem (BE)*

Dit vlak kent een geleidelijke verdieping van ongeveer -40 m in het zuidwesten naar -340 m diepte in het noordoosten van het modelgebied (Figuur 24). Vanwege de ondiepere ligging in het zuiden, of het Belgische deel van het modelgebied, zijn er hier veel boringen die dit vlak aansnijden. Daarom is dit vlak er gemodelleerd op basis van boorinformatie, via de methodiek die ook voor het ondiepe model van het Belgische deel wordt gehanteerd. Omwille van de verdieping van dit vlak naar het noorden toe, wordt het in het Nederlandse deel, minder aangesneden door boringen. Daarom is dit vlak er aanvullend gemodelleerd op basis van seismische data. Omdat de seismische data echter voor de studie van diepere eenheden werd uitgevoerd, is deze vaak van lage kwaliteit voor de interpretatie en modellering van het betreffende vlak. Hierdoor zit er een behoorlijke foutenmarge op het model op grotere afstand van de boringen. Dit vlak vormt de basis van het ondiepe deelmodel, waar het samenvalt met de basissen van de formaties van Diessen (NL)/Diest (BE) in het oosten en de formaties van Oosterhout (NL)/Kattendijk (BE) in het westen. Tevens wordt het gebruikt om de basis van de onderliggende modeleenheid (Laagpakket van Grootte Heide en Veldhoven (NL) /formaties van Voort en Berchem (BE)) te modelleren in het Nederlandse deel van het modelgebied (Tabel 13).



Figuur 23. Residualkaarten van de seismisch geïnterpreteerde grensvlakken.



Figuur 24. Dieptekaarten van de gemodelleerde diepe grensvlakken.

Tabel 13. Gemodelleerde diepe grensvlakken in relatie tot de modeleenheden.

Nederlandse stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	NL Hydrogeologische modeleenheid H3O-VK	Belgische stratigrafische eenheid (formatie - lid)	Geologische modeleenheid H3O-VK (BE)	
Breda - ongedifferentieerd (Diessen <sup>1</sup> )	DIz1	Diest	Diest	Top Laagpakket van Grootte Heide (NL) / Basis Formatie van Diest (BE)
Breda - Rucphen (Grootte Heide <sup>1</sup> )	GRVEc	Berchem - Antwerpen + ongedifferentieerd	Voort en Berchem	Basis Laagpakket van Grootte Heide (NL) (Alleen NL)
/		Berchem - Edegem		
Veldhoven - Winteire		Voort - Veldhoven		
Veldhoven - Voort		Voort - Voort		
Rupel - Steensel	RUBOk1	Eigenbilzen	Boom en Eigenbilzen	Nabij basis Laagpakket van Boom (NL) / Formatie van Boom (BE)
Rupel - Boom		Boom - Boeretang		
		Boom - Putte		
Rupel - Belsele-Waas + Berg		Boom - Terhagen		
Tongeren - Ruisbroek	TOz1	Boom - Belsele-Waas	Zelzate	Basis Formatie van Tongeren (NL) / Formatie van Zelzate (BE)
Tongeren - Watervliet		Zelzate - Ruisbroek		
Tongeren - Bassevelde		Zelzate - Watervliet		
		Zelzate - Bassevelde		
Dongen - Asse	DOASk1	Maldegem - Onderdijke	Maldegem (exclusief Wemmel)	Nabij basis Laagpakket van Asse (NL) / Lid van Ursel van de Formatie van Maldegem (BE)
		Maldegem - Buisputten		
		Maldegem - Zomergem		
		Maldegem - Onderdale		
		Maldegem - Ursel		
		Maldegem - Asse		
		Maldegem - Wemmel		
Dongen - Brussel	DOBRz1	Lede	Gentbrugge - Vlierzele, Aalter, Brussel, Lede en Maldegem - Wemmel	Nabij basis Laagpakket van Brussel (NL) / basis Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge
		Brussel		
		Aalter - Oedelem		
		Gentbrugge - Vlierzele		
	DOIEk1	Gentbrugge - Pittem	Gentbrugge - Merelbeke en Pittem	
		Gentbrugge - Merelbeke		
Dongen - Ieper	DOIEk2	Hyon - Egem	Tielt en Hyon	Basis Laagpakket van Ieper (NL) / Formatie van Kortrijk (BE)
		Tielt - Egemkapel		
		Tielt - Kortemark		
	DOIEk3	Kortrijk - Aalbeke	Kortrijk	
		Kortrijk - Roubaix		
		Kortrijk - Orchies		
Dongen - Oosteind	DOOOz1	Kortrijk - Mont-Héribu		
Landen - Reusel	LARELIk1	Tienen - Knokke	Tienen	
		Hannut - Grandglise	Hannut	Basis Laagpakket van Reusel en Liessel (NL) / Formatie van Hannut (BE)
		Hannut - Lincen		
		Hannut - Halen		
Landen - Liessel	Hannut - Waterschei			
		Hannut - Beselare <sup>4</sup>		
Landen - Gelinden	LAGEORc	Heers - Maaseik <sup>4</sup>	Heers	
Landen - Orp		Heers - Gelinden		
		Heers - Orp		

**Basis nabij Laagpakket van Boom (NL) / Lid van Terhagen van de Formatie van Boom (BE)**

Dit vlak kent een geleidelijke verdieping van ongeveer -120 m in het zuidwesten naar -500 m diepte in het noordoosten van het modelgebied (Figuur 24). Omdat het voor waterwinningen nogal diep ligt, zijn er weinig boringen die het vlak aansnijden. Daarom is het vlak hoofdzakelijk op basis van seismiek gemodelleerd. Dit niveau vormt geen grens van een modeleenheid, maar ligt boven de basis van de modeleenheid van het Laagpakket van Boom (NL)/Formatie van Boom (BE). De basis van deze laatste modeleenheid vormt namelijk geen sterk seismisch contrast, terwijl de basis van het Lid van Terhagen (BE) dat wel vormt. Het gemodelleerde vlak wordt daarom gebruikt om de basis van de modeleenheid van het Laagpakket van Boom/Formatie van Boom op te bouwen door er de dikte van het onderliggende Lid van Belsele-Waas van af te halen (Tabel 13).

**Basis Formatie van Tongeren (NL) / Zelzate (BE)**

Dit vlak kent een geleidelijke verdieping van ongeveer -200 m in het zuidwesten naar -570 m diepte in het noordoosten van het modelgebied (Tabel 13).

Het is op basis van hoofdzakelijk seismiek gemodelleerd. Het vlak vormt geen sterk seismisch contrast, waardoor de interpretatie ervan soms onzeker is. In het zuidoosten vormt het een hoekdiscordantie met onderliggende lagen van het Laagpakket van Asse (NL)/Formatie van Maldegem (BE) alsook met de bovenliggende Laagpakket van Boom (NL)/Formatie van Boom (BE). De onder- en bovenliggende lagen convergeren zo naar elkaar toe in zuidoostelijke richting, zonder dat ze elkaar afsnijden. Verder naar het zuidoosten, in het modelgebied van H3O-De Kempen, snijdt de basis van de Formatie van Tongeren (NL) / Zelzate (BE) de onderliggende lagen van het Laagpakket van Asse (NL) / Formatie van Maldegem (BE) wel af. De hoekdiscordantie is een gevolg van opheffing van de lagen richting het zuidoosten tijdens de zogenaamde Pyrenese fase op het einde van het Eoceen, die ook nog in het vroege Oligoceen beperkt lijkt doorgewerkt te hebben. Door deze hoekdiscordantie, is de basis van Formatie van Tongeren (NL) / Zelzate (BE) met grotere betrouwbaarheid te interpreteren in het zuidoosten van het modelgebied.

*Basis nabij Laagpakket van Asse (NL) / Lid van Ursel van de Formatie van Maldegem (BE)*

Dit vlak kent een geleidelijke verdieping van ongeveer -245 m in het zuidwesten naar -640 m diepte in het noordoosten van het modelgebied (Figuur 24). Het is op basis van hoofdzakelijk seismiek gemodelleerd. Het vlak vormt een sterk seismisch contrast, maar omdat het veelal een dikke reflectie is dankzij de graduele fining upwards vanaf het bovenste deel van het Laagpakket van Brussel / Formatie van Lede (BE) richting de basis van het Laagpakket van Asse (NL) / het Lid van Ursel van de Formatie van Maldegem (BE), is de interpretatie ervan moeilijk consistent te maken. De resolutieverschillen tussen de verschillende seismische campagnes zorgen ervoor dat dit extra lastig is. Dit niveau vormt geen exacte grens van een modeleenheid. De meest duidelijke en consistente impedantietoename ligt aan de basis van het Lid van Ursel van de Formatie van Maldegem (BE), dewelke enkele meters boven de basis van de modeleenheid van het Laagpakket van Asse (NL) / Lid van Asse van de Formatie van Maldegem (BE) ligt. Het gemodelleerde grensvlak wordt daarom gebruikt om de basis van deze modeleenheid op te bouwen door er de dikte van het onderliggende Lid van Asse (BE) van af te halen (Tabel 13).

In het noordwesten van het modelgebied loopt het vlak min of meer parallel met de bovenliggende basis van de Formatie van Tongeren (NL) / Zelzate (BE). Verder zuidoostelijk convergeert het richting dit laatste vlak, zonder het evenwel te snijden.

*Basis nabij Laagpakket van Brussel (NL) / Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge (BE)*

Dit vlak kent een geleidelijke verdieping van ongeveer -315 m in het zuidwesten naar -830 m diepte in het noordoosten van het modelgebied (Figuur 24). Het is op basis van hoofdzakelijk seismiek gemodelleerd. Het vlak vormt veelal een sterk seismisch contrast, waardoor de interpretatie ervan meestal behoorlijk zeker is. Enkel waar de klei van Merelbeke (BE), dewelke voor het seismisch contrast zorgt, erg dun is, kan er een resolutieprobleem optreden, waardoor de seismische interpretatie een stuk lastiger wordt. Dit is vooral in het zuiden van het modelgebied het geval.

Dit niveau vormt geen grens van een modeleenheid, maar ligt onder de basis van de modeleenheid van het Laagpakket van Brussel (NL) / Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge (BE). De basis van deze laatste modeleenheid vormt



namelijk geen sterk seismisch contrast, terwijl de overgang van het Lid van Pittem (BE) richting het Lid van Merelbeke (BE) dat wel vormt. Het gemodelleerde vlak wordt daarom gebruikt om de basis van de modeleenheid van het Laagpakket van Brussel (NL) / Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge (BE) op te bouwen door er de dikte van het onderliggende Lid van Pittem bij op te tellen (Tabel 13).

Opvallend is dat dit niveau sterker verdiept richting het noorden dan het bovenliggende. Dit betekent dat deze periode gekenmerkt wordt door sterkere subsidentiecontrasten, waarbij het noorden relatief sterker daalt dan het zuiden.

*Basis Laagpakket van Ieper (NL) / Formatie van Kortrijk (BE)*

Dit vlak kent een geleidelijke verdieping van ongeveer -445 m in het zuidwesten naar -990 m diepte in het noordoosten van het modelgebied (Figuur 24). Het is op basis van hoofdzakelijk seismiek gemodelleerd. Het vlak vormt een sterk seismisch contrast, waardoor de interpretatie ervan behoorlijk zeker is. Het vlak kan daarom gebruikt worden om zowel boven- als onderliggende modeleenheden af te leiden. In bijna het gehele modelgebied loopt dit grensvlak parallel met het bovenliggende, hetgeen wijst op uniforme subsidentie. Enkel in het zuidoosten van het modelgebied zien we dat dit vlak convergeert naar het bovenliggende. Initieel is ook het equivalent van de top van de Formatie van Kortrijk (BE) in Nederland seismisch geïnterpreteerd. Echter is vanwege de continue dikte van deze formatie in combinatie met de ruis op de seismische interpretaties, dewelke de uniforme dikte van deze formatie overheerst, ervoor gekozen om ook in het Nederlandse deel van het modelgebied een diktekaart op te maken uitsluitend op basis van boringen. Deze diktekaart zal dan bij de Basis Laagpakket van Ieper (NL) / Formatie van Kortrijk (BE) opgeteld worden om de top van de Formatie van Kortrijk (BE) of basis van de Formatie van Tielt + Hyon (BE) te bepalen in het gehele modelgebied (Tabel 13).

*Basis laagpakketten Reusel en Liessel van de Formatie van Landen (NL) / Formatie van Hannut (BE)*

Dit vlak kent een geleidelijke verdieping van ongeveer -530 m in het zuidwesten naar -1055 m diepte in het noordoosten van het modelgebied (Figuur 24). Het is op basis van hoofdzakelijk seismiek gemodelleerd. Het vlak vormt een sterk seismisch contrast, waardoor de interpretatie ervan behoorlijk zeker is.

Ten opzichte van het bovenliggende grensvlak, zien we een sterkere verdieping richting het zuidoosten. Dit is opvallend omdat voor het bovenliggende juist een convergerende trend werd vastgesteld in deze richting.

Het gemodelleerde grensvlak wordt gebruikt om de basis van de onderliggende modeleenheid van het Laagpakket van Gelinden en Orp (NL) / Formatie van Heers (BE) op te bouwen door er de dikte van het onderliggende Laagpakket van Gelinden en Orp (NL) / Formatie van Heers (BE) van af te halen (Tabel 13).

*Modellering van de basissen van de modeleenheden*

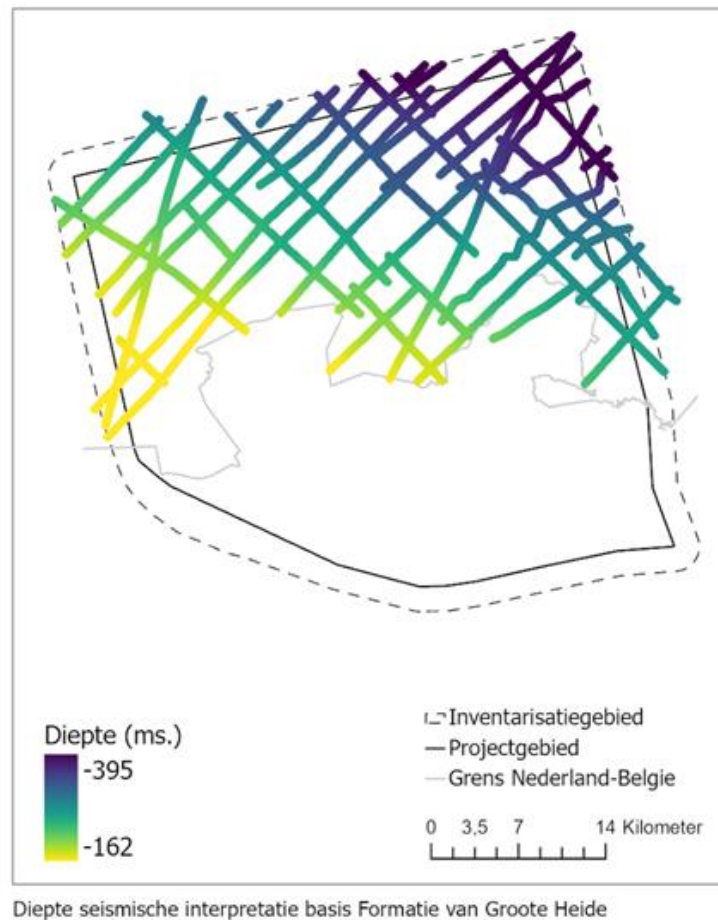
De meeste basissen van de modeleenheden zijn niet rechtstreeks geïnterpreteerd en gemodelleerd op basis van seismische data. Om de basissen van deze modeleenheden te bepalen, zijn diktekaarten opgemaakt van formaties en leden die het mogelijk maken om modeleenheden af te leiden van de reeds gemodelleerde grensvlakken. Van acht modeleenheden is op deze manier de basis bepaald. Hieronder wordt besproken hoe elk van deze modeleenheden gereconstrueerd is.

*Basis formatie van Grootte Heide en Veldhoven (NL) / Formatie van Voort en Berchem (BE)*

De basis van deze modeleenheid wordt in het Belgische deel van het projectgebied bepaald door de diktekaart van deze modeleenheid onder het *grensvlak Top Laagpakket van Grootte Heide (NL) / Formatie van Berchem (BE)* te plaatsen. Deze diktekaart is opgesteld op basis van boorinformatie. In het Nederlandse deel is boorinformatie van dit interval in onvoldoende mate aanwezig om een diktekaart van deze modeleenheid op te stellen. Derhalve is de wel aanwezige boordata, alsmede de basis van deze modeleenheid aan Belgische zijde gecorreleerd aan een goed vervolgbare reflector in de seismische data en vervolgens in het Nederlandse deel van het projectgebied gekarteerd (Figuur 25). Deze seismische interpretatie is vervolgens vergrid en geconverteerd van tijd naar diepte en geïntegreerd met de Belgische basis van deze modeleenheid.

*Basis Rupel Formatie (NL) / Formatie van Boom en Eigenbilzen (BE)*

De basis van deze modeleenheid wordt bepaald door de dikte van het Belgische Lid van Belsele-Waas onder de diepte van het grensvlak *nabij Laagpakket van Boom (NL) / Lid van Terhagen van de Formatie van Boom (BE)* te plaatsen (zie Tabel 13). De dikte van het Belgische Lid van Belsele-Waas wordt gekenmerkt door diktes van 20 tot 28 meter in het centrale deel van het inventarisatiegebied. Dit lid is in het gehele inventarisatiegebied aanwezig en verdunt naar het zuidoosten en in sterkere mate naar het noordwesten tot 9 à 10 meter (Figuur 26).



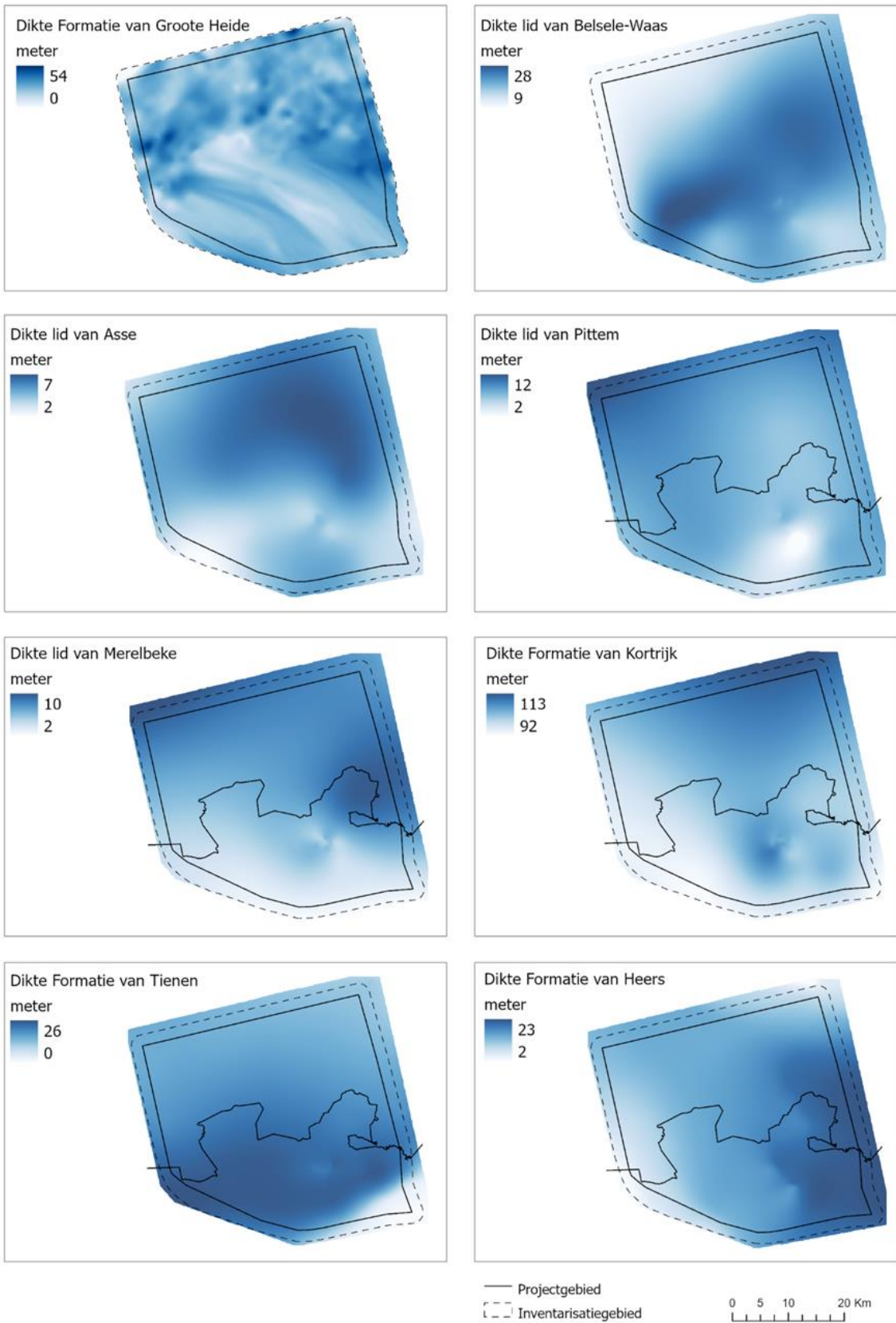
Figuur 25. Seismische interpretatie van de basis van modeleenheid Basis formatie van Groote Heide en Veldhoven (NL) / Formatie van Voort en Berchem (BE).

*Basis Laagpakket van Asse (NL) / Formatie van Maldegem (BE)*

De basis van deze modeleenheid wordt bepaald door de dikte van het Belgische Lid van Asse van de Formatie van Maldegem onder de diepte van het grensvlak *Basis Laagpakket van Asse (NL) / Lid van Ursel van de Formatie van Maldegem (BE)* te plaatsen (zie Tabel 13). Het Belgische Lid van Asse is in het gehele inventarisatiegebied aanwezig en is relatief dun met een dikte tussen 2 en 7 meter. Het lid verdikt dominant richting het noordoosten (Figuur 26).

*Basis Laagpakket van Brussel (NL) / Combinatie van Vroeg tot Laat Eocene zanden (BE)*

De basis van deze modeleenheid wordt bepaald door de dikte van het Belgische Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge boven de diepte van het grensvlak *Basis nabij Laagpakket van Brussel (NL) / Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge (BE)* te plaatsen (zie Tabel 13). Het Belgische Lid van Pittem is in het gehele inventarisatiegebied aanwezig en varieert tussen de 3 en de 11 meter. Het lid verdikt richting het noordwesten (Figuur 26).



Figuur 26. Diktekaarten van de verschillende stratigrafische formaties en leden, ten behoeve van het bepalen van de basissen van de modelleenheden.

*Basis Kleilig deel van Gentbrugge (BE)*

De basis van deze modeleenheid wordt bepaald door de dikte van het Belgische Lid van Merelbeke van de Formatie van Gentbrugge onder de diepte van het grensvlak *Basis nabij Laagpakket van Brussel (NL) / Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge (BE)* te plaatsen (zie Tabel 13). Het Belgische Lid van Merelbeke is in het gehele inventarisatiegebied aanwezig en kent een maximale 9 meter in de oostelijke grensregio binnen het inventarisatiegebied. Dit lid verdunt naar het zuiden naar een dikte van ongeveer 3 meter (Figuur 26).

*Basis Formatie van Tielt en Hyon (BE)*

De basis van deze modeleenheid wordt bepaald door de dikte van de Belgische Formatie van Kortrijk boven de diepte van het grensvlak *Basis Laagpakket van Ieper (NL) / Formatie van Kortrijk (BE)* te plaatsen (zie Tabel 13). De Belgische Formatie van Kortrijk is relatief dik met een variatie tussen 92 en 112 meter, waarbij een verdikking optreedt naar het noorden toe (Figuur 26).

*Basis Laagpakket van Oosteind (NL) / Formatie van Tienen (BE)*

De basis van deze modeleenheid wordt bepaald door de dikte van de Belgische Formatie van Tienen, dewelke overeenkomt met het Nederlandse Laagpakket van Oosteind, onder de diepte van het grensvlak *Basis Laagpakket van Ieper (NL) / Formatie van Kortrijk (BE)* te plaatsen (zie Tabel 13). De Belgische Formatie van Tienen kent een maximale dikte van ongeveer 25 meter ten zuiden van de Belgisch-Nederlandse grens. Deze formatie verdunt tot ongeveer 12 meter in het noorden en verdunt snel richting het zuidoosten en is uiteindelijk afwezig in het uiterste zuidoostelijke deel van het inventarisatiegebied (Figuur 26).

*Basis Laagpakket van Gelinden en Orp (NL) / Formatie van Heers (BE)*

De basis van deze modeleenheid wordt bepaald door de dikte van de Belgische Formatie van Heers, dewelke overeenkomt met het Nederlandse Laagpakket van Gelinden en Orp, onder de diepte van het grensvlak *Basis laagpakketten Reusel en Liessel van de Formatie van Landen (NL) / Formatie van Hannut (BE)* te plaatsen (zie Tabel 13). De Formatie van Heers bereikt zijn maximale dikte in het oosten van het inventarisatiegebied met diktewaarden tot 22 meter. Dit pakket verdunt naar het noordoosten en zuidwesten tot minimale diktes van enkele meters. (Figuur 26).

## 7.4 Werkwijze ondiepe deelmodellen

De ondiepe deelmodellen van Nederland en België zijn door verschillende partijen en hun huidige modelleringsmethodes opgebouwd. Het Nederlandse deelmodel is opgemaakt door TNO met behulp van Isatis en dat van Vlaanderen door VITO via interpolatie binnen ArcGIS, aangevuld en ondersteund met eigen scripting. Hierdoor zijn er ook verschillen in aanpak van de ondiepe modellering. Tabel 14 geeft een overzicht van de overeenkomsten en verschillen van de gebruikte workflows. Door het gebruik van verschillende workflows, zijn ook de resulterende rasters verschillend, ook al worden dezelfde inputdata gebruikt.

Tenslotte is ook de aanpak van opbouw van de geologische en hydrogeologische modellen verschillend tussen beide partijen. VITO maakt een lithostratigrafisch model dat daarna vertaald wordt naar een hydrogeologisch model. In Vlaanderen hebben alle bestaande hydrogeologische zand- en kleipakketten in het modelgebied namelijk reeds een lithostratigrafische naam, wat een eenvoudige vertaling van geologie naar hydrogeologie mogelijk maakt. In Nederland zijn niet

alle onderscheiden hydrogeologische eenheden ook lithostratigrafisch gedefinieerd. Er zijn namelijk meer hydrogeologische eenheden dan geologische eenheden. Daarom maakt TNO een lithostratigrafisch model dat ingevuld wordt met hydrogeologische eenheden. Zo wordt er dus zowel een verschillende (hydro)stratigrafie, modellersoftware als -methodiek gehanteerd tussen beide landen.

Tabel 14. Overzicht van de workflows voor de ondiepe modellering per land.

Uitvoerende partij	Land	Input	Software	Opmaak ruwe rasters op basis van:	Initiële output rasters per landsdeel	Finale output rasters grensoverschrijdend
TNO-GDN	Nederland en aangrenzende gebieden van België	Boorgegevens, potentiële verbreidingsgrenzen, maaiveldhoogte	Isatis	Interpolatie boorgegevens, steun- en wipunten	Rasters Nederland + aangrenzende gebieden van België	Grensoverschrijdende rasters van Nederlandse lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden
VITO	België en aangrenzende gebieden van Nederland		ArcGIS + scripting	Isohypsens op basis van de boorgegevens	Rasters België + aangrenzende gebieden van Nederland	Grensoverschrijdende rasters van Belgische lithostratigrafische en Vlaamse hydrogeologische eenheden

7.4.1 *Input voor de ondiepe modellering*

Het model is opgesteld op basis van boorgegevens samen met potentiële verbreidingsgebieden en aanvullende data zoals steunpunten of -lijnen, wipunten en het maaiveldhoogtebestand.

De basisdata bestaan uit:

- Boorgegevens: alle geïnterpreteerde selectiesetboringen zijn gebruikt voor het maken van de modellen. 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. Soms bereikt een boring wel de top maar niet de basis van de eenheid. In dergelijke gevallen wordt de boring beschouwd als 'dieper dan' en als zodanig gebruikt en weergegeven.
- 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.
- Steunpunten en -lijnen: Steunpunten en -lijnen 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. De locatie van steunpunten en -lijnen 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.

- **Wigpunten:** Er worden langs de randen van de potentiële verbreidingsgrenzen zogenaamde wigpunten toegevoegd. Wigpunten zijn een soort van steunpunten met dat verschil dat deze tijdens het modelleringsproces automatisch een waarde toegekend krijgen op basis van een ruwe verrastering van de top van de eenheid en met een dikte 0. Bij de interpolatie van de basis en/of dikte van de eenheid worden deze wigpunten gecombineerd met de geïnterpreteerde boorgegevens om het diepte- of dikteverloop nabij de randen van de verbreiding zodanig te sturen dat de eenheid op logische wijze uitwigt. Wigpunten worden ook alleen maar daar gebruikt waar een eenheid ook werkelijk dient uit te wiggen.
- **Maaiveld:** het maaiveld en de waterbodems van het oppervlaktewater vormen de bovenrand van het geologische en hydrogeologische ondiepe model (zie hoofdstuk over Datavoorbereiding).

#### 7.4.2 *Algemene workflow van de ondiepe modellering*

De algemene workflow van de ondiepe modellering bestaat uit verschillende stappen:

- 1 toevoegen van concepten;
- 2 interpolatieprocedure van de vlakken van de (hydro)geologische eenheden;
- 3 het samenvoegen van de geïnterpoleerde vlakken van de eenheden tot één consistent (hydro)geologisch 3D model per landsdeel;
- 4 integratie van de deelmodellen tot grensoverschrijdende modellen;
- 5 combineren ondiepe en diepe deelmodellen.

##### Ad 1. Toevoegen van concepten:

Een eenvoudige interpolatie levert bij een beperkt aantal datapunten geen geologisch plausibel vlak op. Daarom worden door VITO op basis van de dieptes in de boringen, steunlijnen of isohypsen voor de basissen van de verschillende modeleenheden bepaald. Om grensoverschrijdende aansluiting te garanderen, zijn isohypsen ingetekend vanuit het Belgische deel (op basis van Belgische interpretaties) tot halverwege het Nederlandse deel van het modelgebied (op basis van Nederlandse interpretaties). Hierbij worden manueel contourlijnen met dieptewaarden van de eenheid ingetekend in ArcGIS software. Er wordt niet exact vastgehouden aan de dieptes uit de boringen, maar er wordt een afwijking tussen beide toegelaten, die veelal maximaal 5 m bedraagt voor de diepere neogene eenheden tot 2 m voor de ondiepste quartaire eenheden. Er zijn namelijk zoveel onzekerheden omtrent de hoogteligging en interpretatiedieptes in boringen (bijv. grootte van bemonsteringsintervallen), dat deze afwijkingen toelaten om vlakken tussen de boringen op te maken zonder dat deze onzekerheden invloed hebben. Zo wordt een geologisch realistischer verloop gecreëerd van de vlakken ten opzichte van een eenvoudige interpolatie. Ook is het diepteverloop van de eenheden zo sterk wisselend dat deze op de schaal van het model niet altijd gevangen kan worden in de modellering van de eenheden. Boringen met gedetailleerde boorbeschrijvingen en/of boorgatmetingen zijn leidend en getracht wordt om de afwijking van de isohypsen ten opzichte van deze leidende datapunten zo klein mogelijk te houden.

Binnen de TNO-methodiek worden in plaats van steunlijnen of isohypsen zogenaamde steunpunten (fictieve boringen) en wigpunten toegevoegd. Steunpunten zijn fictieve boringen die door de geoloog op die plaatsen worden toegevoegd waar er een lage datadichtheid of geologische en of

hydrogeologische complexiteit in de ondergrond bestaat. Voor de grensoverschrijdende aansluiting zijn op deze wijze ook de Belgische interpretaties van de verschillende eenheden als steunpunten in de modellering meegenomen.

Sommige geo- en hydrogeologische eenheden wiggen uit, anderen zijn weer erosief. Om dit op een juiste wijze in de modellering te kunnen verwerken, worden in de Nederlandse methodiek van modelleren zogenaamde wigpunten in de modellering meegenomen. Een wigpunt is niets anders dan een coördinatenpaar op een aan te geven vaste afstand tot de rand van de potentiële verbreiding. Het genereren van de coördinaatparen is middels een pythonscript geautomatiseerd. Het wigpunt krijgt geen diepte mee. Een diepte krijgt het wigpunt automatisch in het modelleringsproces toegekend. Hierin wordt ook automatisch bepaald in hoeverre dit wigpunt meegenomen wordt in de modellering. Langs breukzones en projectgrenzen vindt uiteraard geen uitwiggings plaats. Hier worden ook geen wigpunten gegenereerd. In gebieden waar de geologische eenheid zich heeft ingesneden in onderliggende eenheden worden ook geen wigpunten gecreëerd. Deze gebieden worden door de geoloog per eenheid aangegeven in zogenaamde niet-uitwiggingshapes.

#### Ad 2. Interpolatie:

De interpolatieprocedure voor stratigrafische eenheden is 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). Volgens de TNO-workflow, wordt door middel van een lineaire kriging een grof trendvlak berekend per basisvlak op basis van de geïnterpreteerde boringen. Het verschil tussen dit trendvlak en de geïnterpreteerde boringen wordt bepaald, waarna deze residuen met een block-kriging worden geïnterpoleerd. Dit vlak is vervolgens toegevoegd aan het trendvlak, zodat een nieuw vlak verkregen wordt. Op deze manier worden zowel de geologische trends als de boorgegevens in de modellering meegenomen. Voor gebieden met een lage datadichtheid zijn steunpunten toegevoegd om het vlak te sturen. De steunpunten worden gezien als fictieve boringen en zijn geplaatst door een geoloog om zo een juiste sturing aan de modellering te geven. Derhalve hebben steunpunten ook hetzelfde gewicht als een boring. Om een grensoverschrijdende aansluiting te garanderen, zijn de boringen van het Belgische deel van het modelgebied als steunpunten in deze workflow meegenomen. Boorinterpretaties die in de Belgische set als 'slecht' gekenmerkt zijn, zijn zoveel mogelijk gemeden.

Volgens de VITO-workflow zijn er reeds isohypsen bepaald waardoor het samenstellen van een trendvlak niet meer nodig is. De isohypsen worden vervolgens binnen ArcGIS omgezet naar TINs met de "TIN-toolset" en uiteindelijk naar een raster.

De hydrogeologische eenheden in het modelgebied vielen voor aanvang van het project in België altijd samen met de lithostratigrafische eenheden. Dit is niet altijd het geval in de Nederlandse benadering. Daarom vindt er binnen het Nederlandse landsdeel nog een aparte interpolatie van hydrogeologische eenheden plaats. Omdat deze hydrogeologische eenheden binnen stratigrafische eenheden voorkomen, worden hiervoor een top en dikte geïnterpoleerd waaruit de basis wordt afgeleid. Daarna worden deze geometrieën consistent gemaakt aan de geologische eenheid waarbinnen deze hydrogeologische eenheden vallen.



Ongeacht de interpolatiemethode, zijn er beperkte afwijkingen tussen de dieptes van een laagvlak in de boring en het raster van die eenheid op de locatie van de boring.

#### Ad 3. Creëren van het 3D (hydro)geologische 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 workflows geprogrammeerd en wordt voor TNO-GDN eveneens uitgevoerd met het softwarepakket Isatis en voor VITO via eigen scripting frameworks die eerder gehanteerd zijn voor de opmaak van het G3Dv3-model van Vlaanderen (Deckers et al., 2019) en het Ondiep geologisch 3D lagen- en voxelmodel van regio Antwerpen (Van Haren et al., 2021). Het resulterend 3D model omvat de basis van de gemodelleerde stratigrafische eenheden vanuit welke, met behulp van rasterbewerkingen, de top en de dikte zijn afgeleid. De extra door TNO-GDN gemodelleerde hydrogeologische eenheden worden daarna aan dit stratigrafische model consistent gemaakt. Omdat bij de hydrogeologische modellering alleen de weerstandbiedende hydrologische eenheden worden gemodelleerd, worden als laatste stap de watervoerende hydrogeologische eenheden uit dit model afgeleid. Omdat bij VITO alleen op stratigrafisch niveau wordt gemodelleerd kunnen alle eenheden gestapeld worden en kunnen daarna direct top en dikte afgeleid worden.

#### Ad 4 Integratie deelmodellen tot grensoverschrijdende modellen:

Zie Figuur 27. Via bovenstaande workflows, zijn voor de Nederlandse en Belgische delen van het modelgebied, en de aansluitende delen over de grens, modellen verkregen. Omdat deze modellen op een andere manier zijn gemaakt, verschillen deze van elkaar en sluiten ze niet perfect op elkaar aan. De verschillen tussen de modellen zijn het kleinste op de boorlocaties, maar daartussen kunnen de verschillen hoger oplopen. Om de deelmodellen te integreren tot een grensoverschrijdend geheel wordt daarom een buffer tussen de Belgische en Nederlandse modelresultaten aangebracht ter hoogte van de Belgische-Nederlandse grens, waarin beide modelresultaten op elkaar afgestemd worden. De volgende methodiek is hierbij gehanteerd:

- 1 Ten noorden van de buffergrens wordt het Nederlandse model overgenomen en ten zuiden daarvan het Belgische model.
- 2 Binnen de gehanteerde oost-west lopende bufferzone worden beide modellen "leeggemaakt". De locatie en grootte van de bufferzone hangt af van de complexiteit van de betreffende eenheid, en kan dus verschillen per eenheid. In het geval van de basis van de Formatie van Lillo (BE) / Formatie van Oosterhout (NL) bijvoorbeeld, is er een grote verdieping net ten noorden van de landgrens. De bufferzone voor aansluiting wordt daarom ten zuiden

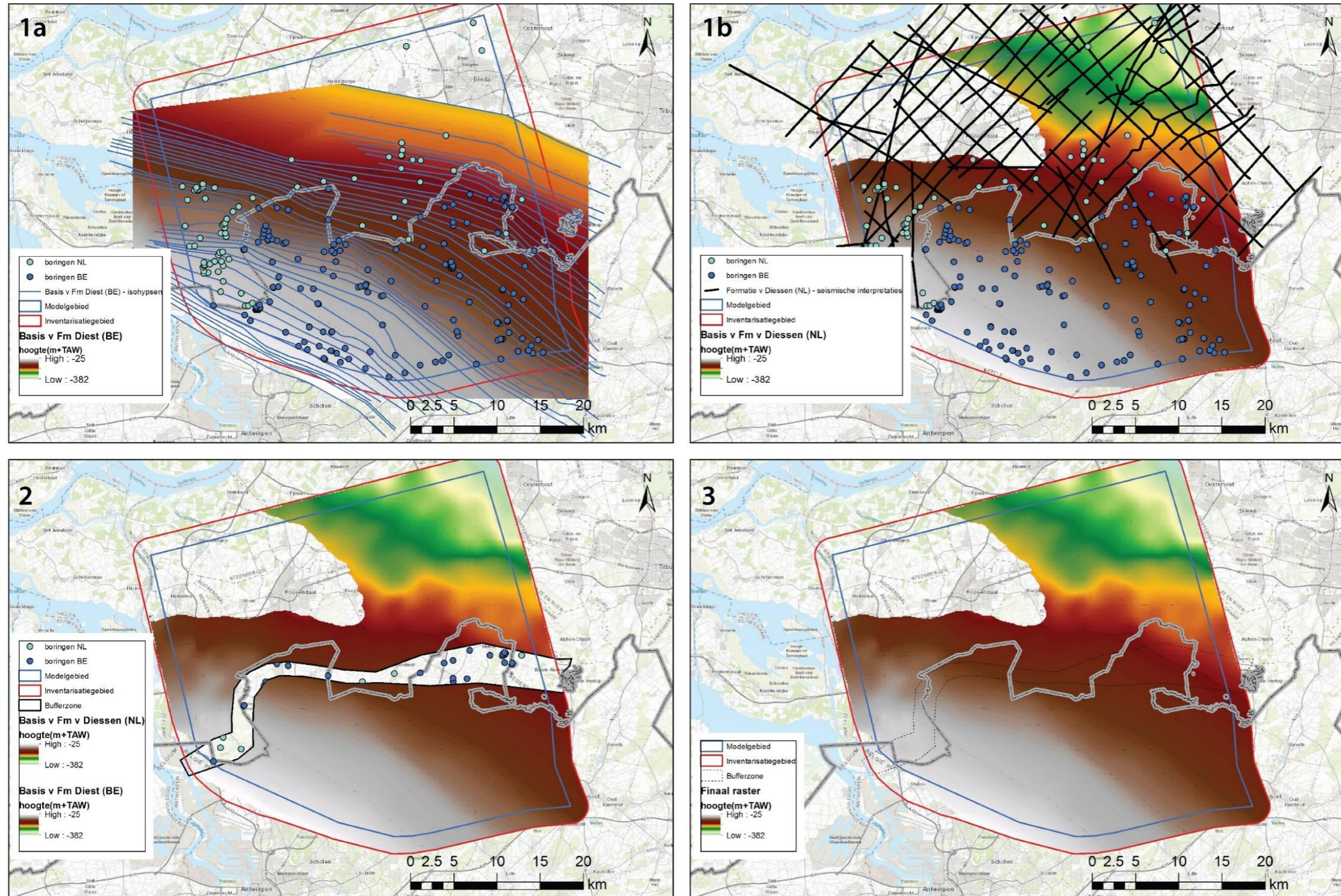
van deze verdieping geplaatst, zodat de verdieping die in de modellen verwerkt zit, meegenomen wordt.

- 3 Op basis van de rasters ten noorden en ten zuiden van de bufferzone, alsook de boringen die in de oost-west lopende bufferzone liggen, wordt een aansluitend laagvlak geïnterpoleerd voor iedere modeleenheid. De daarbij gebruikte interpolatiemethodiek is de *Natural Neighbor* methode. Deze interpolatiemethode is namelijk een “harde” interpolator die de inputdata, van zowel de rasters buiten de bufferzone als de boringen binnen de bufferzone, nauwgezet mee neemt en die daarbij zeer goed om kan met een sterk afwisselende datadichtheid.

Zodoende wordt er een grensoverschrijdend raster gecreëerd per eenheid. De hierboven vermelde workflow is uitgewerkt met een zelf opgestelde ArcGIS-toolbox.

#### Ad 5. 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. Voor het Vlaamse deel van het modelgebied was hiervoor geen aparte integratieslag nodig, aangezien de basis van de formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Groote Heide (NL) als diepste ondiepe eenheid heel wat hoger ligt dan de basis van de daaronder liggende diepe modeleenheid van de formaties van Boom en Eigenbilzen (BE) / Rupel Formatie (NL). Voor het Nederlandse deel van het modelgebied was er wel een integratieoefening nodig aangezien de top van de formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Groote Heide (NL) hier seismisch gekarteerd is via de diepe modelleringsmethodiek, en de basis vormt van de ondiepe Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL) en de Formatie van Kattendijk (BE) / Formatie van Oosterhout (NL). Zo is de top van de formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Groote Heide (BE) vanuit de diepe modellering als vast grensvlak aangehouden waarboven de ondiepe modellering is uitgevoerd, en waaruit dus de basissen van de ondiepe Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL) en de Formatie van Kattendijk (BE) / Formatie van Oosterhout (NL) zijn opgebouwd.



Figuur 27. Weergave van de verschillende stappen voor de integratie van de Belgische en Nederlandse modelresultaten ter hoogte van een oost-west lopende bufferzone langs de grens. Als voorbeeld is hier het vlak genomen van de basis van de Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL). Deelfiguur 1a: het Belgisch raster dat zich uitstrekt tot ver over de Nederlands-Belgische grens naar het noorden en is opgemaakt op basis van interpolatie van isohypsen die gebaseerd zijn op de Belgische en Nederlandse boorinterpretaties. Deelfiguur 1b: het Nederlandse raster van dezelfde eenheid dat zich uitstrekt tot ver over de Nederlands-Belgische grens naar het zuiden en gebaseerd is op de interpolatie van Nederlandse seismische data en boringen en Belgische boringen. Deelfiguur 1c: een combinatie van zowel het Nederlandse als Belgische raster die ten noorden en ten zuiden van een zorgvuldig gekozen bufferzone zijn behouden. Binnen de bufferzone zijn de Belgische en Nederlandse rasters leeg gemaakt en zijn alle beschikbare boorinterpretaties behouden. Voor de interpolatie binnen de bufferzone worden zowel het noordelijk gelegen Nederlandse deelraster als het zuidelijk gelegen Belgische deelraster gecombineerd met de Belgische en Nederlandse boringen die binnen de bufferzone zijn gelegen. Deelfiguur 1d toont het finale raster komende uit de interpolatie van de deelrasters buiten de bufferzone en de boringen binnen de bufferzone. Als interpolatiemethodiek is "Natural neighbor" toegepast.

### Specifieke workflows voor bepaalde ondiepe eenheden

Voor een beperkt aantal modeleenheden is er afgeweken van de hierboven beschreven algemene workflow voor de ondiepe modeleenheden. Dit omwille van de specificaties van deze eenheden, zoals hun type afzetting (bijvoorbeeld in riviergeulen) of dikte. Hieronder volgt een opsomming van de eenheden die anders gemodelleerd zijn samen met een beschrijving van hun specifieke modelleermethode.

- **Antropogeen – opgebrachte en omgewerkte grond:** Deze eenheid is niet nieuw opgemaakt voor het huidige project, maar hierin samengesteld uit bestaande modelresultaten. In België is de modeleenheid Antropogeen afkomstig uit het bestaand G3Dv3-model (Deckers et al., 2019). In Nederland is het Antropogeen overgenomen van het GeoTOP-model Noord-Brabant en Midden-Limburg (Stafleu et al., 2020). Bij de samenstelling van de modeleenheid zijn deze Belgische en Nederlandse rasters langs de Nederlands-Belgische grens tot één geheel gecombineerd.
- **Holoceen Complex:** Deze eenheid bestaat zowel uit holoceen beekalluvium doorheen het gehele modelgebied, als kust- en estuariene afzettingen in het uiterste westen van het modelgebied. Beide types van afzettingen zijn in dikte gemodelleerd. Hierbij is aan de rand van de potentiële verbreiding een dikte 0 toegekend en zijn door middel van centerlines binnen de beekdalen en isopachen binnen de estuariene afzettingen, diktesteunpunten toegekend waarbij de dikte waarden rekening houden met omliggende boorinterpretaties. Na de opmaak van het diktemodel is vervolgens deze van het maaiveld afgetrokken om een basisvlak van de modeleenheid te verkrijgen. De verbreiding van het beekalluvium binnen Belgisch grondgebied is voor de modellering opnieuw samengesteld, die in essentie overeenkomt met de methodiek toegepast tijdens de Quartairkartering (Bogemans, 2005a, b). De samenstelling van het voorkomen is herhaald aangezien er een kleine georeferentie-shift was vastgesteld in de Quartairkaarten. De toegepaste methodiek bestaat in feite uit het groeperen van voorkomens van bepaalde bodemtypes uit de digitale Bodemkaart voor het Vlaams Gewest (Van Ranst en Sys, 2000) die gerelateerd zijn aan holoceen beekalluvium. De digitale kaart (schaal 1/20 000, versie 2.0, 10/06/2016) is een vectoriële dataset van de analoge Belgische bodemkaart van België voor het grondgebied van het Vlaams Gewest. En de basiseenheid van de Bodemkaart is het bodemtype dat opgebouwd wordt uit verschillende onderdelen zoals substraat, textuurklasse, drainageklasse, profielontwikkelingsgroep, fasen en varianten. Op basis van een selectie van bodemtypes is het potentiële voorkomen van het beekalluvium terug gereconstrueerd. De bodemtypes die daarbij gebruikt zijn, bevatten de volgende bodemtype-codes: 'Efp', 'sEepm', 'Lep', 'w-Pdp', 'w-Pdp3', 'sPem', 'vPem', 'Pep', 'sPep', 's-Pep', 'w-Pep3', 'Pepy', 'Pfp', 'Pgp', en 'v-Sem', 'Sep', 'vSep', 'Sepz', 'Sep3', 'v-Sep3', 'w-Sep', 'w-Sep3', 'Sep3z', 'Sfp', 'Sfg', 'Sgp', 'V', 'Zdp', 'Zdpb', 'Zep', 'w-Zepb', 'Zepb', 'Zepy', 'Zfp'.
- **Formatie van Ravels (BE) / Formatie van Stramproy (NL):** Deze eenheid is in het Belgische deel opgemaakt op basis van diktes. Het diktemodel steunt hierbij op dikte waarden uit de boorinterpretaties, in combinatie met intern isopachen en op de rand steunpunten die een dikte van 0 m kennen. Het diktemodel is vervolgens van het gecombineerde basisvlak van bovenliggende

jongere eenheden afgetrokken om het basisvlak van deze modeleenheid te verkrijgen. In België is het voorkomen afgestemd op de Quartairgeologische kartering (Bogemans, 2005a, b) en daarbij verder verfijnd op basis van de boorinterpretaties.

- **Lid van Kruisschans – Formatie van Lillo (BE) / Laagpakket van Wouw – Formatie van Oosterhout (NL):** Deze eenheid is in het Belgische deel opge maakt op basis van diktes. Dit omwille van de beperkte, uniforme diktes die deze eenheid in het Belgische modelgebied vertoont. Het diktemodel steunt hierbij op diktewaarden uit de boorinterpretaties in combinatie met steunpunten. Het diktemodel is vervolgens van het basisvlak van het bovenliggende Lid van Merksem – Formatie van Lillo (BE) afgetrokken om het basisvlak van deze modeleenheid te verkrijgen.

#### 7.4.3 *Controle van het model*

De berekende ondiepe geologische en hydrogeologische modellen zijn gecontroleerd door middel van enerzijds logische controles en anderzijds een visuele beoordeling van de geologische plausibiliteit uitgevoerd binnen de software ArcGIS en iMOD zoals beschreven staat in de totstandkomingsrapporten van DGM en REGIS II (Hummelman et al., 2019).

De logische controles betreffen:

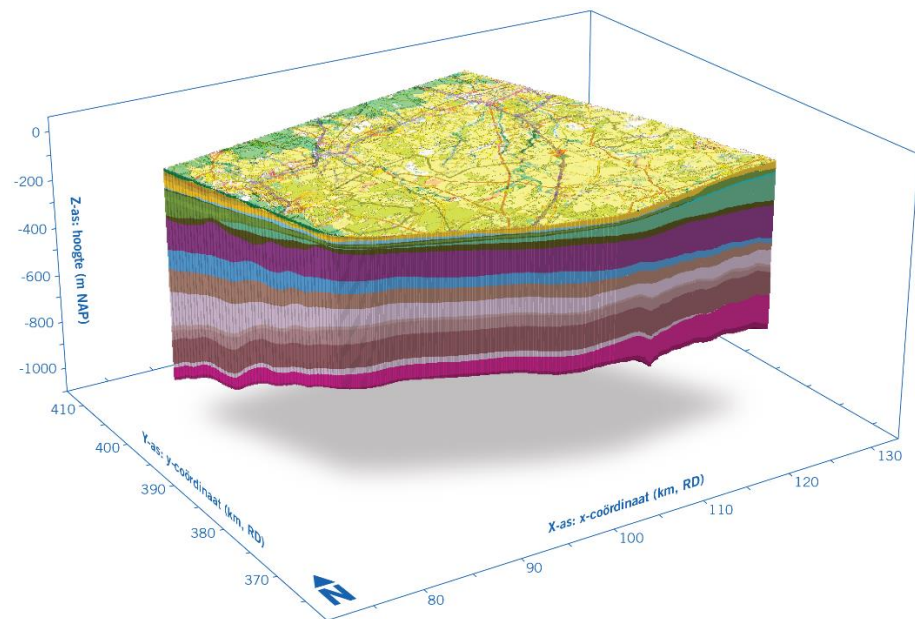
- de controle op negatieve diktes;
- de controle op identieke verbreidingen van de grids van de top, basis en dikte van de eenheden;
- de controle op grote verschillen tussen de interpretaties van de boringen en de grids van de top, basis en dikte van de eenheden op de boorlocaties;
- de controle op de consistentie tussen de top van een eenheid en de basis van een bovenliggende eenheid.

Voor de Vlaamse eenheden is deze controle uitgevoerd zoals beschreven voor de G3Dv3.1 en H3Dv2.1 modellen (Deckers et al., 2020).

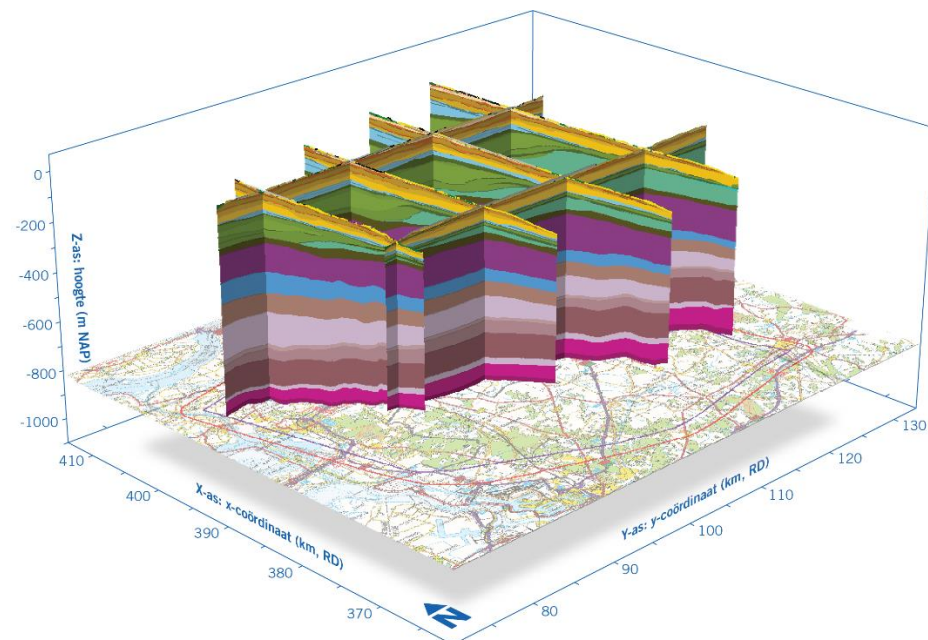
## 8 Resultaten

### 8.1 Algemeen

De grensoverschrijdende 3D geologische en hydrogeologische lagenmodellen vormen de belangrijkste resultaten van het project, zie Figuur 28 en Figuur 29.



Figuur 28. 3D visualisatie van het geologische model.



Figuur 29. Fence diagram door het hydrogeologische model.

Beide modellen bestaan uit een dataset van kaartbestanden in 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:

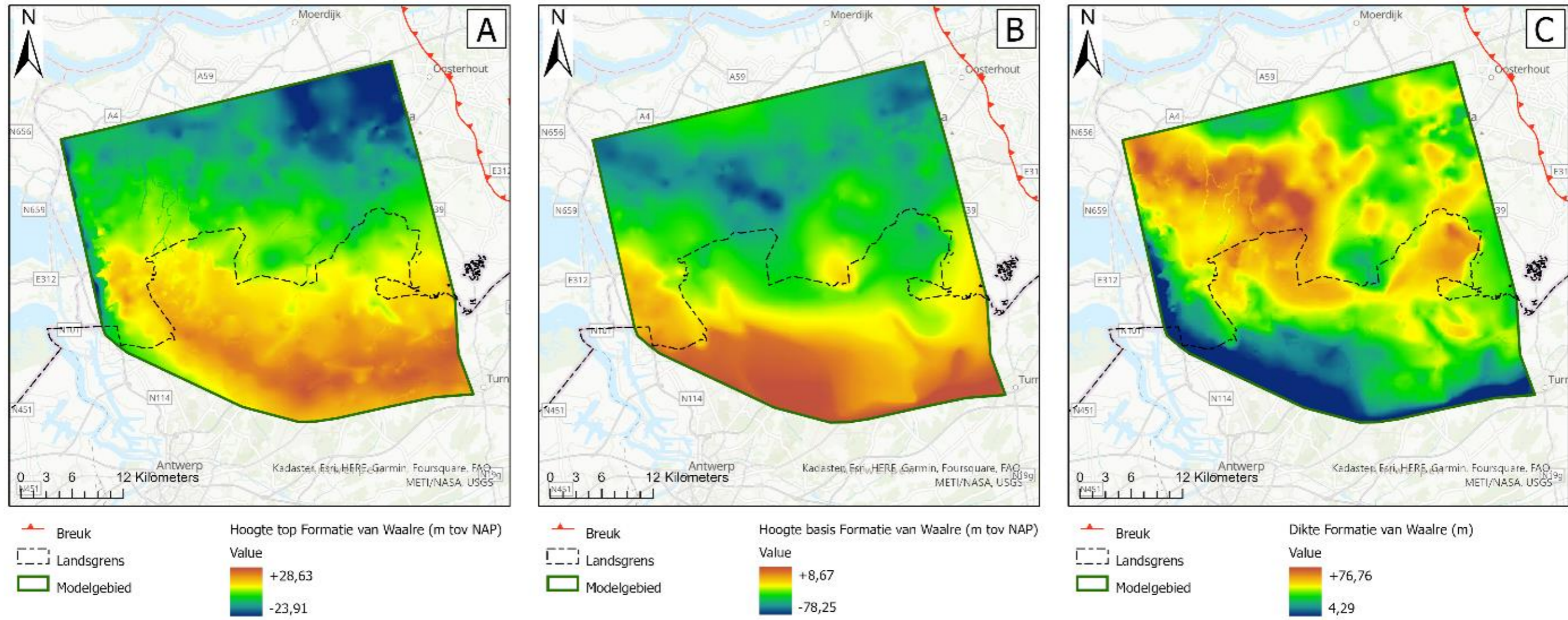
- overzicht van de gebruikte boringen;
- overzicht van de gebruikte 2D seismische data;
- de begrenzing van het modelgebied;
- de begrenzing van het inventarisatiegebied;
- de maaiveldhoogte.

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 in dieptedomein.
- De steunpunten die gebruikt zijn om de betreffende eenheid te modelleren in tijdsdomein (in two-way travel time).
- De steunlijnen die gebruikt zijn om de betreffende eenheid te modelleren in het dieptedomein.
- De steunlijnen die gebruikt zijn om de betreffende eenheid te modelleren in het tijdsdomein (in two-way travel time).
- De hoogte van de top van de eenheid.
- De dikte van de eenheid.
- De hoogte van de basis van de eenheid.

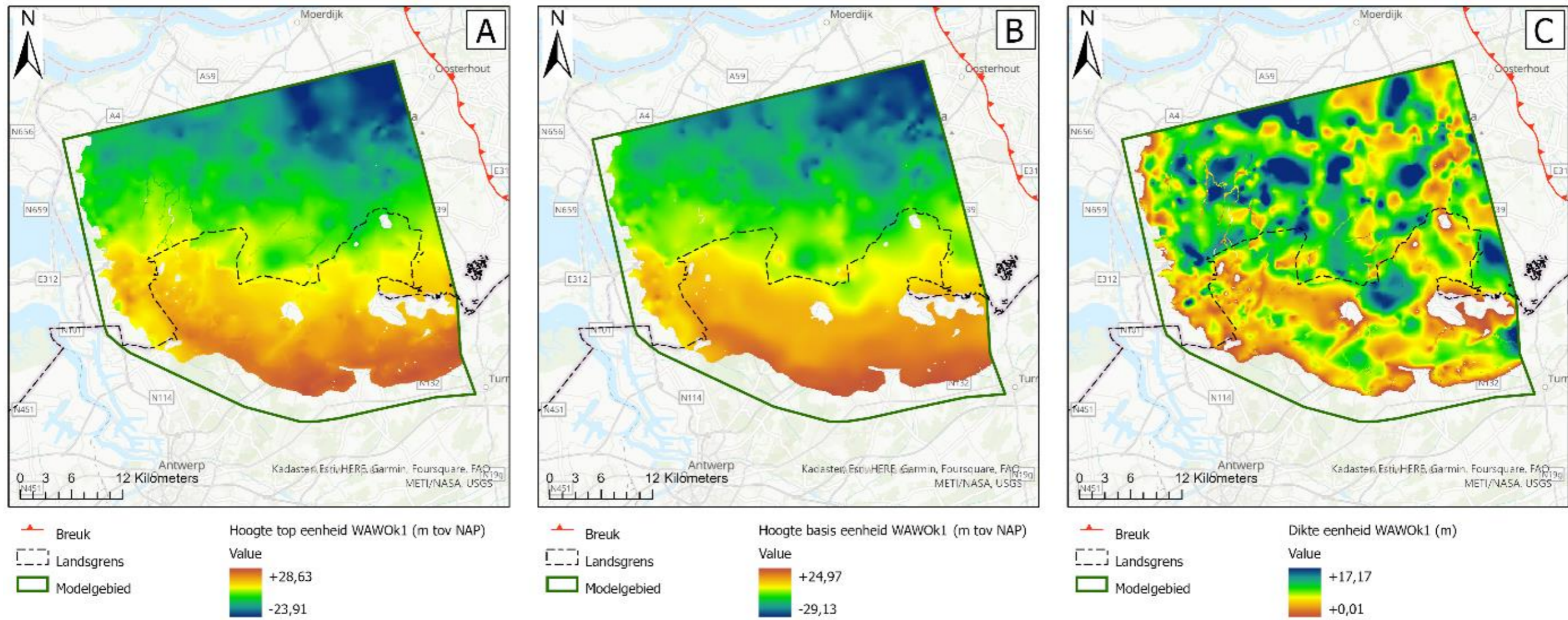
Voorbeelden van de belangrijkste kaartbestanden zijn weergegeven in Figuur 30 en Figuur 31. De modellen worden in het Nederlandse referentiestelsel en -hoogte opgeleverd, namelijk RD en NAP, alsook in het Belgische referentiestelsel en -hoogte, namelijk LB en TAW. Ten opzichte van de vorige H3O-projecten is een belangrijk verschil dat de resulterende modellen in RD/NAP niet dezelfde zijn als deze in LB/TAW. De Nederlandse modellen zijn gebaseerd op de Nederlandse litho- en hydrostratigrafie en de Vlaamse modellen op de Belgische lithostratigrafie en Vlaamse hydrostratigrafie. Omdat de stratigrafie verschillend is tussen beide landen, zijn de resulterende modellen in RD/NAP voor Nederland en LB/TAW voor Vlaanderen dus ook verschillend. Tabel 15 geeft een overzicht van de verschillende modellen en hun specificaties.

In het grensoverschrijdende model van H3O-De Voorkepen zijn 28 geologische en 38 hydrogeologisch eenheden gemodelleerd. In het model en in de kaartbestanden van de modeleenheden komen daardoor ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens geen aansluitproblemen meer voor.



Figuur 30. Geometrie van de modelleenheid Formatie van Waalre (NL) uit het geologisch lagenmodel, a: hoogte top, b: hoogte basis, c: dikte. Deze eenheid is via de ondiepe methode gemodelleerd.





Figuur 31. Geometrie van hydrogeologische eenheid WAWOK1 (eerste kleiige eenheid van het Laagpakket van Woensdrecht 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.

Tabel 15 De verschillende modellen opgeleverd voor de huidige studie met hun specificaties.

Modellen	Referentiestelsel	Referentiehoogte	(Hydro)stratigrafie
Belgische geologie	Lambert-1972	TAW	Formele Belgische lithostratigrafie
Belgische hydrogeologie	Lambert-1972	TAW	HCOVv2
Nederlandse geologie	RDnew	NAP	Formele en informele lithostratigrafie
Nederlandse hydrogeologie	RDnew	NAP	REGIS II

## 8.2 Nieuwe Nederlandse modeleenheden ten opzichte van de referentiemodellen

In het ondiepe Nederlandse deel van het modelgebied zijn binnen het quartaire en neogene bereik zeven lithostratigrafische eenheden binnen de formaties van Waalre, Oosterhout en de Formatie van Breda voor het eerst gemodelleerd. Op basis van deze nieuwe lithostratigrafische eenheden zijn elf nieuwe hydrogeologische eenheden onderscheiden en gemodelleerd. De Nederlandse referentiemodellen van het modelgebied bevatten tot op heden nog geen informatie op het niveau van formaties en laagpakketten binnen het paleogene bereik. Deze informatie is dan ook nieuw.

De Formatie van Waalre (WA) is onderverdeeld in het Laagpakket van Woensdrecht (WAWO) en het Laagpakket van Hoogerheide (WAHO), zie Tabel 16. Beide laagpakketten zijn niet eerder gekarteerd. In het modelgebied zijn de laagpakketten vaak duidelijk te onderscheiden in lithologische beschrijvingen en boorgatmetingen door fining upward opeenvolgingen; de basis bestaat uit grof materiaal wat naar boven toe fijner wordt, vaak eindigend in een kleipakket. Het Laagpakket van Woensdrecht omvat de bovenste fining upward sequentie afgezet onder estuariene omstandigheden (meer gelaagde afzettingen) en het daaronder liggende Laagpakket van Hoogerheide omvat de onderliggende fining upward sequentie met getijdeninvloed. Richting het oosten gaan beide eenheden geleidelijk over in fluviatiel gedomineerde afzettingen. In beide laagpakketten wordt zowel een kleilaag aan de top (WAWOk1 en WAHOk1) als een zandlaag gemodelleerd (WAWOz2 en WAHOz2). De kleilagen aan de top van de fining upward sequenties komen overeen met de eerste (WAK1) respectievelijk tweede kleiige eenheid (WAK2) binnen de Formatie van Waalre van REGIS II v2.2. Onder de basis van het Laagpakket van Hoogerheide (WAHO) ligt nog een pakket schoon zand met weinig klei. Dit pakket behoort tot de Formatie van Waalre en wordt als WA-ongedifferentieerd aangeduid. Dit zijn de eerste afzettingen van de voorlopers van de Rijn en Maas in dit gebied en zijn zuiver fluviatiel van aard. Deze fluviatiele afzettingen zijn schone zanden met weinig bijmenging van silt en lutum. De Formatie van Waalre is conform DGM v2.2 samengenomen met de Formatie van Peize tot de modeleenheid PZWA (Formatie van Waalre en Formatie van Peize).

Tabel 16 Voor het eerst gemodelleerde lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden binnen de Formatie van Waalre (NL). De lege regel in de tabel komt overeen met het Lid van Beerse (BE), dat niet in het Nederlandse deelgebied voorkomt.

Nederlandse stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	Modeleenheid geologisch model DGM v2.2	Modeleenheid hydrogeologisch model REGIS II v2.2	Modeleenheid (incl. voorstel aanpassingen & uitbreidingen) hydrogeologisch model REGIS II
Waalre - Woensdrecht	PZWA	Wak1	WAWOk1 <sup>2</sup>
/		PZWAz2	WAWOz2 <sup>2</sup>
Waalre - Hoogerheide		Wak2	WAHOk1 <sup>2</sup>
		PZWAz3	WAHOz2 <sup>2</sup>
Waalre - ongedifferentieerd		PZWAz4	WAZ3 <sup>2</sup>

/ = niet aanwezig binnen inventarisatiegebied; impliceert niet noodzakelijk een onderbreking in de sedimentatie

<sup>2</sup> voorstel voor aanpassing/uitbreiding Nederlandse hydrogeologische indeling en codering

De Formatie van Oosterhout (OO) is onderverdeeld in de laagpakketten van Wouw (OOWO), Sprundel (OOSP) en Tilburg (OOTI), zie Tabel 17. Het Laagpakket van Wouw is de kleiige top van de Formatie van Oosterhout. In het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 behoort deze laag tot de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Oosterhout (OOK1). Het Laagpakket van Sprundel betreft diepe insnijdingen die opgevuld zijn met dikke schelpenpakketten. Deze eenheid heeft een grote doorlatendheid door de schelpen waaruit het opgebouwd is. In de Formatie van Oosterhout zijn ook de nieuwe stratigrafische inzichten voortkomend uit onderzoek naar het Mioceen, zie Munsterman et al. (2019), verwerkt. Het daarbij nieuw onderscheiden laagpakket van Tilburg bestaat uit deels verkitte zanden en kleien met veel glauconiet en schelpen. Het ook nieuw onderscheiden laagpakket van Goirle bestaat uit witte zanden met glimmers. Het laagpakket van Goirle zoals beschreven in Munsterman et al. (2019) komt alleen in het noordoosten van het modelgebied voor maar is niet als apart laagpakket gemodelleerd. In het modelgebied zijn onder het laagpakket van Tilburg grijze zanden zichtbaar. De grijze zanden zijn in het model te herkennen als de vierde zandige eenheid binnen de Formatie van Oosterhout (OOz4). In het verleden behoorden beide eenheden tot de Formatie van Breda.

Tabel 17 Voor het eerst gemodelleerde lithostratigrafische en hydrogeologische eenheden binnen de Formatie van Oosterhout en de Formatie van Breda (NL). De lege regels in de tabel komen overeen met de Formatie van Kasterlee (BE) en het Lid van Edegem (BE) die niet in het Nederlandse deelgebied voorkomen.

Nederlandse stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	Modeleenheid geologisch model DGM v2.2	Modeleenheid hydrogeologisch model REGIS II v2.2	Modeleenheid (incl. voorstel aanpassingen & uitbreidingen) hydrogeologisch model REGIS II
Oosterhout - Wouw	OO	OOK1	OOWOk1 <sup>2</sup>
Oosterhout - ongedifferentieerd		OOz2	OOz2
Oosterhout - Sprundel ("crags")			OOSP1 <sup>2</sup>
Oosterhout - ongedifferentieerd		OOc	OOc
/	/	/	/
Oosterhout - ongedifferentieerd (Tilburg <sup>1</sup> )	BR	BRz1	OOTz1 <sup>2</sup>
Oosterhout - ongedifferentieerd (Goirle <sup>1</sup> )			OOz4 (OOGOz1 <sup>2</sup> )
/		/	/
Breda - ongedifferentieerd (Diessen <sup>1</sup> )		BRz2	Dlz1 <sup>2</sup>
Breda - Rucphen (Grote Heide <sup>1</sup> )	GRz1 <sup>2</sup>		

/ = niet aanwezig binnen inventarisatiegebied; impliceert niet noodzakelijk een onderbreking in de sedimentatie

<sup>1</sup> informele stratigrafische eenheid, voorstel bij de Nederlandse stratigrafische commissie

<sup>2</sup> voorstel voor aanpassing/uitbreiding Nederlandse hydrogeologische indeling en codering

De miocene Formatie van Breda is in dit project niet meer gemodelleerd omdat deze volgens Munsterman et al. (2019) thans wordt onderverdeeld in de boven miocene formatie van Diessen en onder tot midden miocene formatie van Grote Heide, zie Tabel 17. De formatie van Diessen vormt de basis van de ondiepe modellering.

De eenheid bestaat uit groengrijs, glauconiethoudend zand met meer silt en leem. De formatie van Grote Heide wordt gemodelleerd in de workflow van de diepe modellering. De top van de formatie van Grote Heide vormt daarmee de basis van het ondiepe deelmodel. Op het grensvlak tussen de formaties van Oosterhout en Diessen en de formatie van Grote Heide worden de lithostratigrafische interpretaties gekoppeld aan de seismische interpretaties.

### 8.3 Nieuwe Belgische modeleenheden ten opzichte van de referentiemodellen

In het ondiepe deel van het Belgische deel van het modelgebied zijn vijf nieuwe lithostratigrafische eenheden gemodelleerd, drie voor het quartaire bereik en twee voor het Neogeen. Daarnaast zijn er ook zeven nieuwe hydrogeologische eenheden gemodelleerd, vijf voor het quartaire bereik en twee voor het Neogeen. Hierdoor zijn er nu ook meer Belgische hydrogeologische dan geologische modeleenheden voor het gebied.

### 8.3.1 *Quartaire bereik*

Voor het quartaire bereik betreft het de formatie van Ravels en de leden van de Formatie van Weelde.

De informele formatie van Ravels met haar zandige afzettingen werd tot nu toe alleen gekarteerd in het kader van de Quartairkartering van Vlaanderen (Bogemans, 2005a, b). Binnen de Belgische G3Dv3- en H3Dv2-modellen is deze niet onderscheiden van andere quartaire eenheden, zoals de dekzanden of de holocene rivierafzettingen. Nu wordt deze formatie van Ravels wel apart gemodelleerd van de bovenliggende dekzanden van de Formatie van Gent. De formatie van Ravels komt overeen met de Nederlandse Formatie van Stramproy die vrij algemeen voorkomt in het noordoostelijk deel van het modelgebied. Op Belgisch grondgebied komt de formatie eerder fragmentarisch voor.

De basis van de formatie is meestal duidelijk (in zowel boorbeschrijvingen als boorgatmetingen), aangezien onder de zandige afzettingen van de Formatie van Stramproy/Ravels meestal de meer kleiige afzettingen van de Formatie van Weelde voorkomen. Over het gehele modelgebied wordt de formatie disconform overdekt door eolisch dekzand (Formatie van Gent/Lid van Opgrimbie) en lokaal door jongere fluviatiele afzettingen (Formatie van Arenberg (ongedifferentieerd) en het informele complex van Meer), waarbij de grens niet altijd duidelijk is in boorbeschrijvingen. Slechts in het uiterste noordoosten van het modelgebied is een erosieve, duidelijke overgang naar de grofzandige en grindhoudende afzettingen van de Formatie van Sterksel die daarentegen wel goed te onderscheiden zijn op boorbeschrijvingen én in boorgatmetingen.

De Formatie van Weelde is binnen de G3Dv3- en H3Dv2-modellen reeds gemodelleerd op formatieniveau. Nu zijn er leden van gemodelleerd, namelijk de combinatie van de leden van Turnhout en Beerse, en het Lid van Rijkvorsel. Het onderscheid tussen leden van Turnhout en Beerse is vaak niet duidelijk in boorbeschrijvingen en boorgatmetingen. Het Lid van Beerse komt ook beperkt voor in het zuidoosten van het modelgebied en kent een beperkte dikte van maximaal 3 m. Daarom is geopteerd om deze leden van Turnhout en Beerse samen als één modeleenheid op te maken. Naast de lithostratigrafische leden zijn ook hydrostratigrafische kleiige toplagen en zandige basislagen onderscheiden binnen de leden van Turnhout en Beerse enerzijds en het Lid van Rijkvorsel anderzijds. De harde modelopdeling tussen de kleilagen en zandlagen is echter indicatief te noemen, aangezien het facies ter hoogte van de kleiige toplaag niet altijd even kleiig is of soms afwezig kan zijn. Soms zijn meerdere kleilagen binnen de leden van Turnhout en van Rijkvorsel geïnterpreteerd in de boringen. De onderste kleilagen zijn dan gezien het sporadisch voorkomen steeds samengenomen met de zandige basislaag. Ook kan zeer lokaal een zandig interval voorkomen bovenop de kleiige toplaag van het Lid van Turnhout. Gezien het beperkt en sporadisch voorkomen is dit Turnhoutse zand bovenop de klei meegenomen in de modellering van de kleiige toplaag van het Lid van Turnhout. Gezien het heterogene karakter van de Formatie van Weelde kan deze eenheid niet beschouwd worden als een volledig afsluitend hydrologisch pakket, waardoor het grondwater mogelijks lokaal kan doordringen naar onderliggende hydrogeologische eenheden.

Aangezien deze modeleenheden ook nieuw zijn voor het H3Dv2-model en de HCOV-codering, worden in onderstaande Tabel 18 nieuwe HCOV-codes voorgesteld voor de informele formatie van Ravels en voor de leden van Turnhout

en Beerse en het Lid van Rijkvorsel inclusief de hydrostratigrafisch onderscheiden kleien en zanden.

Tabel 18 Voorstel van Belgische hydrogeologische HCOV-codes voor de nieuw gemodelleerde fm van Ravels en de leden met hun kleien en zanden van de Formatie van Weelde.

Subeenheid	Basiseenheden	Naam
A0190_VK	-	Zand van Ravels
A0210	A0211_VK	Zandige klei van Turnhout
	A0212_VK	Kleiige zanden van Turnhout en Beerse
	A0213_VK	Zandige klei van Rijkvorsel
A0220_VK	A0221_VK	Kleiige zanden van Rijkvorsel

### 8.3.2 Neogene bereik

Voor het neogene bereik betreft het de formaties van Kasterlee en Kattendijk. Omdat ze in geometrisch gelijkaardige positie zitten en ook qua lithologie niet dermate verschillend zijn, werden in het G3Dv3-model en afgeleide H3Dv2-model de formaties van Kasterlee en Kattendijk niet eerder onderscheiden. Nu is dat wel gebeurd. Hierdoor kan nu de Formatie van Kattendijk, die dominant zandig is en meestal maar een beperkt kleigehalte heeft, uit de subeenheid A0240 gehaald worden, die dan enkel nog de kleiige Formatie van Kasterlee omvat. Ons voorstel is om de Formatie van Kattendijk als “A0227 - Zand van Kattendijk” toe te voegen bij de A0220 – Pleistoceen en Pliocene Aquifersysteem - west, zie Tabel 19.

Tabel 19 Voorstel van aangepaste Belgische hydrogeologische HCOV-codes en naamgevingen voor de formaties van Kattendijk en Kasterlee in rode kleur.

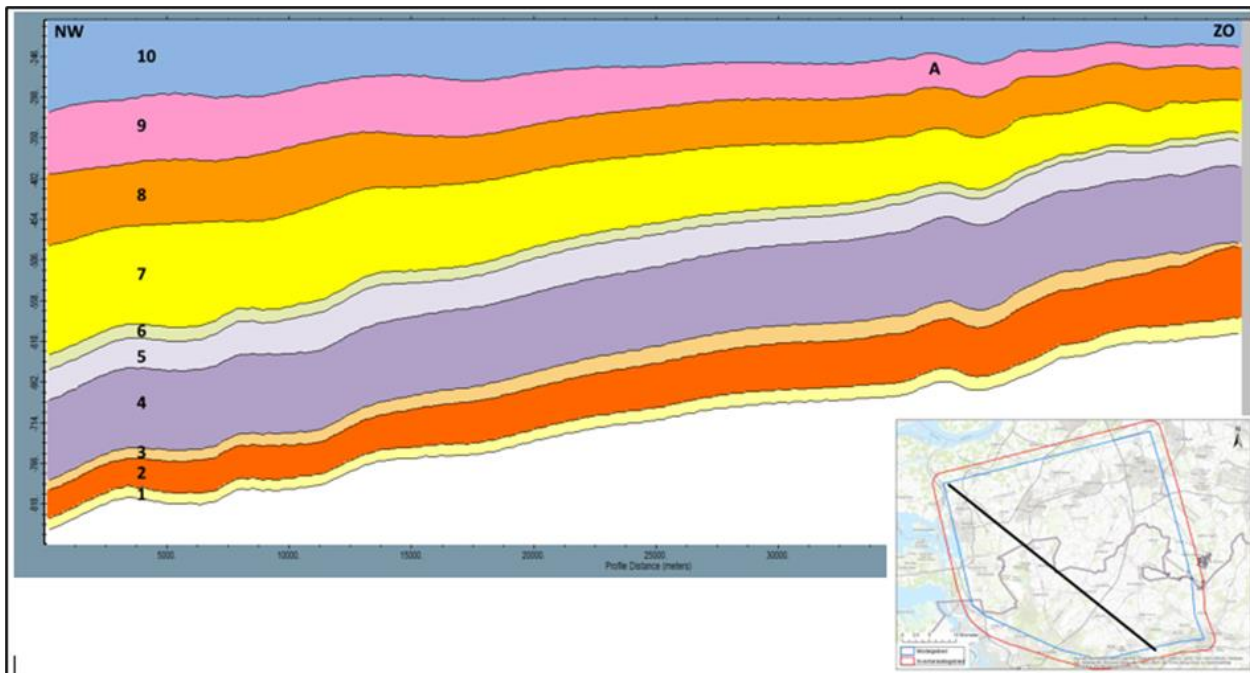
Subeenheid		Basiseenheid			
A0220_VK	Pleistoceen en Pliocene Aquifersysteem - west	A0223	Zanden van Zandvliet en Merksem	A0226	Ongedifferentieerde zanden van Lillo en Poederlee
		A0224	Kleilig zand van Kruisschans		
		A0225	Zanden van Oorderen en Luchtbal		
		A0227_VK	Zand van Kattendijk		
A0240_VK	Kleiige zanden van Kasterlee	/			

## 8.4 Overige belangrijke verschillen met voorgaande modellen

- Het gebruik van seismische data in het Vlaamse deel:** Om het verloop van diepe laagvlakken te sturen zijn er, in tegenstelling tot het G3Dv3-model, seismische data gebruikt. Hierdoor zijn de laagvlakken minder conceptueel dan in het G3Dv3-model. Daarmee is de invloed van het paleo-hoog en van diepe karstputten in het Dinantiaan op de diepteligging van de eenheden van het Paleogeen duidelijker geworden:
  - Dinantiaan paleo-hoog: In de ondergrond van het noordelijke centrale Belgische deel van het modelgebied ligt de Paleozoïsche “koepel van

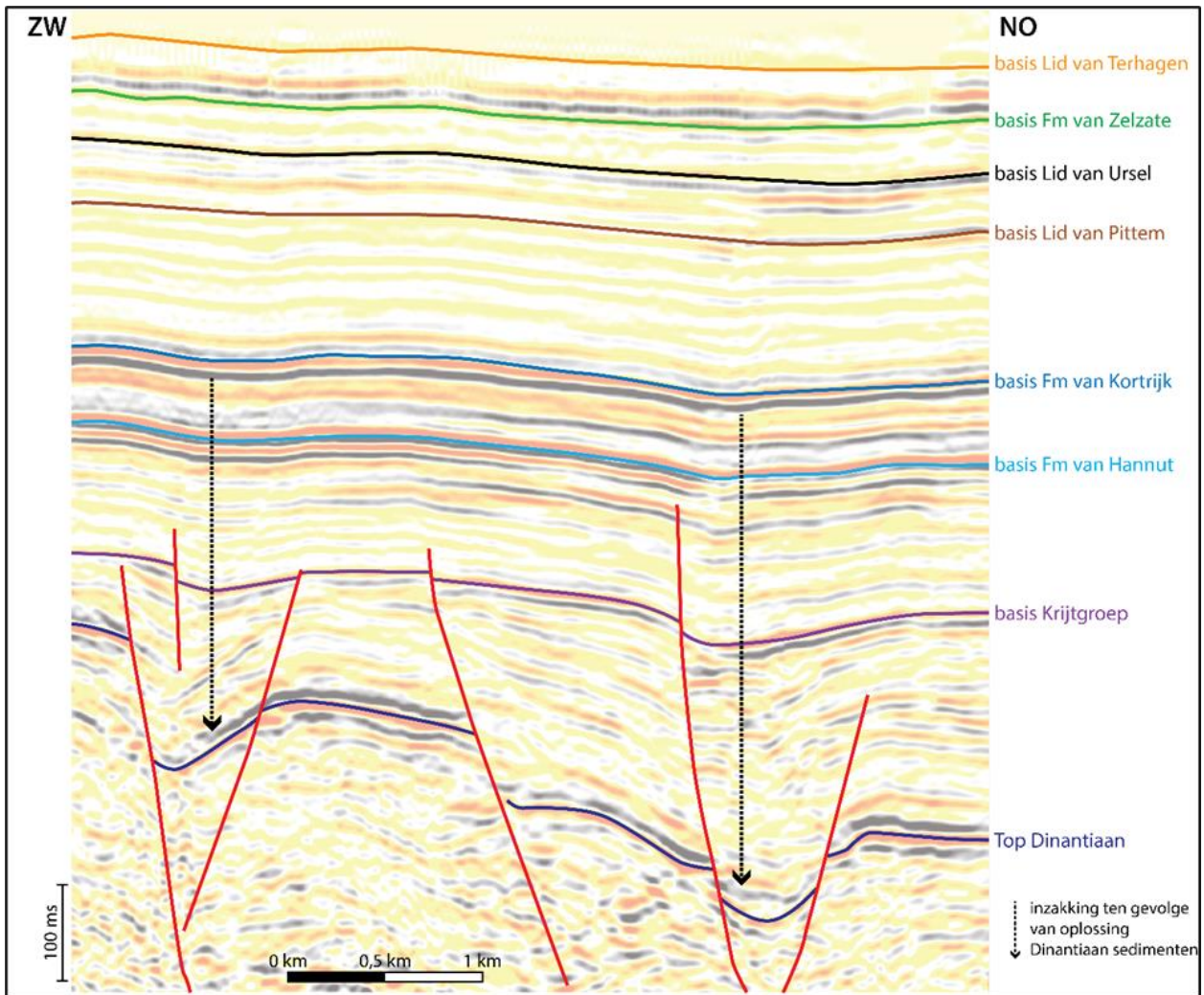
Loenhout". Deze koepel vormt een belangrijk gasreservoir en er zijn dan ook heel veel boringen aanwezig op deze structuur. Dankzij de seismische data en interpretaties is het duidelijk dat deze structuur ook nog als een relatief hoog actief was tijdens het Cenozoïcum ("A" op Figuur 32). Dit zou betekenen dat dit structureel hoger gelegen blok in het Paleozoïcum ook tijdens de recente Cenozoïsche tektonische fase als stabiel blok heeft gefungeerd, waarbij de noordwestelijke en zuidwestelijke flanken relatief gezien meer zijn ingezakt. Zo zien we op seismische data neerwaartse flexuratie van de paleogene lagen van de koepel naar de omliggende gebieden. Deze neerwaartse flexuratie werd in de G3Dv3- en H3Dv2-modellen niet opgepikt omdat er geen boringen rond de koepel aanwezig zijn, maar enkel ter hoogte van de koepel zelf. Daarom ligt het huidige model voor de paleogene eenheden algemeen gemiddeld een 15-tal meter dieper dan de G3Dv3- en H3Dv2-modellen in het gebied rond de koepel.

- In de Dinantiaan kalkstenen van het Paleozoïcum zitten lokaal in de regio instortingsstructuren, vermoedelijk vanwege de oplossing van kalksteen en/of evaporieten (Dreesen et al., 1987). Deze werken ook door in de jongere Paleozoïsche, mesozoïsche en lokaal zelfs cenozoïsche bedekking ten zuiden van het modelgebied (Dreesen et al., 1987; De Batist & Versteeg, 1999). Volgens seismische data hebben deze instortingsstructuren ook in het studiegebied nog effect op het verloop van de paleogene eenheden. Dit is voornamelijk het geval in de gemeentes Brecht en Malle. Het effect van de instortingsstructuren neemt veelal sterk toe tussen de basis van de Formatie van Gentbrugge (BE) en de basis van de Formatie van Kortrijk (BE) (Figuur 33). Dit kan de lokaal sterkere afwijkingen verklaren vanaf dit niveau, waarbij het nieuwe model lokaal tot zelfs meer dan 30 meter dieper komt te liggen dan voorgaande (G3Dv2- en G3Dv3-)modellen die niet gebaseerd waren op seismische data.
- **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. Ten opzichte van de boorsets van het G3Dv3-model is het aantal geselecteerde boringen voor de quartaire eenheden aanzienlijk hoger.
- **Het gebruik van diktekaarten in het Vlaamse deel:** De seismisch gekarteerde laagvlakken dienden als referentievlak voor de ophanging/invulling van de daartussen gelegen diepe modeleenheden, via diktes. In het G3Dv3-model werden de formaties niet via diktes gemodelleerd tussen dergelijke seismische referentievlakken aangezien er geen seismische data werden gebruikt.
- **Het verbeteren van bekende aandachtspunten van het bestaande modellen DGM v2.2 en REGIS II v2.2:** Van de modellen DGM v2.2 en REGIS II v2.2 zijn lijsten van bekende aandachtspunten beschikbaar. Bij het maken van het geologische en hydrogeologische model zijn de aandachtspunten die betrekking hebben op het modelgebied opgelost (punten RGS-809 en RGS-810).
- **Het verbeteren van bekende aandachtspunten van de bestaande modellen G3Dv3- en H3Dv2:** Van beide modellen is een lijst van bekende aandachtspunten beschikbaar. Daarvan liggen aandachtspunten 2.4 en 2.6 binnen het modelgebied (zie ook verder). Deze aandachtspunten zijn nu opgelost.



Figuur 32. Noordwest-zuidoost doorsnede door het diepe model. Verticale schaal is in meter TAW en horizontale schaal in meters langsheen het profiel. Modeleenheden zijn aangegeven met cijfers die hieronder vertaald worden naar de geologische namen. Dit profiel gaat ook over de "koepel van Loenhout", aangeduid met de letter A op de figuur, waar de lagen relatief ondieper liggen. 1= Formatie van Heers (BE) / laagpakketten van Gelinden en Orp - Formatie van Landen (NL); 2= Formatie van Hannut (BE) / laagpakketten Reusel en Liessel - Formatie van Landen (NL); 3= Formatie van Tienen (BE) / Laagpakket van Oosteind (NL); 4= Formatie van Kortrijk (BE); 5= formaties van Tielt en Hyon (BE); 6= Formatie van Gentbrugge (leden van Merelbeke en Pittem) (BE); 7= formaties van Gentbrugge (Lid van Vlierzele), Aalter, Brussel, Lede en het Lid van Wemmel van de Formatie van Maldegem / Laagpakket van Brussel (NL); 8= Formatie van Maldegem (exclusief het Lid van Wemmel) (BE) / Laagpakket van Asse (NL); 9= Formatie van Zelzate (BE) / Formatie van Tongeren (NL); 10= formaties van Boom en Eigenbilzen (BE) / Rupel Formatie (NL).





Figuur 33. Seismische lijn 13 van de campagne van Oostmalle waarop het effect van karstputten op het cenozoïsche bereik te zien is, met een verdikking van het pakket tussen basis Lid van Pittem en de basis Formatie van Kortrijk. De horizons die aangeduid zijn, komen overeen met de kapstokvlakken.

## 8.5 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 en de interpretaties hierop gebaseerd;
- de gebruikte methodiek van modelleren.

### 8.5.1 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 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 seismische data 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 seismische data kan de onzekerheid laag zijn in een weinig complex gebied en hoog in een complex gebied. Voor het diepe bereik bevinden de complexe gebieden zich hoofdzakelijk in het zuiden van het Nederlandse deel van het modelgebied door de ontwikkeling van het mio-pliocene delta-complex daar. Voor het ondiepe bereik is de onzekerheid eerder afhankelijk van de complexiteit van de modeleenheid.

#### 8.5.2 *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 seismische data 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 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 Belgische deel van het inventarisatiegebied is deze selectie minder streng doorgevoerd en blijkt de kwaliteit van de selectieset van boringen gemiddeld lager te zijn voor het ondiepe bereik, waardoor het aantal genegeerde diepte-intervallen in dit deelgebied hoger is.

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

Vanwege de lage kwaliteit van oudere seismische data, is in het modelgebied het overgrote deel van de gebruikte seismische data afkomstig uit de jaren 80. Het

merendeel van de seismische data 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 seismische data geschoten werden, neemt de kwaliteit van de data ook af met de diepte, waardoor het detail waarmee eenheden geïnterpreteerd en vervolgd kunnen worden ook kleiner wordt en de onzekerheid groter. Tabel 5 geeft een overzicht van de kwaliteit van de seismische data in het inventarisatiegebied en vanaf waar ze interpreteerbaar is. In het inventarisatiegebied is enkel 2D seismische data beschikbaar die in het algemeen minder betrouwbaar is voor lageninterpretaties en –modellering dan 3D seismische data.

### 8.5.3 *Gebruikte methodiek van modelleren*

Naast de hoeveelheid, 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 drie 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 die daarbij is meegenomen. Er werden twee verschillende methodieken gebruikt voor de ondiepe modellering, die van TNO-GDN en van VITO:

- Bij TNO-GDN wordt de interpolatie van de datapunten (boringen en steunpunten) uitgevoerd met ordinary block kriging binnen de softwarepakket Isatis. Dit is een geostatistische techniek waarbij de mate van correlatie tussen de datapunten wordt gebruikt bij het interpoleren. De mate van correlatie (semivariogram) 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 verspreidingsgebied van een (model)eenheid deelgebieden zijn waartussen, geologisch 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 richtingen 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. De fout die door deze aannames in deze modellering gemaakt wordt is echter klein en daardoor ook aanvaardbaar.
- Bij VITO worden er isohypsen of steunlijnen ingetekend op regelmatige diepte-intervallen tussen de datapunten (boringen) waartussen geïnterpoleerd wordt binnen de software ArcGIS. Deze interpolatie loopt door de aanmaak van TIN vlakken op basis van deze isohypsen, die daarna geconverteerd worden naar rasters. Door het gebruik van steunlijnen is er een sterke sturing van de interpolatie tussen de datapunten die gebaseerd is op geologische concepten om de onzekerheid op de kwaliteit van de boorgegevens te verkleinen. Deze bij het interpolatieproces ingebrachte geologische kennis bevat echter ook een bepaalde mate van onzekerheid als resultante van de subjectiviteit.

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, in tegenstelling tot het project “H3O – Roerdalslenk”, van afgezien om 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. Indien men beschikt over 3D-seismische data is de onzekerheid op tijdgrids beperkt. Binnen het modelgebied is echter enkel 2D-seismische data 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. Omdat er geen (significante) breuken aanwezig zijn, is het betreffende gebied weinig tektonisch complex en is 2D seismische data op zich voldoende als dekking.

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, waardoor er grote onzekerheden zijn. 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.

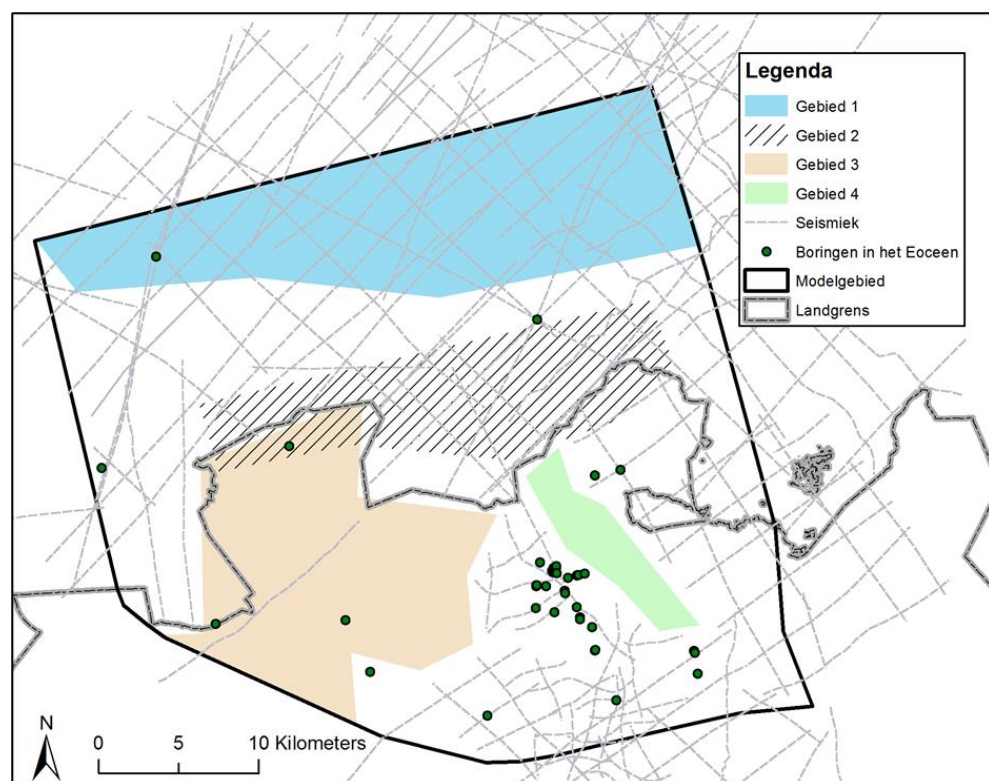
Een derde onzekerheid hangt samen met de modellering van de overige eenheden (buiten de seismische referentievlakken). De modellering van deze overige eenheden is namelijk uitgevoerd op basis van slechts een beperkt aantal boorgegevens en sturing vanuit geologische concepten. Vanwege het beperkt aantal 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.

#### 8.5.4 *Gebieden met een hogere onzekerheid*

Op grond van bovenstaande analyses is een overzicht samengesteld van de gebieden waarvan de modelresultaten relatief onzeker zijn (Figuur 34). Deze gebieden zijn hieronder beknopt beschreven:

- Gebied 1 – De regio langs de lijn Steenberg- Oudenbosch-Breda waar weinig matig diepe boringen de top van de formatie van Groote Heide (NL) hebben bereikt en seismische data veelal van lage kwaliteit zijn in het neogene bereik.

- Gebied 2 – De grensstreek tussen Essen en Zundert waar sprake is van een complexe geologische opbouw, met de uitbouw van een groot Mio-Pliocéen deltasysteem, die lithostratigrafisch moeilijk te correleren is.
- Gebied 3 – Het westelijke deel van het Belgische modelgebied waar amper seismische data aanwezig zijn, is heel onzeker voor de paleogene eenheden. Er ligt wel een seismische lijn van de Limestone Subcrop campagne, maar omdat deze geen andere seismische lijnen snijdt, blijft de interpretatie en tijdschift van deze lijn onzeker. Boring Essen (DOV-proefnummer: [B/1-1092](#)) geeft in het noorden van deze polygoon wel extra ondersteuning voor de modellering tot de basis van de Formatie van Gentbrugge, maar niet voor de diepere modeleenheden die daarmee onzeker zijn.
- Gebied 4 - Het gebied tussen de seismische campagnes van Oostmalle en Hoogstraten is niet bedekt met seismische data, en dus onzeker voor de paleogene eenheden.



Figuur 34. Overzicht van de gebieden waarvan de modelresultaten relatief onzeker zijn.

## 8.6 Beschrijving resultaten modellen

Deze paragraaf geeft een uitgebreide beschrijving van de modelresultaten op het niveau van modeleenheid, die toegespitst is op de eenheden van het geologische model. Vaak komen deze eenheden overeen met een geologische formatie. Formaties<sup>5</sup> zijn aangeduid met de Belgische of Nederlandse lithostratigrafische eenheid gevolgd door de code “(BE)” of “(NL)”. Indien een formatie een exacte equivalent heeft dan is eerst de Belgische stratigrafische eenheid genoemd, gevolgd door de Nederlandse. Belgische en Nederlandse stratigrafische eenheden

<sup>5</sup> In de tekst wordt formatie afgekort als fm.

die geen exact equivalent hebben in de Nederlandse respectievelijke Belgische stratigrafie, zijn apart beschreven. Naast de lithostratigrafische naam is daaronder ook telkens de hydrogeologische code volgens de HCOVv2- of REGIS II v2.2 indeling weergegeven.

### **1 Antropogeen – opgebrachte grond**

HCOVv2: A0110

REGIS II v2.2: nog niet eerder binnen REGIS II als aparte modeleenheid onderscheiden, voorstel code: AAC

Het Antropogeen is de bovenste modeleenheid en komt verspreid over het gehele modelgebied voor. De top van de modeleenheid komt overeen met het maaiveld. De basis van deze eenheid ligt vaak erosief op onderliggende eenheden, aangezien de eenheid naast ophoging vaak verstoring van de oorspronkelijke geologie omvat zoals ontgraving en omwerking. Ondiepe eenheden, zoals de Formatie van Gent en het complex van Meer (BE) / Formatie van Boxtel (NL) kunnen door antropogene activiteiten volledig zijn verdwenen.

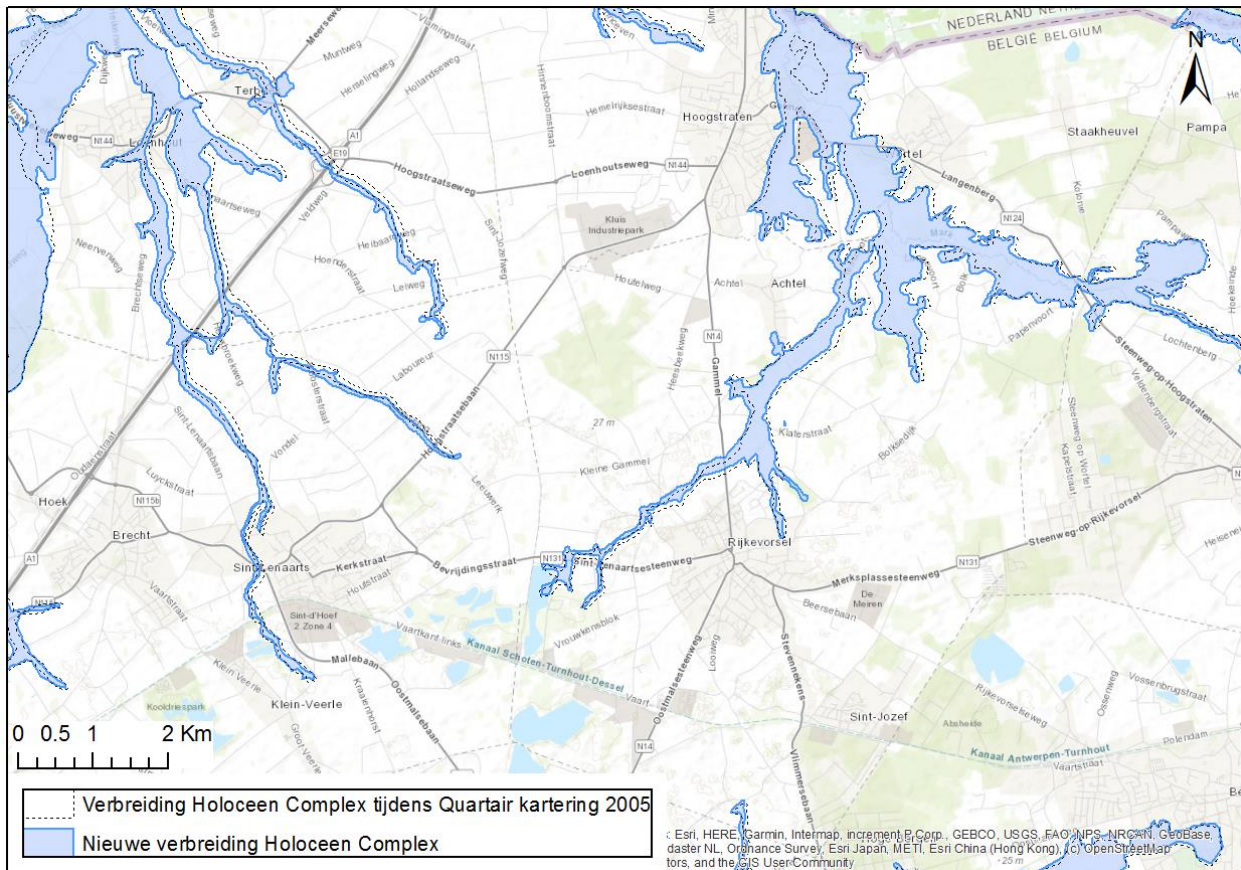
De dikte van de modeleenheid is zeer wisselend en varieert tussen 0.01 m tot 21 m. In tegenstelling tot alle andere modeleenheden, die hieronder verder besproken worden, is het Antropogeen niet opnieuw gemodelleerd.

### **2 Holocene Complex**

HCOVv2: A0130 + A0140

REGIS II v2.2: HLc

Deze modeleenheid bestaat uit alle holocene en laat-glaciale afzettingen binnen het modelgebied. De eenheid komt verspreid over het modelgebied voor ter hoogte van het holocene beekalluvium en in het westelijke deel van het modelgebied ter hoogte van de holocene estuariene afzettingen. Vanwege de nieuwe potentiële verbreiding van het beekalluvium binnen het Belgische deelgebied, is de verbreiding daarvan gewijzigd ten opzichte van de G3Dv3- en H3Dv2-modellen (modeleenheden Formatie van Vlaanderen en de formaties van Arenberg en van Stokkem), zie Figuur 35. De aanpassingen tonen voornamelijk een verschuiving in X-richting.



Figuur 35. Weergave van de verandering tussen de nieuw gemodelleerde verbreiding van model eenheid Holoceen Complex en de verbreiding volgens de Quartairgeologische kartering van kaartblad 2-8 Meerle-Turnhout (Bogemans, 2005b) en kaartblad 3-9 Arendonk-Maarle (Bogemans, 1998). De aanpassingen zijn gebaseerd op de selectie van bodemtypes uit de Vlaamse Bodemkaart en tonen voornamelijk een verschuiving in X-richting.

De top van het Holoceen Complex komt overeen met het maaiveld, lokaal met de basis van het Antropogeen. De basis van de model eenheid kent een erosief karakter, gezien de fluviatiele en estuariene oorsprong van de afzettingen. De gemiddelde dikte bedraagt ongeveer 3 m en kan oplopen tot meer dan 13 m ter hoogte van de estuariene en kustafzettingen in het westen van het model gebied.

De holocene afzettingen, bestaande uit de formaties van Naaldwijk (NA), Nieuwkoop (NI), Kreekrak (KK) en het Laagpakket van Singraven (BXSI) in Nederland en de formaties van Arenberg en Vlaanderen in België. In het Nederlandse deel is de model eenheid samengesteld op basis van het GeoTOP-model Noord-Brabant en Midden-Limburg (Stafleu et al., 2020). Hierbij is gebruik gemaakt van een selectieset van veelal matig diepe boringen met, in vergelijking tot de ondiepe boringen, relatief grote diktes van de laagbeschrijvingen. Het onderscheid tussen de holocene afzettingen en de onderliggende pleistocene sedimenten is hierdoor niet altijd eenduidig te maken. Ten opzichte van het GeoTOP-model, waarvoor alle kwalitatief goede ondiepe en matig diepe boringen zijn gebruikt, vertoont het model daardoor een regionaal beeld met minder detail.

In het Belgische deel is de model eenheid opnieuw opgebouwd en verder verfijnd ten opzichte van de Belgische G3Dv3- en H3Dv2-modellen.

Verschillen ten opzichte van deze voorgaande modellen zijn voornamelijk zichtbaar ter hoogte van het holocene beekalluvium in verbreiding, diepte en in dikte.

### **3 Formatie van Gent en complex van Meer (BE) / Formatie van Boxtel (NL)**

HCOVv2: A0150

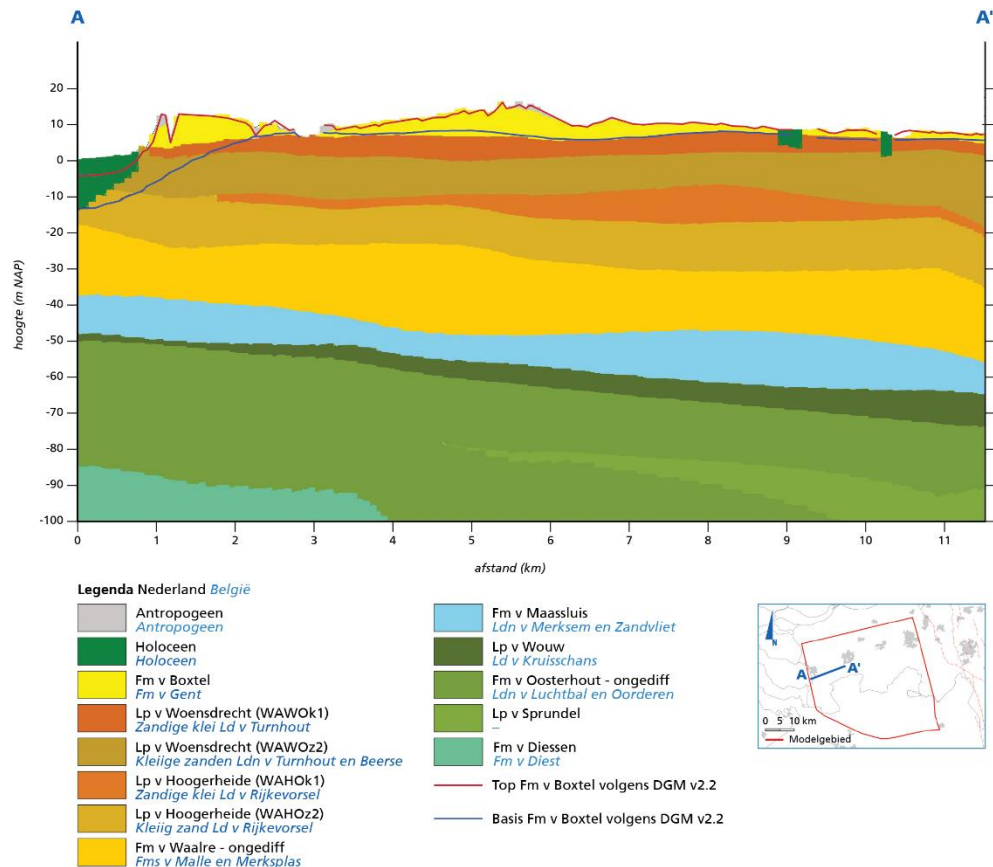
REGIS II v2.2: BXz1

Deze modeleenheid, die voornamelijk als een eolisch deklaag is afgezet, komt over het gehele modelgebied voor. Lokaal kan de modeleenheid ook fluviaatiele afzettingen omvatten, zoals het Belgische “complex van Meer” waardoor het lokaal een erosief karakter heeft. De top van de modeleenheid komt meestal overeen met het maaiveld. In enkele gevallen komt de top van deze eenheid overeen met de basis van het holoceen of de basis van het antropogeen. De gemiddelde dikte van deze eenheid is rond 2.5 m met een maximum tot meer dan 10 m. Een opmerking hierbij is dat de dikte van deze eenheid lokaal overschat kan zijn in het model, vanwege de aanwezigheid van maaiveldophogingen die niet binnen modeleenheid Antropogeen opgenomen zijn.

Ten opzichte van de Belgische G3Dv3- en H3Dv2-modellen is het basisvlak gewijzigd en verder verfijnd, maar niet zozeer significant veranderd in dikte en diepte. Alleen ter hoogte van de fm van Ravels kunnen er sterke wijzigingen zijn nu deze formatie nieuw onderscheiden is in de modellering (zie onderstaande de bespreking over de fm van Ravels (BE) / Formatie van Stramproy (NL)).

Door de herinterpretatie van de boringen en een aangepaste modellering is de Formatie van Boxtel (BX) in het hele Nederlandse deelgebied verbeterd ten opzichte van DGM v2.2 en REGIS II v2.2. Een duidelijk voorbeeld van deze verbetering is bij de Brabantse Wal zichtbaar (Figuur 36). Voorheen waren de afzettingen van de Formatie van Boxtel op de Brabantse Wal verbonden met de westelijk daarvan, dieper gelegen afzettingen. In het huidige model zijn deze verbreidingen van elkaar gescheiden waardoor een duidelijk erosieve grens is ontstaan langs de Brabantse Wal.





Figuur 36. Doorsnede (west-oost) door het ondiepe deel van het model over de Brabantse Wal. Kleuren zijn conform de correlatietabel. De gestippelde lijn geeft de top (blauw) en basis (roze) van de Formatie van Boxtel van het model DGM v2.2 weer. De Formatie van Boxtel in het nieuwe model is in geel weergegeven.

#### 4 Formatie van Eeklo (BE) / Formatie van Koewacht (NL)

HCOVv2: A0170

REGIS II v2.2: KWz1

De Formatie van Eeklo (BE) / Formatie van Koewacht (NL) komt enkel in het uiterste westen van het modelgebied voor, en uitsluitend op Nederlands grondgebied. De modeleenheid omvat midden- en laat-pleistocene fluviaatiele afzettingen van het Scheldebekken. De fluviaatiele afzettingen zijn erosief van karakter en snijden dus onderliggende eenheden in. In het modelgebied is de dikte gemiddeld 4 m, maar kan lokaal sterk oplopen tot een dikte van meer dan 10 m.

#### 5 Formatie van Sterksel (BE, NL)

HCOVv2: A0180

REGIS II v2.2: STz1

De Formatie van Sterksel komt voor in het uiterste noordoosten van het Nederlandse deelgebied. De basis van de formatie ligt erosief op de Formatie van Stramproy of op de Formatie van Waalre. De formatie is in het modelgebied maximaal 15 m dik. De modeleenheid wordt bedekt door dekzand van de Formatie van Boxtel en lokaal door getijdenafzettingen van de Formatie van Naaldwijk.

Door de herinterpretatie van de boringen is de verbreiding van de Formatie van Sterksel (ST) vergroot en het verloop van de basis van de afzettingen verbeterd. De erosieve basis ligt nu vaak op de bovenste kleilaag van de onderliggende Formatie van Stramproy.

## **6 Formatie van Ravels (BE) / Formatie van Stramproy (NL)**

Voorstel nieuwe HCOVv2-code: A0190

REGIS II v2.2: SYz1, SYk1, SYz2

Deze modeleenheid betreft vroeg-pleistocene fluviatiele afzettingen die vrij algemeen verbreiding in het noordoostelijk deel van het modelgebied, maar eerder fragmentarisch ten zuiden van de Belgisch-Nederlandse grens. Naar het zuiden toe wigt de eenheid uit op de Kempense microcuesta (zie Figuur 37). Binnen het modelgebied ligt de modeleenheid concordant op de Nederlandse Formatie van Waalre en de Belgische formaties van Weelde, Malle en Merksplas. De gemiddelde dikte van de modeleenheid bedraagt ongeveer 6 m en loopt op tot ongeveer 15 à 20 m in het noordoostelijk deel van het modelgebied.

De eenheid werd in België gekarteerd in het kader van de Quartairgeologische kartering, maar niet onderscheiden in de G3Dv3- en H3Dv2-modellen. In deze modellen zat de fm van Ravels vervat in de modeleenheid van de Formatie van Gent. Daarom is in Tabel 18 een voorstel voor een nieuwe HCOV-codering voor deze modeleenheid gedaan.

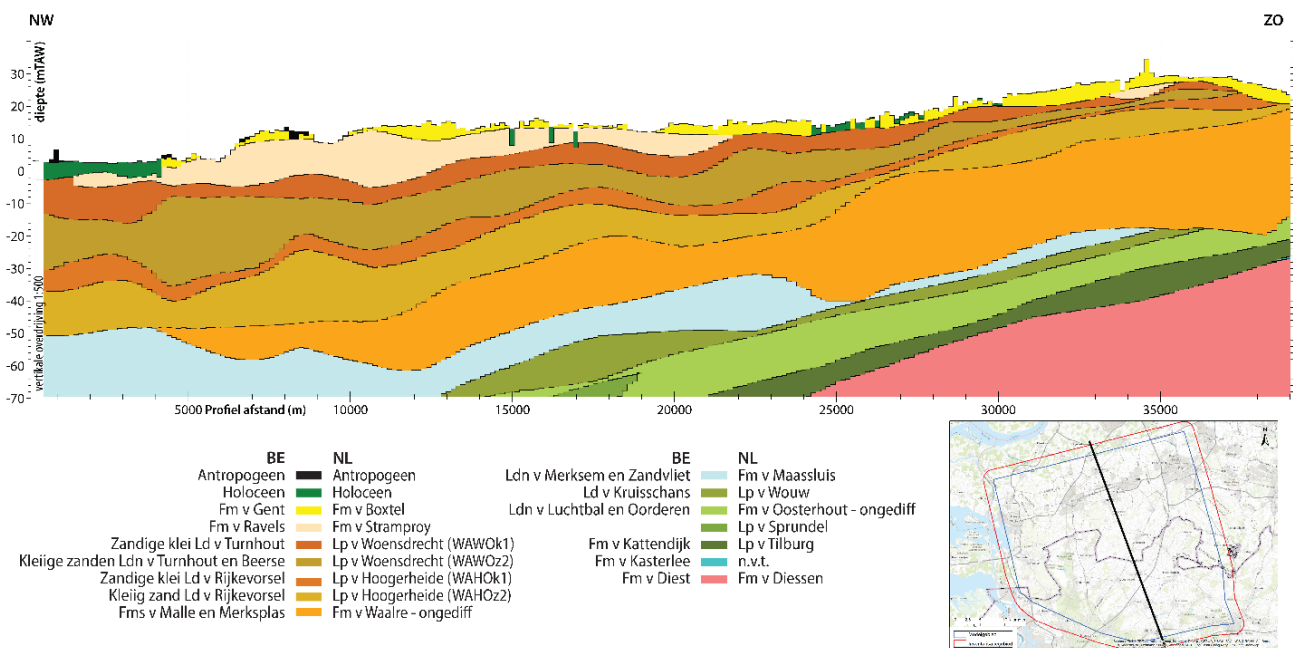
De afzettingen van de Formatie van Stramproy zijn lokaal geërodeerd door de laat-glaciale en holocene beekdalen (die deel uitmaken van modeleenheid Holoceen complex) en in het uiterste noordoosten door de fluviatiele afzettingen van de Formatie van Sterksel. Door herinterpretatie van de boringen is de verbreiding en de basis van de afzettingen van de Formatie van Stramproy in het Nederlandse deelgebied aangepast en verbeterd. Bij de herinterpretatie zijn ook de zware mineralen analyses en de boorgatmetingen gebruikt. Binnen de Formatie van Stramproy wordt één kleiige eenheid (SYk1) gemodelleerd. Deze kleiige eenheid is afwezig in het westelijk deel van het deelgebied en komt fragmentarisch voor in het overige deel. De gemiddelde dikte van de kleiige eenheid bedraagt enkele meters en kan lokaal oplopen tot ongeveer 10 m. De tweede kleiige eenheid (SYk2) is slechts in een enkele boring aangetroffen. Deze kleiige eenheid is om die reden niet in het modelgebied gemodelleerd.

## **7 Formatie van Weelde (BE) / Formatie van Waalre, Laagpakket van Woensdrecht en Laagpakket van Hoogerheide (NL)**

HCOVv2: A0210 en A0221

De Formatie van Weelde met haar leden van Turnhout, Beerse en Rijkevorsel, komen voor in quasi het gehele modelgebied. In het westelijk deel en uiterste zuidelijke deel van het modelgebied wordt de fm (deels) weggesneden ter hoogte van respectievelijk de Brabantse Wal en de Kempense microcuesta. De modeleenheid is gemiddeld 30 m dik en de dikte neemt toe tot meer dan 50 m richting het noorden en noordoosten. De basis van de fm komt grotendeels overeen met de basis van het onderste Lid van Rijkevorsel en is sterk erosief van aard. Het Lid van Rijkevorsel snijdt in de onderliggende formaties van Malle en Merksplas in. Op basis van boorinterpretaties bestaan indicaties dat geulstructuren aanwezig kunnen zijn ter hoogte van de basissen van de fm en haar leden met een oriëntatie

die preferentieel langs een NW-ZO-as lopen. Eerder werden geulstructuren ook reeds vastgesteld in het Belgische deel door Bogemans (2005a, b). De indicaties van geulstructuren lijken richting de top van de fm sterk af te nemen. Echter het sterk lithologisch afwisselend karakter van deze eenheid en het relatief beperkte aantal boringen dat ze doorsnijden maakt de interpretatie van de basisvlakken en de eventuele identificatie van geulen erg onzeker. Verder lijkt de basis van de fm en haar leden op kleine schaal, binnen de resolutie van 100x100m, sterk te wisselen waardoor het model tot 4m kan afwijken van de boorinterpretaties (uitschieters zoals slechte boorbeschrijvingen of slechte interpretaties buiten beschouwing gelaten). Hierdoor is de onzekerheid van het model opvallend groter dan bij de overige quartaire modeleenheden.



Figuur 37. Doorsnede (noordwest-zuidoost) door het ondiepe deel van het model tot een diepte van -70m TAW / -72.33m NAP. Formatie van Ravels (BE) / Formatie van Stramproy (NL) (lichtbeige kleur) komt vooral in het noordelijk deel van het modelgebied grootschalig voor en naar het zuiden is de fm eerder lokaal en fragmentarisch aanwezig. Opvallend hierbij is dat in het zuiden de fm nog aanwezig is gebleven op de top van de Kempense microcuesta. Het profiel toont ook duidelijk hoe de dikte van max. 4m in het zuiden toeneemt naar het noorden naar een max. dikte van 13m. De fm van Ravels wordt concordant bedekt door de deklaag van de Formatie van Gent (BE) / Formatie van Bostel (NL) (gele kleur) en is lokaal ingesneden door het Holoceen Complex. (De kleuren op de figuur en in de legenda zijn grotendeels conform de correlatietabel, maar hier en daar licht aangepast om meer contrast tussen de eenheden te brengen.)

De dikte van het onderste Lid van Rijkevorsel bedraagt gemiddeld over het gehele modelgebied ongeveer 15 m, waarbij de dikte toeneemt vanuit het zuiden richting het noorden tot een dikte van meer dan 20m. In het uiterste noordoosten van het modelgebied bereikt de dikte zelfs meer dan 30m.

Ook de basis van het bovenste Lid van Turnhout is erosief van aard met typische geulinsnijdingen. In het zuidoosten wordt tussen de leden van Turnhout en Rijkevorsel nog het Lid van Beerse onderscheiden, maar gezien het moeilijk onderscheid tussen de zanden van het Lid van Beerse en die van Turnhout daarboven, zijn beide samengenomen tot één modeleenheid.

Zowel het Lid van Rijkevorsel als het Lid van Turnhout bestaan uit een kleiig-zandig complex, die verschillende sedimentatiecycli omvatten.

In dit modelgebied zijn de pakketten vaak duidelijk te onderscheiden in lithologie en boorgatmetingen door hun fining upward opeenvolgingen. Aan de basis komt eerder grofklastisch materiaal voor dat naar boven toe verfijnt en vaak eindigt in een (zandig) kleipakket. De leden van de Formatie van Weelde zijn afgezet onder estuariene omstandigheden, waarbij de afzettingen richting het zuidoosten en oosten steeds meer gedomineerd worden door een fluviatiele faciës. De kleiige fractie domineert in deze formatie, maar wordt steeds zandiger richting het noorden en noordwesten. Hydrogeologisch is binnen elk lid een kleiiger toplaag onderscheiden en een zandiger basislaag. De harde modelopdeling tussen deze kleilaag en zandlaag is echter indicatief te noemen, aangezien het facies ter hoogte van de kleiige toplaag niet altijd even kleiig is of soms afwezig kan zijn. Soms zijn meerdere kleilagen binnen de leden van Turnhout en van Rijkevorsel geïnterpreteerd in de boringen. De onderste kleilagen zijn dan gezien hun sporadische verbreiding steeds samen genomen met de onderste zandige basislaag. Ook is zeer lokaal een zandig interval geïnterpreteerd bovenop de kleiige toplaag van het Lid van Turnhout. Gezien de beperkte en sporadische verbreiding is dit Turnhoutse zand bovenop de klei meegenomen in de modellering van de kleiige toplaag van het Lid van Turnhout. Gezien het heterogene karakter van de Formatie van Weelde kan deze eenheid niet beschouwd worden als een volledig afsluitend hydrologisch pakket, waardoor het grondwater mogelijks lokaal kan doordringen naar onderliggende hydrogeologische eenheden.

De dikte van beide kleiige toplagen binnen de leden van Turnhout en Rijkevorsel is beperkt tot enkele meters in het zuiden, maar loopt richting het noorden op tot lokaal meer dan 15m. In het zuiden waar de Formatie van Weelde uitwigt op de Kempense microcuesta, komen de kleilagen soms op elkaar te liggen wanneer de tussenliggende kleiige zanden van Beerse en Turnhout ontbreken.

Binnen de G3Dv3- en H3Dv2-modellen is de Formatie van Weelde of A0210 gemodelleerd op formatieniveau en zijn de lithostratigrafische leden van Turnhout, Beerse en Rijkevorsel nog niet eerder gemodelleerd. Naast de lithostratigrafische leden zijn ook de hydrostratigrafische kleien en zanden binnen de leden van Turnhout en Rijkevorsel nog niet eerder onderscheiden. Daarom is een nieuwe HCOV-code voorgesteld in Tabel 18 voor de lithostratigrafische leden en de onderscheiden kleilagen van de Formatie van Weelde.

## **8 Formatie van Waalre (NL) / formaties van Weelde, Malle en Merksplas (BE)**

REGIS II v2.2: nog niet eerder onderscheiden, codes WAWOk1, WAWOz2, WAHOk1, WAHOz2 en wel onderscheiden WAz3

De Formatie van Waalre komt voor in het hele Nederlandse modelgebied. De formatie bestaat uit drie modeleenheden:

- 1) het Laagpakket van Woensdrecht / Formatie van Weelde (BE),
- 2) het Laagpakket van Hoogerheide / Formatie van Weelde (BE) en
- 3) de Formatie van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel / formaties van Malle en Merksplas (BE).

Het Laagpakket van Woensdrecht komt voor in het hele Nederlandse modelgebied met uitzondering van een smalle strook in het uiterste zuidwesten. In het zuidwestelijk deel en uiterste zuidelijk deel van het modelgebied wordt het laagpakket (deels) weggesneden ter hoogte van de Brabantse Wal. Deze eenheid heeft een scherpe, erosieve basis die ligt op het Laagpakket van Hoogerheide. De top van de modeleenheid wordt gevormd door de kleilaag die overeenkomt met modeleenheid WAWOk1. De dikte van de modeleenheid varieert tussen 10 m in het zuiden tot bijna 40 m in het noordoosten. De kleilaag aan de top is afwezig in een smalle strook langs de Brabantse Wal in het westelijk deel van het modelgebied. De gemiddelde dikte van de kleilaag bedraagt ongeveer 5 meter en kan lokaal oplopen tot ongeveer 20 m.

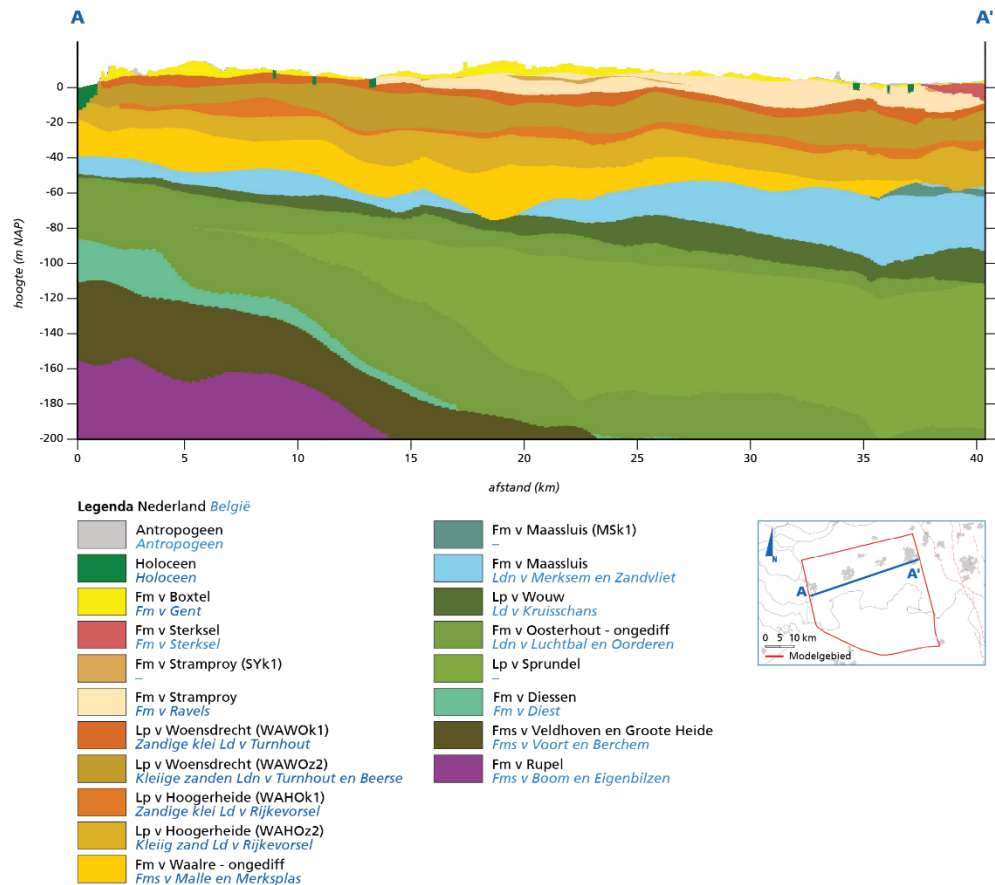
Het Laagpakket van Hoogerheide komt eveneens voor in het hele Nederlandse modelgebied met uitzondering van een smalle strook aan de rand in het zuidwesten van het modelgebied. Deze eenheid heeft een scherpe, erosieve basis die ligt op het ongedifferentieerde onderste deel van de Formatie van Waalre. De top van de modeleenheid wordt gevormd door de kleilaag die overeenkomt met modeleenheid WAHOk1. De gemiddelde dikte van de modeleenheid bedraagt ongeveer 20 m met uitschieters naar meer dan 30 m. De dikte van het Laagpakket van Hoogerheide neemt richting het zuiden af. De kleilaag aan de top is lokaal afwezig in het westen en zuidwesten. De gemiddelde dikte van de kleiige eenheid bedraagt enkele meters en kan lokaal oplopen tot ongeveer 25 m.

Het ongedifferentieerde onderste deel van de Formatie van Waalre komt voor in het grootste deel van het modelgebied, uitgezonderd het uiterste noorden. In het uiterste noorden vertandt deze modeleenheid met de Formatie van Maassluis en gaat verder in de noordelijke richting lateraal in deze fm over. In de overige delen van het modelgebied ligt de basis erosief op de Formatie van Maassluis (NL), waarbij lokaal diepe geulen zijn ontstaan. Soms is door deze erosie de Formatie van Maassluis compleet weggesneden en ligt deze modeleenheid direct op de Formatie van Oosterhout. De top van de modeleenheid wordt gevormd door de basis van de Formatie van Waalre – Laagpakket van Hoogerheide. Net als de basis van Formatie van Waalre-ongedifferentieerd, is ook deze top erosief met geulinsnijdingen. De dikte van deze modeleenheid varieert tussen de 10 en 40 m. Richting het noordoosten neemt de dikte van de modeleenheid geleidelijk af.

Naast de nieuwe indeling binnen de Formatie van Waalre (WA) zijn ook de basis en dikte van de afzettingen aangepast en verbeterd. De basis van de eenheid volgt nu de trend van de diepere lagen beter, mede ook door een consequente interpretatie van de vertanding met de onderliggende Formatie van Maassluis (MS). De vertanding komt voor in de onderste ongedifferentieerde laag van de Formatie van Waalre. De driedeling leidt in het hele gebied tot twee fining up sequenties elk met een afsluitende kleilaag (Figuur 38). De kleilagen van de laagpakketten van Woensdrecht (WAWOk1) en Hoogerheide (WAHOk1) zijn aangepast en verbeterd in vergelijking met de overeenkomstige eerste en tweede kleiige eenheid binnen de Formatie van Waalre in REGIS II v2.2.

Door deze nieuwe lithostratigrafische indeling is het inzicht in de geologie verbeterd. De onderverdeling van de Formatie van Waalre in de laagpakketten Woensdrecht en Hoogerheide geeft inzicht in de kustlijn ten tijde van de

afzettingen. Ook komt uit het model naar voren dat naar het oosten toe de afzettingen dikkere kleilagen bevatten wat duidt op toename van de invloed van rivieren (en verminderde zee-invoed). De onderliggende ongedifferentieerde laag is van fluviatiele oorsprong wat ook blijkt uit de boringen waar minder klei inzit. Een aantal geulen in deze eenheid heeft ook de onderliggende Formatie van Maassluis lokaal diep geërodeerd (Figuur 38).



Figuur 38. Doorsnede (west-oost) van het ondiepe deel van het model met de nieuwe driedeling in de Formatie van Waalre (oranje kleur) met bovenin het Laagpakket van Woensdrecht (WAWO), gelegen op het Laagpakket van Hoogerheide (WAHO), gelegen op het onderste, ongedifferentieerde deel van de fm. Kleuren zijn conform de correlatietabel.

Door een verbetering in de modellering zijn de holocene geulen nu niet meer zichtbaar in de basis van de onderliggende eenheid, waaronder de Formatie van Waalre (Figuur 39).

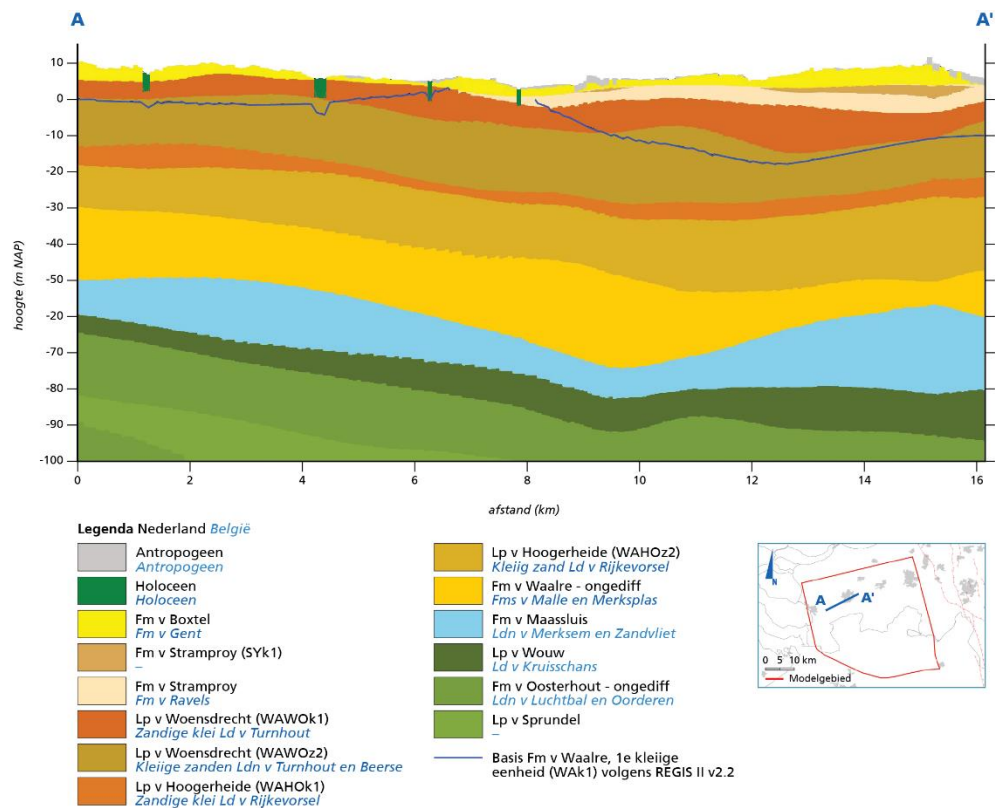
### 9 Formaties van Malle en Merksplas (BE) / Formatie van Waalre (ten dele) (NL)

HCOVv2: A0222

Deze modeleenheid komt voor in het grootste deel van het modelgebied, uitgezonderd het uiterste noorden. In dit uiterste noorden vertaandt deze modeleenheid namelijk volledig in de mariene Formatie van Maassluis (NL). De basis ligt algemeen discordant bovenop de Formatie van Lillo (BE) / Formatie van

Maassluis (NL), waarin de eenheid zich lokaal in de vorm van geulen heeft ingesneden. Deze geulen hebben een variërende oriëntatie, maar lijken wel preferentieel langs een N-Z-as te lopen. De geulen kunnen tot enkele kilometers breed zijn en meer dan 5 kilometer lang. Ze hebben lokaal tot 20 m van het onderliggende sediment uitgeschuurd. Door de grote hoeveelheid en het onregelmatige patroon van de geulen is het verloop van de geulen sterk onzeker tussen de boringen door.

Door de aanwezigheid van (herwerkte) schelpen, is de ondergrens met de schelpenrijke Formatie van Lillo (BE) / Formatie van Maassluis (NL) niet altijd even duidelijk, al is de modeleenheid van de formaties van Malle en Merksplas (BE) / Formatie van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel (NL) algemeen wel grover en glauconietarmer. Daarom kenmerkt de basis zich in geofysische boorgatmetingen ook door een opwaartse afname in gammastraling en toename in resistiviteit. In het uiterste zuiden van het modelgebied, ter hoogte van het Belgische Oostmalle, is er een aantal boringen (DOV-proefnummers: [KOEN-B57](#), [kb8d17w-B2](#) en [kb8d17w-B82](#)) waarin een dik pakket ligniethoudende klei wordt beschreven. Deze werd ook tot de modeleenheid formaties van Malle en Merksplas (BE) / Formatie van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel (NL) gerekend waarbij deze hier diep insnijdt.



Figuur 39. Doorsnede (west-oost) door het ondiepe deel van het model met de nieuwe indeling in de Formatie van Waalre. Kleuren zijn conform de correlatietabel. De blauwe lijn is de basis van de eerste kleilige eenheid binnen de Formatie van Waalre (WAK1) uit REGIS II v2.2. Deze eenheid loopt in het REGIS II v2.2-model met dezelfde dikte onder de holocene geulen door. In het nieuwe model, waarin deze kleilige eenheid is gemodelleerd als de klei van het Laagpakket van Woensdrecht (WAWOK1), blijft de basis ongewijzigd en is er sprake van een afname in dikte daar waar de holocene geulen zich in de kleilige eenheid insnijden.

De top van de modeleenheid wordt gevormd door de basis van de Formatie van Weelde (BE) / Formatie van Waalre – Laagpakket van Hoogerheide (NL). Net als de basis, is ook deze top van de formaties van Malle en Merksplas (BE) / Formatie van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel (NL) erosief met geulinsnijdingen. Echter, deze geulinsnijdingen zijn nergens van die mate om de gehele modeleenheid weg te snijden. De grens tussen beide modeleenheden is echter niet altijd scherp te trekken. Op geofysische boorgatmetingen is deze gelegd bij een opwaartse daling in resistiviteit en stijging in gammawaardes. In boorbeschrijvingen valt deze vaak samen met het verschijnen van meer kleilige sedimenten van de Formatie van Weelde.

In het G3Dv3-model zijn de formaties van Malle en Merksplas apart uitgekarteerd. Daarbij is in het noorden van hun verbreidingsgebied bij de kartering veelal gebruik gemaakt van boringen met geofysische boorgatmetingen. Uit recente discussies blijkt echter dat de karakterisatie van de Formatie van Malle op boorgatmetingen zoals voorgesteld op de website van de NCS (Bogemans & Lanckacker, 2014) foutief is. In werkelijkheid stelt dit pakket dat op de website van de NCS als de Formatie van Malle is aangegeven, het onderste zandlichaam van de Formatie van



Weelde voor. Hierdoor is ook de interpretatie van de Formatie van Malle op heel wat geofysische boorgatmetingen in functie van het G3Dv3-model foutief. De werkelijke Formatie van Malle bevindt zich dieper dan gekarteerd in het G3Dv3-model, en is daarbij moeilijk te onderscheiden van de onderliggende Formatie van Merksplas. Daarom zijn beide formaties voor het huidige model samengenomen. Algemeen kan wel worden gesteld dat de grove zanden van de Formatie van Merksplas dominant aanwezig zijn in het centrale deel van het modelgebied (grensgebied) en de fijnere zanden van de Formatie van Malle in het zuidelijke deel van het modelgebied. Het huidige model van de formaties van Malle en Merksplas sluit daarom beter aan bij dat van de Formatie van Merksplas voor het G3Dv3-model. Ten opzichte van de basis van de Formatie van Merksplas uit het G3Dv3-model en A0222 uit het H3Dv2-model, heeft de huidige basis een veel onregelmatiger verloop door de soms diepe geulen erin. Ten opzichte van het G3Dv3-model is de selectieset van boringen voor de modellering van deze eenheid nu ook bijna verdubbeld, wat toeliet om het extra detail van de geulen erin te verwerken.

## **10 Formatie van Maassluis (NL) / Formatie van Lillo, leden van Merksem en Zandvliet (BE)**

REGIS II v2.2: MSz1, MSk1, MSz2, MSk2, MSz3

Deze modeleenheid komt voor in het grootste deel van het modelgebied, uitgezonderd gebieden waar de eenheid door de Formatie van Waalre geërodeerd is.

De Formatie van Maassluis wordt formeel niet verder onderverdeeld. In het noordoosten van het modelgebied worden twee kleiige modeleenheden onderscheiden, MSk1 en MSk2.

In België omvat deze eenheid de leden van Merksem en Zandvliet van de Formatie van Lillo. De basis van de Formatie van Maassluis valt grotendeels samen en lijkt concordant te liggen op de top Formatie van Oosterhout - Laagpakket van Wouw. De top van de Formatie van Maassluis valt samen met en wordt sterk ingesneden door de basis van de Formatie van Waalre. De gemiddelde dikte van deze modeleenheid is ongeveer 10 m. De dikte neemt richting het noordoosten toe naar 60 m in het uiterste noordoostelijk deel van het modelgebied. De Formatie van Maassluis is grotendeels zandig ontwikkeld en de twee kleiige modeleenheden bevinden zich in het noordoostelijke deel van het modelgebied. Aan de top van de Formatie van Maassluis bevindt zich de eerste kleiige modeleenheid (MSk1). Op deze kleiige modeleenheid bevindt zich lokaal een dunne zandlaag. De dikte van deze kleiige modeleenheid bedraagt enkele meters. De tweede kleiige modeleenheid binnen de Formatie van Maassluis (MSk2) bevindt zich ten westen van Breda en heeft een zeer beperkte omvang in het modelgebied. De gemiddelde dikte van deze modeleenheid bedraagt enkele meters.

De basis en dikte van de kleiige afzettingen zijn aangepast en verbeterd mede door de al eerdergenoemde consequente interpretatie van de vertanding met de bovenliggende Formatie van Waalre (WA). De kleilagen volgen nu de algehele trend van de afzettingen waarbij de eerste kleiige modeleenheid nu consequent boven de tweede kleiige eenheid ligt.

**11 Formatie van Lillo (BE), met de leden van Luchtbal en Oorderen (BE), het Lid van Kruisschans (BE) en de leden van Merksem en Zandvliet (BE) naast het ongedifferentieerde deel van de Formatie van Lillo (BE) / Formatie van Maassluis (ten dele) en Formatie van Oosterhout (ten dele, NL)**  
HCOVv2: A0226, A0225, A0224, A0223

De Formatie van Lillo omvat de Belgische stratigrafische eenheden die geen complete Nederlandse equivalente stratigrafische eenheid kennen. Het omvat de bovenkant van de Nederlandse Formatie van Oosterhout en het daarop liggende onderste deel van de Nederlandse Formatie van Maassluis. De basis van de Formatie van Lillo valt grotendeels samen en lijkt concordant te liggen op de top van de Formatie van Kattendijk (BE) / Formatie van Oosterhout - Laagpakket van Tilburg (NL). Enkel in het uiterste zuidoosten, waar de Formatie van Kattendijk (BE) via onlap verdwijnt tegen de Formatie van Kasterlee (BE), is de basis van de Formatie van Lillo gelegen bovenop de Formatie van Kasterlee.

De top van deze modeleenheid valt samen en wordt lokaal sterk ingesneden door de basis van de formaties van Merksplas en Malle (BE) / Formatie van Waalre (NL).

Binnen de Formatie van Lillo zijn traditioneel vijf leden te onderscheiden, met van oud naar jong: Luchtbal, Oorderen, Kruisschans, Merksem en Zandvliet. Recent is daar in de oostelijke verbreiding van de Formatie van Lillo ook het Lid van Poederlee (voormalige Formatie van Poederlee) bijgekomen. De leden van Luchtbal en Oorderen enerzijds en de leden van Merksem en Zandvliet anderzijds, kunnen voor het huidige model niet van elkaar onderscheiden worden en zijn samengenomen tot eenzelfde modeleenheden. Daarom zijn er binnen de Formatie van Lillo drie eenheden gemodelleerd, met van oud naar jong: de zandige leden van Luchtbal en Oorderen, het kleiige Lid van Kruisschans en de zandige leden van Merksem en Zandvliet (Figuur 40). De eerste twee modeleenheden zijn equivalent met de bovenkant van de Nederlandse Formatie van Oosterhout en de laatste modeleenheid is equivalent met de onderkant van de Nederlandse Formatie van Maassluis.

Het onderscheid tussen de onderste en bovenste zandige modeleenheden kan enkel gemaakt worden wanneer het kleiige Lid van Kruisschans aanwezig is. In het uiterste zuidoosten verdwijnt dit Lid van Kruisschans, waardoor hier geen differentiatie meer is tussen leden of modeleenheden binnen de Formatie van Lillo. In deze regio is daarom de modeleenheid "Formatie van Lillo – ongedifferentieerd" opgemaakt. De overgang van gedifferentieerd naar ongedifferentieerd is vanwege de geringe dichtheid van hoogkwalitatieve boringen niet exact te modelleren. Daarom wordt het in het model als een vloeiende, verticale lijn voorgesteld met een ZW-NO oriëntatie.

De leden van Luchtbal en Oorderen hebben in het zuidelijke deel van het modelgebied een tamelijk uniforme dikte tussen meestal 8 en 15 m. Ten noorden van de landgrens neemt deze dikte sterk toe richting het noorden tot 140 m in het uiterste noorden van het modelgebied. Deze stijging in dikte wordt veroorzaakt doordat de basis van de eenheid sterk daalt richting het noorden als onderdeel van een zogenaamde "foreset" van een grootschalige cliniform (Figuur 40).

De topset van de cliniform ligt dan in het zuidelijke gedeelte van het modelgebied waar de dikte dan ook veel uniformer is. Door verdikking van deze leden net over

de grens, verschijnt er een extra modeleenheid binnen die enkel in Nederland dik ontwikkeld en gekend is als Laagpakket van Sprundel van de Formatie van Oosterhout. Dit is een pakket van opeenstapeling van schelpen in plaats van zand met schelpen errond zoals voor de rest van het Lid van Oorderen. Nog verder naar het noorden, in het centrale Nederlandse deel van het modelgebied, wordt de onderkant van de modeleenheid van de leden van Luchtbal en Oorderen kleiiger waardoor hier het hydrogeologische "Oosterhout – complex" wordt onderscheiden. Voor het geologische Belgische model, worden deze zuiver Nederlandse eenheden niet onderscheiden binnen de leden van Luchtbal en Oorderen. Voor het hydrogeologische model, worden ze wel onderscheiden met als codes A0225A\_VK\_NL voor 'Schelpenrijke zand van Sprundel' en A0225B\_VK\_NL voor 'Klei-zand complex aan de basis van Oosterhout'.

Het Lid van Kruisschans heeft in het zuiden van het modelgebied ook een uniforme dikte van meestal minder dan 5 m. Vanaf de landgrens stijgt de dikte van het Lid van Kruisschans naar het noorden, evenwel minder extreem als deze van de leden van Luchtbal en Oorderen (Figuur 40). In het noorden wordt een maximale dikte van 30 m bereikt. In het westen van het modelgebied blijft de dikte gelijkaardig aan deze in het zuiden. Lokaal snijdt de modeleenheid van de formaties van Malle en Merksplas (BE) / Formatie van Waalre (NL) diep in de top van de Formatie van Lillo waardoor de zandige leden van Merksem en Zandvliet en lokaal zelfs het Lid van Kruisschans volledig zijn weggesneden. Vaak blijken de kleien van het Lid van Kruisschans enige weerstand te hebben geboden tegen diepere erosie omdat de erosie net in hun top stopt. Ook in het westen van de haven van Antwerpen lijken de kleien van het Lid van Kruisschans weerstand te hebben geboden tegen erosie, daar evenwel tegen quartaire erosie, getuige dat ze daar vaak de top vormen van het Neogeen (Van Haren et al., 2021).

De leden van Merksem en Zandvliet hebben in het zuiden en centrale deel van het modelgebied een sterk schommelende dikte vanwege insnijding van de top door de bovenliggende formaties van Malle en Merksplas (BE) / Formatie van Waalre (NL) (Figuur 37 en Figuur 40). Lokaal wordt de eenheid zelfs volledig weggesneden. In het centrale en zuidelijke deel van het modelgebied is de maximale dikte 20 m. In het noorden van het modelgebied verdikt de eenheid plots sterk naar een maximum van 130 m. Dit omdat de formaties van Malle en Merksplas (BE) / Formatie van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel (NL), die normaal boven de leden van Merksem en Zandvliet gelegen zijn, naar het noorden toe lateraal vertanden in het mariene facies van de Formatie van Maassluis (NL; Figuur 41) dat lithostratigrafisch equivalent is aan dat van de leden van Merksem en Zandvliet. Samen met deze verdikking, verschijnen er ook twee kleilichamen binnen de zanden van de Formatie van Maassluis in het noorden van het modelgebied, de zogenaamde MSk1 en MSk2. Omdat deze kleilichamen (en de zandlichamen die ze opsplitsen) ver van de grens gelegen zijn en dus geen Belgisch equivalent kennen en verder ook geen effect zullen hebben op de Vlaamse hydrogeologie, zijn ze niet onderscheiden binnen de leden van Merksem en Zandvliet van de Formatie van Lillo.

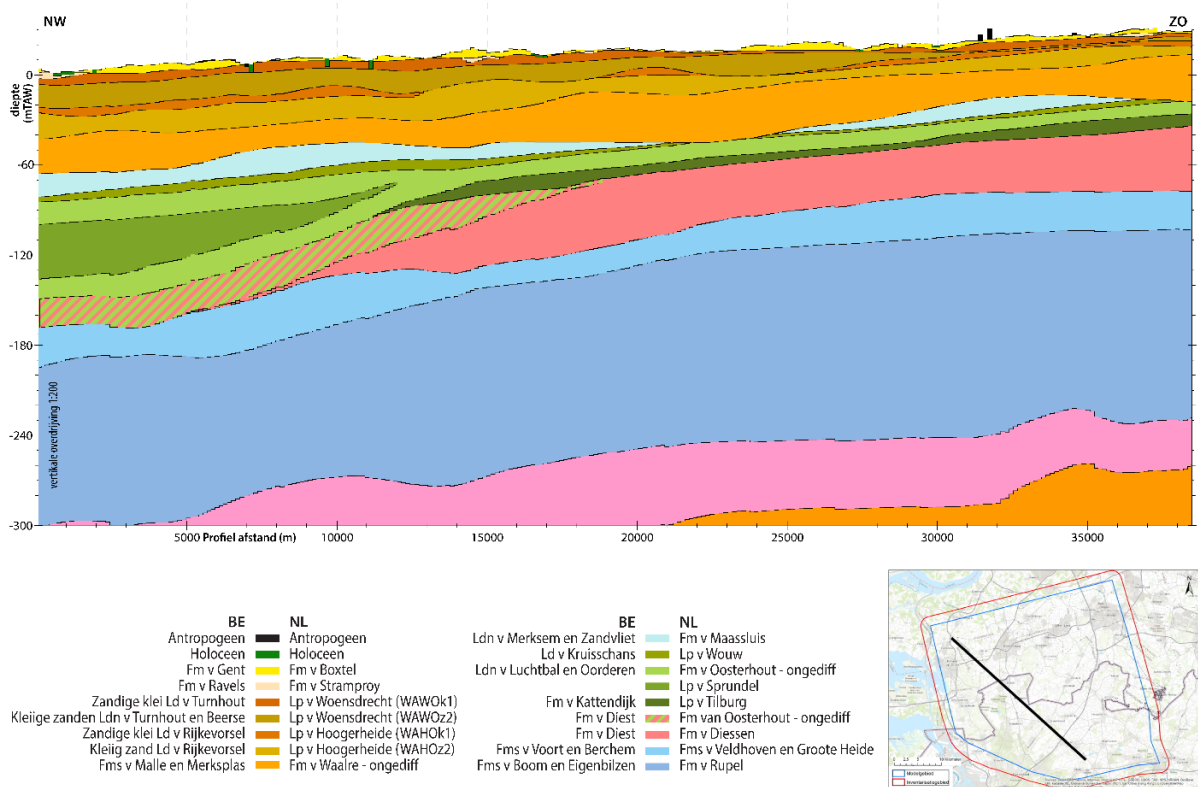
Door de combinatie van trends van de leden zoals hierboven beschreven, kent de Formatie van Lillo dus een sterke verdieping en verdikking in het modelgebied ten noorden van de landgrens. In het noorden van het modelgebied komt daar nog eens een extra verdikking bij doordat de formaties van Malle en Merksplas (BE) /

Formatie van Waalre (NL) daar vertanden in de Formatie van Maassluis (NL) die tot de Belgische Formatie van Lillo gerekend wordt.

Ten opzichte van het G3Dv3-model zijn de veranderingen aan de basis van de Formatie van Lillo beperkt. Het grootste verschil situeert zich ter hoogte van het Belgische dorp Essen en ten noorden van het Belgische dorp Meer door het gebruik van extra boringen met boorgatmetingen (DOV-proefnummers:

[BGD002E0132](#) en [BGD002E0134](#)) en integratie van Nederlandse boorgegevens.

De indeling in drie modeleenheden was eerder ook zo voor het G3Dv3-model, en blijft behouden. Echter, de oostgrens van de differentiatie van de Formatie van Lillo in leden is nu wel heel wat opgeschoven richting het oosten. Deze oostgrens was eerder een N-Z lijn om aan te geven dat de opdeling arbitrair was, en is nu opgeschoven omdat het Lid van Kruisschans (essentieel voor de differentiatie) verder naar het oosten nog geïnterpreteerd en gemodelleerd kon worden. Het gedifferentieerde deel van de Formatie van Lillo in leden is nu dus vergroot ten koste van het ongedifferentieerde deel. Dezelfde veranderingen zetten zich ook door ten opzichte van het H3Dv2-model waarbij de eenheden A0223, A0224 en A0225 nu een groter verbreiding hebben ten koste van A0226.



Figuur 40. Doorsnede door het ondiepe deel van het model. Verticale schaal is in meter TAW en horizontale schaal in meters. Modeleenheden zijn aangegeven met cijfers die hieronder vertaald worden naar de geologische namen. De plek vanaf waar de eenheid 3 (Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL)) begint te verdunnen richting het noorden valt ongeveer samen met de landgrens. Pakket 4 (Formatie van Kattendijk (BE)) is opgesplitst door een zwarte lijn om het onderscheid te tonen tussen de sensu stricto en sensu lato delen. De kleuren zijn grotendeels conform de correlatietabel, maar hier en daar licht aangepast om meer contrast tussen de eenheden te brengen. 1= formaties van Boom en Eigenbilzen (BE) / Rupel Formatie (NL); 2= formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Grootte Heide (NL); 3= Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL); 4= Formatie van Kattendijk (BE) / Laagpakket van Tilburg – Formatie van Oosterhout (NL); 5= leden van Luchtbal en Oorderen – Formatie van Lillo (BE) / Formatie van Oosterhout – ongedifferentieerd (NL); 6= Laagpakket van Sprundel – Formatie van Oosterhout (NL); 7= Lid van Kruisschans – Formatie van Lillo (BE) / Laagpakket van Wouw – Formatie van Oosterhout (NL); 8= leden van Merksem en Zandvliet – Formatie van Lillo (BE) / Formatie van Maassluis (NL); 9= formaties van Malle en Merksplas (BE) / Formatie van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel (NL); 10= Formatie van Waalre (NL); \* = deel van de Formatie van Diest (BE) dat in Nederland als OOz4 tot de Formatie van Oosterhout (NL) gerekend wordt.

## 12 Formatie van Oosterhout (NL) / formaties van Lillo (ten dele), Kattendijk en Diest (BE)

REGIS II v2.2: OOWok1, OOz2, OOSP1, OOz3, OOC, OOTIz1, OOz4. Voorstel codes OOWok1, OOSP1, OOTIz1 en OOz4 voor de nog niet eerder onderscheiden eenheden.

De Formatie van Oosterhout komt voor in het gehele modelgebied. Binnen deze modeleenheid zijn drie laagpakketten te onderscheiden, het zandige Laagpakket van Tilburg, de schelpenbanken (crag) van het Laagpakket van Sprundel en het kleiige Laagpakket van Wouw.

Het Laagpakket van Tilburg / Formatie van Kattendijk (BE) komt voor ten noorden van de grens en in het oosten van het Nederlandse deel van het modelgebied.

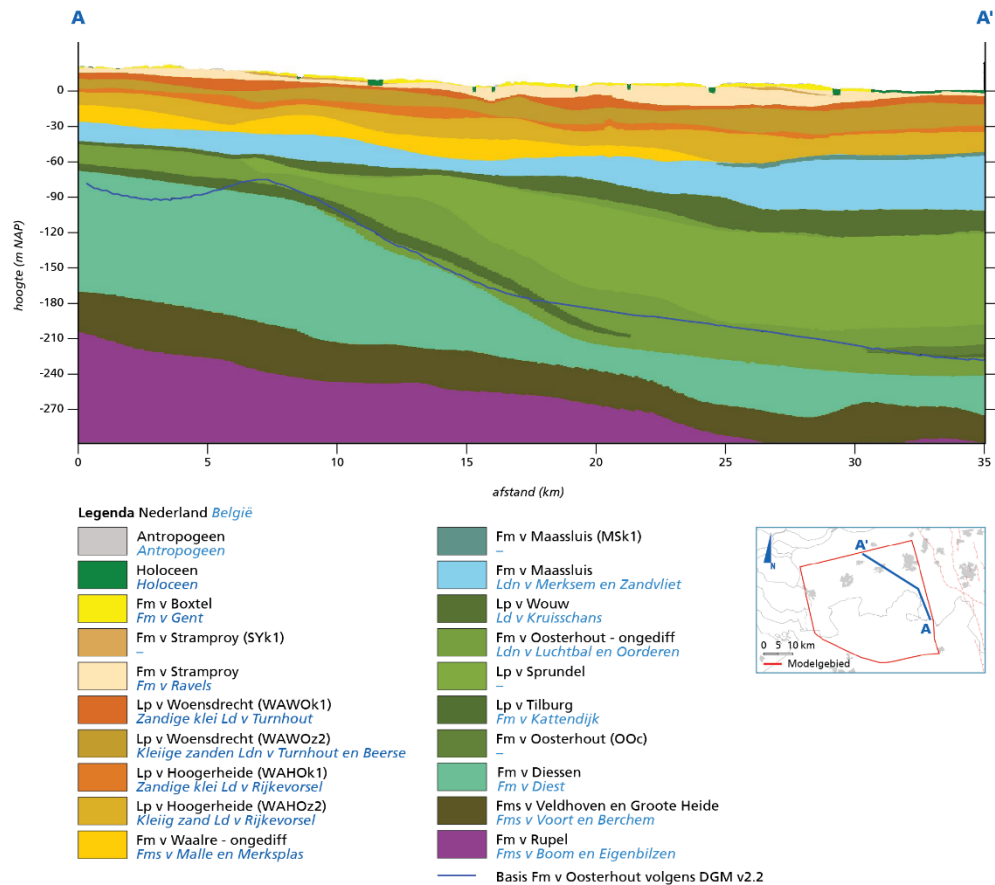
Richting het noorden en noordwesten is deze modeleenheid volledig geërodeerd door het Laagpakket van Sprundel.

Deze modeleenheid is in het modelgebied maximaal 15 m dik. In het oostelijke deel bereikt slechts een beperkte aantal boringen met boorgatmeting de basis van deze modeleenheid.

Het Laagpakket van Sprundel, dat grotendeels bestaat uit schelpen en schelpgruis, komt alleen voor in het Nederlandse deel van het modelgebied ten noorden van het grensgebied. In het uiterste zuiden van het Nederlandse deel van het modelgebied is deze modeleenheid afwezig. De top en basis van de modeleenheid hebben een scherpe grens met het boven- en onderliggende Oosterhout-ongedifferentieerd zand (Figuur 40). Het Laagpakket van Sprundel kan in het midden en het noordoosten van het verbreidingsgebied meer dan 90 m dik zijn. In het zuiden van het verbreidingsgebied wigt de eenheid uit en is de gemiddelde dikte ongeveer 10 m. Aan de bovenkant ligt Oosterhout-ongedifferentieerd zand met een dikte van enkele meters tot maximaal 25 m.

Het Laagpakket van Wouw komt voor aan de top van de Formatie van Oosterhout in bijna het gehele modelgebied met uitzondering van het uiterste zuidoosten. De modeleenheid ligt op de eenheid Oosterhout-ongedifferentieerd zand. De top van het Laagpakket van Wouw valt samen met de basis van de Formatie van Maassluis (NL). Bij afwezigheid van de Formatie van Maassluis is deze modeleenheid bedekt door de Formatie van Waalre. Het Laagpakket van Wouw is in het modelgebied maximaal 40 m dik in het noordelijke deel van het modelgebied. Richting het zuiden en oosten neemt de dikte af tot enkele meters.

Tussen de laagpakketten van Wouw en Sprundel ligt een zandpakket (Figuur 40). In REGIS II v2.2 is deze zandige eenheid niet altijd gekarteerd. Naast de nieuwe indeling binnen de Formatie van Oosterhout zijn ook de basis en dikte van de afzettingen sterk gewijzigd. De basis van de Formatie van Oosterhout ligt dieper door de nieuwe inzichten van onderzoek naar het Mioceen, zie Munsterman et al. (2019) (Figuur 41). In DGM v2.2 wordt de grens tussen de formaties van Oosterhout en Breda gelegd op de verbreiding van glauconiet. Het Laagpakket van Tilburg en het onderliggende zand (OOz4) behoren tot de Formatie van Oosterhout. De typische zanden van het laagpakket van Goirle (witte zanden afgezet bij lage zeespiegel) zijn in het noordoosten van het modelgebied slechts in één boring vastgesteld en zijn om die reden niet gemodelleerd. In dit modelgebied ligt op de formatie van Diessen vaak een laag bestaande uit grijze zanden. Deze zanden behoren tot de vierde zandige eenheid binnen de Formatie van Oosterhout (OOz4). Aan de top van de grijze zanden ligt het Laagpakket van Tilburg bestaande uit matig grof, groengrijs, glauconiethoudend zand dat soms kleilig ontwikkeld is.



Figuur 41. Doorsnede (zuid-noord) van het ondiepe deel van het model met de nieuwe indeling in de Formatie van Oosterhout (groene kleur) met bovenin het Laagpakket van Wouw op het Laagpakket van Sprundel op het Laagpakket van Tilburg. Kleuren zijn conform de correlatietabel. De blauwe lijn geeft de basis van de Formatie van Oosterhout uit DGMv2.2 weer.

#### 14 Formatie van Kasterlee (BE) / geen equivalent in Nederland HCOVv2: A0240

De Belgische Formatie van Kasterlee kent geen Nederlands equivalent. De formatie komt dan ook enkel voor in het uiterste zuidoosten van het modelgebied, ten zuidoosten van de lijn tussen Oostmalle – Rijkevorsel - Merksplas. In deze regio is de beschrijving en geofysische log-signatuur van de Formatie van Kasterlee vanuit boring Turnhout, zoals vastgesteld in Louwey et al. (2020), te vervolgen tot deze verdwijnt in noordwestelijke richting. De gemodelleerde Formatie van Kasterlee kan dus beschouwd worden als het Oud-Turnhout facies dat behoort tot het Lid van Lichtaart (Verhaegen & Vandenberghe, in prep.).

De Formatie van Kasterlee is gelegen bovenop de Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL) en wordt op zijn beurt bedekt door de Formatie van Lillo. De dikte van de Formatie van Kasterlee schommelt tussen 5 en 10 m in het modelgebied, en is dus behoorlijk gelijkaardig aan deze van de Formatie van Kattendijk verder naar het noordwesten. Dit in combinatie met de vermoedelijke onlap van de Formatie van Kattendijk tegen de Formatie van Kasterlee verklaart de gelijkaardige geometrische positie van beide eenheden, en waarom ze werden samengenomen als één modeleenheid in het G3Dv3-model. Doordat ze nu worden onderscheiden, kan de meer zandige Formatie van Kattendijk ook worden

afgesplitst uit de Vlaamse hydrogeologische eenheid A0240 die dan enkel nog de Formatie van Kasterlee omvat en een veel beperktere geografische omvang heeft in vergelijking met het H3Dv2-model (zie voorstel in Tabel 19).

### **15 Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL)**

HCOVv2: A0251

REGIS II v2.2: nog niet eerder binnen REGIS II als aparte modeleenheid onderscheiden, voorgestelde code Dlz1

De Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL) ligt - lokaal discordant - bovenop de formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Groote Heide (NL). De overgang tussen beide eenheden is niet altijd eenduidig, maar in vergelijking tot de onderliggende, is de Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL) grover, schelpenarm en minder glauconietrijk. De basis van de eenheid verdiept in noordoostelijke richting. In diezelfde richting verdikt de eenheid dan ook aanzienlijk, van slechts enkele meters in het zuidwesten tot meer dan 100 m in het oosten. Dateringen van Louwye et al. (1999) tonen een verjonging aan van deze eenheid richting het noordwesten. Op basis van seismische data komt dit tot expressie als noordwaarts prograderende clinofoms. Ten noorden van de landgrens bevinden zich de laatste clinofoms die zich hierna vervolgen in de jongere eenheden van de formaties van Kattendijk en Lillo (BE) / Formatie van Oosterhout (NL). Zo verdunt de Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL) richting het noordwesten via downlap van de clinofoms (bottomset) (Figuur 40).

De modeleenheid wordt in het uiterste zuidoosten bedekt door de Formatie van Kasterlee (BE), die fijner en lokaal ook wat kleiiger is. Verder noordwestelijk wordt de Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL) bedekt door de Formatie van Kattendijk (BE) / Laagpakket van Tilburg – Formatie van Oosterhout (NL). In het uiterste westen, net ten westen van de grens van het modelgebied, wordt die eerste eenheid weggesneden door de laatste eenheid.

Net ten noorden van de Belgisch-Nederlandse grens verschijnt er een pakket onderin de Formatie van Oosterhout (OOz4) dat op basis van de palynologische analyses van dit project al een vroegste pliocene ouderdom zou hebben. Dit pakket lijkt echter nog de typische lithologische karakteristieken van de Formatie van Diest (BE) te hebben, en wordt daarom tot deze Belgische eenheid gerekend. In Nederland wordt het vanwege de gelijkenissen met het laagpakket van Goirle (NL) – dat niet voor het huidige project gemodelleerd werd – als deel van de Formatie van Oosterhout (NL) beschouwd. Hierdoor is er een verschil in modellen tussen de Formatie van Diest (BE) en de formatie van Diessen (NL). Overal waar OOz4 niet voorkomt, wat grotendeels het Belgische modelgebied omvat, zijn de modellen van de Formatie van Diest (BE) en de formatie van Diessen (NL) hetzelfde. Echter, vanaf dat OOz4 voorkomt, wat grotendeels het Nederlandse en meest noordelijke Belgische modelgebied omvat, is de Formatie van Diest (BE) dikker en heeft het een ruimer voorkomen (omdat het OOz4 bevat) dan de formatie van Diessen (NL). Zo komt de Formatie van Diest in het gehele modelgebied voor, maar de formatie van Diessen niet in het uiterste noordwestelijke modelgebied.

Ten opzichte van de G3Dv3- en H3Dv2-modellen zijn er slechts beperkte wijzigingen aan de isohypsen van de basis van de Formatie van Diest of A0251 - Zand van Diest buiten de Roerdalslenk. De grootste veranderingen vinden plaats in



het uiterste noorden van het Belgische modelgebied, ter hoogte van het dorp Essen en ten noorden van het dorp van Meer, waar de basis nu minder diep ligt door het gebruik van Nederlandse boorgegevens.

Ten opzichte van het H3Dv2-model ten noorden van Vlaanderen zijn er grote wijzigingen doordat A0251 daar nu verminderd in dikte naar het noorden toe. De formatie van Diessen is voor het eerst in het Nederlandse deel van het modelgebied gemodelleerd. Eerder maakten deze afzettingen deel uit van de Formatie van Breda.

## **16 Formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Grootte Heide (NL)**

HCOVv2: A0254

REGIS II v2.2: nog niet eerder onderscheiden, nieuw voorgestelde code GRVEc

De modeleenheid van de formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Grootte Heide (NL) komt voor in het gehele modelgebied. De basis van de eenheid helt algemeen af richting het noordoosten. De dikte varieert meestal tussen 15 en 30 m met lokale uitschieters tot 40 m. De eenheid is discordant gelegen op de formaties van Boom en Eigenbilzen (BE) / Rupel Formatie (NL) en snijdt deze naar het westen toe af. Veel van de Belgische boringen eindigen in de bovenste meters van de onderliggende formaties van Boom en Eigenbilzen (BE) / Rupel Formatie (NL). In het Nederlandse deel van het modelgebied is de eenheid al heel wat dieper gelegen en bereiken er minder boringen de basis. Daarom werd hier veelal op seismische data gesteund om de basis te reconstrueren. Derhalve is de wel aanwezige boordata, alsmede de basis van deze modeleenheid aan Belgische zijde gecorreleerd aan een goed vervolgbare reflector in de seismische data en vervolgens in het Nederlandse deel van het projectgebied gekarteerd (Figuur 42). Deze seismische interpretatie is vervolgens omgezet naar een grid en geconverteerd van tijd naar diepte en geïntegreerd met de Belgische basis van deze modeleenheid.



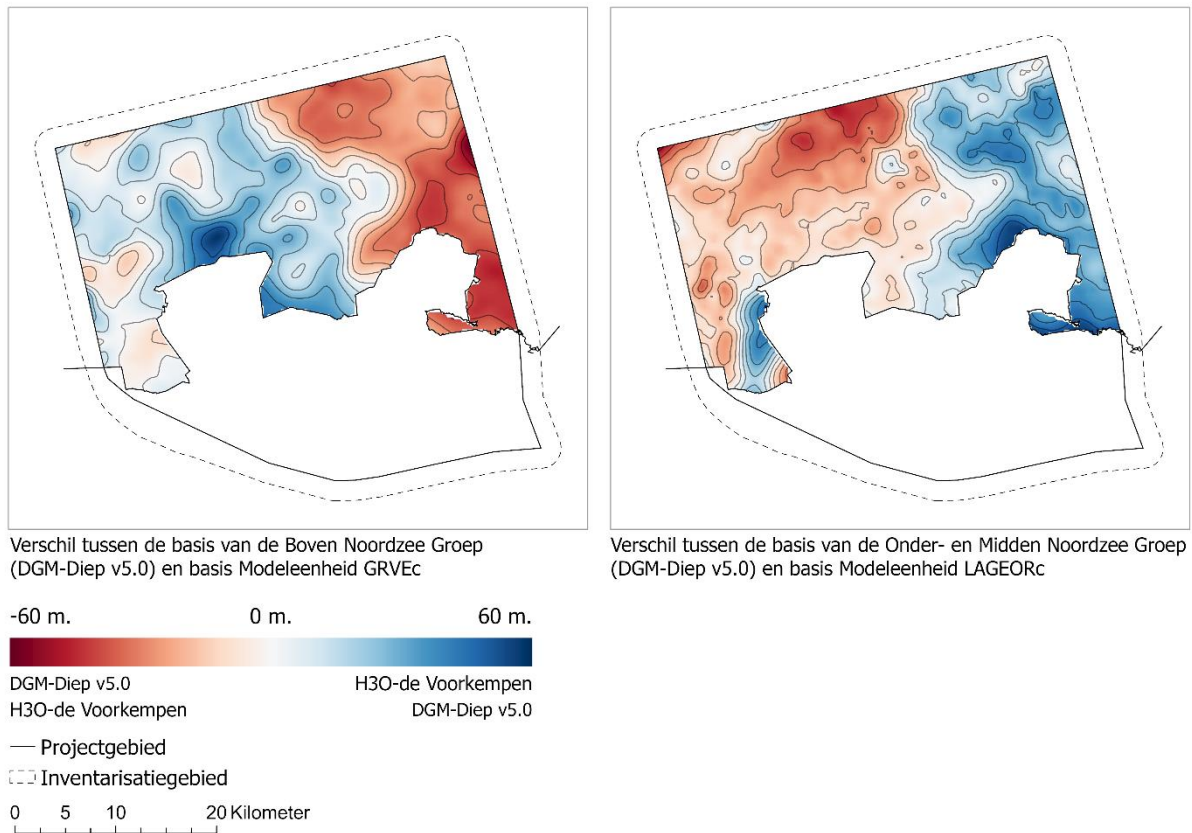
Figuur 42. Seismische interpretatie van de basis van de formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Grootte Heide (NL) in het Nederlandse deel van het modelgebied.

Ten opzichte van de G3Dv3- en H3Dv2-modellen zijn er slechts beperkte wijzigingen aan de isohypsen van de basis van de formaties van Voort en Berchem of A0254 -Zanden van Voort en Berchem. De grootste verandering bevindt zich ten noorden van het Belgische dorp Meer, waar de basis nu heel wat minder sterk zakt richting het noorden door integratie van Nederlandse boorgegevens.

In het Nederlandse deel van het projectgebied bestaan binnen het diepte-interval van H30–De Voorkempen reeds twee gemodelleerde horizonten binnen het model DGM-Diep v5.0: de basis van de Boven Noordzee Groep en de basis van de Onder- en Midden Noordzee Groep. Lithostratigrafisch gezien vallen de basissen van model eenheid formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Grootte Heide (NL) en de basis van de Boven Noordzee Groep van DGM-Diep v5.0 niet samen (Figuur 43). Echter, doordat de laagpakketten van Wintelre en Voort van de Formatie van Veldhoven in het projectgebied grotendeels afwezig zijn, komen deze twee basissen in het projectgebied merendeels wel overeen. In het oosten van het projectgebied loopt het verschil tussen de twee basissen wel aanmerkelijk op (Figuur 44). Dit zou verklaard kunnen worden door lokale aanwezigheid van de formaties van Veldhoven en Grootte Heide.

GRz1	Groote Heide en Veldhoven	<i>Basis Boven Noordzee Groep</i>
/		
VEWIk1		
VEVOc		

Figuur 43. De positie van de basis van de Boven Noordzee Groep binnen de formaties van Groote Heide en Veldhoven.



Figuur 44. Verschillen tussen de basissen van twee modeleenheden binnen H3O-De Voorkempen en DGM-Diep v5.0.

### 17 Formaties van Boom en Eigenbilzen (BE) / Rupel Formatie (NL)

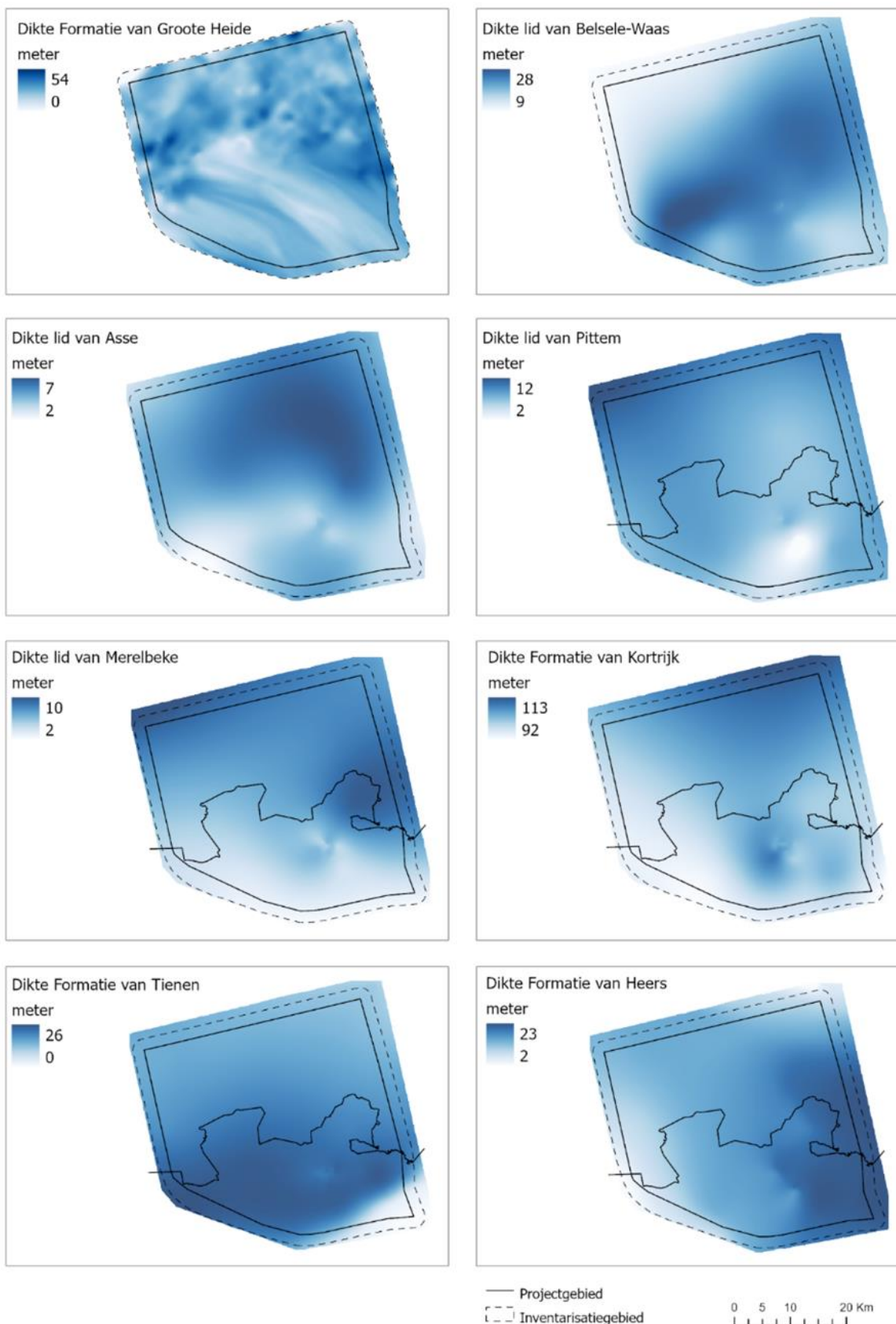
HCOVv2: A0300

REGIS II v2.2: RUBOK1

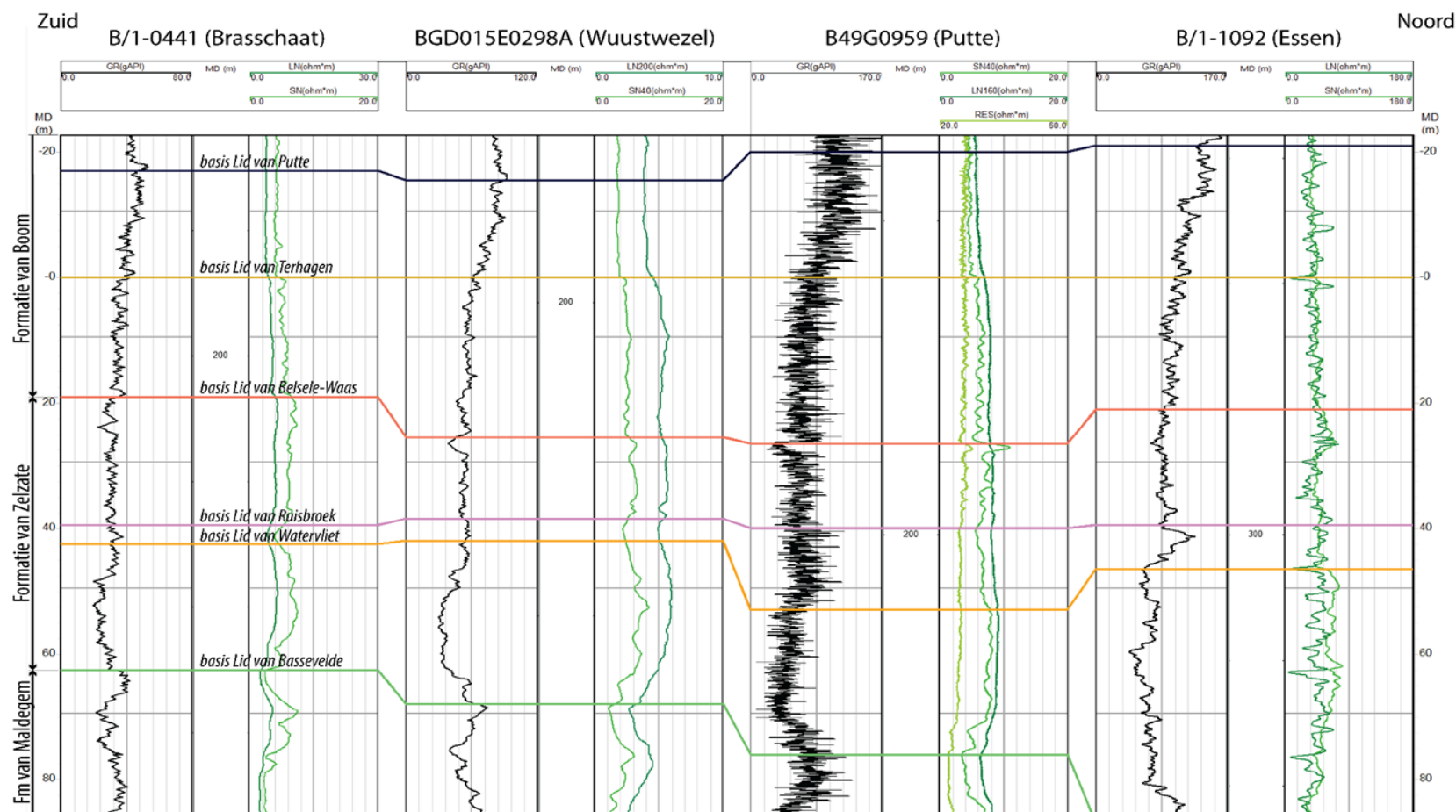
Deze modeleenheid komt voor in het gehele modelgebied. Ze helt richting het noordoosten. De dikte neemt algemeen toe in diezelfde richting waar het een maximale waarde bereikt van 175 m. Richting het westen wordt de top van de eenheid geleidelijk aan afgesneden door de bovenliggende modeleenheid van de formaties van Voort en Berchem (BE) / formaties van Veldhoven en Groote Heide (NL). Hierdoor verdunt de eenheid in het westen tot minder dan 100 m.

Het aantal boringen dat de basis doorsnijdt vermindert sterk richting het noordwesten. De onzekerheid op het model neemt daarom ook in diezelfde richting toe. De basis van deze modeleenheid is niet rechtstreeks bepaald, maar op basis van het nabijgelegen, seismisch gekarteerde kapstokvlak, genaamd *nabij basis Laagpakket van Boom (NL) / basis Lid van Terhagen van de Formatie van Boom (BE)*. Aan de hand van boorgegevens is dan een diktekaart gemaakt van het Belgische Lid van Belsele-Waas (Figuur 45), dewelke het onderste lid vormt van de Formatie van Boom (BE). Deze diktekaart kon daarna van het hierboven vermelde kapstokvlak afgetrokken worden om zo tot de basis van de formaties van Boom en Eigenbilzen (BE) / Rupel Formatie (NL) te komen. Het Lid van Belsele-Waas (BE) wordt gekenmerkt door diktes van 20 tot 28 meter in het centrale deel van het modelgebied. Dit lid is in het gehele inventarisatiegebied aanwezig en verdunt naar het zuidoosten en in sterkere mate naar het noordwesten tot 8 à 10 meter (Figuur 45). Het lid zelf vormt echter geen modeleenheid, maar behoort dus tot de onderkant van de formaties van Boom en Eigenbilzen (BE) / Rupel Formatie (NL).

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door het gebruik van seismische data (nabij de basis van deze modeleenheid). Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werd de basis van deze eenheid nog opgebouwd door diktekaarten te stapelen vanaf de basis van de onderliggende Formatie van Zelzate. Nu is de basis dus minder conceptueel opgebouwd. De verschillen tussen beide modellen zijn meestal minder dan 15 meter. Lokaal lopen deze verschillen op tot 25 meter in gebieden waar uitsluitend seismische data aanwezig zijn en geen boringen. In het uiterste noordoosten, ten noorden van het dorp Meer, is er zo een uitschieter waarbij de basis van het G3Dv3-model tot 60 meter dieper ligt dan het nieuwe model hetgeen te wijten is aan het meenemen van Nederlandse seismische data. Vanaf deze modeleenheid is ook het effect van de Paleozoïsche “koepel van Loenhout” duidelijk, hetgeen verklaard wordt in paragraaf 8.4. Het gebied ten zuidwesten en noordoosten van dit paleohoog ligt gemiddeld ongeveer 15 meter dieper dan het G3Dv3-model. Algemeen zit het nieuwe model dieper richting het noordwesten en minder diep in het (zuid)oosten dan de G3Dv3- en H3Dv2-modellen. De sterkste afwijking in het noordwesten treedt op in de regio Putte (NL) en westkant van de gemeente Kalmthout. Dit is een gevolg van het meenemen van boring Putte (B49G0959), dewelke net ten noorden van de Belgische grens ligt in Nederland en eerder dus in het G3Dv3-model ontbrak. Op basis van dateringen blijkt dat de basis van Boom daar meer dan 10 meter dieper moet liggen dan in de bestaande modellen. Omdat de top niet wijzigt, is de dikte van het Lid van Belsele-Waas daar ook meer dan 10 meter dikker geworden. Ook de boring Wuustwezel (DOV-proefnummer [B/1-0392](#)) is op basis van de interpretatie in boring Putte herzien. Een zuid-noord georiënteerd correlatiepaneel van boringen, waaronder bovenstaande, met bijhorende interpretaties is weergegeven in Figuur 46.



Figuur 45. Diktekaarten van de verschillende stratigrafische formaties en leden, ten behoeve van het bepalen van de basissen van de modeleenheden.



Figuur 46. Correlatiepaneel tussen boringen voor de onderkant van de Formatie van Boom en de Formatie van Zelzate. Deze toont aan dat het Lid van Belsele-Waas het dikst ontwikkeld is in boring Putte (NL). De top van het Lid van Belsele-Waas is overal eenduidig te correleren. De basis is echter een stuk lastiger, omdat deze ten westen van het modelgebied sterk verdunt richting een minimum van 8 meter in de biostratigrafisch onderzochte boring Doel. In deze studie is de basis van de Rupel Formatie (NL), overeenkomend met de basis van het Lid van Belsele-Waas (BE) ook biostratigrafisch bepaald geworden in boring Putte, volgens dewelke de dikte van het Lid van Belsele-Waas 28 meter moet zijn in deze boring.

## **18 Formatie van Zelzate (BE) / Formatie van Tongeren (NL)**

HCOVv2: A0400

REGIS II v2.2: TOz1

Deze modeleenheid komt voor in het gehele modelgebied. Ze helt richting het noordoosten. De dikte kent een andere trend, en neemt toe van minder dan 20 m in het zuidoosten tot meer dan 80 m in het noordwesten (zie Figuur 32). De verdunning in zuidoostelijke richting is een gevolg van interne onlap binnen de modeleenheid. De basis is via seismische data geïnterpreteerd en gemodelleerd. Het aantal boringen en de onzekerheid op het model nemen toe in noordelijke richting. In het zuiden van het modelgebied is de discordantie aan de basis van deze modeleenheid op bepaalde noordwest-zuidoost georiënteerde seismische lijnen duidelijk. Daar snijdt ze namelijk de top van de onderliggende Formatie van Maldegem (BE) / Laagpakket van Asse (NL) af in zuidoostelijke richting.

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door gebruik te maken van seismische interpretaties tijdens het modelleren. Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werd de basis van deze eenheid op basis van enkel boringen opgemaakt. Nu zijn dus extra data gebruikt waardoor deze meer detail omvat. De verschillen tussen beide modellen zijn grotendeels beperkt en zijn meestal minder dan 10 meter. Lokaal lopen deze verschillen op tot 20 meter in gebieden waar uitsluitend seismische data aanwezig zijn en geen boringen. In het uiterste noordoosten, ten noorden van het dorp Meer, is er een uitschieter waarbij de basis van het G3Dv3-model tot 55 meter dieper ligt dan het nieuwe model hetgeen te wijten is aan het meenemen van Nederlandse seismische data. Het effect van de Paleozoïsche “koepel van Loenhout”, hetgeen verklaard wordt in paragraaf 8.4, is ook duidelijk voor deze modeleenheid. Het gebied ten zuidwesten en noordoosten van dit paleohoog ligt gemiddeld ongeveer 15 meter dieper. Als we de dikte van de Formatie van Zelzate (BE) gaan vergelijken met het G3Dv3-model en H3Dv2-model, dan zien we vooral in het westen van het modelgebied, in de gemeentes Wuustwezel, Kalmthout en Kapellen, een grote zone met een 7 tot 13 meter dunnere Formatie van Zelzate. Dit heeft te maken met de interpretatie van een dikker Lid van Belsele-Waas in deze regio, dat bij de modeleenheid hierboven besproken wordt, waardoor de onderliggende Formatie van Zelzate dus dunner is geworden.

Deze modeleenheid kent geen equivalent binnen bestaande Nederlandse modellen.

## **19 Formatie van Maldegem (exclusief het Lid van Wemmel) (BE) / Laagpakket van Asse (NL)**

HCOVv2: A0500

REGIS II v2.2: DOASk1

Deze modeleenheid komt voor in het gehele modelgebied. Ze helt richting het noordoosten. De dikte kent een andere trend, en neemt toe van minder dan 40 m in het zuidoosten tot meer dan 100 m in het uiterste noorden (zie Figuur 32). De verdunning in het zuidoosten is een gevolg van het afsnijden van de top van Formatie van Maldegem (BE) / Laagpakket van Asse (NL) door de bovenliggende Formatie van Zelzate (BE) / Formatie van Tongeren (NL). Verder naar het zuidoosten, in het modelgebied van H3O-De Kempen, wordt de Formatie van

Maldegem (BE) / Laagpakket van Asse (NL) zelfs volledig weggesneden. In het noorden is de verdikking ook te wijten aan snellere subsidentie, waardoor de leden van de Formatie van Maldegem (BE) / Laagpakket van Asse (NL) hier dikker zijn afgezet dan in zuidoostelijke richting.

De basis van deze modeleenheid is niet rechtstreeks gemodelleerd, maar gebaseerd op het nabijgelegen seismisch gekarteerde kapstokvlak, genaamd *basis Lid van Urzel van de Formatie van Maldegem (BE) / Laagpakket van Asse (NL)*. Zo is er op basis van boorgegevens een diktekaart gemaakt van het Belgische Lid van Asse, dewelke gelegen is onder het seismisch gekarteerde kapstokvlak. Deze diktekaart is dan van het vermelde kapstokvlak afgetrokken om tot de basis van de Formatie van Maldegem (excl. Lid van Wemmel) (BE) / Laagpakket van Asse (NL) te komen. Het Belgische Lid van Asse is in het gehele inventarisatiegebied aanwezig en is relatief dun met een dikte tussen 2 en 7 meter. Het lid verdikt dominant richting het noordoosten (Figuur 45). Het lid zelf vormt echter geen modeleenheid, maar behoort dus tot de onderkant van de Formatie van Maldegem (excl. Lid van Wemmel) (BE) / Laagpakket van Asse (NL).

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door het gebruik van seismische data (nabij de basis van deze modeleenheid). Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werd de basis van deze eenheid uitsluitend op basis van boringen opgemaakt. Nu zijn dus extra data gebruikt waardoor deze meer detail omvat. De verschillen tussen beide modellen zijn grotendeels beperkt en meestal minder dan 10 meter. Lokaal lopen deze verschillen op tot 20 meter of iets meer in gebieden waar uitsluitend seismische data aanwezig zijn en geen boringen. In het uiterste noordoosten, ten noorden van het dorp Meer, is er een uitschieter waarbij de basis van het G3Dv3-model meer dan 30 meter dieper ligt dan het nieuwe model hetgeen een gevolg is van het nu wel meenemen van Nederlandse seismische data. Het effect van de Paleozoïsche “koepel van Loenhout”, hetgeen verklaard wordt in paragraaf 8.4, is ook duidelijk voor deze modeleenheid. Het gebied ten zuidwesten en noordoosten van dit paleohoog ligt gemiddeld ongeveer 15 meter dieper.

Voor de Formatie van Maldegem/A0500 was er Vlaamse G3Dv3- en H3Dv2-modellen een aandachtspunt (nummer 2.4) dat gelegen is in het gebied van H3O-De Voorkempen. In de regio van het Belgische dorp Meer richting het noorden was er een onrealistische dikte voor de Formatie van Maldegem (90 m en meer). Voor de huidige studie is deze onrealistische dikte uit de modellen gehaald en schommelt de dikte daar nu rond 70 m.

Deze modeleenheid kent geen equivalent binnen bestaande Nederlandse modellen.

## **20 Formaties van Gentbrugge (Lid van Vlierzele), Aalter, Brussel, Lede en het Lid van Wemmel van de Formatie van Maldegem / Laagpakket van Brussel (NL)**

HCOVv2: A0600

REGIS II v2.2: nog niet eerder onderscheiden, nieuw voorgestelde code DOBRz1

Deze modeleenheid komt voor in het gehele modelgebied. Ze helt richting het noordoosten. De dikte neemt toe van minder dan 50 m in het zuiden tot 150 m in het uiterste noorden (zie Figuur 32). De verdunning in zuidoostelijke richting lijkt



een gevolg van het verminderen van accommodatieruimte in deze richting. Nog verder naar het zuiden snijdt de basis van de Formatie van Brussel (BE) diep in de onderliggende eenheden. Binnen het modelgebied zelf is geen sprake van diepe insnijdingen voor dit pakket.

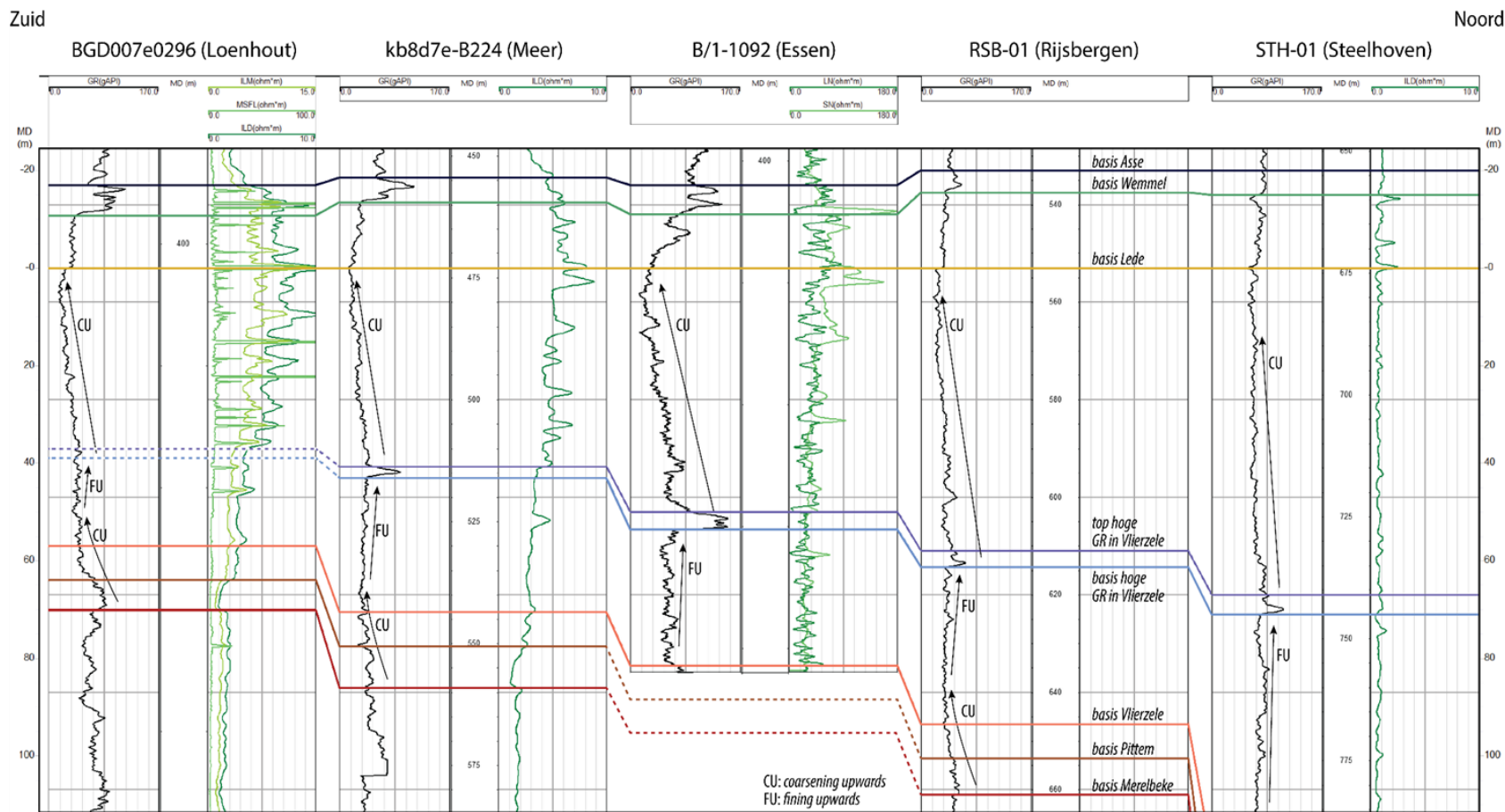
De basis van deze modeleenheid is niet rechtstreeks bepaald, maar op basis van het nabijgelegen, seismisch gekarteerde kapstokvlak, genaamd *basis nabij Laagpakket van Brussel (NL) / Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge (BE)*. Zo is er op basis van boorgegevens een diktekaart gemaakt van het Belgische Lid van Pittem dat bij het vermelde kapstokvlak wordt opgeteld om tot de basis van de modeleenheid te komen. Het Belgische Lid van Pittem is in het gehele inventarisatiegebied aanwezig en varieert tussen de 3 en de 11 meter. Het lid verdikt richting het noordwesten (Figuur 45). Het lid zelf vormt echter geen modeleenheid, maar behoort dus tot de onderliggende modeleenheid van de Formatie van Gentbrugge (leden van Merelbeke en Pittem) (BE).

Voor het H3O-De Kempen project werd deze eenheid niet via seismische data uitgekarteerd, maar op basis van een diktestapeling.

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door het gebruik van seismische data (nabij de basis van deze modeleenheid). Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werd de basis van deze eenheid uitsluitend op basis van boringen opgemaakt. Nu zijn dus extra data gebruikt waardoor deze meer detail omvat. De verschillen tussen beide modellen zijn grotendeels beperkt en zijn zelden meer dan 15 meter. Het effect van de Paleozoïsche “koepel van Loenhout”, hetgeen verklaard wordt in paragraaf 8.4, is ook duidelijk voor deze modeleenheid. Het gebied ten zuidwesten en noordoosten van dit paleohoog ligt gemiddeld meer dan 15 meter dieper. Het belangrijkste verschil tussen nieuwe en bestaande modellen treedt echter op in het uiterste noordwesten, in de regio van het dorp Essen. Hier loopt het verschil tussen de basissen van beide modellen op tot meer dan 40 meter. Dit is te wijten aan een herziening van de basissen van de leden van de Formatie van Gentbrugge (BE) in boring Essen (DOV-proefnummer: [B/1-1092](#)).

Een niveau van enkele meters dikte met hoge gammastraling dat destijds als het Lid van Merelbeke van de Formatie van Gentbrugge (BE) werd aanzien, is nu geherinterpreteerd als een intern niveau middenin het Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge (BE). Dit niveau met hoge gammastraling is ook in andere boringen in de omgeving geobserveerd binnen de Formatie van Gentbrugge (zie Figuur 47). De basis van het Lid van Vlierzele wordt nu helemaal onderin boring Essen geïnterpreteerd, zo'n 33 meter dieper dan waar deze voorheen werd geïnterpreteerd. Deze aanpassing heeft ook een grote invloed op het dikteverloop van de onderliggende twee modeleenheden.

Deze modeleenheid kent geen equivalent binnen bestaande Nederlandse modellen.



Figuur 47. Correlatiepaneel tussen boringen voor de Formatie van Gentbrugge van zuid naar noord over het modelgebied. Deze toont het pakket met hoge gammastraling (tussen de blauwe lijnen) binnen het Lid van Vlierzele (BE), hetgeen in de boring Essen (centraal op dit profiel) bij interpretaties in functie van het G3Dv3-model en H3Dv2-model nog werd aanzien als het Lid van Merelbeke. Deze herziening leidt tot een consistentere diepte- en dikteverloop van de formaties van Gentbrugge en Tiel/Hyon aan en nabij deze boring. CU = coarsening upwards; FU = fining upwards.

## 21 Formatie van Gentbrugge (leden van Merelbeke en Pittem) (BE)

HCOVv2: A0700

REGIS II v2.2: DOIEk1

Deze modeleenheid is lithostratigrafisch enkel gekend in België en sluit aan bij het bovenste deel van het Nederlandse Laagpakket van Ieper van de Formatie van Dongen. Ze komt voor in het gehele modelgebied. Ze helt richting het noordoosten. De dikte varieert tussen 7 en 20 m, waarbij een verdikking optreedt richting het noordwesten (zie Figuur 32). De regio met een dikte van minder dan 10 m is lokaal en bevindt zich in het zuidoosten van het modelgebied. De verdunning is ten gevolge van minder accommodatieruimte richting het zuidwesten en in de regio waar deze eenheid het dunste is, treedt ook lokale insnijding op door de bovenliggende modeleenheid. Ten het oosten van het modelgebied, in het H3O-De Kempen modelgebied, verdwijnt deze eenheid richting het oosten.

De basis van deze modeleenheid is niet rechtstreeks bepaald, maar op basis van het nabijgelegen, seismisch gekarteerde kapstokvlak, genaamd *basis nabij Laagpakket van Brussel (NL) / Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge (BE)*. Zo is er op basis van boorgegevens een diktekaart gemaakt van het hieronder liggende Belgische Lid van Merelbeke. Deze diktekaart is dan bij het vermelde kapstokvlak afgetrokken om tot de basis van de modeleenheid te komen. Het Belgische Lid van Merelbeke is in het gehele modelgebied aanwezig en kent een maximale dikte van 9 meter in de oostelijke grensregio van het modelgebied. Dit lid verdunt naar het zuiden naar een dikte van ongeveer 3 meter (Figuur 45). Het lid zelf vormt echter geen modeleenheid, maar behoort dus tot deze van de Formatie van Gentbrugge (BE).

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door het gebruik van seismische data (nabij de basis van deze modeleenheid). Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werd de basis van deze eenheid op basis van enkel boringen opgemaakt. Nu zijn dus extra data gebruikt waardoor deze meer detail omvat. De verschillen tussen beide modellen zijn grotendeels beperkt en zijn zelden meer dan 15 meter. Het effect van de Paleozoïsche "koepel van Loenhout", hetgeen verklaard wordt in paragraaf 8.4, is ook duidelijk voor deze modeleenheid. Het gebied ten zuidwesten en noordoosten van dit paleohoog ligt gemiddeld meer dan 15 meter dieper. Het belangrijkste verschil tussen nieuwe en bestaande modellen treedt echter op in het uiterste noordwesten, in de regio van het dorp Essen. Hier loopt het verschil tussen de basissen van beide modellen op tot meer dan 40 meter. Zoals hierboven reeds vermeld werd, is dit te wijten aan een herziening van de basissen van de leden van de Formatie van Gentbrugge (BE) in boring Essen (DOV-proefnummer: [B/1-1092](#)). De basis van de Formatie van Gentbrugge (BE) zelf wordt niet bereikt in boring Essen, en zou op basis van correlatie met andere boringen ongeveer 40 meter dieper moeten liggen dan bij de interpretatie in functie van de G3Dv3- en H3Dv2-modellen (Figuur 47).

Deze modeleenheid sluit aan Nederlandse zijde aan bij de nieuw onderscheiden hydrogeologische modeleenheid DOIEk1.

## 22 Formaties van Tielt en Hyon (BE)

HCOVv2: A0800

REGIS II v2.2: Nog niet eerder onderscheiden, nieuw voorgestelde code DOIEk2

Deze modeleenheid is lithostratigrafisch enkel gekend in België en sluit aan bij het basale deel van het Nederlandse Laagpakket van Ieper van de Formatie van Dongen. Ze komt voor in het gehele modelgebied. Ze helt richting het noordoosten. De dikte varieert tussen een minimum van 18 meter in het uiterste zuidoosten tot een maximum van 50 meter in het westen en noorden van het modelgebied (zie Figuur 32). Er is dus sprake van een algemene verdunning richting het zuidoosten. De basis van deze modeleenheid wordt bepaald door de dikte van de onderliggende Formatie van Kortrijk (BE) bij de diepte van het kapstokvlak *Basis Laagpakket van Ieper (NL) / Formatie van Kortrijk (BE)* op te tellen. De Formatie van Kortrijk is relatief dik met een variatie tussen 92 en 112 meter, waarbij een algemene verdikking optreedt naar het noorden toe (Figuur 45).

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door het gebruik van seismische data voor de *Basis Laagpakket van Ieper (NL) / Formatie van Kortrijk (BE)*, waarop de basis van deze eenheid gestapeld werd. Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werd de basis van deze eenheid op basis van enkel boringen opgemaakt. Nu zijn dus extra data gebruikt waardoor deze meer detail omvat. In de meeste gebieden blijven de verschillen tussen de basissen voor beide modellen beperkt tot maximaal een 15-tal meter. Echter in de noordoostelijke grensregio, ten noorden van het dorp Meer, en centraal in het zuiden, in de gemeentes Brecht en Malle, lopen de verschillen lokaal op tot meer dan 20 meter. Dit zijn gebieden waar geen boringen, maar wel seismische data aanwezig zijn. Ten noorden van het dorp Meer ligt de basis nu minder diep terwijl deze in Brecht en Malle dieper ligt dan bij het G3Dv3-model en H3Dv2 model. Voornamelijk in de regio Brecht en Malle leiden lokale inzakkingen gerelateerd aan karstputten in het Dinantiaan (Figuur 33) vanaf deze eenheid ertoe dat het nieuwe model lokaal zelfs tot meer dan 30 meter dieper komt te liggen dan de voorgaande modellen (zie ook paragraaf 8.4).

Voor deze Vlaamse G3Dv3- en H3Dv2-modellen van de formaties van Hyon en Gentbrugge/A0801 was er een aandachtspunt (nummer 2.5) dat gelegen is in het modelgebied van H3O-De Voorkempen. In de regio van het Belgische dorp Essen richting het noordwesten was er een onrealistische dikte tot 100 m voor de formaties van Hyon en Gentbrugge/A0801. Deze onrealistische dikte is er nu uitgehaald. Nu bedraagt de dikte in deze regio 40 tot 45 meter hetgeen veel beter past in de regionale diktetrend. Deze aanpassing is te wijten aan de herinterpretatie van de basis van de Formatie van Gentbrugge (BE) in boring Essen (DOV-proefnummer: [B/1-1092](#)) zoals bij de modeleenheden hierboven beschreven wordt. Deze basis werd destijds onderin de boring geïnterpreteerd, maar aan de hand van de herziene interpretatie, blijkt deze niet bereikt in deze boring. Het ietwat kleiige niveau dat destijds als de basis van de Formatie van Gentbrugge (BE) werd aanzien, blijkt nog een intern niveau te zijn middenin het Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge (BE) dat ook in andere boringen is geobserveerd (Figuur 47). Hierdoor zal de basis van deze laatste formatie ongeveer 40 meter dieper komen te liggen, waardoor de dikte van de onderliggende Formatie van Tielt/Hyon (BE) ook ongeveer 40 meter dunner wordt op deze locatie dan het geval is bij het

G3Dv3-model en H3Dv2-model, en dus realistischer ten opzichte van omliggende diktes.

Deze modeleenheid sluit aan Nederlandse zijde aan bij de nieuw onderscheiden hydrogeologische modeleenheid DOIEk2.

### **23 Formatie van Kortrijk (BE)**

HCOVv2: A0920

REGIS II v2.2: Nog niet eerder onderscheiden, nieuw voorgestelde code DOIEk3

Deze modeleenheid is lithostratigrafisch enkel gekend in België en heeft geen Nederlands equivalent waar het onderdeel uitmaakt van het Laagpakket van Ieper van de Formatie van Dongen. Het diepteverloop wordt gekenmerkt door een verdieping naar het noordoosten. De dikte is behoorlijk uniform aangezien het slechts varieert tussen 110 m in het noorden naar minder dan 95 m in het zuidoosten (zie Figuur 32). De eenheid kent dus een geleidelijke verdikking richting het noorden. De basis van de eenheid is, net zoals bij H3O-De Kempen, seismisch geïnterpreteerd en gemodelleerd. De top is aangemaakt door een stapeling van een diktekaart op die basis. De diktekaart is opgemaakt op basis van boorgegevens.

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door het gebruik van seismische data. Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werd de basis van deze eenheid uitsluitend op basis van boringen opgemaakt. Nu zijn dus extra data gebruikt waardoor deze meer detail omvat. Net zoals voor de bovenliggende modeleenheden blijven de verschillen tussen de basissen voor beide modellen in de meeste gebieden beperkt tot maximaal een 15-tal meter, maar lopen deze in de noordoostelijke grensregio, ten noorden van het dorp Meer, en centraal in het zuiden, in de gemeentes Brecht en Malle, lokaal op tot meer dan 20 meter. Dit zijn gebieden waar geen boringen, maar wel seismische data aanwezig zijn. Ten noorden van het dorp Meer ligt de basis nu minder diep, terwijl deze in Brecht en Malle dieper ligt dan bij het G3Dv3-model en H3Dv2 model. In de regio Brecht en Malle leiden lokale inzakkingen gerelateerd aan karstputten in het Dinantiaan (Figuur 33) ertoe dat het nieuwe model lokaal zelfs tot meer dan 30 meter dieper komt te liggen dan de voorgaande modellen (zie ook paragraaf 8.4).

Deze modeleenheid sluit aan Nederlandse zijde aan bij de nieuw onderscheiden hydrogeologische modeleenheid DOIEk3.

### **24 Formatie van Tienen (BE) / Laagpakket van Oosteind (NL)**

HCOVv2: A1011

REGIS II v2.2: Nog niet eerder onderscheiden, nieuw voorgestelde code DOOOz1

De eenheid komt voor in het gehele modelgebied uitgezonderd het uiterste zuidoosten. Richting het modelgebied van H3O-De Kempen, in de regio rond de stad Mol, zijn er namelijk boringen waarin deze eenheid niet vastgesteld werd. Ook op seismische data kon vastgesteld worden dat deze eenheid over korte afstand verdunt in het zuidoosten (zie Figuur 32). De dikte varieert meestal rond 15-20 m in de rest van het modelgebied. Er is een trend van noordwaartse verdunning van het maxima van boven 20 m in het zuiden naar 10 m in het uiterste noorden van het modelgebied.

De top van de eenheid is seismische gekarteerd als kapstokvlak genaamd basis Laagpakket van Ieper (NL) / Formatie van Kortrijk (BE). De basis van deze modeleenheid is bepaald door de diktekaart van deze eenheid, opgebouwd op basis van boorgegevens, af te trekken van de seismisch gemodelleerde top.

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door het gebruik van seismische data voor de opmaak (van de top ervan). Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werden de basis en top van deze eenheid op basis van enkel boringen opgemaakt. Nu zijn dus extra data gebruikt waardoor deze meer detail omvat. Door de integratie van Nederlandse boorgegevens zit er in het dikteraster nu ook een trend van noordwaartse verdunning, wat niet het geval was bij de G3Dv3- en H3Dv2-modellen waarin een duidelijke trend ontbrak. Net zoals voor de bovenliggende modeleenheden blijven de verschillen tussen de basissen voor beide modellen in de meeste gebieden beperkt tot maximaal een 15-tal meter, maar lopen deze in de noordoostelijke grensregio, ten noorden van het dorp Meer, en centraal in het zuiden, in de gemeentes Brecht en Malle, lokaal op tot meer dan 20 meter. Dit zijn gebieden waar geen boringen, maar wel seismische data aanwezig zijn. Ten noorden van het dorp Meer ligt de basis nu minder diep terwijl deze in Brecht en Malle dieper ligt dan bij het G3Dv3-model en H3Dv2 model. Voornamelijk in de regio Brecht en Malle leiden ook lokale inzakkings gerelateerd aan karstputten in het Dinantiaan (Figuur 33) ertoe dat het nieuwe model lokaal zelfs tot meer dan 30 meter dieper komt te liggen dan de voorgaande modellen (zie ook paragraaf 8.4).

Deze modeleenheid sluit aan Nederlandse zijde aan bij de nieuw onderscheiden geologische modeleenheid DOOO en de hydrogeologische modeleenheid DOOOz1.

## **25 Formatie van Hannut (BE) / laagpakketten Reusel en Liessel - Formatie van Landen (NL)**

HCOVv2: A1013+A1020

REGIS II v2.2: Nog niet eerder onderscheiden, nieuw voorgestelde code LARELIK1

Deze eenheid komt voor in het gehele modelgebied. Het diepteverloop wordt gekenmerkt door een verdieping naar het noordoosten. Er zit een trend in van sterke verdunning van meer dan 120 m in het zuidoosten tot minder dan 40 m in het noordwesten. Tijdens de afzetting bevond er zich namelijk een depocenter in het oosten van Vlaanderen waar eenheden zich dikker konden ontwikkelen. De sterkste verdikking van 70 m naar meer dan 120 m vindt plaats vanaf de lijn tussen Oostmalle en Merksplas richting het zuidoosten (zie Figuur 32). Dit is ook de regio waar de Formatie van Tienen (BE) / Laagpakket van Oosteind (NL) verdwijnt. Verder naar het noordwesten is de verdunning geleidelijker.

De basis van deze eenheid is seismisch gemodelleerd en de top valt samen met de basis van de Formatie van Tienen (BE) / Laagpakket van Oosteind (NL) die niet seismische gekarteerd is, maar via dikte gestapeld werd onder de seismisch gemodelleerde basis van de Formatie van Kortrijk (BE).

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door het gebruik van seismische data voor de opmaak ervan. Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werd de basis van deze eenheid op basis van enkel boringen opgemaakt. Nu zijn dus extra data gebruikt waardoor deze meer detail omvat.

Net zoals voor de bovenliggende modeleenheden blijven de verschillen tussen de basissen voor beide modellen in de meeste gebieden beperkt tot maximaal een 15-tal meter, maar lopen deze in de noordoostelijke grensregio, ten noorden van het dorp Meer, en centraal in het zuiden, in de gemeentes Brecht en Malle, lokaal op tot meer dan 20 meter. Dit zijn gebieden waar geen boringen, maar wel seismische data aanwezig zijn. Ten noorden van het dorp Meer ligt de basis nu minder diep terwijl deze in Brecht en Malle dieper ligt dan bij het G3Dv3-model en H3Dv2 model. Voornamelijk in de regio Brecht en Malle leiden ook lokale inzakkings gerelateerd aan karstputten in het Dinantiaan (Figuur 33) ertoe dat het nieuwe model op deze locaties sterk dieper komt te liggen dan de voorgaande modellen, met zelfs een uitschieter van meer dan 40 meter (zie ook paragraaf 8.4).

Deze modeleenheid sluit aan Nederlandse zijde aan bij de nieuw onderscheiden geologische modeleenheid LARELI en de hydrogeologische modeleenheid LARELIk1.

## **26 Formatie van Heers (BE) / laagpakketten van Gelinden en Orp - Formatie van Landen (NL)**

HCOVv2: A1030

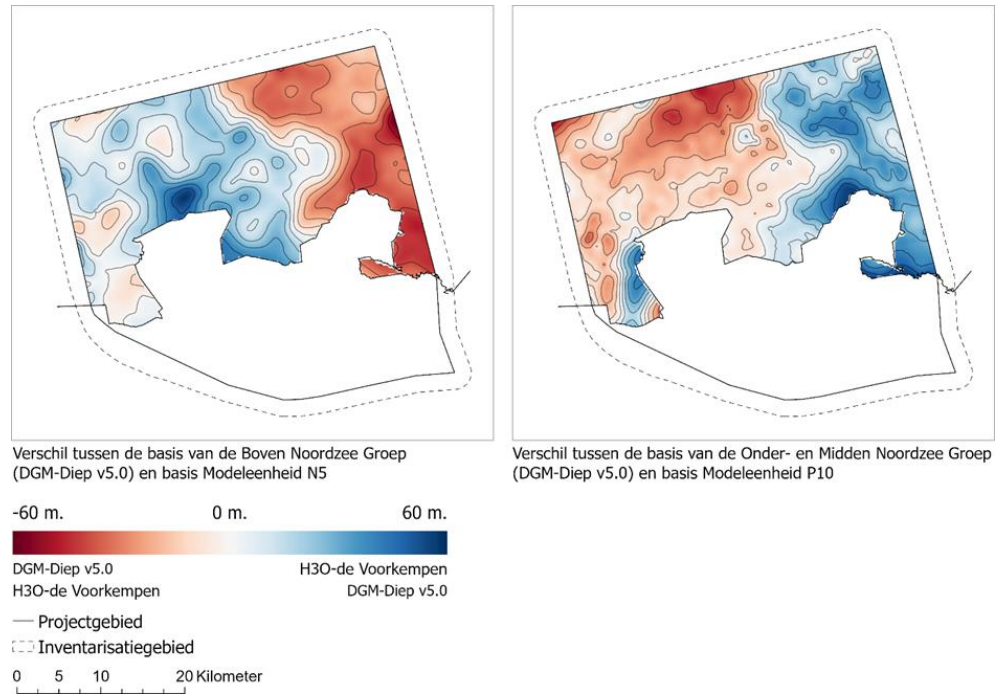
REGIS II v2.2: Nog niet eerder onderscheiden, nieuw voorgestelde code LAGEORc

Deze eenheid komt voor in het gehele modelgebied. Het diepteverloop wordt gekenmerkt door een verdieping naar het noordoosten. De dikte kent een vermindering van 22 m in het zuidoosten naar 7 m in het uiterste westen van het modelgebied (zie Figuur 32). Tijdens de afzetting bevond er zich namelijk een depocenter in het oosten, of westelijke rand van de Roerdalslenk, en was het Massief van Brabant in het zuidwesten een relatief hoog (Deckers & Matthijs, 2015).

De top van deze eenheid is seismisch gemodelleerd als kapstokvlak genaamd basis laagpakketten Reusel en Liessel van de Formatie van Landen (NL) / Formatie van Hannut (BE). De basis is opgemaakt door een dikteraster, opgebouwd op basis van boorgegevens, af te trekken van het seismisch gemodelleerde kapstokvlak. In het H3O-De Kempen project werd de basis van deze eenheid zelf nog seismische geïnterpreteerd, maar door de trend van westwaartse verdunning valt deze nu in het westen buiten de seismische resolutie.

Ten opzichte van het G3Dv3-model en H3Dv2-model is de basis nu wat gewijzigd door het gebruik van seismische data voor de opmaak (van de top ervan). Voor de G3Dv3- en H3Dv2-modellen werden de basis en top van deze eenheid op basis van enkel boringen opgemaakt. Nu zijn dus extra data gebruikt waardoor deze meer detail omvat. Net zoals voor de bovenliggende modeleenheden blijven de verschillen tussen de basissen voor beide modellen in de meeste gebieden beperkt tot maximaal een 15-tal meter, maar lopen deze in de noordoostelijke grensregio, ten noorden van het dorp Meer, en centraal in het zuiden, in de gemeentes Brecht en Malle, lokaal op tot meer dan 20 meter. Dit zijn gebieden waar geen boringen, maar wel seismische data aanwezig zijn. Ten noorden van het dorp Meer ligt de basis nu minder diep terwijl deze in Brecht en Malle dieper ligt dan bij het G3Dv3-model en H3Dv2 model. Voornamelijk in de regio Brecht en Malle leiden ook lokale inzakkings gerelateerd aan karstputten in het Dinantiaan (zie figuur 3) ertoe dat het nieuwe model op deze locaties sterk dieper komt te liggen dan de voorgaande modellen, met zelfs een uitschieter van meer dan 40 meter (zie ook paragraaf 8.4).

De basis van de modelleenheid komt overeen met de basis van de Onder- en Midden Noordzee Groep van DGM-Diep v5.0. De verschillen tussen deze basissen lopen lokaal op tot 60 meter (Figuur 48). Dit kan onder andere verklaard worden door het gebruik van een ander snelheidsmodel ten opzichte van DGM-Diep v5.0.



Figuur 48. Verschillen tussen de basissen van twee modelleenheden binnen H30-De Voorkempen en DGM-Diep v5.0.



## 9 Conclusies en aanbevelingen

### 9.1 Conclusies

De algemene doelstelling van het project H3O-De Voorkempen is:

“Het verhelpen van aansluitproblemen tussen de bestaande geologische en hydrogeologische lagenmodellen van Nederland en Vlaanderen”.

Specifiek wordt de doelstelling als volgt beschreven: “Het gezamenlijk samenstellen van 3D geologische en daarop gebaseerde hydrogeologische lagenmodellen van het Cenozoïcum van het Nederlandse en Vlaamse deel van het projectgebied de Voorkempen, op basis van de meest recente gegevens, kennis en inzichten, zodanig dat deze modellen een consistent geheel vormen en door Vlaamse en Nederlandse partijen beschouwd worden als state-of-the-art modellen van dit gebied. De modellen dienen zo goed mogelijk aan te sluiten op bestaande referentiemodellen, zoals de G3Dv3- en H3Dv2-modellen in Vlaanderen, de modellen DGM, DGM-diep en REGIS II in Nederland, alsook op de modellen van de projecten H3O-De Kempen en H3O-Roerdalslenk Noordwest. Door voortschrijdende inzichten valt het echter niet uit te sluiten dat er voor bepaalde eenheden (zoals de kleien binnen de Formatie van Waalre) een afwijking zal zijn ten opzichte van voorgaande projectresultaten.”

In het licht van deze doelstelling kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Ten behoeve van de (hydro)geologische modellering van de ondergrond in de Belgisch-Nederlandse grensstreek is een grensoverschrijdend 3D (hydro)geologisch model samengesteld van het Cenozoïcum in het grensgebied van West-Brabant en de Noorderkempen (projectgebied De Voorkempen). Dit model is gebaseerd op de meest recente gegevens, kennis en inzichten. Het vormt een consistent geheel van Belgische en Nederlandse stratigrafische eenheden in het modelgebied. Hierdoor zijn aansluitingsproblemen tussen de bestaande geologische en hydrogeologische lagenmodellen van Nederland en Vlaanderen verholpen.
- Afwijkend van voorgaande H3O-projecten in de Belgische-Nederlandse grensstreek, zijn in de Belgische en Nederlandse deelgebieden de landseigen (hydro)stratigrafische indelingen aangehouden bij de interpretatie van boringen en seismiek. Ook is de modellering van de ondiepe modeleenheden per deelgebied uitgevoerd waarbij de bestaande workflows van VITO en TNO zijn gebruikt. Deze vernieuwde werkwijze, die erop gericht was om ervaring op te doen voor een toekomstgerichte, duurzame afstemming van de landelijke referentiemodellen, is goed uitvoerbaar gebleken en levert kwaliteitsvolle modellen op van vergelijkbare kwaliteit als de voorgaande H3O-projecten. Het blijkt bovendien heel wat winst in efficiëntie te hebben ten opzichte van de methodieken die gehanteerd werden in voorgaande H3O-projecten:
  - Het behouden van landseigen (hydro)stratigrafie maakt de interpretatie en modellering eenvoudiger voor de uitvoerder die beter bekend is met de eigen (hydro)stratigrafie.

- Ook dient hiervoor geen (hydro)stratigrafische herinterpretatie in het eigen land te gebeuren in tegenstelling tot in voorgaande grensoverschrijdende H3O-projecten, wat tijd bespaart.
  - Door het gebruik van identieke modelleertechnieken, laat het een betere aansluiting toe met de bestaande en toekomstige landelijke referentiemodellen.
  - De modelleur is beter bekend met de eigen workflow, wat tijd bespaart ten opzichte van te moeten leren werken met een andere workflow.
- Een nadeel van deze aanpak is dat er voor de modellering verschillende methodieken gehanteerd worden aan weerszijden van de grens die resulteren in verschillende kaartbeelden (zie volgende bullet).
- De bestaande ondiepe workflows van VITO en TNO verschillen namelijk significant. De workflow van VITO gaat uit van een handmatig geïnterpreteerd isohypsenbeeld van de basis of dikte van een modeleenheid waarbij, afhankelijk van de kwaliteit en spreiding, datapunten in meer of mindere mate worden gehonoreerd. De ondiepe workflow van TNO gaat uit van een geostatistische modellering van de top, basis en/of dikte van de modeleenheid waarbij betrouwbaar geachte datapunten worden gehonoreerd. Alleen daar waar de datadichtheid te gering is in relatie tot de complexiteit van de (hydro)geologische opbouw worden, ter voorkoming van artefacten, op basis van geologische kennis steunpunten toegevoegd om het ruimtelijke beeld te sturen. Dit verschil in methodiek is inherent aan de onafhankelijkheid van de Vlaamse en Nederlandse karterprogramma's, en komt in beperkte mate ook tot uitdrukking in verschillen langs de grens in de gecombineerde kaartbeelden. Er moet hier benadrukt worden dat deze verschillen langs de grens niet (altijd) een geologische betekenis hebben, noch beschouwd dienen te worden als een aansluitingsprobleem maar slechts voortkomen uit dit verschil in methodiek.

Belangrijke aanpassingen ten opzichte van eerdere modellen in het projectgebied zijn:

#### **G3Dv3 en H3Dv2:**

- Ten opzichte van de G3Dv3- en H3Dv2-modellen zijn het Neogeen en Quartair nu verder gedifferentieerd. Zo wordt voor deze modellen het nieuwe, informele lid van Ravels apart gemodelleerd, worden de leden van de Formatie van Weelde gedifferentieerd, en worden ook de formaties van Kasterlee en Kattendijk elk individueel onderscheiden. Ook is de consistentie van de stratigrafische interpretaties in boringen verbeterd, met inachtneming van de actuele lithostratigrafische definities. Verder liggen de nieuwe modellen van het Neogeen en Quartair behoorlijk in lijn met de voorgaande modellen.
- Ten opzichte van de G3Dv3- en H3Dv2-modellen is het Paleogeen minder gedifferentieerd. Hier zijn nu slechts de geologische formaties of groepen van formaties en hydrogeologische hoofdeenheden gemodelleerd, terwijl dit bij de eerdere modellen nog tot op lidniveau of sub/basiseenheid was. Dit omdat er in Nederland nog geen dergelijk detailniveau bestaat voor het Paleogeen.
- Daar staat tegenover dat het Paleogeen nu – naast boringen – ook op basis van seismische data is gemodelleerd, wat voor meer detail in de modelvlakken zorgt, en op die plaatsen van extra data dan ook een afwijkend maar verbeterd, resultaat geeft ten opzichte van de voorgaande modellen. Deze verbeteringen bevinden zich met name in het oostelijke en centrale Belgische deel van het

modelgebied aangezien er amper seismische data aanwezig zijn in het westelijke deel.

#### **DGM-diep v5.0:**

- Ten opzichte van het model DGM-diep v5.0, dat de Nederlandse ondergrond beschrijft op regionale schaal, op het niveau van (sub)groep, is het paleogene interval gedifferentieerd. Dit interval, van de basis van het klastische deel van het Cenozoïcum tot de basis van de Formatie van Breda (NL), is binnen DGM-diep v5.0 één modeleenheid. Binnen het project H3O-De Voorkempen bestaat dit interval uit elf modeleenheden.
- De verschillen tussen H3O-De Voorkempen en DGM-diep v5.0 kunnen worden verklaard door veranderende inzichten over de diepteligging van stratigrafische niveaus op basis van interpretatie van boringen en seismische data. Tevens heeft het gebruik van een ander snelheidsmodel binnen het project H3O-De Voorkempen ten opzichte van DGM-Diep v5.0 ook invloed op de uiteindelijke diepteligging van de seismische gekarteerde equivalenten van de cenozoïsche horizons van DGM-diep v5.0.

#### **DGMv2.2 en REGIS II v2.2**

- De modelresultaten vormen verbeteringen en detailleringen van de bestaande (hydro)geologische modellen DGM v2.2 en REGIS II v2.2. Verbeteringen betreffen het verhelpen van de reeds bekende, in het gebied aanwezige aandachtspunten van beide modellen en het verhelpen van inconsistenties in de stratigrafische en hydrogeologische interpretaties van de boringen. De detailleringen kunnen vooral worden toegeschreven aan de uitbreiding van de selectieset van gebruikte boringen en op het interpreteren en modelleren van de afzonderlijke laagpakketten en de daarbinnen onderscheiden hydrogeologische eenheden van de formaties van Oosterhout (NL) en Waalre (NL) en de nieuw voorgestelde, maar nog niet formeel geaccepteerde formaties van Diessen en Groote Heide (NL).

Met betrekking tot de beschikbare basisgegevens:

- In het inventarisatiegebied zijn veel boringen met een diepte tussen 20m en 100m buiten de selectie gelaten. Deze boringen, waarvan een deel gelegen is in gebieden met een lage dichtheid aan boringen, voldoen niet aan de gewenste minimale kwaliteit en zouden, indien wel meegenomen, een negatief effect op de modelresultaten hebben gehad. De voornaamste reden dat ze niet voldoen aan de minimale kwaliteitseisen is het gebrek aan (detail in de) boorbeschrijving. Soms wordt er voor deze boringen zelfs maar enkel een interpretatie meegegeven, zonder beschrijving van de sedimenten.
- In het oog springende gebieden met een lage dichtheid aan boringen zijn het Nederlandse gebied ten zuiden van Breda en het Nederlandse gebied ten noorden van de Belgische gemeente Essen. Van deze gebieden zijn geen aanvullende boringen van voldoende kwaliteit en einddiepte beschikbaar.
- Het westelijke deel van het Belgische modelgebied heeft een lage dichtheid aan zowel seismiek als diepe boringen. Ook is de kwaliteit van deze gegevens laag. Hierdoor is het model van de paleogene eenheden in deze regio minder betrouwbaar dan in andere delen van het modelgebied.

Met betrekking tot de geologische structuur:

- Door nieuw verkregen inzichten uit palynologisch onderzoek is het mogelijk gebleken om het Laagpakket van Ieper van de Formatie van Dongen (NL) in Nederland verder onder te verdelen volgens de Belgische stratigrafie. In België worden de overeenkomstige afzettingen onderverdeeld in vier formaties: de formaties van Kortrijk, Tielt en Hyon (BE) en het onderste deel (de leden van Merelbeke en Pittem) van de Formatie van Gentbrugge (BE). In dit project is het Laagpakket van Ieper (NL) onderverdeeld in drie modeleenheden, overeenkomstig de modeleenheden binnen het project H3O-De Kempen.
- Het inzicht is verbeterd in het verloop van de hoekdiscordantie aan de basis van de Formatie van Zelzate (BE) / Tongeren (NL). In het zuiden van het modelgebied, in het Belgische deel, is deze hoekdiscordantie duidelijk zichtbaar op seismiek. Hierbij worden de onderliggende, jongste delen van de Formatie van Maldegem (BE) / Laagpakket van Asse (NL) richting het zuidoosten weggesneden. Richting het noorden, in het Nederlandse deel van het modelgebied, wordt deze hoekdiscordantie veel minder duidelijk en verdwijnt tenslotte. Hier wordt de onderliggende Formatie van Maldegem (BE) / Laagpakket van Asse (NL) dan ook niet meer ingesneden, maar vermoedelijk min of meer conform bedekt door de Formatie van Zelzate (BE) / Tongeren (NL).
- Door de integratie van het gebruik van boringen, seismiek en palynologisch onderzoek is het inzicht verbeterd in het verloop van de complexe mio-pliocene afzettingen in de grensstreek. Ten zuiden van de landsgrens is het Mioceen nog behoorlijk dik, maar net ten noorden van deze grens begint het bovenste Mioceen sterk te verdunnen naar het noordwesten. Hierdoor kon het Plioceen zich in Nederlandse deel van het modelgebied het Plioceen veel dikker ontwikkelen dan in het Belgische deel, en kunnen er daar ook meer lithostratigrafische eenheden onderscheiden worden.
- Ook het Laagpakket van Sprundel van de Formatie van Oosterhout (NL), een pakket dat vanwege de doorlatendheid een belangrijke aquifer vormt, is voor het eerst gemodelleerd. De zuidelijke begrenzing van dit laagpakket kon binnen dit project maar ten dele worden vastgesteld en loopt over de lijn Bergen op Zoom – Essen – Baarle-Nassau/Baarle Hertog. De kartering dient in westelijke, noordelijke en oostelijke richting te worden voortgezet om de volledige begrenzing van dit laagpakket te kunnen vaststellen.
- Voor het eerst zijn de leden van Rijkevorsel en Turnhout van de Formatie van Weelde (BE) en de laagpakketten van Hoogerheide en Woensdrecht van de Formatie van Waalre (NL) op regionale schaal gemodelleerd (BE & NL) of zelfs maar uitgekarteerd (NL). Hierdoor is een beter en consistentere beeld verkregen van de lithologische veranderingen die binnen de Formatie van Weelde / Waalre optreden: van fluviatiele afzettingen landinwaarts in het oosten, bijv. in de vorm van vette komklei, naar estuariene afzettingen meer zeewaarts in het westen. Kwalitatief goede boringen, in de vorm van steekboringen of met boorgatmetingen, zijn een vereiste om deze kartering optimaal uit te kunnen voeren; van dergelijke boringen zijn er maar relatief weinig beschikbaar binnen het modelgebied.

## 9.2 Aanbevelingen

### *Protocol*

Periodiek worden nieuwe versies van de Vlaamse en Nederlandse (hydro)geologische referentiemodellen uitgebracht. Gezien de onafhankelijkheid van de Vlaamse en Nederlandse karterprogramma's wordt aanbevolen om een gezamenlijk protocol op te stellen dat bij deze revisies wordt gevolgd om de gewestelijke/landelijke referentiemodellen ook in de toekomst, in zoverre mogelijk, proberen consistent te houden langs de grens.

### *Harmoniseren Belgische en Nederlandse (hydro)stratigrafische indelingen*

Thans worden binnen Vlaanderen en Nederland de landseigen geologische en hydrogeologische coderingen en modellen zoveel als mogelijk op elkaar afgestemd. Daarbij zijn de geologische modellen gebaseerd op de formele lithostratigrafie zoals gedefinieerd door de Belgische en Nederlandse stratigrafische commissies. Deze commissies focussen in eerste instantie op de landseigen stratigrafie, en het onderling afstemmen en harmoniseren van de Belgische en Nederlandse lithostratigrafische eenheden in de grensstreek heeft daarbij lagere prioriteit. Dit afstemmen en harmoniseren is echter een belangrijke vereiste voor de goede aansluiting van de referentiemodellen langs de grens; daarom wordt aanbevolen om de stratigrafische commissies te vragen om deze taak op zich te nemen en voortvarend uit te voeren.

De Vlaamse en Nederlandse hydrogeologische codering en modellering worden beheerd en gepubliceerd door respectievelijk VMM en TNO. Aanbevolen wordt om deze indeling af te stemmen in de grensstreek, deze te harmoniseren, en de aldus verkregen consistentie nadien te blijven bewaken.

Idealiter zou dit resulteren in een compleet, bij voortschrijdend inzicht periodiek geactualiseerd overzicht van de stratigrafische en hydrostratigrafische eenheden die in de grensstreek voorkomen met hun corresponderende equivalenten uit het buurland.

### *Verwerken modelresultaten in landelijke referentiemodellen*

De H3O-projecten hebben tot doel om de Vlaamse en Nederlandse (hydro)geologische referentiemodellen langs de grens op elkaar aan te laten sluiten. Om dit te kunnen bereiken dienen de modelresultaten van de achtereenvolgende H3O-projecten in deze referentiemodellen verwerkt te worden. In Vlaanderen is een dergelijke integratieslag reeds uitgevoerd voor de resultaten van de H3O-projecten Roerdalslenk en De Kempen, in Nederland voor H3O-Roerdalslenk. De integratieslag voor de overige H3O-projecten, inclusief het huidige project, zal voor de Vlaamse en Nederlandse modellen ten vroegste in de loop van 2024 kunnen starten. Aanbevolen wordt om hiervoor in samenspraak een plan van aanpak uit te werken waarbij het hierboven genoemde protocol gevolgd wordt.

### *Integratie deelproducten van andere modellen*

Tot op heden zijn de H3O-projecten gericht geweest op het harmoniseren van de Vlaamse referentiemodellen G3D en H3D en de Nederlandse modellen DGM, DGM-diep en REGIS II. Het Nederlandse voxelmodel GeoTOP, dat in opbouw is, is tot dusverre buiten beschouwing gelaten. Het aan GeoTOP ten grondslag liggende lagenmodel, DGM+ genoemd, bevat een meer gedetailleerde indeling van de holocene en pleistocene eenheden dan DGM. In het project H3O-De Voorkepen

is al gebruik gemaakt van de informatie van DGM+, zoals de antropogene ophogingen en holocene beekdalopvullingen. In toekomstige H3O-projecten dient daar waar GeoTOP beschikbaar is, afstemming van deze holocene en pleistocene eenheden in de planvorming meegenomen te worden.

Ook in Vlaanderen worden er detailmodellen opgemaakt specifiek voor belangrijke grondstoffen of voor stedelijke omgevingen, zoals het gepubliceerde 'Delfstoffenmodel Leem' en, het 'Delfstoffenmodel Zand en Grind van Maas en Rijn' en het 'Ondiep geologisch 3D lagen- en voxelmodel van regio Antwerpen (OA v1, 2021)'. Verkennende gesprekken zijn lopende om in 2023 een nieuw stedelijk model op te starten. Bij volgende H3O-projecten is de kans groot dat er in contact gekomen wordt met deze detailmodellen, en kunnen de bestaande producten en stratigrafische inzichten ervan geïntegreerd of minstens in beschouwing genomen worden in de H3O-projecten.

#### *Gebruik van extra geotechnische en/of geofysische metingen*

Tot op heden zijn de H3O-projecten voornamelijk gebaseerd op boorgegevens en seismische data. Gezien hun meerwaarde voor geologische karteringen, dient bij een volgend H3O-project de afweging (opnieuw) gemaakt te worden om extra geotechnische of geofysische metingen, zoals bijvoorbeeld sonderingen, ook mee te nemen bij de interpretatie- en modelleerfase van het project.

#### *Onzekerheid basisdata meenemen in de modellering*

De set basisgegevens (boringen, seismiek) waarmee het geologische en hydrogeologische model is vervaardigd, is heterogeen van aard. De onzekerheid ten aanzien van deze data en de interpretaties verschilt daardoor. In de bestaande workflow van TNO worden deze gegevens, voor zover ze niet uit de dataset zijn gelaten, op gelijke wijze in de modellering meegenomen. Dit is niet ideaal; afhankelijk van de onzekerheid van het gegeven dient het datapunt in meer of mindere mate bij de ruimtelijke interpolatie te worden gehonoreerd. Aanbevolen wordt om enerzijds de onzekerheid in boor- en seismische data te kwantificeren en anderzijds deze onzekerheid in de workflow mee te nemen. Daartoe worden bij TNO twee studies uitgevoerd, een onderzoek om een methode te ontwikkelen om de verschillende dataonzekerheden (van boormethode, locatiebepaling, maaiveldhoogtebepaling, boorbeschrijving, ...) te kunnen kwantificeren, en een onderzoek hoe deze gekwantificeerde dataonzekerheid in de modellering meegenomen dient te worden.

Voor de Belgische boringen is er bij dit project al getracht een mate van onzekerheid aan de kwaliteit van de boringen en hun interpretatie te hangen om op die manier te evalueren of ze nuttig zijn en in welke mate ze gehonoreerd moeten worden. Dit systeem was echter handmatig gedaan door verschillende personen, wat fouten toelaat en ook een mate van subjectiviteit. Binnen DOV is er een automatische kwaliteitscontrole op de boorbeschrijvingen, wat resulteert in een kwaliteitsscore per boring; bovendien wordt er een kwaliteitsscore toegekend aan de boormethode. Aanbevolen wordt om deze kwaliteitscontroles/scores in de toekomst verder uit te bouwen en te gebruiken als mate van onzekerheid in de modellering.

#### *Additionele boringen*

In het Nederlandse deel van het projectgebied is weinig snelheidsinformatie aanwezig vanuit de diepe olie- en gasboringen. Alleen boring Rijsbergen (RSB-01) geeft informatie over snelheden in het Cenozoïcum.

De twee ten westen van boring Rijsbergen gelegen olie- en gasboringen, boringen Woensdrecht (WDR-01) en Steenbergen (STB-01), zijn dermate oud dat snelheidsinformatie en overige wenselijke boorgatmetingen (zoals gamma ray) ontbreken. Vanwege het gebrek aan snelheidsinformatie zijn voor deze twee boringen snelheden geschat middels de Belgische methode (zie paragraaf tijd-diepte conversie, hoofdstuk diepe modellering). In het westelijke Belgische deel van het modelgebied zijn geen boringen aanwezig die doorheen het gehele cenozoïsche bereik gaan.

Om de zekerheid van de diepteligging van de cenozoïsche horizons te vergroten wordt aanbevolen om een additionele boring in het westelijke deel van het projectgebied te boren, inclusief snelheidsinformatie en boorgatmetingen, op het tracé van een seismische lijn of op een kruising van twee seismische lijnen.

#### *Additionele seismiek*

In het westelijke Belgische deel van het projectgebied zijn er amper seismische data aanwezig. Hier loopt enkel een laag kwalitatieve seismische lijn van de Limestone Subcrop campagne. Om de zekerheid van de diepteligging van de paleogene horizons te vergroten wordt aanbevolen om hier additionele seismiek uit te voeren.

#### *Lithostratigrafisch – lithofacieel onderzoek*

Binnen het project is de door Munsterman et al. (2019) voorgestelde nieuwe stratigrafische indeling voor het basale deel van de Formatie van Oosterhout (NL) en de Formatie van Breda (NL) gebruikt. Deze nieuwe indeling vormt een aanpassing en verfijning maar heeft nog geen formele status. Dit resulteert aan Nederlandse zijde in de modeleenheden OOT1k1 en OOz4, die gezien kunnen worden als de hydrogeologische equivalenten van het laagpakket van Tilburg en het laagpakket van Goirle van de Formatie van Oosterhout zoals gedefinieerd door Munsterman et al. (2019), en in modeleenheid Dlz1 die equivalent is van de door Munsterman et al. (2019) nieuw gedefinieerde formatie van Diessen. Het is duidelijk dat het laagpakket van Tilburg en de formatie van Diessen equivalenten zijn van de Belgische formaties van Kattendijk en Diest. Echter, de aansluiting van het onderliggende OOz4/equivalent van het laagpakket van Goirle op de Belgische stratigrafie is nog onduidelijk. Het is waarschijnlijk equivalent aan het Belgische zand van Poppel, maar de lithostratigrafische positie daarvan is nog onzeker – in het nieuwste voorstel voor wijziging van de neogene stratigrafie wordt deze tentatief toegekend aan de Formatie van Kattendijk. Binnen het project kon deze vraag nog niet op een bevredigende wijze worden beantwoord. Aanbevolen wordt om de aansluiting van deze eenheden in de grensstreek meer in detail te onderzoeken, litho/biostratigrafisch en lithofacieel, bijvoorbeeld door te kijken op het niveau van lid/laagpakket, zoals de mogelijke correlatie tussen eenheid OOz4 en het zand van Poppel (BE).

In het Vlaamse deel van het grensgebied zijn noord-zuid lopende geulinsnijdingen van de Formatie van Weelde (BE) / Formatie Waalre (NL) in de top van de onderliggende formaties van Malle en Merksplas (BE) / Formatie van Maassluis (NL) geïnterpreteerd. Deze geulinsnijdingen zijn niet in het aangrenzende Nederlandse deel bekend. Geulstructuren zijn hydrologisch van belang als er sprake is van een afwijkende lithologische opvulling of doorsnijding van onderliggende weerstandbiedende lagen. Om die reden is nader onderzoek,

bijvoorbeeld met behulp van hoge resolutie seismiek, gewenst om de aanwezigheid en afmetingen van deze geulstructuren vast te stellen.

Hoge resolutieseismiek is eveneens in het grensgebied gewenst om de grens tussen de Formatie van Oosterhout en de onderliggende formatie van Diessen beter te kunnen interpreteren.

#### *Biostratigrafisch onderzoek*

Binnen het project is er, net als in voorgaande H3O-projecten, sprake van lithostratigrafische correlaties die niet overeenkomen met biostratigrafische correlaties. Zo wordt het Lid van Merksem van de Formatie van Lillo (BE) lithostratigrafisch gecorreleerd met de Formatie van Maassluis (NL).

Biostratigrafisch onderzoek wijst echter uit dat het Lid van Merksem een laat pliocene ouderdom heeft in België, en de Formatie van Maassluis een quartaire ouderdom in Nederland. Dit kan wijzen op diachrone afzetting, of op foutieve correlatie. Deze mogelijke opties zijn momenteel moeilijk te onderzoeken vanwege het gebrek aan biostratigrafische analyses in de grensstreek. Daarom is er behoefte aan aanvullende biostratigrafische analyses in enkele kwalitatief goede boringen in de grensstreek.

#### *Kartering/modellering*

In het project H3O-De Voorkempen zijn binnen de formaties van Oosterhout (NL) en Waalre (NL) de laagpakketten van Tilburg, Sprundel, Wouw, Hoogerheide en Woensdrecht in de boringen geïnterpreteerd en voor het eerst gemodelleerd. Ditzelfde geldt ook voor de Belgische leden van Rijkevorsel en Turnhout van de Formatie van Weelde en het onderscheid tussen de formaties van Kasterlee en Kattendijk. Dit is succesvol verlopen. Om die reden wordt aanbevolen om deze eenheden ook in het gebied ten oosten van H3O-De Voorkempen te interpreteren en modelleren. Ook lijken er mogelijkheden te zijn om de interpretaties van deze eenheden tot in de Roerdalslenk door te trekken al zal dit sterk afhangen van de kwaliteit en dichtheid van de boringen.

Vooruitlopend op een formele acceptatie van de formaties van Diessen en Grootte Heide (NL), zijn deze eenheden reeds binnen het project onderscheiden in plaats van de Formatie van Breda (NL). Aanbevolen wordt om deze stratigrafische eenheden en de daaraan gekoppelde hydrogeologische eenheden ook in de gebieden van voorgaande H3O-projecten te interpreteren.



## 10 Dankwoord

We danken Katrien De Nil en Jasper Verhaegen van het Vlaamse Planbureau voor Omgeving van de Vlaamse Overheid, Cis Slenter en Jan Corluy van de Vlaamse Milieumaatschappij van de Vlaamse Overheid, Vanessa Heyvaert van de Belgische Geologische Dienst, Michiel van der Meulen van TNO - Geologische Dienst Nederland, Erik Heskes en Mieke de Boer van de Nederlandse Provincie Noord-Brabant en Jeroen Castelijns van de waterleidingmaatschappij Brabant Water voor de goede begeleiding van de projectuitvoering. We danken hun organisaties daarnaast ook voor de financiële ondersteuning. Onze dank gaat uit naar reviewers Jan Corluy, Maryke den Dulk, Katrien De Nil, Erik Heskes, Patrick Kiden, Kris Piessens, Cis Slenter, Johan ten Veen en Jasper Verhaegen voor hun constructieve input op de tussentijdse resultaten van het project die voor een significante verbetering ervan richting het eindresultaat hebben gezorgd. Tenslotte bedanken we nog Prof. Dr. Em. Noël Vandenberghe, Prof. Dr. Stephen Louwye en Dr. Kees Kasse om - als leden van de begeleidingscommissie – hun inzichten te delen die aan de totstandkoming van het rapport en model hebben bijgedragen.

## 11 Literatuurlijst

Actueel Hoogtebestand Nederland (z.d.). *Inwinjaren AHN2*. Geraadpleegd op 9 oktober 2020 van <http://hwh.maps.arcgis.com/apps/CompareAnalysis/index.html?appid=b2d67e3a99cf47759d34b19476476889>.

Agentschap Informatie Vlaanderen (z.d.). *Standaardproducten Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II*. Geraadpleegd op 9 oktober 2020 van [https://download.vlaanderen.be/Producten/Detail?id=966&title=Standaardproducten\\_Digitaal\\_Hoogtemodel\\_Vlaanderen\\_II](https://download.vlaanderen.be/Producten/Detail?id=966&title=Standaardproducten_Digitaal_Hoogtemodel_Vlaanderen_II)

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

Bogemans, F. (2005a). *Toelichting bij de Quartairgeologische kaart [van België, Vlaams Gewest]: kaartblad 1 - 7, Essen – Kapellen [1/50 000]*. Brussel, België: Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen, Brussel, 39 p.

Bogemans, F. (2005b). *Toelichting bij de Quartairgeologische kaart [van België, Vlaams Gewest]: kaartblad 2 - 8, Meerle -Turnhout [1/50 000]*. Brussel, België: Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen. 38 p.

Bogemans, F. & Lanckacker, T. (2014). *Quaternary – revised lithostratigraphy accepted 06/2014: 2.1.1.1.1. Brasschaat Member*. <https://ncs.naturalsciences.be/paleogene-neogene/21111-brasschaat-member>

De Batist, M. & Versteeg, W.H. (1999). Seismic stratigraphy of the Mesozoic and Cenozoic in northern Belgium: main results of a high-resolution reflection seismic survey along rivers and canals. *Geologie en Mijnbouw*, 77: 17-37.

Deckers, J., De Koninck, R., Bos, S., Broothaers, M., Dirix, K., Hamsch, L., Lagrou, D., Lanckacker, T., Matthijs, J., Rombaut, B., Van Baelen, K., & Van Haren, T. (2019). *Geologisch (G3Dv3) en hydrogeologisch (H3D) 3D-lagenmodel van Vlaanderen*. VITO-rapport, 2018/RMA/R/1569. Mol, België: VITO. <https://dov.vlaanderen.be/page/geologisch-3d-model-g3d>

Deckers, J., De Koninck, R. & Rombaut, B. (2019). *Update Hydrogeologische Codering van Vlaanderen: HCOV-versie 2*. Studie uitgevoerd in opdracht van: Vlaamse Milieumaatschappij. Mol, België: VITO. VITO-rapport 2019/RMA/R/1899, 21p. + bijlagen.

Deckers, J., Dirix, K., Hamsch, L., Van Baelen, K. & Van Haren, T. (2020). *Beperkte aanpassingen aan het geologisch (G3Dv3) en hydrogeologisch (H3Dv2) 3D-model van Vlaanderen*. Studie uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving, departement Omgeving en de Vlaamse Milieumaatschappij. Mol, België: VITO. VITO-rapport 2020/RMA/R/2203, 35 p.

Deckers, J. & Matthijs, J. (2017). Middle Paleocene uplift of the Brabant Massif from central Belgium up to the southeast coast of England. *Geological Magazine*, 154, 1117-1126.

De Nil, K. & Verhaegen, J. (Reds.) (2022). *Revision of the Neogene stratigraphy of Belgium. Discussion document, Version 1.0*. National Commission for Stratigraphy of Belgium, Subcommittee for Paleogene and Neogene Stratigraphy, 236 pp.

Dreesen, R., Bouckaert, J., Duser, M., Soille, J. & Vandenberghe, N. (1987). Subsurface structural analysis of the Late-Dinantian carbonate shelf at the northern flank of the Brabant Massif (Campine Basin, N.-Belgium). *Toelicht. Verhand. Geologische en Mijnkaarten van België* 21, 37 pp.

EBN (2021, 15 december). *Nieuwe seismische data beschikbaar*. Geraadpleegd op 4 oktober 2022 van [https://scanaardwarmte.nl/nieuwe-seismische-data-beschikbaar-5/?utm\\_source=mailpoet&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=scan-de-meest-recente-nieuwsberichten\\_21](https://scanaardwarmte.nl/nieuwe-seismische-data-beschikbaar-5/?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_campaign=scan-de-meest-recente-nieuwsberichten_21).

EBN (2019, 29 november). *Herbewerkte data gebied C*. Geraadpleegd op 7 oktober 2020 van <https://scanaardwarmte.nl/results/herbewerkte-data-gebied-c-l2mob1984a-l2mob1985a-l2mob1987a-en-l2mob1988a/>.

Gunnink, J.L., Maljers, D. van Gessel, S.F., Menkovic, A. & Hummelman, H.J. (2013). *Digital Geological Model (DGM): a 3D raster model of the subsurface of the Netherlands*. *Netherlands Journal of the Geosciences* 92 – 1, 33-46.

Hummelman, H.J., Maljers, D., Menkovic, A., Reindersma, R., Stafleu, J. & Vernes, R.W. (2019a). *Totstandkomingsrapport Digitaal Geologisch Model (DGM)* (TNO-rapport 2019 R 11653). Utrecht, Nederland: TNO - Geologische Dienst van Nederland.

Hummelman, H.J., Maljers, D., Menkovic, A., Reindersma, R., Stafleu, J. & Vernes, R.W. (2019b). *Totstandkomingsrapport Hydrogeologisch Model (REGIS II)*. TNO-rapport 2019-R11654. Utrecht: TNO - Geologische Dienst van Nederland.

Louwye, S., Deckers, J. & Vandenberghe, N. (2020). The Pliocene Lillo, Poederlee, Merksplas, Mol and Kieseloolite Formations in northern Belgium: a synthesis. *Geologica Belgica* 23, 297-313.

Louwye, S., De Coninck, J., & Verniers, J. (1999). Dinoflagellate cyst stratigraphy and depositional history of Miocene and lower Pliocene formation in northern Belgium (southern North Sea Basin). *Geologie en Mijnbouw*, 78, 31–46.

Munsterman, D.K. (2020). *De resultaten van het palynologische onderzoek naar geselecteerde Paleogene en Neogene intervallen in boringen B49G0959, B49F0431, B49F1427 en B44D0483 (ZW Nederland- De Voorkampen)*. TNO Rapport R11209. Utrecht, Nederland: TNO - Geologische Dienst van Nederland. 45 pp. incl. bijlage.

Munsterman, D.K., ten Veen, J.H., Menkovic, A., Deckers, J., Witmans, N., Verhaegen, J., Kerstholt-Boegehold, S.J., van de Ven, T. & Busschers, F. (2019). An updated and revised stratigraphic framework for the Miocene and earliest Pliocene strata of the Roer Valley Graben and adjacent blocks. *Netherlands Journal of Geosciences, Volume* 98, e8. <https://doi.org/10.1017/njg.2019.10>.

Nationale Commissie voor Stratigrafie (2022). *Lithostratigraphic Nomenclature*. Geraadpleegd op 5 oktober 2022 van <https://ncs.naturalsciences.be/lithostratigraphic-nomenclature>.

Stafleu, J., Hummelman, J., de Bruijn, R., Koster, K., Stam, J., Maljers, D. & Schokker, J. (2020). *Totstandkomingsrapport GeoTOP – met nieuwe methodiek lagenmodellering*. TNO rapport TNO 2020 R10758. Utrecht, Nederland: TNO - Geologische Dienst van Nederland. 157 pp.

TNO (2001). *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij de kaartbladen XIII en XIV Breda - Valkenswaard en Oss - Roermond*. Utrecht, Nederland: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO - Geologische Dienst Nederland.

TNO (2003). *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij de kaartbladen XI en XII Middelburg - Breskens en Roosendaal - Terneuzen*. Utrecht: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO - Geologische Dienst Nederland.

TNO – Geologische Dienst Nederland (2022). *Stratigrafische Nomenclator van Nederland*. Geraadpleegd op 5 oktober 2022 van <http://www.dinoloket.nl/stratigrafische-nomenclator>.

Van Haren T., Deckers J., De Koninck R., Dirix K., Maes R., Hamsch L. & Van Baelen K. (2021). *Ondiep geologisch 3D lagen- en voxelmodel van regio Antwerpen*. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid, departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving, <https://archieff-algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/external-handle/Onderzoek-2639700>

Van Ranst, E. & Sys, C. (2000). *Eenduidige legende voor de digitale bodemkaart van Vlaanderen (Schaal 1:20 000)*. Laboratorium voor bodemkunde.

Verhaegen, J. & Vandenberghe, N., (in prep.). *Neogene – revised lithostratigraphy 2022: Kasterlee Formation*. [https://ncs.naturalsciences.be/sites/default/files/CompilatieLIS\\_20220502.pdf](https://ncs.naturalsciences.be/sites/default/files/CompilatieLIS_20220502.pdf)

Vernes, R.W., Deckers, J., Bakker, M.A.J., Bogemans, F., De Ceukelaire, M., Doornenbal, J.C., Den Dulk, M., Duser, M., Van Haren, T.F.M., Heyvaert, V.M.A., Kiden, P., Kruisselbrink, A.F., Lanckacker, T., Menkovic, A., Meyvis, B., Munsterman, D.K., Reindersma, R., Rombaut, B., Ten Veen, J.H., Van de Ven, T.J.M., Walstra, J. & Witmans, N. (2018). *Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Belgisch-Nederlandse grensstreek van Midden-Brabant / De Kempen (H30 – De Kempen)*. TNO-rapport 2017 R11261/ VITO-rapport 2017/RMA/R/1348. Utrecht, Nederland: TNO.

Vernes, R.W., Kruisselbrink, A.F., Menkovic, A., Stam, J.C., Ten Veen, J.H., Van de Ven, T.J.M. & Witmans, N (2023). *Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Kenozoïcum in het noordwestelijke deel van Midden-Brabant (H30-Roerdalslenk Noordwest)*. TNO-rapport R10348. Utrecht: TNO - Geologische Dienst van Nederland.

## 12 Ondertekening

Utrecht, april 2023

M. den Dulk (TNO-GDN)  
(Tweede lezer)

**Autorisatie Vrijgave:s**  
Utrecht, april 2023

Utrecht, april 2023

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

D. Maljers (TNO-GDN)  
Research Manager

**Autorisatie Vrijgave:**  
Mol, april 2023

Mol, april 2023

J. Deckers (VITO)  
Projectleider/Auteur

S. Janssen (VITO)  
Program Manager

**Autorisatie Vrijgave:**  
Brussel, april 2023

Brussel, april 2023

J. Walstra (BGD/KBIN)  
Projectleider/Auteur

V.M.A. Heyvaert (BGD/KBIN)  
Directeur Belgische Geologische Dienst

## A Werkwijze gevolgd bij het samenstellen van het maaiveld- en waterbodemoogtebestand

Voor het samenvoegen en samenstellen van grensoverschrijdende maaiveldhoogtebestanden volgens de vastgelegde rasterdefinities van het Vlaamse deel (conform de G3D- en H3D-modellen) zijn de volgende stappen gevolgd:

- 1 Omzetten van het raster van het hierboven beschreven Nederlandse maaiveldhoogtebestand (in RD en NAP) naar een raster in Lambert-72 coördinaten en TAW referentiehoogte. Hiervoor is in ArcGIS een conversie uitgevoerd van RD- naar Lambert72-coördinaten en is 2.33 m bij de NAP-hoogtes opgeteld om TAW-hoogtes te verkrijgen (voor conversie, zie Paragraaf 3.7).
- 2 Langs Vlaamse kant is er reeds een maaiveldhoogtebestand in LB en TAW (zie hierboven).
- 3 Opmaken van een regelmatig grid van het inventarisatiegebied volgens de rasterdefinitie die in Vlaanderen wordt toegepast voor de opmaak van de G3D- en H3D-modellen. Dit grid vervolgens omzetten tot een puntenbestand.
- 4 Met de punten van het regelmatig grid van stap 3, de rasters van stappen 1 en 2 doorprikken en er de waarden van overnemen.
- 5 Een extra kolom maken bij het puntenbestand van het regelmatig grid (van stap 4) waarin de finale, grensoverschrijdende maaiveldhoogtes gaan staan. Dit is voor de rijen die in Nederland liggen het Nederlandse maaiveldhoogtebestand en voor rijen die in Vlaanderen liggen dus het Vlaamse maaiveldhoogtebestand.
- 6 De extra kolom van stap 5 naar een raster omzetten zodat het finale, grensoverschrijdende maaiveldhoogtebestand bekomen wordt in Lambert-72 en TAW.

Voor het samenvoegen en samenstellen van grensoverschrijdende maaiveldhoogtebestanden volgens de rasterdefinities van het Nederlandse deel zijn dezelfde stappen gevolgd, maar dan vertrekkende vanuit het Nederlandse maaiveldhoogtebestand en met conversie van het Vlaamse maaiveldhoogtebestand.

## B Parameters voor de transformaties van coördinaten van RD naar Lambert 72 en van Lambert 72 naar RD in ArcGIS 10.4 of hoger

### 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>

## C Uitgevoerd palynologisch onderzoek



Geologische Dienst Nederland  
Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 42 56

## TNO-rapport

### TNO 2020 R11209

# De resultaten van het palynologische onderzoek naar geselecteerde Paleogene en Neogene intervallen in boringen B49G0959, B49F0431, B49F0436, B49F1427 en B44D483 (ZW Nederland- De Voorkempen)

Datum	April 2020
Auteur(s)	D.K. Munsterman
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	45 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	8
Opdrachtgever	TNO-GDN, Provincie en Waterschap Noord-Brabant
Projectnaam	H3O-De Voorkempen
Projectnummer	060.37187/01.02.03

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b> .....	<b>7</b>
2.1	Gesteentemonsters .....	7
2.2	Preparatietechniek.....	9
2.3	Palynologische analyse .....	9
2.4	Taxonomie en ouderdomsbepaling .....	9
2.5	Lithostratigrafie DINO database (Dino/oket april, 2020).....	12
<b>3</b>	<b>Resultaten boring B49G0959 (Putten)</b> .....	<b>14</b>
3.1	Monster/Interval 47-48 m: laat Pliocene, Piacenzien of ouder .....	14
3.2	Monster/Interval 57-65 m: vroeg Pliocene, vroeg Zancleén of ouder .....	14
3.3	Monster/Interval 69-75 m: midden Mioceen, laat Langhien-vroeg Serravallien, SNSM 7 Zone .....	14
3.4	Monster/Interval 82-83 m: midden Mioceen, mid-Langhien, SNSM 6 Zone .....	14
3.5	Monster/Interval 85-86 m: vroeg Laat Oligoceen, vroeg Chattien of ouder, NSO-6 Zone.....	14
3.6	Monster/Interval 90-101 m: Vroeg Oligoceen, laat Rupelien, NSO-5a Zone of ouder .....	15
<b>4</b>	<b>Resultaten boring B49F0431</b> .....	<b>16</b>
4.1	Monster/Interval 78-111 m: laat Pliocene, Piacenzien of ouder.....	16
4.2	Monster/Interval 120-121 m: vroeg Pliocene, Zancleén.....	16
4.3	Monster/Interval 129-171 m: vroeg Pliocene, vroegste Zancleén.....	16
4.4	Monster/Interval 180-181 m: midden Mioceen, laat Langhien-vroeg Serravallien, SNSM 7 Zone .....	16
4.5	Monster/Interval 188-189 m: Vroeg Oligoceen, laat Rupelien, NSO-5a Zone of ouder.....	17
<b>5</b>	<b>Resultaten boring B49F0436</b> .....	<b>18</b>
5.1	Monster/Interval 136-161 m: laat Pliocene, Piacenzien of ouder .....	18
5.2	Monster/Interval 170-171 m: vroeg Pliocene, Zancleén.....	18
5.3	Monster/Interval 179-189 m: vroeg Pliocene, vroegste Zancleén.....	18
5.4	Monster/Interval 200-212 m: midden Mioceen, mid-Langhien, SNSM 6 Zone .....	18
5.5	Monster/Interval 221-229 m: vroeg Mioceen, mid Aquitanien, SNSM 1/SNSM2 grens Zone of midden Mioceen .....	18
<b>6</b>	<b>Resultaten boring B49F1427 (Zegge)</b> .....	<b>20</b>
6.1	Monster/Interval 169-181 m: laat Pliocene, Piacenzien of ouder.....	20
6.2	Monster/Interval 191-210 m: vroeg Pliocene, vroegste Zancleén.....	20
6.3	Monster/Interval 219-220 m: midden Mioceen, laat Langhien-vroeg Serravallien, SNSM 7 Zone .....	20
6.4	Monster/Interval 220-360 m: niet geanalyseerd/onderzocht .....	20
6.5	Monster/Interval 360-361 m: Vroeg Oligoceen, vroeg Rupelien, NSO-2 Zone .....	21
6.6	Monster/Interval 366-367 m: vroegste Oligoceen, vroegste Rupelien, NSO-1 Zone .....	21
6.7	Monster/Interval 370-372 m: laat-Eoceen, Priabonien, E8a Zone .....	21
6.8	Monster/Interval 380-421 m: laat-Eoceen, Priabonien, E8a Zone met reworking uit laat midden-Eoceen, Bartonien, E7 Zone .....	21

<b>7</b>	<b>Resultaten van boring B44D0483.....</b>	<b>23</b>
7.1	Monster/Interval 221-240 m: laat Pliocéen, Piacenzien of ouder.....	23
7.2	Monster/Interval 250-271 m: vroeg Pliocéen, vroegste Zancleén.....	23
7.3	Monster/Interval 280-320 m: vroegste Pliocéen (vroeg Zancleén) - laatste Mioceen (allerlaatste Tortonien), meest waarschijnlijk vroegste Zancleén.....	23
<b>8</b>	<b>Discussie en conclusies .....</b>	<b>25</b>
8.1	Boring B49G0959 (Putten) .....	25
8.2	Boring B49F0431 .....	26
8.3	Boring B49F0436.....	27
8.4	Boring B49F1427 (Zegge) .....	29
8.5	Boring B44D0483 .....	30
<b>9</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>32</b>
<b>10</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>37</b>

Bijlage 1: Palynologische interpretatie boring B49G0959 (Putten)

Bijlage 2: Distributietabel boring B49G0959 (Putten)

Bijlage 3: Palynologische interpretatie en distributietabel boring B49F0431

Bijlage 4: Palynologische interpretatie en distributietabel boring B49F0436

Bijlage 5: Palynologische interpretatie en distributietabel boring B49F1427 (Zegge), interval 169-220 m

Bijlage 6: Palynologische interpretatie boring B49F1427 (Zegge), interval 360-421 m

Bijlage 7: Distributietabel boring B49F1427 (Zegge), interval 360-421 m

Bijlage 8: Palynologische interpretatie en distributietabel boring B44D483

# 1 Inleiding

Eenduidige (hydro)geologische kennis en informatie zijn essentieel voor een duurzaam beheer en gebruik van niet alleen grondwater, maar van de hele ondergrond. Onduidelijkheden tussen de Nederlandse ondergrondinformatie en die van de buurlanden leidde tot onzekerheden in het begrip van het grondwatersysteem in de grensstreken. Om deze op te lossen zijn de laatste jaren meerdere H3O projecten gedefinieerd voor specifieke regio's tussen Nederland en beide buurlanden België en Duitsland.

Het huidige project H3O - De Voorkempen werd dit jaar opgestart in samenwerking met TNO Geologische Dienst Nederland, de Vlaamse organisatie VITO en de Belgische Geologische Dienst. Het doel van dit H3O-project is het maken van een grensoverschrijdend driedimensionaal geologisch en hydrogeologisch model van het Belgisch-Nederlands grensgebied van de Voorkempen (ZW Nederland). Verschillen tussen de bestaande (hydro)geologische interpretaties dienen daarbij te worden opgelost. Het projectgebied sluit oostelijk aan op dat van het eerdere project H3O - Noordwest.

Voor het Nederlandse deelgebied werd uit een gering aantal beschikbare diepe boringen binnen het inventarisatiegebied de put Rijsbergen-01 (RSB-01) geselecteerd als referentie boring. Deze boring werd palynologisch geanalyseerd en lithostratigrafisch geüpdatet (TNO rapport 2019 R11086). In aanvulling op deze data is er een inventarisatie en selectie gemaakt van de "ondiepe" putten door Armin Menkovic (TNO-GDN). Bij deze nadere uitbreiding werd in bijzonder nagegaan waar zich (litho)stratigrafische onzekerheden voordoen. Deze onduidelijkheden schuilen vooral:

- Op de overgang van de (voormalige) Formatie van Breda (nu Formatie van Diessen) naar de Formatie van Oosterhout. Met name de zgn. "crag facies" in de Formatie van Oosterhout lijkt lokaal ingrijpend in te snijden in de Formatie van Breda.
- De logbeelden van de (voormalige) Formatie van Breda (nu: formaties van Groote Heide en Diessen) tonen een sterk wisselend patroon, de lithologische ontwikkeling is niet enkel afgesneden aan de top, maar ook onvolledig/"condensed", waardoor in bepaalde boringen wordt uitgezien naar palynologische resultaten ter bevestiging van een consistente lithostratigrafische interpretatie.
- Op de lithologische overgang van de Formatie van Rupel naar de basis van de (voormalige) Formatie van Breda (nu: Formatie van Groote Heide), spelen onzekerheden.
- Is er een Laagpakket van Steensel aanwezig?
- Onbenoemd in NL is de meer zandige/siltige basis van de Formatie van Rupel (onder de Klei van Boom). In de Belgische stratigrafische nomenclator wordt deze wel onderscheiden (Laagpakket van Belsele-Waas). Volgen wij de Belgische Nomenclatuur? Ten behoeve van een eventuele keuze speelt de ouderdom van de onderhavige successie een (belangrijke) rol.
- In de nieuwe geïntegreerde (diep en ondiep) Stratigrafische Nomenclator van NL (vs. 2) is er voor een hybride (B-NL) oplossing gekozen in ZW-NL, inclusief een Tongeren Formatie, onderverdeeld in de laagpakketten van Bassevelde, Watervliet en Ruisbroek. Voorheen werd dit het Laagpakket van Vessem (Van Adrichem Boogaert en Kouwe, 1993) genoemd, dat is

hierbij opgeheven. De Formatie van Tongeren wordt aan de top overlapt door de Rupel Formatie, Laagpakket van Berg. Hoe ziet die overgang er in de individuele boringen uit, en wat is de chronostratigrafie, mede in het licht van voorgenoemde keuzemogelijkheid (zie vorige punt)?

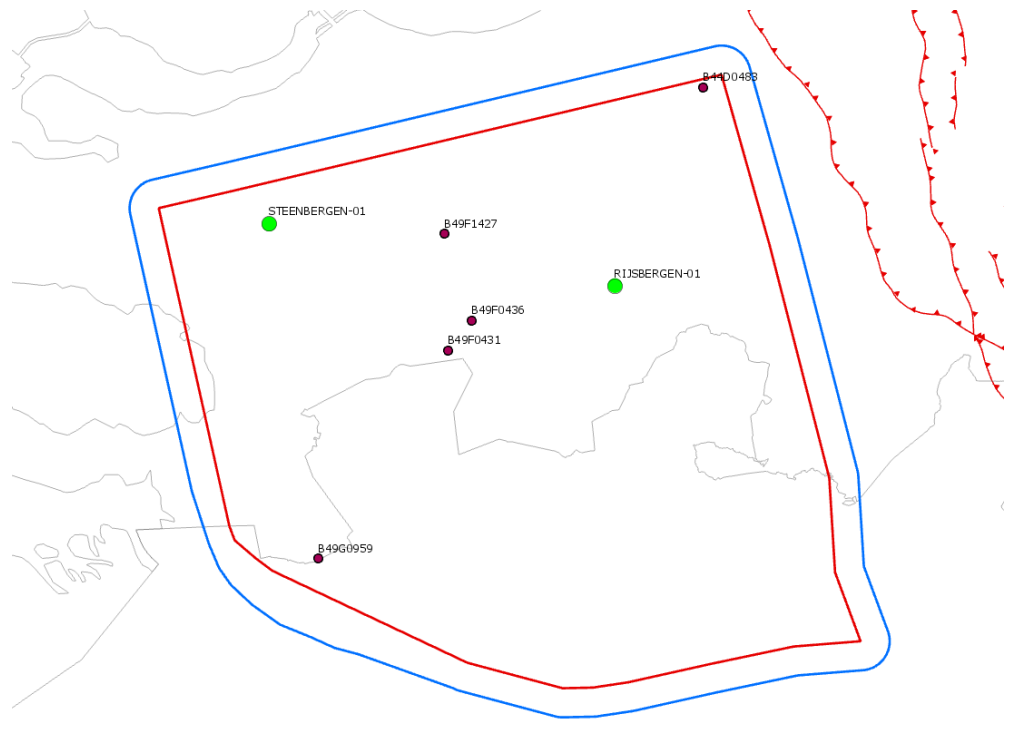
Om deze problemen proberen op te lossen en twijfels weg te nemen is de volgende selectie van successies in boringen gemaakt:

- B49F1427 interval 170-220 m (Breda/Oosterhout)  
interval 360-421 m (Tongeren/Rupel)
- B49G0959 Deze boring nabij Putten is reeds palynologisch bestudeerd i.h.k.v. project Topintegraal (2009). Beperkte aanvullende bemonstering is gewenst:  
interval 60-80 m (Overgang Breda-Oosterhout, ontwikkeling Breda)  
monster 90 m (Steensel)
- B44D0483 interval 220-320 m (Breda/Oosterhout grens en ontwikkeling Breda)
- B49F0431 interval 90-110 m (Breda/Oosterhout grens)  
interval 120-130 m en 150-160 m (ontwikkeling Breda)  
interval 180-190 m (Rupel/Breda grens)
- B49F0436 interval 135-160 m (insnijding "crag facies" in de Breda)  
interval 170-210 m (Breda/Oosterhout)  
interval 210-235 m (?Rupel en/of Breda)

De bovenstaande intervallen zullen palynologisch worden geanalyseerd. De uitkomsten (in bijzonder met betrekking tot ouderdomsbepaling en afzettingssomstandigheden) hiervan worden in samenhang met de lithologische beschrijvingen en gamma-ray logbeelden geïnterpreteerd. Het resultaat dient ter vaststelling van een consistent lithostratigrafische classificatie van de ondergrond.

Materiaal en methoden worden beschreven in hoofdstuk 2. De palynologische resultaten, interpretatie van ouderdom, worden weergegeven per boring van zuid naar noord in hoofdstukken 3-7. De discussie en conclusies staan in hoofdstuk 8.

Sander Houben (TNO-GDN) voorzag deze studie van opmerkingen als 2<sup>de</sup> lezer. Armin Menkovic (TNO-GDN) en Stephen Louwye (UGent, België) hebben de conceptversie van het rapport nader becommentarieerd. Alle suggesties zijn verwerkt in de finale versie.



Figuur 1: Overzichtskartje ZW Nederland met het inventarisatiegebied "De Voorkempen" en de palynologisch onderzochte boringen (zie rode stip).

## 2 Materiaal en methode

De standaard afkortingen gebruikt door TNO staan in Tabel 1.

Tabel 1: Gebruikte afkortingen.

CO	Core sample (kern)
SC	Sidewall core sample (wandkern)
CU	Cuttings sample
AL	Air-lifted sample (luchtlift)
m	Meter
ft	Feet
LOD	Last Occurrence Datum
LCOD	Last Common Occurrence Datum
FOD	First Occurrence Datum
FCOD	First Common Occurrence Datum
EMU	Early Miocene Unconformity
LMU	Late Miocene Unconformity
MMU	Mid-Miocene Unconformity

### 2.1 Gesteentemonsters

Gesteentemonsters waren beschikbaar in de TNO-GDN monsteropslag in Zeist. Om een analyse mogelijk te maken zijn in totaal 50 monsters uitgenomen. De dieptes en het type materiaal worden hieronder weergegeven.

Tabel 2: Overzicht monsters boring B49G0959 (Putten).

Diepte (m)	Type
64-65	AL
69-70	AL
74-75	AL
90-91	AL

Tabel 3: Overzicht monsters boring B49F0431.

Diepte (m)	Type
78-79	AL
90-91	AL
99-100	AL
110-111	AL
120-121	AL
129-130	AL
149-150	AL
161-162	AL
170-171	AL

180-181	AL
188-189	AL

Tabel 4: Overzicht monsters boring B49F0436.

Diepte (m)	Type
136-137	AL
145-146	AL
154-155	AL
160-161	AL
170-171	AL
179-180	AL
188-189	AL
200-201	AL
211-212	AL
221-222	AL
228-229	AL

Tabel 5: Overzicht monsters boring B49F1427 (Zegge).

Diepte (m)	Type
169-170	AL
180-181	AL
191-192	AL
200-201	AL
209-210	AL
219-220	AL
360-361	AL
370-371	AL
380-381	AL
389-390	AL
400-401	AL
410-411	AL
420-421	AL

Tabel 6: Overzicht monsters boring B44D0483.

Diepte (m)	Type
221-222	AL
233-234	AL
239-240	AL
250-251	AL
259-260	AL
270-271	AL
280-281	AL



290-291	AL
300-301	AL
310-311	AL
319-320	AL

## 2.2 Preparatietechniek

Alle gesteentemonsters zijn op gestandaardiseerde wijze door het PLS (UK, Malcolm Jones) laboratorium chemisch ontsloten (HCl en HF voor het oplossen van de carbonaten, resp. de silicaten) en geconcentreerd m.b.v. een 15  $\mu$  m zeef en door gravitatie scheiding (met ZnCl<sub>2</sub>).

## 2.3 Palynologische analyse

De palynologische analyse is kwantitatief uitgevoerd. Het aantal dinoflagellaatcysten wordt, net als dat van de "miscellaneous fossils" (*Botryococcus*, kamers van foraminiferen, acritarchen, *Pediastrum*, etc.) weergegeven in de distributietabel (zie bijlagen).

In boring B49F1427 (Zegge) is de kwantitatieve analyse omgezet naar een semi-kwantitatieve methode, omdat deze dan aansluit op eerdere resultaten (rapport TNO-034-UT-2009-02392/B).

Tabel 7: Betekenis en waarde semi-kwantitatieve symbolen (zie bijlage).

Symbol	Betekenis	Aantal exemplaren
RR	Zeer zeldzaam	1
R	"Rare" (Zeldzaam)	2-4
F	"Few" (Schaars)	5-14
C	"Common" (Algemeen)	15-24
CC	Zeer algemeen	25-49
A	"Abundant" (Overvloedig)	>50
+	Aanwezig buiten telling	

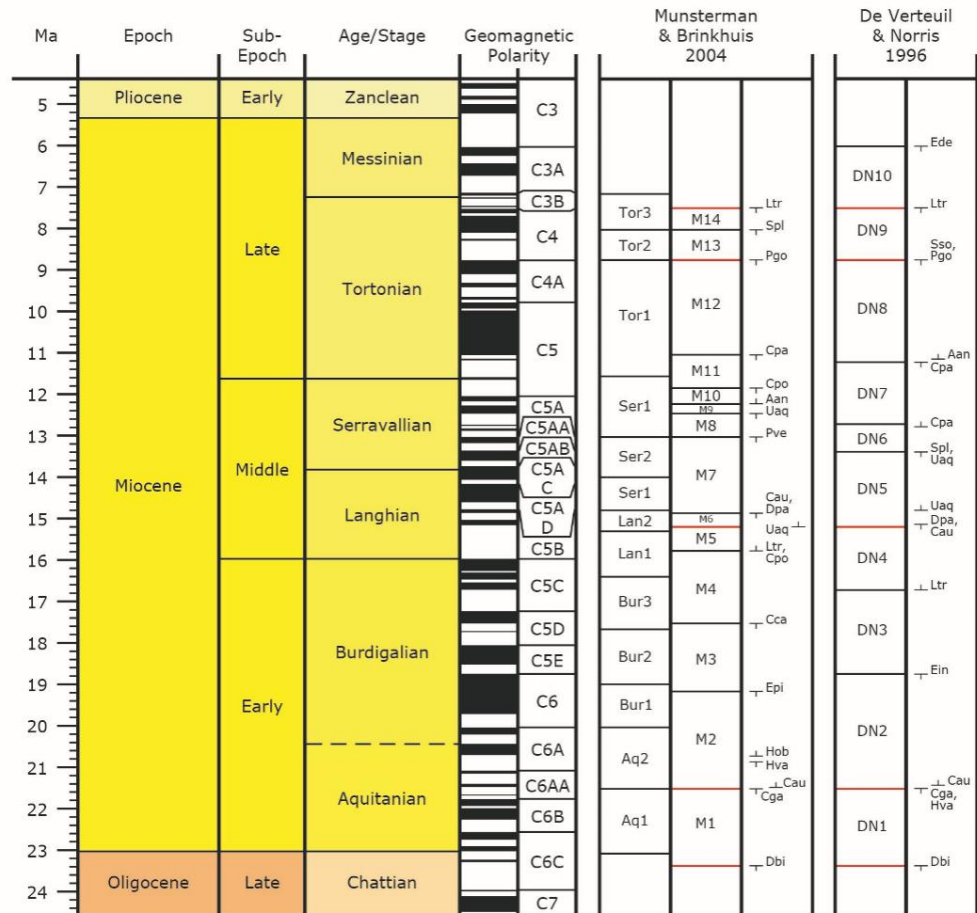
## 2.4 Taxonomie en ouderdomsbepaling

Bij de cuttingsmonsters wordt enkel gebruik gemaakt van de chronostratigrafisch laatste (jongste) voorkomens (LOD) van dinoflagellaatcysten in verband met de contaminatie (naval uit hoger gelegen successies). In geval van kernmateriaal en luchtliftmonsters worden ook de eerste (oudste) voorkomens (FOD) van dinoflagellaatcysten toegepast.

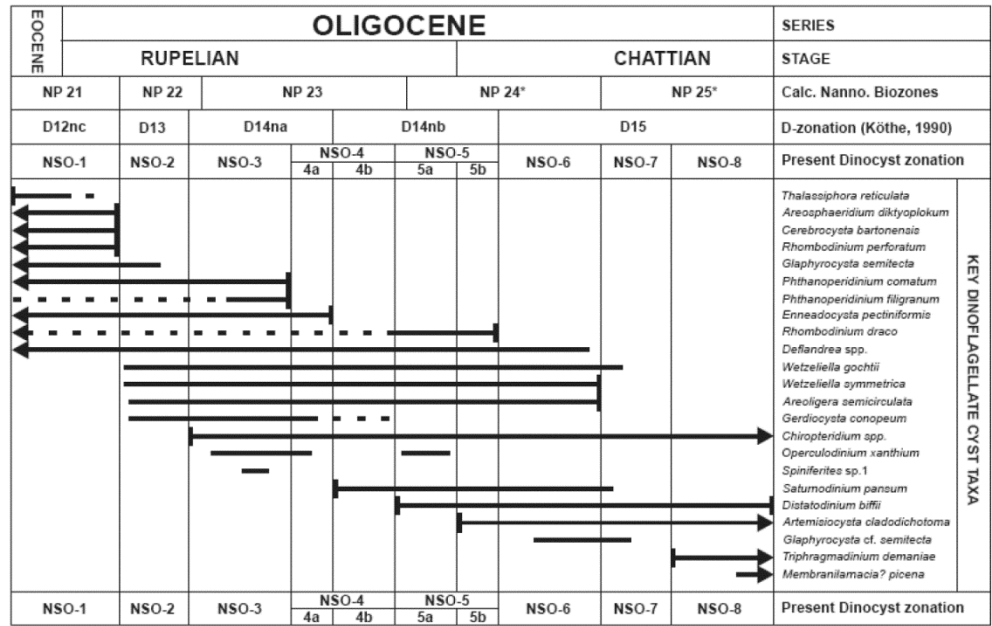
De facieel en/of stratigrafisch waardevolle soorten worden vermeld in het rapport. Een volledig overzicht van de gevonden palynomorfen is in de tabellen (zie bijlagen) opgenomen.

De palynologische interpretatie is gebaseerd op kernliteratuur m.b.t. de palynostratigrafie van het Paleogeen-Neogeen uit de regio Noordzee: Bujak & Mudge (1994), De Schepper and Head (2008; 2009), De Schepper et al. (2015; 2017), Dybkjaer & Piasecki (2010), Heilmann-Clausen (1985), Köthe (2003), Kuhlmann et al. (2006), Lourens et al. (2004), Powell (1992), Munsterman & Brinkhuis (2004) en Van Simaëys, Munsterman & Brinkhuis (2005).

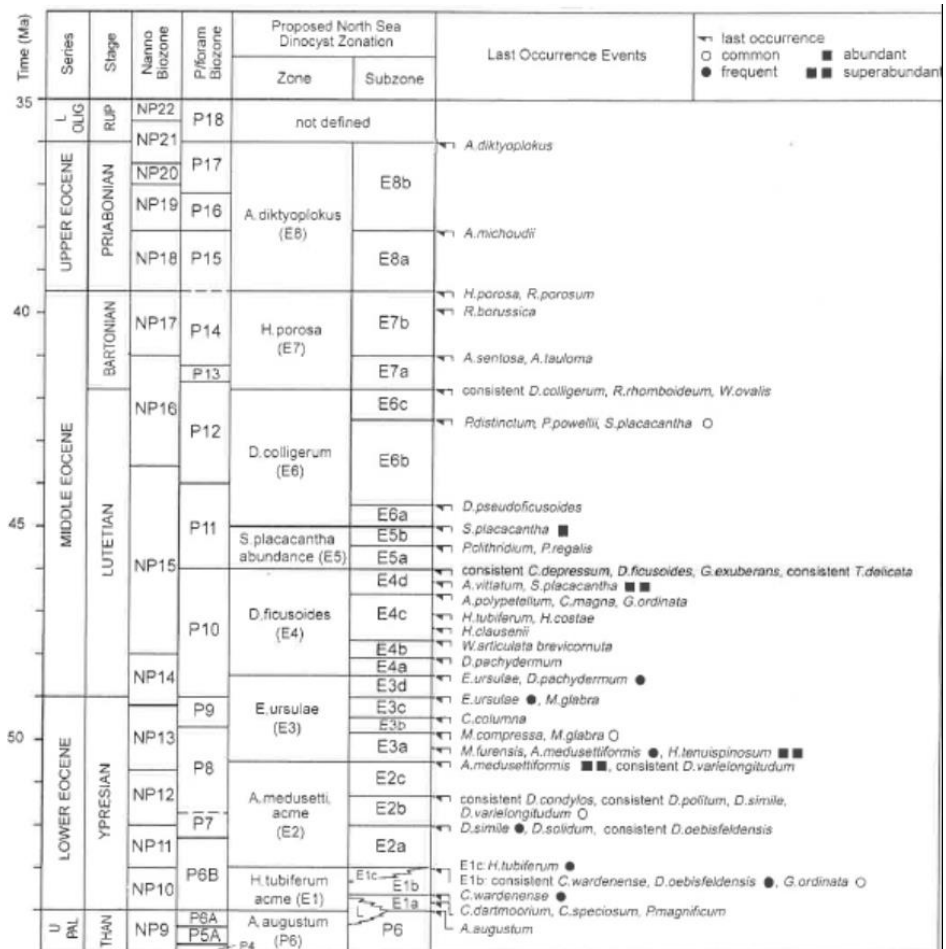
Figuur 2: Biozonering voor het Mioceen sensu Munsterman & Brinkhuis (2004), gerecalibreerd naar de GTS sensu Ogg et al., 2016.



Figuur 3: Verspreidingstabel van dinoflagellaatcysten uit het Noordzee Oligoceen zonatie schema sensu Van Simaëys, Munsterman & Brinkhuis (2005).



Figuur 4: Eoceen zonatie van Bujak & Mudge, 1994.



## 2.5 Lithostratigrafie DINO database (Dino/oket april, 2020)

Onderstaand volgt een overzichtje van de lithostratigrafie per boring bekend in DINO database (extractie april 2020).

Tabel 8: Lithostratigrafie boring B49G0959 (Putten).

Interval (m MD)	Lithostratigrafie (2014)	
	Formatie	Laagpakket
29-51	Oosterhout	
51-85	Breda	
85-186,5	Rupel	
85-168		Boom
186,5-194	Tongeren	Ruisbroek
194-212		Watervliet
212-230		Bassevelde
230-292	Dongen	Asse
292-311		Brussels

Tabel 9: Lithostratigrafie boring B49F0431.

Interval (m MD)	Lithostratigrafie (2012)	
	Formatie	Laagpakket
75-102	Oosterhout	
102-186	Breda	
186-190	Rupel	Boom

Tabel 10: Lithostratigrafie boring B49F0436.

Interval (m MD)	Lithostratigrafie (2014)	
	Formatie	Laagpakket
90-196	Oosterhout	
196-232	Breda	
232-238	Rupel	Boom

Tabel 11: Lithostratigrafie boring B49F1427 (Zegge).

Interval (m MD)	Lithostratigrafie (2015)	
	Formatie	Laagpakket
84-190	Oosterhout	
190-236	Breda	
236-388	Rupel	Boom
388-421	Tongeren	Ruisbroek

Tabel 12: Lithostratigrafie boring B49D0483.

<b>Interval (m MD)</b>	<b>Lithostratigrafie (2015)</b>	
	<b>Formatie</b>	<b>Laagpakket</b>
100-131	Oosterhout (Maassluis)	
131-264	Oosterhout	
264-292	Breda (Oosterhout)	
292-320	Breda	

### 3 Resultaten boring B49G0959 (Putten)

De associaties zijn relatief arm (monster 64-65 m) tot zeer rijk (90-91 m) aan dinoflagellaatcysten. De preservatie is goed. Reworking uit oudere afzettinglagen is zeer zeldzaam. De onderstaande resultaten van de huidige palynologische analyse zijn geïntegreerd met die uit eerdere studie (Rapport TNO-034-UT-2009-02485/B).

#### 3.1 Monster/Interval 47-48 m: laat Pliocéen, Piacenzien of ouder

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Barssidinium graminosum*
- LOD *Barssidinium wrenni*

#### 3.2 Monster/Interval 57-65 m: vroeg Pliocéen, vroeg Zancleén of ouder

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Reticulatosphaera actinocoronata* op 57 m

Opmerkingen: het monster op 64-65 m wordt gedomineerd door *Paralecaniella* (53 % van het mariene aandeel palynomorfen). Dit duidt op zeer kustnabije omstandigheden.

#### 3.3 Monster/Interval 69-75 m: midden Mioceen, laat Langhien-vroeg Serravallien, SNSM 7 Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Apteodinium spiridoides* op 69-70 m
- LOD *Apteodinium tectatum* op 69-70 m

Opmerkingen: *Cleistosphaeridium placacanthum* is redelijk vertegenwoordigd en bevestigt het bereiken van het Midden Mioceen.

#### 3.4 Monster/Interval 82-83 m: midden Mioceen, mid-Langhien, SNSM 6 Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Cousteaudinium aubryae*

#### 3.5 Monster/Interval 85-86 m: vroeg Laat Oligoceen, vroeg Chattien of ouder, NSO-6 Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Wetzeliella gochtii*
- LOD *Wetzeliella symmetrica*

### **3.6 Monster/Interval 90-101 m: Vroeg Oligoceen, laat Rupelien, NSO-5a Zone of ouder**

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Achilleodinium biformoides* op diepte 90-91 m
- LOD *Rhombodinium draco* op 90-91 m
- LOD *Gerdicysta conopeum* op 90-91 m
- LOD *Membranophoridium conopeum* op 90-91 m
- LOD *Membranophoridium intermedium* op 100-101 m

## 4 Resultaten boring B49F0431

De microflora is relatief arm (90-111 m en 149-150 m) tot rijk (dieper dan 150 m) aan palynomorfen (dinoflagellaatcysten, sporen en pollen). De preservatie is goed. Reworking is in (zeer) beperkte mate aanwezig tot afwezig. De remaniëring is te herleiden tot Paleogene successies.

### 4.1 Monster/Interval 78-111 m: laat Pliocéen, Piacenzien of ouder

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Barssidinium graminosum* op 78-79 m
- LOD *Barssidinium pliocenicum* op 78-79 m

Opmerkingen: De genera *Dracodinium* en *Cordosphaeridium* worden als reworking beschouwd uit het Paleogeen.

### 4.2 Monster/Interval 120-121 m: vroeg Pliocéen, Zancleén

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Operculodinium tegillatum*

Opmerking: Een zeer zeldzaam voorkomen (1 exemplaar) van *Cleistosphaeridium placacanthum* wordt gezien is herwerking.

### 4.3 Monster/Interval 129-171 m: vroeg Pliocéen, vroegste Zancleén

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Reticulatosphaera actinocoronata* op 129-130 m
- LOD *Selenopemphix armageddonensis* op 129-130 m

Opmerking: De dinoflagellaatcysten *Invertocysta lacrymosa*, *Invertocysta tabulata* en *Melitasphaeridium choanophorum* passen in het chronostratigrafische beeld. Op diepte 170-171 m is *Paralecaniella* sterk vertegenwoordigd (meest voorkomend marien organisme: 34 % van het mariene aandeel palynomorfen). Het hoge aantal *Paralecaniella* wijst op kustnabije omstandigheden. Het incidentele (niet-continue) voorkomen van *Eatonicysta ursulae* (129-130 m), *Areoligera semicirculata*, *Cleistosphaeridium placacanthum* (149-150 m) en *Areosphaeridium dictyoplokum* (170-171 m) duidt op reworking uit het Paleogeen.

### 4.4 Monster/Interval 180-181 m: midden Mioceen, laat Langhien-vroeg Serravallien, SNSM 7 Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Apteodinium spiridoides*
- LOD *Unipontidium aqueductum*



Opmerking: De genera *Cordosphaeridium* en *Deflandrea* zijn beoordeeld als reworking.

#### **4.5 Monster/Interval 188-189 m: Vroeg Oligoceen, laat Rupelien, NSO-5a Zone of ouder**

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Achilleodinium biformoides* op diepte 90-91 m
- LCOD *Rhombodinium draco* op 90-91 m

Opmerking: De aanwezigheid van *Areoligera semicirculata*, *Deflandrea phosphoritica*, *Hystrihokolpoma cinctum* en *Wetzeliella symmetrica* bevestigen het bereiken van het Oligoceen.

## 5 Resultaten boring B49F0436

De microflora in het hoogste monsterinterval 136-160 m, is arm aan palynomorfen (pollen, sporen en mariene dinoflagellaatcysten). Dieper worden de associaties in het algemeen rijker, gevarieerder en meer marien beïnvloed. De preservatie is goed. Remaniëring is zeldzaam vertegenwoordigd of afwezig.

### 5.1 Monster/Interval 136-161 m: laat Pliocéen, Piacenzien of ouder

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Invertocysta lacrymosa* op 136-137 m
- LOD *Barssidinium pliocenicum* op 136-137 m
- LOD *Barssidinium graminosum* op 154-155 m

Opmerkingen: De presentie van een incidentele *Hystrichosphaeropsis obscura* (136-137 m) wordt beschouwd als reworking uit het Mioceen, net als *Diphyes ficusoides* (136-137 m) uit het Eoceen en *Densosporites* (136-137 m) uit het Carboon. De LOD van *Invertocysta lacrymosa* is recent in boring Hank nauwkeurig vastgesteld o.b.v. stabiele isotopenonderzoek op 3,04 Ma (Crampton Dearing-Flood et al., 2020).

### 5.2 Monster/Interval 170-171 m: vroeg Pliocéen, Zancleén

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Operculodinium tegillatum*

### 5.3 Monster/Interval 179-189 m: vroeg Pliocéen, vroegste Zancleén

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Reticulatosphaera actinocoronata* op 179-180 m

### 5.4 Monster/Interval 200-212 m: midden Mioceen, mid-Langhien, SNSM 6 Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Distatodinium paradoxum* op 200-201 m
- LOD *Apteodinium spiridoides* op 200-201 m
- LOD *Apteodinium tectatum* op 200-201 m
- LOD *Sumatradinium hamulatum* op 200-201 m

### 5.5 Monster/Interval 221-229 m: vroeg Mioceen, mid Aquitanien, SNSM 1/SNSM2 grens Zone of midden Mioceen

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Cordosphaeridium cantharellum* op 221-222 m

- LOD *Chiropteridium galea* op 221-222 m
- FOD *Sumatradinium soucouyanae* op 221-222 m

Opmerking: De individuele voorkomens van *Deflandrea phosphoritica* (221-222 m), *Wetzeliella gochtii* (228-229 m) en *Wetzeliella symmetrica* (221-222 m) worden in de eerste optie beschouwd als reworking uit de oudere Formatie van Veldhoven en/of Rupel Formatie. Omdat er regionaal geen Chattien-midden Burdigalien bekend is, is de 2<sup>de</sup> optie om de midden Mioceen ouderdom te handhaven en alle Oligoceen-Vroeg Miocene soorten te beschouwen als remaniëring.

## 6 Resultaten boring B49F1427 (Zegge)

De associaties zijn verscheiden en matig tot zeer rijk aan dinocysten. De preservatie is goed. Reworking uit oudere afzettingen is beperkt of niet aanwezig. In het hoogste deel van de boring, interval 169-210 m, komt de remaniëring vooral uit het Paleogeen. In het diepste deel, interval 380-421 m, is ook herwerking uit de Late Jura- Vroeg Krijt vertegenwoordigd. Ook het Carboon is in de geheel onderzochte successie zeer zeldzaam present.

### 6.1 Monster/Interval 169-181 m: laat Pliocéen, Piacenzien of ouder

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Invertocysta lacrymosa* op 169-170 m (> 3,04 Ma)
- LOD *Barssidinium pliocenicum* op 169-170 m
- LOD *Barssidinium graminosum* op 180-181 m

Opmerkingen: De aanwezigheid van *Chiropteridium galea* wordt geïnterpreteerd als reworking uit het Oligoceen.

### 6.2 Monster/Interval 191-210 m: vroeg Pliocéen, vroegste Zancleén

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Operculodinium tegillatum* op 191-192 m
- LOD *Reticulatosphaera actinocoronata* op 191-192 m

Opmerkingen: De presentie van dinoflagellaatcysten *Chiropteridium galea*, *Thalassiphora pelagica* en *Wetzeliiella* worden beschouwd als reworking uit het Oligoceen.

### 6.3 Monster/Interval 219-220 m: midden Mioceen, laat Langhien-vroeg Serravallien, SNSM 7 Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Apteodinium tectatum*
- LOD *Unipontidinium aqueductum*
- LOD *Sumatradinium hamulatum*
- LOD *Palaeocystodinium ventricosum*
- LCOD *Cleistosphaeridium placacanthum*

Opmerkingen: *Palaeocystodinium golzowense* is rijk vertegenwoordigd en past in het chronostratigrafische beeld.

### 6.4 Monster/Interval 220-360 m: niet geanalyseerd/onderzocht

### 6.5 Monster/Interval 360-361 m: Vroeg Oligoceen, vroeg Rupelien, NSO-2 Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Glaphyrocysta semitecta*
- FOD *Wetzeliella symmetrica*
- FOD *Wetzeliella gochtii*
- FOD *Gerdiocysta conopeum*

### 6.6 Monster/Interval 366-367 m: vroegste Oligoceen, vroegste Rupelien, NSO-1 Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Areosphaeridium dictyoplokum*
- LOD *Cerebrocysta bartonensis*

### 6.7 Monster/Interval 370-372 m: laat-Eoceen, Priabonien, E8a Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Areosphaeridium michoudii*
- LOD *Melitasphaeridium pseudorecurvatum*

### 6.8 Monster/Interval 380-421 m: laat-Eoceen, Priabonien, E8a Zone met reworking uit laat midden-Eoceen, Bartonien, E7 Zone

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Rottnestia borussica* op 380-381 m (reworking)
- LOD *Rhombodinium rhomboideum* op 380-381 m (reworking)
- LOD *Heteraulacacysta porosa* op 385-386 m (reworking)
- LOD *Rhombodinium porosum* op 385-386 m (reworking)
- LOD *Diphyes colligerum* op 406-407 m
- FOD *Reticulatosphaera actinocornata* op 420-421 m
- FOD *Rhombodinium perforatum* op 406-407 m

Opmerkingen: De aanwezigheid van *Cicatricosisporites*, *Classopollis*, *Caliallasporites dampieri* en *Caliallasporites trilobatus* wijst op reworking uit de Late Jura- Vroeg Krijt en *Densosporites* uit het Carboon. Markersoorten met een ondubbelzinnige LOD in het Lutetien werden niet vastgesteld. Bujak & Mudge (1994) geven een LOD voor *Rhombodinium rhomboideum* aan de top Lutetien. Een meer recente publikatie van Eldrett et al. (2004) uit de Noors-Groenlandse Zee tonen een magnetisch gekalibreerde top voor dit taxon (tegelijktijd met *Rottnestia borussica*) in het mid- Bartonien.

Die mid-Bartonien datering is niettemin zeer onzeker, omdat in alle associaties *Reticulatosphaera actinocoronata* en in mindere mate ook *Rhombodinium perforatum* present is. Deze taxa hebben een FOD in het laat-Eoceen, Priabonien, E8a Zone. Het is voorstelbaar dat alle Bartonien markers zijn geremanieerd. Reworking is immers present en voorgenoemde Bartonien markersoorten zijn veelal slechts zeldzaam en niet-continu vertegenwoordigd. Bovendien is een

vergelijkbare reworking ook beschreven in Vandenberghe et al. (2003) in boring Doel-2b (België) en in de palynologische rapportage van verscheidene putten uit Zeeuws-Vlaanderen (b.v. NITG-TNO rapporten 03-061-B en 04-016-B).

## 7 Resultaten van boring B44D0483

De microflora is relatief gematigd tot zeer rijk aan palynomorfen (dinoflagellaatcysten, pollen en sporen). De terrestrische component is dominant van 221-260 m, waaronder met name het talrijke voorkomen van bisaccaten. De mariene component overheerst van 270-320 m. In het hoogste onderzochte interval 221-260 m is de hoeveelheid reworking is beperkt uit het Carboon, Late Jura-Onder Krijt en het Paleogeen. Dieper neemt de reworking toe uit het (Eoceen/Oligoceen-allervroegste Mioceen (Aquitanië)).

### 7.1 Monster/Interval 221-240 m: laat Pliocene, Piacenzien of ouder

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Barssidinium pliocenicum* op 221-222 m
- LOD *Barssidinium graminosum* op 221-222 m
- LOD *Invertocysta lacrymosa* op 233-234 m (> 3,04 Ma)
- LOD *Barssidinium wrennii* op 239-240 m

Opmerkingen: Reworking is zeer zeldzaam vastgesteld uit het Carboon en Boven-Jura – Onder-Krijt.

### 7.2 Monster/Interval 250-271 m: vroeg Pliocene, vroegste Zancleén

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Reticulosphaera actinocoronata* op 250-251 m
- FOD *Capisocysta lata/lyellii* op 259-260 m

Opmerkingen: Het enkele voorkomen van *Cleistosphaeridium placacanthum* op 250-251 m wordt beschouwd als reworking uit het Eoceen-Mioceen. *Chiropteridium galea* (enkele presentatie) op 259-260 m heeft een herkomst in het Oligoceen-allervroegste Mioceen (Aquitanië).

### 7.3 Monster/Interval 280-320 m: vroegste Pliocene (vroeg Zancleén) - laatste Mioceen (allerlaatste Tortonien), meest waarschijnlijk vroegste Zancleén

De datering is gebaseerd op:

- FOD *Operculodinium eirikianum* op 319-320 m
- FOD *Operculodinium tegillatum* op 319-320 m
- FOD *Filisphaera microornata* op 319-320 m

*Areosphaeridium dictyoplokum*, *Thalassiphora pelagica* en *Wetzeliella gochtii* op 280-281 m en *Cordosphaeridium cantharellum* en *Wetzeliella symmetrica* op 300-301 m en *Deflandrea phosporitica*, *Enneadocysta pectiniformis*, *Wetzeliella gochtii*, *Wetzeliella symmetrica* op 319-320 m zijn herwerkt (reworked) uit het (Eoceen/Oligoceen-(vroeg Mioceen)). En enkele soort op 319-320 m is afkomstig uit het Carboon en Laat-Jura- Vroeg Krijt.

Omdat deze boring is gezet m.b.v. een luchtliftmethode wordt aangenomen dat er geen naval (opval) uit hoger gelegen successies aanwezig is. De associaties tonen talloze markersoorten (meerdere exemplaren) met een FOD in het Laat (laatste) Mioceen, waaronder *Operculodinium eirikianum* (Laat-Mioceen), *Filisphaera microornata* en *Operculodinium tegillatum* (laatste Mioceen). *Achomosphaera andalousiensis* is slechts gering ouder met een FOD in het allerlaatste Serravallien. Omdat deze taxa niet kunnen voorkomen met voorgenoemde oudere taxa en naval wordt uitgesloten, is er reworking geïnterpreteerd. Soorten met een LOD in het Laat-Mioceen ontbreken echter ook. De meest waarschijnlijke ouderdom is derhalve vroegste Zancleén (tot ca Mioceen/Pliocene grens).



## 8 Discussie en conclusies

### 8.1 Boring B49G0959 (Putten)

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring B49G0959 (Putten) wordt weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring B49G0959 (Putten).

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
47-48	laat Pliocene, Piacenzien of ouder
57-65	vroegste Pliocene, vroeg Zancleén of ouder
ca. 67	~~~~~ (MMU + LMU)
69-75	midden Mioceen, laat Langhien-vroeg Serravallien, SNSM 7 Zone
82-83	midden Mioceen, mid-Langhien, SNSM 6 Zone
ca. 85	~~~~~ (Savische fase + EMU)
85-86	vroeg Laat Oligoceen, vroeg Chattien of ouder, NSO-6 Zone
90-101	Vroeg Oligoceen, laat Rupelien, NSO 5a Zone of ouder

Op grond van voorliggende palynologische resultaten kan worden vastgesteld dat:

- Het zandige monster aan de top van het onderzochte interval op diepte 47-48 m is gedateerd als Laat Pliocene, Piacenzian of ouder. Op basis van de lithologie, facies en ouderdom kan het monster lithostratigrafisch worden ingepast bij de Formatie van Oosterhout.
- Interval 57-65 m is gedateerd als vroeg Zancleén. De hoge gamma-ray logwaarden van ca 64-67 m worden wellicht veroorzaakt door de aanwezigheid van vele leembrokjes in het groenzwarte glauconietzand. Deze lithologie, ouderdom en hoge gamma-ray waarden kunnen worden geassocieerd met het Laagpakket van Tilburg (Formatie van Oosterhout).
- De basis van de Formatie van Oosterhout wordt hiermee verplaatst en verdiept van 51 m naar 67 m.
- Op ca 67 m is een hiaat vastgesteld dat het (grootste deel van het) Serravallien en het laat Mioceen omvat. Deze correspondeert met de MMU en LMU. Lithostratigrafisch betekent dit dat de top van de Formatie van Groote Heide, de Formatie van Diessen (jongere deel van de voormalige Formatie van Breda) en wellicht het meest basale deel van de basis van de Formatie van Oosterhout afwezig zijn.
- De Formatie van Groote Heide (oudere deel van de Formatie van Breda) is present van 67-85 m.
- Op diepte 85 m is een groot hiaat bepaald dat het (grootste deel van het) Laat Oligoceen en vroeg Mioceen omvat. Dit hiaat wordt geassocieerd met een gecombineerde Savische fase en EMU. De Formatie van Veldhoven is er (grotendeels) afwezig.

- Dieper op de overgang (85 m) naar de sterk siltige klei wordt de top van de Rupel Formatie bereikt. De datering in het jongste deel van het Rupelien en de relatief beperkt lagere waarden op de gamma-ray log (silt) maken, ondanks het ontbreken van (dunne laagjes) zand in de lithologische beschrijving, een inpassing bij het Laagpakket van Steensel, interval 85-ca 103 m, voorstelbaar. In ieder geval is de successie een laterale tijdsequivalentie van de onderhavige lithostratigrafische eenheid.

Tabel 14: Geüpdatete lithostratigrafie boring B49G0959 (Putten).

Interval (m MD)	Lithostratigrafie	
	Formatie	Laagpakket
29-67	Oosterhout	
64-67		Tilburg
67-85	Groote Heide	
85-103	Rupel	Steensel
103-158		Boom
158-186,5		Belsele-Waas
186,5-194	Tongeren	Ruisbroek
194-212		Watervliet
212-230		Bassevelde
230-292	Dongen	Asse
292-311		Brussels

## 8.2 Boring B49F0431

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring B49F0431 wordt weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring B49F0431.

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
78-111	laat Pliocene, Piacenzien of ouder
120-121	vroeg Pliocene, Zancleén
129-171	vroeg Pliocene, vroeg Zancleén
ca. 177	~~~~~ (MMU + LMU)
180-181	midden Mioceen, laat Langhien-vroeg Serravallien, SNSM 7 Zone
ca. 186	~~~~~ (Savische fase + EMU)
188-189	Vroeg Oligoceen, laat Rupelien, NSO-5a Zone of ouder

Op grond van voorliggende palynologische resultaten kan worden vastgesteld dat:

- De basis van de Formatie van Oosterhout 75 meter dieper is bepaald dan in de eerdere DINO-database interpretatie (2012). De basis van de Formatie van Oosterhout is verdiept van 102 m naar 177 m.
- De hogere gamma-ray waarden van interval 120-125 m suggereren een flooding event. Samen met de ouderdomsbepaling zou deze geassocieerd

kunnen worden met het Laagpakket van Tilburg. Helaas kan dit niet worden bevestigd door de weinig gedifferentieerde lithologische beschrijving van het interval.

- De lithologie van het er onderliggend groen-grijze zand, interval ca.125-177 m, is tijdsequivalent aan de Goirle zanden.
- Op 177 m (lithologische overgang van groen-zwart naar groen-grijs zand) is een hiaat vastgesteld dat het (grootste deel van het) Serravallien en het laat Mioceen omvat. Dit correspondeert met de MMU en LMU. Lithostratigrafisch betekent dit dat de Formatie van Diessen (jongere deel van de voormalige Formatie van Breda) afwezig is. Ook ontbreekt het jongste deel van de Formatie van Groote Heide.
- De Formatie van Groote Heide (oudere deel van de voormalige Formatie van Breda) is geïnterpreteerd voor het groen-zwart zandige interval van 177-186 m.
- Op diepte 186 m is een groot hiaat geïnterpreteerd, dat het Laat Oligoceen en vroeg Mioceen omvat. Dit hiaat kan worden geassocieerd met de Savische fase en EMU. De Formatie van Veldhoven is absent.
- Dieper dan 186 m is de matig siltige klei geclassificeerd als Rupel Formatie. Hoewel in de lithologische beschrijving geen melding wordt gemaakt van dunne zandlaagjes, is de siltige kleisuccessie niettemin tijdsequivalent met het Laagpakket van Steensel.

Tabel 16: Geüpdatete lithostratigrafie boring B49F0431.

Interval (m MD)	Lithostratigrafie	
	Formatie	Laagpakket
75-177	Oosterhout	
125-177		Goirle equivalent
177-186	Groote Heide	
186-190	Rupel	Steensel

### 8.3 Boring B49F0436

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring B49F0436 wordt weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring B49F0436.

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
136-161	laat Pliocene, Piacenzien of ouder
170-171	vroeg Pliocene, Zancleén
179-189	vroeg Pliocene, vroeg Zancleén
ca. 196	~~~~~ (MMU + LMU)
200-212	midden Mioceen, mid-Langhien, SNSM 6 Zone
ca. 220	~~~~~ (EMU)
221-229	vroeg Mioceen, mid Aquitanien, SNSM 1/SNSM2 grens Zone of midden Mioceen, incl. reworking Oligocene-vroeg Mioceen
232	~~~~~ (Savische fase)

Op grond van voorliggende palynologische resultaten kan worden vastgesteld dat:

- De basis van de Formatie van Oosterhout als geïnterpreteerd in 2002 (DINO-database) kan worden bevestigd op 196 m bij de overgang van zwart glauconiet houdend naar grijs-zwart zand.
- De schelprijke “crag” facies, interval 103-171 m lijkt in de huidige boring relatief ouder in te snijden tot in het Vroeg Pliocéen, laat Zancleén, vergeleken met de boringen B49F1427 (Zegge) en B44D0483 waar het Laat Pliocéen, Piacenzien wordt bereikt.
- De hoge gamma-ray logwaarden rond 176-179 m (zeer hoog glauconiet gehalte met kleibrokjes) en datering in het vroeg Zancleén indiceren het voorkomen van het Laagpakket van Tilburg.
- De grijs-zwarte zanden van het interval 179-196 m zijn tijdsequivalent aan de Goirle zanden.
- Het hiaat op 196 m wordt geassocieerd met de MMU en LMU. Hier ontbreken in ieder geval het Serravallien en het laat Mioceen. Lithostratigrafisch betekent dit dat het jongste deel van de Formatie van Grootte Heide en de Formatie van Diessen (jongere deel van de voormalige Formatie van Breda) afwezig zijn.
- De Formatie van Grootte Heide (oudere deel van de voormalige Formatie van Breda) is geïnterpreteerd voor het zwart zandige interval van 196-220 m.
- Op diepte ca. 220 m lijkt het (grootste deel van het) Burdigalien te ontbreken, hetgeen kan worden toegeschreven aan de EMU.
- Interval 220-232 m is tweezijdig te interpreteren. Enerzijds als Formatie van Veldhoven, inclusief erosieve resten (reworking) t.g.v. de Savische fase uit het oudere deel van de Formatie van Veldhoven en/of Rupel Formatie. De successie bestaat uit een afwisseling van grijs-zwarte kleien en zwarte glauconiet zanden. Die zwarte glauconiethoudende zanden worden in België ook aangetroffen in ondermeer de boringen On-Mol-01 en Weelde. Deze successie is geïnterpreteerd als Formatie van Berchem, met reworking uit de Formatie van Voort (Munsterman & Deckers, in press). Anderzijds is er regionaal geen Formatie van Veldhoven bekend. Met deze achtergrondkennis wordt het interval geclassificeerd als Formatie van Grootte Heide, inclusief remaniëring uit de Rupel Formatie.
- Op diepte 232 m wordt een hiaat ingeschat, dat het (grootste deel van het) Laat Oligoceen en mogelijk aller vroegste Mioceen omvat. Dit hiaat kan worden geassocieerd met de Savische fase. Op basis van superpositie is het aannemelijk dat met het bereiken van de siltige kleien op 232 m de Rupel Formatie is aangeboord.

Tabel 18: Geüpdatete lithostratigrafie boring B49F0436.

Interval (m MD)	Lithostratigrafie	
	Formatie	Laagpakket
90-196	Oosterhout	
176-179		Tilburg
179-196		Goirle equivalent
196-220	Grootte Heide	
220-232	Veldhoven/Grootte Heide	
232-238	Rupel	

## 8.4 Boring B49F1427 (Zegge)

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring B49F1427 (Zegge) wordt weergegeven in Tabel 19.

Tabel 19: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring B49F1427 (Zegge).

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
169-181	laat Pliocéen, Piacenzien of ouder
191-210	vroegste Pliocéen, vroeg Zancleén of ouder
ca. 213	~~~~~ (MMU + LMU)
219-220	midden Mioceen, laat Langhien-vroeg Serravallien, SNSM 7 Zone
220-360	Niet geanalyseerd/onderzocht
360-361	Vroeg Oligoceen, vroeg Rupelien, NSO-2 Zone
366-367	vroegste Oligoceen, vroegste Rupelien, NSO-1 Zone
370-372	laat-Eoceen, Priabonien, E8a Zone
380-421	laat-Eoceen, Priabonien, E8a Zone met reworking uit laat midden-Eoceen, Bartonien, E7 Zone

Op grond van voorliggende palynologische resultaten kan worden vastgesteld dat:

- De basis van de Formatie van Oosterhout dient te worden verlegd van 190 m (DINO 2015) naar 213 m. De grens tussen de formaties van Groote Heide/Oosterhout ligt op de overgang van zeer fijn donkergroen-grijs naar matig fijn groengrijze zanden.
- Het vroeg Zancleén werd vastgesteld voor het interval 191-210 m en kan o.b.v. naastliggend geanalyseerde monsters (monsterresolutie) eventueel worden uitgebreid tot interval 181-213 m. Deze datering duidt op een tijdsequivalentie met de laagpakketten van Goirle en Tilburg. Chronostratigrafisch is correlatie met het interval 176-196 m van de naastliggende boring mogelijk. Echter door gebrek aan nauwkeurig onderscheiden lithologische beschrijvingen en onbeduidende gamma-ray waarden, is een ongedifferentieerde Formatie van Oosterhout bepaald.
- Op 2013 m is een hiaat vastgesteld dat het jongste deel van het Serravallien (hoogste deel Formatie van Groote Heide) en het Laat Mioceen (Formatie van Diessen) omvat.
- Er geen nieuwe informatie is m.b.t. interval 220-360 m, omdat dit niet werd geanalyseerd.
- De basis van de Rupel Formatie wordt hoger gelegd van 388 m (DINO 2015) naar 361 m. De grens tussen de Formatie van Tongeren en de Rupel Formatie is zichtbaar op diepte 361 m, met de overgang van een zwak zandig, zwak humeus, donker-groen-grijze leem naar een matig siltig, groengrijze klei.
- In tegenstelling tot de vorige interpretatie (DINO-database 2015), waarbij enkel het Laagpakket van Ruisbroek werd geduid, is de Formatie van Tongeren uit boring Zegge voor het eerst opgesplitst in:
  - Laagpakket van Ruisbroek, interval 361-370 m (zand tot zandig leem-interval in het vroege Rupelien)
  - Laagpakket van Watervliet, interval 370-374 m (klei-interval nabij Eoceen-Oligoceen grens)

Laagpakket van Bassevelde, interval 374-421 m (zand tot zandig leem interval in het Laat Eoceen)

Het Laagpakket van Bassevelde omvat verschillende sequenties als al aangegeven in Vandenberghe et al. (2003). Het Laagpakket van Bassevelde kent nogal wat reworking, behalve uit het Carboon, het Late Jura-Vroeg Krijt, ook uit het laat midden Eoceen, Bartonien. Deze erosieresten zijn wellicht het gevolg van de Pyreneïsche tektonische fase, die z'n effect had op het in het zuiden gelegen London-Brabant Massief (ook vastgesteld in boring Doel door Vandenberghe et al., 2003 en in boringen uit Zeeuws-Vlaanderen door Munsterman, 2003).

Tabel 20: Geüpdatete lithostratigrafie boring B49F1427 (Zegge).

Interval (m MD)	Lithostratigrafie	
	Formatie	Laagpakket
84-213	Oosterhout	
213-236*	Groote Heide	
236-361*	Rupel	
361-370	Tongeren	Ruisbroek
370-374		Watervliet
374-421		Bassevelde

\*Interval 220-360 m werd niet onderzocht.

## 8.5 Boring B44D0483

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring B44D0483 wordt weergegeven in Tabel 21.

Tabel 21: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring B44D0483.

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
221-240	laat Pliocene, Piacenzien of ouder
250-271	vroegste Pliocene, vroeg Zancleén
280-320	vroegste Pliocene, vroeg Zancleén-laatste Mioceen, allerlaatste Tortonien

Op grond van voorliggende palynologische resultaten kan worden vastgesteld dat:

- Op de overgang van klei naar het zand (315 m) is de grens tussen de formaties van Diessen en Oosterhout voorstelbaar. Het basale interval (280-320 m) kenmerkt zich mede door de vertegenwoordiging van reworking. Deze kan mogelijk worden geassocieerd met de erosie t.t.v. de LMU, die ook werd beschreven in boring Goirle (Munsterman et al., 2019). De basis van de Formatie van Oosterhout is andermaal een stuk dieper gelegd dan eerder geïnterpreteerd op 264 m of 292 m (DINO database, 2015).

- Het lichtgeel-grijze zand met veel glauconiet en schelpen(resten), interval 292-315 m, wordt geïnterpreteerd als het Laagpakket van Goirle.
- Het kleilig interval ca. 283-292 m met hoge gamma-ray waarden is tijdsequivalent met het Laagpakket van Tilburg.
- Het kleimonster aan de basis op 319-320 m kan lithostratigrafisch waarschijnlijk worden ingepast bij de top van de Formatie van Diessen. Het monster omvat ook verscheidene (chronostratigrafisch onverenigbare) mariene Oligocene dinoflagellaatcysten die werden geïnterpreteerd als reworking uit de Rupel Formatie en eventueel ook basale Formatie van Veldhoven.

Tabel 22: Geüpdatete lithostratigrafie boring B44D0483.

Interval (m MD)	Lithostratigrafie	
	Formatie	Laagpakket
100/131-315	Oosterhout	
283-292		Tilburg (equivalent)
292-315		Goirle
315-320	Diessen	

## 9 Referenties

**Bujak, J.P. et al., 1980.**

Dinoflagellate cysts and acritarchs from the Eocene of southern England, *Spec Pap. Palaeontol.*, 24: 100 pp.

**Bujak, J.P & Mudge, D., 1994.**

A high resolution North Sea Eocene dinocyst zonation, *J. Geol. Soc. London*, 151: 449 – 462.

**Dale, B., 1996.**

Dinoflagellate cyst ecology: modeling and geological applications, In: Jansonius, J. and McGregor, D.C. (eds), *Palynology: principles and applications*; *Am. Ass. Strat. Palynol. Found. (3)*: 1249 – 1275.

**De Schepper, 2006**

Plio-Pleistocene dinoflagellate cyst biostratigraphy and palaeoecology of eastern North Atlantic and southern North Sea Basin. *Ph.D. University of Cambridge*, 2006.

**De Schepper, S., Head, M.J., & Louwye, S., 2004.**

New dinoflagellate cyst and incertae sedis taxa from the Pliocene of northern Belgium, Southern North Sea Basin. *J.Paleont.*, 78 (4): 625-644.

**De Schepper, S., Head, M.J., 2008.**

Age calibration of dinoflagellate cyst and acritarch events in the Pliocene–Pleistocene of the eastern North Atlantic (DSDP Hole 610A). *Stratigraphy*5 (2), 137–161.

**De Schepper, S. & Head, M.J., 2009**

Pliocene and Pleistocene dinoflagellate cyst and acritarch zonation of DSDP Hole 610 A, eastern North Atlantic. *Palynology*, 33 (1): 179-218.

**De Schepper, S., Schreck, M., Beck, K.M., Matthiessen, J., Fahl, K., Mangerud, G., 2015.**

Early Pliocene onset of modern Nordic Seas circulation related to ocean gateway changes. *Nat. Commun.*6. <https://doi.org/10.1038/ncomms9659>.

**De Schepper, S., Beck, K.M., Mangerud, G., 2017.**

Late Neogene dinoflagellate cyst and acritarch biostratigraphy for Ocean Drilling Program Hole 642B, Norwegian Sea. *Rev. Palaeobot. Palynol.*236, 12–32. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2016.08.005>.

**Donders, T.H., Weijers, J.W.H., Munsterman, D.K. Kloosterboer-van Hoeve, M.L. Buckles, L. Pancost, R.D. Sinninghe Damsté, J.S., Brinkhuis, H. (2009)**

Strong climate coupling of terrestrial and marine environments in the Miocene of northwest Europe. *Earth and Planetary Science Letters* 281 (2009): 215-225

**Dybkaer, K., Piasecki, S. (2010).**



Neogene dinocyst zonation for the eastern North Sea Basin, Denmark. *Review of Palaeobotany and Palynology* 161, 1-29.

**Dybkaer, K., Rasmussen, Śliwińska, K.K., Esbensen, K.H., Matthiessen, A., 2018.**

A palynofacies study of past fluvio-deltaic and shelf environments, the Oligocene-Miocene succession, North Sea Basin: A reference dataset for similar Cenozoic systems. *Marine and Petroleum Geology*, 100: 111-147.

**Eldrett, J.S., Harding, I.C., Firth, J.V., and Roberts, A.P., 2004.**

Magnetostratigraphic calibration of Eocene-Oligocene dinoflagellate cyst biostratigraphy from the Norwegian-Greenland Sea. *Marine Geology* 204: 91-127.

**Head, M.J., 1997.**

Thermophilic dinoflagellaten assemblages from the mid Pliocene of eastern England. *J. Paleontol.*, 7: 165-193.

**Head, M.J. , 1998.**

Marine environmental change in the Pliocene and early Pleistocene of eastern England: the dinoflagellate evidence reviewed. In: *Van Kolfschoten, Th. and Gibbard, P.L., The dawn of the Quaternary. Meded. NITG-TNO*, 60: 199-226.

**Head, M.J., 1999.**

The Late Pliocene St. Erth Beds of Cornwall: a review of the palynology and reappraisal of the dinoflagellates. In: *Scourse, J. and Furze, M.F.A. (eds.), The Quaternary of West Cornwall. Field guide, Quaternary Res. Ass.:* 88-92.

**Head, M.J. and Norris, G., 2003.**

New species of dinoflagellate cysts and other palynomorphs from the latest Miocene and Pliocene of DSDP Hole 603C, western North Atlantic. *J. Paleontol.*, 77: 1-15.

**Heilmann-Clausen, C., 1985.**

Dinoflagellate stratigraphy of the uppermost Danian to Ypresian in the Viborg 1 borehole, central Jylland, Denmark, *Danmarks Geolog. Unders.*, A7: 69 pp.

**Janssen, N. en Dammers, G. , 2008.**

Sample processing for pre-Quaternary palynology. *Internal TNO report, May 2008.*

**Köthe, A., 2003.**

Dinozysten-Zonierung im Tertiär Norddeutschlands, *Revue Paleobiologie*, 22(2): 895-923.

**Köthe, A., 2007.**

Cenozoic biostratigraphy from the German North Sea sector (G-11-1 borehole, dinoflagellate cysts, calcareous nannoplankton). *Z.d.Ges.Geowiss.*, 158/2:287-327.

**Kuhlmann, G., Langereis, C.G., Munsterman, D.K., Van Leeuwen, R.-J., Verreussel, R., Meulenkamp, J.E. and Wong, Th.E., 2006.**

Integrated chronostratigraphy of the Pliocene-Pleistocene interval and its relation to the regional stratigraphical stages in the southern North Sea region. *Netherlands Journal of Geosciences* 85: 19-35.

**Kuhlmann, G., Langereis, C.G., Munsterman, D.K., Van Leeuwen, R.-J., Verreussel, R., Meulenkamp, J.E. and Wong, Th.E., 2006.**

Chronostratigraphy of Late Neogene sediments in the southern North Sea Basin and paleoenvironmental interpretations. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 239: 426-455.

**Larsson, L.M., Dybkjaer, K., Rasmussen E.S., Piasecki, S., Utescher, T., and Vajda, V. S., 2011.**

Miocene climate evolution of northern Europe: A palynological investigation from Denmark. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 309: 161-175.

**Louwye, S., 2002.**

Dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Upper Miocene Deurne Sands (Diest Formation) of northern Belgium, southern North Sea Basin. *Geol. J.* 37: 55-67.

**Louwye, S., Head, M.J., De Schepper, S., 2004.**

Dinoflagellate cyst stratigraphy and palaeoecology of the Pliocene in northern Belgium, southern North Sea Basin. *Geological Magazine* 141, 353–378.

**Louwye, S., 2005.**

The Early and Middle Miocene transgression at the southern border of the North Sea Basin (northern Belgium). *Geological Journal*, 40: 441-456.

**Louwye, S. and Laga, P., 2008.**

Dinoflagellate cyst stratigraphy and palaeoenvironment of the marginal marine Middle and Upper Miocene of the eastern Campine area, northern Belgium (southern North Sea Basin). *Geological Journal* 43, 75–94.

**Louwye, S. and De Schepper, S., 2010.**

The Miocene–Pliocene hiatus in the southern North Sea Basin (northern Belgium) revealed by dinoflagellate cysts. *Geological Magazine*, 147, 760–776.

**Louwye, S., Marquet, R., Bosselaers, M. & Lambert, O., 2010.**

Stratigraphy of an Early-Middle Miocene sequence near Antwerp in northern Belgium (southern North Sea Basin). *Geologica Belgica* 13: 269-284.

**Munsterman, D.K., 2003.**

De resultaten van het dinoflagellatenonderzoek naar de ouderdom en het afzettingsmilieu van boringen 55A0365 (Hulst), 54F0093 (Axel) en 48<sup>E</sup>0224 ('s Heer-Arendskerke). *NITG-TNO rapport 03-061-B*.

**Munsterman, D.K., 2004.**

De resultaten van het dinoflagellatenonderzoek naar de ouderdom en het afzettingsmilieu van boringen 54B0085 (Biervliet) en 54F0097 (Axel). *NITG-TNO rapport 04-016-B*.

**Munsterman, D.K. & Brinkhuis, H., 2004.**

A southern North Sea Miocene dinoflagellate cyst zonation. *Netherlands Journ. Geosc.* 83 (4): 267-285.

**Munsterman, D.K., 2009.**

De resultaten van het dinoflagellaatcystenonderzoek naar de ouderdom van boring B49G0959 (Putten), monsterinterval: 47- 312 m. *Rapport TNO-034-UT-2009-02485/B.*

**Munsterman, D.K., 2009.**

De resultaten van het dinoflagellaatcystenonderzoek naar de ouderdom van boring 49F1427 (Zegge). *Rapport TNO-034-UT-2009-02392/B.*

**Munsterman, D.K., 2019.**

De resultaten van het palynologische onderzoek naar het Paleogeen en Neogeen van boring Rijsbergen-01 (RSB-01), interval 550-900 m. *TNO rapport 2019 R11086.*

**Munsterman, D.K., Ten Veen, J.H., Menkovic, A., Deckers, J., Witmans, N., Verhaegen, J., Kerstholt-Boegehold, S.J., Van de Ven, T. and Busschers, F., 2019.**

An updated and revised stratigraphic framework for the Miocene and earliest Pliocene strata of the Roer Valley Graben and adjacent blocks. *Netherlands Journal of Geosciences, Volume 98, e8. <https://doi.org/10.1017/njg.2019.10>.*

**Munsterman, D.K., and Deckers, J. (in press).**

The Oligocene/Miocene boundary in the ON-Mol-1 and Weelde boreholes along the southern margin of the North Sea Basin, Belgium. *Geologica Belgica.*

**Ogg, J.G., Ogg, G., Gradstein, F.M., 2016.**

A Concise Geologic Time Scale, pp. 240.

**Powell, A.J., 1992.**

Dinoflagellate cysts of the Tertiary System, In: *Powell, A.J., A stratigraphic index of dinoflagellate cysts: 155 – 272.*

**Prinz, L., Schäfer, A., McCann T., Utescher T., Lokay P., & Asmus, S., 2017.**

Facies analysis and depositional model of the Serravallian-age Neurath Sand, Lower Rhine Basin (W Germany). *Netherlands Journal of Geosciences, Geologie en Mijnbouw, 96 – 3: 211–231.*

**Quaijtaal, W., Donders, T.H., Persicoc, D., Louwye, S., 2014.**

Characterising the middle Miocene Mi-events in the Eastern North Atlantic realm: A first high-resolution marine palynological record from the Porcupine Basin, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 399: 140-159.

**Thomsen, E., Abrahamsen, N., Heilmann-Clausen, C., King, C., and Bjørnslev Nielsen, O., 2012.**

Middle Eocene to earliest Oligocene development in the eastern North Sea Basin: Biostratigraphy, magnetostratigraphy and palaeoenvironment of the

Kysing-4 borehole, Denmark, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 350-352: 212-235.

**Vandenbergh, N., Brinkhuis, H. and Steurbaut, E., 2003.**

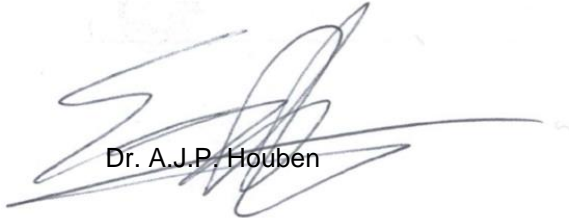
The Eocene-Oligocene boundary in the North Sea area: a sequence stratigraphic approach. *In: Protero, D.D., Ivany, L.C. & Nesbitt, E.A. (red.). From greenhouse to icehouse. The marine Eocene-Oligocene transition. New York (Columbia University Press): 419-437.*

**Van Simaey, S., Munsterman, D.K. & Brinkhuis, H. 2005.**

Oligocene dinoflagellate cyst biostratigraphy of the southern North Sea Basin. *Rev. Palaeobot. & Palynol.* 134: 105-128.

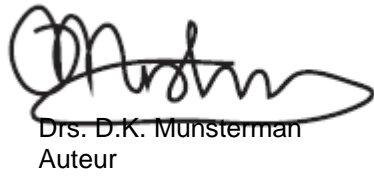
## 10 Ondertekening

Naam en paraaf tweede lezer



Dr. A.J.P. Houben

Ondertekening



Drs. D.K. Munsterman  
Auteur

Autorisatie vrijgave



Dr. M.J. van der Meulen  
Research manager

**Well Name : Putten**

Interval : 40m - 320m

Scale : 1:1000

Chart date: 28 April 2020

Total palynological interpretation

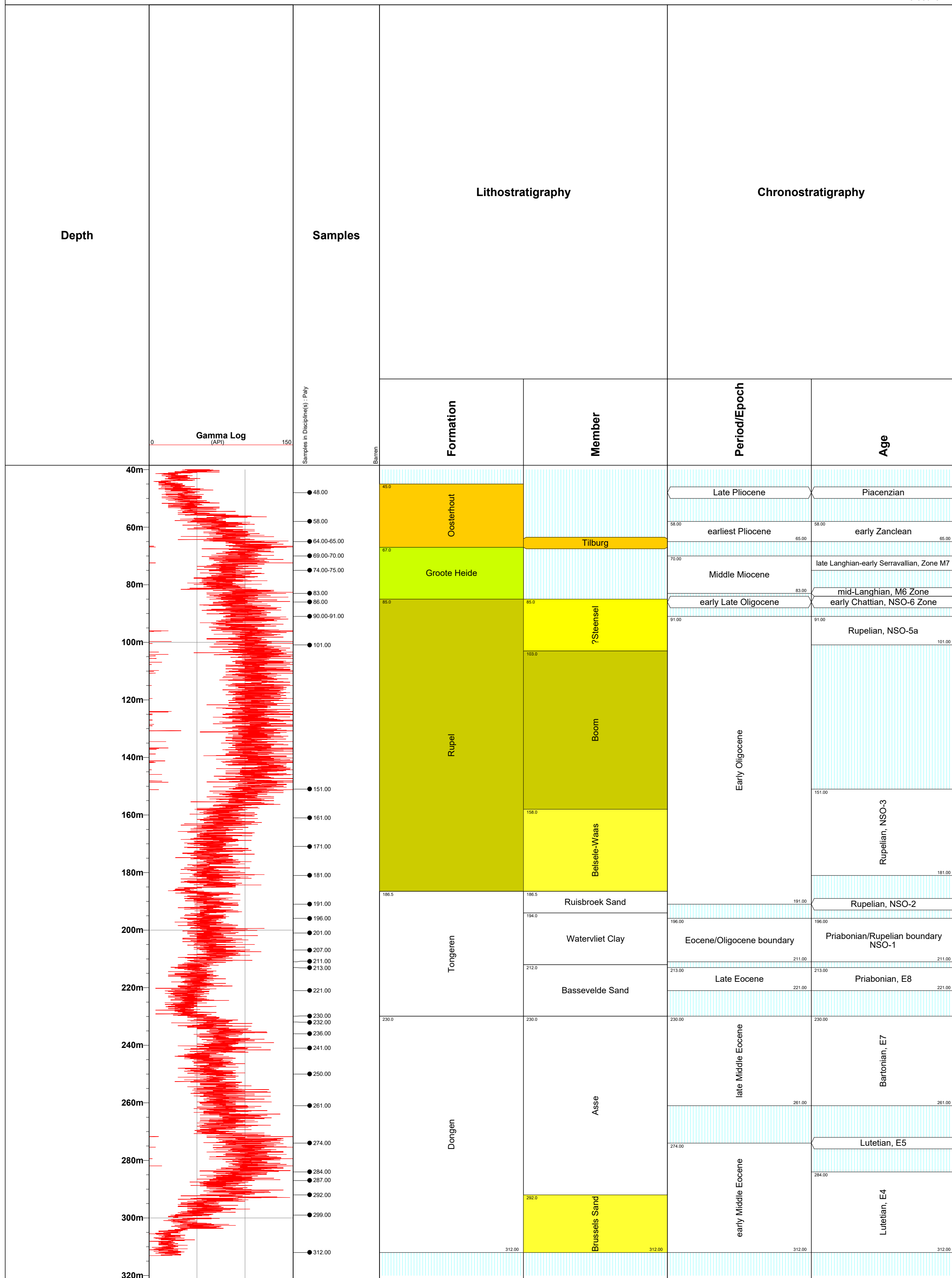
TNO report

B49G0959

**TNO-NITG  
Utrecht**

# Putten

Enclosure 1



**Well Name : Putten**

Interval : 40.00m - 95.00m

Scale : 1:500

Chart date: 28 April 2020

Distribution chart palynomorphs

TNO report

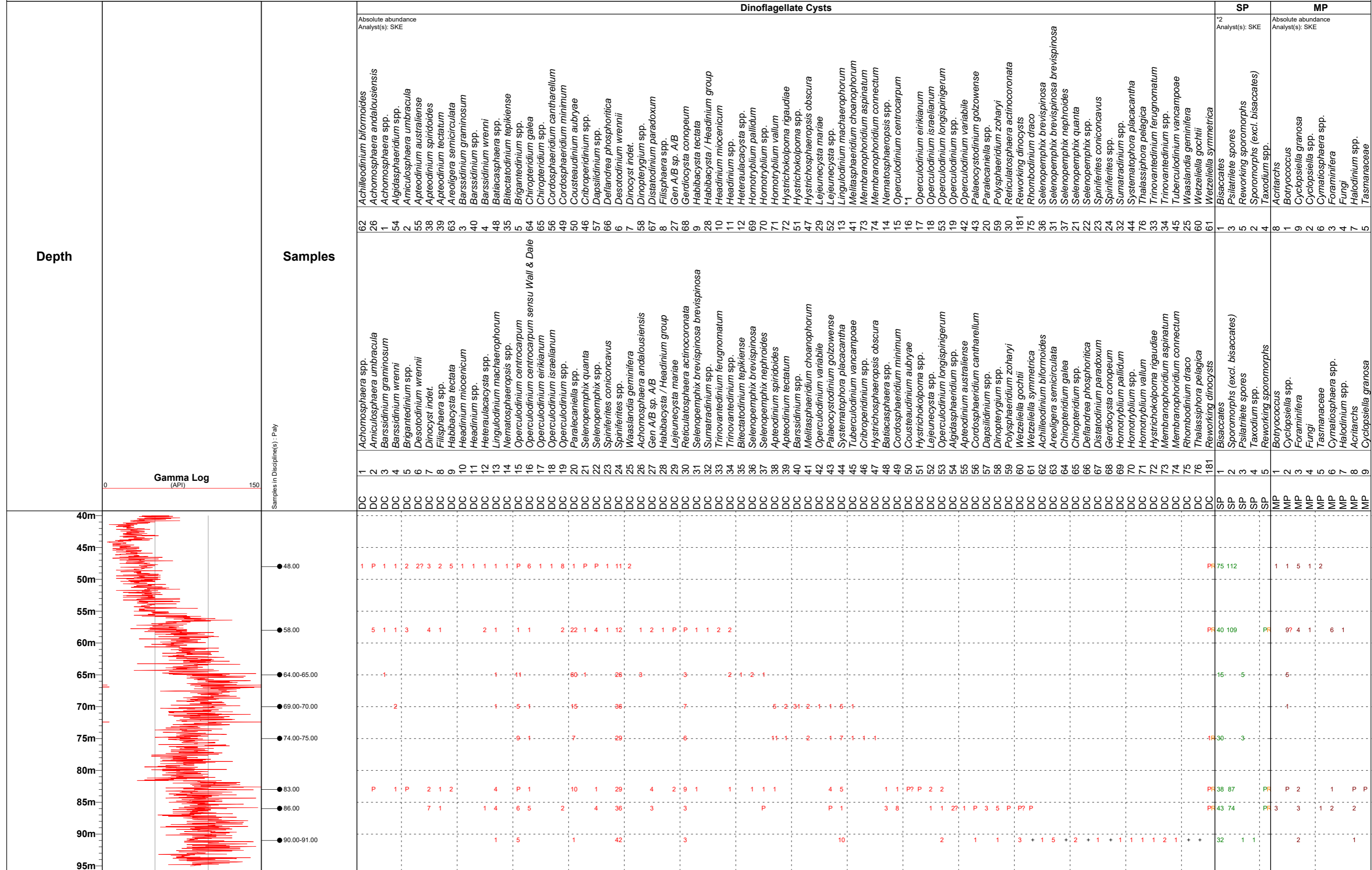
Code borehole B49G0959

TNO-NITG

Utrecht

# Putten

Enclosure 2



Well Name : B49F0431

Interval : 70m - 190m

Palynological interpretation & distribution chart

Scale : 1:500

TNO report

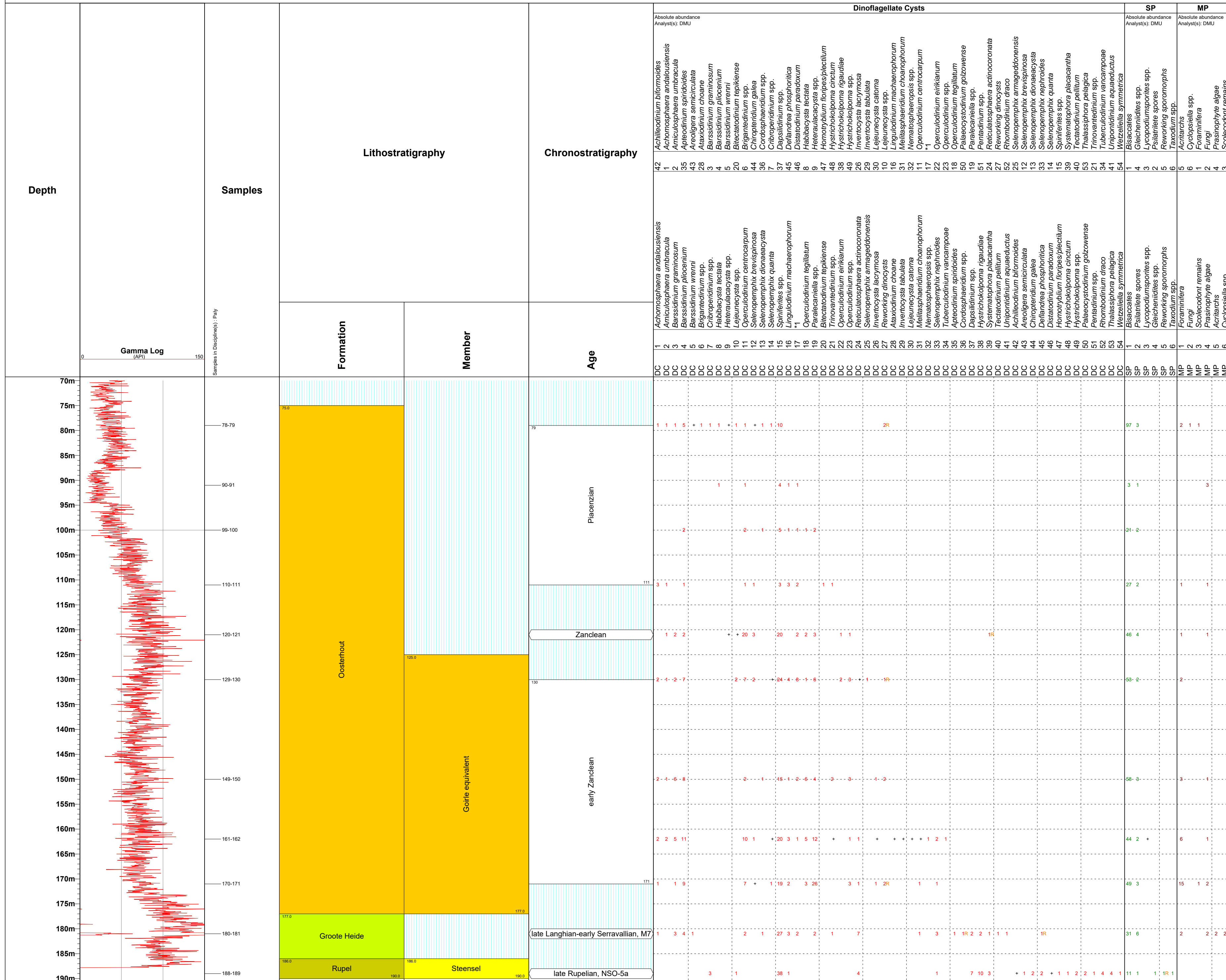
Chart date: 28 April 2020

# B49F0431

TNO-NITG

Utrecht

Enclosure 3







**Well Name : Zegge**

Interval : 160.00m - 230.00m

Scale : 1:500

Chart date: 28 April 2020

Interpretation + Palynological distribution chart

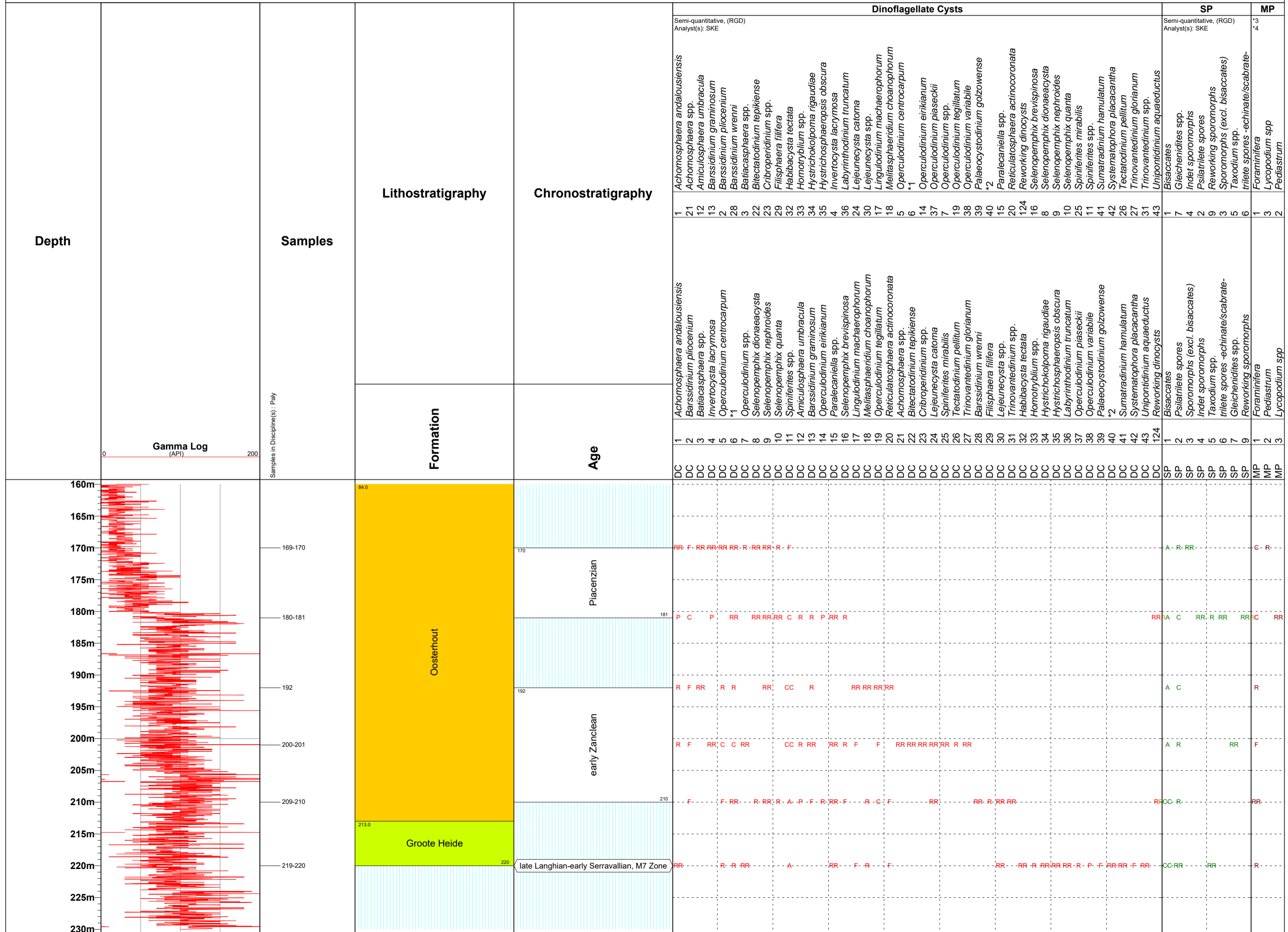
TNO report

# Zegge

TNO-NITG

Utrecht

Enclosure 5



**Well Name : Zegge**

Interval : 350.00m - 430.00m

Scale : 1:500

Chart date: 28 April 2020

Palynological interpretation

TNO report

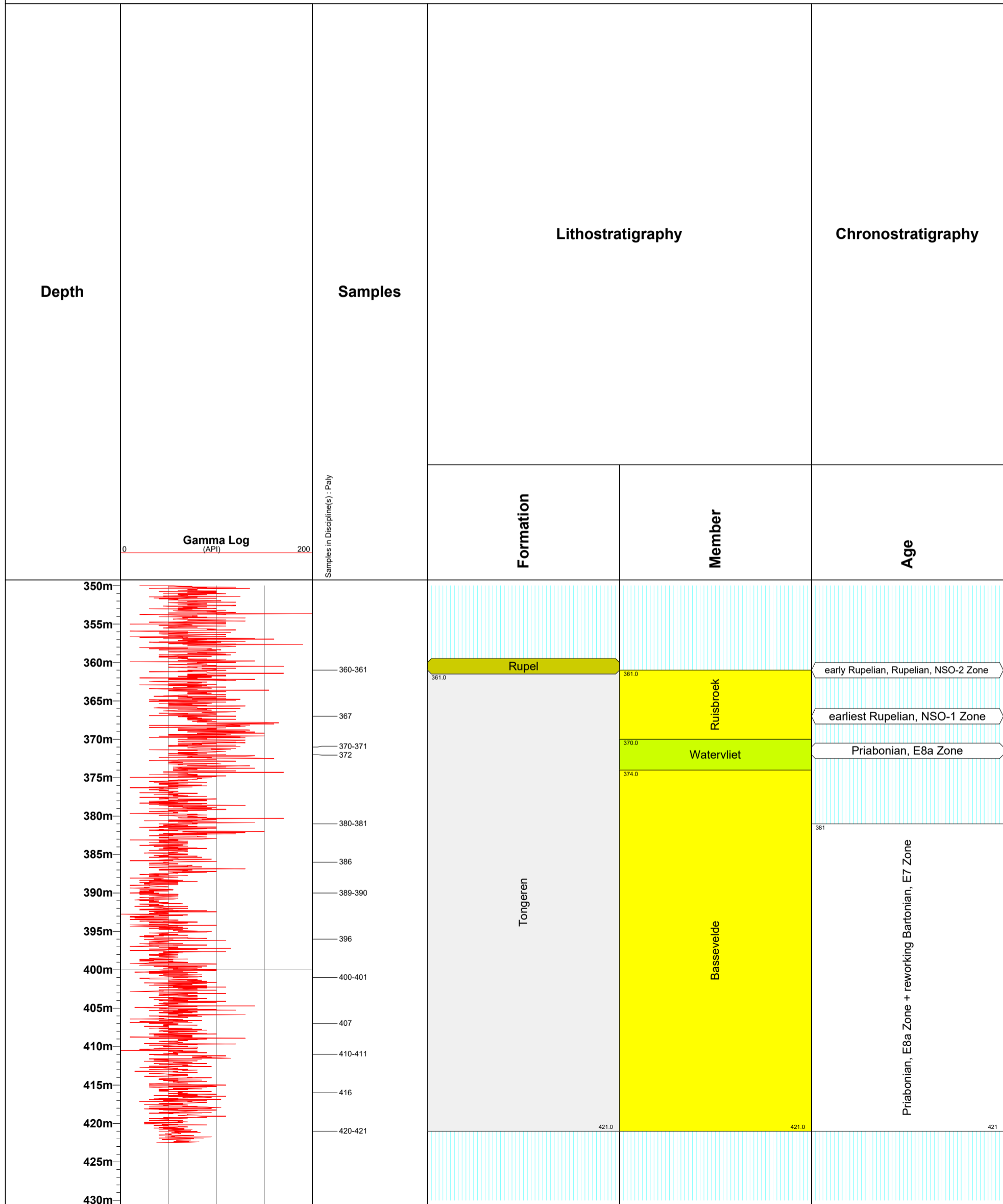
B49F1427

**TNO-NITG**

**Utrecht**

# Zegge

Enclosure 6



Well Name : Zegge

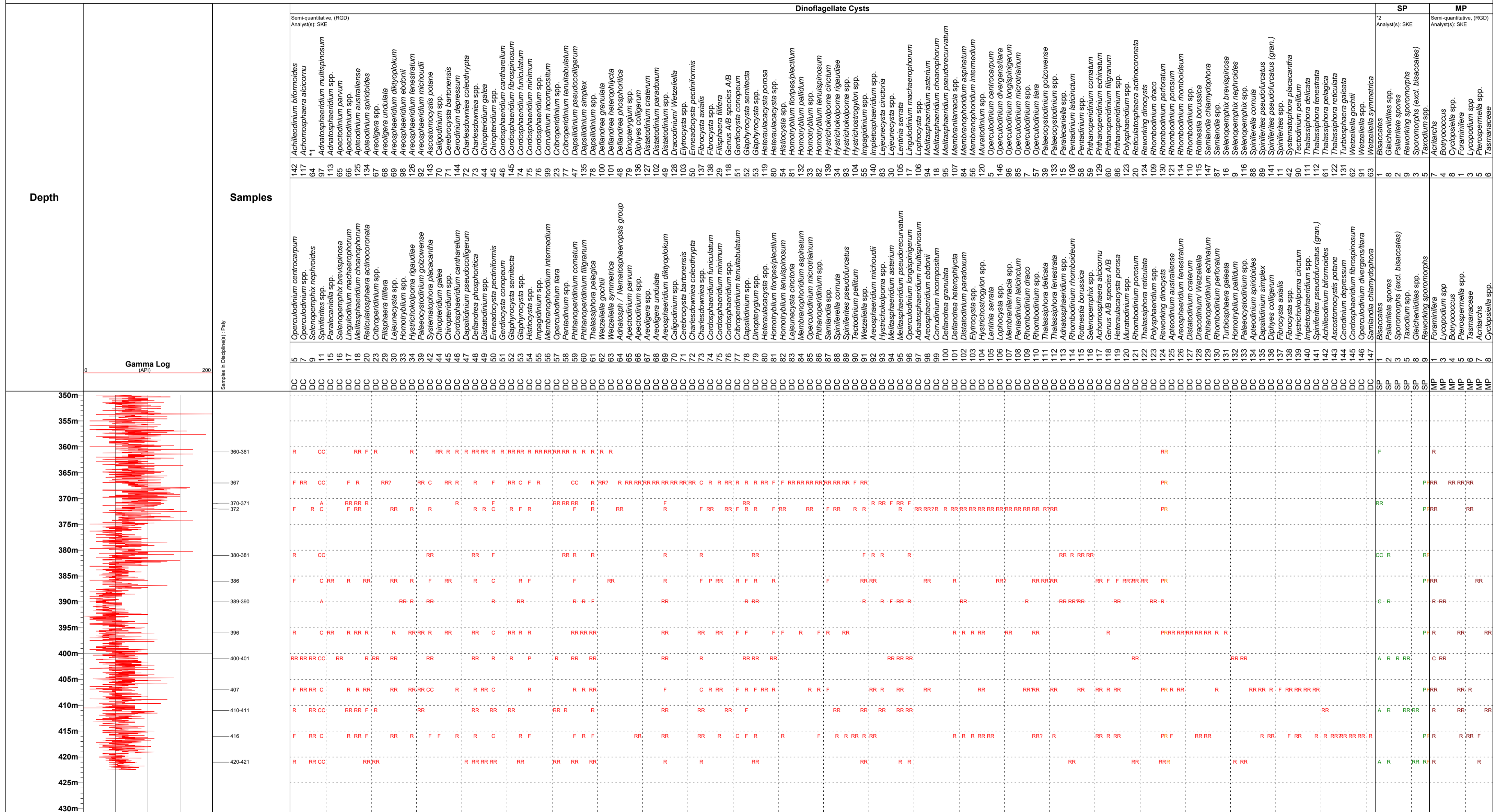
Interval : 350.00m - 430.00m
Scale : 1:500
Chart date : 28 April 2020

Palynological distribution chart
TNO report
B49F1427

Zegge

TNO-NITG
Utrecht

Enclosure 7



Well Name : B44D0483

Interval : 215m - 325m

Scale : 1:500

Chart date: 28 April 2020

Palynological distribution chart

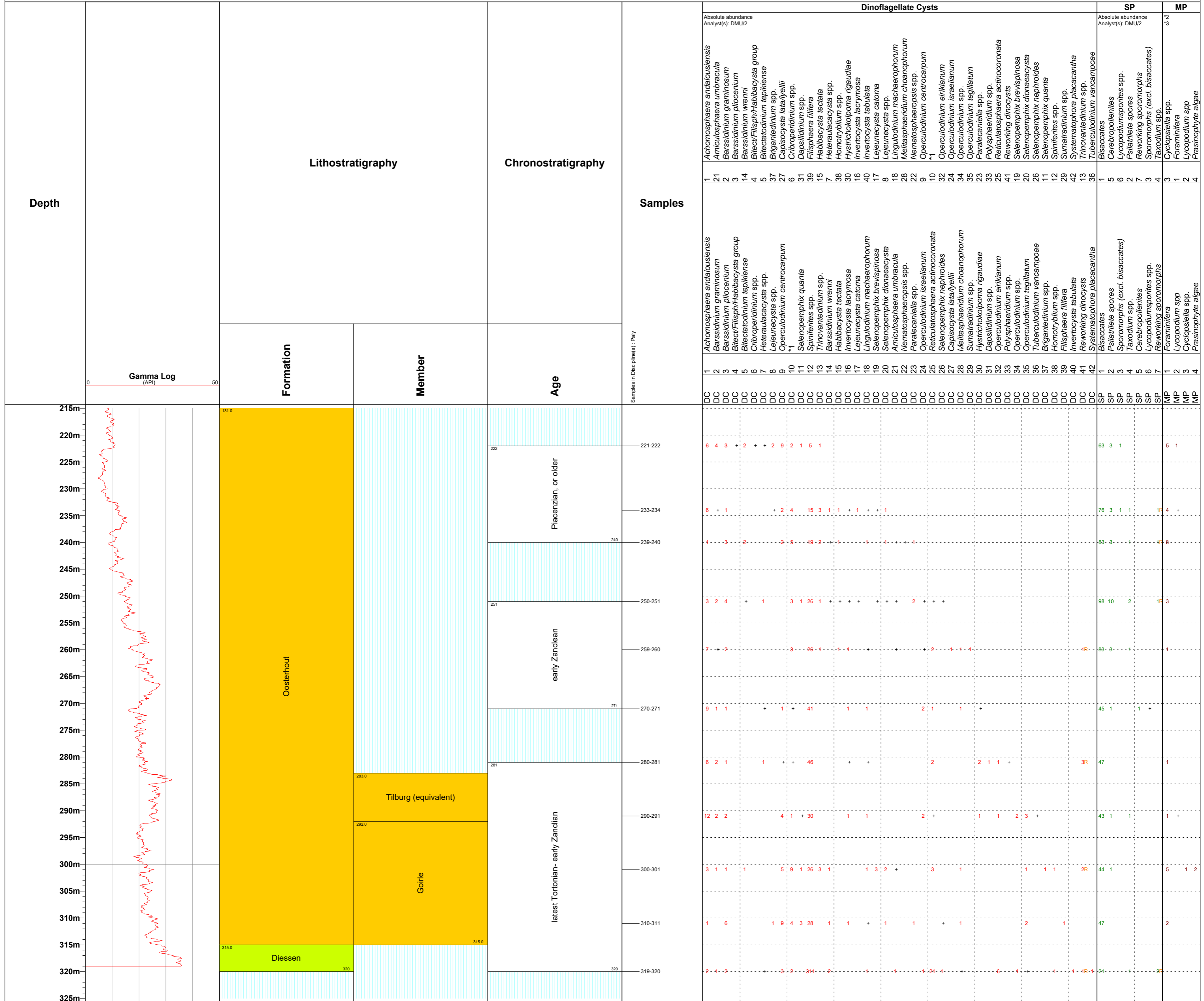
TNO report

# B44D0483

TNO-NITG

Utrecht

Enclosure 8



Geologische Dienst Nederland  
Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 42 56

## TNO-rapport

**TNO 2020 R11754**

# De resultaten van het palynologische onderzoek naar geselecteerde Ypresien successies in een Belgische en vier Nederlandse boringen uit de Voorkempen

Datum	Oktober 2020
Auteur(s)	D.K. Munsterman
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	42 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	TNO-GDN, Provincie en Waterschap Noord-Brabant
Projectnaam	H3O-De Voorkempen
Projectnummer	060.37187/01.02.03

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Materiaal en methoden</b> .....	<b>6</b>
2.1	Gesteentemonsters .....	6
2.2	Preparatietechniek .....	8
2.3	Palynologische analyse .....	8
2.4	Taxonomie en ouderdomsbepaling .....	8
2.5	Lithostratigrafie Ypresien België .....	10
2.6	Litho- chronostratigrafie Eoceen Nederland (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997) .....	12
<b>3</b>	<b>Resultaten boring Heibaart (007E0178)</b> .....	<b>13</b>
3.1	Monster/Interval 474 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c .....	13
3.2	Monster/Interval 476-480 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b .....	13
3.3	Monster/Interval 502-504 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c .....	13
3.4	Monster/Interval 514-522 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b .....	14
3.5	Monster/Interval 604-616 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a .....	14
<b>4</b>	<b>Resultaten boring Rijsbergen (RSB-01)</b> .....	<b>15</b>
4.1	Monster/Interval 650 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c .....	15
4.2	Monster/Interval 660 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b .....	15
4.3	Monster/Interval 670-690 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c .....	15
4.4	Monster/Interval 700-770 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b .....	16
4.5	Monster/Interval 790-810 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a .....	16
4.6	Diepte/Interval 820-830 m: ca. Paleoceen-Eoceen grens; Paleoceen-Eoceen Thermisch Maximum (PETM) of ETM1 ("Eocene Thermal Maximum 1"), Zone P6 (55,8 Ma) .....	16
<b>5</b>	<b>Resultaten boring Huibeven (HBV-01)</b> .....	<b>17</b>
5.1	Monster/Interval 750-770 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b .....	17
5.2	Monster/Interval 780 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c .....	17
5.3	Monster/Interval 790 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b .....	17
5.4	Monster/Interval 830-860 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a .....	17
<b>6</b>	<b>Resultaten boring Steelhoven (STH-01)</b> .....	<b>19</b>
6.1	Monster/Interval 740-780 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c .....	19
6.1	Monster/Interval 820-840 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b .....	19
6.2	Monster/Interval 850-860 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c .....	19
6.3	Monster/Interval 870 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b .....	20
6.4	Monster/Interval 940-970 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a .....	20
<b>7</b>	<b>Resultaten boring Numansdorp (NMD-01)</b> .....	<b>21</b>
7.1	Monster/Interval 960-1000 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c .....	21
7.2	Monster/Interval 1040 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b .....	21
7.3	Monster/Interval 1080 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c .....	21
7.4	Monster/Interval 1120-1160 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b .....	22
7.5	Monster/Interval 1200-1240 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a .....	22
<b>8</b>	<b>Discussie en conclusies</b> .....	<b>23</b>

8.1	Boring Heibaart (007E178), NW-België.....	23
8.2	Boring Rijsbergen (RSB-01), ZW-Nederland .....	23
8.3	Boring Huibeven (HBV-01), ZW-Nederland .....	24
8.4	Boring Steelhoven (STH-01), ZW-Nederland.....	24
8.5	Boring Numansdorp (NMD-01), ZW-Nederland .....	25
8.6	Rationale.....	25
<b>9</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>27</b>
<b>10</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>30</b>
	Bijlage 1: Palynologische interpretatie van boring Heibaart (007E178)	
	Bijlage 2: Palynologische distributietabel van boring Heibaart (007E178)	
	Bijlage 3: Palynologische interpretatie van boring Rijsbergen (RSB-01)	
	Bijlage 4: Palynologische distributietabel van boring Rijsbergen (RSB-01)	
	Bijlage 5: Palynologische interpretatie van boring Steelhoven (STH-01)	
	Bijlage 6: Palynologische distributietabel van boring Steelhoven (STH-01)	
	Bijlage 7: Palynologische interpretatie van boring Huibeven (HBV-01)	
	Bijlage 8: Palynologische distributietabel van boring Huibeven (HBV-01)	
	Bijlage 9: Palynologische interpretatie van boring Numansdorp (NMD-01)	
	Bijlage 10: Palynologische distributietabel van boring Numansdorp (NMD-01)	
	Bijlage 11: Zuid-Noord correlatiepanel boringen 007E178, RSB-01 en STH-01	
	Bijlage 12: ZO-NW correlatiepanel boringen HBV-01, STH-01 en NMD-01	



# 1 Inleiding

Éénduidige geologische kennis en informatie zijn essentieel voor een duurzaam beheer en gebruik van de ondergrond. Onduidelijkheden tussen de Nederlandse ondergrondinformatie en die van de buurlanden leidden tot onzekerheden in het begrip van correlaties tussen lithostratigrafische eenheden in de grensstreken. Om deze op te lossen zijn de laatste jaren meerdere H3O projecten gedefinieerd voor specifiek overlappende regio's tussen Nederland en beide buurlanden België en Duitsland.

Het huidige project H3O - De Voorkempen is in 2020 opgestart in samenwerking met de Vlaamse organisatie VITO, de Belgische Geologische Dienst (KBIN) en TNO - Geologische Dienst Nederland. Het doel van dit H3O-project is het maken van een grensoverschrijdend driedimensionaal geologisch en hydrogeologisch model van het Belgisch-Nederlands grensgebied van de Voorkempen (ZW Nederland). Het projectgebied sluit oostelijk aan op dat van het eerdere project H3O – Roerdalslenk Noordwest.

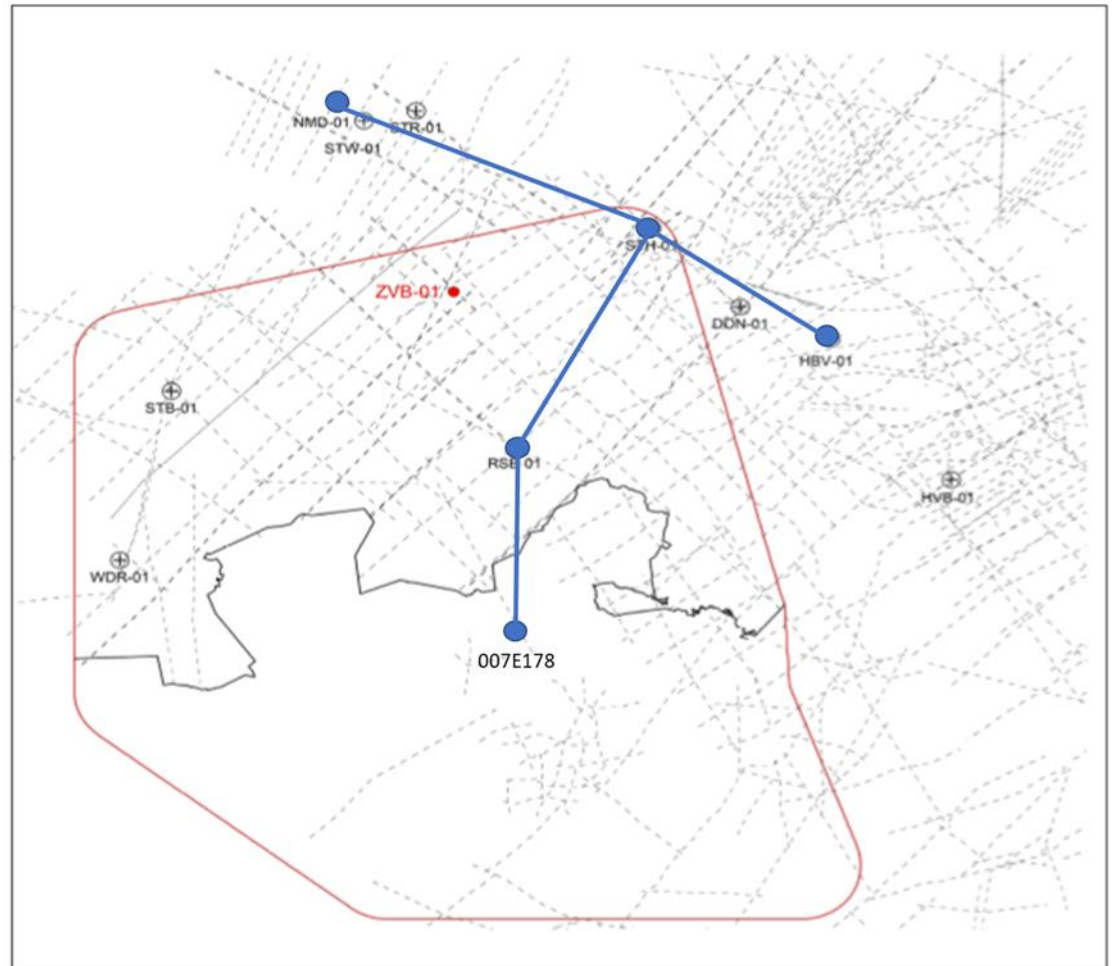
Voor het Nederlandse deelgebied is uit een gering aantal beschikbare diepe boringen binnen het inventarisatiegebied de put Rijsbergen-01 (RSB-01) geselecteerd als referentieborings. Deze boring is palynologisch geanalyseerd en lithostratigrafisch geüpdatet (TNO rapport 2019 R11086). In aanvulling op deze data is er een inventarisatie en selectie gemaakt van lithostratigrafische onzekerheden in Paleogene en Neogene successies van “ondiepe” Nederlandse putten binnen het onderhavige deelgebied. Om deze onduidelijkheden te verhelderen zijn de boringen B49G0959, B49F0431, B49F0436, B49F1427 en B44D483 palynologisch bestudeerd (TNO rapport 2020 R11209).

In de huidig additionele studie zal worden nagegaan in hoeverre de leper Member in Nederland nader kan worden gedifferentieerd en gecorreleerd naar de hogere resolutie lithostratigrafie in België. De Ypresien klei wordt in België gezien als mogelijke opslaglocatie voor radioactief afval en daarom is het belangrijk om onze kennis van deze laag te vergroten. De relevant laterale equivalenten van het Laagpakket van leper in Nederland zijn in België de formaties van Kortrijk, Tielt, Hyon en Gentbrugge.

Het Laagpakket van leper (Dongen Formatie) is qua dikte te omvangrijk om uitputtend te analyseren (te kostbaar). Jan Walstra (KBIN, Brussel; e-mail 14-08-2019) toont aan dat differentiatie en correlatie binnen de Ypresien kleien enkel mogelijk is op basis van boorgatmetingen (gamma-ray & resistiviteit logs). Hij waarschuwt dat in individuele boorbeschrijvingen uit België de kleilagen van Merelbeke, Egemkapel en Aalbeke vaak verward worden. Specifiek voor de boring Rijsbergen lijken de verschillende gammapieken te correleren met de (zware) kleilagen van de leden/laagpakketten van Merelbeke (Formatie van Gentbrugge), Egemkapel (Formatie van Tielt), Aalbeke (top Formatie van Kortrijk) en basis Orchies (basis Formatie van Kortrijk). Deze lithostratigrafische eenheden weerspiegelen een relatief hoge zeespiegel (VandenBerghe et al., 2004). Om de kans op verwarring van de kleilagen te reduceren worden in deze studie de (zware) kleilagen (zichtbaar op de gamma-ray logs door de hogere uitslag) in de Ypresien successie van 1 geselecteerde Belgische en 4 Nederlandse boringen palynologisch geanalyseerd. Met deze resultaten worden eventuele differentiatie en correlatie van equivalenten binnen het Nederlandse Laagpakket van leper naar een hogere

resolutie lithostratigrafie conform België nagegaan. De resultaten die uit deze studie voortvloeien kunnen als “tie-points” worden gehanteerd bij het seismisch onderzoek naar deze sequenties. Op deze wijze wordt een consistente modellering in een hogere resolutie dan de huidige in ZW Nederland voorstelbaar.

Figuur 1: Locatiekaartje met geselecteerde boringen (blauwe stip) en correlatielijnen (zie bijlagen 11 en 12).



Tabel 1: Geselecteerde boringen in en rondom het inventarisatiegebied.

Boring	Code	Land	Interval (m)
Heibaart	007E178	België	476-616
Rijsbergen	RSB-01	NL	654-820
Huibeven	HBV-01	NL	750-860
Steelhoven	STH-01	NL	740-970
Numansdorp	NMD-01	NL	960-1240

Materiaal en methoden worden beschreven in hoofdstuk 2. De palynologische resultaten, interpretatie van ouderdom, worden weergegeven per boring van zuid naar noord in hoofdstukken 3-7. De discussie en conclusies staan in hoofdstuk 8.

Het rapport werd gereviewd door Andreas Krusselbrink (TNO-GDN), Armin Menkovic (TNO-GDN) en Stephen Louwye (UGent).

## 2 Materiaal en methoden

De standaard afkortingen gebruikt door TNO staan in Tabel 2.

Tabel 2: Gebruikte afkortingen.

CO	Core sample (kern)
SC	Sidewall core sample (wandkern)
CU	Cuttings sample
AL	Air-lifted sample (luchtlift)
m	Meter
ft	Feet
LOD	Last Occurrence Datum
MFS	Maximum Flooding Surface
LCOD	Last Common Occurrence Datum
FOD	First Occurrence Datum
FCOD	First Common Occurrence Datum
EMU	Early Miocene Unconformity
LMU	Late Miocene Unconformity
MMU	Mid-Miocene Unconformity

### 2.1 Gesteentemonsters

De gesteentemonsters van boring Heibaart (code 007E178) zijn door bemiddeling van Jan Walstra bemonsterd en verkregen via Marleen de Ceukelaire op het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen. De monsters van de Nederlandse boringen zijn beschikbaar in de TNO-GDN monsteropslag te Zeist. Om een analyse mogelijk te maken zijn in totaal 51 monsters uitgenomen. De dieptes en het type materiaal worden hieronder weergegeven.

Tabel 3: Overzicht monsters boring Heibaart (007E178), België.

Diepte (m)	Type
474	CU
476	CU
478	CU
480	CU
502	CU
504	CU
514	CU
516	CU
518	CU
520	CU
522	CU
604	CU
606	CU
608	CU

610	CU
612	CU
614	CU
616	CU

Tabel 4: Overzicht aanvullende monsters boring Rijsbergen (RSB-01), Nederland.

Diepte (m)	Type
670	CU
680	CU
690	CU
700	CU

Tabel 5: Overzicht monsters boring Steelhoven (STH-01), Nederland.

Diepte (m)	Type
740	CU
750	CU
760	CU
770	CU
780	CU
820	CU
830	CU
840	CU
850	CU
860	CU
870	CU
940	CU
970	CU

Tabel 6: Overzicht monsters boring Huibeven (HBV-01), Nederland.

Diepte (m)	Type
750	CU
760	CU
770	CU
780	CU
790	CU
830	CU
840	CU
860	CU

Tabel 7: Overzicht monsters boring Numansdorp (NMD-01), Nederland.

Diepte (m)	Type
960	CU
1000	CU
1040	CU
1080	CU
1120	CU
1160	CU
1200	CU
1240	CU

## 2.2 Preparatietechniek

Alle gesteentemonsters zijn op gestandaardiseerde wijze door het PLS (UK, Malcolm Jones) laboratorium chemisch ontsloten (HCl en HF voor het oplossen van de carbonaten, resp. de silicaten) en geconcentreerd m.b.v. een 15  $\mu$  m zeef en door gravitatieve scheiding (met ZnCl<sub>2</sub>).

## 2.3 Palynologische analyse

De palynologische analyse is kwantitatief uitgevoerd. Het aantal dinoflagellaatcysten wordt, net als dat van de "miscellaneous fossils" (*Botryococcus*, kamers van foraminiferen, acritarchen, *Pediastrum*, etc.) weergegeven in de distributietabel (zie bijlagen).

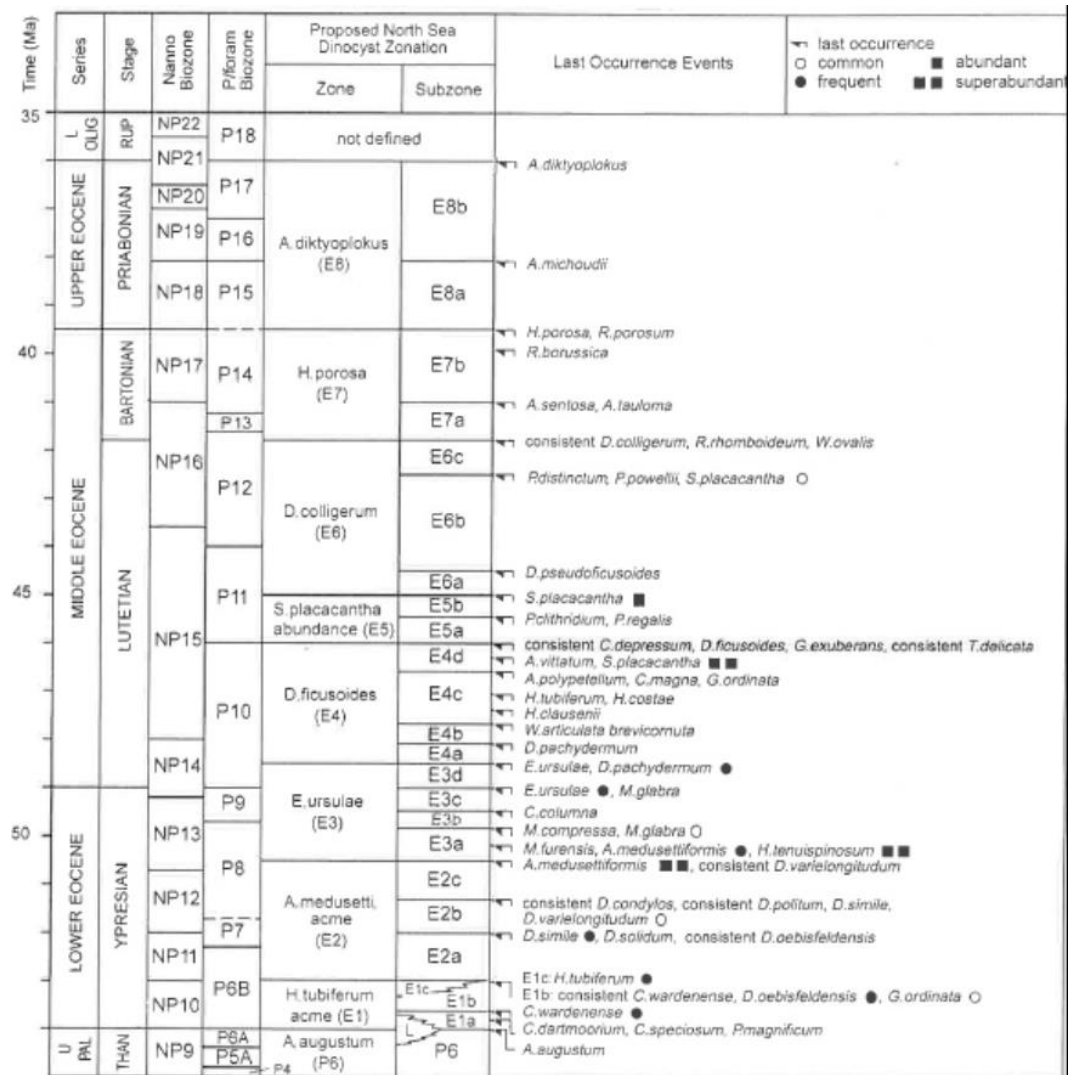
## 2.4 Taxonomie en ouderdomsbepaling

Bij de cuttingsmonsters wordt enkel gebruik gemaakt van de chronostratigrafisch laatste (jongste) voorkomens (LOD) van dinoflagellaatcysten in verband met de contaminatie (naval uit hoger gelegen successies). In geval van kernmateriaal en luchtliftmonsters worden ook de eerste (oudste) voorkomens (FOD) van dinoflagellaatcysten toegepast.

De facieel en/of stratigrafisch waardevolle soorten worden vermeld in het rapport. Een volledig overzicht van de gevonden palynomorfen is in de tabellen (zie bijlagen) opgenomen.

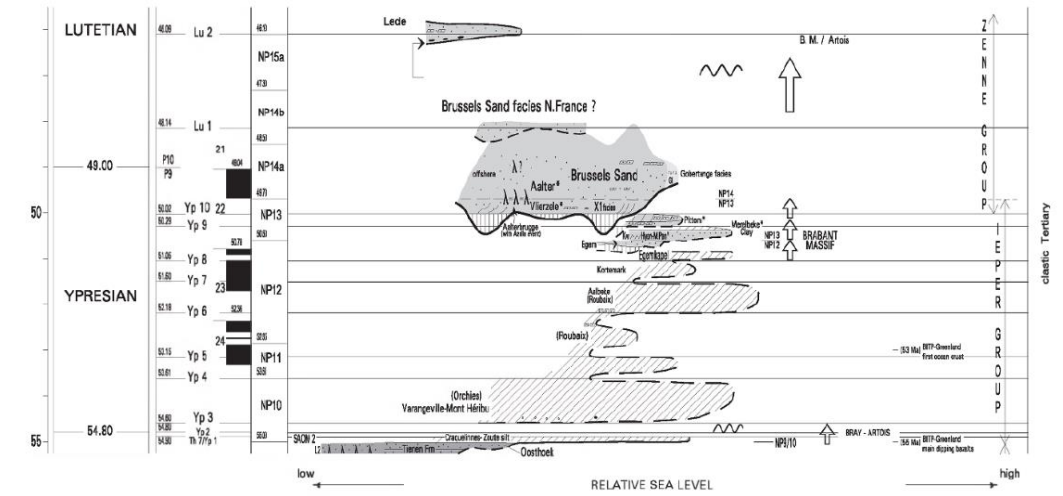
De palynologische interpretatie is gebaseerd op kernliteratuur m.b.t. de palynostratigrafie van het Paleoceen-Eoceen uit de regio Noordzee: Bujak (1994), Bujak & Mudge (1994), De Coninck (1990), Heilmann-Clausen (1985), Heilmann-Clausen and Van Simaëys (2005), Köthe (2003), Lourens et al. (2004), Powell (1992), Thomsen et al. (2012), and Vieira et al. (2020).

Figuur 2: Eoceen zonatie van Bujak & Mudge, 1994.

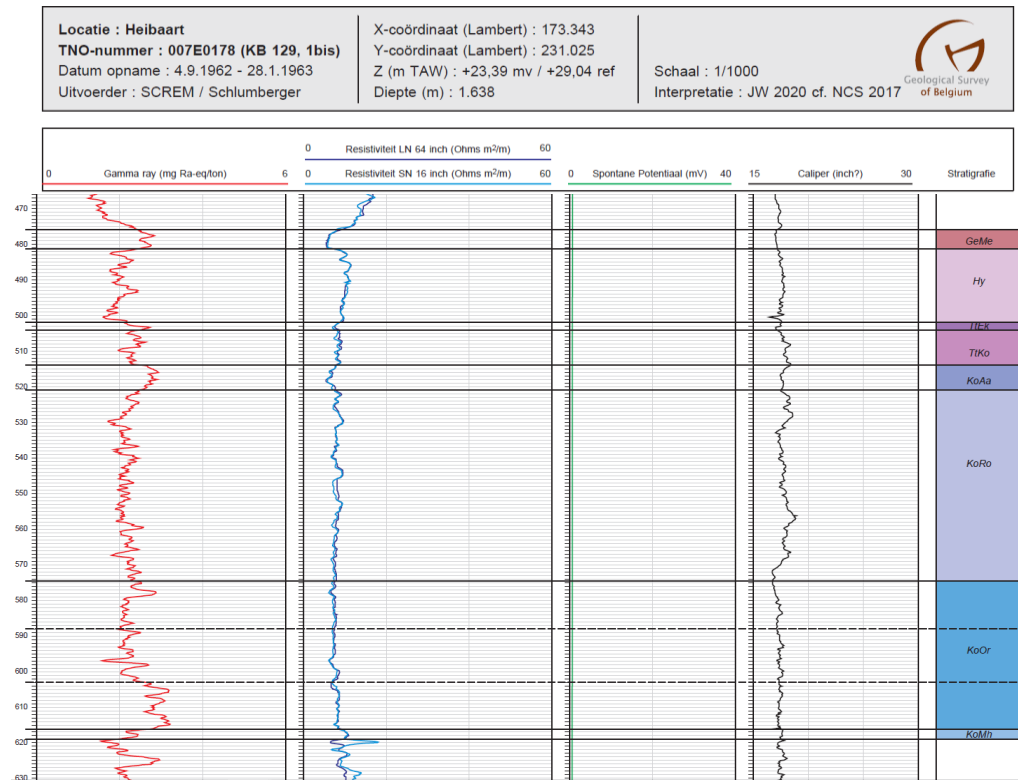


## 2.5 Lithostratigrafie Ypresien België

Figuur 3: Lithostratigrafie Ypresien België (Vandenberghe et al., 2004).



Figuur 4: Lithostratigrafische interpretatie boring Heibaart (Jan Walstra 2020 cf. NCS 2017).



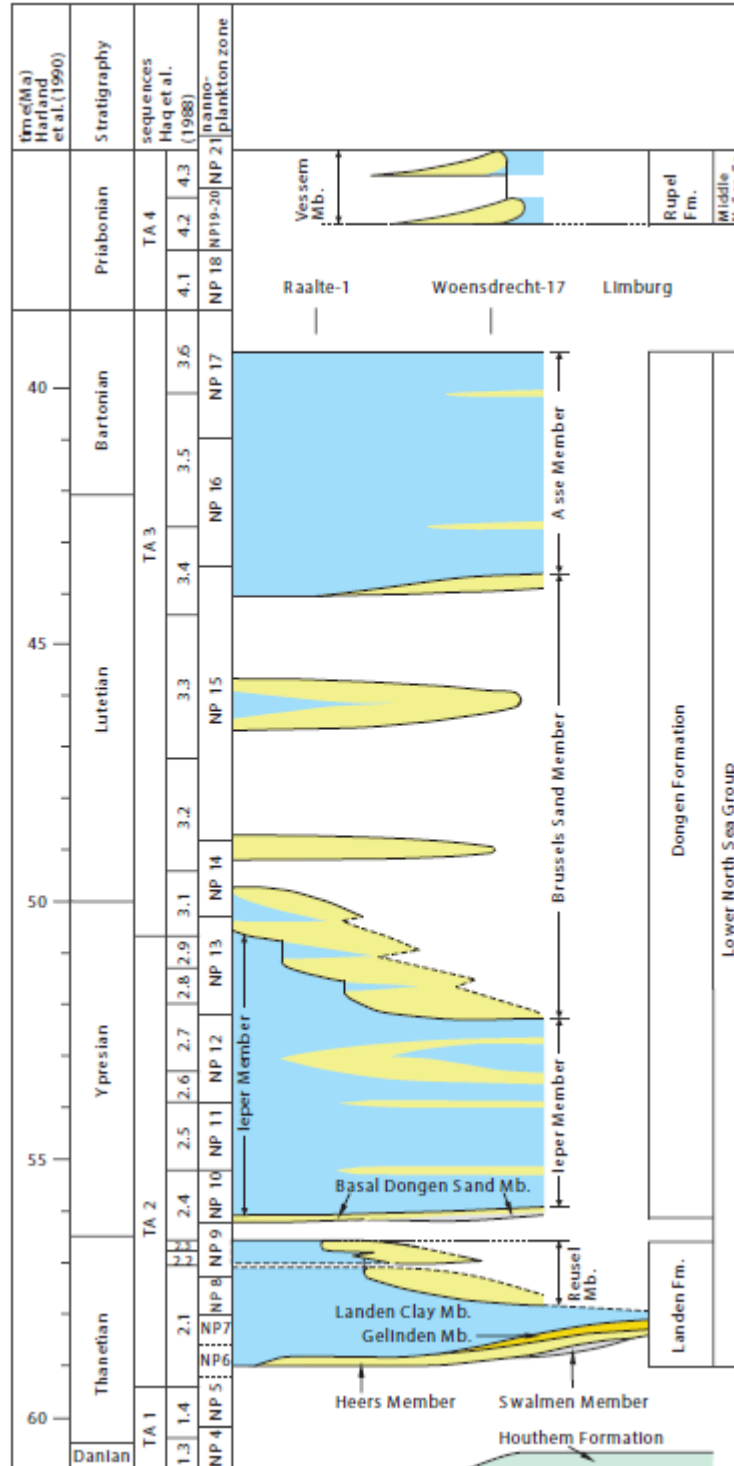
Tabel 8: Lithostratigrafische codes (Nationale Commissie Stratigrafie België, 2017) Figuur 3.

<b>Formatie (code)</b>	<b>Laagpakket (code)</b>
Gentbrugge (Ge)	Merelbeke (GeMe)
Hyon (Hy)	
Tielt (Tt)	Egemkapel (TtEk)
	Kortemark (TtKo)
Kortrijk (Ko)	Aalbeke (KoAa)
	Roubaix (KoRo)
	Orchies (KoOr)
	Mont-Héribu (KoMh)



## 2.6 Litho- chronostratigrafie Eoceen Nederland (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997)

Figuur 5: Litho-chronostratigrafie Eoceen Nederland (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997).



### 3 Resultaten boring Heibaart (007E0178)

De associaties zijn rijk aan palynomorfen (dinoflagellaatcysten, pollen en sporen). De mariene dinoflagellaatcysten domineren het palynospectrum. Onder de sporomorfen overheersen de bisaccaten (gymnospermen). Bisaccate pollen hebben een hoog drijfvermogen in zowel lucht als (zee)water en kunnen over grote afstanden (distaal) van de bron (hoogland vegetatie eco-groep) zijn getransporteerd. Simpele psilatritele sporen (varens) zijn de tweede groep qua omvang binnen de sporomorfen. Onder de dinoflagellaatcysten is het genus *Spiniferites* het meest talrijk. Dit geslacht heeft een preferente oriëntatie in open-mariene neritische condities. De preservatie is redelijk tot goed. Reworking is beperkt tot zeldzame exemplaren per microscopslide, met een herkomst uit de Laat-Jura tot het Vroeg Krijt en het Carboon. Zie ook bijlagen 1 en 2.

#### 3.1 Monster/Interval 474 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Membranilarnacia glabra* op 474 m

Opmerkingen: Diverse taxa met een LOD in het vroeg Lutetien (Zone E4c) zijn present, waaronder *Hystrichosphaeridium tubiferum*, *Hystrichosphaeropsis costae* en *Hystrichostrogylon clausenii*.

#### 3.2 Monster/Interval 476-480 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Charlesdowniea columna* op 476 m

Opmerkingen: *Dracodinium pachydermum* (LOD Zone E4a), *Adnatosphaeridium vittatum* en *Charlesdowniea coleothrypta* zijn ook aanwezig.

#### 3.3 Monster/Interval 502-504 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c

De datering is gebaseerd op:

- LOD (consistent: 5 exemplaren) *Dracodinium varielongitudum*\* op 502 m
- LOD *Membranilarnacia compressa* is present

\*De LOD (consistent) van *Dracodinium varielongitudum* wordt in Bujak & Mudge (1994) geassocieerd met de Zone E2C, echter dit taxon lijkt een regelmatig voorkomen te hebben vanaf Zone E3b (en dieper).

Opmerkingen: Opvallend is de aanwezigheid van *Areoligera medusettiformis* en *Glaphyrocysta pastielsii*. Het laatste voorkomen van *Eatonicysta ursulae* (LOD

Zone E3d) is relatief vroeg in tijd. Het percentage *Apectodinium* is relatief hoog (11,6 % van de som dinoflagellaatcysten).

### **3.4 Monster/Interval 514-522 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b**

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Deflandrea oebisfeldensis* op 514 m
- LOD *Dracodinium simile* op 514 m

Opmerkingen: *Areoligera* (cf.) *senonensis* en *Glaphyrocysta divaricata* zijn hier ook voor het laatst (LOD) vastgesteld en komen hoger in de successie niet meer voor.

### **3.5 Monster/Interval 604-616 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a**

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Dracodinium solidum* op 604 m
- LOD *Alisocysta* sp. 2 in Heilmann-Clausen (1985)

Opmerking: een zeer zeldzame *Cerodinium wardensis* is vastgesteld op 610 m. De LOD (consistent) is bepaald op Zone 1b (Bujak & Mudge, 1994). Geïsoleerde voorkomens zijn beschreven in het hele Ypresien (Powell, 1992).

## 4 Resultaten boring Rijsbergen (RSB-01)

Om de eerdere palynologische analyse (TNO rapport 2019 R11086) te verheffen tot een hogere resolutie biostratigrafische classificatie zijn er tussen de voormalig geselecteerde monsters extra cuttings uitgenomen en bestudeerd (interval tussen eerdere monsters was 50-60 m). Ook de eerdere preparaten van de cuttingsmonsters, interval 650-790 m, zijn microscopisch aanvullend gescand op nieuwe taxa (t.o.v. de eerdere standaard palynologische telling tot 200 exemplaren). Dit resulteerde met name in een meer gedetailleerde indeling in subzones, maar ook in geringe verschuivingen binnen het standaard zonatieschema van Bujak & Mudge (1994).

De microflora is rijk aan palynomorfen (sporen, pollen en mariene dinoflagellaatcysten). De mariene microfossielen overheersen het spectrum. Het genus *Spiniferites* domineert de som dinoflagellaatcysten. Onder de sporomorfen zijn vooral bisaccate pollen en psilatritele sporen aanwezig. De preservatie is goed. Naval uit hogergelegen successies is present in de cuttings. De reworking is zeer beperkt aanwezig in de associaties. Zie ook bijlagen 3 en 4.

### 4.1 Monster/Interval 650 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Membranilarnacia glabra*

Opmerkingen: Present zijn ook de dinoflagellaatcysten *Adnatosphaeridium multispinosum*, *Areosphaeridium ebdonii*, *Hystrichodinium tubiferum* en *Thalassiphora delicatula*.

### 4.2 Monster/Interval 660 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Charlesdowniea columna*

Opmerkingen: *Charlesdowniea coleothrypta* is ook aanwezig.

### 4.3 Monster/Interval 670-690 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c

De datering is gebaseerd op:

- LOD (consistent) *Dracodinium varielongitudum*\* op 670 m
- LOD *Membranilarnacia compressa* is present.

\*Zie eerdere opmerking hierover in boring Heibaart.

Opmerkingen: *Areoligera medusettiformis*, *Eatonicysta ursulae* en *Glaphyrocysta pastielsii* zijn afwezig. Het percentage *Apectodinium* is relatief hoog (9,8 % van de som dinoflagellaatcysten).

#### **4.4 Monster/Interval 700-770 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b**

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Deflandrea oebisfeldensis* op 700 m
- LOD *Dracodinium simile* op 700 m

Opmerkingen: *Eatonicysta ursulae* en *Glaphyrocysta pastielsii* zijn hier voor het laatst (LOD) vastgesteld en komen hoger in de successie niet meer voor. *Areoligera* (cf.) *senonensis* is ook present.

#### **4.5 Monster/Interval 790-810 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a**

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Alisocysta* sp. 2 in Heilmann-Clausen (1985)

#### **4.6 Diepte/Interval 820-830 m: ca. Paleoceen-Eoceen grens; Paleoceen-Eoceen Thermisch Maximum (PETM) of ETM1 ("Eocene Thermal Maximum 1"), Zone P6 (55,8 Ma)**

De datering is gebaseerd op:

- LCO *Apectodinium* spp. (24 % van het totale aantal dinocysten) op 820 m
- LOD *Apectodinium augustum* op 830 m

## 5 Resultaten boring Huibeven (HBV-01)

De microflora is zeer rijk aan palynomorfen (mariene dinoflagellaatcysten, pollen en sporen). De mariene dinoflagellaatcysten overheersen de sporomorfen in aantal. Het genus *Spiniferites* is andermaal veruit het meest frequent aanwezig onder de dinoflagellaatcysten. Bisaccate pollen (gymnospermen) vormen de grootste groep onder de pollen en sporen. De associatie wijst op open-mariene neritische condities. Reworking uit oudere afzettinglagen is zeldzaam vertegenwoordigd in de assemblages.

Zie ook bijlagen 5 en 6.

### 5.1 Monster/Interval 750-770 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Charlesdowniea columna*

Opmerkingen: *Dracodinium pachydermum* (LOD Zone E4a), *Adnatosphaeridium vittatum* en *Charlesdowniea coleothrypta* zijn ook aanwezig.

### 5.2 Monster/Interval 780 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Membranilarnacia compressa*
- Consistent presentie *Dracodinium varielongitudum*\*
- Meerdere locale events conform associatie op diepte 502-504 m in boring Heibaart (zie opmerkingen)

Opmerkingen: Opvallend is de aanwezigheid van *Areoligera medusettiformis* en *Glaphyrocysta pastielsii*. Het laatste voorkomen van *Eatonicysta ursulae* (LOD Zone E3d) is relatief vroeg in tijd. Het percentage *Apectodinium* is relatief hoog (14,6 % van de som dinoflagellaatcysten).

### 5.3 Monster/Interval 790 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Deflandrea oebisfeldensis* op 790 m
- LOD *Dracodinium simile* op 790 m
- LOD *Dracodinium condylos* op 790 m

Opmerkingen: *Areoligera* (cf.) *senonensis* en *Glaphyrocysta divaricata* zijn hier ook voor het laatst (LOD) vastgesteld en komen hoger in de successie niet meer voor.

### 5.4 Monster/Interval 830-860 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Dracodinium solidum* op 830 m
- LOD *Alisocysta* sp. 2 in Heilmann-Clausen (1985) op 860 m

Opmerking: een zeer zeldzame *Cerodinium wardensis* is vastgesteld op 830 m. De LOD (consistent) is bepaald op Zone 1b (Bujak & Mudge, 1994). Geïsoleerde voorkomens als op de onderhavige diepte zijn beschreven in het hele Ypresien (Powell, 1992). *Dracodinium politum* (LOD Zone E2b) is in alle associaties van de huidige zone present.

## 6 Resultaten boring Steelhoven (STH-01)

De organische residuen (palynologische preparaten) zijn zeer rijk aan palynomorfen (dinoflagellaatcysten, sporen en pollen). De mariene dinoflagellaatcysten vormen de belangrijkste categorie microfossielen. Het meest voorkomende geslacht binnen de dinoflagellaatcysten is *Spiniferites*. De relatief rijke verscheidenheid aan soorten en dominantie van *Spiniferites* wijst op open-mariene neritische afzettingssomstandigheden. Sporomorfen worden overwegend vertegenwoordigd door bisaccate pollen (gymnospermen) en eenvoudige trilete sporen (varens). Remaniëring speelt een bescheiden rol en beperkt zich tot zeldzaam aanwezige soorten. De preservatie is redelijk tot goed. Zie ook bijlagen 7 en 8.

### 6.1 Monster/Interval 740-780 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Membranilarnacia glabra* op 740 m
- LOD *Eatonicysta ursulae* op 780 m

Opmerkingen: Diverse taxa met een LOD in het vroeg Lutetien zijn present, waaronder *Dracodinium pachydermum* (LOD Zone E4a), *Hystrichosphaeridium tubiferum* (LOD Zone E4c), *Hystrichosphaeropsis costae* (LOD Zone E4c) en *Hystrichostrogylon clausenii* (LOD Zone E4c).

### 6.1 Monster/Interval 820-840 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Charlesdowniea columna* op 820 m

Opmerkingen: *Dracodinium varielongitudum* is reeds consistent aanwezig (i.p.v. in Zone E2C cf. Bujak & Mudge, 1994).

### 6.2 Monster/Interval 850-860 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Membranilarnacia compressa*
- Meerdere lokale events conform associatie op diepte 502-504 m in boring Heibaart (zie opmerkingen)

Opmerkingen: Net als in de boringen Heibaart en Huibeven hebben ook *Areoligera medusettiformis* en *Glaphyrocysta pastielsii* een lokale LOD in deze zone. Het percentage *Apectodinium* is ook relatief hoog (12,3 % van de som dinoflagellaatcysten op 850 m).



### 6.3 Monster/Interval 870 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Deflandrea oebisfeldensis*
- LOD *Dracodinium simile*
  
- Opmerkingen: *Glaphyrocysta divaricata* is in de huidige associatie ook voor het laatst (LOD) vastgesteld en verschijnt niet hoger in de successie.

### 6.4 Monster/Interval 940-970 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Alisocysta* sp. 2 in Heilmann-Clausen (1985) op 940 m
- LOD *Dracodinium solidum* op 940 m

Opmerkingen: *Dracodinium politum* (LOD Zone E2b) is enkel in deze zone vertegenwoordigd.

## 7 Resultaten boring Numansdorp (NMD-01)

De microflora's zijn in alle cuttingsmonsters rijk aan palynomorfen (mariene dinoflagellaatcysten, pollen en sporen). De mariene component overheerst het continentale aandeel palynomorfen. Onder de dinoflagellaatcysten springt het genus *Spiniferites* eruit door de hoge aantallen. De sporomorfen omvatten vrijwel uitsluitend bisaccate pollen (gymnospermen) en eenvoudige psilatriliete sporen (varens). Deze indicatoren wijzen op open-mariene neritische condities. Reworking is in bescheiden mate (zeldzaam) vertegenwoordigd. De preservatie is redelijk tot goed.

Zie ook bijlagen 9 en 10.

### 7.1 Monster/Interval 960-1000 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Membranilarnacia glabra* op 960 m

Opmerkingen: Diverse taxa met een LOD in het vroeg Lutetien zijn present, waaronder *Diphyes ficusoides* (LOD Zone E4d), *Dracodinium pachydermum* (LOD Zone E4a), *Eatonicysta ursulae* (LOD Zone E3d), *Hystrichosphaeridium tubiferum* (LOD Zone E4c) en *Hystrichosphaeropsis costae* (LOD Zone E4c).

### 7.2 Monster/Interval 1040 m: Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Charlesdowniea columna*

Opmerkingen: *Dracodinium varielongitudum* is reeds aanwezig (i.p.v. in Zone E2C cf. Bujak & Mudge, 1994).

### 7.3 Monster/Interval 1080 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Membranilarnacia compressa*
- Meerdere locale events conform de associatie op diepte 502-504 m in boring Heibaart (zie opmerkingen) en in de Nederlands boringen van de huidige studie

Opmerkingen: Net als in de boringen Heibaart, Huibeven en Steelhoven hebben ook *Areoligera medusettiformis* en *Glaphyrocysta pastielsii* een locale LOD in deze zone. Het percentage *Apectodinium* is echter laag in tegenstelling tot de voorgaand bestudeerde boringen in deze studie. Het lage aantal is naar waarschijnlijk te wijten aan de positie van de monsterkeuze (monsterinterval is 40 m), die ligt vergeleken met de gamma-ray log op lagere waarden, ruim na de maximale logwaarden, waarop het hoge percentage *Apectodinium* in de andere boringen is vastgesteld.

#### **7.4 Monster/Interval 1120-1160 m: Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b**

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Deflandrea oebisfeldensis* op 1120 m
- LOD *Dracodinium politum* op 1120 m
- LOD (consistent): *Dracodinium simile* (5 exemplaren)

Opmerkingen: *Dracodinium simile* is in het naasthogere monster op diepte 1080 m 1x in de scan, na de telling, vastgesteld.

#### **7.5 Monster/Interval 1200-1240 m: Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a**

De datering is gebaseerd op:

- LOD *Alisocysta* sp. 2 in Heilmann-Clausen (1985) op 1200 m
- LOD *Dracodinium solidum* op 1200 m

Opmerkingen: Aanwezig zijn ook *Glaphyrocysta divaricata* en *Muratodinium fimbriatum*.

## 8 Discussie en conclusies

### 8.1 Boring Heibaart (007E178), NW-België

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring Heibaart (007E178) wordt weergegeven in Tabel 9 en Tabel 10.

Tabel 9: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring Heibaart (007E178).

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
474	Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c
476-480	Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b
502-504	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c
514-522	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b
604-616	Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a

Tabel 10: Interpretatie litho-chronostratigrafie boring Heibaart (007E178).

Interval m MD	Member	Interval m MD	Ouderdom; Zone
476-482	Merelbeke	476-480	Zone E3b
502-504	Egemkapel	502-504	Zone E3a-E2c
514-521	Aalbeke	514-522	Zone E2b
603-616	Orchies	604-616	Zone E2a

### 8.2 Boring Rijsbergen (RSB-01), ZW-Nederland

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring Rijsbergen (RSB-01) wordt weergegeven in Tabel 11 en Tabel 12.

Tabel 11: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring Rijsbergen (RSB-01).

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
650	Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c
660	Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b
670-690	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c
700-770	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b
790-810	Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a
820-830	Ca. Paleoceen-Eoceen grens, PETM of ETM1, Zone P6 (55,8 Ma)

Tabel 12: Interpretatie litho-chronostratigrafie boring Rijsbergen (RSB-01)

Interval m MD	Member	Interval m MD	Ouderdom; Zone
654-661	Merelbeke	660	Zone E3b
688-692	Egemkapel	670-690	Zone E3a-E2c
704-710	Aalbeke	700-770	Zone E2b
798-809	Orchies	790-810	Zone E2a

### 8.3 Boring Huibeven (HBV-01), ZW-Nederland

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring Huibeven (HBV-01) wordt weergegeven in Tabel 13 en Tabel 14.

Tabel 13: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring Huibeven (HBV-01).

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
750-770	Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b
780	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c
790	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b
830-860	Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a

Tabel 14: Interpretatie litho-chronostratigrafie boring Huibeven (HBV-01)

Interval m MD	Member	Interval m MD	Ouderdom; Zone
752-757	Merelbeke	750-770	Zone E3b
773-778	Egemkapel	780	Zone E3a-E2c
783-786	Aalbeke	790	Zone E2b
858-868	Orchies	830-860	Zone E2a

### 8.4 Boring Steelhoven (STH-01), ZW-Nederland

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring Steelhoven (STH-01) wordt weergegeven in Tabel 15 en Tabel 16.

Tabel 15: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring Steelhoven (STH-01).

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
740-780	Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c
820-840	Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b
850-860	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c
870	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b
940-970	Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a

Tabel 16: Interpretatie litho-chronostratigrafie boring Steelhoven (STB-01)

Interval m MD	Member	Interval m MD	Ouderdom; Zone
818-822	Merelbeke	820-840	Zone E3b
850-855	Egemkapel	850-860	Zone E3a-E2c
867-873	Aalbeke	870	Zone E2b
868-978	Orchies	940-970	Zone E2a

## 8.5 Boring Numansdorp (NMD-01), ZW-Nederland

Een overzicht van de interpretaties uit het palynologische onderzoek aan de boring Numansdorp (NMD-01) wordt weergegeven in Tabel 17 en Tabel 18.

Tabel 17: Overzicht van de ouderdomsbepaling van boring Numansdorp (NMD-01).

Monster/Interval m MD	Ouderdom; Zone
960-1000	Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3c
1040	Vroeg Eoceen, laat Ypresien, Zone E3b
1080	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E3a-E2c
1120-1160	Vroeg Eoceen, midden Ypresien, Zone E2b
1200-1240	Vroeg Eoceen, vroeg Ypresien, Zone E2a

Tabel 18: Interpretatie litho-chronostratigrafie boring Numansdorp (NMD-01)

Interval m MD	Member	Interval m MD	Ouderdom; Zone
1063-1068	Merelbeke	1040	Zone E3b
1094-1099	Egemkapel	1080	Zone E3a-E2c
1128-1138	Aalbeke	1120-1160	Zone E2b
1248-1259	Orchies	1200-1240	Zone E2a

## 8.6 Rationale

In het laterale equivalent van het Nederlandse Laagpakket van Ieper vallen vier zware kleipakketten die in België lithostratigrafisch (als leden) onderscheiden worden. Deze fijn-kleiige eenheden kunnen in het bestudeerde gebied worden vervolgd naar het noord(west)en en daarmee ook de tussenliggende Belgische lithostratigrafische eenheden. De onderhavige vier zware kleipakketten dippen in het studiegebied van zuid naar noord(west) en houden redelijk constante dikte (zie bijlagen 11 en 12). Volgens Vandenberghe et al. (2004) zijn deze zware klei intervallen allen relatief hoge zeespiegelstanden. De oudste twee van de vier zware kleipakketten, het Laagpakket van Orchies en dat van Aalbeke zijn goed te herkennen op basis van de geofysische logwaarden, waaronder de hoge gamma-ray logwaarden en ook palynologisch eenvoudig te differentiëren op grond van morfologisch goed te onderscheiden soorten. Dicht aan de basis van het Laagpakket van Orchies en het Laagpakket van Aalbeke is een MFS vastgesteld (Steurbaat, 1998; Walstra et al., 2014). Het interval van de basis van het Laagpakket van Orchies tot aan de top van het Laagpakket van Aalbeke behoort tot éénzelfde Belgische Formatie van Kortrijk in België en is dus evident herkenbaar in ZW-Nederland.

De laagpakketten van Egemkapel en Merelbeke zijn in Nederland op geofysische logsignatuur ook herkenbaar, maar die van het Laagpakket van Egemkapel is niet altijd éénduidig en minder uitgesproken, net als in boring Heibaart (België). Er zijn namelijk meerdere piekjes aanwijsbaar op de logbeelden. Palynologische analyse kan hierbij ondersteunen.

De palynologische interpretaties in dinoflagellaatzones (Bujak & Mudge, 1994) sluiten aan bij de nannoplankton biozones (NP) in Vandenberghe et al., 2004.

In het kader van het regionale H3O project-De Voorkempen is het voorstelbaar om de 4 zware kleilagen in Nederland op basis van geofysische logsignatuur te gaan onderscheiden en hiermee een hogere resolutie lithostratigrafie te bereiken. De Stuurgroep van het H3O project-De Voorkempen kan hierover beslissen.

In het kader van de Stratigrafische Nomenclator Nederland is het denkbaar om het Laagpakket van Ieper te laten vervallen en (in ieder geval) op te splitsen in twee aparte laagpakketten met de top van het laterale equivalent van het Belgische Laagpakket van Aalbeke als grens tussen beide nieuwe eenheden. De vier zware klei intervallen kunnen als “Laag” worden gedefinieerd. Dit is niet geheel in overeenstemming met de definitie van een “Laag” (Salvador, 1994 wijst op maximaal enkele meters dikte), maar praktisch en redelijk eenvoudig uitvoerbaar, omdat deze zware kleilagen in correcte zin als Laagpakket gedefinieerd, dwingen om alle gerelateerde lithostratigrafische eenheden een stap in hiërarchie te verhogen (Dongen Formatie wordt dan Dongen Subgroep, Laagpakket van Brussels wordt Formatie van Brussels, en de onderhavige vier kleilagen kunnen dan als vier aparte laagpakketten worden geaccommodeerd binnen twee nieuwe formaties, etc.). De realisatie van deze laatste optie heeft beduidend meer voeten in de aarde. Of de top van de lithostratigrafische eenheid Aalbeke op overeenkomstige wijze te onderscheiden is in heel Nederland, noodzaakt nader onderzoek.

Het doel van deze studie was om na te gaan of een hogere resolutie lithostratigrafie voor het Laagpakket van Ieper in Zuidwest-Nederland mogelijk was, hetgeen onder voorbehoud van bovenbeschreven restricties en optionele consequenties is bevestigd. Uiteindelijk is het in relatie tot het H3O project – De Voorkempen aan de Stuurgroep en met betrekking tot de Stratigrafische Nomenclator Nederland aan de Stratigrafische Commissie Nederland om hierover een finaal oordeel te vellen.

## 9 Referenties

**Bujak, J.P. et al., 1980.**

Dinoflagellate cysts and acritarchs from the Eocene of southern England, *Spec Pap. Palaeontol.*, 24: 100 pp.

**Bujak, J.P & Mudge, D., 1994.**

A high resolution North Sea Eocene dinocyst zonation, *J. Geol. Soc. London*, 151: 449 – 462.

**Bujak, J.P., 1994.**

New dinocyst taxa from the Eocene of the North Sea. *Journal of Micropalaeontology*, 13: 119-131.

**Dale, B., 1996.**

Dinoflagellate cyst ecology: modeling and geological applications, In: Jansonius, J. and McGregor, D.C. (eds), *Palynology: principles and applications*; *Am. Ass. Strat. Palynol. Found. (3)*: 1249 – 1275.

**De Coninck, J., 1999.**

Appearances of dinoflagellate species recorded in the Tienen Formation (Landen Group) and in the Kortrijk Formation (Ieper Group) in the Belgian Basin. Their relation to transgression phases in the southern part of the North Sea Basin. *Bulletin. Soc. Geol. France*, 170 (1): 77-84.

**Eldrett, J.S., Harding, I.C., Firth, J.V., and Roberts, A.P., 2004.**

Magnetostratigraphic calibration of Eocene-Oligocene dinoflagellate cyst biostratigraphy from the Norwegian-Greenland Sea. *Marine Geology* 204: 91-127.

**Heilmann-Clausen, C., 1985.**

Dinoflagellate stratigraphy of the uppermost Danian to Ypresian in the Viborg 1 borehole, central Jylland, Denmark, *Danmarks Geolog. Unders.*, A7: 69 pp.

**Heilmann-Clausen, C. and Van Simaey, S., 2005.**

Dinoflagellate cysts from the Middle Eocene to ?lowermost Oligocene succession in the Kysing research borehole, central Danish basin. *Palynology*, 29:1, 143-204, DOI: 10.1080/01916122.2005.9989606.

**Janssen, N. en Dammers, G. , 2008.**

Sample processing for pre-Quaternary palynology. *Internal TNO report, May 2008.*

**Köthe, A., 2003.**

Dinozysten-Zonierung im Tertiär Norddeutschlands, *Revue Paleobiologie*, 22(2): 895-923.

**Köthe, A., 2007.**



Cenozoic biostratigraphy from the German North Sea sector (G-11-1 borehole, dinoflagellate cysts, calcareous nannoplankton). *Z.d.t.Ges.Geowiss.*, 158/2:287-327.

**Munsterman, D.K., 2019.**

De resultaten van het palynologische onderzoek naar het Paleogeen en Neogeen van boring Rijsbergen-01 (RSB-01), interval 550-900 m. *TNO rapport 2019 R11086*.

**Munsterman, D.K., 2020.**

De resultaten van het palynologische onderzoek naar geselecteerde Paleogene en Neogene intervallen in boringen B49G0959, B49F0431, B49F0436, B49F1427 en B44D483 (ZW Nederland- De Voorkempen). *TNO rapport 2020 R11209*, pp. 45.

**Ogg, J.G., Ogg, G., Gradstein, F.M., 2016.**

A Concise Geologic Time Scale, pp. 240.

**Powell, A.J., 1992.**

Dinoflagellate cysts of the Tertiary System, In: *Powell, A.J., A stratigraphic index of dinoflagellate cysts: 155 – 272*.

**Steurbaut, E., 1998.**

High-resolution holostratigraphy of Middle Paleocene to Early Eocene strata in Belgium and adjacent areas. *Palaeontographica Abt. A*, 247/5-6: 91-156.

**Thomsen, E., Abrahamsen, N., Heilmann-Clausen, C., King, C., and Bjørsløv Nielsen, O., 2012.**

Middle Eocene to earliest Oligocene development in the eastern North Sea Basin: Biostratigraphy, magnetostratigraphy and palaeoenvironment of the Kysing-4 borehole, Denmark, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 350-352: 212-235.

**TNO-Geologische Dienst Nederland, 2020.**

Vernieuwde Stratigrafische Nomenclator online, 3-06-2020.  
<https://www.dinoloket.nl/stratigrafische-nomenclator>.

**Van Adrichem Boogaert, H.A. and Kouwe, W.F.P., 1997.**

Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGEPa. Mededelingen Rijks Geologische Dienst, 50.

**Vandenbergh, N., Laga, P., Steurbaut, E., Hardenbol, J. & Vail, P., 1998.**

Tertiary sequence stratigraphy at the southern border of the North Sea basin in Belgium. *SEPM Special Publication*, 60: 119-154.

**Vandenbergh, N., Brinkhuis, H. and Steurbaut, E., 2003.**

The Eocene-Oligocene boundary in the North Sea area: a sequence stratigraphic approach. In: Protero, D.D., Ivany, L.C. & Nesbitt, E.A. (red.). *From greenhouse to icehouse. The marine Eocene-Oligocene transition*. New York (Columbia University Press): 419-437.

**Vandenberghe, N., Van Simaey, S., Steurbaut, E., Jagt, J.W.M. & Felder, P.J., 2004.**

Stratigraphic architecture of the Upper Cretaceous and Cenozoic along the southern border of the North Sea Basin in Belgium. *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw*, 83 (3): 155-171.

**Vieira, M., Mahdi, S., and Holmes, N., 2020.**

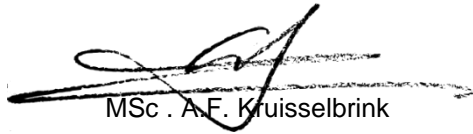
High resolution biostratigraphic zonation for the UK central North Sea Paleocene. *Marine and Petroleum Geology*, 117: 1-14.

**Walstra, J., Duser, M., De Ceukelaire, M., 2014.**

Geological model of the Ypresian Clay. *Royal Belgian Institute of Natural Sciences*, pp.77.

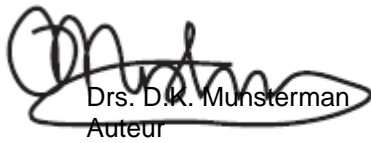
## 10 Ondertekening

Naam en paraaf tweede lezer




MSc. A.F. Kruisselbrink

Ondertekening



Drs. D.K. Munsterman  
Auteur

Autorisatie vrijgave



Drs. D. Maljers  
Research manager

**Well Name : Heibaart**

Interval : 454m - 636m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

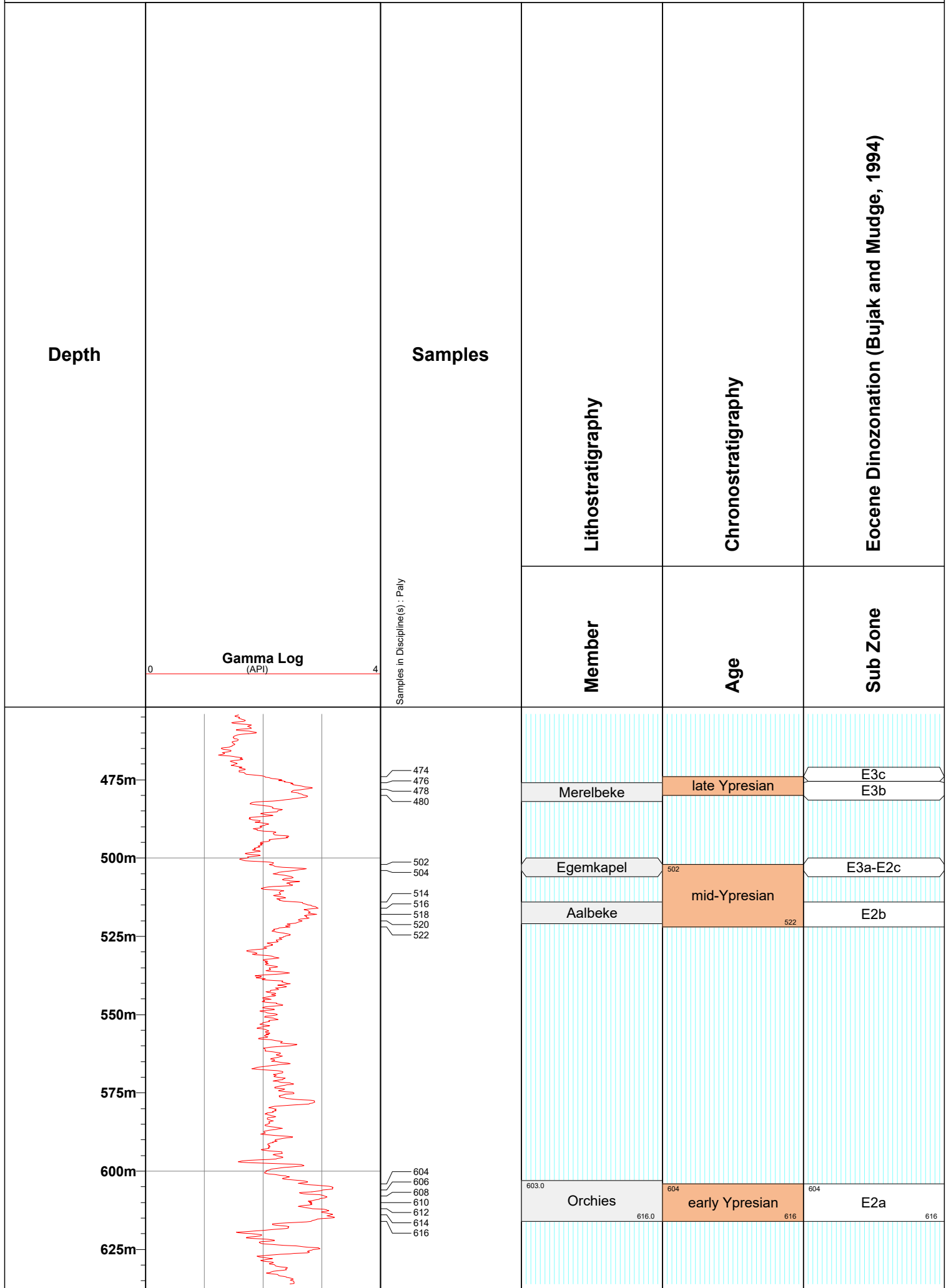
Palynological interpretation

TNO report

D.K. Munsterman

**TNO-NITG  
Utrecht**

Enclosure 1



Well Name : Heibaart

Interval : 454m - 636m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

Palynological distribution chart

TNO report

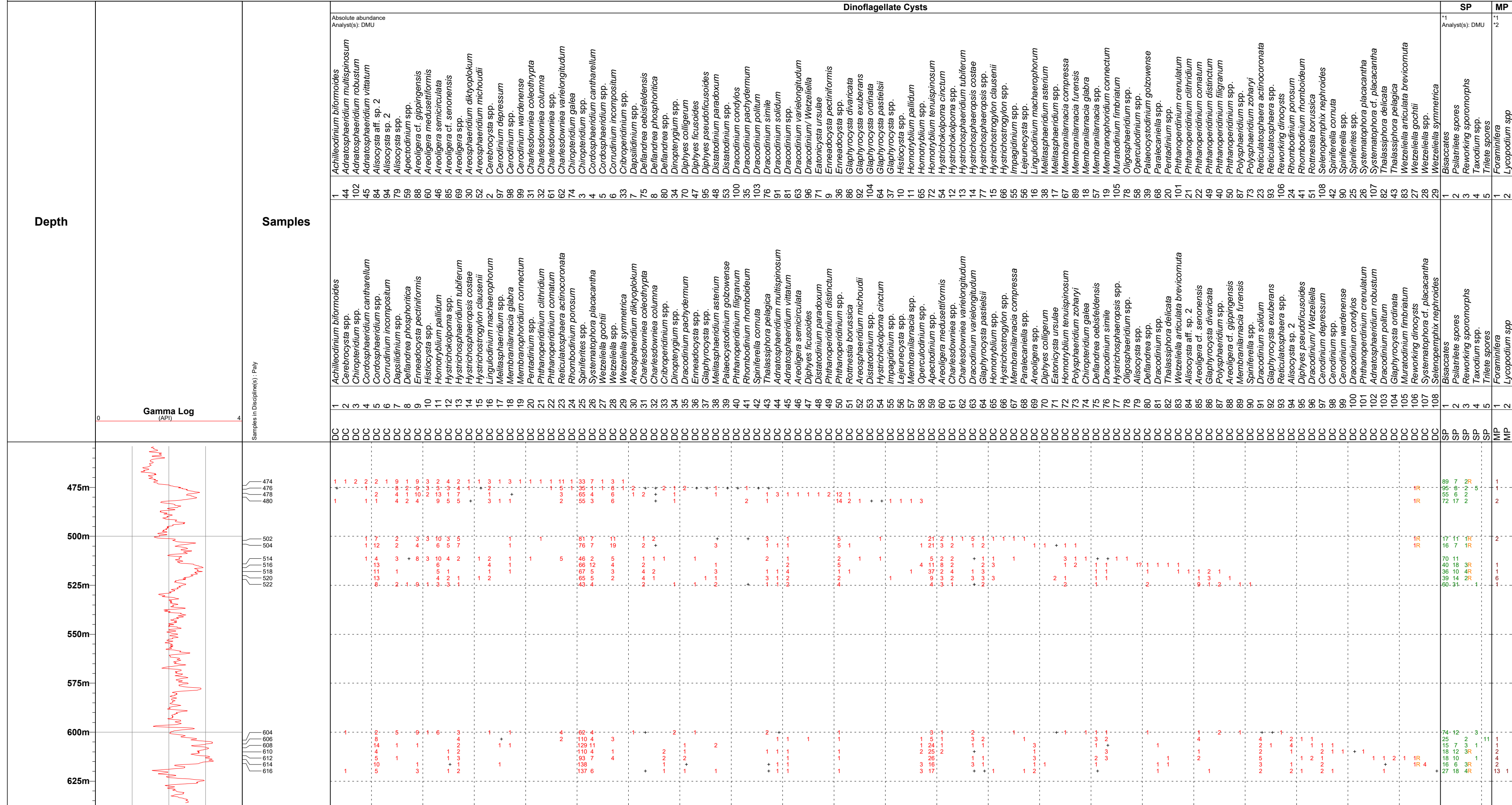
D.K. Munsterman

# Heibaart

TNO-NITG

Utrecht

Enclosure 2



**Well Name : Rijsbergen-01**

Interval : 635m - 840m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

TNO report

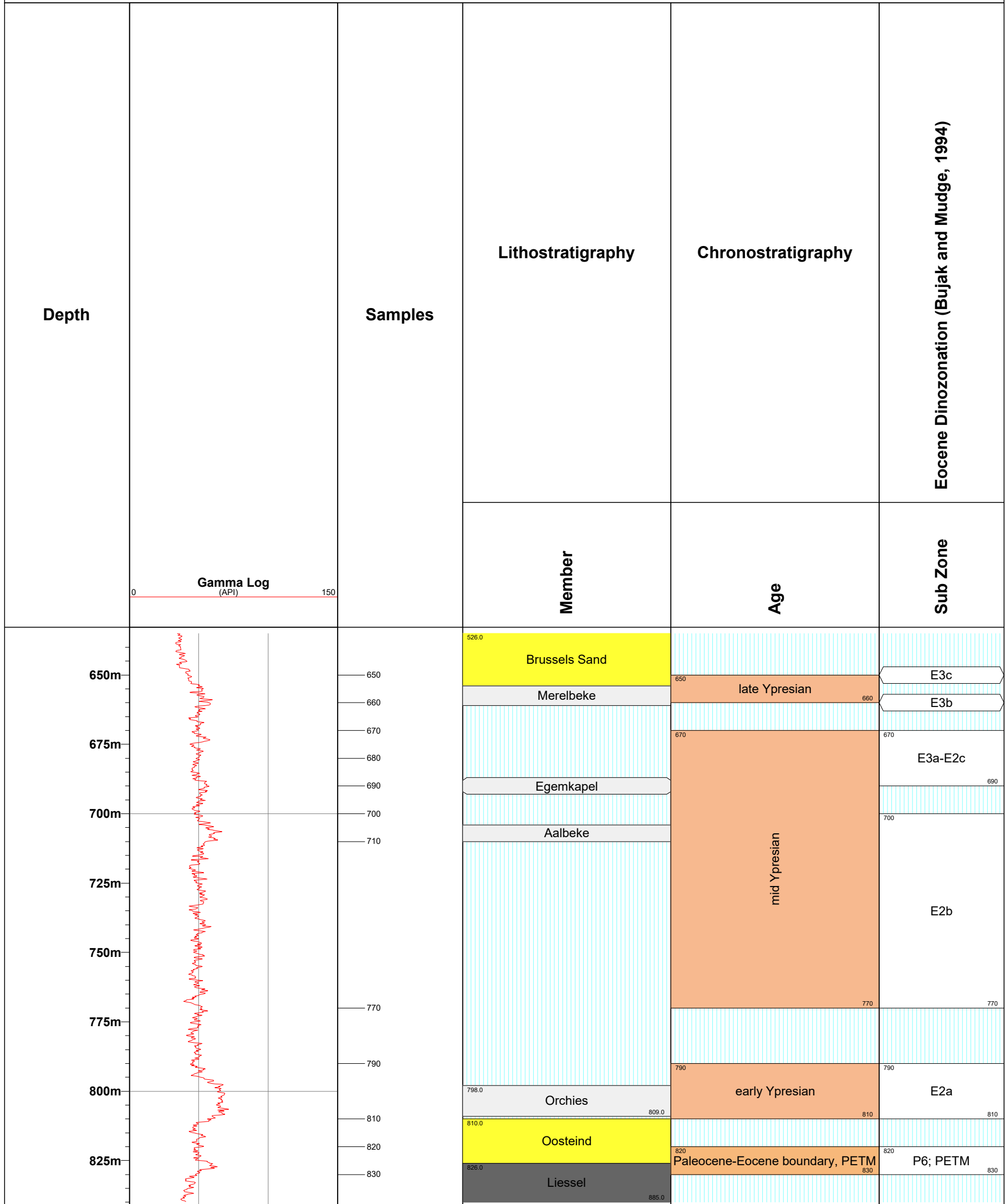
Palynological interpretation

D.K. Munsterman

**TNO-NITG**

**Utrecht**

Enclosure 3





**Well Name : Steelhoven-01**

Interval : 730m - 980m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

Palynological interpretation

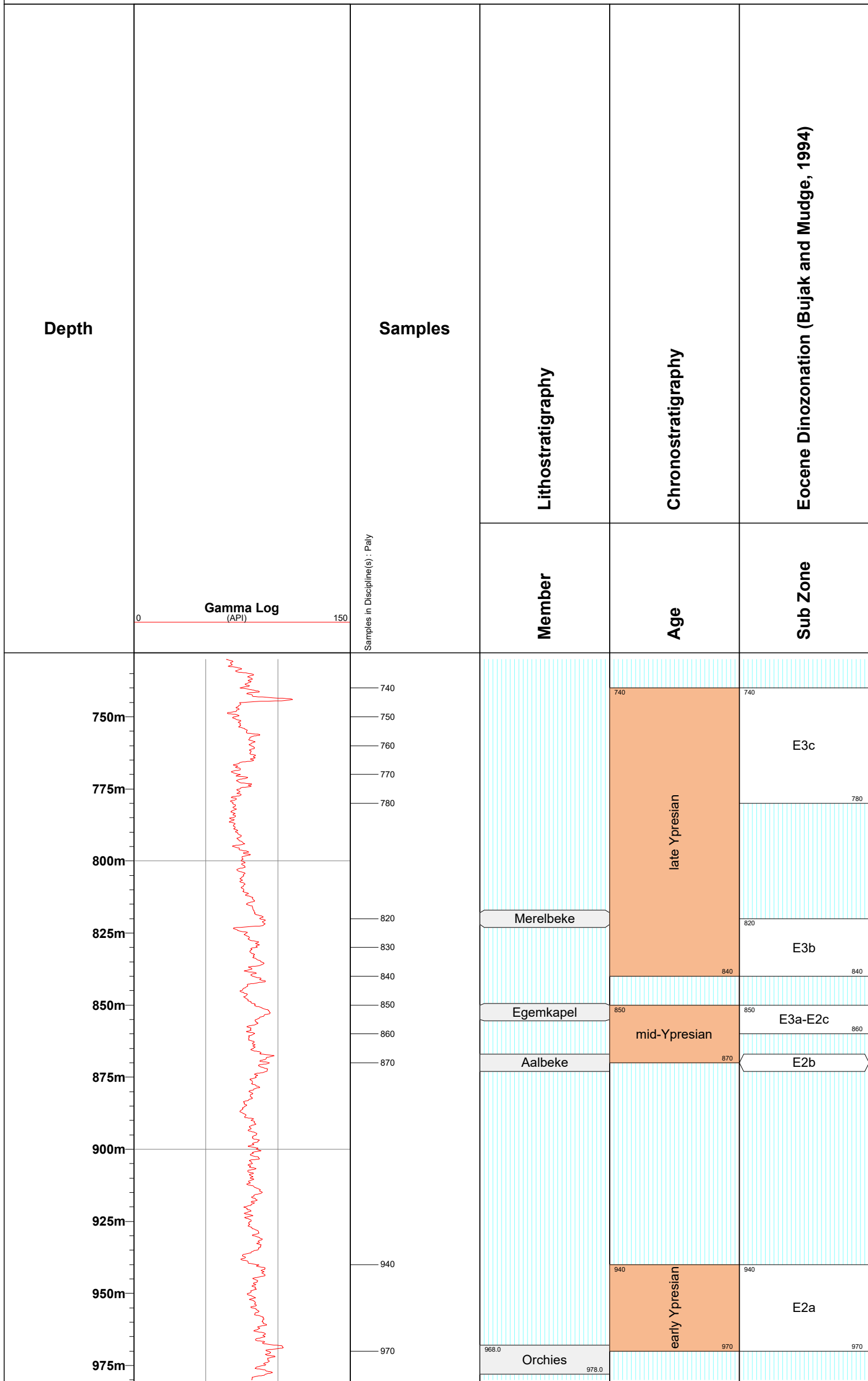
TNO report

D.K. Munsterman

**TNO-NITG**

**Utrecht**

Enclosure 5







# Well Name : Huibeven-01

**TNO-NITG  
Utrecht**

Interval : 740m - 870m

Palynological interpretation

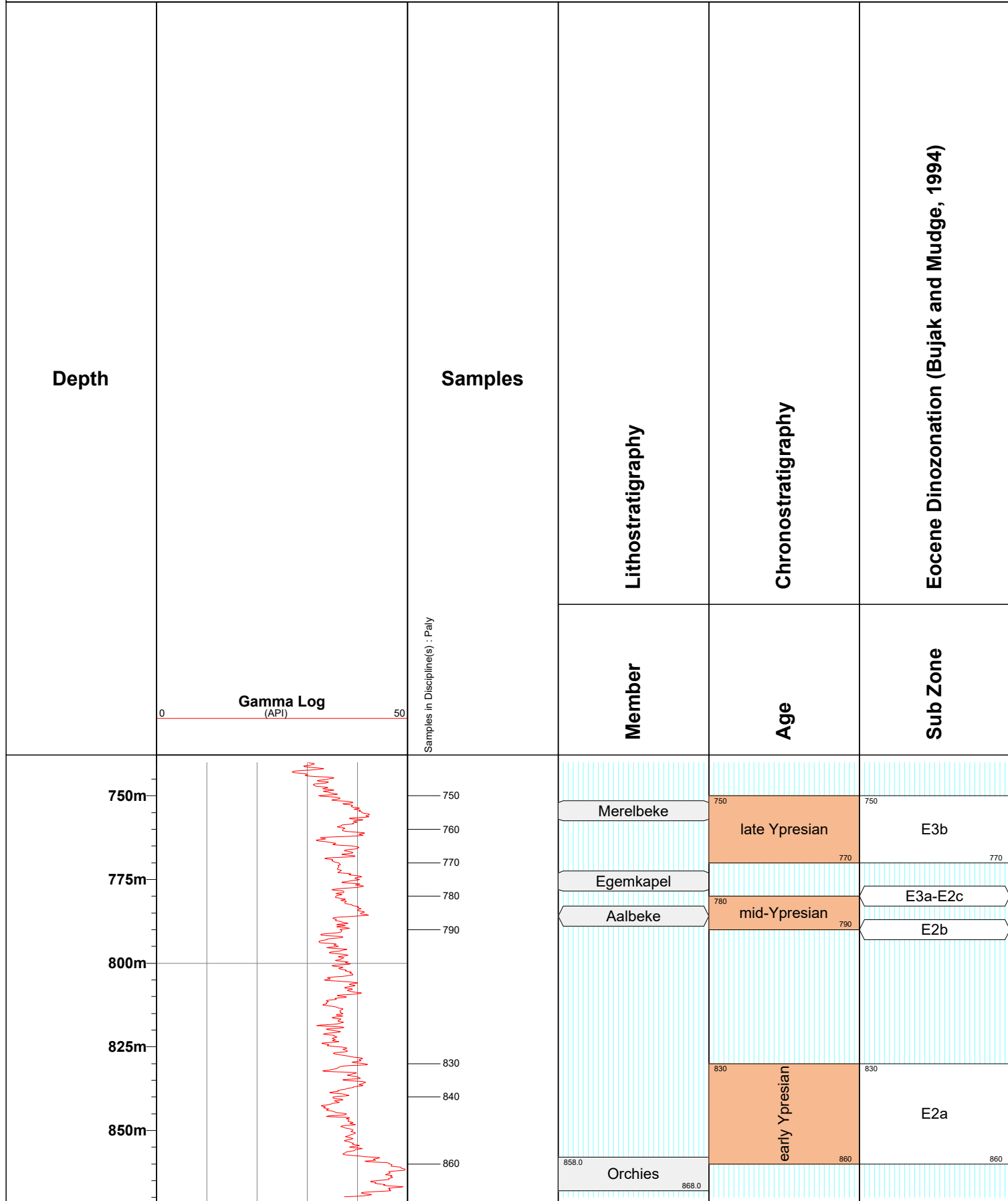
Scale : 1:1500

TNO report

Chart date: 05 October 2020

D.K. Munsterman

Enclosure 7



Well Name : Huibeven-01

Interval : 740m - 870m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

Distribution chart

TNO report

D.K. Munsterman

Huibeven-01

Depth	Gamma Log (API)	Samples	Dinoflagellate Cysts	SP	MP
750m		1-66	<i>Apectodinium</i> spp. <i>Areoligera</i> spp. <i>Charlesdownia coleothrypta</i> <i>Charlesdownia columna</i> <i>Cordosphaeridium canthareillum</i> <i>Cordosphaeridium</i> spp. <i>Cribroperidinium</i> spp. <i>Dapsilidinium</i> spp. <i>Dracodinium pachydermum</i> <i>Dracodinium variegatum</i> <i>Homotryblium pallidum</i> <i>Homotryblium tenuispinosum</i> <i>Hystriocholpoma</i> spp. <i>Hystriochosphaeridium tubiferum</i> <i>Lingulodinium machaerophorum</i> <i>Melittasphaeridium asterium</i> <i>Membranilarnacia glabra</i> <i>Operculodinium centrocarpum</i> <i>Phthanoperidinium</i> spp. <i>Polysphaeridium</i> spp. <i>Reticulatosphaera actinocoronata</i> <i>Rhombodinium rhomboideum</i> <i>Spiniferites</i> spp. <i>Systematophora placacantha</i> <i>Wetzeliella</i> spp. <i>Achilleodinium biformoides</i> <i>Deflandrea phosphoritica</i> <i>Enneadocysta pectiniformis</i> <i>Homotryblium floripes/plectilum</i> <i>Hystriocholpoma cinctum</i> <i>Palaeocystodinium golzowense</i> <i>Reworking dinocysts</i> <i>Thalassiphora pelagica</i> <i>Tuberculodinium vancampoae</i> <i>Adnatosphaeridium vittatum</i> <i>Charlesdownia</i> spp. <i>Melittasphaeridium</i> spp. <i>Operculodinium</i> spp. <i>Areoligera medusetiformis</i> <i>Eatonicysta ursulae</i> <i>Glaphyrocysta pastielsii</i> <i>Membranilarnacia compressa</i> <i>Rotnestia borussica</i> <i>Adnatosphaeridium multispinosum</i> <i>Areoligera senonensis</i> <i>Deflandrea oebisfeldensis</i> <i>Deflandrea</i> spp. <i>Dracodinium condylos</i> <i>Fibrocysta</i> spp. <i>Glaphyrocysta divaricata</i> <i>Glaphyrocysta</i> spp. <i>Hystriochosphaeridium costae</i> <i>Hystriochostrogylon clausenii</i> <i>Impagidinium</i> spp. <i>Lingulodinium machaerophorum</i> <i>Melittasphaeridium asterium</i> <i>Membranilarnacia compressa</i> <i>Membranilarnacia glabra</i> <i>Operculodinium centrocarpum</i> <i>Operculodinium longispinigerum</i> <i>Fibrocysta</i> spp. <i>Glaphyrocysta divaricata</i> <i>Glaphyrocysta</i> spp. <i>Hystriochosphaeropsis costae</i> <i>Impagidinium</i> spp. <i>Spiniferites</i> spp. <i>Cerodinium wardenense</i> <i>Dracodinium politum</i> <i>Dracodinium solidum</i> <i>Homotryblium</i> spp. <i>Hystriochostrogylon clausenii</i> <i>Selenopemphix nephroides</i> <i>Alisocysta</i> sp. 2 <i>Dinopterygium</i> spp. <i>Operculodinium longispinigerum</i> <i>Bisaccates</i>	*1 *2	*1 *2
750m		1-66	1-66	1-66	1-66
760m		1-66	1-66	1-66	1-66
770m		1-66	1-66	1-66	1-66
775m		1-66	1-66	1-66	1-66
780m		1-66	1-66	1-66	1-66
790m		1-66	1-66	1-66	1-66
800m		1-66	1-66	1-66	1-66
825m		1-66	1-66	1-66	1-66
830m		1-66	1-66	1-66	1-66
840m		1-66	1-66	1-66	1-66
850m		1-66	1-66	1-66	1-66
860m		1-66	1-66	1-66	1-66

**Well Name : NMD-01**

Interval : 950m - 1250m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

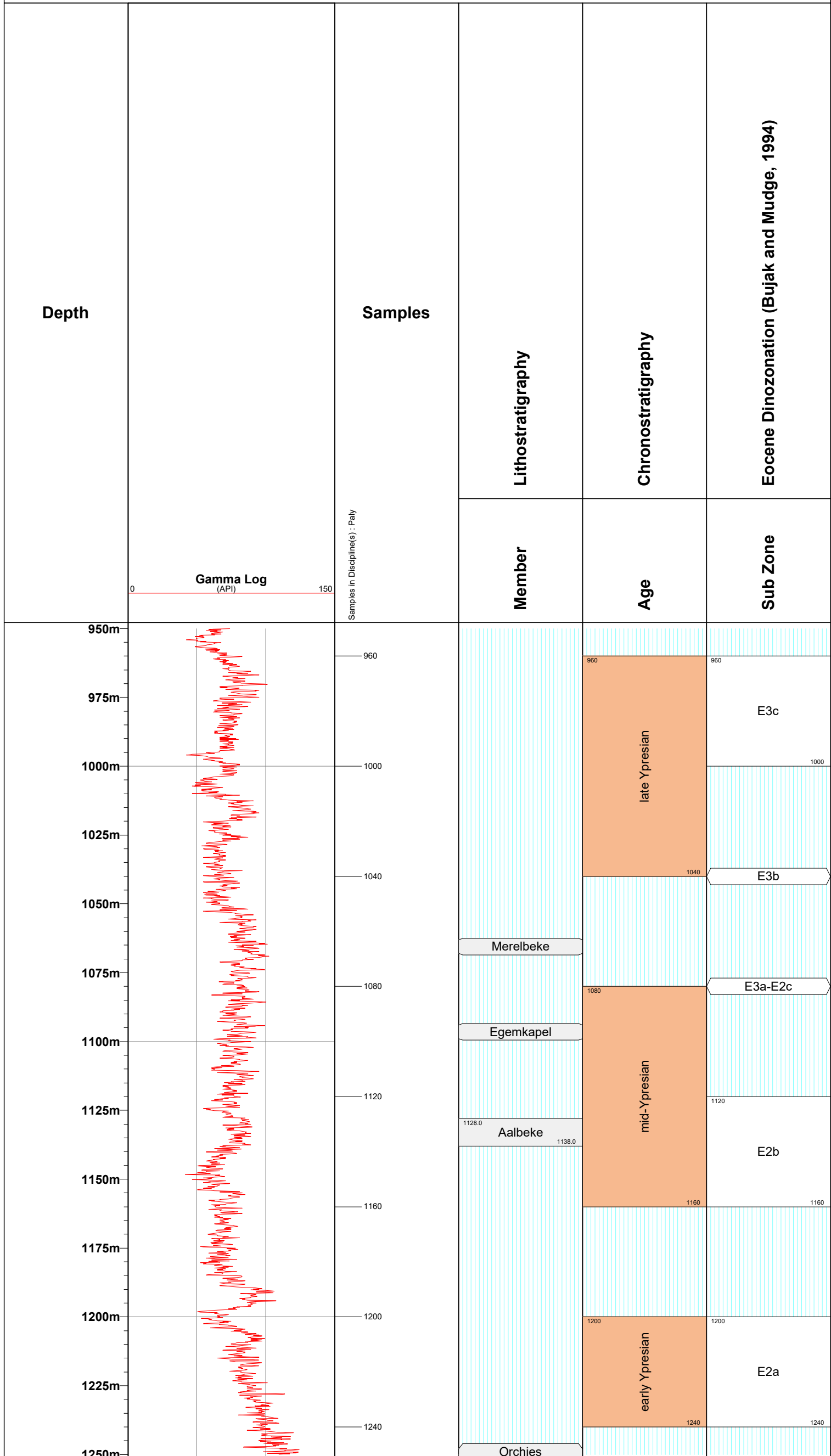
Palynological interpretation

TNO report

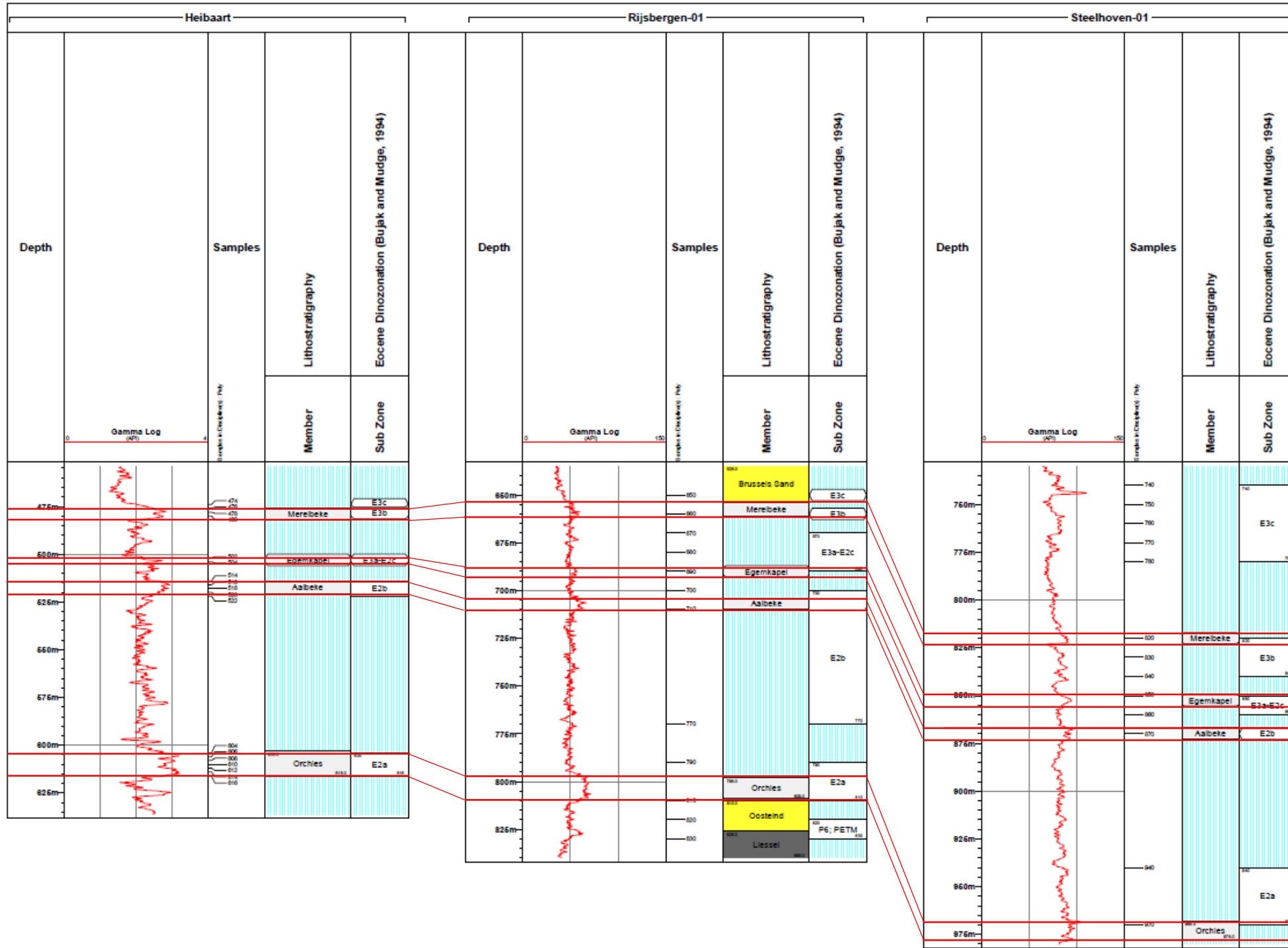
D.K. Munsterman

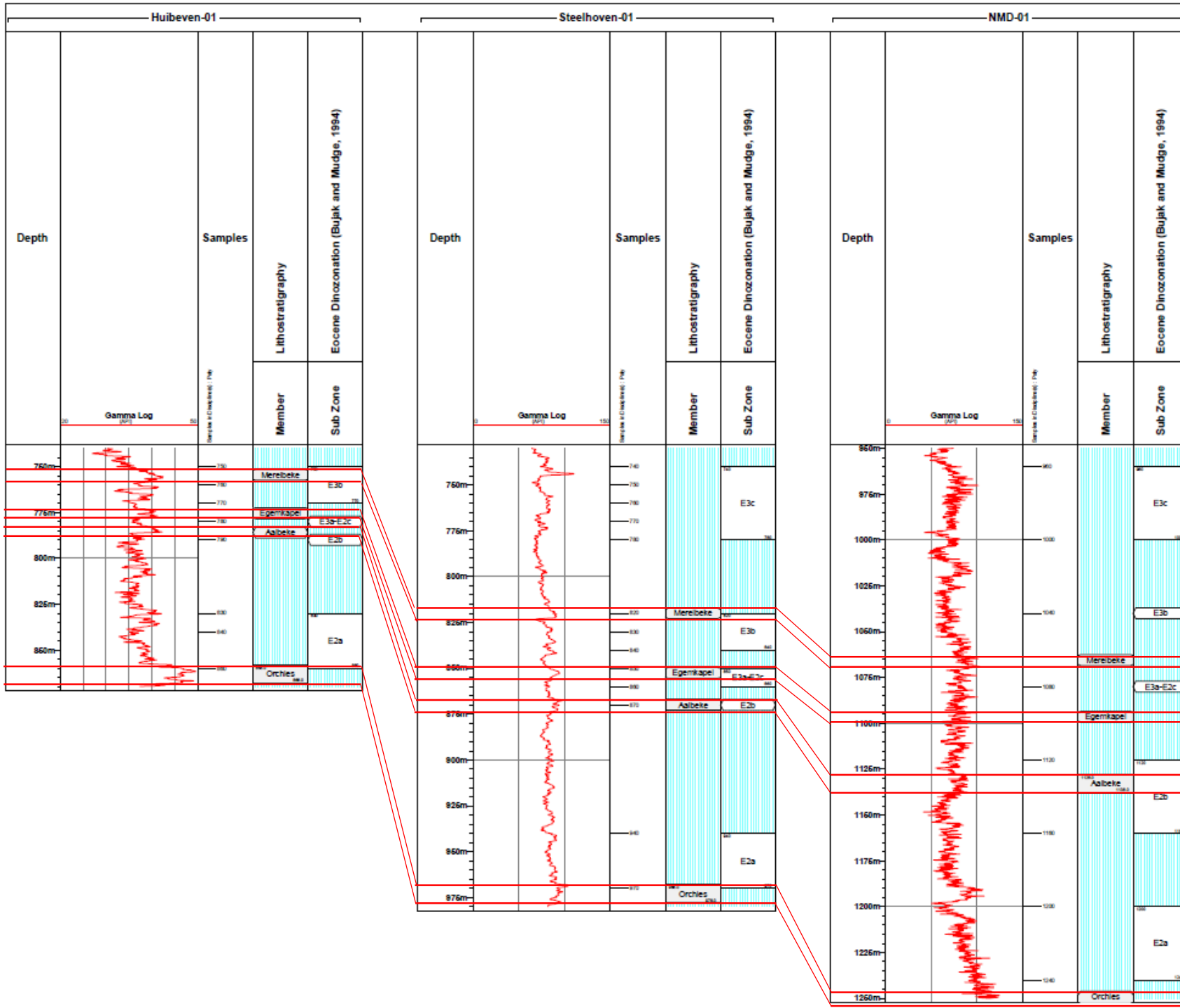
**TNO-NITG  
Utrecht**

Enclosure 9









Well Name : Heibaart

Interval : 454m - 636m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

Palynological distribution chart

TNO report

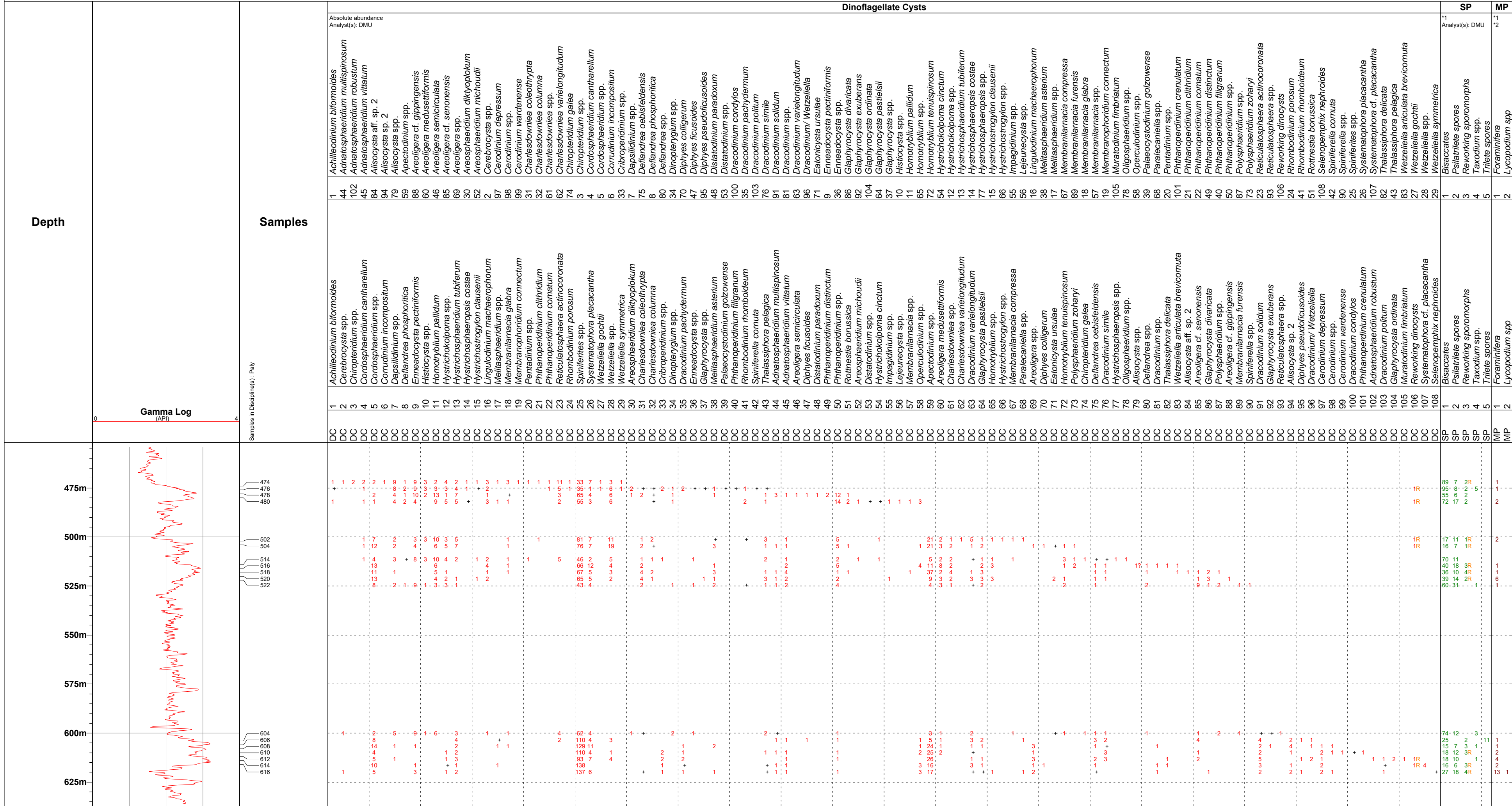
D.K. Munsterman

# Heibaart

TNO-NITG

Utrecht

Enclosure 2





**Well Name : Rijsbergen-01**

Interval : 635m - 840m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

TNO report

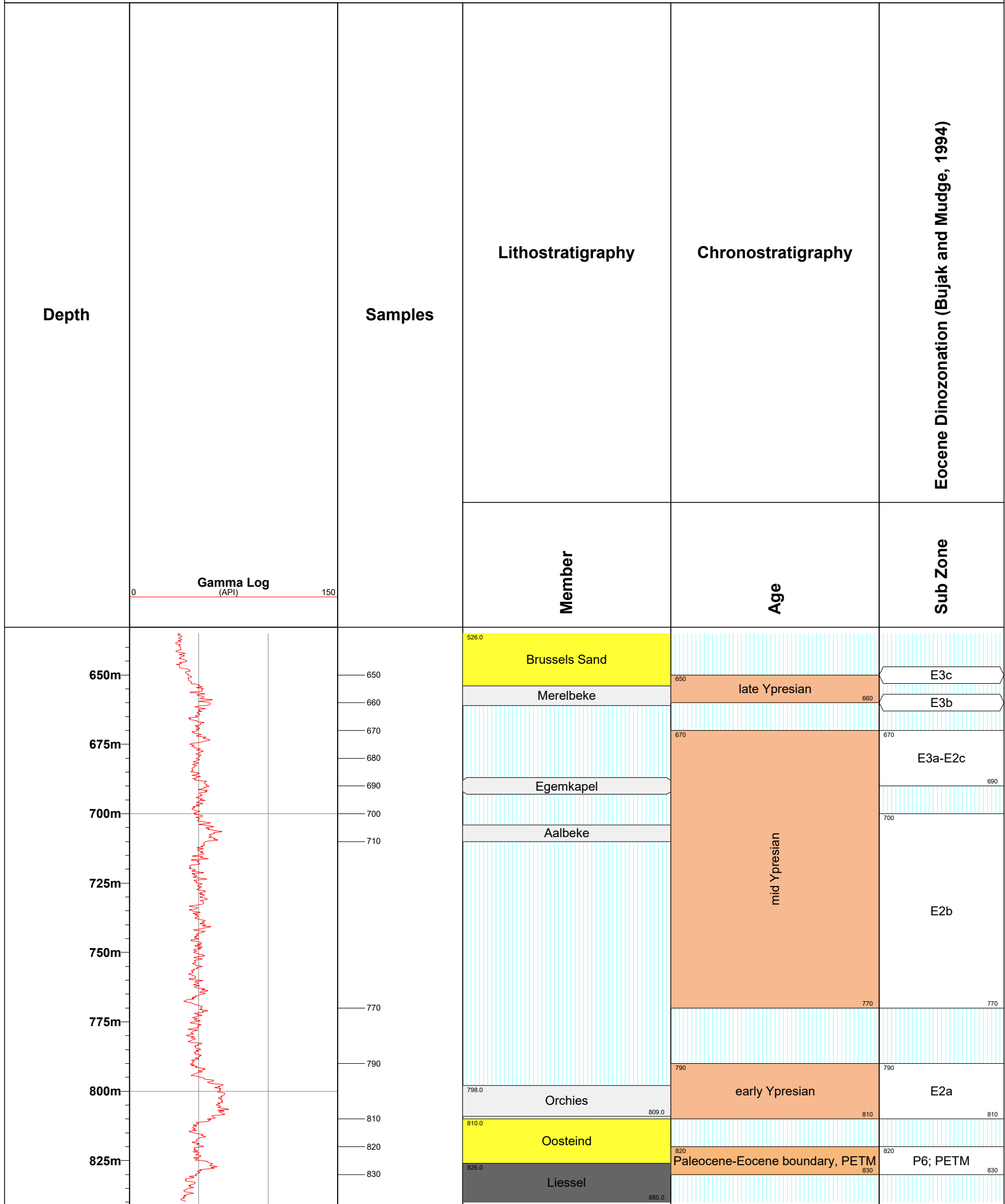
Palynological interpretation

D.K. Munsterman

**TNO-NITG**

**Utrecht**

Enclosure 3



Well Name : Rijsbergen-01

Interval : 635m - 840m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

TNO report

Palynological interpretation

D.K. Munsterman

# Rijsbergen-01

Depth	Samples	Dinoflagellate Cysts														SP	MP			
		Absolute abundance	Analyst(s): DMU																	
650m 675m 700m 725m 750m 775m 800m 825m	DC 71	Dinocyst indet.																		
	DC 112	Lingulodinium machaerophorum																		
	DC 136	Spiniferites spp.																		
	DC 128	Hystriochokopoma spp.																		
	DC 139	Hystriochokopoma spp.																		
	DC 120	Operculodinium spp.																		
	DC 146	Heteraulacacysta spp.																		
	DC 116	Reticulatosphaera actinocoronata																		
	DC 83	Selenopemphix nephroides																		
	DC 126	Polysphaeridium spp.																		
	DC 133	Dapsilidinium spp.																		
	DC 121	Melitasphaeridium spp.																		
	DC 130	Palaeocystodinium goizowense																		
	DC 122	Paralecaniella spp.																		
	DC 85	Systematophora placacantha																		
	DC 117	Cribroperidinium spp.																		
	DC 98	Deflandrea phosphoritica																		
DC 141	Weizeliiella spp.																			
DC 137	Erneadocysta pectiniformis																			
DC 143	Homotryblum pallidum																			
DC 123	Achilleodinium biformoides																			
DC 124	Glaphyrocysta spp.																			
DC 94	Thalassiphora pelagica																			
DC 113	Phthanoperidinium comatum																			
DC 53	Phthanoperidinium filigranum																			
DC 42	Apectodinium spp.																			
DC 125	Histiocysta spp.																			
DC 131	Areosphaeridium diktyoplokum																			
DC 54	Lejeunecysta spp.																			
DC 134	Charlesdowniea spp.																			
DC 1	Phthanoperidinium spp.																			
DC 99	Areosphaeridium michoudii																			
DC 100	Diphyes fuscoides																			
DC 109	Diphyes pseudofuscoides																			
DC 101	Rhombodinium rhomboideum																			
DC 102	Eatonocysta ursulae																			
DC 103	Homotryblum spp.																			
DC 104	Membranilarnacia glabra																			
DC 109	Dracodinium pachydermum																			
DC 110	Melitasphaeridium asterium																			
DC 111	Rottnesia borussica																			
DC 112	Adnatosphaeridium multispinosum																			
DC 115	Corosphaeridium spp.																			
DC 116	Muratodinium fimbriatum																			
DC 117	Apectodinium parvum																			
DC 118	Areosphaeridium ebdonii																			
DC 119	Hystriochokopoma tubiferum																			
DC 120	Thalassiphora delicata																			
DC 121	Alisocysta aff. spp.																			
DC 122	Areoligera cf. senonensis																			
DC 123	Areoligera spp.																			
DC 124	Charlesdowniea coleochnypta																			
DC 125	Charlesdowniea columnata																			
DC 126	Deflandrea denticulata																			
DC 127	Apectodinium spp.																			
DC 128	Dracodinium varietolgitudum																			
DC 129	Adnatosphaeridium vittatum																			
DC 130	Membranilarnacia compressa																			
DC 131	Areoligera senonensis																			
DC 132	Deflandrea oebisfeldensis																			
DC 133	Dracodinium simile																			
DC 134	Areoligera gippingensis																			
DC 135	Deflandrea spp.																			
DC 136	Glaphyrocysta pastelsii																			
DC 137	Adnatosphaeridium spp.																			
DC 138	Cerodinium depressum																			
DC 139	Erneadocysta spp.																			
DC 140	Alisocysta sp. 2																			
DC 141	Glaphyrocysta ornata																			
DC 142	Cerebrocysta spp.																			
DC 143	Hafniasphaera septata																			
DC 144	Cerodinium spp.																			
DC 145	Hafniasphaera spp.																			
DC 146	Thalassiphora inflata																			
DC 147	Apectodinium augustum																			
DC 148	Reworking dinocysts																			
DC 1	Systematophora spp.																			
SP 1	Bisaccates																			
SP 2	Sporomorphs (excl. bisaccates)																			
SP 3	Reworking sporomorphs																			
MP 2	Foraminifera																			
MP 4	Acritarchs																			
MP 8	Pterosporella																			
MP 9	Fungal spores																			
MP 10	Tasmanaceae																			



**Well Name : Steelhoven-01**

Interval : 730m - 980m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

Palynological interpretation

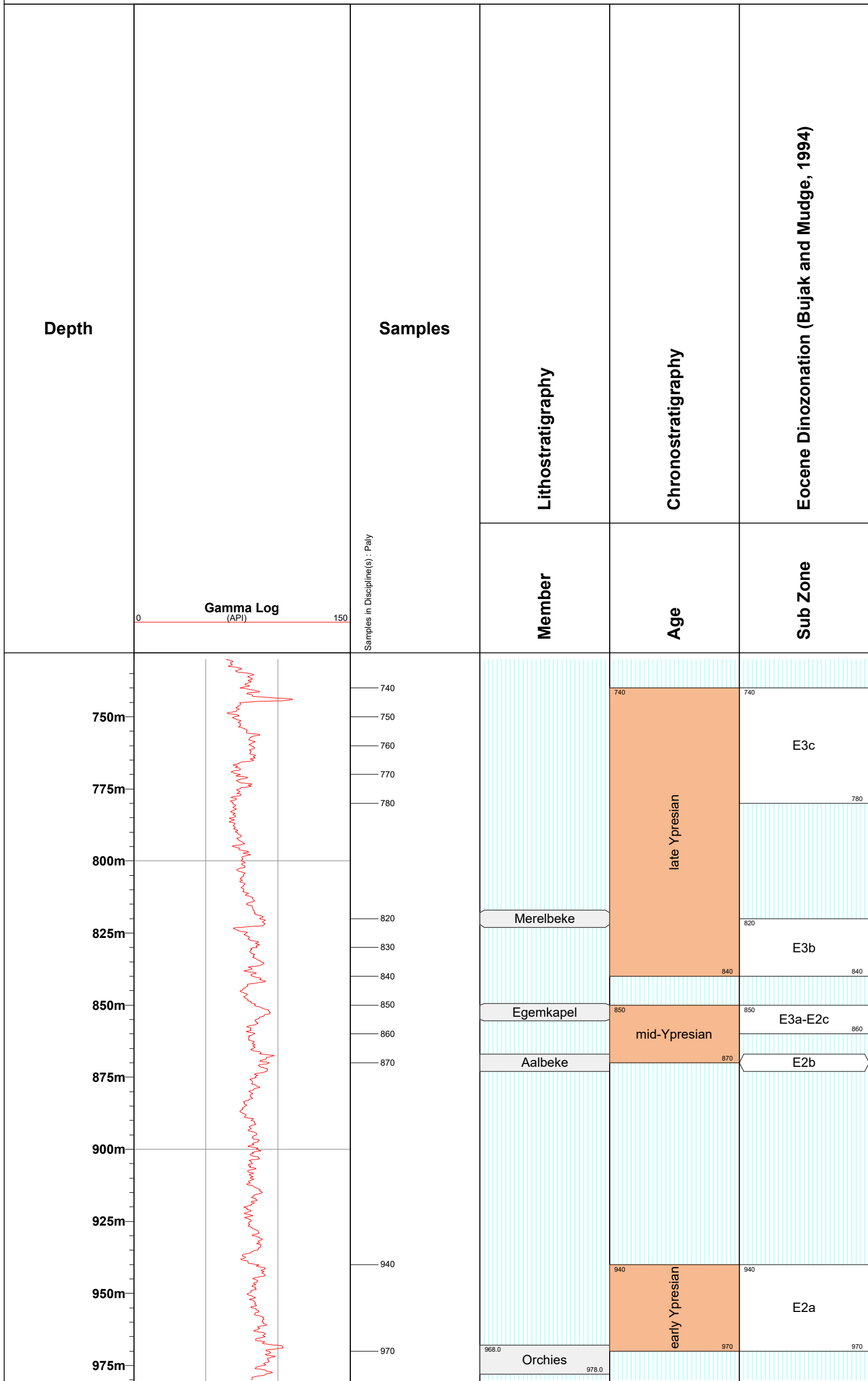
TNO report

D.K. Munsterman

**TNO-NITG**

**Utrecht**

Enclosure 5





# Well Name : Huibeven-01

TNO-NITG  
Utrecht

Interval : 740m - 870m

Palynological interpretation

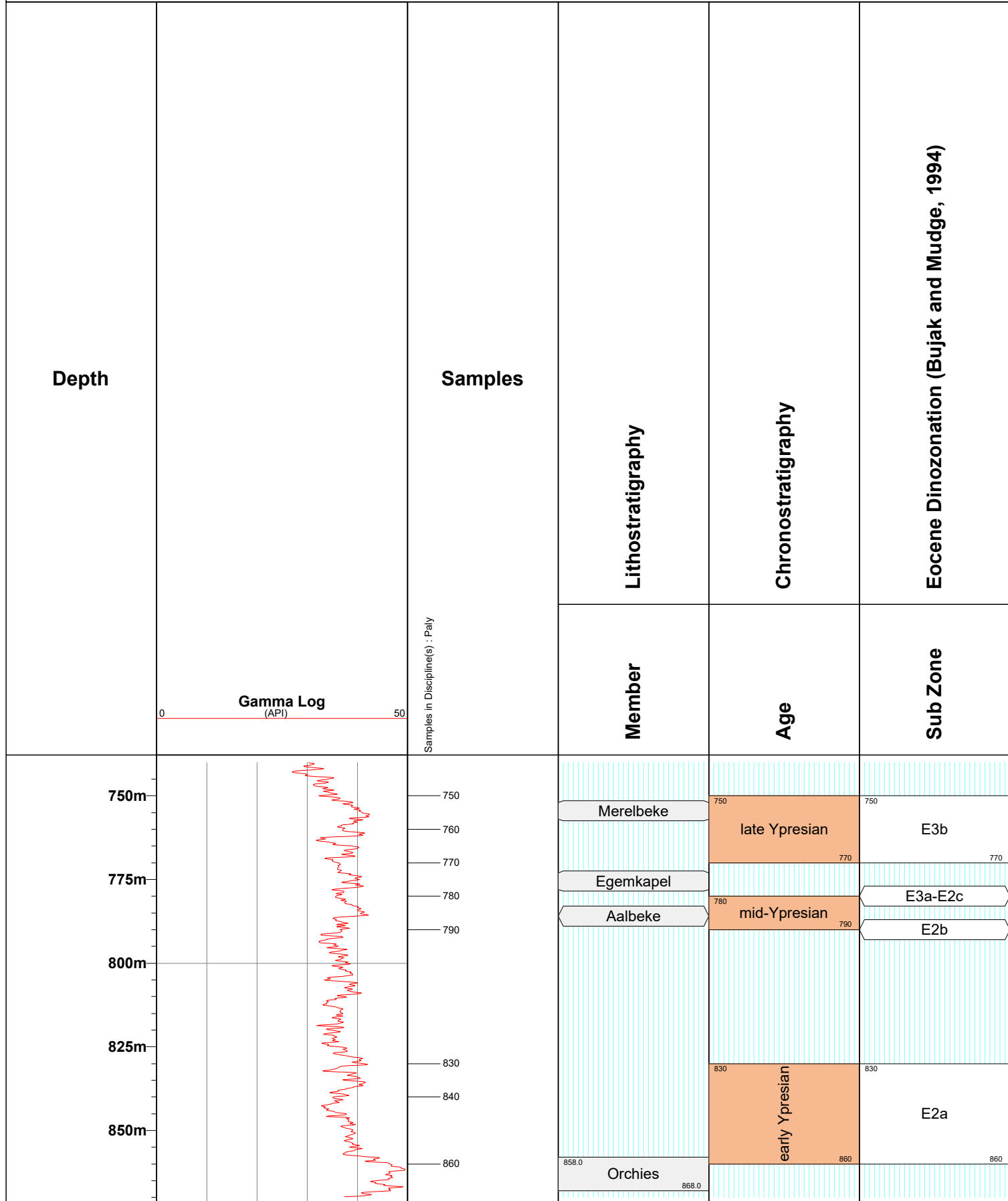
Scale : 1:1500

TNO report

Chart date: 05 October 2020

D.K. Munsterman

Enclosure 7





**Well Name : NMD-01**

Interval : 950m - 1250m

Scale : 1:1500

Chart date: 05 October 2020

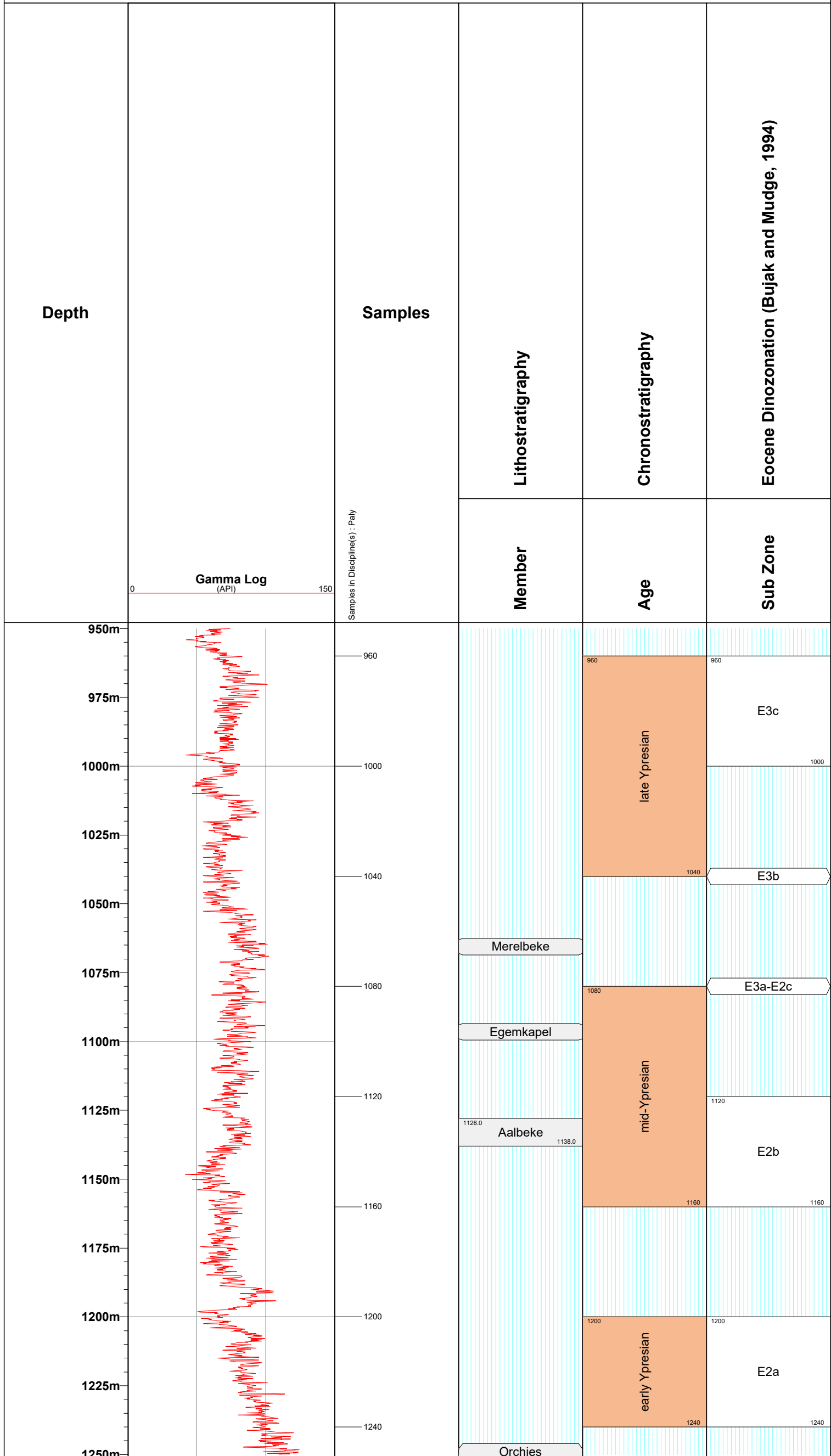
Palynological interpretation

TNO report

D.K. Munsterman

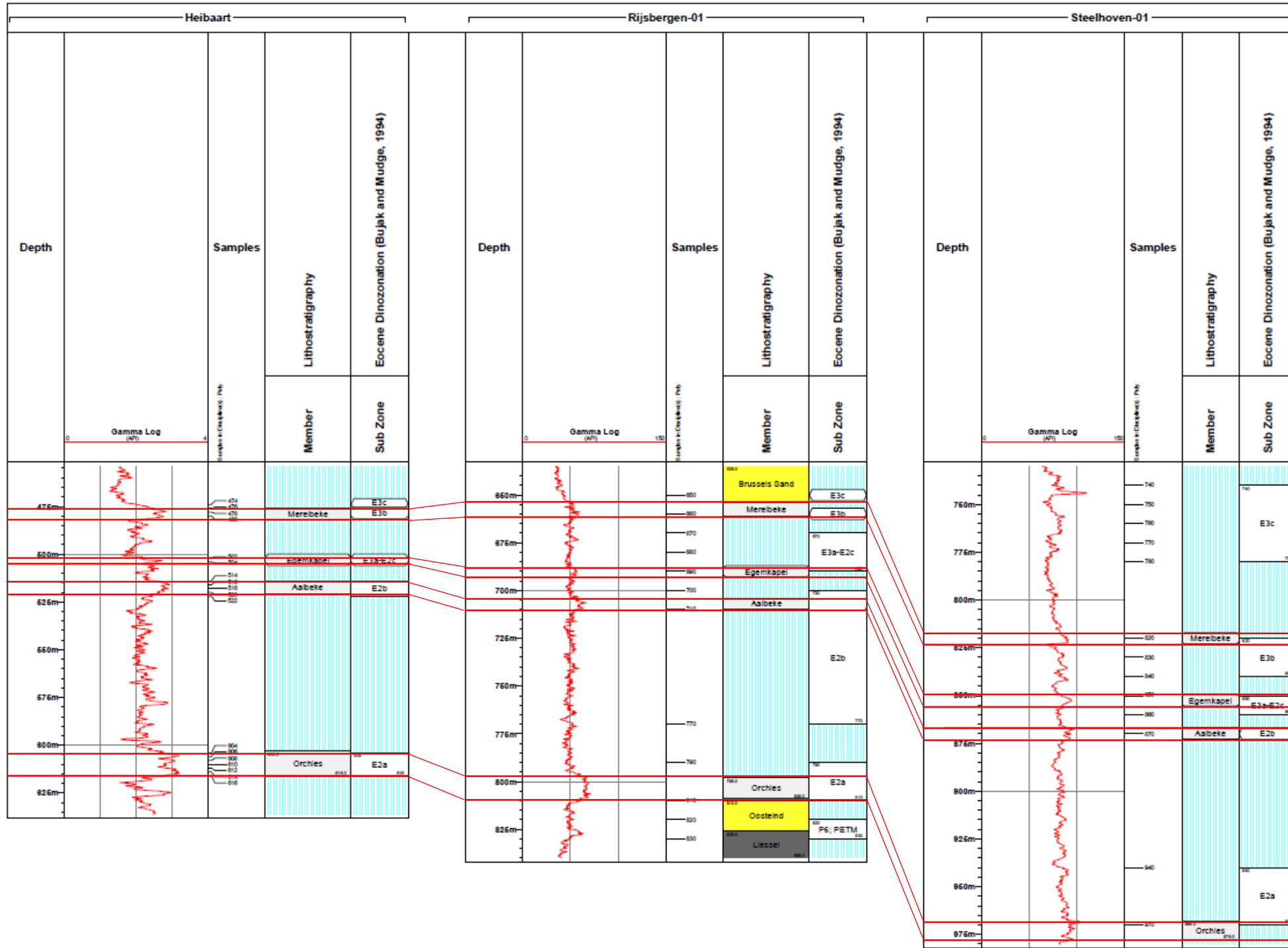
**TNO-NITG  
Utrecht**

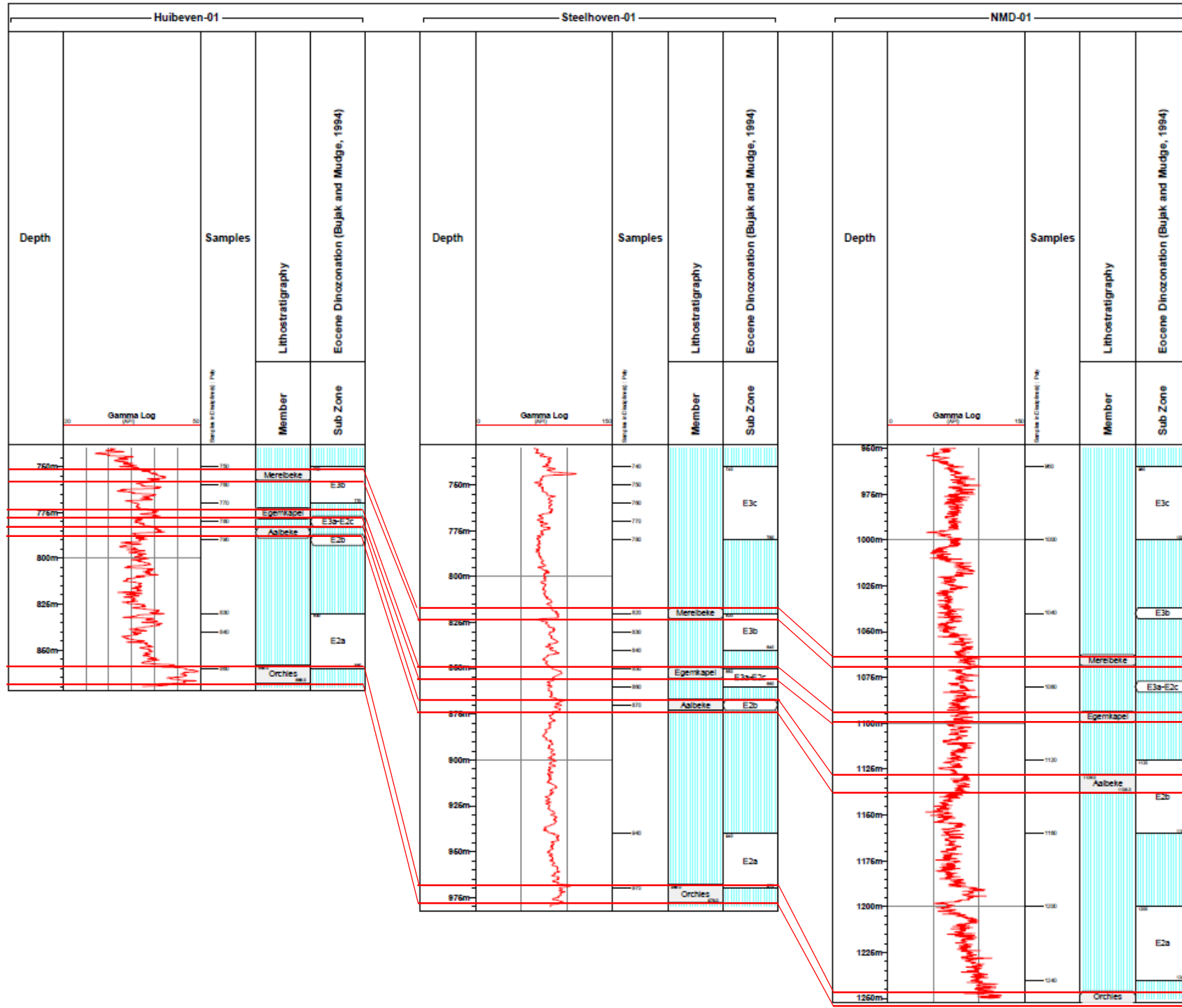
Enclosure 9





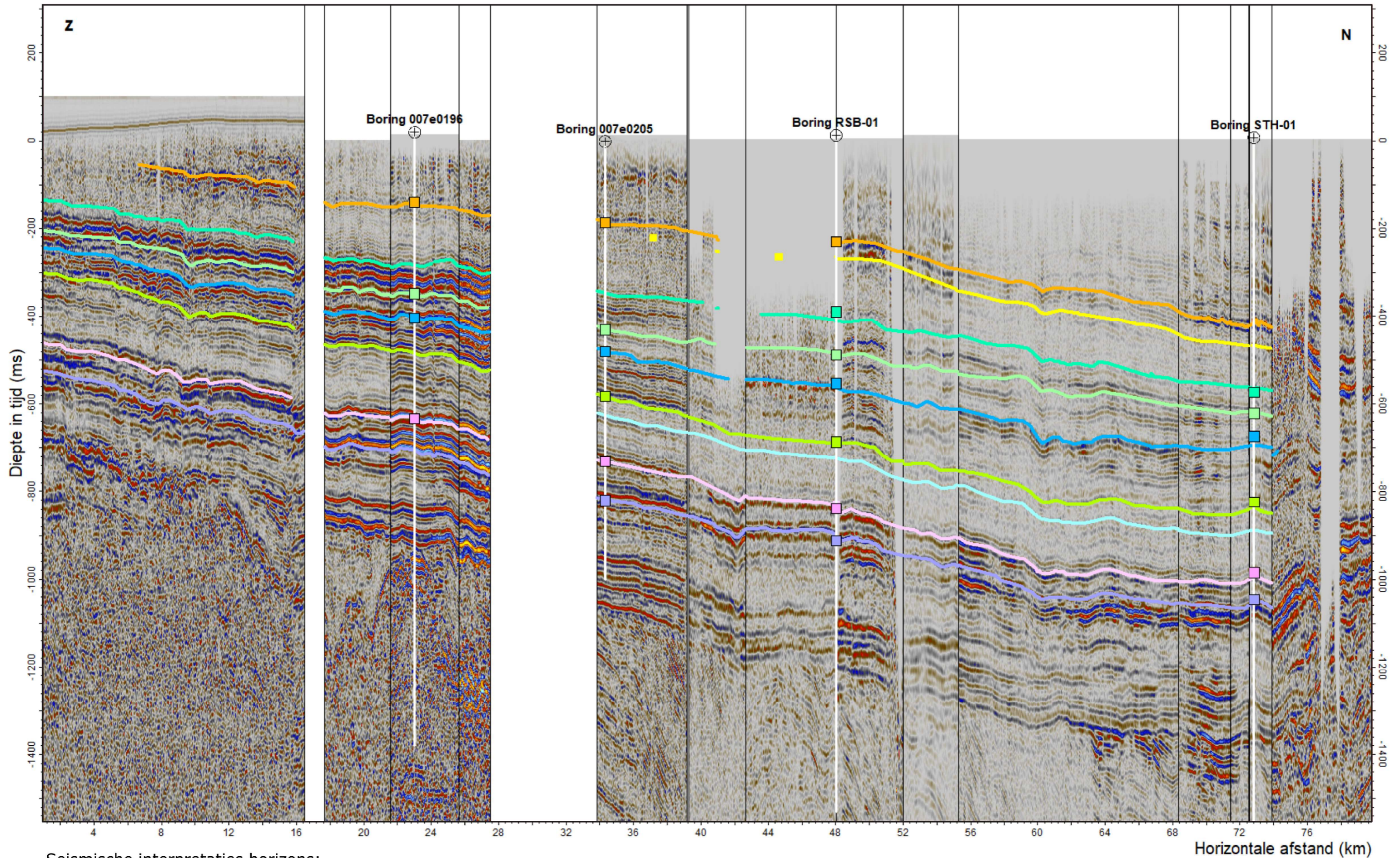





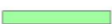









## D Correlatieprofielen

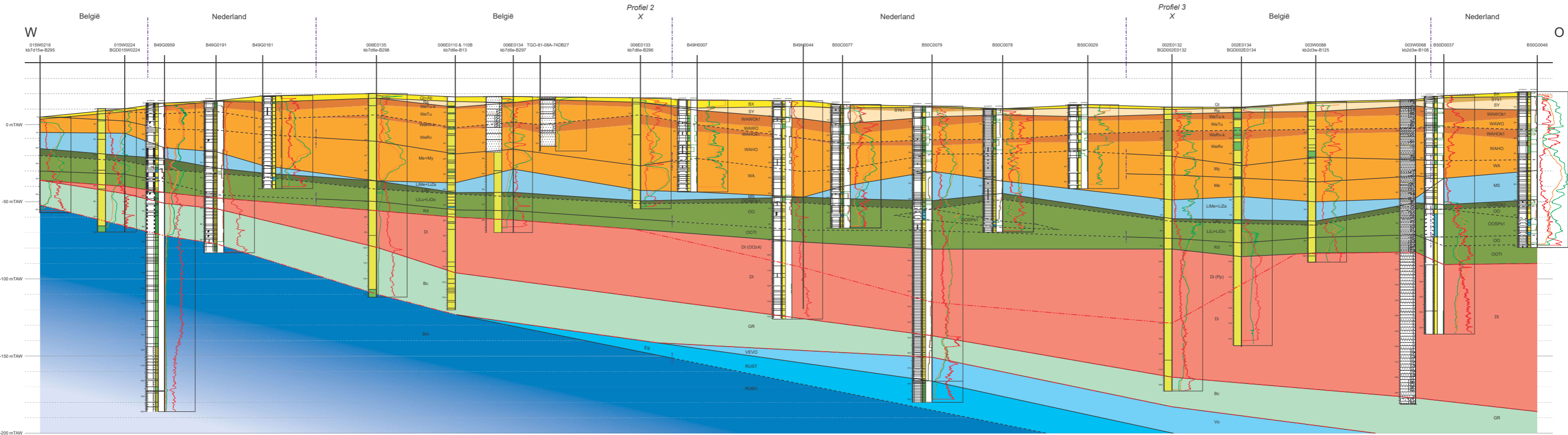
# Correlatieprofiel diep



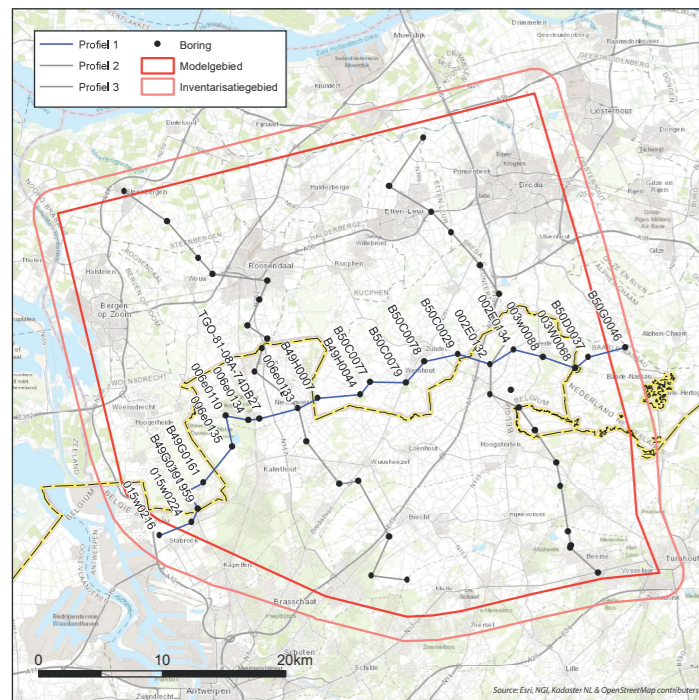
Seismische interpretaties horizons:

- |   |   |   |  |   |                                  |
|---|---|---|--|---|----------------------------------|
|  | Basis Diest (BE) - Diessen (NL)                   |  | Basis Zelzate (BE) - Tongeren (NL)           |  | Basis Tielt (BE)                 |
|  | Basis Groote Heide (NL)                           |  | Basis Ursel (BE) - nabij basis Asse (NL)     |  | Basis Kortrijk (BE) - Ieper (NL) |
|  | Basis Terhagen (BE) - nabij basis Rupel klei (NL) |  | Basis Pittem (BE) - nabij basis Brussel (NL) |  | Basis Hannut (BE) - Liessel (NL) |

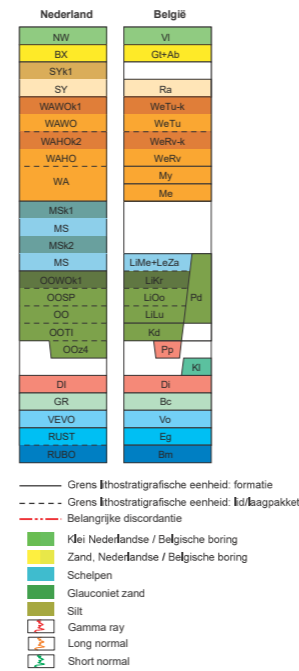
# Correlatieprofiel 1



## Locatiekaart

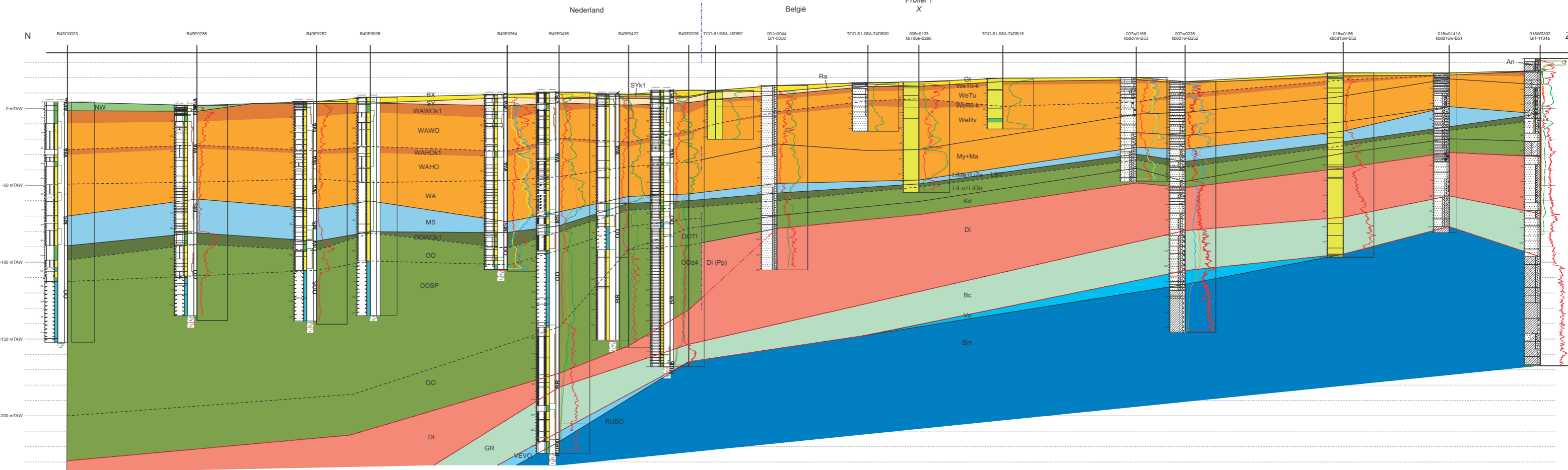


## Legende

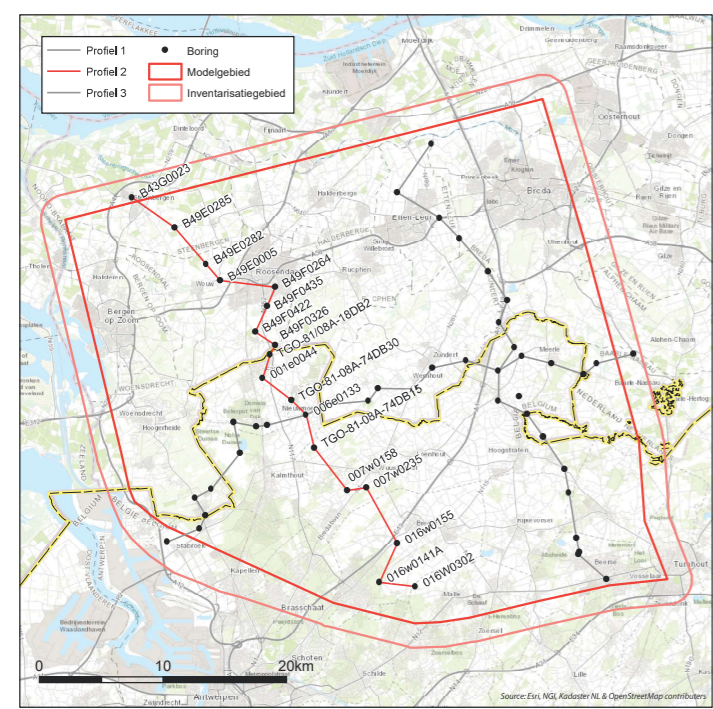


Bijlage D bij Verres et al., 2023. Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Belgisch-Nederlandse grensstreek van de Noord-kempens/West-Brabant (H3O-De Voorkepen), TNO-rapport R10347, VITO-rapport 2023/RMA/R/2906, BGD-rapport 2023/02.

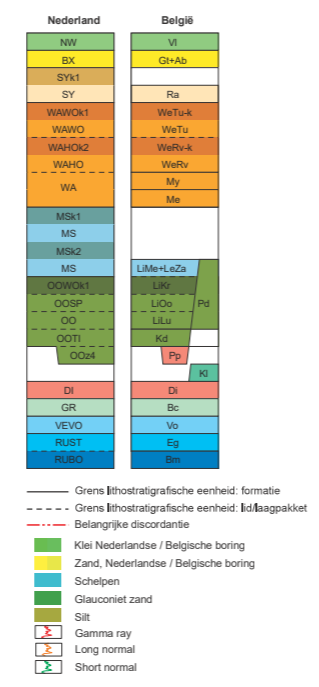
# Correlatieprofiel 2



## Locatiekaart

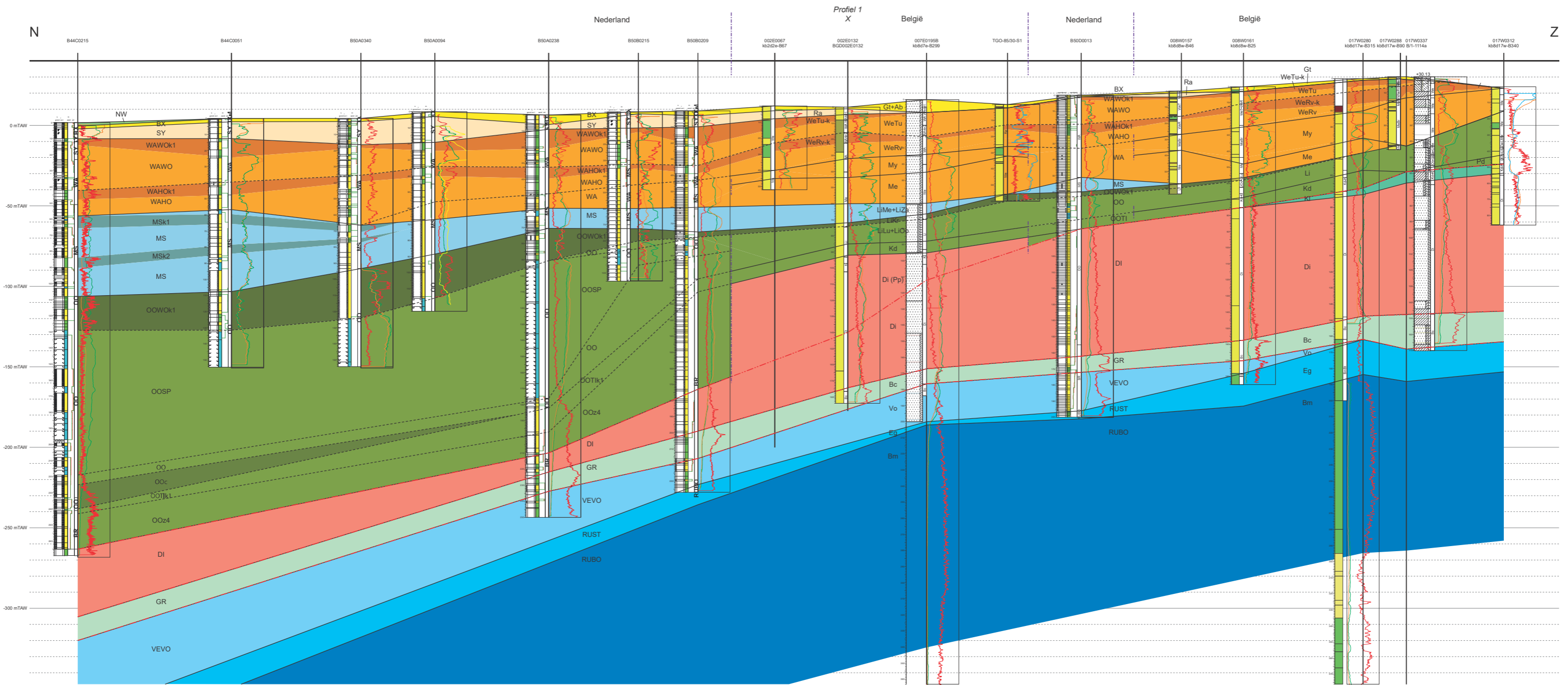


## Legende

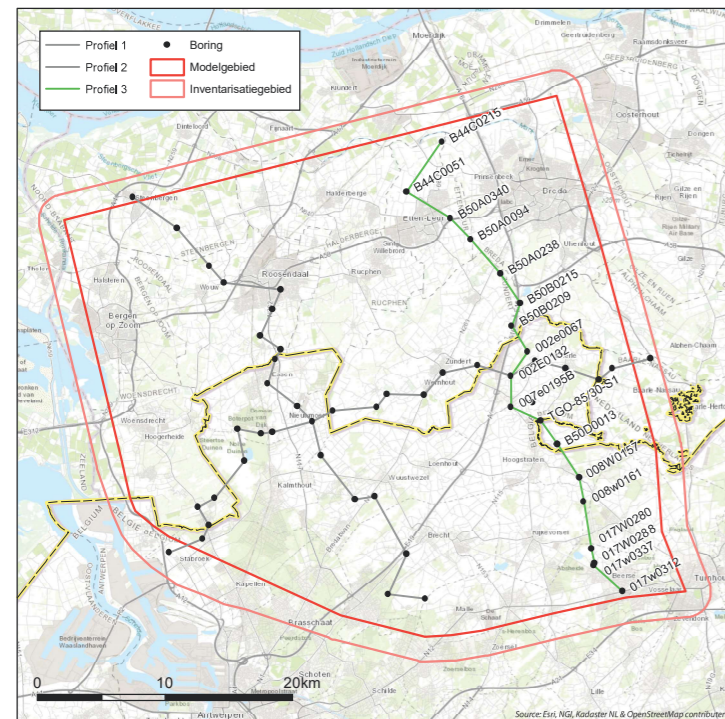


Bijlage D bij Vernes et al., 2023. Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Belgisch-Nederlandse grensstreek van De Noorderkempen/West-Brabant (H3O-De Voorkampen). TNO-rapport R10347, VITO-rapport 2023/RMA/A/2906, BGD-rapport 2023/02.

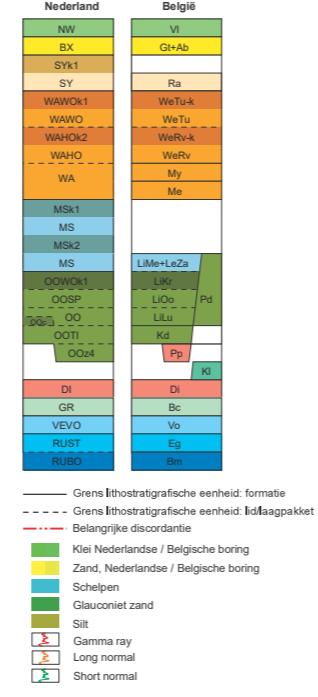
# Correlatieprofiel 3



Locatiekaart



Legende



Bijlage D bij Vernes et al., 2023. Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Belgisch-Nederlandse grensstreek van De Noorderkempen/West-Brabant (H3O-De Voorkempen). TNO-rapport R10347, VITO-rapport 2023/RMA/A/2906, BGD-rapport 2023/02.

## **E Toelichtingen bij de geologische eenheden**



# Toelichtingen bij de geologische modeleenheden

---

H3O-De Voorkempen

Auteurs: Jan Walstra (KBIN-BGD), Kris Welkenhuysen (KBIN-BGD), Frieda Bogemans (KBIN-BGD), Jef Deckers (VITO), Armin Menkovic (TNO-GDN), Dirk Munsterman (TNO-GDN), Bernd Rombaut (VITO), Jeroen Schokker (TNO-GDN), Tom Van Haren (VITO), Geert-Jan Vis (TNO-GDN) & Michiel Duser (KBIN-BGD)

Datum: 21 februari 2023

# Inhoudstabel

<b>1</b>	<b>Modeleenheid Heers-Landen</b> .....	<b>5</b>
1.1.	Onderverdeling .....	5
1.2.	Formatie van Heers (BE)/ Formatie van Landen-laagpakketten van Orp en Gelinden (NL).....	5
<b>2</b>	<b>Modeleenheid Hannut-Landen</b> .....	<b>8</b>
2.1.	Onderverdeling .....	8
2.2.	Formatie van Hannut (BE)/ Formatie van Landen-laagpakketten van Liessel en Reusel (NL) .....	8
<b>3</b>	<b>Modeleenheid Tienen-Dongen</b> .....	<b>10</b>
3.1.	Onderverdeling .....	10
3.2.	Formatie van Tienen (BE)/ Formatie van Dongen-Laagpakket van Oosteind (NL).....	10
<b>4</b>	<b>Modeleenheid Kortrijk-Dongen</b> .....	<b>11</b>
4.1.	Onderverdeling .....	11
4.2.	Formatie van Kortrijk (BE)/ Formatie van Dongen-onderste deel van het Laagpakket van Ieper (NL)	11
<b>5</b>	<b>Modeleenheid Tielt-Hyon-Dongen</b> .....	<b>15</b>
5.1.	Onderverdeling .....	15
5.2.	Formatie van Tielt (BE)/ Formatie van Dongen-middelste deel van het Laagpakket van Ieper (NL) ...	15
5.3.	Formatie van Hyon (BE)/ Formatie van Dongen-middelste deel van het Laagpakket van Ieper (NL) ..	16
<b>6</b>	<b>Modeleenheid Gentbrugge-Dongen</b> .....	<b>17</b>
6.1.	Onderverdeling .....	17
6.2.	Formatie van Gentbrugge-leden van Pittem en Merelbeke (BE)/ Formatie van Dongen-bovenste deel van het Laagpakket van Ieper (NL).....	17
<b>7</b>	<b>Modeleenheid Eocene zanden-Dongen</b> .....	<b>20</b>
7.1.	Onderverdeling .....	20
7.2.	Formatie van Gentbrugge-Lid van Vlierzele (BE)/ Formatie van Dongen-Zand van Brussel Laagpakket(NL) .....	20
7.3.	Formatie van Brussel (BE)/ Formatie van Dongen-Zand van Brussel Laagpakket (NL) .....	21
7.4.	Formatie van Lede (BE)/ Formatie van Dongen-Zand van Brussel Laagpakket (NL) .....	22
7.5.	Formatie van Maldegem, Lid van Wemmel (BE)/ Formatie van Dongen-Zand van Brussel Laagpakket (NL)	23
<b>8</b>	<b>Modeleenheid Maldegem-Dongen</b> .....	<b>27</b>
8.1.	Onderverdeling .....	27
8.2.	Formatie van Maldegem (BE)/ Formatie van Dongen-Laagpakket van Asse (NL).....	27
<b>9</b>	<b>Modeleenheid Zelzate-Tongeren</b> .....	<b>29</b>
9.1.	Onderverdeling .....	29
9.2.	Formatie van Zelzate (BE)/ Formatie van Tongeren (NL) .....	29
<b>10</b>	<b>Modeleenheid Eigenbilzen-Boom-Rupel</b> .....	<b>31</b>
10.1.	Onderverdeling .....	31
10.2.	Formatie van Boom (BE)/Formatie van Rupel-laagpakketten van Berg/Belsele-Waas en Boom (NL).	31
10.3.	Formatie van Eigenbilzen (BE)/ Formatie van Rupel-Laagpakket van Steensel (NL).....	35
<b>11</b>	<b>Modeleenheid Berchem-Groote Heide-Voort-Veldhoven</b> .....	<b>38</b>
11.1.	Onderverdeling .....	38
11.2.	Formatie van Voort (BE)/ Veldhoven (NL).....	38
11.3.	Formatie van Berchem (BE)/ Groote Heide (NL) .....	39
11.4.	Discussie/opmerkingen .....	40
<b>12</b>	<b>Modeleenheid Diest-Diessen</b> .....	<b>44</b>
12.1.	Onderverdeling .....	44
12.2.	Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL) .....	44
12.3.	Discussie/opmerkingen .....	45
<b>13</b>	<b>Modeleenheid Kasterlee</b> .....	<b>51</b>

13.1. Onderverdeling .....	51
13.2. Formatie van Kasterlee (BE) .....	51
13.3. Discussie/opmerkingen .....	52
<b>14 Modeleenheid Kattendijk-Lillo-Oosterhout .....</b>	<b>54</b>
14.1. Onderverdeling .....	54
14.2. Formatie van Kattendijk (BE)/ Formatie van Oosterhout-laagpakket van Tilburg (NL) .....	54
14.3. Formatie van Lillo-leden van Luchtbal en Oorderen (BE)/ Formatie van Oosterhout-ongedifferentieerd en Laagpakket van Sprundel (NL).....	55
14.4. Formatie van Lillo-Lid van Kruisschans (BE)/ Formatie van Oosterhout-Laagpakket van Wouw (NL) .	56
14.5. Formatie van Lillo-lid van Poederlee (BE) .....	56
14.6. Discussie/opmerkingen .....	57
<b>15 Modeleenheid Merksem &amp; Zandvliet – Maassluis .....</b>	<b>60</b>
15.1. Onderverdeling .....	60
15.2. Formatie van Lillo – leden van Merksem en Zandvliet (BE) .....	60
15.3. Formatie van Maassluis (NL) .....	60
15.4. Discussie/opmerkingen .....	62
<b>16 Modeleenheid Merksplas, Malle &amp; Weelde – Waalre .....</b>	<b>64</b>
16.1. Onderverdeling .....	64
16.2. Fm van Merksplas (BE)/ Fm van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel (NL) .....	64
16.3. Fm van Malle (BE)/ Fm van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel (NL) .....	65
16.4. Fm van Weelde (BE)/ Fm van Waalre – Laagpakketten van Hoogerheide & Woensdrecht (NL) .....	68
16.5. Discussie/opmerkingen .....	75
<b>17 Modeleenheid Ravels-Stramproy .....</b>	<b>78</b>
17.1. Onderverdeling .....	78
17.2. formatie van Ravels (BE)/ Formatie van Stramproy (NL) .....	78
17.3. Discussie/opmerkingen .....	79
<b>18 Modeleenheid Sterksel .....</b>	<b>84</b>
18.1. Onderverdeling .....	84
18.2. Formatie van Sterksel (NL) .....	84
<b>19 Modeleenheid Eeklo-Koewacht .....</b>	<b>85</b>
19.1. Onderverdeling .....	85
19.2. Formatie van Eeklo (BE)/ Koewacht (NL) .....	85
19.3. Discussie/opmerkingen .....	85
<b>20 Modeleenheid Gent-Boxtel .....</b>	<b>86</b>
20.1. Onderverdeling .....	86
20.2. Formatie van Gent en complex van Meer (BE)/ Formatie van Boxtel (NL) .....	86
20.3. Discussie/opmerkingen .....	87
<b>21 Modeleenheid Holoceen complex .....</b>	<b>89</b>
21.1. Onderverdeling .....	89
21.2. Formatie van Arenberg-ongedifferentieerd (BE)/ Formatie van Boxtel-Laagpakket van Singraven (NL)	89
21.3. lid van Antwerpen (BE)/ Formatie van Nieuwkoop- Basisveen Laag (NL).....	90
21.4. lid van Doel (BE)/ Kreekrak Formatie (NL).....	90
21.5. lid van Antwerpen (BE)/ Formatie van Nieuwkoop-Hollandveen Laagpakket (NL) .....	91
21.6. Formatie van Vlaanderen (BE)/ Naaldwijk (NL).....	92
<b>22 Modeleenheid Antropogeen – opgebrachte grond .....</b>	<b>94</b>
<b>23 Referenties .....</b>	<b>95</b>

Tabel 1. Onderverdeling van de vroeg-paleogene modelleenheden in Nederland en België (2 = voorstel voor aanpassing/uitbreiding Nederlandse hydrogeologische indeling en codering, 4 = voorstel voor aanpassing/uitbreiding Vlaamse hydrogeologische indeling).

NL Stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	NL Geologische modelleenheid	NL Hydrogeol. modelleenheid	BE Stratigrafische eenheid (formatie - lid)	BE Geologische modelleenheid	BE Hydrogeologische modelleenheid			
Dongen - Ieper	Dongen - Ieper	DOIEk1	Gentbrugge-Pittem Gentbrugge - Merelbeke	Gentbrugge - Merelbeke en Pittem	Panisiaan Aquitardsysteem			
		DOIEk2	Hyon - Egem Tielt - Egemkapel Tielt - Kortemark	Tielt en Hyon	Ieperiaan Aquifersysteem			
		DOIEk3	Kortrijk - Aalbeke	Kortrijk	Ieperiaan Aquitardsysteem			
			Kortrijk - Roubaix					
			Kortrijk - Orchies Kortrijk - Mont-Héribu					
		Dongen - Oosteind	Dongen - Oosteind	DOOOz1 <sup>2</sup>	Tienen - Knokke	Tienen	Zand van Knokke	
Landen - Reusel Landen - Liessel	Landen - Reusel en Liessel <sup>2</sup>	LARELk1	Hannut - Grandglise Hannut - Lincen Hannut - Halen Hannut - Waterschei Hannut - Beselare <sup>4</sup>	Hannut	Zand van Grandglise en Landeniaan Aquitard			
Landen - Gelinden Landen - Orp			LAGEORc			Heers - Maaseik <sup>4</sup> Heers - Gelinden Heers - Orp	Heers	Heersiaan en Opglabbeek Aquifersysteem

# 1 Modeleenheid Heers-Landen

## 1.1. Onderverdeling

De paleogene modeleenheid Heers-Landen bestaat uit de Belgische Formatie van Heers (BE) en de laagpakketten van Orp en Gelinden van de Nederlandse Formatie van Landen (NL).

De Belgische Formatie van Heers (BE) wordt in het inventarisatiegebied van onder naar boven in drie leden onderverdeeld: de leden van Orp, Gelinden en Maaseik (BE; zie Figuur 1 ter hoogte van boring van Brasschaat en Figuur 2).

De Belgische Formatie van Heers (BE) maakt deel uit van de hydrogeologische eenheid in de Vlaamse HCOV-v2 codering A1030 (Heersiaan en Opglabbeek Aquifersysteem), met volgende onderverdeling: A1033 (Zand van Orp), A1032 (Mergels van Gelinden) en A1031 (Kleiige mergels van Maaseik). Het Lid van Gelinden (BE) 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 Lid van Gelinden echter diep begraven en eerder ondoorlatend.

De laagpakketten van Orp en Gelinden (NL) van de Formatie van Landen (NL) zijn binnen het huidige modelgebied onderverdeeld in de hydrologische subeenheden LAORz1 (aquifer) en LAGEk1 (aquitard).

## 1.2. Formatie van Heers (BE)/ Formatie van Landen-laagpakketten van Orp en Gelinden (NL)

### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Heers (BE) is van mariene oorsprong, met een snelle overgang tussen de verschillende leden.

Het Lid van Orp (BE) bestaat uit donkergroen zeer fijn, kleilig zand met een hoog gehalte aan glauconiet. Boortechisch onderscheidt dit laagpakket zich door het gemakkelijk uitspoelen van het boorgat, te wijten aan het goed erodeerbare zand. De afzetting is gevormd tijdens een mariene transgressie.

Het Lid van Gelinden (BE) bestaat uit compacte witte mergel (in feite zachte krijtachtige kalksteen met een carbonaatgehalte van 60 tot 85%), soms licht glauconiethoudend.

Het Lid van Maaseik (BE) bestaat uit grijswitte licht glauconiethoudende mergel (mergel in de zin van kalkrijke klei). Op basis van cuttings is het onderscheid met het bovenliggende Lid van Beselare (BE; zandige klei maar eveneens mergelig) echter moeilijk 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 het Lid van Maaseik gaat.

### b. Logsignatuur

Het Lid van Orp (BE) kan in boorgatmetingen vooral worden herkend door de matig hoge gammastraling ten opzichte van onder- en bovenliggende laagpakketten.

Het Lid van Gelinden (BE) vertoont in boorgatmetingen een blokvormig verloop van lage waarden voor de gammastraling en vrij hoge naar boven toe oplopende waarden voor de resistiviteit. 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 Lid van Gelinden (BE): het blokvormig patroon verspringt naar hogere gammastraling en lagere resistiviteit, maar in de bovenliggende klei is dit nog meer uitgesproken.

### c. Seismische interpretatie

De Formatie van Heers (BE) stemt overeen met een reeks van sterke reflecties die de sterke lithologische contrasten weerspiegelen aan de top, basis en binnenin de Formatie van Heers (BE).

### d. Ondergrens

De grens met de onderliggende kalksteen van de Formatie van Houthem of Maastricht (BE) is altijd scherp (beperkte dikte) en wordt in de lithologie gekenmerkt door de zanden aan de basis van de Formatie van Heers en een sterke toename van glauconiet. In boorgatmetingen zien we van boven naar onder een sterke terugval

van gammastraling en toename in resistiviteit met op het grensvlak vaak een kenmerkend piekje in de gammastralingscurve.

### e. Bovengrens

De overgang naar het bovenliggende Lid van Beselare (BE), bestaande uit zandige klei (Formatie van Hannut (BE)), is veelal duidelijk op basis van boorgatmetingen door de hogere gammastraling en lagere resistiviteit van de bovenliggende klei. Op basis van cuttings is er een onderscheid door het verschijnen van een blekere kleur in cuttings en boorspoeling en de toename van het kalkgehalte met toenemende diepte.

In het westelijk deel van het inventarisatiegebied echter vertoont de logsignatuur een geleidelijke overgang naar het bovenliggende Lid van Waterschei (BE).

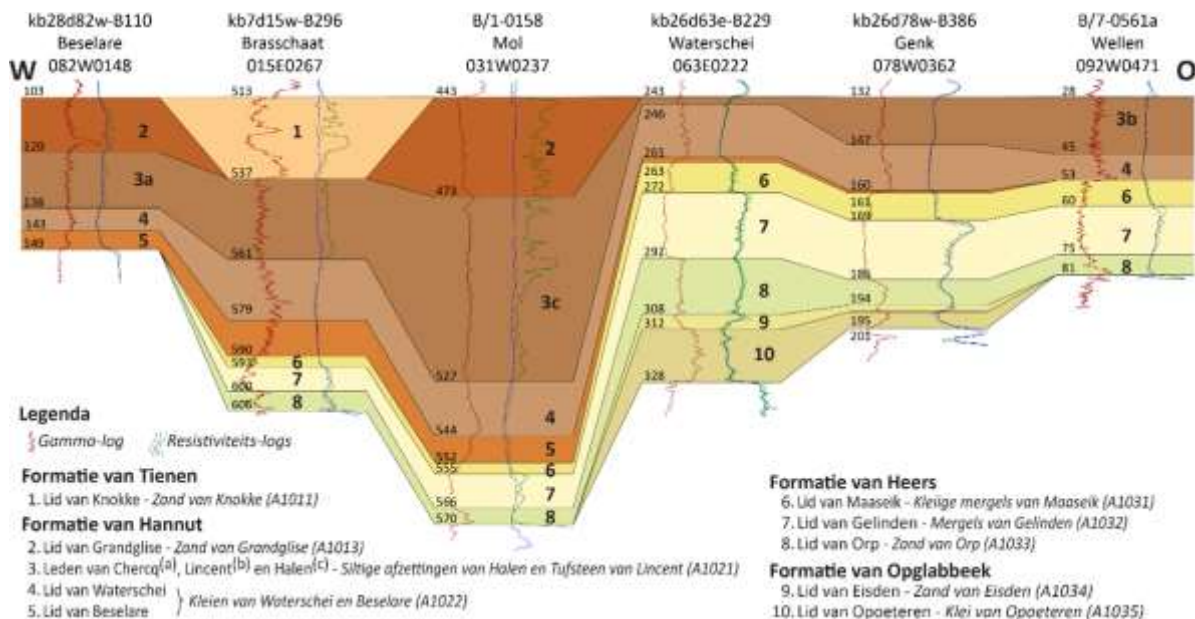
### f. Stratigrafische positie

De vroeg-paleocene Formatie van Heers (BE) ligt discordant op de Formatie van Opglabbeek (BE; in het oosten, buiten het inventarisatiegebied) of discordant op kalksteen van de Formatie van Houthem (BE) en eventueel oudere gesteenten van de Krijtgroep (in het westen). De Formatie van Heers (BE) wordt quasi conform bedekt door de Formatie van Hannut (BE): op lokale schaal lijkt er concordantie maar regionale schaal is er een discordantie zichtbaar door een verschillend sedimentatiepatroon tussen beide formaties.

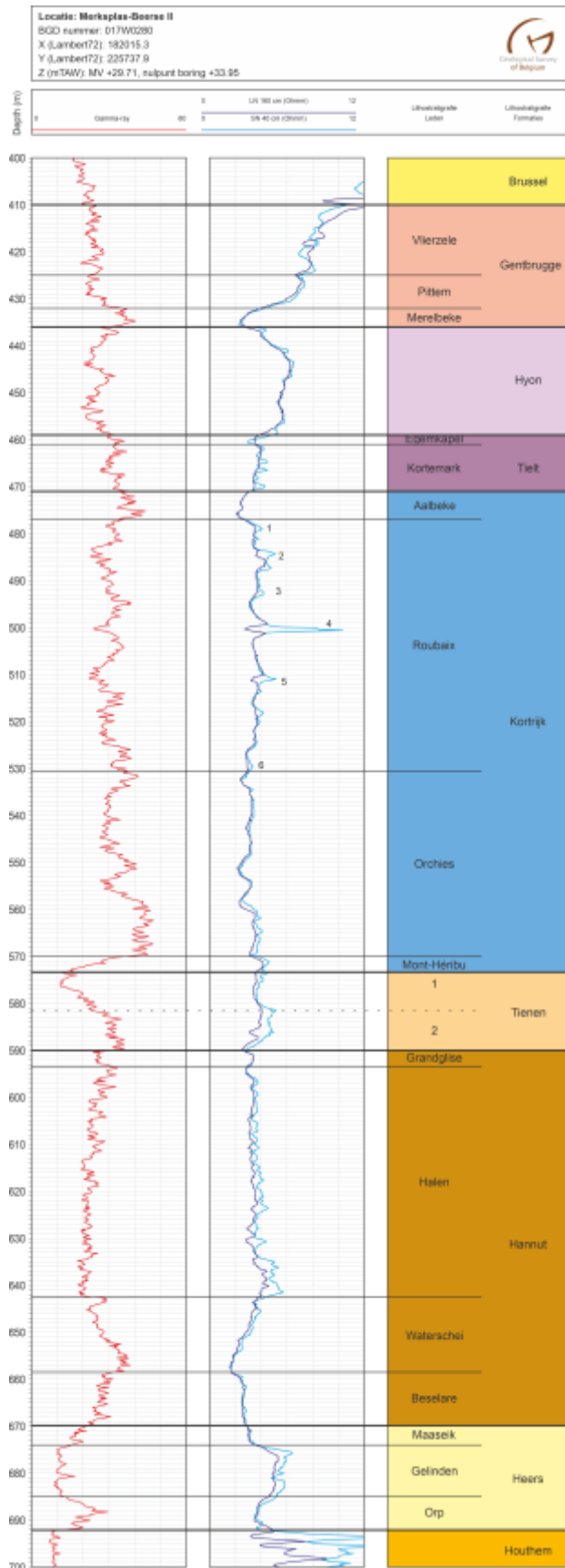
Er loopt een chronostratigrafische grens doorheen de Formatie van Heers (BE): de leden van Orp en Gelinden (BE) zijn afgezet tijdens het Selandiaan, het Lid van Maaseik (BE) tijdens het Thanetiaan. Deze laatste lithostatigrafische eenheid werd in 1998 door Steurbaut omwille van de Thanetiaan ouderdom als een afzonderlijke formatie geïntroduceerd en als Maaseik (BE) benoemd. Conform aan de consensus die hierover binnen NCS bestaat, op basis van een discussiedocument van Johan Matthijs, gepubliceerd op de NCS website, wordt de eenheid Maaseik cartografisch bij de Formatie van Heers (BE) gehouden (NCS discussiedocumenten Beselare en Maaseik Member; Matthijs, 2017a&b).

### g. Dikte en verbreiding

De Formatie van Heers (BE) komt voor in het hele inventarisatiegebied in België. De dikte van het Lid van Orp (BE) kan oplopen van enkele meters tot ongeveer 35 meter, en neemt toe van west naar oost. Het Lid van Gelinden (BE) kan een dikte van ±25 meter bereiken. Het Lid van Maaseik (BE) heeft een dikte tot 9 meter. In Nederland is de verbreiding van het Laagpakket van Orp (NL) niet goed gekend, maar sluit waarschijnlijk aan op de Belgische verbreiding. De westelijke grens is onduidelijk. De verbreiding van de leden/laagpakketten van Gelinden en Maaseik (NL/BE) is in Nederland eveneens niet goed gekend, er wordt aangenomen dat het laagpakket van Gelinden (NL) niet zover westelijk voorkomt.



Figuur 1. Log-correlatiepaneel van west (links) naar oost (rechts) doorheen Vlaanderen met de verschillende paleocene lithostatigrafische eenheden (Deckers et al., 2019). Het inventarisatiegebied bevindt zich ongeveer tussen de boringen van Brasschaat en Mol.



Figuur 2. Boorgatmetingen met interpretatie van de boring van Merksplas-Beerse II voor het interval Formatie van Heers (BE) tot Formatie van Gentbrugge (BE; BGD017W0280).

## 2 Modeleenheid Hannut-Landen

### 2.1. Onderverdeling

De paleogene modeleenheid Hannut-Landen bestaat uit de Belgische Formatie van Hannut (BE) en de laagpakketten van Liessel en Reusel van de Nederlandse Formatie van Landen.

De Belgische Formatie van Hannut (BE) wordt in het inventarisatiegebied van onder naar boven opgedeeld in de volgende vier leden: Beselare, Waterschei, Halen (als lateraal equivalent van Lincen en Chercq) en Grandglise (zie Figuur 1, ter hoogte van boring van Brasschaat).

De Belgische Formatie van Hannut (BE) bevat de hydrogeologische eenheid in de Vlaamse HCOV-v2 codering A1020 (Heersiaan en Opgglabbeek Aquitard), met volgende onderverdeling: A1021 (Siltige afettingen van Halen en Tufsteen van Lincen) en A1022 (Kleien van Waterschei en Beselare); en het onderste deel van A1010 (Landeniaan Aquifersysteem), eenheid A1013 (Zand van Grandglise).

De stratigrafische eenheid van Maaseik (BE) wordt bij de onderliggende Formatie van Heers (BE) beschreven, alhoewel deze formeel nog altijd deel van de Formatie van Hannut (BE) is. De detailstratigrafie van de grens tussen Hannut en Heers is in herziening (NCS discussiedocumenten Beselare en Maaseik Member; Matthijs, 2017a&b).

De laagpakketten van Liessel (NL) en Reusel (NL) van de Formatie van Landen (NL) zijn binnen het huidige modelgebied onderverdeeld in de hydrologische subeenheden LALik1 (aquitard) en LAREk1 (aquitard).

### 2.2. Formatie van Hannut (BE)/ Formatie van Landen-laagpakketten van Liessel en Reusel (NL)

#### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Hannut (BE) is van mariene oorsprong en kan een dikte van 100 m bereiken. De geleidelijke afname van kalk en klei van onder naar boven toe, toename van de zandfractie en tussenschakelingen van versteningen laten toe een onderscheid tussen drie opeenvolgende laagpakketten te maken. Deze coarsening-upwards trend wordt ook in Nederland beschreven.

Het Lid van Beselare (BE) bestaat uit grijs-groen zandige tot zeer zandige klei, en kan fossielhoudend zijn (foraminiferen en spicula). Dit pakket kan een dikte bereiken van 12 meter.

Het Lid van Waterschei (BE) bestaat uit 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. De dikte kan 40 m bereiken doch is meestal niet meer dan 10-20 meter.

Het Lid van Halen (BE) bestaat uit 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 pakket kan waarnemen. De gemiddelde dikte bedraagt 25 tot 35 meter.

Het Lid van Grandglise (BE) bestaat uit grijsgroen licht glauconiethoudend kalkloos fijn zand met dunne kleiige tussenschakelingen, soms met schelpfragmenten, in een ondiep marien milieu afgezet. De dikte kan 30 meter bereiken.

#### b. Logsignatuur

Het Lid van Beselare (BE) heeft een vrij hoge gammastraling en lage resisitiviteit in vergelijking met onderliggende kalkrijke afzettingen. De grens met het bovenliggende Lid van Waterschei kan getrokken worden bij een volgende kleine maar duidelijke en abrupte stijging in de gammastraling en daling in de resisitiviteit.

In het Lid van Waterschei (BE) neemt naar boven toe de waarde van de gammastraling merkelijk af terwijl die van de resisitiviteit zachtjes stijgt.

In het Lid van Halen (BE) vertonen gammastraling en resisitiviteit een relatief vlak verloop met hogere waarden voor de gammastraling en lagere voor de resisitiviteit in het midden van het pakket.

Het Lid van Grandglise (BE) begint onderaan met een geleidelijke verlaging van de gammastraling en verhoging van de resisitiviteit totdat hiervoor een brede piek wordt bereikt, waarna de waarde sterk terugvalt.



### **c. Seismische interpretatie**

De Formatie van Hannut (BE) vertoont over het algemeen eerder zwakke reflectiviteit bovenop de sterke reflecties van de Formatie van Heers(BE).

### **d. Ondergrens**

De grens met de onderliggende mergel van het Lid van Maaseik (BE) is meestal duidelijk op basis van boorgatmetingen door de hogere gammastraling aan de basis van het Lid van Beselare (BE; Figuren 1 en 2, zie ook Matthijs, 2017a&b). De grens is minder betrouwbaar vast te stellen in spoelboringen, op basis van de wittere kleurverandering van de boorspoeling en het verhoogde kalkgehalte met toenemende diepte.

### **e. Bovengrens**

De Formatie van Hannut (BE) wordt bedekt door de Formatie van Kortrijk (BE) of door de Formatie van Tienen (BE). In het eerstgenoemde geval is de grens meestal goed herkenbaar door de scherpe (beperkt in dikte) en duidelijke (verschillende lithologie) overgang van zand (onder) naar klei (boven). In het tweede geval is de overgang eveneens scherp maar eerder onduidelijk door een gelijkaardige lithologie.

### **f. Stratigrafische positie**

De boven-paleocene Formatie van Hannut (BE) vormt samen met de bovenliggende Formatie van Tienen de Groep van Landen (BE). De Formatie van Hannut (BE) rust quasi conform op de Formatie van Heers (BE), 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 (BE) is erosief naar het zuidoosten en concordant naar het noordwesten.

### **g. Dikte en verbreiding**

De Formatie van Hannut (BE) komt voor over het hele inventarisatiegebied in België, en kan een dikte van 100 meter bereiken. Het Lid van Beselare (BE) kan een dikte bereiken van 12 meter. De dikte van het Lid van Waterschei (BE) kan 40 meter bereiken doch is meestal niet meer dan 10-20 meter. De gemiddelde dikte van het Lid van Halen (BE) bedraagt 25 tot 35 meter. Het Lid van Grandglise (BE) kan een dikte van 30 meter bereiken. In Nederland is de verbreiding van de Formatie van Landen (NL) niet goed gekend, enkel in een klein gebied ten oosten van Veldhoven komt deze met zekerheid voor.

## 3 Modeleenheid Tienen-Dongen

### 3.1. Onderverdeling

De paleogene modelleenheid Tienen-Dongen bestaat uit de Belgische Formatie van Tienen (BE) en het Laagpakket van Oosteind van de Nederlandse Formatie van Dongen.

De Belgische Formatie van Tienen (BE) bestaat in het inventarisatiegebied vermoedelijk enkel uit het Lid van Knokke (BE; zie Figuur 1, ter hoogte van de boring van Brasschaat). Deze afzettingen komen voor in het grootste deel van het inventarisatiegebied, en ontbreken vermoedelijk enkel in het uiterste zuidoosten waar ze ook in de nabijgelegen diepe boringen van NIRAS te Mol niet werden waargenomen. De Formatie van Tienen (BE) maakt deel uit van de hydrogeologische eenheid in de Vlaamse HCOV-v2 codering A1010 (Landeniaan Aquifersysteem), meer bepaald A1011 (Zand van Knokke).

Het Laagpakket van Oosteind van de Formatie van Dongen (NL) komt binnen het huidige modelgebied overeen met de hydrologische subeenheid DOOOz1 (aquifer).

### 3.2. Formatie van Tienen (BE)/ Formatie van Dongen-Laagpakket van Oosteind (NL)

#### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Tienen (BE) heeft een heterogene samenstelling, die overgaat van een continentaal lagunair facies (fluviatiel tot estuarien) in het zuiden van het voorkomensgebied (België) tot een meer ondiep marien facies in het noorden (Nederland). Deze afzettingen bestaan uit groengrijs leemhoudend fijn zand, rijk aan schelpen, met kleihoudende inschakelingen.

#### b. Logsignatuur

De zandige Formatie van Tienen (BE) heeft een vrij lage gammastraling en hoge resistiviteit in vergelijking met de omringende lagen. De zandlagen worden wel onderbroken door pieken in de gammastraling en dalen in de resistiviteit op de klei-tussenschakelingen (Figuren 1 en 2).

#### c. Seismische interpretatie

Hoewel er in het inventarisatiegebied geen sterke geulinsnijdingen meer zijn zoals verder zuidoostelijk in de provincies van Vlaams-Brabant en Limburg, zijn er op seismiek van het inventarisatiegebied lokaal wel mogelijke indicaties voor kleine geultjes.

#### d. Ondergrens

De grens met het onderliggende Lid van Grandglise van de Formatie van Hannut (BE) is lithologisch minder duidelijk.

#### e. Bovengrens

De Formatie van Tienen (BE) wordt overal bedekt door de Formatie van Kortrijk (BE). De grens is scherp (beperkte dikte) en duidelijk (verschillende lithologie) door de overgang van een heterogene zand-klei afzetting naar de kleien van het Lid van Mont-Héribu (BE).

#### f. Stratigrafische positie

De Paleoceen-Eoceen grens loopt waarschijnlijk door deze formatie. De Formatie van Tienen (BE) rust discordant op de Formatie van Hannut (BE). Dit is vooral duidelijk in de uitschuring die door Halen (Loksbergen) en Leopoldsburg loopt en seismisch als een insnijding is waar te nemen. Dit betekent ook dat meer zuidelijk de Formatie van Tienen (BE) buiten deze uitschuring niet zal voorkomen. Meer noordwaarts, of in het inventarisatiegebied, breidt de Formatie van Tienen (BE) zich over een groter gebied uit, maar gaat het facies onderscheid tussen Grandglise en Tienen vervagen.

#### g. Dikte en verbreiding

De Formatie van Tienen (BE) komt voor in vrijwel het gehele Belgische deel van het inventarisatiegebied, ten noordwesten van de lijn Lier-Turnhout. Volgens de geografische verbreidingskaart loopt het Laagpakket van Oosteind (NL) in Nederland niet door tot aan de Belgische grens (Dinoloket, 2018), hoewel dat wel het geval is (interpretaties huidige project). De dikte loopt op richting noordwesten tot ongeveer 20 meter.

## 4 Modeleenheid Kortrijk-Dongen

### 4.1. Onderverdeling

De paleogene modeleenheid Kortrijk-Dongen bestaat uit de Belgische Formatie van Kortrijk (BE) en het onderste gedeelte van het Laagpakket van Ieper van de Nederlandse Formatie van Dongen (NL).

Regionaal kan de Formatie van Dongen (NL; en de equivalente Belgische Ieper Groep (BE)) onderverdeeld worden in drie delen (Lang, 2003). Het onderste deel komt overeen met de modeleenheid Kortrijk-Dongen.

De Belgische Formatie van Kortrijk (BE) wordt in het inventarisatiegebied van onder naar boven in de volgende vier leden onderverdeeld: het Lid van Mont-Héribu (BE), het Lid van Orchies (BE), het Lid van Roubaix (BE) en het Lid van Aalbeke (BE). De Formatie van Mons-en Pévèle (BE) komt enkel voor ten oosten van het inventarisatiegebied, als lateraal equivalent van het Lid van Roubaix (BE). Het Lid van Mont-Héribu (BE) komt niet overal voor aan de basis.

De Belgische Formatie van Kortrijk (BE) omvat drie van de vier subeenheden van de hydrogeologische hoofdeenheid A0900 (Ieperiaan Aquitardsysteem) volgens de Vlaamse HCOV-v2 codering, namelijk A0904 (Kleien van Orchies, Mont-Héribu en Het Zoute), A0902 (Zandige klei van Roubaix) en A901 (Klei van Aalbeke).

In 2017 werd de indeling van de Ieper Groep (BE), waar de Kortrijk Formatie deel van uitmaakt, herzien en werd er een uniforme naamgeving van de leden voorzien (Figuur 3; Steurbaut et al., 2016). De verspreiding van de verschillende leden is weergegeven in Figuur 4.

Het Laagpakket van Ieper van de Formatie van Dongen (NL) komt binnen het huidige modelgebied overeen met de hydrologische subeenheid DOIEk1 (aquitard).

### 4.2. Formatie van Kortrijk (BE)/ Formatie van Dongen- onderste deel van het Laagpakket van Ieper (NL)

#### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Kortrijk (BE) is een mariene afzetting die voornamelijk bestaat uit kleiige sedimenten met weinig macroscopische kenmerken die een verdere onderverdeling zouden vergemakkelijken. Dit onderste gedeelte van de Formatie van Dongen (NL) wordt gekenmerkt door een bruinrijze kleur, plaatselijk neigend naar beige of roodbruin. Dit deel bevat ook pyriet, is kalkloos en waarschijnlijk herwerkte verkoolde plantresten komen lokaal aan de basis voor. Correlaties en onderverdeling zijn voornamelijk gebaseerd op sequentiestratigrafie die aan de hand van trends in de korrelgroottevariaties in de boorgatmetingen wordt herkend.

Het Lid van Mont-Héribu (BE) bestaat uit opeenvolging van donkergekleurde glauconiethoudende kleiige zandlaagjes en kleiige siltlaagjes.

Het Lid van Orchies (BE) is de meest homogene en fijnkorrelige afzetting, bestaande uit vaste kalkloze fijnsiltige klei met dunne tussenschakelingen van grofsiltige klei en kleilig silt.

Het Lid van Roubaix (BE) bestaat afwisselend uit vaste en slappe kleiige silten met tussenschakelingen van zand en mogelijk versteningen in kalkhoudende tussenschakelingen.

Het Lid van Aalbeke (BE) is een vaste fijnsiltige klei zonder zandfractie.

#### b. Logsignatuur

De boorgatmetingen vertonen een doorlopende lage resistiviteit en vrij hoge gammastraling (Figuren 2 en 5).

Het Lid van Mont Héribu (BE) wordt geofysisch gekarakteriseerd door een stijgende trend in de gammastraling en dalende trend in de resistiviteit naar boven toe.

Het Lid van Orchies (BE) heeft onderaan een vrij hoge gammastraling en lage resistiviteit, die geleidelijk respectievelijk verlaagt/verhoogt naar boven toe. Op basis van kleine sprongen in het patroon kan een onderverdeling in Onder Orchies, Midden Orchies en Boven Orchies gemaakt worden.

In het Lid van Roubaix (BE) verlopen de boorgatmetingen meer getand dan in de onderliggende eenheid met piekjes in de resistiviteit en lagere gammastraling dan over Orchies. Correlaties van west (typegebied) naar oost (project-inventarisatiegebied) kunnen gebeuren volgens nummering van zes zandigere tussenschakelingen, herkenbaar als kleine piekjes in de resistiviteit. De grens Orchies-Roubaix ligt net onder de zesde resistiviteitspiek

(Steurbaut et al., 2016). Onder deze grens vertoont de resistiviteit een vlakker patroon en bereikt de gammastraling iets hogere waarden.

Het Lid van Aalbeke (BE) is goed herkenbaar in boorgatmetingen door de brede piek in de gammastraling en overeenkomstig dal in de resistiviteit

### **c. Seismische interpretatie**

In Vlaanderen is enkel de basis seismisch geïnterpreteerd, terwijl in Nederland ook de top seismisch is onderscheiden. De basis wordt gelegd op een toename in impedantie aan de basis van een transparant seismisch pakket, dewelke kenmerkend is voor de Formatie van Kortrijk (BE). De top van de Formatie van Kortrijk (BE) stemt overeen met een afname in impedantie. Voor de top zijn de Nederlandse interpretaties gecorreleerd naar boring Meer om zeker te zijn dat deze afgestemd zijn op elkaar.

### **d. Ondergrens**

De onderliggende lithostratigrafische eenheden die tot de formaties van Tienen of Hannut (BE) behoren zijn aan de top veel zandiger en vertonen zo lagere waarden voor de gammastraling en hogere voor de resistiviteit.

### **e. Bovengrens**

De bovengrens op het contact tussen de stijve klei van het Lid van Aalbeke (BE) en de kleiige silt van het Lid van Kortemark (BE) of het zand van de Formatie van Hyon (BE) is in het inventarisatiegebied op boorgatmetingen goed herkenbaar waarbij de grens wordt gekenmerkt door een daling in gammastraling en stijging in resistiviteit richting het Lid van Kortemark (BE).

### **f. Stratigrafische positie**

De vroeg-eocene Formatie van Kortrijk (BE) rust discordant op de formaties van Hannut of Tienen (BE). De Formatie van Kortrijk (BE) wordt conform opgevolgd door de Formatie van Tielt (BE) in het westen of Hyon (BE) in het oosten van het studiegebied.

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 referentieborings vastleggen en hetzelfde geofysisch correlatieniveau blijven aanhouden, ongeacht (beperkte) laterale granulometrische veranderingen. Deze laatste optie wordt weerhouden door de Nationale Commissie voor Stratigrafie in België (NCS).

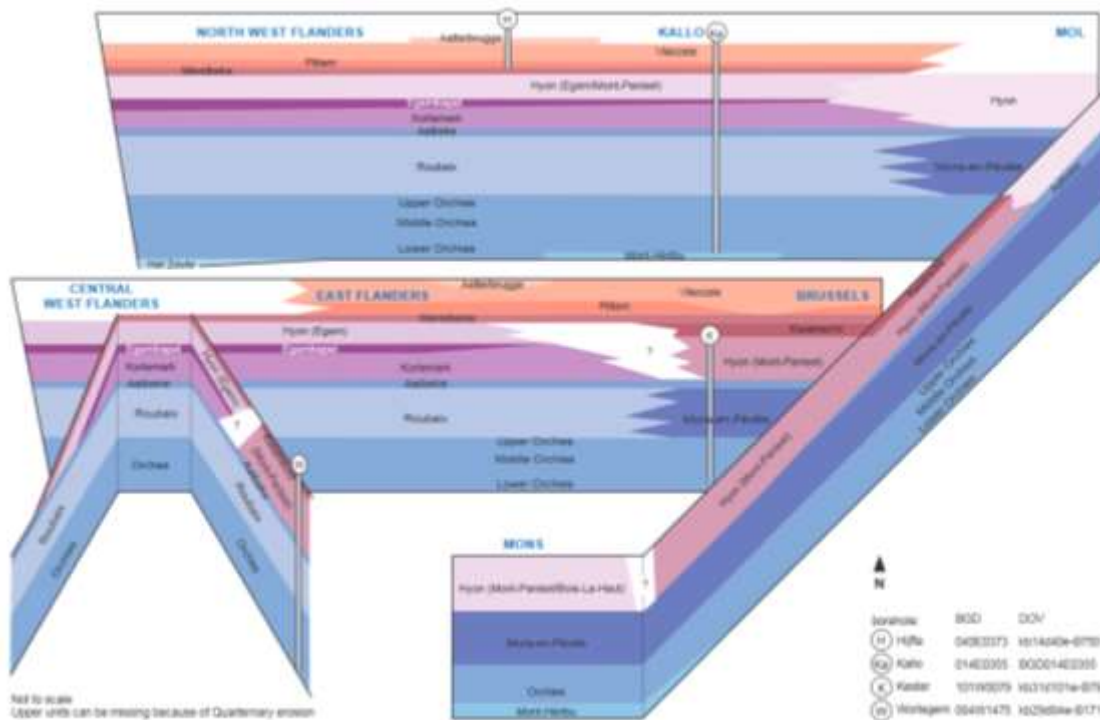
Sequentiestratigrafisch vormen de kleien van Orchies en Aalbeke highstands met een sequence boundary ertussen in, ongeveer in het midden van het Lid van Roubaix (BE). De meeste facieswijzigingen die tot opdeling in verschillende leden leiden zijn vooral goed merkbaar in meer marginale delen van het sedimentatiebekken. Meer naar het noord(west)en (richting Nederland) zullen verschillen worden afgezwakt zodat opdeling minder relevant wordt.

### **g. Dikte en verbreiding**

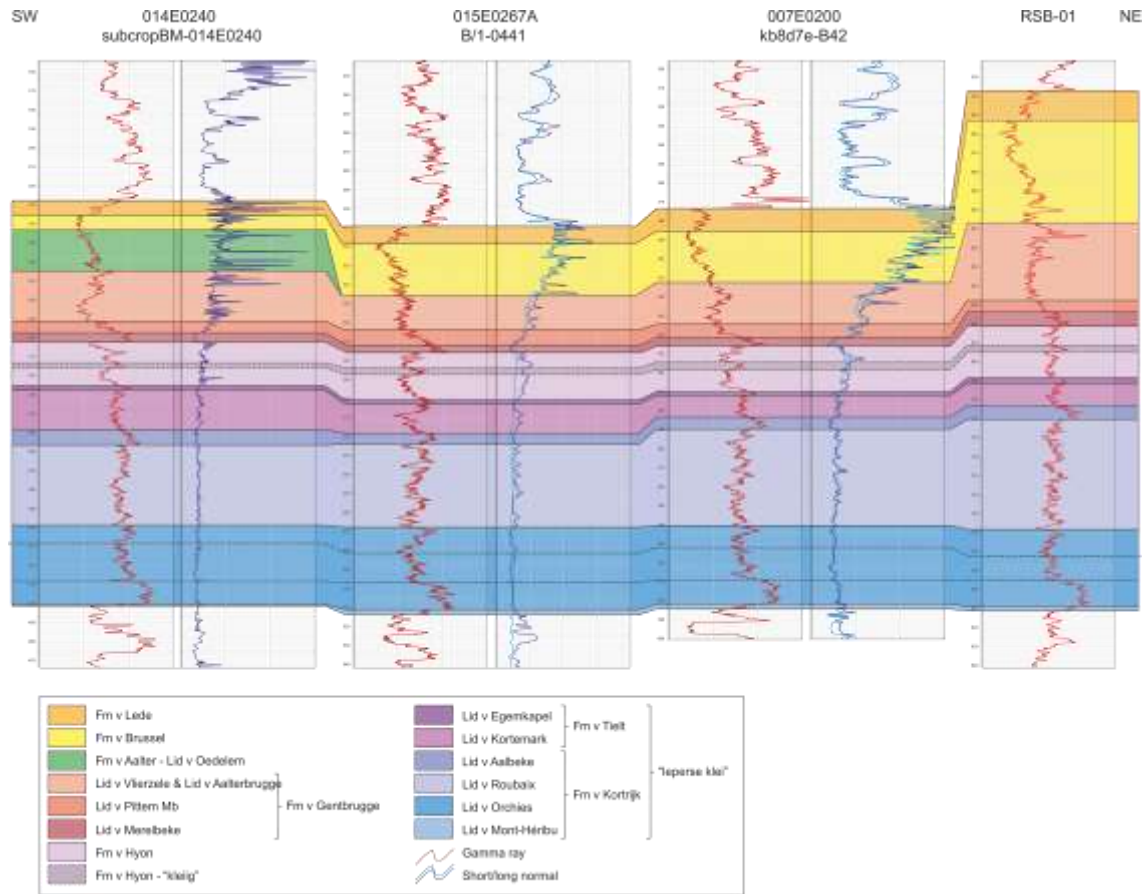
De Formatie van Kortrijk (BE) komt voor in het hele inventarisatiegebied. Het Lid van Mont-Héribu (BE) is een erg dunne eenheid die in het inventarisatiegebied wordt aanzien als de zandige basis van het erop volgend kleipakket van Orchies (BE). Het Lid van Orchies (BE) heeft een dikte van 35 tot 45 meter in het inventarisatiegebied. De dikte van het Lid van Roubaix (BE) bedraagt 45 tot 55 meter met verdikking richting het noorden en oosten in het inventarisatiegebied (in het westen van West-Vlaanderen lokaal wel 65 meter). De dikte van het Lid van Aalbeke (BE) varieert licht van 5 tot 8 meter in het inventarisatiegebied. Volgens de geografische verbreidingskaart loopt het Laagpakket van Ieper (NL) in Nederland niet door tot aan de Belgische grens (Dinoloket, 2018), hoewel dat wel het geval is (interpretaties huidige project).

FORMATION + Code	MEMBER + Code	MEMBER + Code	FORMATION + Code
GENTBRUGGE Ge	Vlierzele GeVl	Aalterbrugge GeAb Vlierzele GeVl	GENTBRUGGE Ge
	Pittem GePi	Pittem GePi Hoogleda Bed GeHg	
	Merebeke GeMe	Merebeke GeMe Kwatrecht GeKw	
		Mont-Panisel HyMo Bois-la-Haut HyBo	
TIELT Tt	Egem TtEg	Egem HyEg	HYON Hy
	Kortemark TtKo	Egemkapel TtEk	TIELT Tt
		Kortemark TtKo	

Figuur 3. Oude (links) en nieuwe (rechts) formele lithostratigrafische indeling van de formaties van Tielt, Hyon en Gentbrugge (BE). Merk op dat het voormalige Lid van Egem (BE) volledig werd vervangen door de Formatie van Hyon (BE). Slechts een deel van de Formatie van Hyon (BE) werd nieuw benoemd als het Lid van Egem (BE; Vandenberghe & De Ceukelaire, 2017).



Figuur 4. Geïnterpreteerde lithostratigrafische profielen met afzettingen van de Ieper Groep (BE; Vandenberghe & De Ceukelaire, 2017).



Figuur 5. Boorgatmetingen over een zuidwest-noordoost traject doorheen het interval Formatie van Kortrijk (BE) - Formatie van Lede (BE) doorheen het projectgebied.

## 5 Modeleenheid Tielt-Hyon-Dongen

### 5.1. Onderverdeling

De modeleenheid Tielt-Hyon-Dongen bestaat uit de Belgische formaties van Tielt en Hyon (BE), en het middelste gedeelte van het Laagpakket van Ieper van de Nederlandse Formatie van Dongen (NL).

In 2017 werd de indeling van de Belgische Ieper Groep (BE), waar de Tielt en Hyon formaties (BE) deel van uitmaken, herzien en werd er een uniforme naamgeving van de leden voorzien (Steurbaut et al., 2016). De Belgische Formatie van Tielt (BE) wordt nu van onder naar boven in de volgende twee leden onderverdeeld: het Lid van Kortemark (BE) en het Lid van Egemkapel (BE). De Belgische Formatie van Hyon (BE) werd vóór de formele aanpassing in 2017 beschouwd als Lid van Egem van de Formatie van Tielt (BE), maar werd afgezonderd om onderscheid te maken met de kleigere afzettingen van Tielt (BE; Figuur 3). De Formatie van Hyon (BE) bestaat in Vlaanderen uit twee leden, namelijk de leden van Mont-Panisel en Egem (BE), maar binnen het inventarisatiegebied komt enkel het Lid van Egem (BE) voor. De verbreiding van deze leden is weergegeven in Figuur 4.

De Belgische formaties van Tielt en Hyon (BE) omvatten de hydrogeologische subeenheden A0801 (Zand van Egem) en deels A0803 (Silt van Kortemark en zand van Mont-Panisel) die beide behoren tot de hoofdeenheid A0800 (Ieperiaan Aquifersysteem) volgens de Vlaamse HCOV-v2 codering.

In het Vlaamse G3Dv3 model wordt een deel van de Formatie van Gentbrugge (BE) bij de modeleenheid “Hyon en Gentbrugge” genomen. Binnen het H3O project wordt de lithostratigrafische onderverdeling gevolgd, waarbij de volledige Formatie van Gentbrugge (BE) tot een andere modeleenheid behoort.

Het Laagpakket van Ieper van de Formatie van Dongen (NL) komt binnen het huidige modelgebied overeen met de hydrologische subeenheid DOIEk1 (aquitard).

### 5.2. Formatie van Tielt (BE)/ Formatie van Dongen-middelste deel van het Laagpakket van Ieper (NL)

#### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Tielt (BE) 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 met bovenaan een kleilaag. Kleilagen zijn tussengeschakeld.

Het Lid van Kortemark (BE) bestaat uit blauwgrijze tot groengrijze compacte kleiige tot fijnzandige silt met dikke kleilagen en kleisteen. De eenheid wordt zandiger naar het oosten en naar boven toe.

Het Lid van Egemkapel (BE) bestaat uit stijve klei met zandige glauconiethoudende basis.

#### b. Logsignatuur

Het Lid van Kortemark (BE) heeft een relatief hoge gammastraling en lage resistiviteit, geofysisch primeert de kleisignatuur maar de eenheid wordt lateraal zandiger naar het oosten en verticaal zandiger naar boven toe, wat te zien is aan een lagere gammastraling en hogere resistiviteit (Figuren 2 en 5).

Het Lid van Egemkapel (BE) is in boorgatmetingen veelal duidelijk te onderscheiden van onder- en bovenliggende meer zandhoudende eenheden, als een piek in gammastraling en dal in resistiviteit.

#### c. Seismische interpretatie

In Vlaanderen is noch de basis noch de top seismisch geïnterpreteerd. In Nederland is de basis van de Formatie van Tielt (BE) geïnterpreteerd, dewelke overeenstemt met een afname in impedantie. De Nederlandse interpretaties zijn wel gecorreleerd naar boring Meer om zeker te zijn dat deze afgestemd zijn op elkaar.

#### d. Ondergrens

De Formatie van Tielt (BE) rust op de stijve klei van Aalbeke, het bovenste pakket van de Formatie van Kortrijk (BE), waarvan het Lid van Kortemark (BE) verschilt door zijn fijnzandige tot grofsiltige samenstelling. De gammastraling daalt en de resistiviteit stijgt op de overgang van Aalbeke naar Tielt.

**e. Bovengrens**

De bovengrens op het contact tussen de klei van Egemkapel (BE) en het zand van Egem (BE) is op boorgatmetingen herkenbaar aan een daling in gammastraling en stijging in resistiviteit. De bovengrens is niet altijd even duidelijk, omdat de onderkant van het Lid van Egem (BE) ook soms kleilig kan zijn.

**f. Stratigrafische positie**

De Formatie van Tielt (BE) verloopt in het inventarisatiegebied conform tussen de onderliggende Formatie van Kortrijk (BE) en de bovenliggende formaties van Hyon en Gentbrugge (BE), die samen de Ieper Groep (BE) uitmaken. Het Lid van Kortemark gaat verder naar het oosten toe lateraal over in het zandigere Lid van Mont-Panisel van de Formatie van Hyon (BE).

**g. Dikte en verbreiding**

De Formatie van Tielt (BE) komt voor over het hele projectgebied. De dikte van het Lid van Kortemark (BE) bedraagt maximaal 30 meter. Het Lid van Egemkapel (BE) bereikt een dikte van 3 meter. Deze diktes zijn bepaald op basis van het G3Dv3.1 model. Volgens de geografische verbreidingskaart loopt het Laagpakket van Ieper (NL) in Nederland niet door tot aan de Belgische grens (Dinoloket, 2018), hoewel dat wel het geval is (interpretaties huidige project).

## 5.3. Formatie van Hyon (BE)/ Formatie van Dongen- middelste deel van het Laagpakket van Ieper (NL)

**a. Lithologische samenstelling**

De Formatie van Hyon, Lid van Egem (BE), bestaat uit fijn groengrijs mica- en glauconiethoudend zand met verspreide klei of kleilaagjes, en is rijk in glauconiet.

**b. Logsignatuur**

De zandige Formatie van Hyon (BE) heeft een lagere gammastraling en hogere resistiviteit dan de omringende kleiigere lagen (Figuren 2 en 5). Meestal heeft de Formatie van Hyon (BE) een afnemende gammastraling en toenemende resistiviteit naar de top, als typische coarsening upwards trend.

**c. Seismische interpretatie**

De basis van de Formatie van Hyon (BE) wordt seismisch niet onderscheiden. De top zelf wordt ook niet geïnterpreteerd. Wel wordt de nabijgelegen top van de klei van Merelbeke (BE) geïnterpreteerd, dewelke overeenkomt met een sterke afname in impedantie.

**d. Ondergrens**

De overwegend zandige Formatie van Hyon, Lid van Mont-Panisel (BE), ligt bovenop de klei van het Lid van Aalbeke (BE) in het oostelijke voorkomingsgebied waar het Lid van Egem (BE) en de Formatie van Tielt (BE) afwezig zijn, en bovenop de klei van het Lid van Egemkapel (BE) meer naar het westen waar het Lid van Egem (BE) wel aanwezig is, en is daardoor zowel lithologisch als geofysisch te onderscheiden.

**e. Bovengrens**

De Formatie van Hyon (BE) wordt in het inventarisatiegebied bedekt door de klei van het Lid van Merelbeke (BE), eveneens zowel lithologisch en geofysisch duidelijk zichtbaar.

**f. Stratigrafische positie**

De Formatie van Hyon (BE), onderdeel van de Ieper Groep (BE), wordt meestal bedekt door de klei van het Lid van Merelbeke (BE).

**g. Dikte en verbreiding**

De Formatie van Hyon (BE) komt voor in het hele inventarisatiegebied. De dikte bedraagt maximum 30 meter. Volgens de geografische verbreidingskaart loopt het Laagpakket van Ieper (NL) in Nederland niet door tot aan de Belgische grens (Dinoloket, 2018), hoewel dat wel het geval is (interpretaties huidige project).



## 6 Modeleenheid Gentbrugge-Dongen

### 6.1. Onderverdeling

De paleogene modeleenheid Gentbrugge-Dongen bestaat uit de Belgische Formatie van Gentbrugge (BE) en het bovenste gedeelte van het Laagpakket van Ieper van de Nederlandse Formatie van Dongen (NL).

In 2017 werd de indeling van de Ieper Groep (BE), waar de Formatie van Gentbrugge (BE) deel van uitmaakt, herzien en werd er een geografisch consistente naamgeving van de leden voorzien (Steurbaut et al., 2016). De Belgische Formatie van Gentbrugge (BE) wordt in het inventarisatiegebied van onder naar boven in de volgende leden onderverdeeld: Merelbeke, Pittem en Vlierzele.

Omdat het zandige Lid van Vlierzele (BE) hydrogeologisch beter aansluit bij de bovenliggende laat-eocene zanden, wordt deze niet tot de modeleenheid Gentbrugge-Dongen gerekend. In het inventarisatiegebied komen de leden van Merelbeke en Pittem (BE) voor. De verbreiding van deze leden is weergegeven in Figuur 4.

De leden van Pittem en Merelbeke van de Formatie van Gentbrugge (BE) omvatten de hydrogeologische subeenheden A0701 (Kleiig zand van Pittem) en A0702 (Klei van Merelbeke) die beide behoren tot de hoofdeenheid A0700 (Paniseliaan Aquitardsysteem) volgens de Vlaamse HCOV-v2 codering.

Het Laagpakket van Ieper van de Formatie van Dongen (NL) komt binnen het huidige modelgebied overeen met de hydrologische subeenheid DOIEk1 (aquitard).

### 6.2. Formatie van Gentbrugge-leden van Pittem en Merelbeke (BE)/ Formatie van Dongen-bovenste deel van het Laagpakket van Ieper (NL)

#### a. Lithologisch samenstelling

De Formatie van Gentbrugge (BE) vormt een mariene afzetting die bestaat uit zandig-kleiige sedimenten met een kleilaag als basis, die naar boven toe overgaan in zanden.

Het Lid van Merelbeke (BE) bestaat uit grijze stevige zeer fijnsiltige klei met zandlaminaties. Het is de highstand afzetting van een sequentie waarvan het onderliggende Lid van Egem van de Formatie van Hyon (BE) de transgressive systems tract vormt.

Het Lid van Pittem (BE) bestaat uit een afwisseling van groengrijs glauconietrijk fijn zand en zandige klei, verstoord door bioturbatie, soms onderbroken door uitgeschuurde getijdengeulen. Het Lid van Pittem (BE) bevat fossielrijke zandsteenbanken.

#### b. Logsignatuur

Op boorgatmetingen valt het Lid van Merelbeke (BE) op tussen de meer zandige boven- en onderliggende lagen door verhoogde gammastraling en verlaagde resistiviteit (Figuren 2 en 5).

Voor het Lid van Pittem (BE) worden boorgatmetingen beïnvloed door de nadrukkelijke aanwezigheid van klei, ondanks een zandtextuur, zodat gammastraling vrij hoog en resistiviteit vrij laag is, maar respectievelijk dalend en stijgend naar de zandiger bovenliggende strata van het Lid van Vlierzele (BE).

#### c. Seismische interpretatie

De Formatie van Gentbrugge (BE) vormt een matig tot sterk reflectief pakket. Het sterkste impedantiecontrast ligt aan de overgang tussen het Lid van Pittem (BE) en het Lid van Merelbeke (BE), één van de sterkste contrasten in het Eoceen. Ook wordt deze gekenmerkt door een overgang naar een transparantere seismische facies. Omwille van beide redenen is ervoor gekozen om dit niveau seismisch te karteren en niet de overgang van het Lid van Merelbeke (BE) naar de onderliggende Formatie van Hyon (BE).

#### d. Ondergrens

Het Lid van Merelbeke aan de basis van de Formatie van Gentbrugge (BE) rust op het zand van de Formatie van Hyon (BE), waardoor de ondergrens gepaard gaat met een duidelijke terugval in de resistiviteit en verhoging van de gammastraling.

**e. Bovengrens**

In het inventarisatiegebied wordt het kleilig deel van de Formatie van Gentbrugge (BE) bedekt door het Lid van Vlierzele (BE) van dezelfde formatie. Deze eenheid is zandiger, zodat de gammastraling er wat lager is en de resistiviteit wat hoger dan in Pittem (BE). Omdat het Lid van Vlierzele (BE) vooral onderaan erg kleilig kan zijn, is onderscheid met het Lid van Pittem (BE) niet evident.

**f. Stratigrafische positie**

De vroeg-eocene Formatie van Gentbrugge (BE) behoort samen met de onderliggende formaties van Kortrijk (BE), Tielt (BE) en Hyon (BE) tot de Ieper Groep. Het omvat de afzettingen die vroeger als Paniseliaan bekend stonden (Marechal & Laga, 1988). Ze vertonen een regressieve trend, zijn minder regelmatig qua dikte en verbreiding, vertonen meer hiaten, en bevatten meer kustnabije afzettingen in vergelijking met de onderliggende leperklei. De Formatie van Gentbrugge (BE) ligt discordant op de onderliggende Formatie van Tielt (BE). Er kunnen intraformationele hiaten optreden die de opeenvolging minder volledig maken.

**g. Dikte en verbreiding**

De leden van Merelbeke (BE) en Pittem (BE) komen over het hele inventarisatiegebied voor. Het Lid van Merelbeke (BE) bereikt een gemiddelde dikte van 5 meter. De dikte van het Lid van Pittem (BE) bedraagt gemiddeld 7 meter .

Tabel 2. Onderverdeling van de midden- en laat-paleogene modeleenheden in Nederland en België (2 = voorstel voor aanpassing/uitbreiding Nederlandse hydrogeologische indeling en codering).

NL Stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	NL Geologische modeleenheid	NL Hydrogeol. modeleenheid	BE Stratigrafische eenheid (formatie - lid)	BE Geologische modeleenheid	BE Hydrogeologische modeleenheid
Rupel - Steensel	Rupel	RUBOk1	Eigenbilzen	Boom en Eigenbilzen	Boom Aquitard
Rupel - Boom			Boom - Boeretang		
Rupel - Belsele-Waas / Berg			Boom - Putte		
Tongeren - Ruisbroek			Boom - Terhagen		
Tongeren - Watervliet	Tongeren	TOz1	Boom - Belsele-Waas	Zelzate	Oligoceen Aquifersysteem
Tongeren - Bassevelde			Zelzate - Ruisbroek		
Dongen - Asse	Dongen - Asse	DOASK1	Zelzate - Watervliet	Maldegem (exclusief Wemmel)	Bartoon Aquitardsysteem
			Zelzate - Bassevelde		
			Maldegem - Onderdijke		
			Maldegem - Buisputten		
			Maldegem - Zomergem		
			Maldegem - Onderdale		
Dongen - Brussel	Dongen - Brussel	DOBRz1 <sup>2</sup>	Maldegem - Ursel	Gentbrugge - Vlierzele, Aalter, Brussel, Lede en Maldegem - Wemmel	Ledo Paniseliaan Brusseliaan Aquifersysteem
			Maldegem - Asse		
			Maldegem - Wemmel		
			Lede		
			Brussel		
Aalter - Oedelem	Gentbrugge-Vlierzele				
Gentbrugge-Vlierzele					

## 7 Modeleenheid Eocene zanden-Dongen

### 7.1. Onderverdeling

Tussen de meer kleiige Belgische Formatie van Maldegem (BE; bovenaan) en het onderste kleiige deel van de Formatie van Gentbrugge (BE; onderaan) komt een hoofdzakelijk zandig pakket voor. Deze modeleenheid Eocene zanden-Dongen bestaat van oud naar jong uit het Lid van Vlierzele (BE) van de Belgische Formatie van Gentbrugge (BE), de Formatie van Brussel (BE), de Formatie van Lede (BE), het Lid van Wemmel van de Formatie van Maldegem (BE), en uit het Laagpakket van Brussel van de Nederlandse Formatie van Dongen (NL).

De Formatie van Aalter (BE) die op de Formatie van Gentbrugge (BE) volgt wordt door de Formatie van Brussel (BE) afgesneden en in het modelgebied niet gekarteerd. De Formatie van Brussel (BE) wordt onderverdeeld in verschillende leden, maar deze zijn eerder facietypes en daarom in de praktijk moeilijk te karteren. Momenteel wordt deze formatie gereviseerd in het NCS voorstel Houthuys et al. (2018). In het huidige project wordt de Formatie van Brussel (BE) niet verder onderverdeeld. De Formatie van Lede (BE) wordt niet formeel in leden onderverdeeld. In het inventarisatiegebied kan er weinig tot geen onderscheid gemaakt worden tussen de Formatie van Brussel (BE) en de Formatie van Lede (BE), waardoor de grens eerder arbitrair is. In het zuiden van het voorkomingsgebied zijn er meer duidelijke verschillen.

De Belgische Formatie van Gentbrugge (BE) wordt van onder naar boven in de volgende leden onderverdeeld: Merelbeke (BE), Pittem en Vlierzele (BE). Omdat het zandige Lid van Vlierzele (BE) hydrogeologisch beter aansluit bij de bovenliggende laat-eocene zanden, wordt deze tot de modeleenheid Eocene zanden-Dongen gerekend; de meer kleiige leden van Pittem en Merelbeke (BE) worden in de onderliggende modeleenheid besproken.

In 2017 werd de indeling van de Ieper Groep (BE), waar de Gentbrugge Formatie deel van uitmaakt, herzien en werd er een geografisch meer consistente naamgeving van de leden voorzien (Figuur 3; Steurbaut et al., 2016).

De eocene zanden omvatten in het projectgebied de hydrogeologische subeenheden A0633 (Zanden van Aalterbrugge en Vlierzele), A0620 (Zand van Brussel), A0612 (Zand van Lede) en A0611 (Zand van Wemmel), die behoren tot de hoofdeenheid A0600 (Ledo Paniseliaan Brusseliaan Aquifersysteem) volgens de Vlaamse HCOV-v2 codering.

Het Zand van Brussel Laagpakket van de Formatie van Dongen (NL) komt binnen het huidige modelgebied overeen met de hydrologische subeenheid DOBRz1 (aquifer).

### 7.2. Formatie van Gentbrugge-Lid van Vlierzele (BE)/ Formatie van Dongen-Zand van Brussel Laagpakket(NL)

#### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Gentbrugge (BE) vormt een mariene afzetting die bestaat uit zandig - kleiige sedimenten met een kleilaag als basis, die naar boven toe overgaan in zanden. De kleiige leden van Pittem en Merelbeke (BE) worden in de onderliggende modeleenheid besproken.

Het Lid van Vlierzele (BE) bestaat uit groengrijs glauconietrijk fijn tot matig grof horizontaal- en kruisgelaagd zand, dat vooral onderaan erg kleiig kan zijn. Ook komen zandsteenconcreties voor.

#### b. Logsignatuur

Door de uitgesproken zandsignatuur ligt de gammastraling laag, dalend naar boven toe en de resistiviteit relatief hoog, stijgend naar boven toe (Figuren 2, 5 en 6).

#### c. Seismische interpretatie

De Formatie van Gentbrugge (BE) vormt een matig tot sterk reflectief pakket. Het sterkste impedantiecontrast ligt aan de overgang tussen het Lid van Pittem (BE) en het Lid van Merelbeke (BE). Ook wordt deze overgang gekenmerkt door een overgang naar een transparantere seismische facies. Omwille van beide redenen is ervoor gekozen om dit niveau seismisch te karteren, en niet de overgang van het Lid van Vlierzele (BE) naar het Lid van Pittem (BE).

#### **d. Ondergrens**

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

De logsignatuur kan sterk verschillen tussen deze laagpakketten, cf. de oplopende resistiviteit en dalende gammastraling over het Lid van Vlierzele (BE), trends die niet voorkomen in het Lid van Pittem (BE).

#### **e. Bovengrens**

In het inventarisatiegebied wordt het Lid van Vlierzele (BE) en dus ook de Formatie van Gentbrugge (BE) discordant overdekt door de Formatie van Brussel (BE), waarvan de basis erosief is (de tussenliggende Formatie van Aalter (BE) is afwezig door erosie). Deze grens wordt gekenmerkt door een opvallende sprong in de resistiviteit en ook daling van de gammastraling. De logsignatuur over het Lid van Vlierzele (BE) is ook verschillend ten opzichte van het bovenliggend complex van Brussel-Lede, gekenmerkt door veel hogere resistiviteitssprongen.

#### **f. Stratigrafische positie**

De vroeg-eocene Formatie van Gentbrugge (BE) omvat de afzettingen die vroeger als Paniseliaan bekend stonden (Marechal & Laga, 1988). 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 Lid van Vlierzele (BE) is tot stand gekomen als lowstand afzetting na een erosiefase. In de Formatie van Gentbrugge (BE) kunnen intraformationele hiaten optreden, net als tussen de leden van Pittem en Vlierzele (BE), die de opeenvolging minder volledig maken.

#### **g. Dikte en verbreiding**

Het zandige deel van de Formatie van Gentbrugge (BE) komt voor in het hele inventarisatiegebied. De dikte van het Lid van Vlierzele (BE) bedraagt maximaal 30 meter.

### **7.3. Formatie van Brussel (BE)/ Formatie van Dongen- Zand van Brussel Laagpakket (NL)**

#### **a. Lithologische samenstelling**

De Formatie van Brussel (BE) vormt een mariene afzetting die bestaat uit licht grijsgroene tot bleekbeige kalkarme en kalkrijke zandpakketten die zowel voorkomen in een verticale afwisseling als in laterale variaties. 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% calciumcarbonaat kan bevatten, afgezet in horizontale laagjes. Naast kiezelconcreties komen kalksteenbanken veelvuldig voor, als gevolg van de verharding van schelpenrijke lagen door het oplossen van de kalk. Meer naar het noorden, voornamelijk in de Achterhoek en Twente komen veel nummulieten, schelpen en echinodermen voor, wat een kustnabij milieu suggereert.

#### **b. Logsignatuur**

De Formatie van Brussel (BE) onderscheidt zich door een zeer hoge resistiviteit en lage gammastraling, vaak met pieken over het hele pakket (Figuren 6 en 8) die overeenkomen met versteende banken.

#### **c. Seismische interpretatie**

De Formatie van Brussel (BE) wordt gekenmerkt door onregelmatige, soms golvende, dominant sterke reflectiviteit, door de afwisseling tussen kalkig (platform) en kiezelrijk (channel) facies. De basis is moeilijk te onderscheiden en is ook niet seismisch geïnterpreteerd.

#### **d. Ondergrens**

De Formatie van Brussel (BE) rust op de Formatie van Gentbrugge (BE). In het zuiden is deze grens meestal goed herkenbaar door een hogere resistiviteit en lagere gammastraling, en pieken in de Formatie van Brussel (BE). In het noorden is deze grens (bijna) niet te trekken.

#### **e. Bovengrens**

De Formatie van Brussel (BE) wordt conform overdekt door de Formatie van Lede (BE). In de Formatie van Lede (BE) komen geen grove geulzanden voor, noch verkiezelde concreties. Het grensvlak bevat herwerkte elementen

(rolkeien, fossielen, zandstenen) maar in spoelboringen is dit meestal niet te herkennen. Daarom wordt de grens conventioneel op basis van boorgatmetingen tussen twee opeenvolgende sequenties gelegd.

**f. Stratigrafische positie**

De midden-eocene Formatie van Brussel (BE) ligt discordant op oudere formaties ten gevolge van een lowstand met insnijding waarin de zanden van Brussel (BE) zijn afgezet. De Formatie van Brussel (BE) 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).

**g. Dikte en verbreiding**

De Formatie van Brussel (BE) komt over het hele inventarisatiegebied voor. De dikte varieert sterk naargelang de positie in een getijdengeul of op de tussenliggende platforms, van enkele meters tot enkele tientallen meters.

## 7.4. Formatie van Lede (BE)/ Formatie van Dongen-Zand van Brussel Laagpakket (NL)

**a. Lithologisch samenstelling**

De Formatie van Lede (BE) is een mariene lithostratigrafische eenheid bestaande uit kalkhoudend zand en kalkzandsteen. In deze verschilt het niet veel van de onderliggende Formatie van Brussel (BE), waarmee het vaak wordt gegroepeerd. De Formatie van Lede (BE) bestaat uit kalkrijk fijn licht glauconiethoudend zand met enkele (1 tot 3) kalkzandsteenbanken. Aan de basis komt een grindlaagje voor. In het zand komen zeer grove (1-2 mm) afgeronde en matglanzende kwartskorrels en kleine nummulieten voor (*Nummulites variolarius* of 'speldekoppen').

**b. Logsignatuur**

Het logbeeld is vergelijkbaar met dat van de onderliggende Formatie van Brussel, waarbij de grens wordt gelegd tussen veranderingen in het patroon van resistiviteit en gammastraling (Figuren 6 en 8). Resistiviteitsdalen kunnen overeenkomen met steenbanken.

**c. Seismische interpretatie**

De Formatie van Lede (BE) vormt veelal een opvallende, onregelmatige, matige tot sterke reflectie. Vanwege de beperkte dikte en het gelijkaardige facies als de onderliggende Formatie van Brussel zijn beide formaties seismisch niet te onderscheiden.

**d. Ondergrens**

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

**e. Bovengrens**

De Formatie van Lede (BE) wordt discordant overdekt door de Formatie van Maldegem (BE), waartussen een stratigrafisch hiaat met erosiefase bestaat. De basislaag van de Formatie van Maldegem (BE), het Lid van Wemmel (BE), bestaat uit kalkhoudend, glauconiethoudend zand met nummulieten, waardoor verwarring mogelijk is. Omdat in het Lid van Wemmel (BE) kleilenzen voorkomen wordt de grens Lede-Maldegem gelegd op een terugval in de resistiviteit. In Nederland wordt dit hiaat niet herkend.

**f. Stratigrafische positie**

Een erosiefase scheidt de midden-eocene formaties van Brussel en Lede (BE). De Formatie van Lede (BE) bestaat uit transgressieve zanden waarvan de top eveneens is geërodeerd.

**g. Dikte en verbreiding**

De Formatie van Lede (BE) komt in België over het hele inventarisatiegebied voor, en heeft een vrij regelmatige dikte van 10 tot 15 meter. In Nederland is de verbreiding in dit gebied niet goed gekend.

## 7.5. Formatie van Maldegem, Lid van Wemmel (BE)/ Formatie van Dongen-Zand van Brussel Laagpakket (NL)

### a. Lithologisch samenstelling

De bovenste leden van de Formatie van Maldegem worden besproken in de bovenliggende modeleenheid. Enkel het Lid van Wemmel (BE) wordt bij de onderliggende zanden beschouwd. Het Lid Wemmel (BE) bestaat uit grijs fijn glauconiethoudend zand met nummulieten en gerolde fossielen en zandsteen, overgaand in grofglauconiethoudende klei.

### b. Logsignatuur

Het Lid van Wemmel (BE) start met een piekje in de gammastraling bij de basis, en heeft een naar boven toe afnemende resistiviteit en verhoging van de gammastraling (Figuren 7 en 8).

### c. Seismische interpretatie

Het Lid van Wemmel (BE) is te dun om seismisch onderscheiden te worden. Het zit bovenaan in het matig tot sterk reflectieve pakket, waartoe ook de formaties van Lede en Brussel (BE) behoren.

### d. Ondergrens

De Formatie van Maldegem (BE) ligt op de Formatie van Lede (BE) met scherp contact wegens het grote verschil in gammastraling vooral tussen de sterk doorlatende zanden van de Formatie van Lede en de meer silthoudende tot kleihoudende zanden in de Formatie van Maldegem (BE).

### e. Bovengrens

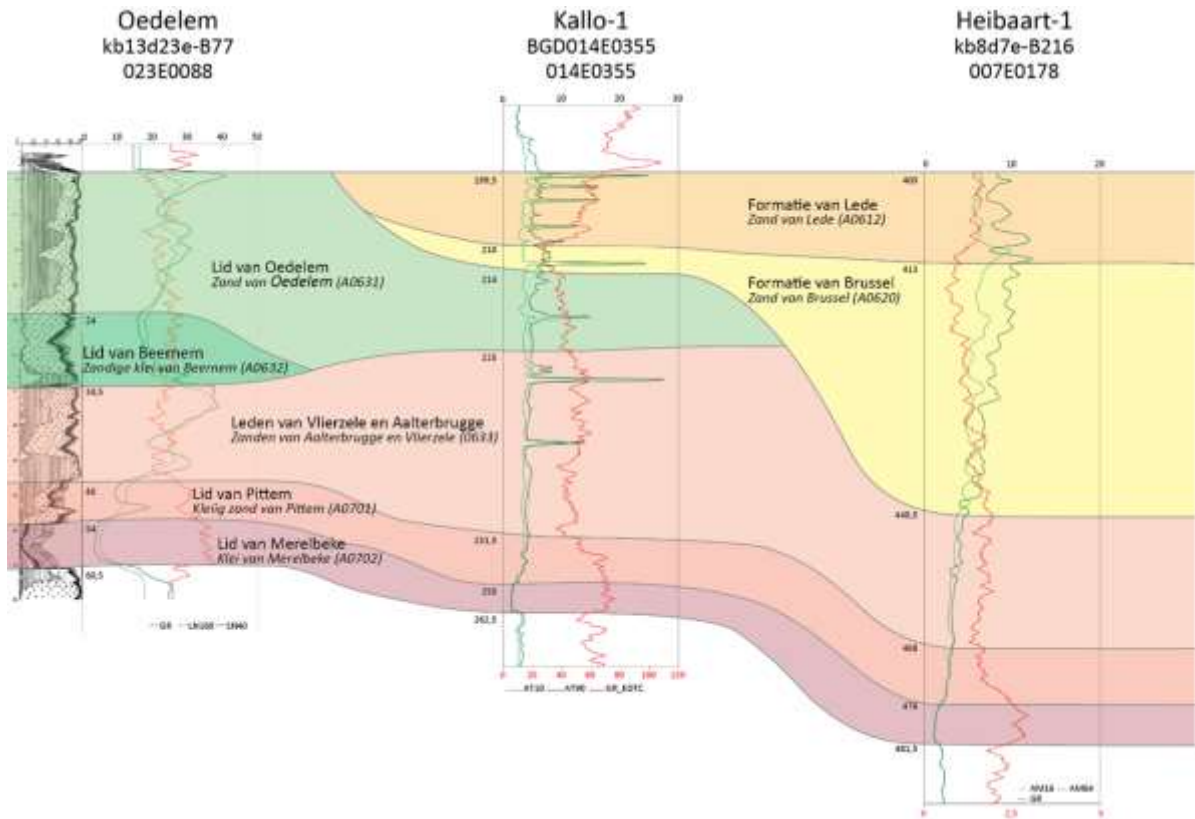
Het Lid van Wemmel (BE) heeft een hogere resistiviteit én hogere gammastraling, door het hoge glauconietgehalte, dan het bovenliggende Lid van Asse (BE). De grens ligt op de grootste plotse verandering in het pakket.

### f. Stratigrafische positie

Het Lid van Wemmel van de Formatie van Maldegem (BE) is van eocene ouderdom, en vormt de basis van een transgressieve sequentie met de bovenliggende leden van Asse en Ursel (BE).

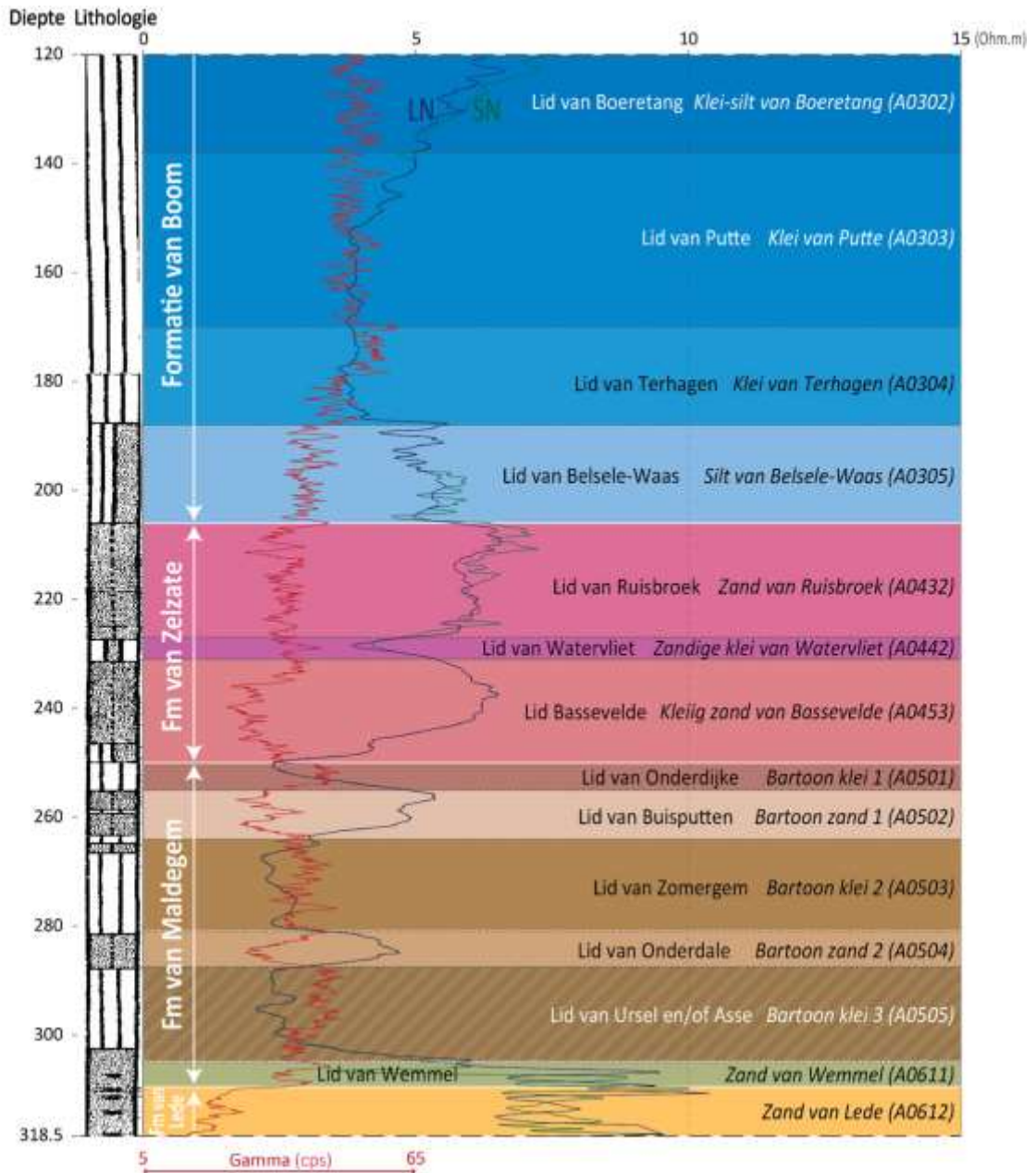
### g. Dikte en verbreiding

Het Lid van Wemmel van de Formatie van Maldegem (BE) komt in België over het hele inventarisatiegebied voor, en heeft een dikte van ongeveer 5 meter. In Nederland is de verbreiding in dit gebied niet goed gekend.

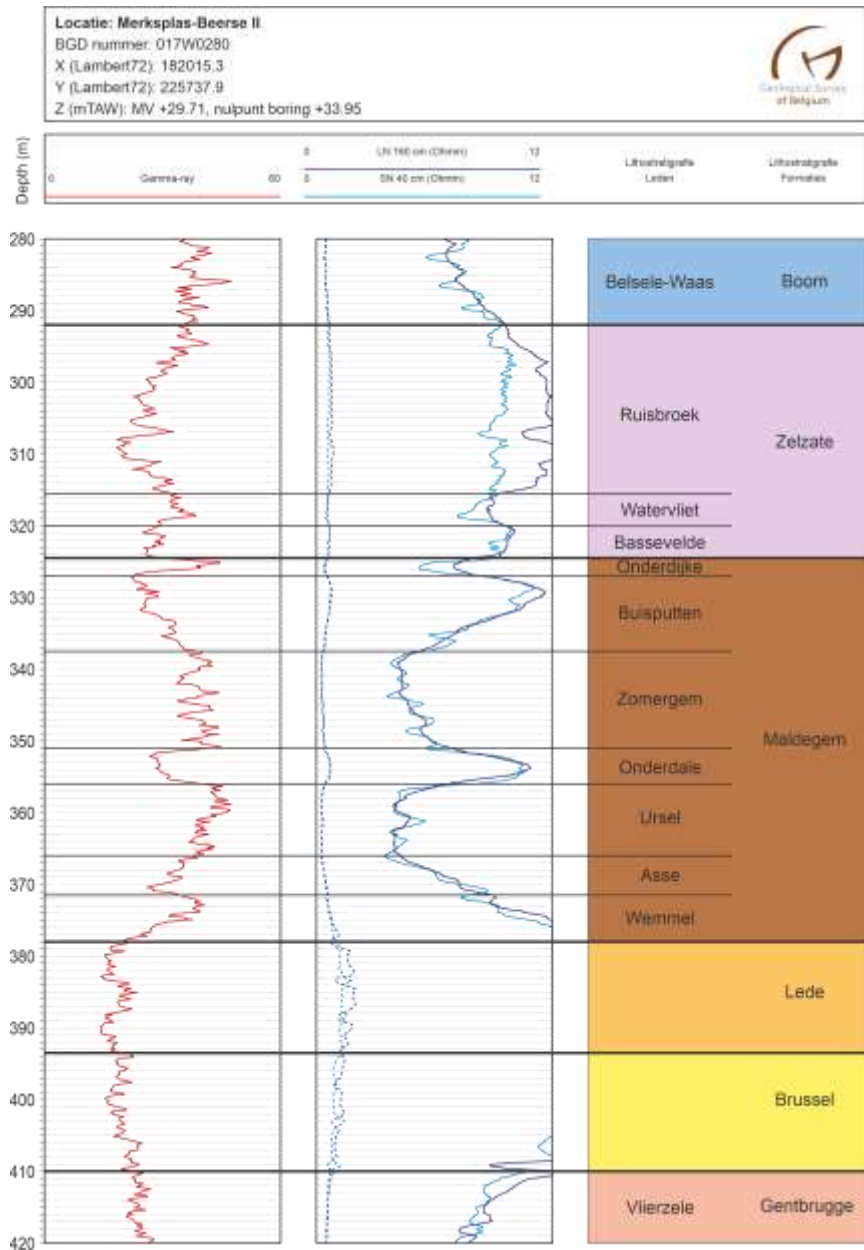


Figuur 6. Correlatie van boorgatmetingen van west naar oost die de relatie weergeeft tussen de verschillende leden van de Formatie van Gentbrugge (BE) en de afzettingen van de Zenne Groep (BE; Deckers et al., 2019).





Figuur 7. Een volledig geïnterpreteerde boorgatmeting voor de formaties van Boom (BE), Zelzate (BE) en Maldegem (BE) in boring Brasschaat (DOV-proefnummer: kb7d15e-B342; BGD-nummer 015E0267), zoals geïnterpreteerd voor het G3Dv3-model (Deckers et al., 2019).



Figuur 8. Boorgatmetingen met interpretatie van de boring van Merksplas-Beerse II voor het interval Formatie van Brussel tot Formatie van Zelzate (BE; BGD017W0280).

## 8 Modeleenheid Maldegem-Dongen

### 8.1. Onderverdeling

De modeleenheid Maldegem-Dongen bestaat uit het grootste deel van de Belgische Formatie van Maldegem (BE) behalve het Lid van Wemmel (BE), en uit het Laagpakket van Asse van de Nederlandse Formatie van Dongen (NL).

De Formatie van Maldegem wordt onderverdeeld in zeven leden, van onder naar boven: het Lid van Wemmel, dat lithologisch meer aansluit bij de onderliggende eocene zanden en daardoor bij de onderliggende modeleenheid wordt beschouwd, het Lid van Asse (BE), het Lid van Ursel (BE), het Lid van Onderdale (BE), het Lid van Zomergem (BE), het Lid van Buisputten (BE), en het Lid van Onderdijke (BE).

De bovenste zes leden van de Formatie van Maldegem (BE) omvatten de hydrogeologische subeenheden A0505 (Bartoon klei 3), A0504 (Bartoon zand 2), A0503 (Bartoon klei 2), A0502 (Bartoon zand 1), en A0501 (Bartoon klei 1), die allen behoren tot de hoofdeenheid A0500 (Bartoon Aquitardsysteem) volgens de Vlaamse HCOV-v2 codering.

Het Laagpakket van Asse van de Formatie van Dongen (NL) is binnen het huidige modelgebied onderverdeeld in de hydrologische subeenheden DOASz1 (aquifer) en DOASk1 (aquitard).

### 8.2. Formatie van Maldegem (BE)/ Formatie van Dongen-Laagpakket van Asse (NL)

#### a. Lithologisch samenstelling

De Formatie van Maldegem (BE) is een mariene lithostratigrafische eenheid bestaande uit zand en klei. Deze zand-klei afwisseling loopt door in de bovenliggende Formatie van Zelzate (BE).

Het Lid van Asse (BE) bestaat uit glauconietrijke klei met lenzen grof glauconietrijk zand (“bande noire”). Het Lid van Ursel (BE) bestaat uit grijsblauwe kalkloze zware klei zonder zand of glauconiet. De grens met het onderliggende Lid van Asse (BE) kan op basis van het verschijnen van glauconiet meestal niet nauwkeurig bepaald worden in spoelmonsters, waardoor deze twee laagpakketten bij boorbeschrijvingen vaak samengevoegd worden. Het Lid van Onderdale (BE) bestaat uit donkergrijs silthoudend matig fijn zand. Het Lid van Zomergem (BE) bestaat uit grijsblauwe zware klei van eenzelfde type als dat van het onderliggende Lid van Ursel (BE). Het Lid van Buisputten (BE) bestaat uit donkergrijs silthoudend matig fijn zand, wederom goed gelijkend op het zand van het Lid van Onderdale (BE). Het Lid van Onderdijke (BE) bestaat uit grijsgroenblauwe zandige klei met aan de top perforaties gevuld met venig zand als teken van bodemontwikkeling door regressie.

#### b. Logsignatuur

Bij volledige ontwikkeling van de Formatie van Maldegem (BE) is het logbeeld erg karakteristiek (Figuur 8). Bij erosief contact worden de bovenste eenheden één voor één afgesneden in zuidoostelijke richting.

De zand-klei afwisseling in deze formatie is duidelijk zichtbaar in boorgatmetingen. De kleiige leden van Asse en Ursel (BE) hebben naar boven toe initiëel een oplopende gammastraling en dalende resistiviteit, die evolueert naar een meer constant patroon in het Lid van Ursel (BE).

Het Lid van Onderdale (BE) wordt gekenmerkt door een duidelijke stijging van de resistiviteit en bijna blokvormige daling van de gammastraling tussen twee kleipakketten.

Het Lid van Zomergem (BE) heeft weer een hoge gammastraling en lage resistiviteit, gelijkaardig aan het Lid van Ursel.

Het Lid van Buisputten (BE) is gelijkaardig aan het Lid van Onderdale (BE): een geleidelijke stijging van de resistiviteit en daling van de gammastraling, tot de piek net onder de top van het pakket wordt bereikt.

Het Lid van Onderdijke (BE) heeft daarop weer een typische kleisignatuur, een verlaagde resistiviteit en verhoogde gammastraling.

#### c. Seismische interpretatie

De Formatie van Maldegem (BE) bestaat uit zwakke tot matige reflecties. Zowel de bovengrens met de Formatie van Zelzate (BE) als de ondergrens met het Lid van Wemmel (BE) vormen geen sterke reflecties en zijn daarom

eerder moeilijk te vervolgen. Daarom is gekozen om de basis van het Lid van Ursel (BE) seismisch te karteren, welke het sterkste impedantiecontrast vormt. Bij seismische data met lage resolutie kan deze reflector erg dik worden dankzij interferentie, veroorzaakt door onderliggende zandstenen. In dat geval is gekozen om eerder de bovenkant van deze reflector te interpreteren.

#### **d. Ondergrens**

De ondergrens van deze modeleenheid ligt tussen het Lid van Asse (BE) en het Lid van Wemmel (BE). Deze grens is lithologisch te onderscheiden door het duidelijk zandige en nummulietenhoudende Lid van Wemmel (BE). Dit is eveneens zichtbaar in de logsignatuur: het Lid van Wemmel (BE) heeft een hogere resistiviteit, afnemend naar boven toe. Door het hoge glauconietgehalte kan het Lid van Wemmel (BE) echter een even hoge of zelfs hogere gammastraling hebben als het Lid van Asse (BE).

#### **e. Bovengrens**

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

#### **f. Stratigrafische positie**

De laat-eocene Formatie van Maldegem (BE) is gescheiden door stratigrafische hiaten van onder- en bovenliggende formaties (met discordant contact) en bestaat zelf uit drie sequenties. De onderste sequentie omvat de leden van Wemmel, Asse en Ursel (BE), beginnend met een transgressieve sequentie, maximum flooding surface ter hoogte van de 'bande noire' en vervolgens highstand systems tract over het overige deel van Asse en Ursel (BE).

Een nieuwe transgressieve sequentie begint met het zand van Onderdale (BE); de klei van Zomergem (BE) is de highstand tract terwijl de overgang naar het zand van Buisputten (BE) de regressiefase inleidt.

De derde sequentie begint met de transgressieve zanden van Buisputten (BE), met highstand over de klei van Onderdijke (BE) 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 (BE) afsnijden naar het zuidoosten toe.

#### **g. Dikte en verbreiding**

De Formatie van Maldegem (BE) komt over het hele inventarisatiegebied voor, hoewel nog onduidelijk voor Nederland, maar naar het oosten verdwijnen de bovenste leden. Deze formatie heeft een maximale dikte van 50 meter.

Het Lid van Asse (BE) heeft een dikte van ongeveer 4 meter. Het Lid van Ursel is ongeveer 12 meter dik. Het Lid van Onderdale (BE) heeft een dikte van ongeveer 7 meter. De gemiddelde dikte van het Lid van Zomergem (BE) bedraagt 8 meter. Het Lid van Buisputten (BE) is gemiddeld 6-7 meter dik. De dikte van het Lid van Onderdijke (BE) bedraagt enkele meters.

## 9 Modeleenheid Zelzate-Tongeren

### 9.1. Onderverdeling

De modeleenheid Zelzate-Tongeren bestaat uit de Belgische Formatie van Zelzate (BE), en de Nederlandse Formatie van Tongeren (NL).

De Formatie van Zelzate (BE) wordt van onder naar boven onderverdeeld in de volgende drie leden: het Lid van Bassevelde (BE), het Lid van Watervliet (BE) en het Lid van Ruisbroek (BE). Buiten het inventarisatiegebied, verder naar het oosten en zuidoosten komt als lateraal equivalent de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern (BE) voor.

De Formatie van Zelzate (BE) omvat de hydrogeologische subeenheden A0453 (Kleilig zand van Bassevelde), A0442 (Zandige klei van Watervliet) en A0432 (Zand van Ruisbroek), die behoren tot de hoofdeenheid A0400 (Oligoceen Aquifersysteem) volgens de Vlaamse HCOV-v2 codering.

De Formatie van Tongeren (NL) is binnen het huidige modelgebied onderverdeeld in de laagpakketten/ hydrologische subeenheden: Bassevelde (TOBAz1), Watervliet (TOWAk1) en Ruisbroek (TORUz1). Buiten het inventarisatiegebied, verder naar het zuidoosten komen als lateraal equivalent de laagpakketten Klimmen (NL) en Goudsberg (NL) voor.

### 9.2. Formatie van Zelzate (BE)/ Formatie van Tongeren (NL)

#### a. Lithologisch samenstelling

De Formatie van Zelzate (BE) is een mariene eenheid die voornamelijk bestaat uit matig fijne zanden met een tussenschakeling van zandige klei.

Het Lid van Bassevelde (BE) bestaat uit grijs matig fijn glauconiethoudend soms siltig zand, mogelijk met kleilenzen, met erg variabele dikte die toeneemt van enkele meters in het oosten tot meer dan 20 meter in het westen van het inventarisatiegebied. Hoe dikker de eenheid hoe zuiverder het zand bovenaan.

Het Lid van Watervliet (BE) bestaat uit donkergroene zand- en glauconiethoudende maar nog plastische klei, met een dikte van 1 tot 5 meter.

Het Lid van Ruisbroek (BE) bestaat uit bleek groengrijs fijn tot grof glauconiethoudend zand met kleilenzen en schelpenresten, met een dikte van enkele meters tot 20 meter.

#### b. Logsignatuur

Over het algemeen is de logsignatuur van de Formatie van Zelzate (BE) goed herkenbaar, met twee brede resistiviteitsbulten, gescheiden door een kort dal van de klei van Watervliet (Figuren 7 en 8).

Het Lid van Bassevelde (BE) heeft een hoge resistiviteit en naar boven toe dalende en terug stijgende gammastraling. Wanneer dit lid een grote dikte bereikt wordt dit patroon meer uitgesproken.

Het Lid van Watervliet (BE) heeft een lage resistiviteit, en hoge gammastraling die vaak slechts als dun piekje zichtbaar is.

De resistiviteit van het Lid van Ruisbroek (BE) is gelijkaardig aan deze van het Lid van Bassevelde (BE) over twee brede pieken gespreid, en een opwaarts stijgende trend in de gammastraling.

#### c. Seismische interpretatie

De Formatie van Zelzate (BE) bestaat van basis tot top uit een beperkt aantal matige tot sterke reflecties. Het contrast tussen het zand van het Lid van Ruisbroek en de klei van het Lid van Watervliet (BE) zorgt doorgaans voor een sterk impedantiecontrast waardoor het een sterke reflectie vormt. In het zuidoosten van het inventarisatiegebied is zichtbaar hoe de reflectie aan de basis van deze eenheid de reflecties van de onderliggende Formatie van Maldegem (BE) geleidelijk aan afsnijdt.

#### d. Ondergrens

De Formatie van Zelzate (BE) ligt met scherp, zelfs erosief contact op de Formatie van Maldegem (BE) dat goed waarneembaar is wanneer de top van de Formatie van Maldegem (BE) uit een kleilaag bestaat. Mocht de top van de Formatie van Maldegem (BE) uit een zandlaag bestaan dan is het bovenste zand doorgaans verkeerdelijk als Formatie van Zelzate (BE) geïnterpreteerd en is de Formatie van Maldegem (BE) op deze locaties te dun

ingeschat. Naar het zuidoosten toe vertoont de Zelzate-Maldegem opeenvolging een groter wordend hiaat (Pyreneïsche fase).

**e. Bovengrens**

De Formatie van Zelzate (BE) wordt met een geleidelijke overgang bedekt door de Formatie van Boom, Lid van Belsele-Waas (BE), wat zich uit door een geleidelijke stijging van de gammastraling en een meer merkbare daling van de resistiviteit. De exacte positionering van de grens tussen beide formaties op basis van boorgatmetingen is soms moeilijk te bepalen (vergelijk bijv. de logs van boringen Weelde en Brasschaat).

**f. Stratigrafische positie**

De Formatie van Zelzate (BE) bevindt zich rondom de grens van Eoceen naar Oligoceen en ligt disconform op de Formatie van Maldegem (BE). Sequentiestratigrafisch is het een heterogene formatie met drie sequenties in het Lid van Bassevelde (BE) en bijbehorende highstand in het Lid van Watervliet (BE). Het Lid van Ruisbroek (BE) vormt een lowstand afzetting met transgressie waarvan de highstand in de klei van de Formatie van Boom (BE) ligt (Vandenberghen et al., 2014).

**g. Dikte en verbreiding**

De totale dikte kan tot 40 meter bedragen. Door het onderliggende erosief contact kan het Lid van Bassevelde (BE) in het bijzonder in dikte veranderen van 20 meter in het westen tot enkele meters in het oosten. De sterkste verdunning van het Lid van Bassevelde (BE) door het uitwiggings van de onderste sequenties Ba1 en Ba2 lijkt samen te vallen met de start van erosie van de top van de onderliggende Formatie van Maldegem (BE).

# 10 Modeleenheid Eigenbilzen-Boom-Rupel

## 10.1. Onderverdeling

De modeleenheid Eigenbilzen-Boom-Rupel bestaat uit de Belgische formaties van Eigenbilzen (BE) en Boom (BE), en de Nederlandse Formatie van Rupel (NL).

De Formatie van Boom (BE) wordt van onder naar boven in de volgende vier leden onderverdeeld: Belsele-Waas, Terhagen (BE), Putt (BE) en Boeretang (BE). De Formatie van Eigenbilzen (BE) wordt niet formeel onderverdeeld, en komt enkel in het oostelijk deel van het inventarisatiegebied voor.

De Belgische formaties van Eigenbilzen (BE) en Boom (BE) omvatten de hydrogeologische subeenheden A0305 (Silt van Belsele-Waas), A0304 (Klei van Terhagen), A0303 (Klei van Putte), A0302 (Klei-silt van Boeretang) en A0301 (Kleiig deel van Eigenbilzen). Beide formaties vormen de hoofdeenheid A0300 (Boom Aquitard) volgens de Vlaamse HCOV-v2 codering.

De Nederlandse Formatie van Rupel (NL) is binnen het huidige modelgebied onderverdeeld in de laagpakketten/hydrologische subeenheden: Berg/Belsele-Waas (RUBEz1), Boom (RUBOk1) en Steensel (RUSTz1). Buiten het inventarisatiegebied zijn meerdere lokale eenheden gedefinieerd als bijvoorbeeld de lateraal equivalente laagpakketten Kleine-Spouwen (NL) en Waterval (NL) in het zuidoosten.

Ondanks de gelijke naamgeving komen het Belgische Lid van Berg (BE) en het Nederlandse Laagpakket van Berg (NL) niet helemaal overeen. Het Lid van Berg (BE) van de Formatie van Bilzen (BE) bestaat uit transgressieve zanden aan de basis van de afzettingsequentie van de Formatie van Boom (BE), zie ook Figuur 9. Dieper in het bekken werden de zandige kleien van het Lid van Belsele-Waas (basis Formatie van Boom (BE)) afgezet. Het Nederlandse equivalent van beide is het Laagpakket van Berg (NL). Het Lid van Berg (BE) komt echter niet in het projectgebied voor.

## 10.2. Formatie van Boom (BE)/Formatie van Rupel-laagpakketten van Berg/Belsele-Waas en Boom (NL)

### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Boom (BE) bestaat hoofdzakelijk uit vaste grijze fijngelaagde siltige klei. 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.

Het Lid van Belsele-Waas (BE) bestaat uit bruin- tot groengrijze glauconiethoudende siltige klei tot kleiig silt met fijne siltlenzen, en eindigt met een uitzonderlijk dikke siltlaag. Het zandige equivalent wordt in Zuid-Nederland het Laagpakket van Berg genoemd en vormt de transgressieve basis van de formatie. Het bestaat uit een groengrijs fijnkorrelig zand, met regelmatig een grindlaagje aan de basis. Het Lid van Terhagen (BE) bestaat uit compacte grijze klei met septaria. De top wordt bepaald door het verschijnen van zwarte banden. Het Lid van Putte (BE) bestaat uit vaste compacte grijze tot zwarte, door oxidatie soms paarsbruin verkleurde klei met meer siltige lenzen en met septaria. Het Lid van Boeretang (BE) bestaat uit meer siltrijke klei in vergelijking met het onderliggend Lid van Putte (BE), het siltgehalte in de klei verhoogt stelselmatig naar boven toe.

### b. Logsignatuur

In het Lid van Belsele-Waas (BE)/Berg (NL) stijgt de gammastraling en daalt de resistiviteit geleidelijk over het pakket met bovenaan onregelmatigere piekjes. De bovenste dikkere siltlaag heeft een iets lagere gammastraling en hogere resistiviteit.

Het Lid van Terhagen (BE) heeft een doorlopende lage resistiviteit en een gammastraling die naar boven toe verhoogt.

Het Lid van Putte (BE) start onderaan met een opvallende piek in de gammastraling. Naar boven toe blijft de gammastraling op het hoge niveau van het Lid van Terhagen (BE), terwijl de resistiviteit laag is en naar boven toe licht oploopt.

Door de toename in siltgehalte in het Lid van Boeretang (BE) neemt de gammastraling naar boven langzaam in waarde af terwijl de resistiviteit een stijgende trend vertoont, verdeeld over een aantal silt-klei piekjes (9 in het typegebied, zie Figuur 10) die met Milankovic cycli overeenkomen.

### c. Seismische interpretatie

Algemeen is de Formatie van Boom (BE) weinig reflectief. Enkel aan de onderkant, aan de basis van het Lid van Terhagen (BE), is er een sterkere reflectie waar te nemen die vervolgd en gemodelleerd werd voor het project.

### d. Ondergrens

De overgang van het Lid van Ruisbroek (BE) naar de Formatie van Boom (BE) is relatief geleidelijk, waardoor een exacte grens moeilijk aan te duiden is. Deze wordt gelegd op de sterkste terugval in resistiviteit en de toename van de gammastraling.

### e. Bovengrens

De Formatie van Boom (BE) wordt in het oosten van het inventarisatiegebied concordant overdekt door de Formatie van Eigenbilzen (BE) die een gelijkaardig sedimentatiepatroon vertoont als de top van de Formatie van Boom (BE), maar een lithologische verschuiving vertoont naar zandtextuur. Vandaar is er een zeer lichte daling van de gammastraling maar een beduidende en oplopende stijging van de resistiviteit. In het westen van het inventarisatiegebied wordt de Formatie van Boom (BE) rechtstreeks bedekt door de glauconietzanden van de formaties van Voort (BE) en/of Berchem (BE).

### f. Stratigrafische positie

De Formatie van Boom (BE) bevat meerdere types van cycliciteit maar maakt in zijn geheel samen met de formaties van Eigenbilzen (BE), Bilzen (BE) en de leden van Ruisbroek (BE) en Watervliet (BE) deel uit van een complexe sedimentaire sequentie die de essentie van de Rupeliaan étage uitmaakt (Figuur 9) en die gevat zit tussen de Savische discordantie (contact Eigenbilzen-Voort/Veldhoven (BE)) en de Pyreneïsche discordantie (basis Lid van Bassevelde (BE)) (Vandenberghé et al., 2014). Figuur 11 geeft de structuur van de modeleenheid Eigenbilzen-Boom-Rupel weer in het Belgische deel van het inventarisatiegebied, alsook de relatie met de onderliggende eenheden.

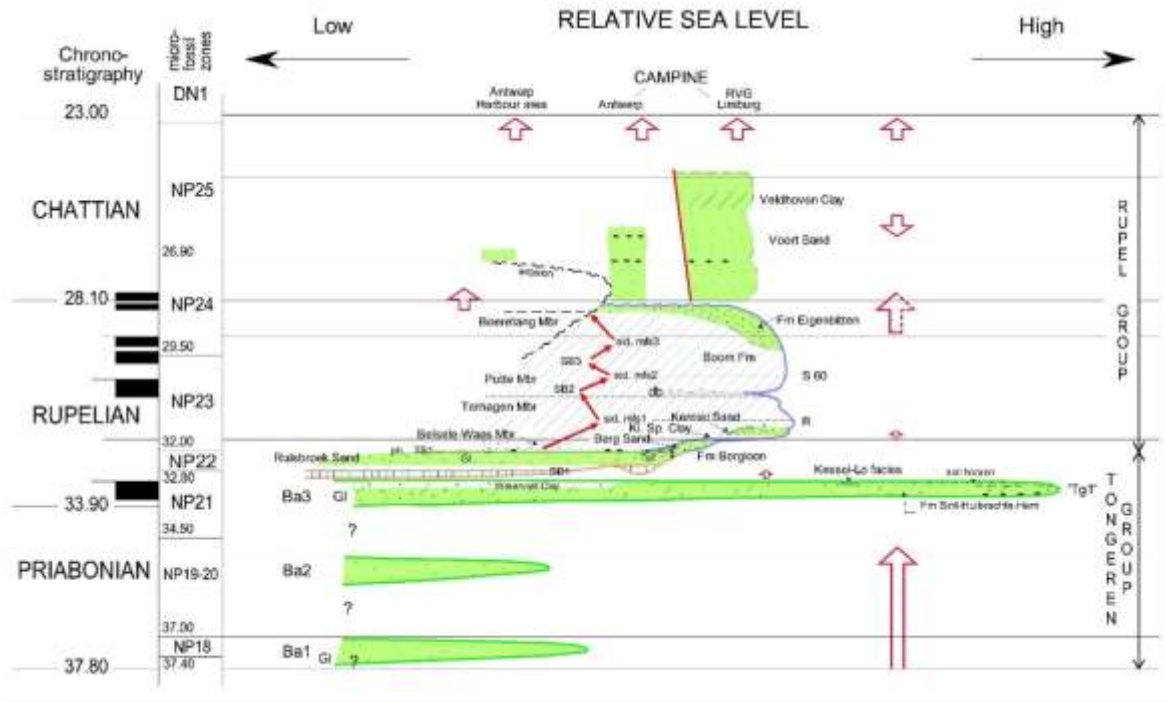
### g. Dikte en verbreiding

De Formatie van Boom (BE) komt voor in het hele inventarisatiegebied. In het westen is echter de top geërodeerd.

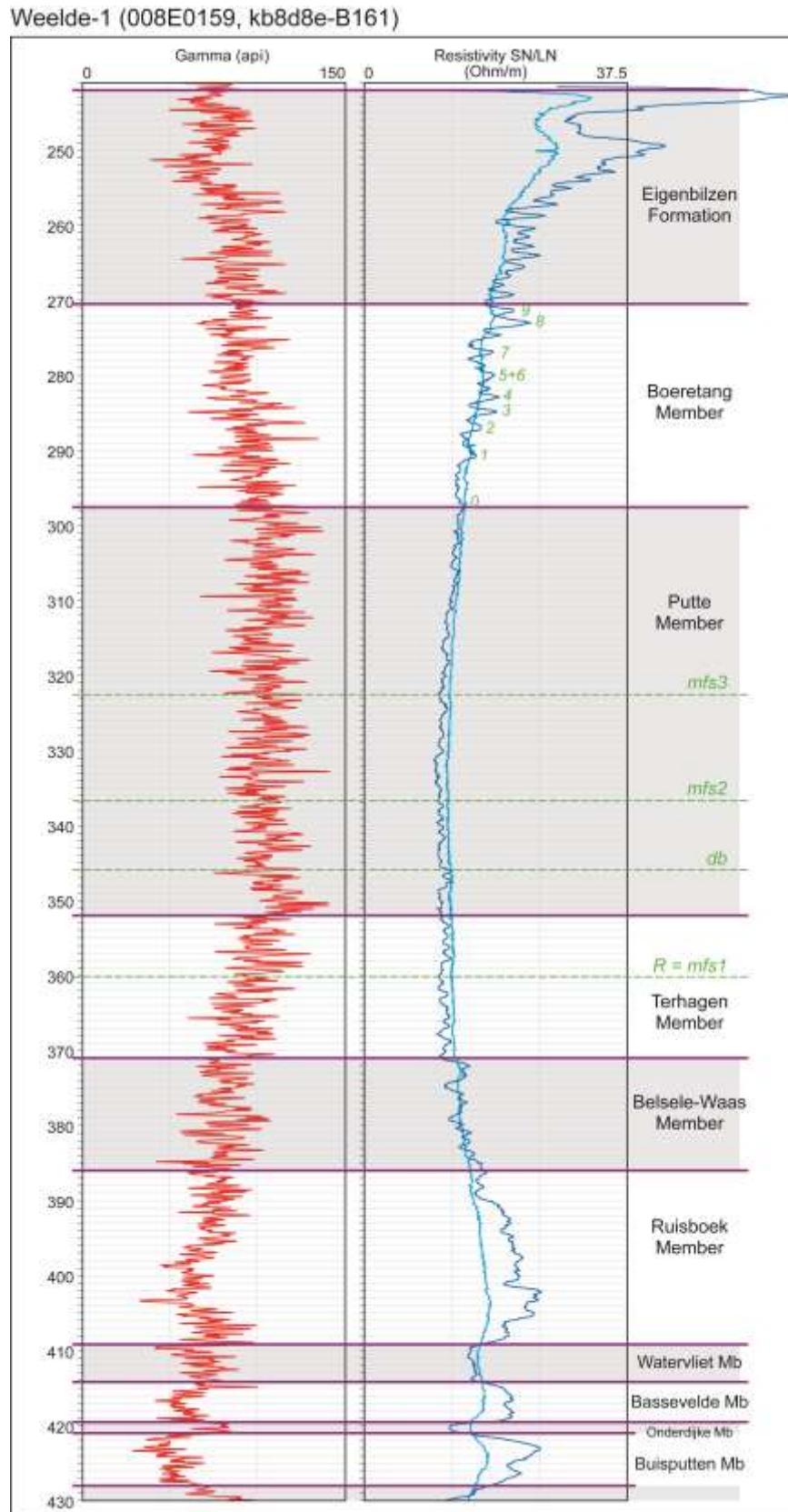
De dikte van de Formatie van Boom (BE) loopt op tot 150 meter vanaf het ontsluitingsgebied in noordelijke richting (waar de formatie volledig is), maar vermindert zeer snel tot 20-30 meter in oostwaartse richting voorbij de randbreuken van de Roerdalslenk, waar het bovenste gedeelte overgaat in de Formatie van Eigenbilzen (BE).

Het Lid van Belsele-Waas (BE) heeft een dikte van 10 tot 20 meter. Het Lid van Terhagen (BE) is ruim 20 meter dik. De dikte van het Lid van Putte (BE) bedraagt ruim 50 meter. Het Lid van Boeretang (BE) bereikt een dikte van 30 meter in het typegebied.





Figuur 9. Sequentiestratigrafische interpretatie van het Rupeliaan in Vlaanderen (groen ondiep marien en kustnabij, licht blauwgestreep dieper marien, SB sequence boundaries, mfs maximum flooding surfaces) (Vandenberghé et al., 2014).



Figuur 10. Boring 008E0159, Weelde, typelokaliteit voor het Lid van Boeretang (BE), log over de formaties van Boom (BE) en Eigenbilzen (BE) met overgang naar onderliggende formaties en aanduiding van representatieve referentievlakken of lagen in de Boomse Klei. Interpretaties naar Vandenberghe et al. 2001 & Van Simaey et al. 2005, verder aangevuld met interpretaties van G3Dv3.

## 10.3. Formatie van Eigenbilzen (BE)/ Formatie van Rupel-Laagpakket van Steensel (NL)

### a. Lithologische samenstelling

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

De Formatie van Eigenbilzen (BE) onderscheidt zich van de onderliggende Formatie van Boom (BE) door het verschijnen en naar boven toe verder toenemen van fijn zand in een afwisseling van kleiige en siltige laagjes. In Nederland wordt dit licht anders gekenmerkt: de afwisseling van kleien en siltige kleien met dunne zandlagen gaan naar de top toe over in fijnkorrelige, glauconietrijke zanden. De afname van bathymetrische waarden, reeds waarneembaar aan de top van de Formatie van Boom (BE), continueert, hetgeen leidt tot marginaal mariene condities.

### b. Logsignatuur

De trends in boorgatmetingen waarneembaar aan de top van de Formatie van Boom (BE) zetten zich voort in Eigenbilzen (BE), met toenemende amplitude: de opwaartse vergroving van het sediment uit zich vooral in een stijgende resistiviteit en soms subtiele dalende gammastraling.

### c. Seismische interpretatie

Deze eenheid is te dun in het modelgebied om seismisch te kunnen karakteriseren.

### d. Ondergrens

De grens tussen de Formatie van Boom-Lid van Boeretang (BE) en de Formatie van Eigenbilzen (BE) wordt getrokken waar de cyclische opeenvolging van silt-klei laagjes verloren gaat door toename van de korrelgrootte en het zandgehalte zichtbaar toeneemt. Het onderscheid tussen het Lid van Boeretang (BE) en de Formatie van Eigenbilzen (BE) is mogelijk op basis van kwaliteitsdata: hoe hoger de resolutie, hoe meer kans dat de cycli (9 resistiviteitspiekjes) van het Lid van Boeretang (BE) worden herkend. Langs de bekkenrand start de ontwikkeling van de Formatie van Eigenbilzen (BE) eerder dan nabij het centrum van het bekken (fig. 11).

### e. Bovengrens

De Formatie van Eigenbilzen (BE) wordt in het oostelijk deel van het inventarisatiegebied discordant overdekt door de Formatie van Voort (BE), afgezet na een op seismische profielen waar te nemen kanteling van het sedimentatiebekken in de richting van de Roerdalslenk. De overgang Eigenbilzen-Voort kenmerkt zich doorgaans door een, weliswaar weinig systematische en zeer subtiele, verhoging van zowel gammastraling als resistiviteit in Voort (BE), vermoedelijk ten gevolge van een hoger glauconietgehalte en betere scheiding van zand en kleifracie in de basislagen van Voort (het voorkomen van kleilagen in het basale Voort (BE)).

Meer naar het westen waar de Formatie van Voort afwezig is of niet meer eenduidig kan worden herkend en ook Eigenbilzen (BE) verdunt en minder karakteristiek is wordt het onderscheid tussen beide formaties onduidelijk. Hier valt vooral het contact met de miocene Formatie van Berchem (BE) op, wanneer deze laatste is gekenmerkt door een veel hoger glauconietgehalte, verhoogde gammastraling en verdere verhoging van de resistiviteit.

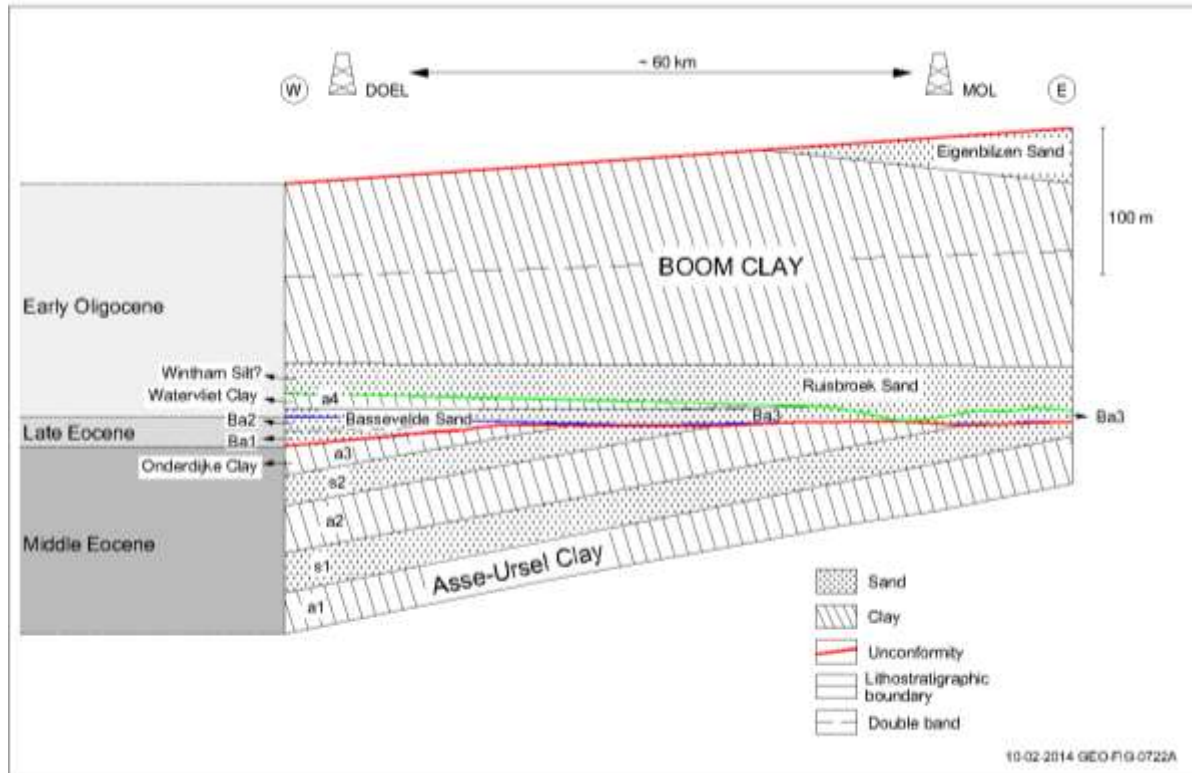
Nog meer naar het westen verdwijnt ook de Formatie van Eigenbilzen (BE), en rusten de formaties van Voort (BE) en/of Berchem (BE) rechtstreeks op de Formatie van Boom (BE).

### f. Stratigrafische positie

De overgang tussen de formaties van Boom (BE) en Eigenbilzen (BE) is het gevolg van een geleidelijke vergroving van het sediment naar boven toe. Het voorkomen van zand is bepalend om onderscheid te maken met de Formatie van Boom (BE).

### g. Dikte en verbreiding

In het westen van het inventarisatiegebied wigt Eigenbilzen (BE) uit onder de discordantievlakken aan de basis van het Chattiaan en het Mioceen. De dikte kan tot 30 m bedragen in het oosten van het inventarisatiegebied.



Figuur 11. Schematische west-oost doorsnede door de provincie Antwerpen (Vandenberghe et al., 2014).

Tabel 3. Onderverdeling van de neogene modeleenheden in Nederland en België (1 = informele stratigrafische eenheid, voorstel bij de Nederlandse stratigrafische commissie, 2 = voorstel voor aanpassing/uitbreiding Nederlandse hydrogeologische indeling en codering, 5 = voorstel voor aanpassing/uitbreiding Vlaamse (hydro-) geologische indeling en codering, 6 = afwezig in betreffende deelgebied, meegenomen in functie van grensoverschrijdende modellering.

NL Stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	NL Geologische modeleenheid	NL Hydrogeol. modeleenheid	BE Stratigrafische eenheid (formatie - lid)	BE Geologische modeleenheid	BE Hydrogeologische modeleenheid
Oosterhout - Wouw	Oosterhout - Wouw	OOWOk1 <sup>2</sup>	Lillo - Kruisschans	Lillo - Kruisschans	Kleilig zand van Kruisschans
Oosterhout - ongedifferentieerd	Oosterhout - Ongedifferentieerd	OOz2	Lillo - Luchtbal en Oorderen	Lillo - Luchtbal en Oorderen	Zanden van Oorderen en Luchtbal
Oosterhout - Sprundel ("craggs")		OOSPs1 <sup>2</sup>			(Schelpenrijke zand van Sprundel) <sup>6</sup>
Oosterhout - ongedifferentieerd		OOz3			Zanden van Oorderen en Luchtbal
		OOc			(Klei-zand complex aan de basis van Oosterhout) <sup>6</sup>
/	/	/	/	/	Ongedifferentieerde zanden van Poederlee en Lillo
Oosterhout - ongedifferentieerd (Tilburg <sup>1</sup> )	Oosterhout - Tilburg <sup>2</sup>	OOTIz1 <sup>2</sup>	Kattendijk	Kattendijk <sup>5</sup>	Zand van Kattendijk <sup>5</sup>
Oosterhout - ongedifferentieerd (Goirle <sup>1</sup> )	Oosterhout - Ongedifferentieerd <sup>2</sup>	OOz4 (OOGOz1 <sup>2</sup> )	Poppel <sup>4</sup>	Diest	Zand van Diest buiten de Roerdalslenk
/	/	/	Kasterlee	Kasterlee <sup>5</sup>	Kleilig zand van Kasterlee <sup>5</sup>
Breda - ongedifferentieerd (Diessen <sup>1</sup> )	Diessen <sup>2</sup>	DlIz1 <sup>2</sup>	Diest	Diest	Zand van Diest buiten de Roerdalslenk
Breda - Rucphen (Groote Heide <sup>1</sup> )	Groote Heide <sup>2</sup> en Veldhoven	GRVEc	Berchem - Antwerpen en ongedifferentieerd	Voort en Berchem	Zanden van Berchem en Voort buiten de Roerdalslenk
/			Berchem - Edegem		
Veldhoven - Wintelre			Voort - Veldhoven		
Veldhoven - Voort			Voort - Voort		

# 11 Modeleenheid Berchem-Groote Heide-Voort-Veldhoven

## 11.1. Onderverdeling

In België bestaat deze modeleenheid uit de formaties van Voort en Berchem; in het laatste voorstel voor herziening van de neogene stratigrafie wordt de Formatie van Voort herbenoemd als Formatie van Veldhoven (inclusief Voort Member, analoog aan de Nederlandse indeling; Duser & Vandenberghe, 2022). Afzettingen van de Formatie van Voort buiten de Roerdalslenk (tot in het Antwerpse havengebied) worden toegeschreven aan het Lid van Voort op basis van micropaleontologische ouderdom. In het typegebied rondom Antwerpen worden binnen de Formatie van Berchem vier leden herkend (de leden van Edegem, Kiel, Zonderschot en Antwerpen), maar daarbuiten is onderscheid niet mogelijk. In de Vlaamse modellen (G3Dv3, H3Dv2) zijn deze lithostratigrafische eenheden samengebracht in de geologische modeleenheden “formaties van Voort en Berchem”, “Lid van Edegem” en “leden van Antwerpen, Zonderschot en Kiel” en de hydrogeologische eenheid “A0254 Zanden van Berchem en Voort buiten de Roerdalslenk”.

In de (oude) Nederlandse stratigrafie omvat deze modeleenheid de Formatie van Veldhoven (met de laagpakketten van Voort en Wintelre binnen het huidige inventarisatiegebied) en het Laagpakket van Rucphen van de Formatie van Breda (modeleenheden VE en BR in DGM v2.2; VEVOc, VEWIk1 en BRz2 in REGIS II v2.2). Het Laagpakket van Rucphen wordt volgens de nieuwe stratigrafie (cf. Munsterman et al., 2019) herbenoemd als Formatie van Groote Heide (voorstel nieuwe hydrostratigrafische codering: GRz1).

In project H30-De Kempen werd de “Klei van Veldhoven” nog als afzonderlijke hydrogeologische eenheid onderscheiden, maar deze is in het huidige modelgebied afwezig of verwaarloosbaar dun.

## 11.2. Formatie van Voort (BE)/ Veldhoven (NL)

### a. Lithologische samenstelling

Het Lid/Laagpakket van Voort van de Formatie van Voort/Veldhoven (BE/NL) bestaat uit donkergroene fijnkorrelige glauconiethoudende en fossielhoudende zanden die vooral aan de basis kleihoudend kunnen zijn. Vermits binnen het Belgische deel van het inventarisatiegebied hooguit de onderste meters van deze eenheid aanwezig zijn, is ze daar in het geheel sterk kleiig.

In het Nederlandse, noordoostelijke deel van het inventarisatiegebied is ook het Laagpakket van Wintelre aanwezig; deze bestaat uit grijze tot groengrijze kleien.

### b. Logsignatuur

Ten oosten van het inventarisatiegebied, in het grensgebied tussen Nederland en België, wordt een karakteristieke gammastralingspiek als marker horizon gebruikt voor het kleihoudende interval aan de basis van het Lid van Voort (BE); het zandpakket erboven heeft lage gamma en hogere elektrische weerstandswaarden, en verdikt naar het noorden en naar het oosten richting Roerdalslenk (Duser & Vandenberghe, 2020).

Naar het zuidwesten wigt de formatie uit, maar opvallend is dat daar, onder het Lid van Antwerpen (BE) een vergelijkbaar kleiig zandpakket met gelijkaardige logs-signatuur wordt toegeschreven aan het Lid van Edegem-equivalent (BE) (Figuur 13).

In Nederlandse boringen valt de overgang van het Laagpakket van Steensel (Rupel Formatie, NL) naar het bovenliggende Laagpakket van Voort (Formatie van Veldhoven, NL) samen met een toename op de gamma logs ten gevolge van de toename van het klei- en glauconietgehalte (Figuur 12). Hogerop in de successie van het Laagpakket van Voort nemen de gammastralingswaarden af en wordt een *coarsening upwards* naar zand zichtbaar.

Op de Voort/Wintelre laagpakketgrens vindt een toename van de gammastralingswaarden plaats, samen met een scherpe opwaartse afname van de weerstandswaarden. Deze grens markeert de overgang van het zand van het Laagpakket van Voort naar de klei van het Laagpakket van Wintelre. De top van het Laagpakket van Wintelre of de basis van het Laagpakket van Someren wordt bepaald op een niveau waar de gammastralingswaarden terugvallen naar lagere waarden. Vanaf hier stijgen de gammastralingswaarden geleidelijk naar boven. Bij een sterke daling van de gammastralingswaarden wordt de bovenkant van de Someren Member vastgesteld.

### c. Seismische interpretatie

Deze afzettingen zijn te dun (vaak minder dan 40 m) om te onderscheiden op basis van seismische data.

### d. Bovengrens

In Nederland wordt de grens met de bovenliggende Formatie van Groote Heide gevormd door de *Early Miocene Unconformity* (EMU) en is duidelijk herkenbaar in boorgatmetingen aan een opvallende *kick* in de gammastraling. In België is de grens met de bovenliggende Formatie van Berchem vaak niet te onderscheiden in boringen, tenzij in enkele gekernde boringen waarin basisgrind wordt aangetroffen of op basis van micropaleontologie.

### e. Ondergrens

De Formatie van Voort (BE)/ Veldhoven (NL) rust met een scherp contact op de Formatie van Eigenbilzen (BE)/ Formatie van Rupel-Laagpakket van Steensel (NL) of op de Formatie/het Laagpakket van Boom (BE/NL); de overgang met de onderliggende glauconietarmere zanden of klei is herkenbaar aan een significante toename van de resistiviteit naar boven toe.

### f. Dikte en verbreiding

In een groot deel van het inventarisatiegebied is deze eenheid afwezig. De eenheid bereikt een maximale dikte van ca. 70 m in het uiterste noordoosten; naar het zuidwesten wigt de eenheid uit. In het Belgische deelgebied is het voorkomen fragmentarisch; tot bij Antwerpen zijn *outliers* gevonden, die op basis van paleontologische gronden onderscheiden worden van de erboven liggende Formatie van Berchem (Dusar & Vandenberghe, 2020).

Het Lid van Veldhoven (BE)/ Laagpakket van Wintelre (NL) is afwezig in het Belgische deel van het inventarisatiegebied, maar present in het Nederlandse deel van de Roerdalslenk.

### g. Stratigrafische positie

Het Lid/Laagpakket van Voort (BE/NL) is afgezet tijdens het Chattiaan (laat-Oligoceen) en het Laagpakket van Wintelre (NL) tijdens het allerlaatste Chattiaan tot vroeg-Aquitaniaan (tijdens de oligocene/miocene klimaattransitie, glacio-eustatische zeespiegeldaling).

## 11.3. Formatie van Berchem (BE)/ Groote Heide (NL)

### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Berchem (BE) bestaat uit donkergroene tot zwarte zeer glauconietrijke zanden van middelmatige korrelgrootte die schelpen- en zandsteenbanken bevatten (De Meuter & Laga, 1976). Het glauconietgehalte ligt doorgaans rond 40%-50%, met uitschieters tot boven 80% (Louwye et al. 2020).

Buiten het typegebied kan van de leden alleen het Lid van Edegem met enige zekerheid onderscheiden worden in boorbeschrijvingen, vanwege de fijnere korrelgrootte, het meer kleiige karakter en de blekere kleur (Deckers et al., 2019). De blekere kleur, in vergelijking met het bovenliggende Lid van Kiel, wordt verklaard door een lager glauconietgehalte (Louwye et al., 2020).

De Formatie van Groote Heide (NL) bestaat in westelijk Noord-Brabant uit grijsgroen tot zwartgroen, matige fijn tot matig grof, glauconietrijke zanden (Munsterman et al., 2019).

### b. Logsignatuur

In boorgatmetingen is de Formatie van Berchem (BE)/ Groote Heide (NL) meestal duidelijk herkenbaar, afhankelijk van de samenstelling van de onder- en bovenliggende formaties. In de Kempen ligt de Formatie van Berchem (BE) tussen zandige formaties zodat het een afgetekend hogere gammastraling en lagere resistiviteit vertoont; ze is dan (buiten de Roerdalslenk) goed herkenbaar aan de hand van de kenmerkende *kick* (Figuur 12, Figuur 13).

Deze verhoogde gammastraling kan soms aanhouden over het geheel van de formatie, vooral in het oosten; in het westen is de facies-variabiliteit groter, waardoor het logbeeld van boring tot boring kan verschillen.

### c. Seismische interpretatie

De seismische data tonen een evidente *surface* aan de basis van de Formatie van Groote Heide. De signatuur die de EMU weerspiegelt, wijst op *onlap* structuren. Door de EMU als een *onlap surface* te interpreteren zien we een progressieve opvulling van de Groote Heide opeenvolging vanuit de centrale as naar de randen (jongere afzettingen) van de Roerdalslenk. Deze interpretatie wordt bevestigd door het seismische profiel dat de EMU laat zien als een regionale *onlap/baselap surface* (Munsterman et al., 2019).

#### d. Bovengrens

De Formatie van Berchem (BE)/ Groote Heide (NL) wordt steeds overdekt door de Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL); de grens tussen beide formaties is zeer herkenbaar door het verdwijnen van schelpen en het verschijnen van bijna zwarte klei-arme zanden, vergezeld door een scherp verhoogde gammastraling (de eerder genoemde *kick*) bovenin de Formatie van Berchem (BE)/ Groote Heide (NL).

#### e. Ondergrens

Binnen het Belgische deel van het inventarisatiegebied ligt de Formatie van Berchem discordant op de geërodeerde top van de Formatie van Voort in het noordoosten, en naar het zuiden en westen toe op steeds oudere oligocene eenheden, met een toenemend hiaat, namelijk de formaties van Eigenbilzen (met mogelijk residueel Voort-zand aan de top) en Boom.

In Nederland wordt de ondergrens van de Formatie van Groote Heide gevormd door de *Early Miocene Unconformity* (EMU); de grens met de onderliggende zandige afzettingen van het Laagpakket van Someren (Formatie van Veldhoven, NL) is in boorgatmetingen herkenbaar aan een opvallende *kick* in de gammastraling.

In België wordt de ondergrens van de Formatie van Berchem op een ouder/dieper niveau gelegd, namelijk de Savische discordantie. De grens met de onderliggende zandige afzettingen van de Formatie van Voort is niet te onderscheiden in boorbeschrijvingen op basis van louter lithologische criteria, tenzij in enkele gekerde boringen waarin basisgrind wordt aangetroffen, of op basis van micropaleontologie; in de praktijk wordt de ondergrens dan meestal gelegd op de (veel duidelijkere) overgang naar de glauconietarme zanden van Eigenbilzen of de Boomse klei, waarbij de mogelijke aanwezigheid van de Formatie van Voort buiten beschouwing wordt gelaten.

Wanneer de formatie op de klei van de Formatie van Boom (BE)/ Rupel (NL) ligt, dan is de basis wel duidelijk herkenbaar in logs, namelijk door de scherpe toename in resistiviteit en daling in gammastraling.

#### f. Dikte en verbreiding

In het Belgische deel van het inventarisatiegebied heeft de Formatie van Berchem een dikte van circa 10 m in het oosten tot ruim 25 m in het westen.

In het Nederlandse deelgebied heeft de Formatie van Groote Heide een dikte van circa 10 tot ruim 35 m.

#### g. Stratigrafische positie

Formatie van Berchem (BE): vroeg- tot midden-Mioceen (Burdigaliaan-Serravalliaan; vanaf Aquitaniaan volgens Munsterman & Deckers, 2020), tussen de Savische fase en MMU.

Formatie van Groote Heide (NL): vroeg- tot midden-Mioceen (laat-Burdigaliaan-Serravalliaan), tussen de EMU en MMU.

Belangrijke hiaten markeren de formatiegrenzen, maar ook binnen de formatie treden hiaten of sedimentatiestilstanden op.

## 11.4. Discussie/opmerkingen

In het algemeen wordt de Formatie van Berchem (Lid van Antwerpen, BE) geassocieerd met de nieuw-gedefinieerde Formatie van Groote Heide (NL), het deel van de vroegere Formatie van Breda (NL) onder de MMU. De Formatie van Berchem (BE), hoofdzakelijk de leden van Edegem en Kiel, kunnen onderaan echter ook equivalente afzettingen van het Lid/Laagpakket van Someren (BE/NL) en mogelijk zelfs een deel van het onderliggende Lid van Veldhoven (BE)/ Laagpakket van Wintelre (NL) van de Formatie van Voort (BE)/Veldhoven (NL) omvatten, voor zover gelegen boven de Savische disconformiteit.

In sommige successies van boringen is er ambivalentie in de beoordeling of de Formatie van Voort (BE)/ Veldhoven (NL) nog aanwezig is of dat overblijfselen van deze eenheid zijn herwerkt en herafgezet aan de basis van de Formatie van Berchem (BE)/ Groote Heide (en dus daarbij moeten worden gerekend).

Dusar & Vandenberghe (2020) hebben aangetoond dat een gammastralingspiek in boorlogs in het Kempens Bekken correleert met het kleiige interval S&T06, deel van de successie in het Lid/Laagpakket van Voort (BE/NL) van de Formatie van Voort (BE)/ Veldhoven (NL), dat regionaal vervolgd kan worden vanuit het Nederrijnbekken en de Roerdalslenk (Hager et al. 1998). In westelijke richting wordt de Formatie van Voort (BE)/Veldhoven (NL) steeds dieper geërodeerd en wordt het hiaat met bovenliggend Berchem (BE)/Groote Heide (NL) steeds groter, zodat in de omgeving van Weelde, in het oosten van het inventarisatiegebied, deze gidshorizon direct onder de gammastralingspiek aan de basis van de Formatie van Berchem (BE)/ Hoogerheide (NL) ligt. Formeel wordt deze



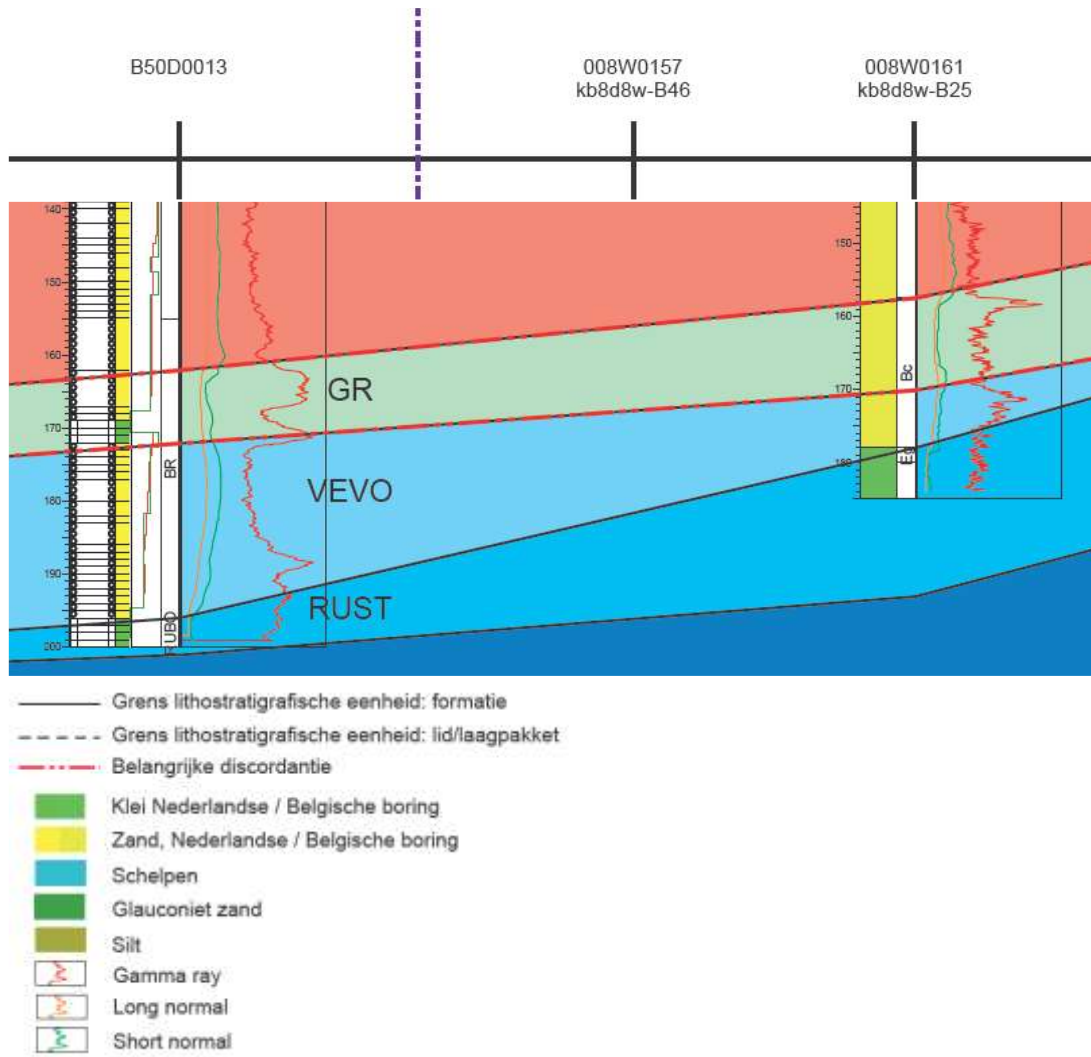
kenmerkende laag in het Lid/Laagpakket van Voort (BE/NL) (nog) niet onderscheiden. Waar deze gammastralingspiek nog voorkomt kan men er wel zeker van zijn van het Lid/Laagpakket van Voort aanwezig is. In zowel Nederland als België wordt de grens tussen de formaties van Berchem (BE)/ Groote Heide (NL) en Voort (BE)/ Veldhoven (NL) gelegd op basis van lithologische verschillen en de daarbij behorende logsignaturen. Omdat de lithologisch verschillen soms gradueel zijn en de grens dan moeilijk vast te stellen is, wordt in Nederland de grens op de (seismische) disconformiteit gelegd, terwijl men in België omwille van kartering op basis van boringen aan de lithologische criteria blijft vasthouden. Definitie van de grens tussen de formaties van Berchem (BE) en Voort (BE) en correlatie tussen lithostratigrafie, biostratigrafie, sequentiestratigrafie, boorgatmetingen, en daarmee ook de grensoverschrijdende correlatie is dus problematisch. Grote dikteverschillen die in Vlaamse boringen wel eens aan de Formatie van Berchem (BE) werden toegewezen, waren het gevolg van het niet herkennen van de Formatie van Voort (BE). Daarom worden in het G3Dv3-model de Formaties van Berchem en Voort (buiten de Roerdalslenk) nog altijd als één gemeenschappelijke geologische eenheid gemodelleerd (Deckers et al., 2019).

Er is met behulp van boorgatmetingen wel degelijk eenduidig onderscheid te maken in twee delen binnen de modeleenheid (zie Figuur 13), maar de grens komt dan niet overeen met de formele grens tussen de formaties van Berchem en Veldhoven (BE). In plaats daarvan correspondeert de grens met die tussen het Lid van Antwerpen (BE)/ de Formatie van Groote Heide (NL) en een onderliggende eenheid opgebouwd uit slechts ten dele bewaarde dunne sequenties, namelijk de miocene en/of laat-oligocene zanden die het interval tussen twee opeenvolgende *unconformities* omvatten. De onderste eenheid bestrijkt een ruim tijdsinterval en kan gecorreleerd worden met tijdsequivalente afzettingen van de Formatie van Voort/Veldhoven (BE/NL). Aanvullend onderzoek is in uitvoering om deze correlatie en de opdeling van de Formatie van Berchem buiten de stad Antwerpen te bevestigen; dit valt echter buiten de scope van dit project.

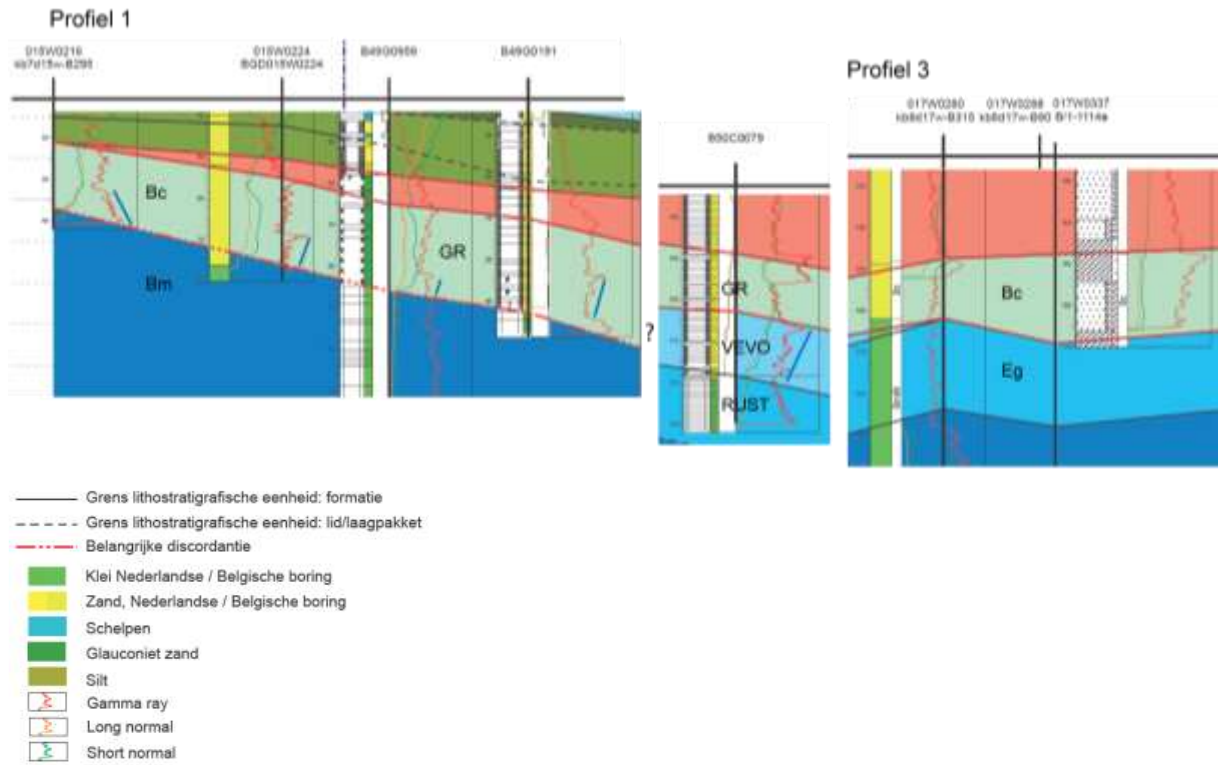
De basis van de Formatie van Breda/Groote Heide (NL) is gedefinieerd in boring Groote Heide en biostratigrafisch gepreciseerd dankzij palynologische studie in de additionele referentieborings Broekhuizenenvorst (Munsterman & Brinkhuis, 2004). Deze grens ligt met een hiaat op het Laagpakket van Someren van de Formatie van Veldhoven (NL; sensu Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993). Daarentegen is op grotere afstand van de slenk in de meer “gecondenseerd” ontwikkelde Formatie van Berchem (BE) aan de evident aanwezige disconformiteit MMU1 in de praktijk voorbijgegaan: bijvoorbeeld in boring ON-Mol-1 is in het onderste deel van de Formatie van Berchem (BE), onder de MMU1, reeds een (equivalent van het) Lid/Laagpakket van Someren (BE/NL) herkenbaar (Munsterman & Deckers, 2020). Dit is vergelijkbaar met de opeenvolging van het Lid/Laagpakket van Someren (BE/NL) onder de Formatie van Bolderberg (BE) in boring Molenbeersel (project H3O-Roerdalslenk).

Dit wordt bevestigd door het palynologisch onderzoek van boring Goirle in het Belgisch-Nederlandse grensgebied, waarop zowel de Belgische (VITO) als de Nederlandse (TNO) lithostratigrafische definities zijn toegepast. De basis van de Formatie van Berchem (BE) valt hier samen met het Lid/Laagpakket van Someren (BE/NL) en komt overeen met de basis van de zandvoorkomens boven de Savische disconformiteit (Munsterman et al., 2019).

Vermits een laag niet tegelijkertijd tot twee verschillende formaties kan behoren moet de positie van dit pakket in de Belgische lithostratigrafie nog onderwerp zijn van toekomstige discussies binnen de Nationale Stratigrafische Commissie, maar dit valt buiten de scope van dit project; blijft ze behouden bij de Formatie van Berchem of wordt ze beter toegevoegd bij de Formatie van Voort cf. de praktijk in Nederland?



Figuur 12. Uitsnede uit Correlatieprofiel 3 met boringen B50D0013 (Baarle-Nassau, NL) en 008W0161 (Merksplas, BE): voorkomen van de formaties van Berchem/Groote Heide en Voort/Veldhoven (BE/NL) langs de landsgrens in het oosten van het inventarisatiegebied, met verhoogde gammastraling als een duidelijk herkenbare kick en verlaagde resistiviteit ten opzichte van de omgevende formaties.



Figuur 13. Uitsneden uit Correlatieprofielen 1 en 3: laterale overgangen onder het Lid van Antwerpen van de Formatie van Berchem (BE): Lid van Edegem-equivalent (BE) vs. Lid/Laagpakket van Voort (BE/NL).

# 12 Modeleenheid Diest-Diessen

## 12.1. Onderverdeling

In België kunnen binnen de Formatie van Diest zowel formele leden als informele facies worden onderscheiden, maar de sedimentopbouw is complex en correlaties als basis voor verdere kartering zijn amper mogelijk; binnen het inventarisatiegebied komen het Lid van Dessel en de Kempen Diest zanden voor; in het laatste voorstel voor herziening van de neogene stratigrafie worden deze eenheden benoemd als Dessel Member en Kempen Diest Member (Houthuys et al., 2022). In de geologische en hydrogeologische modellen van Vlaanderen (G3Dv3, H3Dv2) heeft de Formatie van Diest haar eigen modeleenheid: “Formatie van Diest” en hydrogeologische eenheid “A0251 Zand van Diest buiten de Roerdalslenk”.

In de Nederlandse stratigrafie correleert de Formatie van Diest met het niet-gedifferentieerde bovenste deel van de Formatie van Breda (modeleenheid BR in DGM v2.2), meer specifiek met de hydrostratigrafische eenheid BRz2 (REGIS II v2.2); volgens de nieuwe stratigrafie (cf. Munsterman et al., 2019) wordt deze eenheid formatie van Diessen genoemd (voorstel nieuwe hydrostratigrafische codering: DIz2). Hierbij opgemerkt dat de eveneens nieuw-gedefinieerde laagpakketten van Goirle en Tilburg in het verleden veelal bij de ongedifferentieerde Formatie van Breda werden gerekend, maar nu deel uitmaken van de Formatie van Oosterhout (Munsterman et al., 2019). De formaties van Diessen en Oosterhout worden gescheiden door de *Late Miocene Unconformity* (LMU).

## 12.2. Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL)

### a. Lithologische samenstelling

Het Lid van Dessel (BE) bestaat uit groengrijs, glauconietrijk fijn zand, met vaak een goed ontwikkeld basisgrind (De Meuter & Laga, 1976); het zand is sterk gehomogeniseerd door bioturbatie (Houthuys et al., 2020); typerend is het relatief hoge gehalte in smectiet-kleimineralen (Adriaens, 2015) en een relatief hoog gehalte aan noordelijke componenten in de zware mineralen (Verhaegen et al., 2020) – in vergelijking met de Kempen Diest zanden.

De Kempen Diest zanden (cf. Vandenberghe et al., 2014; Houthuys et al., 2020; is Kempen Diest Member cf. voorstel Houthuys et al., 2022) zijn grijsgroen tot bruinig, slecht gesorteerd van fijn tot matig grof en glauconietrijk (herwerkt uit oudere lagen, met name de zanden van Antwerpen); met een glauconietgehalte variërend van 20% tot 60%, gemiddeld 40% (Adriaens, 2015); lokaal zijn ze zwak kleihoudend met violette kleilaagjes vooral naar de top toe (Wouters & Schiltz, 2012); duidelijke sedimentaire structuren zijn eerder zeldzaam (Houthuys et al., 2020); zware mineraleninhoud is zeer variabel (Verhaegen et al., 2020).

In tegenstelling tot de onderliggende zanden van het Lid van Antwerpen (Formatie van Berchem, BE) zijn de kwartskorrels iets grover dan de glauconietkorrels (Verheyen, 2003).

### b. Logsignatuur

Het logbeeld van de Formatie van Diest (BE)/ formatie van Diessen (NL) is vrij eentonig. In de meeste boringen wordt de basis van de formatie gekenmerkt door een zeer hoge en uitgesproken gammastralingspiek, die geassocieerd wordt met de MMU. Deze piek wordt gevolgd door een scherpe negatieve shift in gammawaarden en vervolgens een consistente en geleidelijke afname; dit laatste patroon weerspiegelt een algemene *coarsening upwards* trend. In hetzelfde interval vertoont de weerstandslog een *kick* aan de basis, gevolgd door een geleidelijke toename in overeenstemming met de *coarsening upwards* trend. Het bovenste deel van de formatie is vrij eentonig en toont constantere waarden van de gammastraling en de weerstand (Figuur 15, Figuur 16).

### c. Seismische interpretatie

De basis van de Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL) wordt gekenmerkt door een sterk negatief impedantiecontrast. Dit contrast wordt gevormd door de overgang van grof naar fijner zand. Deze sterke reflector is duidelijk vervolgbaar in het noordoostelijke Belgische deel van het modelgebied, maar wordt minder duidelijk naarmate de basis van de formatie ondieper komt te liggen richting het zuidwesten. Zie ook seismische beschrijvingen van onder- en bovengrens.

#### d. Bovengrens

De Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL) wordt disconform overdekt, in het zuidwesten (Antwerpse Kempen) en in de Nederlands-Belgische grensstreek door de Formatie van Kattendijk (BE)/ Formatie van Oosterhout-Lid van Tilburg (NL), in het zuidoosten (Zuidelijke Kempen) door de Formatie van Kasterlee (BE), en in het oosten (grensstreek Poppel-Goirle, net buiten het inventarisatiegebied) door het nieuw gedefinieerde laagpakket van Goirle van de Formatie van Oosterhout (NL)/ informele zand van Poppel (BE). Deze laatste transitie wordt geassocieerd met de LMU. Op het seismische profiel van de Roerdalslenk (Figuur 6 in Munsterman et al., 2019) kan een hoekdiscordantie worden waargenomen tussen de *clinoforms* van de formatie van Diessen (NL) en de parallelle strata aan de basis van de Formatie van Oosterhout-laagpakket van Goirle (NL). De LMU (hياat) omvat in ieder geval alle *topsets* van de formatie van Diessen (NL).

De grens met de Formatie van Kasterlee (BE) wordt in boringen gekenmerkt door een afname in zowel glauconietgehalte als korrelgrootte; als gevolg van het hogere kleigehalte neemt ook de gammastraling in boorgatmetingen toe. De grens met de eveneens glauconietrijke Formatie van Kattendijk (BE)/ Formatie van Oosterhout-Lid van Tilburg (NL) is vaak moeilijk te onderscheiden; over het algemeen is het zand van Diest (BE)/ Diessen (NL) grover, iets glauconietrijker (donkerdergroen van kleur) en bevat geen of amper schelpen; het zand van Kattendijk (BE)/ Tilburg (NL) bevat daarentegen wel schelpen en is fijner.

#### e. Ondergrens

De Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL) overdekt disconform de Formatie van Berchem (BE)/ Groote Heide (NL). Hiervan getuigen ook de geulinsnijdingen aan de basis van deze eenheid in het Hageland (ten zuiden van het inventarisatiegebied) en op veel kleinere schaal in het Lid van Deurne (omgeving Antwerpen).

Het zand onderin de Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL), behorende tot het Lid van Dessel (BE), is fijnkorreliger dan de bulk van de formatie, en daarmee ook iets fijner dan de onderliggende Formatie van Berchem (BE)/ Groote Heide (NL); verder is het glauconietgehalte lager (25% versus 50%) en bevat het geen of amper schelpen, in tegenstelling tot het zand van Berchem (BE) /Groote Heide (NL) waarin veelvuldig schelpen aanwezig zijn; de grens tussen beide formaties valt samen met een grindlaag, maar binnen het inventarisatiegebied is deze over het algemeen afwezig.

In boorgatmetingen wordt de basis van de formatie meestal gekenmerkt door een *kick* op de gamma- en weerstandslogs, die geassocieerd wordt met de MMU (zie beschrijving logsignatuur).

De seismische gegevens tonen een wijdverbreide *downlap surface* van bovenliggende *clinoforms* die kenmerkend zijn voor de interne architectuur. In gamma-logs wordt deze *downlap surface* weergegeven als een piek, die samenvalt met de MMU, wat de interpretatie als *unconformity* bevestigt.

#### f. Dikte en verbreiding

De Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL) bereikt een dikte van ruim 80 m in zuidoosten van het inventarisatiegebied; naar het westen toe wigt de Formatie uit (omgeving Brasschaat, zie Correlatieprofiel 1); naar het noorden toe hellen het top- en basisvlak geleidelijk af totdat ten noorden van de Nederlands-Belgische grens de top een scherpe knik vertoont (*foreset*) en de eenheid abrupt verdunt tot ongeveer 25 m dikte (zie Figuur 18 en Correlatieprofielen 2 en 3).

#### g. Stratigrafische positie

De afzettingperiode is boven-Mioceen, Tortoniaan tot (basis-) Messiniaan (Vandenberghé et al., 2014; Munsterman et al., 2019).

In Nederland worden de basis en top van de formatie van Diessen geassocieerd met respectievelijk de MMU en LMU (Munsterman et al., 2019).

## 12.3. Discussie/opmerkingen

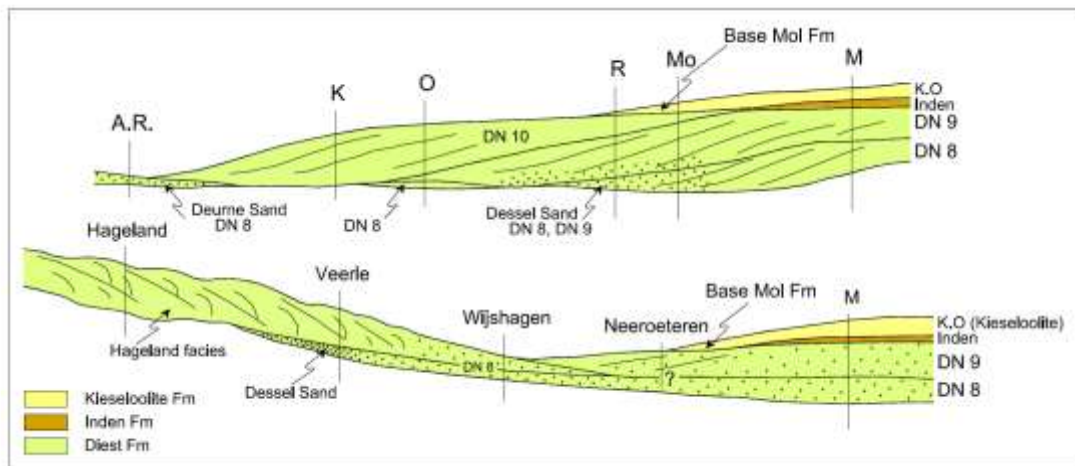
In België worden aan de basis van de Formatie van Diest twee lateraal equivalente leden onderscheiden, de zanden van Deurne en Dessel. De kenmerken waarmee deze leden van de rest van de formatie worden onderscheiden zijn eerder ambigu en hun voorkomen is slechts in beperkte mate gedocumenteerd. Hogerop in de formatie werden tot op heden geen formele leden onderscheiden, slechts informele facies (zie Houthuys et al., 2020). Vandenberghé et al. (2014) onderscheiden de Kempen Diest zanden (in de Antwerpse Kempen) en de Hageland Diest zanden (in het Hagelandse typegebied en Belgisch Limburg). Deze laatste zanden zijn afgezet in de “Hagelandse golf”, die een diepe insnijding heeft opgevuld tot in de Eocene zanden en recht in de richting van

de Roerdalslenk loopt (Figuur 12 in Vandenberghe et al., 2014). Het sediment is opgebouwd uit kwarts, grotendeels aangevoerd uit de continentale Nederrijnslenk, en glauconiet, herwerkt uit de onderliggende zanden van Antwerpen en aangevoerd vanuit het westen (Figuur 14; Vandenberghe et al., 2014). In het kader van de actuele herziening van de neogene stratigrafie is voorgesteld om deze indeling te formaliseren (Houthuys et al., 2022).

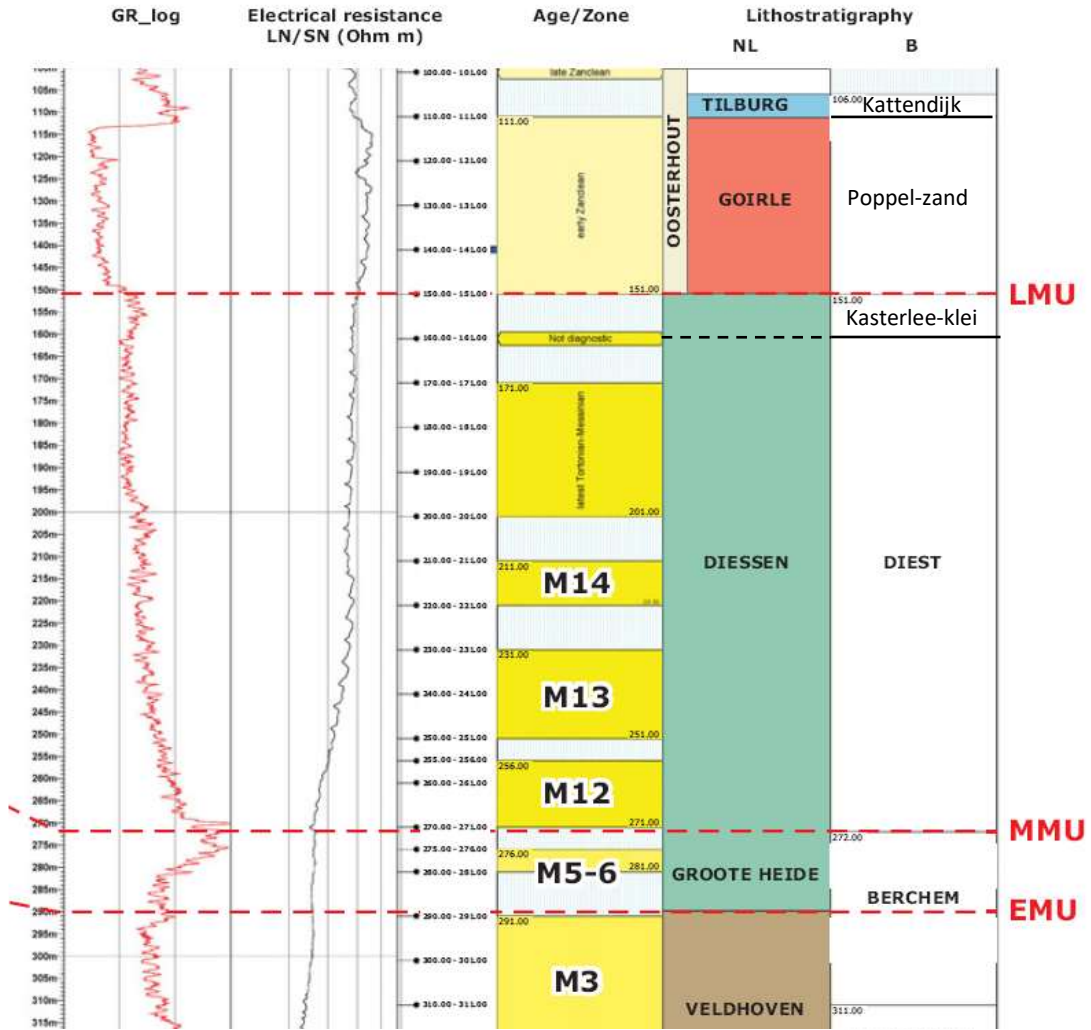
In Nederland leidde de vaststelling van de *Mid Miocene Unconformity* (MMU) binnen de Formatie van Breda tot het inzicht om deze lithostratigrafische eenheid op te splitsen in een formatie van Diessen, begrensd tussen de MMU en de LMU, en de Formatie van Groote Heide, die is beperkt tot het interval tussen de *Early Miocene Unconformity* (EMU) en de MMU. Typeboring voor de nieuwe formatie van Diessen in Nederland is boring B50H0373 (TNO) te Goirle (Figuur 15; Munsterman et al., 2019).

In het grensgebied aan Nederlandse zijde wordt het nieuw-gedefinieerde laagpakket van Goirle afgescheiden van de Formatie van Breda en nu ingedeeld bij de Formatie van Oosterhout (zie Munsterman et al., 2019). Deze eenheid kan gecorreleerd worden met het zogenaamde zand van Poppel in België, een informele benaming voor het zandfacies in de omgeving van Weelde-Poppel, gekenmerkt door een lager glauconietgehalte en daarmee samenhangend lagere gammawaarden in boorlogs. Laga & Notebaert (1981) plaatsten dit facies stratigrafisch in de top van het zand van Diest (zie boorbeschrijvingen in het BGD-archief, bijv. 008E0133), maar bij de actuele herziening van de neogene stratigrafie wordt de eenheid tentatief ingedeeld bij de Formatie van Kattendijk (Vandenberghe et al., 2023). In het Belgische deel van het huidige inventarisatiegebied is deze eenheid niet vastgesteld en wordt dus niet gemodelleerd. In project H3O-De Kempen werd deze eenheid nog gemodelleerd als deel van de Formatie van Diest.

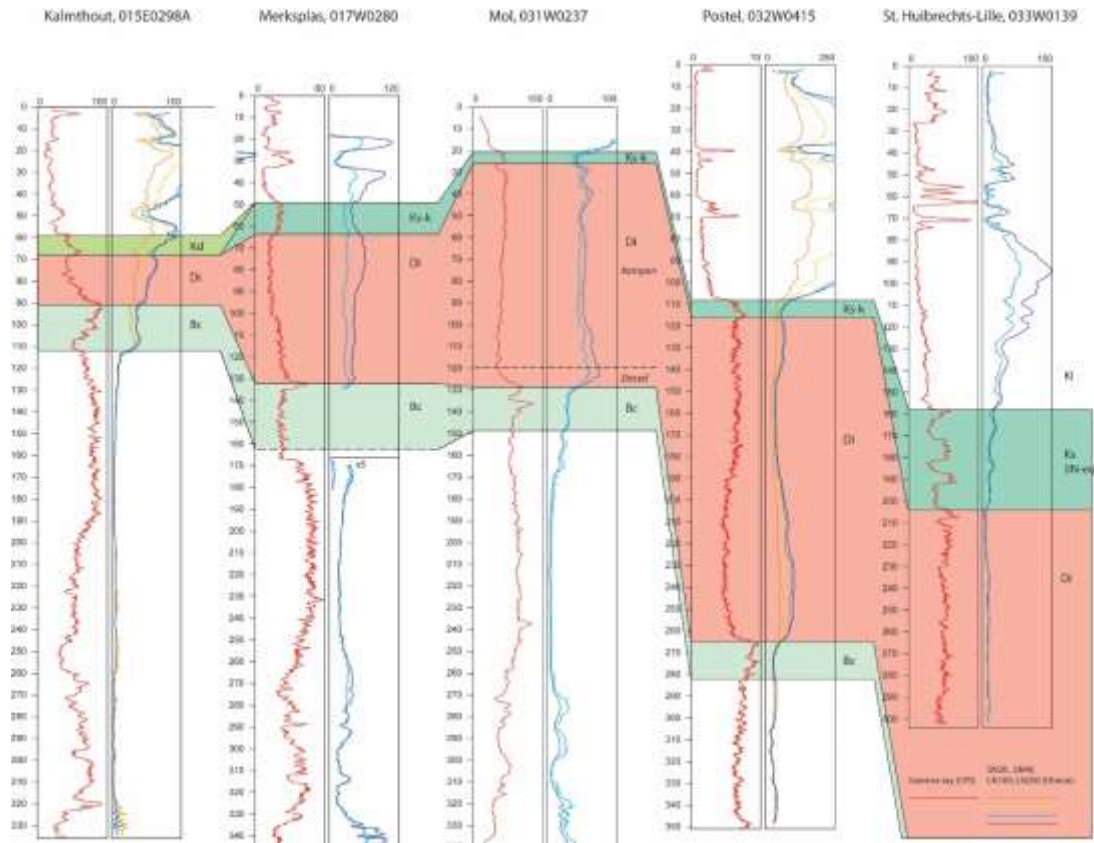
De afzettingen van de Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL) worden toegewezen aan een deltafront (Westerhoff, 2003). De rangschikking van *clinoforms* op seismiek (zie Figuur 18) duidt op meerdere fasen van progradatie en/of avulsie van een groot O-W fluvio-deltaïsch systeem. In boring Goirle zijn mariene dinoflagellaatcysten zeer zeldzaam tot afwezig aan de top van de successie, wat wijst op marginaal mariene en mogelijk zelfs subaëriële omstandigheden (Munsterman et al., 2019). Infra- tot epineritische omstandigheden (waterdiepten van minder dan 100 m aan de basis tot ongeveer 10-30 m aan de bovenkant van deze eenheid) werden geïnterpreteerd op basis van de foraminiferenanalyse in put SMG-01 (Doppert et al., 1975).



Figuur 14. 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-Tortoniaan), DN9 (laat-Tortoniaan) en DN10 (laat-Tortoniaan tot Messiniaan) – (Vandenberghe et al., 2014).

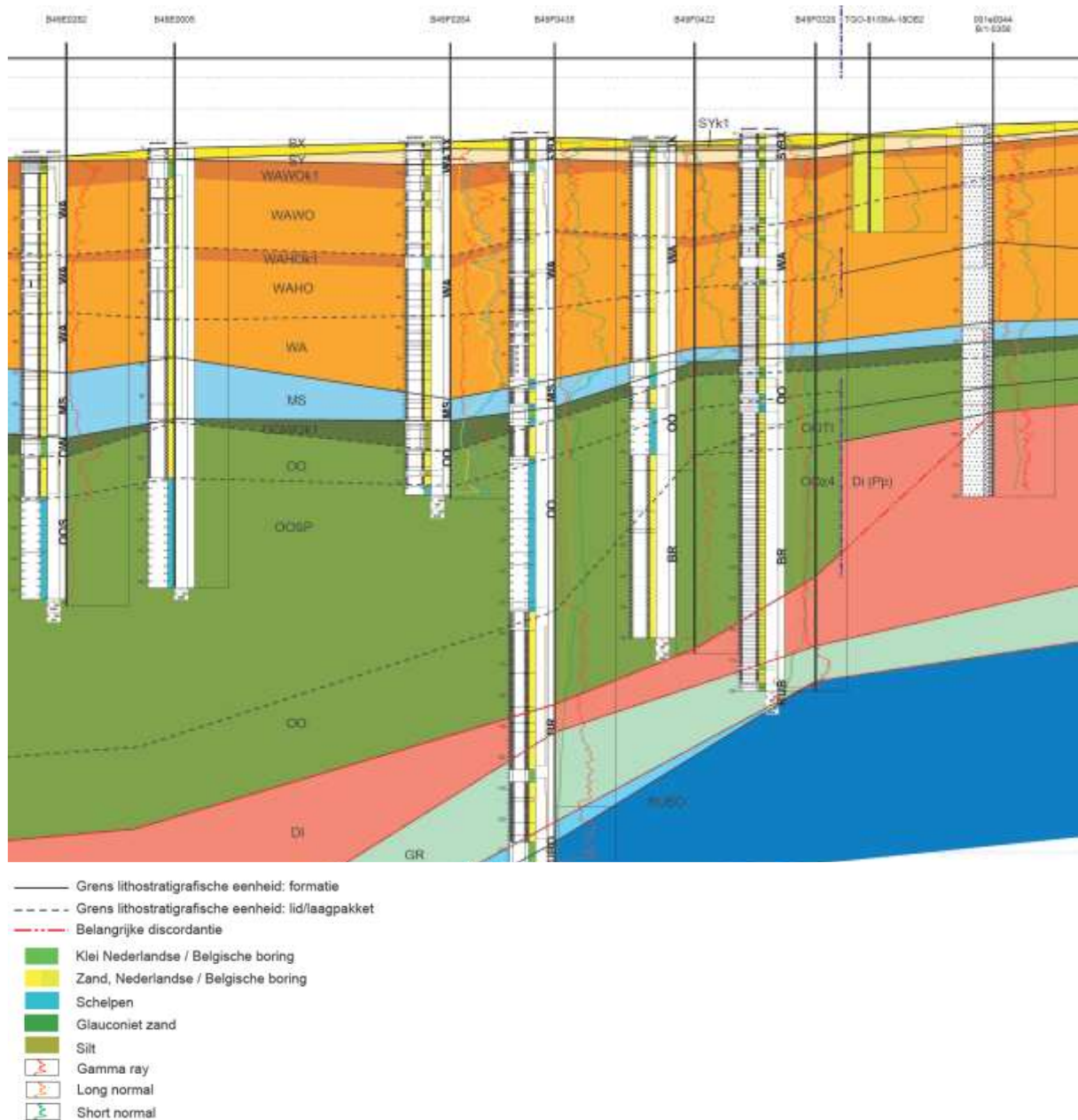


Figuur 15. Boring B50H0373 (Goirle, NL): typeboring voor de formatie van Diessen (NL), interval 151-272 m, en het laagpakket van Goirle (NL), interval 112-151 m met geofysische boorgatmetingen, indeling in biostratigrafische zones, lithostratigrafische eenheden en disconformiteiten (Munsterman et al., 2019), aangevuld met voorgestelde hydrostratigrafische indeling (codes in cursief) en correlatie met Belgische lithostratigrafische eenheden.

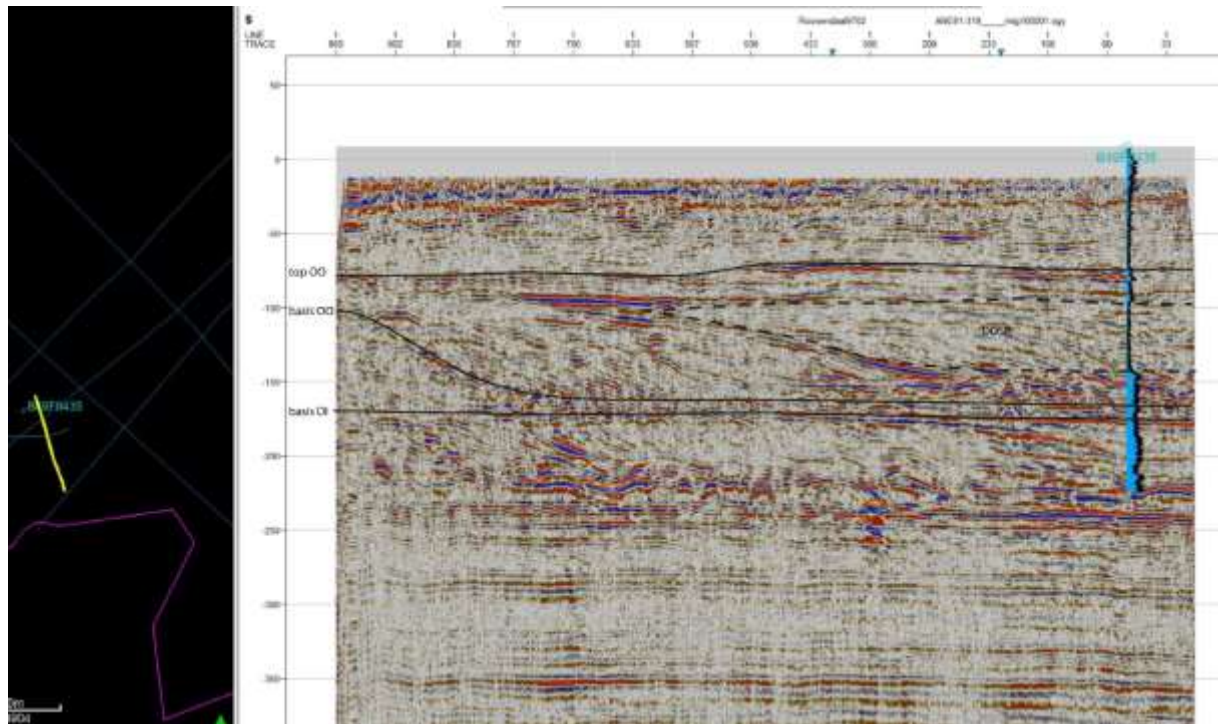


Figuur 16. Vergelijking van de Formatie van Diest (BE) langs een west-oost profiel, vanaf de Antwerpse Kempen naar de Roerdalslenk, met een duidelijke toename in dikte. De formatie bestaat uit verschillende sequenties, die een sterk verschillende dikte-ontwikkeling vertonen, resulterend in lokaal afwijkende logbeelden (indeling Formatie van Diest in boring 031W0237 is cf. Houthuys et al., 2020).





Figuur 17. Uitsnede uit Correlatieprofiel 2 met daarin zichtbaar de abrupte sprong in het grensvlak tussen de Formatie van Diest/Diessen en de Formatie van Oosterhout. De grens is interpreteerbaar op basis van zuiver lithologische criteria in boringen, maar ook duidelijk zichtbaar in seismische data (Figuur 18); bovendien wordt ze chronologisch onderbouwd met biostratigrafische data (Munsterman, 2020).



*Figuur 18. Sterk hellend grensvlak tussen de formaties van Diessen en Oosterhout (NL) zichtbaar op een seismische lijn ten zuiden van Roosendaal, ongeveer ter hoogte van Correlatieprofiel 2 (Figuur 17). Deze structuur wordt geïnterpreteerd als uitbouwende submariene foresets, die jonger worden naar het noordwesten toe. Grensvlakken van beide formaties zijn aangeduid door middel van zwarte lijnen.*

## 13 Modeleenheid Kasterlee

### 13.1. Onderverdeling

De Belgische Formatie van Kasterlee wordt formeel (nog) niet onderverdeeld, maar in het nieuwste voorstel voor herziening van de neogene stratigrafie worden vier leden onderscheiden (Verhaegen & Vandenberghe, 2022); daarvan is vermoedelijk alleen de Lichtaart Member aanwezig in het uiterste zuidoosten van het inventarisatiegebied. In de geologische en hydrogeologische modellen van Vlaanderen (G3Dv3, H3Dv2) wordt de formatie samen met de Formatie van Kattendijk gemodelleerd, als respectievelijk geologische eenheid “formaties van Kattendijk en Kasterlee” en hydrogeologische eenheid “A0240 Kleiige zanden van Kattendijk en Kasterlee”. Omdat in dit project de eenheid afzonderlijk gemodelleerd wordt, is er een nieuwe hydrogeologische code voorgesteld: “A0242 Kleiig zand van Kasterlee”.

In het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied is de eenheid vermoedelijk niet aanwezig; bovendien wordt deze niet onderscheiden in de Nederlandse stratigrafie.

### 13.2. Formatie van Kasterlee (BE)

#### a. Lithologische samenstelling

In het inventarisatiegebied bestaat de Formatie van Kasterlee (Lichtaart Member, Oud-Turnhout facies cf. Verhaegen & Vandenberghe, 2022) uit groenig, sterk glauconiethoudend (tot 30%), goed-gesorteerd fijn zand. De formatie bevat geen kalkhoudende macrofossielen, noch schelpengruis, wat onderscheid met de geometrisch equivalente (maar daarom zeker niet tijdsequivalente) Formatie van Kattendijk toelaat.

#### b. Logsignatuur

In boorgatmetingen wordt de eenheid gekenmerkt door een verhoogde gammastraling en verlaagde resistiviteit ten opzichte van de onderliggende en bovenliggende zandige lagen; in de logsignatuur uit dit zich door een afgeknotte piek (Figuur 19).

#### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

#### d. Bovengrens

In het inventarisatiegebied wordt de Formatie van Kasterlee overdekt door de Formatie van Poederlee (BE). Beide formaties zijn nauwelijks van elkaar te onderscheiden op basis van korrelgrootte, maar de grens is wel duidelijk herkenbaar als het grind van Hukkelberg present is aan de basis van Poederlee. Het glauconietgehalte van de Formatie van Poederlee is duidelijk lager (<5%); dit verklaart ook de afnemende trend in gammalogs.

Op basis van dinocysten associaties is er een duidelijk hiaat waarneembaar tussen de afzettingen van de Formatie van Kasterlee (Mioceen) en die van de Formatie van Poederlee (Plioceen; Louwye & De Schepper, 2010).

#### e. Ondergrens

De Formatie van Kasterlee (BE) ligt disconform op de Formatie van Diest (BE) en wordt daarvan gescheiden door een basisgrind, dat echter meestal ontbreekt of niet wordt waargenomen. Het zand van de Formatie van Diest (BE) is in principe glauconietrijker en grofkorreliger, echter twee kenmerken die nogal variabel zijn (want sterk facieel bepaald, afhankelijk van waar de afzetting zich bevond ten opzichte van de kustlijn) en daarom moeilijk als algemene criteria te gebruiken bij de interpretatie van boorbeschrijvingen. In de praktijk wordt daarom de ondergrens gelegd op basis van boorgatmetingen, onderaan een brede piek in gammastraling (Figuur 19).

#### f. Dikte en verbreiding

Binnen het inventarisatiegebied is de verbreiding van de Formatie van Kasterlee (en meer bepaald de Lichtaart Member, Oud-Turnhout facies) beperkt tot het uiterste zuidoosten van het inventarisatiegebied, in de omgeving van Oud-Turnhout; de dikte bedraagt daar ongeveer 10 m.

#### g. Chronostratigrafische positie

Boven-Mioceen (Louwye et al., 2007; Louwye & De Schepper, 2010).

### 13.3. Discussie/opmerkingen

De Formatie van Kasterlee (BE) is oorspronkelijk gedefinieerd in het ontsluitingsgebied Kasterlee-Lichtaart (De Meuter & Laga, 1976), ten zuidoosten van het inventarisatiegebied. De Formatie van Kasterlee (BE) sluit de sequentie van groene glauconietrijke zanden af en werd van oudsher samen met de (huidige) formaties van Diest en Kattendijk (BE) tot de Diestien étage gerekend. Traditioneel werd de formatie als vroeg-Pliocene beschouwd, maar dit is later op basis van dinoflagellaatcysten gecorrigeerd naar laat-Mioceen, waardoor een tijds onderscheid gemaakt kan worden met de geometrisch lateraal equivalente Formatie van Kattendijk (BE) uit het Pliocene (Louwye et al., 2007).

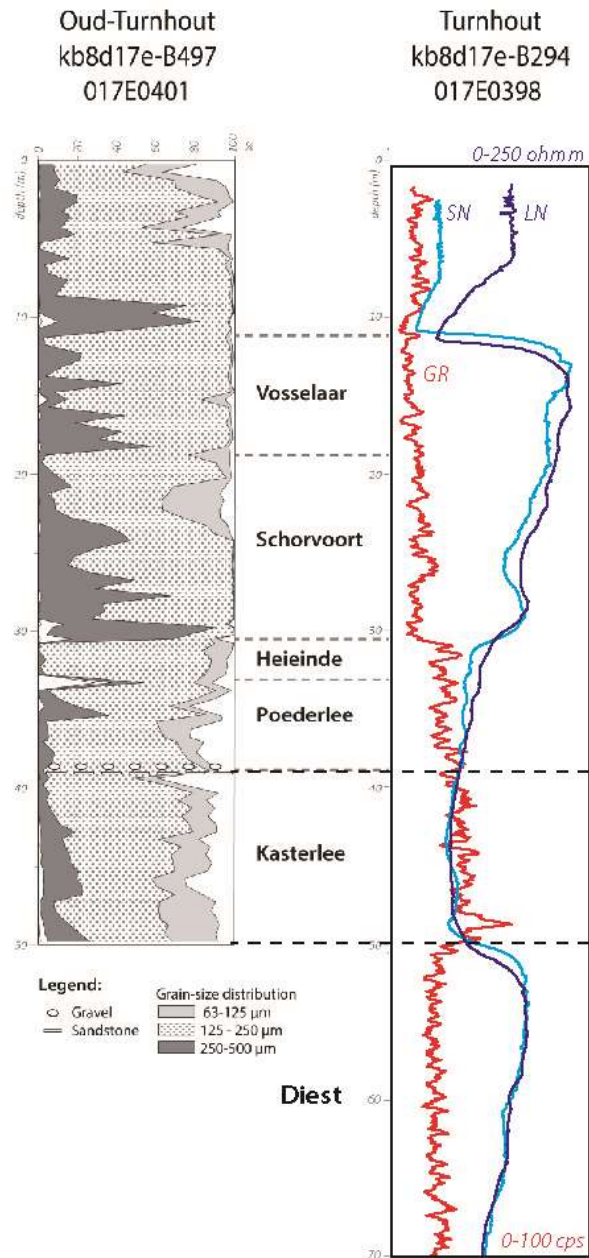
De formatie wordt formeel (nog) niet onderverdeeld, maar ten oosten van typegebied kunnen informeel wel twee pakketten worden onderscheiden: een bovenste zandige deel en een onderste kleiige deel. In de regio Mol werd het zandige deel in detail door Gulinck (1962) beschreven, waarbij hij het kleiige deel nog tot de top van de Formatie van Diest rekende. De tweeledige samenstelling van de Formatie van Kasterlee (BE) heeft tot verschillende interpretatiepraktijken geleid, met name in studies op basis van boorgatmetingen, waarbij ofwel alleen het zandige deel (bijv. Verheyen, 2003) of alleen het kleiige deel (bijv. Welkenhuysen & De Ceukelaire, 2009) werd geïdentificeerd. Vandenberghe et al. (2020) geven een synthese van de verschillende definities en criteria in omloop, hun onderlinge relatie en daarmee samenhangend de onduidelijke lithostratigrafische positie van Kasterlee; zij noemen de twee pakketten respectievelijk “lower Mol or Kasterlee-sensu-Gulinck” en “clayey Kasterlee”.

In project H30-De Kempen werd het kleiige deel als gidshorizont over heel het modelgebied gemodelleerd, terwijl het zandige deel werd samengenomen met de Formatie van Kattendijk (BE)/ Oosterhout (NL, deels). In het huidige project wordt deze tweedeling niet gemaakt, want komt alleen het typische Kasterlee zand voor (“type Kasterlee Sand” cf. Vandenberghe et al., 2020).

In de recente discussietekst voor herziening van de neogene stratigrafie wordt voorgesteld om de Formatie van Kasterlee formeel onder te verdelen in vier leden: het zuidoostelijke, kleiige facies wordt benoemd tot Heist-op-den-Berg Member, het zandige facies wordt afgescheiden en als Retie Member bij de Formatie van Mol gevoegd, en het klassieke Kasterlee-facies in het typegebied wordt benoemd tot Lichtaart Member (Verhaegen & Vandenberghe, 2022).

In de Nederlandse stratigrafie wordt de eenheid niet onderscheiden; in project H30-De Kempen werd het kleiige deel van Kasterlee gecorreleerd met de niet-gedifferentieerde top van de Formatie van Breda (modeleenheid BR in DGM v2.2), meer specifiek met de hydrostratigrafische eenheid BRk1 (REGIS II v2.2); volgens de nieuwe stratigrafie (cf. Munsterman et al. 2019) zou dit kleiige facies behoren tot de formatie van Diessen.

De Formatie van Kasterlee (BE) werd afgezet in een zeer ondiep marien milieu tijdens een nieuwe transgressie volgend op de zeespiegeldaling na afzetting van de Formatie van Diest (NL). Het basisgrind en de mineralogische kenmerken (Verhaegen et al., 2014) duiden op een belangrijke herwerking van de onderliggende afzettingen aan de basis van de formatie (dus aan de basis van het kleiige deel) en wijzen op een emersie en erosiefase. Het sediment bevat bepaalde componenten (algen, phytoklasten, herwerkte microfossielen) die wijzen op aanvoer door rivieren (Louwye et al., 2007). In de meest recente reconstructie van het afzettingmilieu worden de uiteenlopende facies binnen Kasterlee geïnterpreteerd als een prograderend kustbarrièresysteem met daarachter een laguneomgeving (Verhaegen et al., 2020).



Figuur 19. Typeboring en boorgatmeting van het Oud-Turnhout facies van de Formatie van Kasterlee (aangepast overgenomen uit Buffel et al. 2001 en Louwye et al., 2020); met een typisch plateau in de gammalog (017E0398: 39-50 m diepte) en het basisgrind van de Formatie van Poederlee als duidelijke bovengrens (017E0401: op 39 m diepte).

# 14 Modeleenheid Kattendijk-Lillo-Oosterhout

Deze modeleenheid omvat de ondiep mariene, glauconiethoudende afzettingen uit het Pliocen.

## 14.1. Onderverdeling

In België omvat deze modeleenheid de Formatie van Kattendijk tot en met het centrale deel van de Formatie van Lillo (leden van Luchtbal, Oorderen en Kruisschans). In het geologisch model G3Dv3 wordt de Formatie van Kattendijk gecombineerd met de Formatie van Kasterlee, terwijl de eerdergenoemde leden van de Formatie van Lillo zijn verdeeld over twee modeleenheden (de leden van Luchtbal en Oorderen samen en het Lid van Kruisschans afzonderlijk); in het hydrogeologisch model H3Dv2 zijn dit de modeleenheden “A0240 Kleiige zanden van Kattendijk en Kasterlee”, “A0225 Zanden van Oorderen en Luchtbal” en “A0224 Kleilig zand van Kruisschans”. Omdat in dit project de Formatie van Kattendijk als afzonderlijke eenheid gemodelleerd wordt, is er een nieuwe hydrogeologische code voorgesteld: “A0227 Zand van Kattendijk.

In Nederland omvat deze modeleenheid de Formatie van Oosterhout, verder onderverdeeld in de laagpakketten van Goirle, Tilburg (nieuwe eenheden, voorstel bij de Nederlandse stratigrafische commissie, voorheen deel van de Formatie van Breda), Sprundel en Wouw; en deels niet gedifferentieerd. In het geologisch model DGM v2.2 correspondeert deze eenheid met de modeleenheden OO en BR (bovenste deels, niet gedifferentieerd); in het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 wordt binnen de Formatie van Oosterhout één kleilaag (het Laagpakket van Wouw, OOk1) en een complexe eenheid (groepering van zand- en kleilagen, OOc) onderscheiden. In het kader van dit project wordt voorgesteld om de hydrogeologische codering uit te breiden, waarbij alle laagpakketten gedifferentieerd en benoemd worden: OOWOk1, OOSPs1, OOTIk1 en OOGOz1.

## 14.2. Formatie van Kattendijk (BE)/ Formatie van Oosterhout-laagpakket van Tilburg (NL)

### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Kattendijk (BE) bestaat uit dofgrijs tot grijsgroen, fijn tot matig fijn zand. Het zand is relatief glauconietrijk, met een glauconietgehalte van 15 tot 30% en lokaal kleihoudend. Schelpen komen verspreid voor of zijn lokaal geconcentreerd in schelpenbanken. Plaatselijk zijn verweerde *Ditrupe* kalkkokerbuisjes veelvuldig aanwezig; deze zijn diagnostisch voor de formatie. Het aanwezige basisgrind bevat afgeronde kwarts en kiezels, haaiantanden, fossiele botfragmenten en fosforieten (De Meuter & Laga, 1976).

Het laagpakket van Tilburg (NL) bestaat eveneens uit groengrijs glauconietrijk zand, soms kleilig, waarbij de korrelgrootte naar boven toeneemt en slechter gesorteerd is; de afzettingen bevatten sporadisch schelpengruis (Munsterman et al., 2019).

### b. Logsignatuur

Het hogere glauconietgehalte leidt tot typisch hogere gammawaarden dan de bovenliggende Formatie van Lillo, terwijl de resistiviteit lager is.

### c. Seismische interpretatie

Niet van toepassing.

### d. Ondergrens

De Formatie van Kattendijk (BE)/ het laagpakket van Tilburg (NL) ligt discordant op onderliggende formaties:

- in het noordoosten van het inventarisatiegebied op het laagpakket van Goirle (NL), waarbij de overgang gekenmerkt wordt door een afname in glauconiet- en kleigehaltes, en daaraan gekoppelde verlaging van gammawaarden en verhoging van de resistiviteit;
- in het centrale deel van het gebied op de Formatie van Diest (BE)/ Diessen (NL), waarbij de overgang overeenkomt met een systematische, verdere verhoging van het glauconietgehalte, vergroving van de sedimenten en typische afwezigheid van schelpen in onderliggende formatie; op basis van weinig kwalitatieve boorbeschrijvingen is deze grens vaak moeilijk herkenbaar;
- in het uiterste zuidwesten op de Formatie van Berchem (BE)/ Groote Heide (NL), waarbij de overgang gekenmerkt wordt door een sterke toename in glauconietgehalte, donkergroene kleur van het sediment en een karakteristieke, verdere verhoging van de gammawaarden in onderliggende formatie.

**e. Bovengrens**

De Formatie van Kattendijk (BE)/ het laagpakket van Tilburg (NL) wordt bedekt door de Formatie van Lillo (BE) of Oosterhout-ongedifferentieerd (NL), die meer schelpen bevat en gekenmerkt wordt door naar boven toe een afname in glauconietgehalte, in logs geuit door (geleidelijk) afnemende gammawaarden.

**f. Chronostratigrafische positie**

Pliocleen, vroeg-Zancleaan.

**g. Dikte en verbreiding**

De eenheid komt in vrijwel het gehele inventarisatiegebied voor; behalve in het noordwesten (geërodeerd door de diepe crags van de Formatie van Oosterhout) en in het uiterste zuidoosten. De dikte is vrij uniform en bedraagt gemiddeld 5-10 m.

## 14.3. Formatie van Lillo-leden van Luchtbal en Oorderen (BE)/ Formatie van Oosterhout-ongedifferentieerd en Laagpakket van Sprundel (NL)

**a. Lithologische samenstelling**

De lithologische samenstelling van de onderste leden van de Formatie van Lillo (BE) in het typegebied (Haven van Antwerpen) is van oud naar jong (naar de Heinzelin, 1956):

- crags, lokaal 'falun' genoemd (Lid van Luchtbal);
- grijze tot 15% glauconiethoudende licht kleiige, schelpenrijke zanden (Lid van Oorderen).

Verder naar het oosten, in het Vlaamse deel van het inventarisatiegebied kunnen (soms) overeenkomstige facies worden onderscheiden waarvan de correlatie met de formele lithostratigrafische indeling onduidelijk is.

De Formatie van Oosterhout (NL) bestaat uit een afwisseling van matig fijn tot matig grof, glauconiethoudend zand; het Laagpakket van Sprundel omvat de schelpenbanken (crags) binnen deze Formatie (Ebbing & De Lang, 2003).

**b. Logsignatuur**

In boorgatmetingen vertoont deze eenheid relatief lage gamma- en hoge resistiviteitswaarden.

**c. Seismische interpretatie**

N.v.t.

**d. Ondergrens**

De Formatie van Lillo (BE)/ Formatie van Oosterhout-ongedifferentieerd (NL) bedekt discordant de Formatie van Kattendijk (BE)/ het laagpakket van Tilburg (NL), naar het zuidoosten de Formatie van Kasterlee (BE), die beide herkend worden aan hun hogere glauconietgehalte en donkerdere kleur.

**e. Bovengrens**

De eenheid wordt bedekt door het Lid van Kruisschans (BE)/ Laagpakket van Wouw (NL), duidelijk herkenbaar aan het kleiige karakter. In het zuidoosten van het inventarisatiegebied is de indeling binnen de Formatie van Lillo (BE) onduidelijk; bij afwezigheid van het kleiige Lid van Kruisschans (BE)/ Laagpakket van Wouw (NL) is de grens met bovenliggende (equivalent van het) Lid van Merksem (BE)/ de Formatie van Maassluis (NL) onduidelijk.

**f. Chronostratigrafische positie**

Pliocleen, Zancleaan tot Piacenziaan.

**g. Dikte en verbreiding**

Aanwezig in het gehele inventarisatiegebied. In België hebben de Leden van Luchtbal en Oorderen samen een dikte van ongeveer 8 m. In Nederland, net ten noorden van de landsgrens, verdikken het Laagpakket van Sprundel en het ongedifferentieerde deel van de Formatie van Oosterhout abrupt, tot gezamenlijk meer dan 120 m in het noorden van het inventarisatiegebied.

## 14.4. Formatie van Lillo-Lid van Kruisschans (BE)/ Formatie van Oosterhout-Laagpakket van Wouw (NL)

### a. Lithologische samenstelling

Het Lid van Kruisschans (BE) bestaat in het typegebied uit kleirijke zanden met variabele korrelgrootte, kleilenzen en rijk aan schelpfragmenten (naar de Heinzelin, 1956).

Het Laagpakket van Wouw (NL) wordt omschreven als grijze, siltige klei waarin weinig schelpen voorkomen (Ebbing & De Lang, 2003).

### b. Logsignatuur

Door het kleiige karakter duidelijk herkenbaar aan de hand van hoge gamma- en lage resistiviteitswaarden.

### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

### d. Ondergrens

Rust op het Lid van Oorderen (BE), het Laagpakket van Sprundel (NL) of de Formatie van Oosterhout-ongedifferentieerd (NL); duidelijk herkenbaar door de afname in kleigehalte, op logs door de afname in gamma- en toename in resistiviteitswaarden.

### e. Bovengrens

Wordt over het algemeen bedekt door het Lid van Merksem (BE)/ Formatie van Maassluis (NL), in het zuiden lokaal door de Formatie van Merksplas (BE); de overgang wordt gekenmerkt door het scherpe contrast in korrelgrootte (naar fijn tot grofzandig) en een verdere afname van het glauconietgehalte.

### f. Chronostratigrafische positie

Laat-Pliocene, Piacenziaan.

### g. Dikte en verbreiding

Aanwezig in vrijwel het gehele inventarisatiegebied; alleen afwezig in het uiterste zuidoosten. In België heeft het Lid van Kruisschans (BE) een dikte van ongeveer 3 m; in Nederland neemt de dikte van het Laagpakket van Wouw toe tot meer dan 20 m in het noorden van het inventarisatiegebied.

## 14.5. Formatie van Lillo-lid van Poederlee (BE)

### a. Lithologische samenstelling

Het lid (formeel nog Formatie) van Poederlee bestaat in het typegebied uit bleek, groenig getint, licht glauconiethoudend zand met schelpafdrukken, bioturbaties, lokaal kleilensjes en ijzerzandsteenbanken; aan de basis kunnen afgeplatte grindjes voorkomen, het zogenaamde Hukkelberg grind (De Meuter & Laga, 1976).

### b. Logsignatuur

Vrij uniforme matige-hoge gammawaarden als gevolg van de aanwezigheid van glauconiet en kleilensjes; naar boven toename in resistiviteit valt samen met een lichte *coarsening upwards* trend.

### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

### d. Ondergrens

Ligt disconform op de Formatie van Kasterlee; daarvan moeilijk te onderscheiden in boringen (glauconietarmer, daardoor wat lichtere kleur), tenzij het Hukkelberg basisgrind aanwezig is.

### e. Bovengrens

Wordt in het inventarisatiegebied bedekt door de estuariene zanden van de formaties van Merksplas of Malle, die over het algemeen grofkorreliger en glauconietarmer zijn.

### f. Chronostratigrafische positie

Laat-Pliocene, laatste-Zanclean tot midden-Piacenziaan (Louwye & De Schepper, 2010).



### g. Dikte en verbreiding

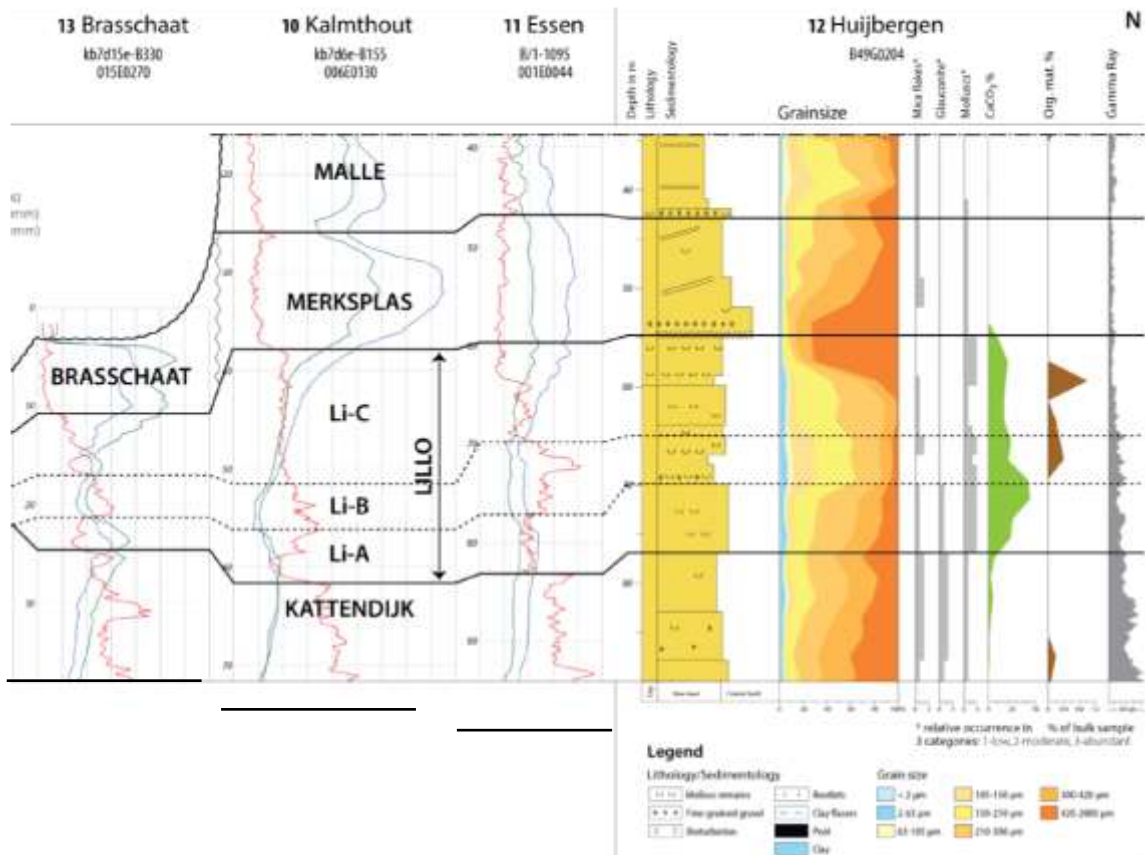
Alleen aanwezig in het zuidoosten van het inventarisatiegebied, beperkt tot het Belgische deel; maximale dikte is 10 m.

## 14.6. Discussie/opmerkingen

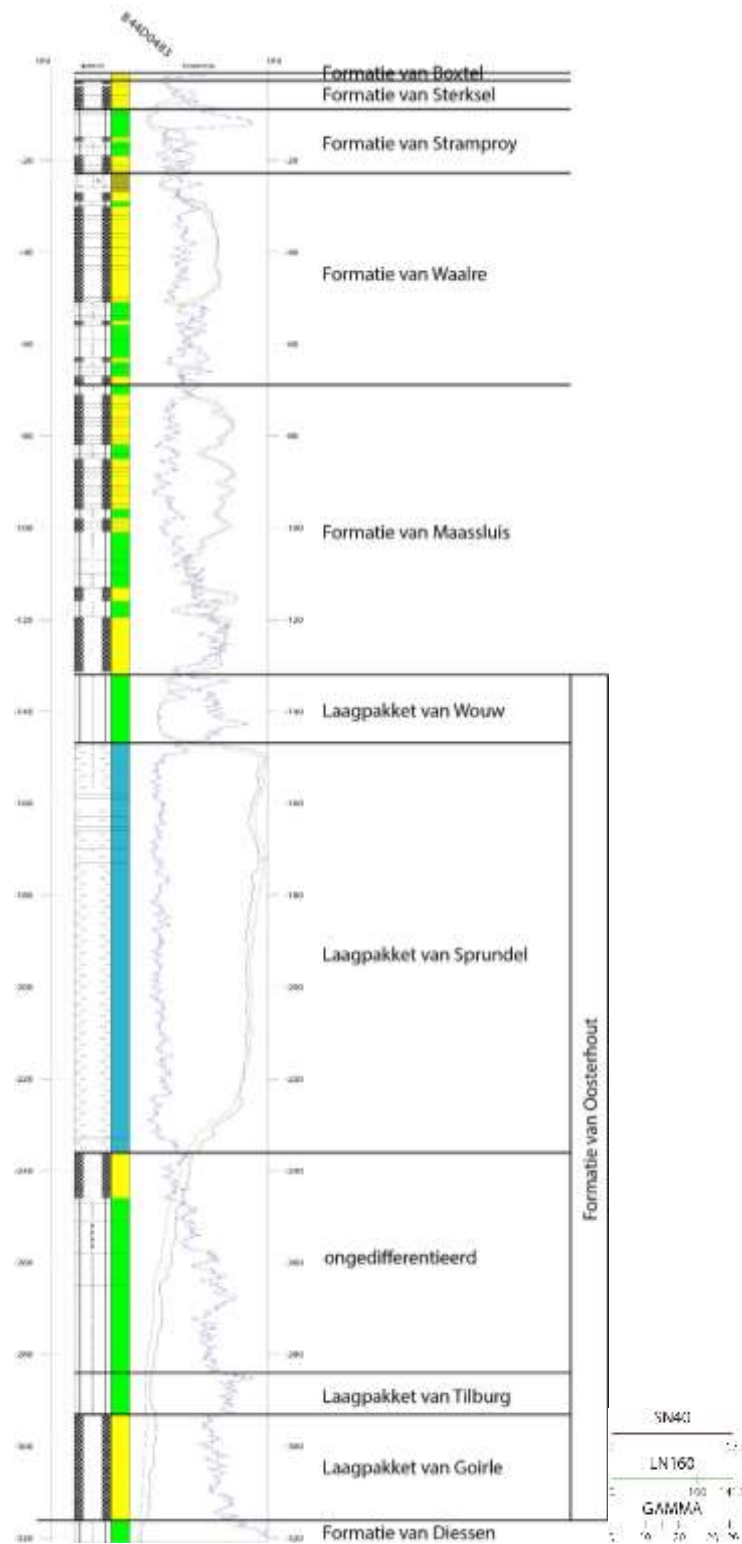
In België correleert het lid (Formatie) van Poederlee met het Lid van Oorderen van de Formatie van Lillo (De Meuter & Laga, 1976; Buffel et al. 2001; Louwye & De Schepper, 2010); de Formatie van Kasterlee is een geometrisch laterale afzetting van de Formatie van Kattendijk, doch zeker ouder (Vandenberghen et al., 2020). Beide lithostratigrafische eenheden zijn ten zuidoosten van het inventarisatiegebied gedefinieerd, maar vertonen minder uitgesproken faciesverschillen binnen het inventarisatiegebied; ook qua logsignatuur sluiten ze bij elkaar aan. Stratigrafisch onderscheid tussen deze sedimentaire eenheden is daardoor complex en op basis van boorbeschrijvingen vaak arbitrair; om die reden werden ze in de praktijk gekarteerd en gemodelleerd samen met respectievelijk de formaties van Lillo en Kattendijk (Schiltz et al., 1993; Deckers et al., 2019). In het laatste voorstel voor herziening van de neogene stratigrafie wordt het zand van Poederlee ingedeeld als lid van de Formatie van Lillo (Louwye et al., 2022).

De mariene formaties van Lillo en Poederlee (BE) worden in zuidoostelijke richting zandiger en gaan lateraal over in de fluviatiele Formatie van Mol (BE). Door zeespiegelschommelingen en tektonische bewegingen heeft deze overgang een vertand karakter (zie project H30-De Kempen).

In Nederland werd de Formatie van Oosterhout ingevoerd door Doppert et al. (1975) ter vervanging van de Belgische formaties van Lillo en Kattendijk. Het holostratotype is gedefinieerd in West-Brabant, net ten noordoosten van het inventarisatiegebied: boring 44D0177 te Oosterhout, traject 106,6-262 m onder maaiveld (Ebbing & de Lang, 2003).



Figuur 20. Correlatiepaneel voor de pliocene eenheden in de Antwerpse Kempen en de Nederlandse boring Huijbergen (naar Louwye et al., 2020 en Westerhoff, 2009), met van boven naar beneden een karakteristieke oplopende trend in de gammastraling. Eenheden Li-A, B and C correleren respectievelijk met de leden van Luchtbal en Oorderen, het Lid van Kruisschans en de leden van Merksem en Zandvliet (Deckers et al., 2020).



Figuur 21. Interpretatie van de Formatie van Oosterhout en laagpakketten in boring B44D0483 (Terheijden, NL), in het uiterste noordoosten van het inventarisatiegebied. De totale dikte van de Formatie bedraagt ruim 200 m; de identificatie van de laagpakketten werd bevestigd op basis van palynologisch onderzoek (Munsterman, 2020).

Tabel 4. Onderverdeling van de vroeg-quartaire modeleenheden in Nederland en België (2 = voorstel voor aanpassing/uitbreiding Nederlandse hydrogeologische indeling en codering, 3 = informele stratigrafische eenheid, conform de Quartairkartering in Vlaanderen, 5 = voorstel voor aanpassing/uitbreiding Vlaamse (hydro) geologische indeling en codering.

NL Stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	NL Geologische modeleenheid	NL Hydrogeol. modeleenheid	BE Stratigrafische eenheid (formatie - lid)	BE Geologische modeleenheid	BE Hydrogeologische modeleenheid
Stramproy - ongedifferentieerd	Stramproy	SYz1	Ravels <sup>3</sup>	Ravels <sup>5</sup>	Zand van Ravels <sup>5</sup>
		SYk1			
	/	/			
Waalre - Woensdrecht	Waalre - Woensdrecht <sup>2</sup>	WAWOk1 <sup>2</sup>	Weelde - Turnhout	Weelde - Beerse en Turnhout <sup>5</sup>	Zandige klei van Turnhout <sup>5</sup>
/		WAWOz2 <sup>2</sup>	Weelde - Beerse		Kleiige zanden van Turnhout en Beerse <sup>5</sup>
Waalre - Hoogerheide	Waalre - Hoogerheide <sup>2</sup>	WAHOk1 <sup>2</sup>	Weelde - Rijkevorsel	Weelde - Rijkevorsel <sup>5</sup>	Zandige klei van Rijkevorsel <sup>5</sup>
/		WAHOz2 <sup>2</sup>			
Waalre - ongedifferentieerd	Waalre - ongedifferentieerd <sup>2</sup>	WAz3 <sup>2</sup>	Malle - Vosselaar	Merksplas en Malle <sup>5</sup>	Zanden van Malle en Merksplas <sup>5</sup>
			Malle - Brasschaat		
			Merksplas		
Maassluis	Maassluis	MSz1	/	/	/
		MSk1			
		MSz2			
		MSk2			
		MSz3/MSz4	Lillo - Merksem en Zandvliet	Lillo - Merksem en Zandvliet	Zanden van Zandvliet en Merksem

# 15 Modeleenheid Merksem & Zandvliet – Maassluis

## 15.1. Onderverdeling

De Nederlandse Formatie van Maassluis wordt formeel niet verder onderverdeeld. In het geologisch model DGM v2.2 en het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 correspondeert de Formatie met modeleenheid MS; binnen het inventarisatiegebied worden daarin twee kleiige eenheden onderscheiden.

In België omvat deze eenheid het bovenste deel van de Formaties van Lillo (de leden van Merksem en Zandvliet). In zowel het geologisch model G3Dv3 als in het hydrogeologisch model H3Dv2 wordt deze eenheid gemodelleerd, als respectievelijk “Leden van Zandvliet en Merksem” / “A0223 Zanden van Zandvliet en Merksem”.

## 15.2. Formatie van Lillo – leden van Merksem en Zandvliet (BE)

### a. Lithologische samenstelling

De lithologische samenstelling van de bovenste leden van de Formatie van Lillo (BE) in het typegebied zijn (naar de Heinzelin, 1956):

- Ontkalkte afzettingen, rijk aan steenbanken (Lid van Zandvliet).
- Schelpenrijke, goed gesorteerde, matig grove grijsgroene zanden (Lid van Merksem).

### b. Logsignatuur

Beide leden worden gekenmerkt door gammastraling die hoger is dan die van de bovenliggende Formatie van Merksplas (BE) en lager dan het onderliggende Lid van Kruisschans (BE); ook de resistiviteit is intermediair tussen deze eenheden, vaak met een opwaarts stijgende trend.

### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

### d. Ondergrens

Scherpe overgang naar onderliggende Lid van Kruisschans (BE, kleilig); als deze kleilaag ontbreekt, is het quasi-onmogelijk om lithologische onderscheid te maken met het onderliggende Lid van Oorderen (BE).

### e. Bovengrens

De overgang wordt gekenmerkt door het vrijwel verdwijnen van glauconiet en het grofkorreliger worden van de zanden in bovenliggende afzettingen.

In logs wordt de bovengrens algemeen gelegd op een stijging in resistiviteit die soms, maar niet altijd, samenvalt met een afname in de gammawaardes naar de grovere en glauconiet-armere zanden van de Formatie van Merksplas (BE). Omdat de Formatie van Lillo grover wordt naar boven toe, is onderscheid met de bovenliggende grove zanden van de Formatie van Merksplas echter niet altijd eenduidig.

### f. Chronostratigrafische positie

Laat-Pliocene.

### g. Dikte en verbreiding

Gemiddeld 11 m dik.

## 15.3. Formatie van Maassluis (NL)

### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Maassluis (NL) bestaat voornamelijk uit kwartzand, 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 gesorteerd, komen zandige kleilagen of kleilagen 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.

#### **b. Logsignatuur**

In het grofzandige facies heeft de Formatie van Maassluis (Merksplas-equivalent?) een hoge resistiviteit, soms met twee pieken. De gammastraling is laag maar vertoont soms een stijgende trend naar de top. Deze logsignatuur is duidelijk verschillend van de onderliggende mariene formaties, die gekenmerkt worden door hoge gammawaarden, en sluit meer aan bij de bovenliggende continentale zandpakketten. Naar het noordwesten van het inventarisatiegebied toe verfijnt de gemiddelde korrelgrootte, verzwakt deze typische logsignatuur en wordt onderscheid met de onderliggende Formatie van Oosterhout (NL) geleidelijk en daarmee ook vager (Figuur 22).

#### **c. Seismische interpretatie**

N.v.t.

#### **d. Ondergrens**

De Formatie van Maassluis ligt overal op mariene afzettingen van de Formatie van Oosterhout (NL). 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, NL) in de top van de Formatie van Oosterhout voorkomt, is de ondergrens scherp.

#### **e. Bovengrens**

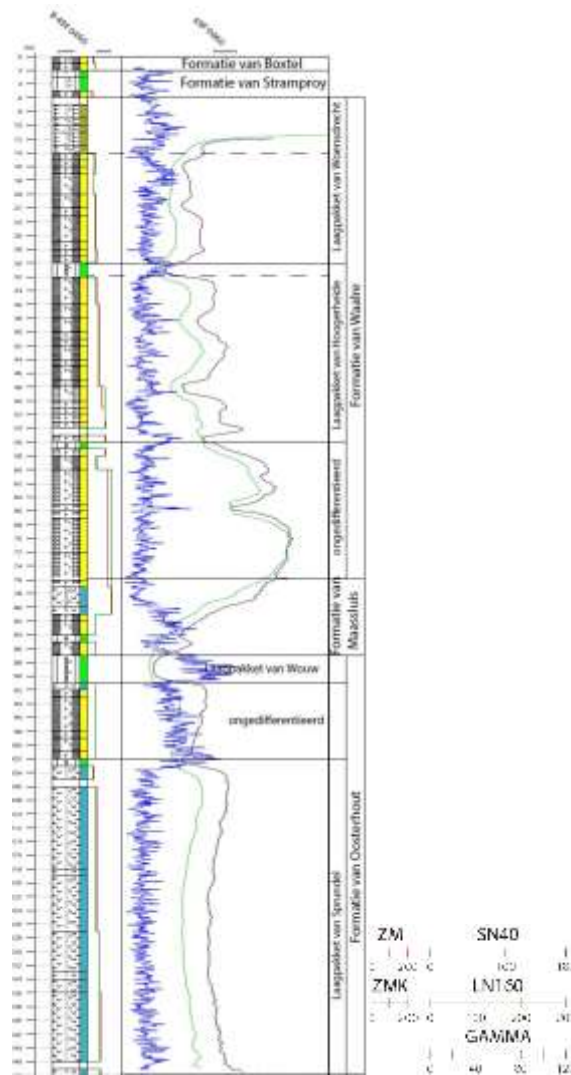
De Formatie van Maassluis wordt doorgaans bedekt door fijnkorrelige fluviatiele zanden en getijde-afzettingen (zanden en kleien) met *fining upwards* cycli van de Formatie van Waalre (NL). Deze grens is doorgaans erosief en de basis van de Formatie van Waalre grofkorrelig; verder wordt deze grens gekenmerkt 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 grens met de Formatie van Maassluis niet altijd duidelijk herkenbaar is.

#### **f. Chronostratigrafische positie**

Vroeg-Pleistoceen (Pretiglien-Tiglien).

#### **g. Dikte en verbreiding**

De Formatie van Maassluis komt in vrijwel het gehele Nederlandse deel van het inventarisatiegebied voor en bereikt een dikte tot 60 m in het noordwesten.



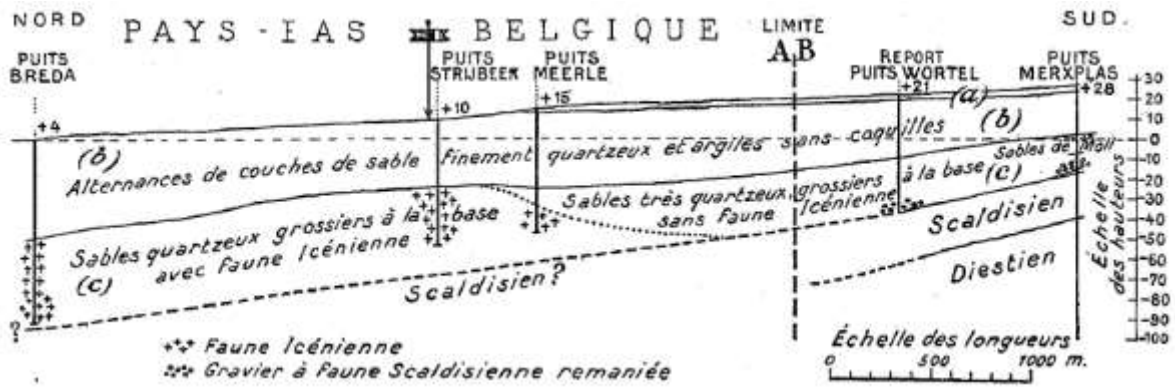
Figuur 22. Interpretatie van de formaties van Maassluis en Waalre in boring B49F0460 (Roosendaal, NL), in het noordwesten van het inventarisatiegebied.

## 15.4. Discussie/opmerkingen

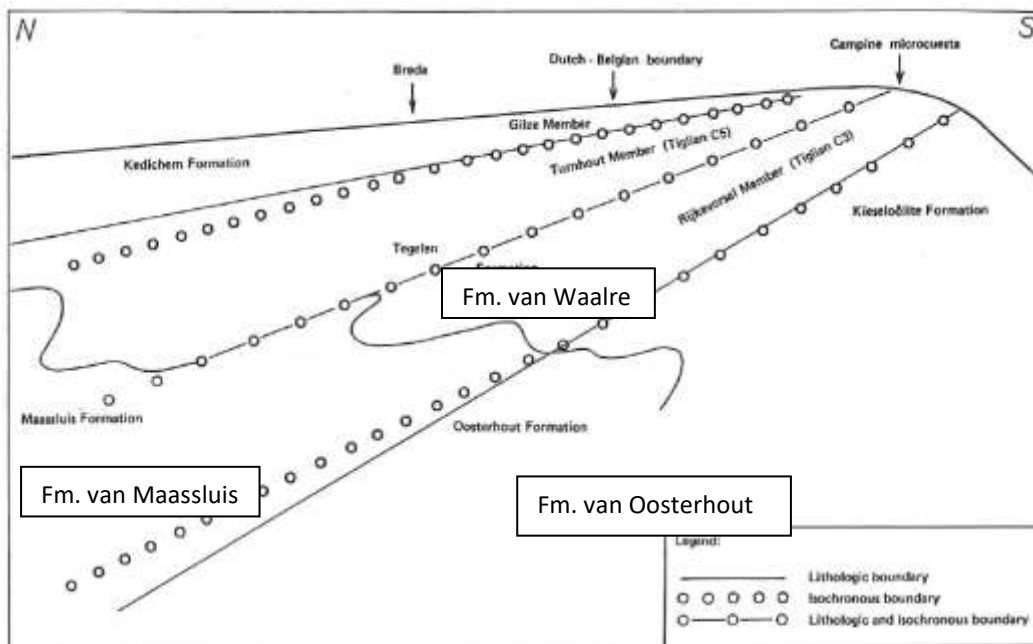
De Formatie van Maassluis is een mariene formatie die in de sedimentaire bekkengeschiedenis aansluit bij de onderliggende eveneens mariene Formatie van Oosterhout. Kenmerkend is een vroeg-pleistocene ‘Icenien’ molluskenfauna, die later werd toegewezen aan het ‘Amsteliën’ (Halet, 1933; Tavernier & de Heinzelin, 1963). Echter, het overeenstemmende Belgische Lid van Merksem wordt gedateerd als laat-Plioceen (De Schepper et al., 2009); de dinoflagellaatcysten associaties hieruit passen eerder bij die in de top van de Formatie van Oosterhout (NL). Recente analyses van mollusken en dinoflagellaatcysten in boring Huijbergen bevestigen een datering in het Piacenziaan (Everaert, Wesselingh et al., in prep).

De formaties van Maassluis en Waalre (NL) gaan lateraal in elkaar over, waarbij de ouderdom van het grensvlak verjongt in noordwestelijke richting (Kasse 1988; Figuur 24).

Wellicht correleert (ook) het schelpenhoudende, grofzandige facies van de Formatie van Merksplas (BE) met de Formatie van Maassluis (NL). Omdat de beide facies van Merksplas in België altijd als één geheel zijn geïnterpreteerd, en hun stratigrafische relatie twijfelachtig is, is eenduidige correlatie op basis van bestaande data en interpretaties niet mogelijk. Daarom wordt de Formatie van Merksplas (BE) in de praktijk als geheel gecorreleerd met het onderste deel van de Formatie van Waalre.



Figuur 23. Noord-zuid sectie tussen Breda en Turnhout (Halet, 1933). De Formatie van Merksplas (BE)/ Maassluis (NL) wordt hier beschreven als grove zanden met vroeg-pleistocene ‘Icenien’ molluskenfauna; daaronder bevindt zich de Formatie van Lillo (BE)/ Oosterhout (NL) = ‘Scaldisien’. De relatie met de formaties van Merksplas en Malle (BE)/ Waalre (NL) is meer complex: deels rust de Formatie van Malle/Waalre (laag ‘b’) bovenop de Formatie van Merksplas/Maassluis, deels komt ze er lateraal van voor (laag ‘c’), maar de Formatie van Merksplas/Maassluis wordt toch als ouder beschouwd (aangegeven door een schijnbare insnijding van de kwartzanden zonder ‘Icenien’ fauna). Daarmee is de Formatie van Merksplas/Maassluis ook lateraal equivalent van de Formatie van Mol (BE)/ Kiezeloöliet Formatie (BE, NL). Deze oudere figuur illustreert daarmee dat de stratigrafische interpretatie van het interval tussen Malle/Waalre en Lillo/Oosterhout op de overgang laat-Plioceen naar vroeg-Pleistoceen al generaties lang complex is gebleven.



Figuur 24. Lithostratigrafische eenheden en isochronen in de laat-pleistocene en vroeg-pleistocene afzettingen van Noord-Brabant (Kasse, 1988).

# 16 Modeleenheid Merksplas, Malle & Weelde – Waalre

## 16.1. Onderverdeling

Binnen het Nederlandse deel van het inventarisatiegebied wordt de Formatie van Waalre onderverdeeld in een onderste, ongedifferentieerde deel en de laagpakketten van Hoogerheide en Woensdrecht. In het geologisch model DGM v2.2 en in het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 correspondeert deze Formatie met modeleenheid PZWA; binnen het inventarisatiegebied worden daarin twee kleiige eenheden onderscheiden. In het kader van dit project wordt voorgesteld om de hydrogeologische codering uit te breiden, zodat beide laagpakketten gedifferentieerd worden, namelijk als WAWO en WOHO (elk met één kleiige eenheid).

In België omvat deze eenheid de formaties van Merksplas, Malle (met de leden van Brasschaat en Vosselaar) en Weelde (met de leden van Rijkevorsel, Beerse en Turnhout). In het geologisch model G3Dv3 worden deze eenheden op formatieniveau gemodelleerd: “Formatie van Merksplas”, “Formatie van Malle” en “Formatie van Weelde”; in het hydrogeologisch model H3Dv2 zijn dit de modeleenheden “A0222 Zand van Merksplas”, “A0221 Kleiig zand van Malle” en “A0210 Klei-zand complex van de Kempen”.

## 16.2. Fm van Merksplas (BE)/ Fm van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel (NL)

### a. Lithologische samenstelling

De Formatie van Merksplas (BE) bestaat uit grijs, medium tot grof heterogeen zand, met silteuze en kleiige lenzen of lagen; eveneens typerend is de aanwezigheid van glauconietkorrels en in mindere mate houtfragmenten. De aard en schikking van de sedimentaire structuren (horizontale, massieve, planaire en trogvormige gelaagdheid, flasers, etc.) en de korrelgroottedistributie wijzen op sedimentatie in een estuarien afzettingmilieu, meer bepaald in het meer landinwaartse deel, in het fluviatiel estuarien gedeelte (Bogemans, 1994).

Lokaal komt aan de basis van de Formatie een marien-schelpenhoudend facies voor, dat verder uit vergelijkbaar basismateriaal bestaat, hoewel over het algemeen wat fijner en beduidend minder vaak flasers en kleiige lagen voorkomen (Bogemans, 1994).

In Nederland varieert de korrelgrootte in het basale deel van de Formatie van Waalre (NL) van uiterst grof, grindhoudend zand tot klei en silt (dit in tegenstelling tot het bovenste deel van de Formatie, die uit fijnere zand-klei cycli bestaat; Westerhoff & Weerts, 2003).

### b. Logsignatuur

In boorgatmetingen wordt dit facies gekenmerkt door lage gammawaarden en een (matig) hoge resistiviteit; de waarden lijken intermediair tussen de bovenliggende, zuiverdere zanden en onderliggende glauconiethoudende afzettingen.

### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

### d. Ondergrens

Rust scherp/erosief op de Formatie van Lillo-leden van Merksem en Zandvliet (BE); meestal is de grens duidelijk op basis van verschil in textuur (fijner, homogener zand) en mineralogie (glauconiethoudend).

In het zuiden en zuidwesten van het inventarisatiegebied (in België) heeft het erosief contact aan de basis van de Formatie plaatselijk het bovenste deel van de Formatie van Lillo (leden van Merksem en Zandvliet) opgeruimd; daar ligt ze direct op het onderste deel van de Formatie van Lillo, waarvan het hogere glauconietgehalte, het voorkomen van schelpen en de doorgaans kleirijke top een duidelijk onderscheid toelaten, in het bijzonder als de top kleiig is (Lid van Kruisschans).

In noordwestelijke richting (in Nederland) gaan de formaties van Waalre en Maassluis lateraal in elkaar over en komen inschakelingen voor; de grens is dan vaak geleidelijk van aard. Belangrijke lithologische kenmerken die als hulpmiddel voor het vaststellen van deze grens gebruikt worden zijn: de gemiddeld grotere korrelgrootte van



de zanden, en de aanwezigheid van kenmerkende schelpen en zandige kleilagen in de Formatie van Maassluis (Westerhoff & Weerts, 2003).

#### e. Bovengrens

De bovengrens wordt gevormd door de fijner-zandige afzettingen van de Formatie van Malle-Lid van Brasschaat (in Nederland is deze grens niet gedefinieerd). In zowel boormonsters als in boorgatmetingen is deze grens niet altijd eenduidig te bepalen op basis van de afname in korrelgrootte naar boven toe; het Lid van Brasschaat (BE) bevat onderaan soms ook grovere zandfracties en kleilagen, ingevolgd herwerking.

#### f. Chronostratigrafische positie

Er bestaat weinig eensgezindheid over de chronostratigrafische positie van de Formatie van Merksplas (BE) in de literatuur, maar meest waarschijnlijk lijkt een laat-pliocene of pretigliane ouderdom (Bogemans, 1994; Al-Silwadi, 2017). Recente analyse van mollusken in het schelpenhoudende facies wijzen dan weer op een vroeg-quartaire (Gelasiaan) datering (Everaert, Wesselingh et al., in prep).

#### g. Dikte en verbreiding

De Formatie van Merksplas (volledig) heeft in het Belgische deel van het inventarisatiegebied een dikte van 0 tot maximaal 25 meter. In Nederland, in het noordwesten van het inventarisatiegebied, bereikt het onderste, ongedifferentieerde deel van de Formatie van Waalre in totaal (dus inclusief het deel equivalent van het Lid van Brasschaat) een dikte van meer dan 30 m.

## 16.3. Fm van Malle (BE)/ Fm van Waalre – ongedifferentieerde onderste deel (NL)

#### a. Lithologische samenstelling

In Nederland bestaat het onderste (ongedifferentieerde) deel van de Formatie van Waalre uit een menging van matig fijn tot matig grof (soms tot uiterst grof en grindhoudend), kwartsrijk en glimmerhoudend zand.

Het Lid van Brasschaat (BE) bestaat overwegend uit bleek, zeer fijn tot middelmatig fijn zand, afgezet in één of meerdere *fining upwards* cycli; de zanden bevatten naast de typerende mineralen zoals glimmers en glauconiet ook veenbrokken, plantenresten en houtfragmenten. Op basis van sedimentaire structuren kunnen verschillende afzettingmilieus binnen een estuarium worden onderscheiden (wad- en geultypes). Plaatselijk (omgeving Malle-Beerse) komt een belangrijk kleipakket voor, die op basis van kleur duidelijk te onderscheiden is van de klei van Rijkevorsel (donkerbruin vs. blauw).

Het Lid van Vosselaar (alleen in België, boven het Lid van Brasschaat) bestaat uit grijs fijn tot matig fijn zand met sterke silt bijmenging, afgezet in meerdere *fining upwards* cycli, meestal met een kleiige top, die plantenresten of veen kan bevatten; wat betreft mineralogie is glauconiet vrij frequent aanwezig maar in zeer lage hoeveelheden, glimmers zijn zeldzaam. Sedimentaire structuren (schuine en horizontale gelaagdheid, convoluties) wijzen op een afzetting door een vlechtend riviersysteem (Bogemans, 1994).

#### b. Logsignatuur

In boorgatmetingen wordt het Lid van Brasschaat (BE)/ Formatie van Waalre-ongedifferentieerde onderste deel (NL) gekenmerkt door lage gamma- en (zeer) hoge elektrische weerstandswaarden – deze zijn indicatief voor zuivere zanden met weinig kleibijmenging (Figuur 25, Figuur 26). Sporadisch aanwezige kleilagen zijn herkenbaar aan (scherpe) pieken in de gamma- en lagere resistiviteitswaarden. Het Lid van Vosselaar (BE) wordt gekenmerkt door een meer wisselende logsignatuur, afhankelijk van de aanwezigheid van silt bijmenging en kleilagen.

#### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

#### d. Ondergrens

Scherpe en erosieve grens met onderliggende eenheden (in België: Formatie van Merksplas of Formatie van Lillo; in Nederland: ongedifferentieerd). Als de eenheid op de Formatie van Merksplas (schelpenarme deel) ligt, dan is de grens in (spoel-) boringen meestal niet eenduidig te bepalen aan de hand van de toename in korrelgrootte; bovendien kunnen door de erosieve fase de basisafzettingen van het Lid van Brasschaat wat grover zijn; in boorgatmetingen is deze grens vaak niet of nauwelijks te bepalen.

Als de eenheid op de Formatie van Merksplas (schelpenhoudende deel) ligt, dan is de grens zichtbaar dankzij de toename in korrelgrootte én aanwezigheid van schelpenresten. Als de eenheid op de Formatie van Lillo ligt, dan

is de grens duidelijker herkenbaar aan de hand van de toename in glauconietgehalte, verfijning van het sediment en aanwezigheid van schelpenresten in de onderliggende sedimenten; in boorgatmetingen wordt deze grens gekenmerkt door een geleidelijke of abrupte afname in de resistiviteit en (meestal) een kleine toename in de gammawaarden (Figuur 25, Figuur 26).

#### **e. Bovengrens**

De bovengrens is in principe scherp, maar, zoals eerder aangegeven, niet altijd eenduidig vast te stellen op basis van boormonsters als de bovenliggende eenheid tot het Lid van Rijkevorsel (BE)/ Laagpakket van Hoogerheide (NL) behoort. Algemeen wordt deze grens gekenmerkt door een opwaartse toename in kleigehalte en verfijning van het sediment.

In het zuiden en zuidwesten van het inventarisatiegebied wordt de eenheid bedekt door de Formatie van Gent (BE)/ Boxtel (NL); het contrast met de zanden van het Lid van Brasschaat (als het Lid van Vosselaar ontbreekt) is duidelijk en scherp op basis van korrelgrootte en kleur; onderscheid met het Lid van Vosselaar (indien aanwezig), is moeilijker, maar wel duidelijk in gestoken boringen.

#### **f. Chronostratigrafische positie**

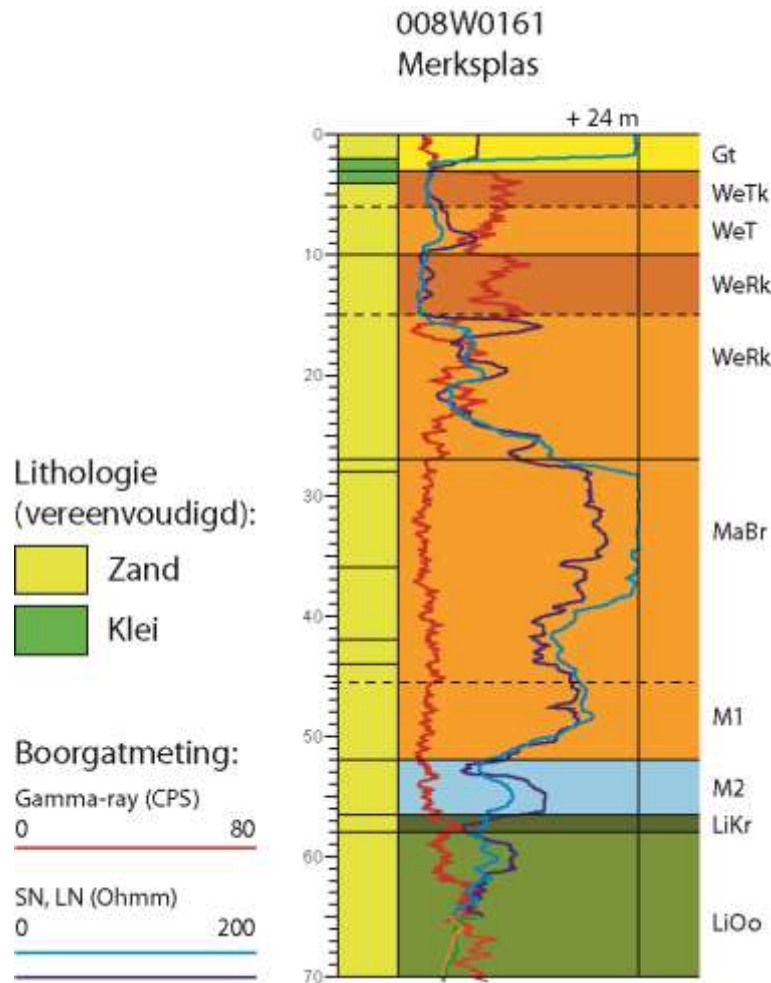
De afzettingen werden vermoedelijk tijdens het vroeg-Tigliaan gevormd (Bogemans, 1999), hoewel geen directe dateringen beschikbaar zijn.

#### **g. Dikte en verbreiding**

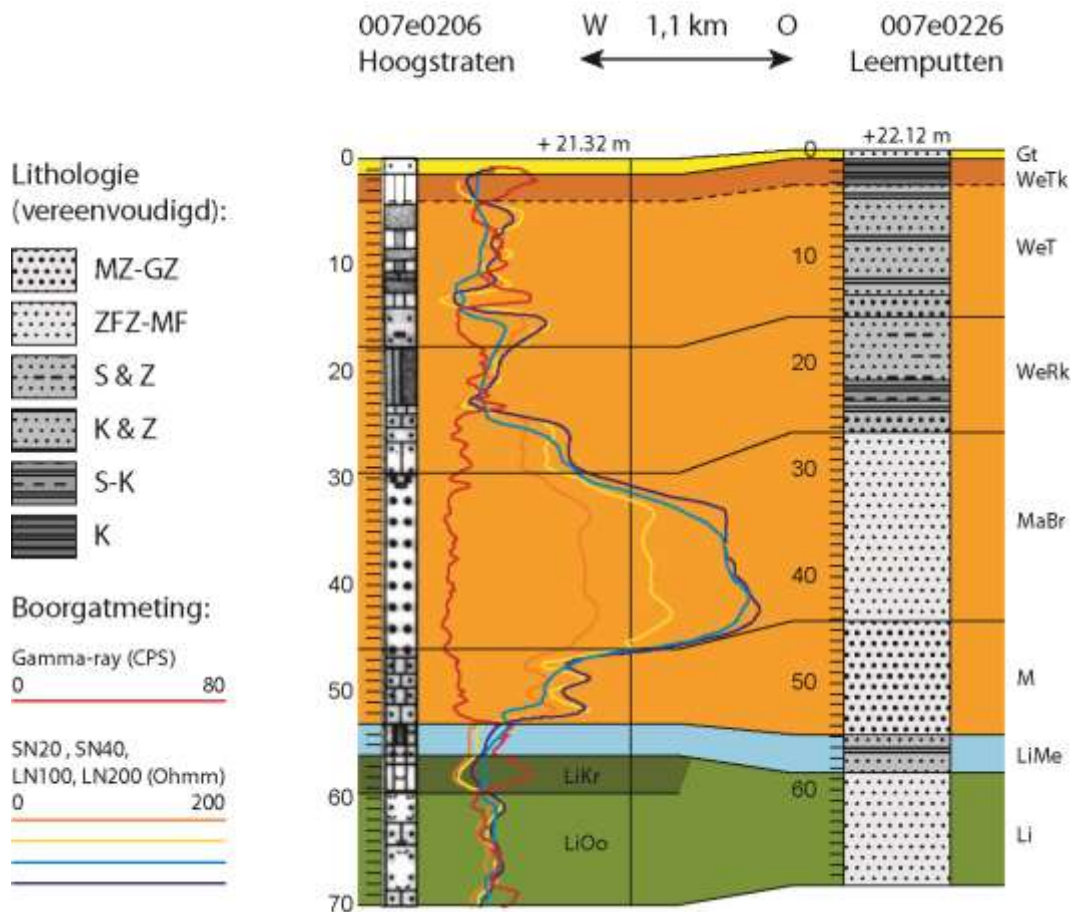
De dikte van het onderste, ongedifferentieerde deel van de Formatie van Waalre kan in totaal (dus inclusief het equivalenten deel van de Formatie van Merksplas) een dikte van meer dan 30 m bereiken in het noordwesten van het inventarisatiegebied.

De dikte van het Lid van Brasschaat (BE) bereikt maximaal 30 m in het noordwesten van het Belgische inventarisatiegebied.

De dikte van het Lid van Vosselaar (BE) bedraagt maximaal 9 m; het voorkomen is beperkt tot langs de zuidrand van het inventarisatiegebied.



*Figuur 25. Boring 008W0161 (PIDPA-put Merksplas, BE) met karakteristieke logsignatuur, waarbij duidelijk onderscheid is tussen de formaties van Merksplas en Malle, met lage gamma- en hoge weerstandswaarden over het hele interval, en de Formatie van Weelde daarboven, met variabele waarden en naar boven toe geleidelijk stijgende gammastraling. De grens tussen lithostratigrafische eenheden wordt steeds gelegd op niveaus waar een trendverandering optreedt (knik in de logs), als indicator voor de overgang tussen opeenvolgende sequenties. De basis van de Formatie van Merksplas bevindt zich op het niveau waarboven de gammastraling plotseling afneemt (de onderliggende Formatie van Lillo is glauconiethoudend, kleiig en bevat grove schelpenresten – kenmerken die in de spoelmonsters waarneembaar zijn; het typische fijnzandige facies van het Lid van Merksem ontbreekt hier). De overgang van schelpenhoudend (M2) naar schelpenarm facies (M1) binnen de Formatie van Merksplas wordt gelegd op het niveau van een kleine sprong in gammawaarden (volgens boorbeschrijving hier verdere afname van glauconietgehalte en verdwijnen van schelpengruis). De grens tussen de formaties van Merksplas en Malle-Lid van Brasschaat wordt (enigszins arbitrair) gelegd op het niveau waar een knik in de logs zichtbaar is (volgens de spoelmonsters overgang van grof, heterogeen zand met kleibrokjes naar fijner, homogener zand). De grens tussen de formaties van Malle en Weelde wordt gelegd op het niveau waar de gammalog overgaat van stabiel lage waarden naar een geleidelijk stijgende trend (in spoelboringen is deze grens onduidelijk, maar valt samen met het langzaam verschijnen van kleibrokjes in de monsters). Het Lid van Rijkevorsel bestaat uit een afwisseling van meer kleiige en zandige lagen (pieken en dalen in de logs), doch vertoont gemiddeld een fining upwards trend; het Lid van Turnhout tenslotte omvat in deze boring één fining upwards sequentie (eindigend in een kleilaag bovenaan), herkenbaar aan een stijgende trend in de gammalog.*



Figuur 26. Interpretatie en correlatie tussen Belgische boringen 007E0206 (Hoogstraten, met boorgatmetingen) en 007E0226 (Rijkevorsel-Leemputten, gestoken). In boring Leemputten bestaat de Formatie van Merksplas (44.2-54.8 m) uit matig grof tot zeer grof, licht glauconiethoudend zand met kleilagen en houtresten; deze eenheid wordt gecorreleerd met het interval 46-53 m in boring Hoogstraten, dat aan de basis een abrupte terugval in gammawaarden (en toename in resistiviteit) vertoont, gevolgd door een geleidelijk verdere daling naar boven toe. Het Lid van Brasschaat bestaat voornamelijk uit silthoudend zeer fijn tot matig fijn, glimmerhoudend zand met veelvuldig silteuze zones, soms kleilagen en vegetatieresten (26.5-44.2 m, boring Leemputten); in de boorgatmetingen vertoont deze eenheid constant lage gamma- en hoge resistiviteitswaarden (29.5-46 m, boring Hoogstraten). De Formatie van Weelde bestaat uit een kleiig-zandig complex, met alternerend siltig fijn tot zeer fijn zand, silt- en kleilagen; de basis van de leden van Rijkevorsel en Turnhout wordt gelegd onderaan opeenvolgende fining upwards sequenties (respectievelijk op 15.6 en 26.5 m diepte in Leemputten, 18 en 29.5 m in Hoogstraten).

## 16.4. Fm van Weelde (BE)/ Fm van Waalre – Laagpakketten van Hoogerheide & Woensdrecht (NL)

### a. Lithologische samenstelling

De laagpakketten van Hoogerheide en Woensdrecht (NL) bestaan uit fijn tot matig grof glimmerhoudend zand, met aan de top vaak een zwak siltige kleilaag van enkele meters dikte; beide eenheden zijn opgebouwd uit een aantal gestapelde *fining upwards* cycli, met een algemeen afnemende korrelgrootte naar boven toe (Kasse, 1988, 1990; Westerhoff & Weerts 2003).

In België komen deze afzettingen overeen met de leden van Rijkevorsel en Turnhout van de Formatie van Weelde: een kleiig-zandig complex, bestaande uit verschillende sedimentatiecycli, waarbij de kleiige fractie

domineert, maar die over het algemeen zandiger wordt naar het noorden en noordwesten toe (Kasse, 1988; Bogemans, 1994). In België wordt verder nog het Lid van Beerse tot de Formatie van Weelde gerekend; deze bestaat uit fijne zanden met venige horizonten en cryoturbate verschijnselen (Bogemans, 1994).

De eenheid omvat verschillende lithofaciëstypen, die kenmerkend zijn voor sedimentatie in een getijdenomgeving (Kasse, 1988; Bogemans, 1994; Westerhoff & Weerts; 2003):

- Getijdengeulafzettingen, bestaande uit zandige sequenties met karakteristieke sedimentaire structuren (kruisgelaagdheid, flaser bedding, etc.; Figuur 27).
- Oever- en crevasseafzettingen, opgebouwd uit een kleinschalige afwisseling van zand- en kleilagen.
- Geulopvullingen, gevormd in verlaten meanders, met een afwisseling van klei- en dunne zandlagen.
- Wadplataafzettingen, bestaande uit gelamineerde of massief-gelaagde klei en venige lagen, naar onder toe geleidelijk overgaand in sterk gelaagde afzettingen met afwisselend dunne zand- en kleilaagjes (Figuur 28).

Het Lid van Beerse (alleen in België aanwezig, tussen de leden van Rijkevorsel en Turnhout) omvat ook een verscheidenheid aan lithofaciëstypen, maar die kenmerkend zijn voor sedimentatie in een eolisch-fluviaal milieu; ze bestaan uit fijnzandige tot lemige sequenties met veenlaagjes, fossiele bodems, vorstscheuren en cryoturbate deformatiestructuren (Kasse, 1988; Bogemans, 1994; Figuur 29, Figuur 30).

## b. Logsignatuur

In boorgatmetingen zijn de sedimentatiecycli vaak goed herkenbaar, met naar boven toe oplopende gammawaarden (Figuur 25, Figuur 26, Figuur 31); met name het bovenste kleipakket is lateraal goed vervolgbaar. De log-signatuur kan afwijken omwille van intense post-sedimentaire verstoring zoals cryoturbaties.

## c. Seismische interpretatie

N.v.t.

## d. Ondergrens

Alle laagpakketten/leden binnen deze eenheid hebben een scherpe, erosieve basis. De onderlinge grenzen zijn duidelijk herkenbaar door het contrast in korrelgrootte als deze samenvallen met de grenzen van opeenvolgende *fining upwards* sequenties; echter, wanneer de kleiige top ontbreekt, kan de grens moeilijk interpreteerbaar zijn. Afhankelijk van de intensiteit van voorafgaande erosie ligt deze eenheid in België op de Formatie van Malle of op de Formatie van Merksplas.

Afhankelijk van de lithologische opeenvolging en de kwaliteit van boormonsters is de ondergrens vaak moeilijk exact vast te stellen. In de praktijk wordt in België in (spoel-) boringen als ondergrens het niveau aangehouden waarop de kleifractie vrijwel geheel verdwijnt, als indicatie voor de overgang van afwisselend klei- en zandlaagjes naar vrijwel zuiver zand van het onderliggende Lid van Brasschaat of Formatie van Merksplas; in de archiefgegevens van de BGD wordt meestal dit niveau aangeduid als grens tussen het "Zand en Klei van de Kempen" en de "Formatie van Merksplas" (cf. interpretaties door M. Gulinck, P. Laga en K. Notebaert). In boorgatmetingen correspondeert dit met het niveau waarop de gammawaarden een vrijwel constant laag niveau en de resistiviteit een hoog niveau bereiken (Figuur 25, Figuur 26). Naar het noordwesten (omgeving Kalmthout-Essen) worden de afzettingen van het Lid van Rijkevorsel zandiger en is daardoor de ondergrens minder duidelijk herkenbaar (Figuur 32 **Error! Reference source not found.**); lokaal kan de ondergrens onduidelijk zijn wanneer het onderliggende Lid van Brasschaat kleiige lagen bevat.

## e. Bovengrens

In het grootste deel van het gebied ligt de Formatie van Weelde (BE)/Waalre (NL) onder zandige afzettingen van de formatie van Ravels (BE)/Formatie van Stramproy (NL) of van de Formatie van Gent (BE)/Boxtel (NL); het contrast is meestal duidelijk en scherp, vanwege het contrast in korrelgrootte (als de top kleiig is), kleur en mineralogie (als de top zandig en glimmerhoudend is). Op boorgatmetingen uit dit zich door sterk verlaagde gammawaarden van de gebleekte zanden van de formatie van Ravels (BE)/Formatie van Stramproy (NL) (Figuur 39, Figuur 31). Soms is de top verstoord als gevolg van cryoturbate deformaties.

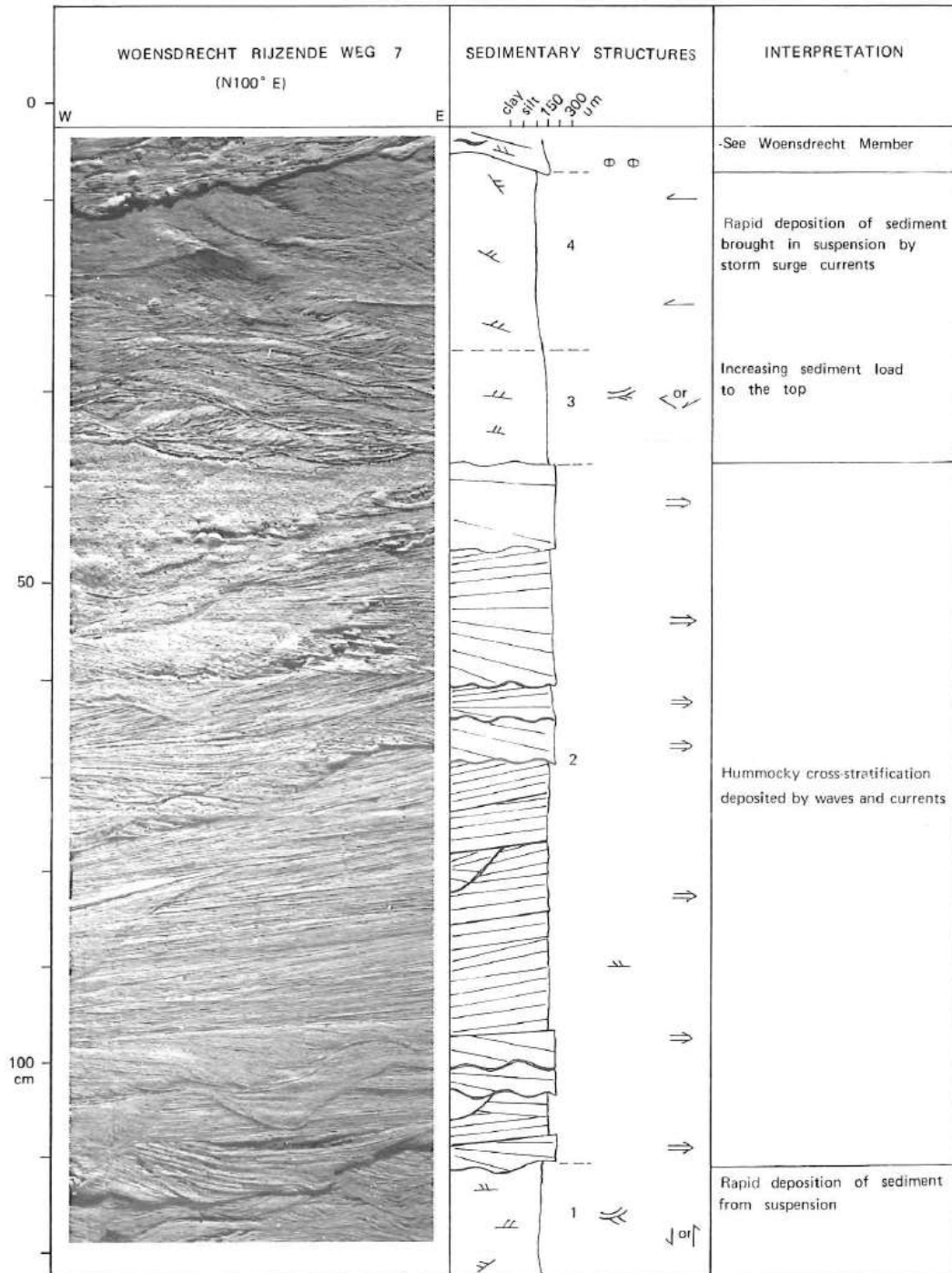
Lokaal, in het uiterste noordwesten van het inventarisatiegebied, ligt de Formatie van Weelde (BE)/Waalre (NL) onder de Formatie van Koewacht (NL); ook hier is het contrast scherp en herkenbaar aan de verandering in korrelgrootte (kleigehalte) en mineralogie (glimmers).

## f. Chronostratigrafische positie

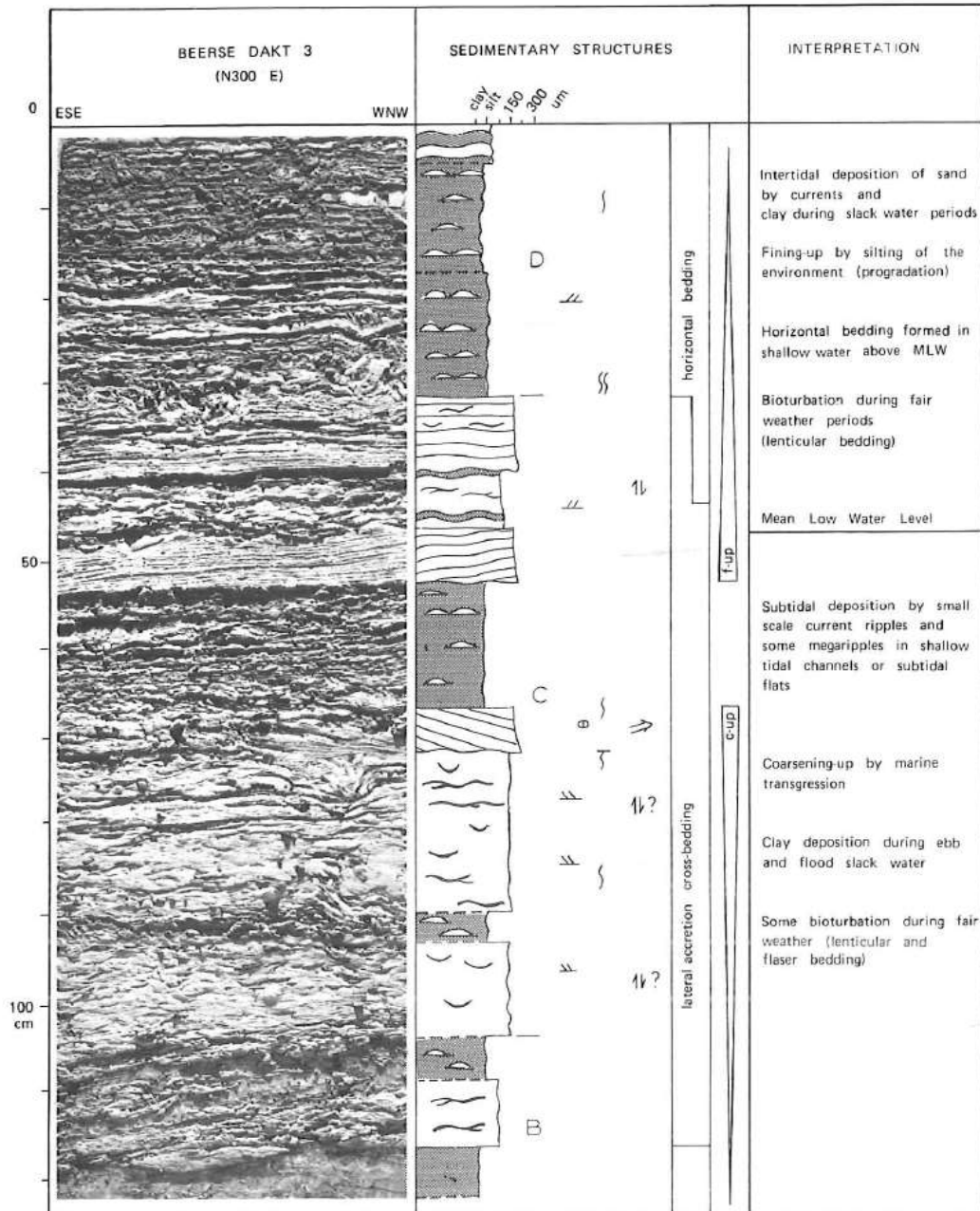
Tigliaan.

**g. Dikte en verbreiding**

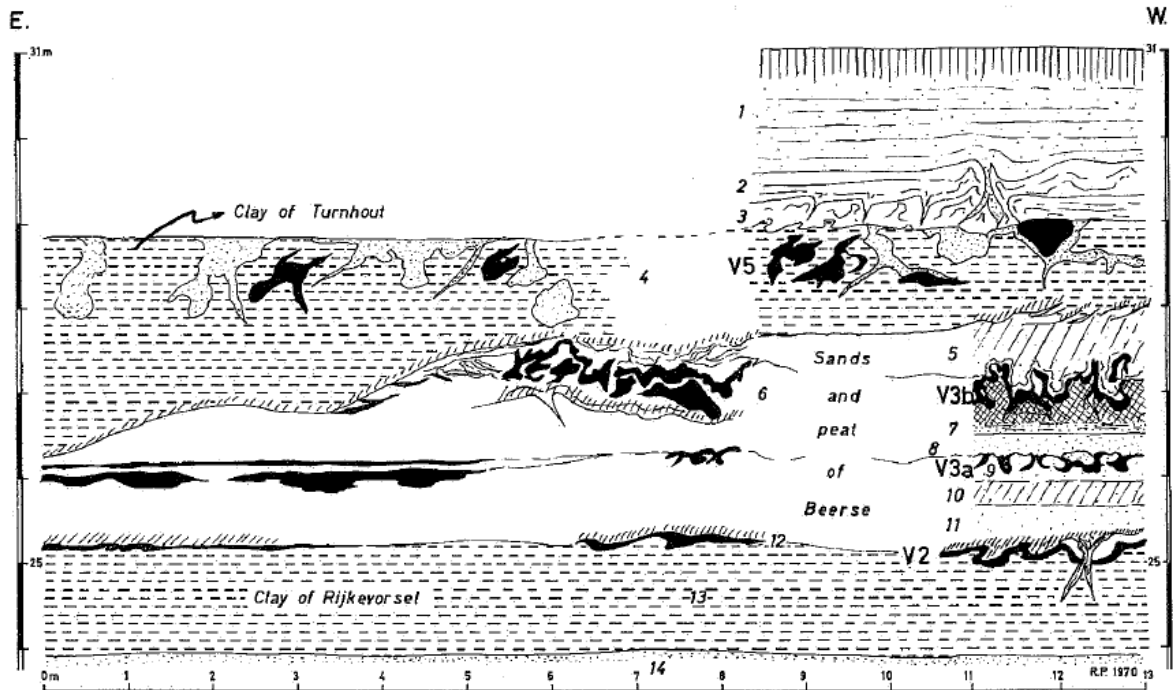
In België variëren de diktes van de leden van Rijkevorsel en Turnhout elk tussen de 5-10 m in het zuiden (ontginningsgebied van de kleien, omgeving Beerse-Rijkevorsel), verder toenemend naar het noorden, tot samen meer dan 30 m; in Nederland bereiken de diktes van de laagpakketten van Woensdrecht en Hoogerheide respectievelijk meer dan 30 en 40 m in het noordelijke deel van het inventarisatiegebied. De verbreiding van de eenheid wordt begrensd door de Kempense microcuesta en Brabantse Wal in het zuiden en westen. Het Lid van Beerse (BE) komt slechts lokaal voor in het zuiden en heeft een beperkte dikte van maximaal 3 m.



Figuur 27. Grofzandig sediment met karakteristieke kruisgelaagdheid en klimmende ribbels, gevormd onder invloed van getijden en golfwerking; typerend voor het meer zeewaartse deel van een estuarium. Opname van het Laagpakket van Hoogerheide (NL) in groeve Woensdrecht-Rijzende Weg (Kasse, 1988: Hoogerheide Member).



Figuur 28. Lenticular en flaser bedding met zwakke sporen van bioturbatie gevormd in een getijdenomgeving; typerend voor het meer landinwaartse deel van een estuarium. Opname van het Lid van Rijkevorsel (BE) in kleigroeve Beerse-Dakt (Kasse, 1988: Rijkevorsel Member).

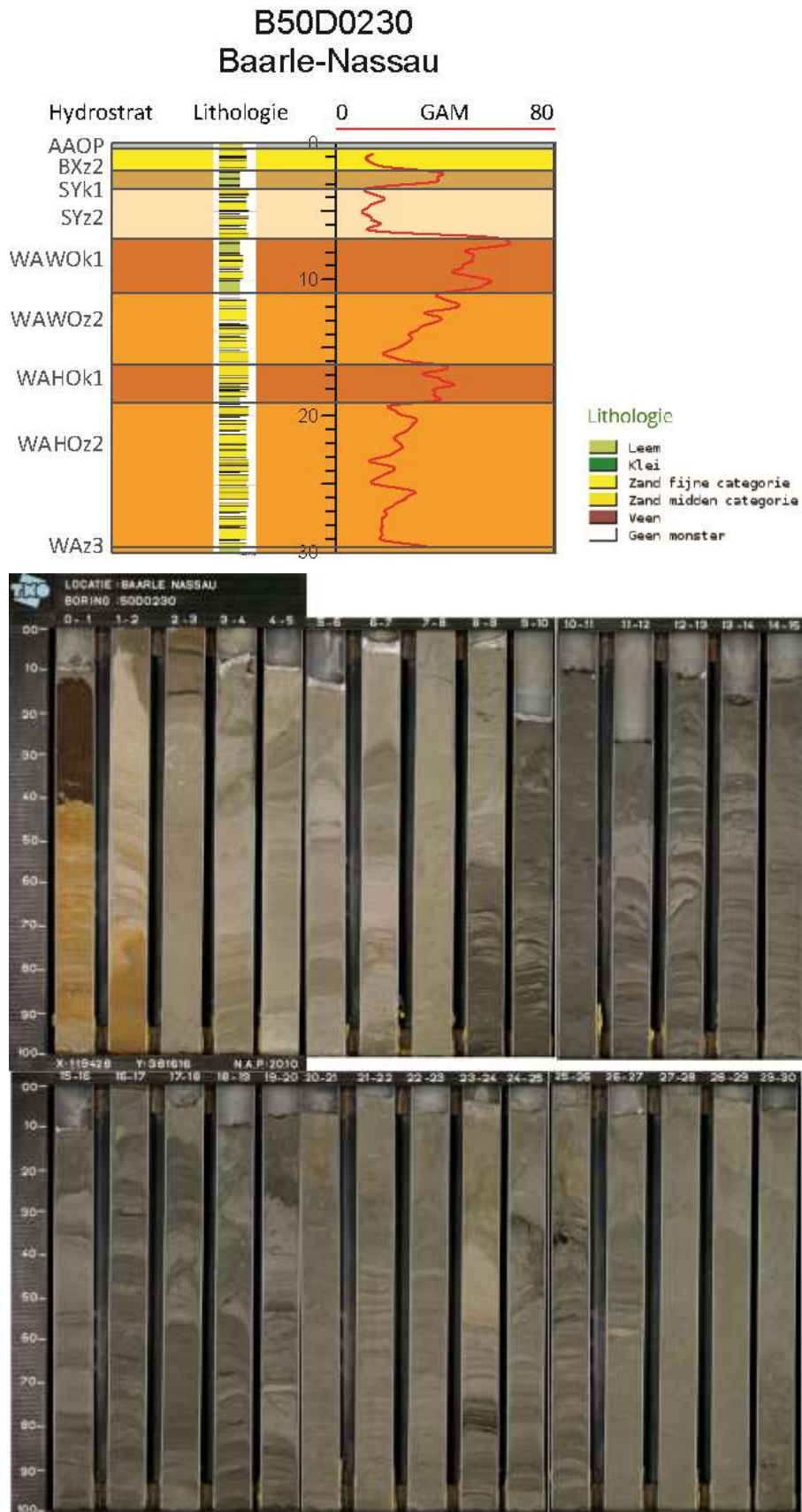


Figuur 29. Profiel door kleiput St.-Franciscus te Beerse met karakteristieke sedimentologische opeenvolging van de Formatie van Weelde (BE) (Paepe & Vanhoorne, 1970).

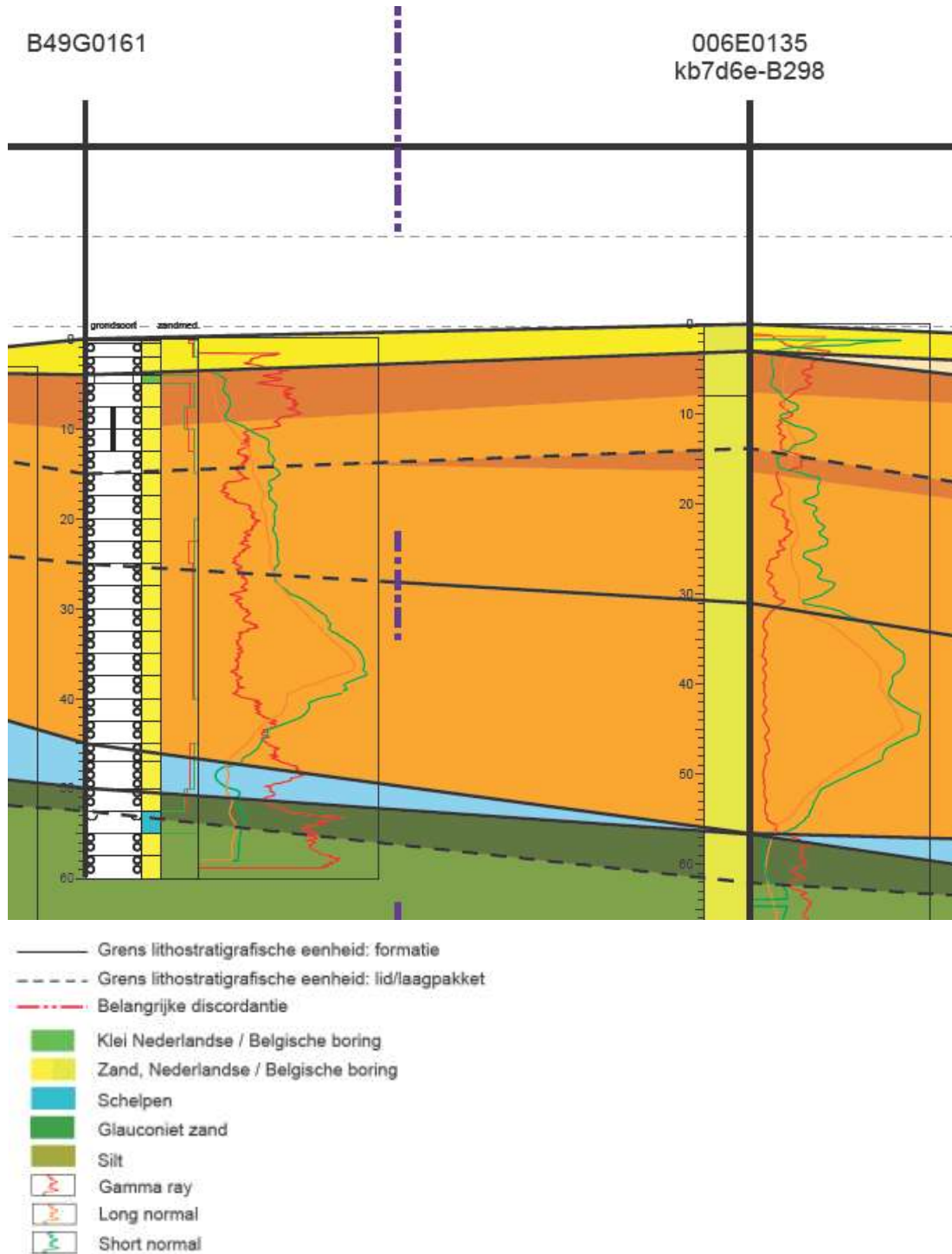


Figuur 30. Detailopname van zand- en veenlagen met cryoturbate structuren, typerend voor het Lid van Beerse (BE). Opnamen in kleigroeve Het Blak-Meergoor te Beerse (Walstra et al., 2020).





Figuur 31. Boring B50D0230 (Baarle-Nassau (NL) met kenmerkende fining upwards sequenties in de laagpakketten van Hoogerheide en Woensdrecht (NL), waarbij de korrelgrootte naar boven afneemt van matig fijn zand tot silt, ook duidelijk herkenbaar in de boorgatmetingen door naar boven toe oplopende gammawaarden (Foto: TNO/DINOloket).



Figuur 32. Uitsnede uit correlatieprofiel 1, met boringen 006E0135 (Kalmthout, BE) en B49G0161 (Putte, NL) die tonen dat de afzettingen van het Lid van Rijkvorsel/ Laagpakket van Hoogerheide naar het noordwesten over het algemeen zandiger worden, waardoor de kleipakketten minder uitgesproken en de lithostratigrafische grenzen minder duidelijk herkenbaar zijn.

## 16.5. Discussie/opmerkingen

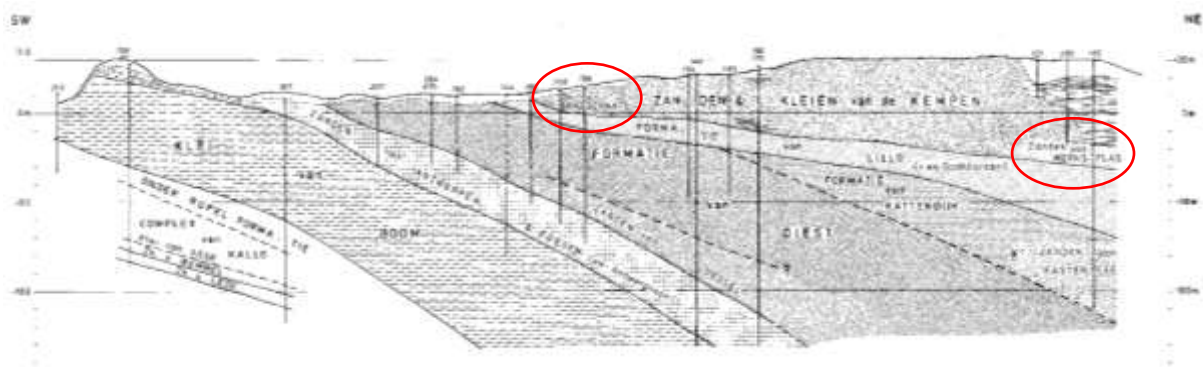
Mede op grond van Rijn-herkomst van het sediment werd de Formatie van Waalre in Nederland door Westerhoff & Weerts (2003) geherdefinieerd op basis van de vroegere formaties van Tegelen en Kedichem. In de huidige lithostratigrafische indeling is Tegelen nu slechts voorbehouden aan het laagpakket met typisch kleiige facies op het oostelijk deel van de Peelhorst in het grensgebied met Duitsland ten zuiden van Venlo.

De Formatie van Waalre wordt in Nederland beschreven als fluviatiele-estuariene afzettingen van de Rijn, terwijl de overeenkomstige afzettingen in België uitsluitend worden toegeschreven aan een estuarien milieu. De bredere definitie in Nederland kan verklaard worden doordat dezelfde eenheid daar een grotere range aan afzettingmilieus omvat, gaande van meer fluviatiel landinwaarts tot het mariene estuariumgedeelte verder zeewaarts; het voorkomingsgebied binnen België is beperkt tot de meer zeewaarts gelegen estuariumgedeelten met getijdeninvloed.

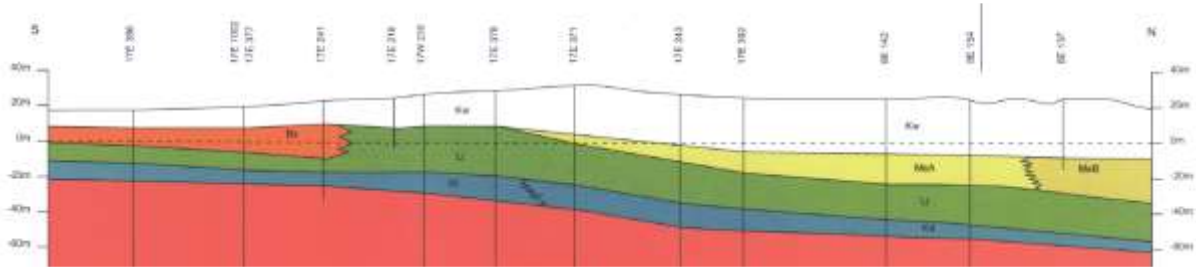
Stratigrafische en sedimentologische kenmerken werden beschreven in tal van publicaties over de ontsluitingszone volgens de kleigroeves gelegen op de microcuesta tussen Rijkevorsel en Turnhout (o.a. Kasse, 1988, 1993; Kasse & Bohncke, 2001; Paepe & Vanhoorne, 1970, 1976; Westerhoff et al., 2008).

De periglaciaire zand-tussenschakeling in de Formatie van Weelde (Lid van Beerse, BE) en het typisch fluviatiele facies aan de top van de Formatie van Malle (Lid van Vosselaar, BE) wijzen op een zeespiegeldaling en tijdelijke influx van rivieren vanuit het Scheldebekken, die geassocieerd kunnen worden met de afzettingen van de Nederlandse Formatie van Stramproy (Kasse, 1988, 1993; Kasse & Bohncke, 2001; Bogemans, 1999).

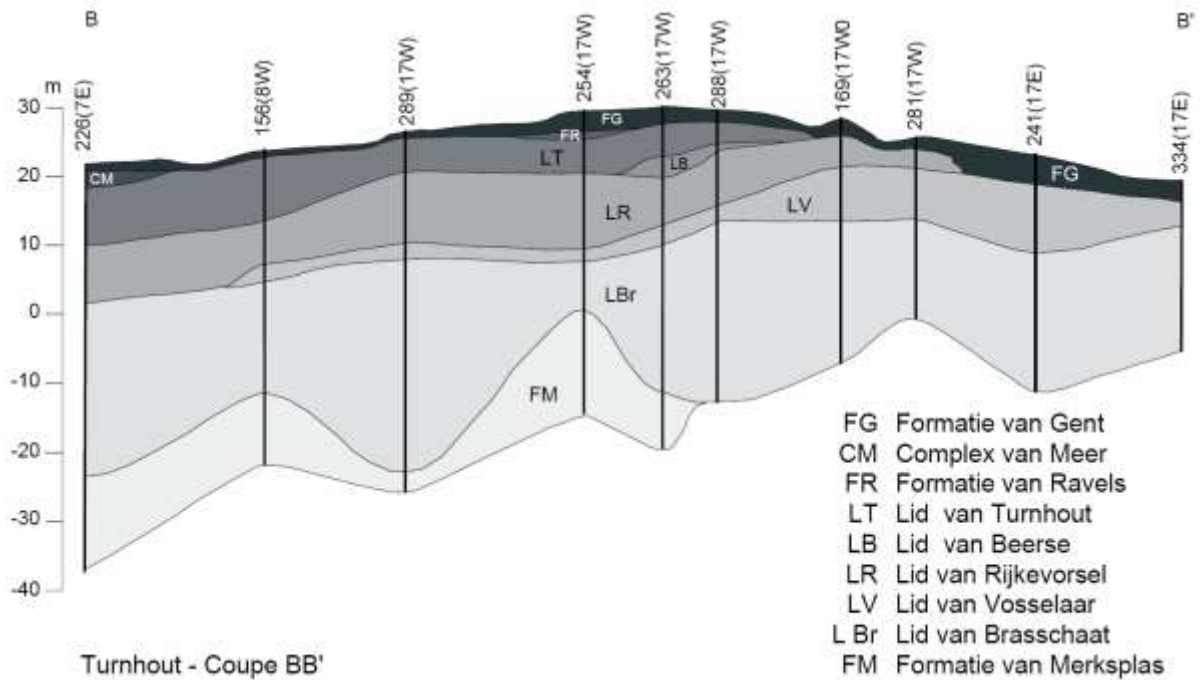
In België werden de zanden van Brasschaat en de grove zanden van Merksplas voor het eerst benoemd door Gulinck (1962). Paepe en Vanhoorne (1976) beschouwden de zanden van Merksplas als een equivalent van de zanden van Mol en gaven ze een ouderdom van laat-Plioceen tot Pretiglian. De Meuter en Laga (1976) introduceerden voor het eerst de lithostratigrafische benamingen voor de Formatie van Merksplas en de Formatie van Brasschaat en plaatsten beide in het Pleistoceen. Mede op basis van de paleogeografische reconstructies door Zagwijn (1989) concludeerde Bogemans (1994) dat een laat-pliocene en pretigliane ouderdom het meest waarschijnlijke is voor de Formatie van Merksplas en een Tigliane ouderdom voor het Lid van Brasschaat. In de archiefgegevens van de BGD werden de zanden van Merksplas en Brasschaat gewoonlijk als laterale equivalenten beschouwd (Figuur 33); in gebieden waar beide eenheden aanwezig zijn (volgens de huidige betekenis, cf. Bogemans, 1994), zijn beide geïncorporeerd in de “Zanden van Merksplas”. Tijdens de Tertiair-kartering werden de formaties van Brasschaat en Merksplas als laterale equivalenten gekarteerd (Buffel et al. 2001; Figuur 34), terwijl ze bij de Quartairkartering als opeenvolgende afzettingen in superpositie werden beschouwd (Bogemans 2005; Figuur 35). De laatste zienswijze werd overgenomen in de formele definities van beide eenheden (cf. NCS) en ook gevolgd bij de G3Dv3-modellering (Figuur 36); echter, in de praktijk blijken de lithostratigrafische grenzen niet eenduidig geïnterpreteerd te worden, op basis van verschillende type en kwaliteit gegevens, waardoor met name de positie van het Lid van Brasschaat niet altijd consequent is.



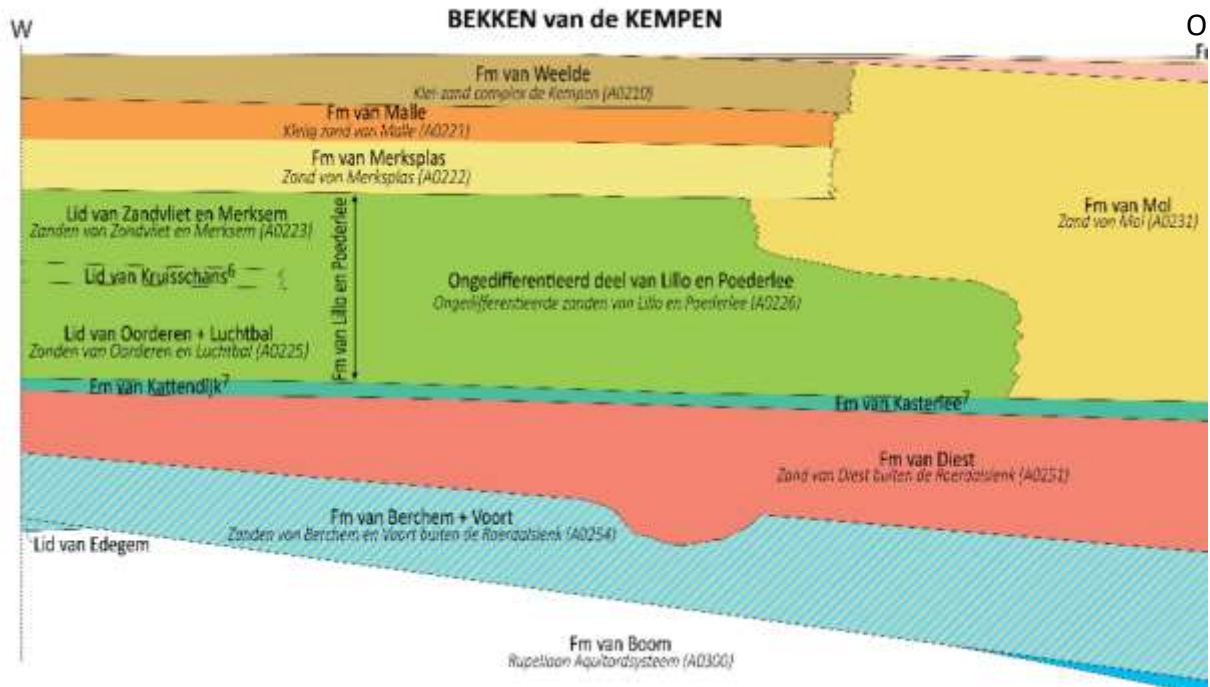
Figuur 33. Geologisch ZW-NO profiel, van Terhagen naar Poppel, met weergave van zanden van Brasschaat en Merksplas als laterale equivalenten (Laga, 1974: PGL-74/105).



Figuur 34. Geologisch Z-N profiel, ten westen van Turnhout, met weergave formaties van Merksplas (MeA, MeB) en Brasschaat (Bs) als laterale equivalenten van de top van de Formatie van Lillo (Buffel et al., 1999).



Figuur 35. Geologisch NW-ZO profiel ten westen van Turnhout, met weergave van het Lid van Brasschaat boven op de Formatie van Merksplas; het onregelmatige verloop van beide ondergrenzen wordt toegeschreven aan erosie voorafgaand aan accumulatiefasen (Bogemans, 2005).



Figuur 36. Schematische doorsnede doorheen het uiterste noorden van Vlaanderen met de verschillende neogene en pleistocene lithostratigrafische eenheden en in cursief de overeenstemmende hydrogeologische eenheden (Deckers et al., 2019).

# 17 Modeleenheid Ravels-Stramproy

## 17.1. Onderverdeling

De Nederlandse Formatie van Stramproy wordt niet verder onderverdeeld. In het geologisch model DGM v2.2 correspondeert de formatie met modeleenheid SY; in het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 worden daarbinnen twee kleiige eenheden onderscheiden.

De Belgische formatie van Ravels (informele eenheid) wordt niet verder onderverdeeld. De formatie werd tot nu toe alleen gekarteerd in het kader van de Quartairkartering van Vlaanderen (Bogemans, 1994, 1997, 1998); ze wordt niet apart onderscheiden in de huidige geologische en hydrogeologische modellen van Vlaanderen, maar is in de praktijk opgenomen in de modeleenheden van de formaties van Gent en Mol.

## 17.2. formatie van Ravels (BE)/ Formatie van Stramproy (NL)

### a. Lithologische samenstelling

Deze eenheid bestaat uit een zandig complex met overwegend matig fijne, lokaal grove, spierwitte tot bruine, kwartsrijke zanden met venige, kleiige en siltige lagen. Karakteristieke structuren (sedimentair en post-sedimentair) zijn o.a. zandsequenties met schuine, horizontale en massieve gelaagdheden (Figuur 37), uitschuring- en opvullingsstructuren, begroeiingshorizonten, cryoturbate deformatiestructuren en vorstwiggen (Figuur 38).

### b. Logsignatuur

Op boorgatmetingen onderscheidt de Formatie van Stramproy zich door de erg lage waarde van de natuurlijke gammastraling in de kwartsrijke zanden; hogere waarden zijn geassocieerd met kleiige lagen, die met name in het noordoostelijke deel van het inventarisatiegebied voorkomen (Figuur 39).

### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

### d. Ondergrens

Binnen het inventarisatiegebied is de grens meestal duidelijk (in zowel boorbeschrijvingen als boorgatmetingen), aangezien onder de zandige afzettingen van de Formatie van Stramproy/Ravels over het algemeen kleiige afzettingen van de Formatie van Waalre/Weelde voorkomen (Figuur 31, Figuur 39).

### e. Bovengrens

In vrijwel het gehele inventarisatiegebied wordt de eenheid discordant overdekt door dekzand (Formatie van Bortel-Laagpakket van Wierden/Formatie van Gent-Lid van Opgrimbie); lokaal door jongere fluviaatiele afzettingen (Formatie van Bortel-Laagpakket van Singraven/Formatie van Arenberg-ongedifferentieerd, Formatie van Bortel-ongedifferentieerd/complex van Meer); de grens is niet altijd duidelijk in matige boorbeschrijvingen.

In het uiterste noordoosten van het inventarisatiegebied is er een erosieve, duidelijke overgang naar de grofzandige en grindhoudende afzettingen van de Formatie van Sterksel; ook op basis van boorgatmetingen zijn deze formaties goed van elkaar te onderscheiden (zie H3O-De Kempen).

### f. Chronostratigrafische positie

De Formatie van Stramproy wordt als vroeg-Pleistoceen beschouwd (De Lang & Weerts, 2003); binnen het huidige projectgebied heeft de Formatie van Stramproy/Ravels een ouderdom van Eburoniaan tot Baveliaan (Kasse, 1988; Bogemans, 1994; Westerhoff, 2009).

De basis van de Formatie van Stramproy verloopt diachroon. Oostelijk van het inventarisatiegebied ligt het onderste deel van de eenheid (correlerend met de Formatie van Mol) boven op de Kiezeloöliet Formatie en vertand met de Formatie van Waalre/Malle. Binnen het huidige projectgebied ligt het bovenste deel van de Formatie van Stramproy (correlerend met de formatie van Ravels) concordant op de Formatie van Waalre (cf. Kasse, 1988, 1993).

### **g. Dikte en verbreiding**

De dikte van de eenheid varieert van een enkele meter langs de zuidelijke voorkomingsgrens tot maximaal 15 m in het noordoostelijke deel van het inventarisatiegebied. De eenheid is vrij algemeen voorkomend in het noordoosten, maar meer fragmentarisch ten zuiden van de Nederlands-Belgische landsgrens. De uiterste voorkomingsgrens in het zuiden wordt gevormd door de Kempense microcuesta.

## **17.3. Discussie/opmerkingen**

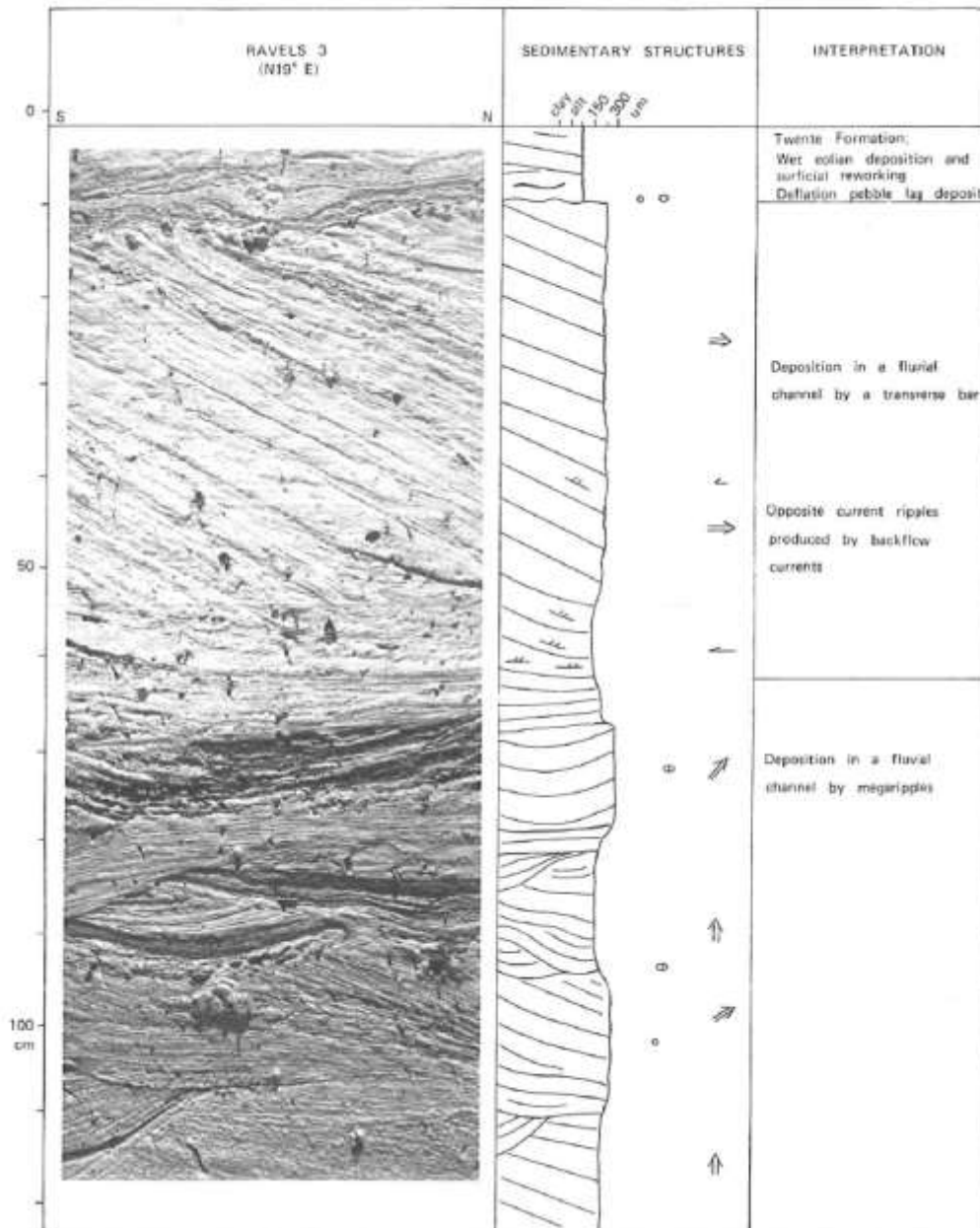
De Formatie van Stramproy/Ravels bestaat uit fluviatiele afzettingen van lokale/Belgische rivieren en eolische afzettingen, deels gevormd onder periglaciale condities (Kasse, 1988; Bogemans, 1994; Westerhoff, 2009).

In de vroegere Nederlandse stratigrafie maakten de afzettingen deel uit van de Formatie van Kedichem (Doppert et al., 1975). In de Belgische literatuur heeft De Ploey (1961) deze afzettingen voor het eerst beschreven als formatie van St.-Lenaarts. Bij de Quartairkartering introduceerde Bogemans (1994, 1997, 1998) de informele formatie van Ravels voor deze afzettingen; gezien het ontbreken van een formele stratigrafische benaming voor deze afzettingen in België, wordt deze naam geprefereerd.

In de H3O-projecten Roerdalslenk en De Kempen werd de Formatie van Stramproy in België gecorreleerd met het bovenste deel van respectievelijk de Kiezeloooliet Formatie-Lid van Jagersborg en de Formatie van Mol; deze formaties worden niet aangetroffen binnen het huidige projectgebied (de overgangszone tussen de formaties van Mol en Malle werd vastgesteld binnen het projectgebied van H3O-De Kempen).

Op basis van hun samenstelling, afzettingsmilieu en chronostratigrafische positie zouden de Belgische leden van Beerse (Formatie van Weelde) en Vosselaar (Formatie van Malle) ook met de Formatie van Stramproy correleren; deze kunnen dan beschouwd worden als vertandingen met de Formatie van Waalre/formaties van Weelde en Malle. Om praktische redenen worden ze in het kader van dit project niet samen met de Formatie van Stramproy gemodelleerd, maar opgenomen in de modeleenheden Waalre-Weelde en Waalre-Malle.

De formatie van Ravels wordt niet onderscheiden in de geologische en hydrogeologische modellen van Vlaanderen; de afzettingen zijn daar geïnterpreteerd als Formatie van Gent of (verder naar het oosten) Formatie van Mol.

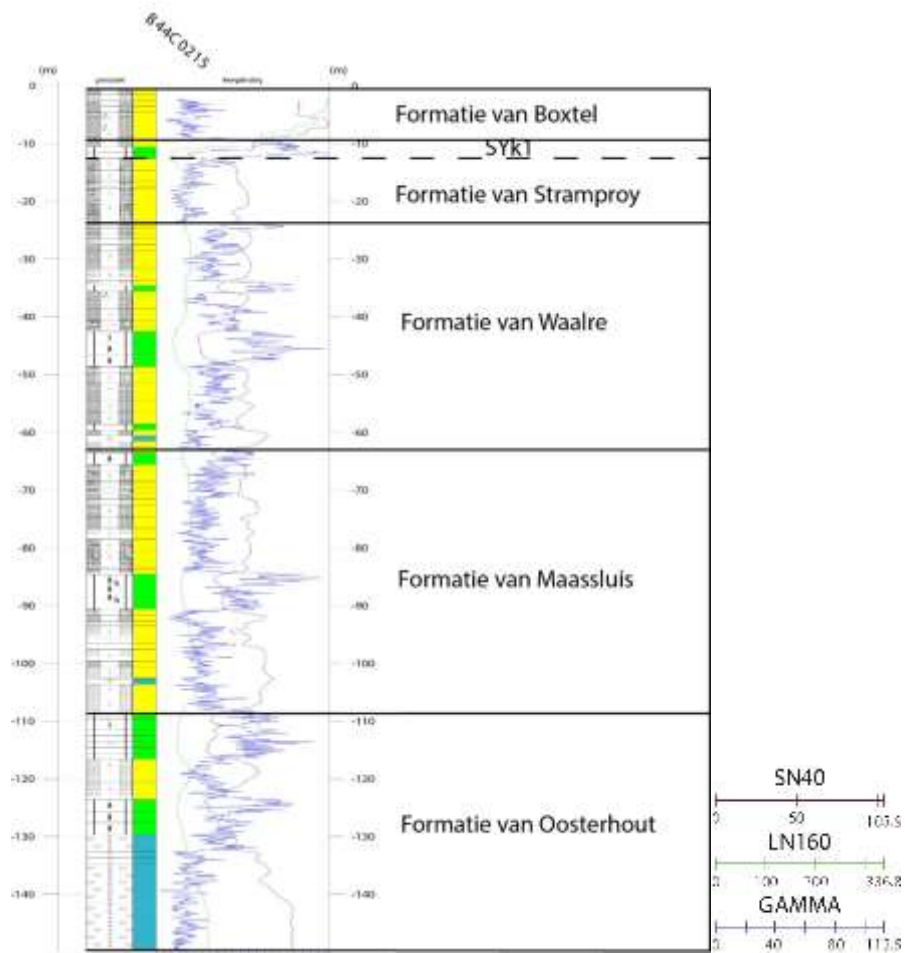


Figuur 37. Megarippels en transversale zandbanken afgezet door een vlechtend riviersysteem in de Formatie van Stramproy/Ravels, opname in een groeve bij Ravels (Kasse, 1988: Gilze Member).





*Figuur 38. Detailopname van onregelmatige gelamineerde afzettingen, typerend voor de formatie van Ravels. De afzettingen bestaan uit overwegend mediumfijn zand met bruine siltige en organisch-rijke laminae; het geheel is verstoord door twee vorstswiggen die in meerdere fasen gevormd zijn. Tijdelijke ontsluiting waargenomen in kleigroeve Het Blak-Meergoor te Beerse (Walstra et al., 2020).*



Figuur 39. Boring B44C0215 (Prinsenbeek, NL) op correlatieprofiel 3 met Formatie van Stramproy op Formatie van Waalre, kenmerkend voor het noordoostelijke deel van het inventarisatiegebied. Duidelijk zichtbaar is de lage gammastralingswaarde voor de zuivere zanden (interval 12-23 m) en de hoge piek daarboven, corresponderend met een kleilaag (hydrostratigrafische code SYk1).

Tabel 5. Onderverdeling van de midden- en laat-quartaire modelleenheden in Nederland en België (3 = informele stratigrafische eenheid, conform de Quartairkartering in Vlaanderen).

NL Stratigrafische eenheid (formatie - laagpakket)	NL Geologische modelleenheid	NL Hydrogeol. modelleenheid	BE Stratigrafische eenheid (formatie - lid)	BE Geologische modelleenheid	BE Hydrogeologische modelleenheid
Antropogeen - opgebrachte grond	Antropogeen	AAc	Antropogeen	Antropogeen	Ophogingen
Naaldwijk - Walcheren	Holoceen	HLc	Vlaanderen (Waasland - Ekeren <sup>3</sup> )	Arenberg en Vlaanderen	Polderafzettingen en Alluviale deklagen
Nieuwkoop - Hollandveen			Ongedifferentieerd veen (Waasland - Antwerpen <sup>3</sup> )		
Naaldwijk - Wormer			Vlaanderen - Calais		
Kreekrak			Arenberg - ongedifferentieerd (Waasland - Doel <sup>3</sup> )		
Nieuwkoop - Basisveen Laag			Ongedifferentieerd veen (Waasland - Antwerpen <sup>3</sup> )		
Boxtel - Singraven			Arenberg (Singraven <sup>3</sup> )		
Boxtel - Kootwijk	Boxtel	BXz1	Gent - Achterbos (Hechtelt <sup>3</sup> )	Gent	Duinen en eolische deklagen buiten de Roerdalslenk
Boxtel - Wierden + Delwijnen			Gent - Opgrimbie (Wildert <sup>3</sup> )		
Boxtel - ongedifferentieerd			Gent - Tisselt (St-Lenaarts <sup>3</sup> ) + Dilsen Meer <sup>3</sup>		
Koewacht	Koewacht	KWz1	Eeklo - Eke (Zemst - Lembeke <sup>3</sup> )	Eeklo	Pleistocene afzettingen
Sterksel - ongedifferentieerd	Sterksel	STz1	Sterksel - Lommel	(Sterksel) <sup>6</sup>	(Maas- en Rijnafzettingen) <sup>6</sup>
	/	/	Sterksel - Hamont	/	/
	/	/	Sterksel - Bocholt	/	/

## 18 Modeleenheid Sterksel

### 18.1. Onderverdeling

In Nederland wordt de Formatie van Sterksel formeel niet verder onderverdeeld. In het geologisch model DGM v2.2 zijn deze afzettingen gecodeerd als modeleenheid ST; in het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 wordt daarbinnen één kleiige eenheid onderscheiden. Binnen het inventarisatiegebied is de kleilaag alleen in het uiterste noordoosten aanwezig; binnen het modelgebied is ze afwezig en wordt dus niet gemodelleerd.

In België wordt de Formatie van Sterksel onderverdeeld in de leden van Lommel, Hamont (informeel) en Bocholt, waarbij enkel de eerste buiten de Roerdalslenk voorkomt (Beerten et al., 2005); in het geologisch model G3Dv3 en het hydrogeologisch model H3Dv2 wordt ook deze driedeling aangehouden. In het Belgische deel van het inventarisatiegebied is de Formatie van Sterksel niet aanwezig.

### 18.2. Formatie van Sterksel (NL)

#### a. Lithologische samenstelling

Fluviatile afzettingen van de Rijn en de Maas, hoofdzakelijk bestaande uit bruingrijs grof zand met fijn grind en ondergeschikt klei en veen; kenmerkend zijn de roodbonte componenten in de grove zand- en grindfractie (Westerhoff, 2003).

#### b. Logsignatuur

Doorgaans vertonen de zandige intervallen van deze formatie een iets hogere natuurlijke gammastraling dan de zandige intervallen van de onderliggende Formatie van Stramproy: omdat dit dus afhankelijk is van de klei-bijmenging in beide formaties, kan er geen uniform model op basis van logsignatuur worden opgesteld; indeling moet per boring in eerste instantie gebeuren op basis van de lithologische beschrijving van boormonsters.

#### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

#### d. 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.

#### e. Bovengrens

De formatie wordt discordant overdekt door dekzand van de Formatie van Boxtel of getijdenafzettingen van de Formatie van Naaldwijk. De grens is doorgaans duidelijk aan de hand van verschil in kleur en korrelgrootte; alleen als de basis van de Formatie van Boxtel bestaat uit herwerkt materiaal afkomstig van de Formatie van Sterksel kan de bepaling van de grens problematisch zijn.

#### f. Stratigrafische positie

Laatste deel van het vroeg-Pleistoceen en midden-Pleistoceen.

#### g. Dikte en verbreiding

Maximaal 10 m in het uiterste noordoosten van het Nederlandse deelgebied.

# 19 Modeleenheid Eeklo-Koewacht

## 19.1. Onderverdeling

De Nederlandse Formatie van Koewacht wordt formeel niet verder onderverdeeld. In het geologisch model DGM v2.2 en het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 zijn deze afzettingen gecodeerd als modeleenheid KW.

In België behoren de afzettingen tot de Formatie van Eeklo-Lid van Eke. In het geologisch model G3Dv3 maakt deze eenheid deel uit van de gecombineerde modeleenheid “formaties van Rozebeke, Kruishoutem, Meulebeke, Melle, Adegem, Oostwinkel, Eeklo, Oostende en Herzele” (een combinatie van alle pleistocene fluviaatle afzettingen van het Scheldebekken en mariene tot estuariene afzettingen van de kustvlakte); in het hydrogeologisch model H3Dv2 behoren de afzettingen tot modeleenheid “A0170 Pleistocene afzettingen”.

## 19.2. Formatie van Eeklo (BE)/ Koewacht (NL)

### a. Lithologische samenstelling

Groengrijs tot lichtbruin matig fijn tot matig grof zand; veelal *fining upwards*; zwak siltig, lokaal met fijn schelpgruis. Sporadische dunne siltige kleilagen, zwak zandige leem, veen en gyttja (Kiden, 2010).

### b. Logsignatuur

N.v.t.

### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

### d. Ondergrens

De ondergrens met mariene afzettingen is scherp, erosief en herkenbaar aan de hand van verschillen in korrelgrootte, kleur en mineralogie (alleen in België, Formatie van Lillo: toename klei- en glauconietgehalte, schelpenhoudend). De ondergrens met estuariene afzettingen is ook scherp, maar kan visueel onduidelijk zijn (formaties van Malle en Merksplas/Waalre en Maassluis: toename van glimmers en kleilaagjes). Doorgaans wordt de grens geaccentueerd door grove geulbodemaafzettingen.

### e. Bovengrens

De bovengrens is een geleidelijke en diffuse overgang naar fijner, minder kalkrijk en meer humeus dekzand (Formatie van Gent-Lid van Opgrimbie-BE/ Formatie van Bortel-Laagpakket van Wierden-NL); scherp contact of geleidelijke overgang, met doorworteling, naar veen (lid van Antwerpen-BE/ Formatie van Nieuwkoop-Basisveen Laag-NL); scherp contact met humeuze klei of zand (Kreekrak Formatie/lid van Doel); of scherp en erosief contact met getijdenafzettingen (Formatie van Naaldwijk-laagpakketten van Wormer en Walcheren/ Formatie van Vlaanderen-Lid van Dunkerque); overgang kan onduidelijk zijn als er herwerking het onderliggende zandige materiaal is opgetreden.

### f. Chronostratigrafische positie

Formatie van Koewacht: Midden- tot laat-Pleistoceen (Saaliaan en Weichseliaan).

Formatie van Eeklo: Laat-Pleistoceen (Weichseliaan).

### g. Dikte en verbreiding

Van enkele meters in België tot 10 m in het Nederlandse deelgebied.

## 19.3. Discussie/opmerkingen

In België omvat de Formatie van Eeklo de zandige sedimenten afgezet door een verwilderd riviersysteem in de Vlaamse Vallei tijdens het Weichseliaan. De Formatie van Koewacht in Nederland is breder gedefinieerd en omvat zandige en kleiige afzettingen, afgezet door zowel vlechtende als meanderende riviersystemen (de Schelde) in de periode vanaf het Saaliaan tot het Weichseliaan.

Bij de Quartairkartering van kaartblad Kapellen-Essen werden deze afzettingen gekarteerd als de (informele) formatie van Zemst-lid van Lembeke (Bogemans, 1997).

## 20 Modeleenheid Gent-Boxtel

### 20.1. Onderverdeling

De Nederlandse Formatie van Boxtel omvat binnen het inventarisatiegebied ongedifferentieerde afzettingen, de laagpakketten van Kootwijk (stuifzand), Delwijnen (rivierduinafzettingen), Wierden (dekzandafzettingen) en Singraven (beekdalafzettingen, zie Holoceen complex). In het geologisch model DGM v2.2 en het hydrogeologische model REGIS II v2.2 vormen deze afzettingen modeleenheid BX.

In België zijn de dekzand-, rivierduin- en stuifduinafzettingen ondergebracht in de Formatie van Gent, verder onderverdeeld in de leden van Dilsen, Tisselt, Opgrimbie en Achterbos (Beerten et al., 2017). De informele eenheid het complex van Meer (onderscheiden bij de Quartairkartering; Bogemans, 1994, 1997, 1998) omvat lokale fluviatiele afzettingen. In het geologisch model G3Dv3 maken deze eenheden deel uit van twee gecombineerde modeleenheden: “leden van Dilsen, Tisselt en Opgrimbie” en “leden van Achterbos en De Panne”. In het hydrogeologisch model H3Dv2 behoren de afzettingen tot de modeleenheden “A0150 Eolische deklanden buiten de Roerdalslenk” en “A0120 Duinen”. Het complex van Meer wordt niet expliciet onderscheiden in deze modellen.

### 20.2. Formatie van Gent en complex van Meer (BE)/ Formatie van Boxtel (NL)

#### a. Lithologische samenstelling

Lid van Dilsen (BE): dekzandafzettingen, bestaande uit geel homogeen siltig fijn zand, typisch met een roodbruine Bt-bodemhorizont. In Nederland worden deze afzettingen niet gedifferentieerd (vroeger oudere dekzanden genoemd). De afzettingen zijn niet bekend binnen het inventarisatiegebied, maar hun aanwezigheid wordt niet geheel uitgesloten.

Lid van Tisselt (BE): eolische afzettingen, bestaande uit een alternerend complex van geel tot grijze silt- en zandafzettingen, massief of horizontaal gelaagd, typisch met scherpe laagvlakken, adhesieribbels en cryoturbate structuren. In Nederland zijn deze afzettingen wel aanwezig maar worden niet gedifferentieerd (vroeger fluvioperiglaciale afzettingen genoemd).

Lid van Opgrimbie (BE)/ Laagpakket van Wierden (NL): dekzandafzettingen, bestaande uit lichtgrijs, geel of bruin homogeen middelmatig tot siltig fijn zand; massief tot horizontaal gelaagd; vaak met bodemhorizonten, organisch-rijke en/of kleiige laagjes, soms met cryoturbate structuren of dunne grindlaagjes. In België inclusief rivierduinafzettingen.

Laagpakket van Delwijnen (NL): lokale rivierduinafzettingen (bijv. op Brabantse Wal), bestaande uit grijs tot bruingrijs, zeer fijn tot grof zand, kalkloos tot sterk kalkhoudend (aan de basis); sporadisch dunne leemlaagjes en fijne grindsnoertjes. In België zijn deze afzettingen niet bekend binnen het inventarisatiegebied, maar hun aanwezigheid wordt niet uitgesloten; ze worden sowieso niet gedifferentieerd, maar samengenomen met het Lid van Opgrimbie (BE).

Lid van Achterbos (BE)/ Laagpakket van Kootwijk (NL): lokale stuifzandafzettingen, bestaande uit geelgrijs fijn tot matig fijn, homogeen, goed gesorteerd, los zand; zonder of slechts beginnende bodemvorming.

Boxtel-ongedifferentieerd (NL, als geen van de hierna genoemde laagpakketten wordt herkend): als geheel omvat de formatie lichtgeel tot donkerbruin zeer tot matig fijn zand, grijsbruine tot donkergrijze leem, plaatselijk dunne veen- en gyttjalagen, grover zand met grindlaagjes, paleosols of cryoturbatiestructuren.

Complex van Meer (BE, informele eenheid): lokale fluviatiele afzettingen, bestaande uit dunne lagen zeer fijn tot medium lemig zand en aan de basis soms fijn grind en geïntercaleerde grovere zandlaagjes. In Nederland worden deze afzettingen in de praktijk bij het Laagpakket van Singraven gerekend (en dus samen met het Holoceen complex gemodelleerd).

#### b. Logsignatuur

Boorgatmetingen zijn niet bepalend voor het herkennen en onderverdelen van deze eenheid. Wel heeft het kwartsrijke zand van de Formatie van Gent (BE)/ Boxtel (NL) een duidelijk lagere gamma-uitslag dan het

onderliggende veldspaat- en glimmerrijke zand van de Formatie van Sterksel (NL) of onderliggende kleilagen van de Formatie van Weelde (BE)/ Waalre (NL).

### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

### d. Ondergrens

De ondergrens wordt bepaald op basis van sedimentologische en lithologische kenmerken.

De grens met grofkorrelige rivier- of estuariene afzettingen is meestal scherp (Formatie van Eeklo-BE/ Koewacht-NL), Formatie van Sterksel-NL of Formatie van Malle-BE/ Waalre-NL); de grens wordt geaccentueerd door een toename van de korrelgrootte, een afname van het siltgehalte en (in sommige gevallen) een toename van het kalkgehalte of glimmergehalte naar beneden toe; de grens is minder duidelijk als de korrelgrootte weinig verschilt (dikwijls het geval bij de Formatie van Eeklo). De ondergrens is minder scherp waar dunne lagen dekzand overgaan in herwerkte afzettingen uit de onderliggende formatie die grovere korrels bevatten; de aanwezigheid van silt en verweringsbodems kunnen dan criteria zijn om de grens te bepalen.

De grens met fijnkorrelige estuariene afzettingen is ook vaak scherp (Formatie van Weelde-BE/ Waalre-NL); gekenmerkt door de overgang van zand of leem naar (zwarte) klei.

De ondergrens is soms lastig te bepalen in boringen als de top van de onderliggende eenheid uit zandige leem of fijn zand bestaat, zoals in het geval van de formatie van Ravels (BE/ Formatie van Stramproy (NL).

### e. Bovengrens

Aan het maaiveld, of bedekt door holocene afzettingen. Scherp contact met getijdenzand en -klei (Formatie van Vlaanderen-BE/ Naaldwijk-NL), rivierzand en -klei (lid van Doel-BE/ Kreekrak Formatie-NL); scherp contact met of geleidelijke overgang naar veen (lid van Antwerpen-NL/ Formatie van Nieuwkoop-Basisveen Laag-NL).

### f. Stratigrafische positie

Formatie van Gent (BE): Saaliaan tot Holoceen/ Formatie van Boxtel (NL): Cromeriaan tot Holoceen.

Complex van Meer (informele eenheid): Saaliaan en Weichseliaan.

Lid van Dilsen: Saaliaan.

Lid van Tisselt (BE): Midden-Weichseliaan.

Lid van Opgrimbie (BE): Laat- en midden-Weichseliaan/ Laagpakket van Wierden (NL): Laat-Weichseliaan.

Laagpakket van Delwijnen (NL): Laat-Pleistoceen tot vroeg-Holoceen.

Lid van Achterbos (BE)/ Laagpakket van Kootwijk (NL): Holoceen.

### g. Dikte en verbreiding

Een homogeen dekzandpakket (Laagpakket van Wierden/Lid van Opgrimbie) komt in vrijwel het hele inventarisatiegebied aan de oppervlakte voor, behalve in de rivierdalen, waar ze nooit gevormd is ter plekke van toenmalige rivierlopen of later door erosie verdwenen. Het alternerende complex van fluvio-eolische afzettingen (Lid van Tisselt/Boxtel-ongedifferentieerd) is lokaal aanwezig onder het dekzand. Stuifzandafzettingen (Laagpakket van Kootwijk/Lid van Achterbos) zijn beperkt tot lokale zandverstuivingen, zoals in de omgeving van Kalmthout en Huijbergen; de totale dikte van de eolische afzettingen (dekzand en duinzand) schommelt daar tussen de 1,5 en 10 m. Het complex van Meer is in het Belgische deelgebied lokaal aanwezig, zowel op interfluvia als in beekdalen; de dikte schommelt tussen 1 en 5 m. De totale dikte van de modeleenheid Boxtel-Gent varieert van minder dan 0,5 tot maximaal 10 m.

## 20.3. Discussie/opmerkingen

De Formatie van Boxtel (Schokker, 2005; Schokker et al., 2007) vervangt de informele Nuenen groep (Bisschops, 1973; Bisschops et al., 1985) en de formaties van Twente, Asten en Eindhoven (Doppert et al., 1975).

De Formatie van Boxtel overlapt grotendeels met de Formatie van Gent, maar is verschillend gedefinieerd: de Formatie van Boxtel omvat namelijk ook löss- en lokale rivierafzettingen die in België bij andere formaties worden ingedeeld (Beerten et al., 2017). Daarentegen worden in België nog het Lid van Tisselt en oudere dekzandafzettingen (Lid van Dilsen) onderscheiden, die binnen de Nederlandse stratigrafie niet formeel gedifferentieerd zijn (Schokker, 2005). Omdat eolische afzettingen in boringen doorgaans uiterst summier beschreven zijn, worden ze in het kader van karteringen meestal als één geheel beschouwd (Bogemans, 1998).

In de praktijk komt binnen het inventarisatiegebied de Formatie van Boxtel overeen met de Formatie van Gent en het complex van Meer. Deze laatste eenheid omvat de lokale rivierafzettingen, waarschijnlijk uit het Weichseliaan en Saaliaan, die als informele eenheid werden onderscheiden bij de Quartairkartering (Bogemans, 1994, 1997, 1998).



## 21 Modeleenheid Holoceen complex

### 21.1. Onderverdeling

Het Holoceen complex omvat alle holocene en laat-glaciale afzettingen binnen het inventarisatiegebied.

Volgens de Nederlandse lithostratigrafie behoren deze afzettingen tot de Formatie van Boxtel (Laagpakket van Singraven), de Kreekrak Formatie en de formaties van Nieuwkoop (Basisveen Laag en Hollandveen Laagpakket) en Naaldwijk (laagpakketten van Wormer en Walcheren). In het geologisch model DGM v2.2 en het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 worden deze eenheden gecombineerd in één enkele modeleenheid, het Holoceen complex (HLc).

Volgens de Belgische lithostratigrafie behoren deze afzettingen tot de formaties van Arenberg (ongedifferentieerd, informele leden van Antwerpen en Doel), Stokkem en Vlaanderen (leden van Calais en Dunkerque). In het geologisch model G3Dv3 maken deze eenheden deel uit van verschillende gecombineerde modeleenheden, namelijk de “leden van Calais en Dunkerque” en “formaties van Arenberg en Stokkem”. Volgens de HCOVv2-codering behoren de afzettingen tot de modeleenheden “A0140 (Alluviale deklagen)” en “A0130 Polderafzettingen”.

### 21.2. Formatie van Arenberg-ongedifferentieerd (BE)/ Formatie van Boxtel-Laagpakket van Singraven (NL)

#### a. Lithologische samenstelling

Deze eenheid omvat beekdalafzettingen en bestaat uit fijn tot grof zand, zandige klei, leem, klei en veen.

#### b. Logsignatuur

N.v.t.

#### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

#### d. Ondergrens

Scherp contact met onderliggende dekzand (overbankafzettingen op Formatie van Gent-Lid van Opgrimbie-BE/ Formatie van Boxtel-Laagpakket van Wierden-NL) of ingesneden in oudere pleistocene eenheden (geulafzettingen, in Nederland meestal op Formatie van Boxtel-ongedifferentieerd, in België meestal op complex van Meer of Formatie van Weelde-Lid van Turnhout).

#### e. Bovengrens

De bovengrens ligt aan het maaiveld.

#### f. Chronostratigrafische positie

Laat-Glaciaal tot recent.

#### g. Dikte en verbreiding

De verbreiding van deze eenheid is beperkt tot de beekdalen in het pleistocene landschap; de dikte varieert van decimeters tot enkele meters.

#### h. Discussie/opmerkingen

In kleine beekdalen in België worden de afzettingen van de Formatie van Arenberg niet verder onderverdeeld in leden (Bogemans et al., 2017).

In Nederland worden in de praktijk lokale rivierafzettingen uit het laat-Pleistoceen, eventueel aanwezig in beekdalen onder het Laagpakket van Singraven, daarmee samengenomen (Schokker et al. 2007). Deze afzettingen worden in België afzonderlijk onderscheiden als het complex van Meer (Bogemans, 2005).

## 21.3. lid van Antwerpen (BE)/ Formatie van Nieuwkoop-Basisveen Laag (NL)

### a. Lithologische samenstelling

Bruin tot zwart veen, compact, lokaal kleilig en ingeschakelde kleilagen. In mindere mate gele tot groenbruine gyttjalagen.

### b. Logsignatuur

N.v.t.

### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

### d. Ondergrens

Geleidelijke overgang, met doorworteling, of scherp contact met zandige afzettingen van pleistocene eenheden (Formatie van Gent-BE/ Boxtel-NL of Formatie van Eeklo-BE/ Koewacht-NL).

### e. Bovengrens

Scherp contact met getijdenafzettingen (Formatie van Vlaanderen-Laagpakket van Dunkerque-BE/ Naaldwijk-laagpakketten van Wormer en Walcheren-NL) of geleidelijke overgang naar humeuze rivierklei (Lid van Doel-BE/ Kreekrak Formatie-NL).

### f. Chronostratigrafische positie

Holoceen.

### g. Dikte en verbreiding

De verbreiding van het veen binnen het inventarisatiegebied is beperkt tot het uiterste westen, in en langs de paleo-Scheldevallei. De dikte van het veenpakket varieert binnen het inventarisatiegebied van enkele centimeters tot ongeveer een meter.

### h. Discussie/opmerkingen

In Nederland omvat de Basisveen Laag het veen dat voorkomt tussen de top van de pleistocene afzettingen en de basis van de Formatie van Naaldwijk (Weerts & Busschers, 2003).

In België wordt deze eenheid niet formeel onderscheiden; bij de Quartairkartering van kaartblad Kapellen-Essen werd het samen met alle holocene veenlagen in het Schelde-estuarium gekarteerd als (informeel) lid van Antwerpen van de formatie van het Waasland (Bogemans, 1997). Gezien het ontbreken van een formele benaming in België wordt het informele lid van Antwerpen geprefereerd.

## 21.4. lid van Doel (BE)/ Kreekrak Formatie (NL)

### a. Lithologische samenstelling

Het lid van Doel (BE)/ de Kreekrak Formatie (NL) bestaat uit organisch-rijke kom- en restgeulafzettingen van de Schelde die in het fluviatiele en zoetwater- tot brakwater estuariene milieu van de rivier werden gevormd (Kiden & Gouw, 2010; Bogemans 1997).

De eenheid bestaat voornamelijk uit klei, matig tot sterk humeus, kalkloos tot kalkarm, dikwijls met hout- en plantenresten, sporadisch schelpenhoudend (dan eventueel kalkrijk), massief tot horizontaal gelaagd (soms met zandlaagjes), grijsbruin tot bruin. Sporadisch komen kleilige veenlagen, gyttjalagen en zandlenzen voor.

Kenmerkend is het hoge gehalte aan organisch materiaal en de grote lithologische variabiliteit in verticale en laterale richting. De afzettingen hebben een overwegend bruine kleur, in tegenstelling tot de afzettingen van de Formatie van Vlaanderen (BE)/ Naaldwijk (NL), die meestal grijs tot blauwgrijs zijn.

### b. Logsignatuur

N.v.t.

### c. Seismische interpretatie

N.v.t.

### d. Ondergrens

Scherp contact met onderliggend veen (lid van Antwerpen-BE/ Formatie van Nieuwkoop-Basisveen Laag-NL), of zandige pleistocene eenheden (Formatie van Gent-BE/ Boxtel-NL of Formatie van Eeklo-BE/ Koewacht-NL). Waar

het lid van Doel (BE)/ de Kreekrak Formatie (NL) voorkomt boven of ingeschakeld in het lid van Antwerpen (BE)/ de Formatie van Nieuwkoop-Hollandveen Laagpakket (NL), of vertand met de Formatie van Vlaanderen (BE)/ Naaldwijk (NL), is de overgang geleidelijk of diffuus.

**e. Bovengrens**

Overgang naar bovenliggend veen (lid van Antwerpen-BE/ Formatie van Nieuwkoop-Hollandveen Laagpakket-NL) is vrij scherp of geleidelijk (met doorworteling), overgang naar afzettingen van de Formatie van Vlaanderen (BE)/ Naaldwijk (NL) kan geleidelijk of diffuus zijn (bij vertanding) of erosief en scherp (bij aansnijding door getijdengeulen).

**f. Chronostratigrafische positie**

Laat-Glaciaal tot Holoceen.

**g. Dikte en verbreiding**

De verbreiding binnen het inventarisatiegebied is beperkt tot het uiterste westen, in en langs de paleo-Scheldevallei. De dikte varieert van enkele decimeters tot enkele meters; op korte afstand kunnen grote dikteverschillen voorkomen door het contrast tussen geul- en komafzettingen of door latere erosie door getijdengeulen.

**h. Discussie/opmerkingen**

Afzettingen van het lid van Doel (BE)/ de Kreekrak Formatie (NL) komen voor boven, ingeschakeld in, en onder het lid van Antwerpen (BE)/ Hollandveen Laagpakket (NL). De afzettingen komen ook voor als inschakeling in het Laagpakket van Wormer (in het Nederlandse deelgebied) en tussen de Basisveen Laag en het Hollandveen Laagpakket (Kiden & Gouw, 2010).

Bij de Quartairkartering van kaartblad Kapellen-Essen (BE) werden deze afzettingen gekarteerd als (informeel) lid van Doel van de formatie van het Waasland (Bogemans, 1997). Het is twijfelachtig of deze afzettingen overeenkomen met het Lid van Wichelen van de Formatie van Arenberg (cf. Bogemans et al., 2017). Gezien het ontbreken van een formele stratigrafische benaming voor deze afzettingen in België wordt daarom het informele lid van Doel geprefereerd.

## 21.5. lid van Antwerpen (BE)/ Formatie van Nieuwkoop-Hollandveen Laagpakket (NL)

**a. Lithologische samenstelling**

Bruin tot zwart veen en ander organisch materiaal, lokaal kleiig. In mindere mate gele tot groenbruine gyttjalagen of detritus van verslagen veen, gemengd met klastisch sediment.

**b. Logsignatuur**

N.v.t.

**c. Seismische interpretatie**

N.v.t.

**d. Ondergrens**

Geleidelijke overgang naar humeuze rivierklei (lid van Doel-BE/ Kreekrak Formatie-NL); geleidelijke overgang, met doorworteling, of scherp contact met getijdenafzettingen (zand of klei: Lid van Calais-BE/ Laagpakket van Wormer-NL) of zandige pleistocene eenheden (Formatie van Gent-BE/ Boxel-NL of Formatie van Eeklo-BE/ Koewacht-NL).

**e. Bovengrens**

Scherp contact met getijdenafzettingen (Lid van Dunkerque-BE/ Laagpakket van Walcheren-NL).

**f. Chronostratigrafische positie**

Holoceen.

**g. Dikte en verbreiding**

De verbreiding van het veen binnen het inventarisatiegebied is beperkt tot het uiterste westen, in en langs de paleo-Scheldevallei. De dikte van het veenpakket varieert van enkele centimeters tot meters.

## **h. Discussie/opmerkingen**

In Nederland komen de veenlagen ingeschakeld voor in getijden- en rivierafzettingen (Formatie van Naaldwijk en Kreekrak Formatie); afhankelijk van hun stratigrafische positie kunnen ze ingedeeld worden bij de Basisveen Laag of het Hollandveen Laagpakket. De Basisveen Laag omvat het veen dat voorkomt tussen de top van de pleistocene afzettingen en de basis van de Formatie van Naaldwijk; het Hollandveen Laagpakket omvat het veen dat voorkomt tussen en boven de getijdenafzettingen van de Formatie van Naaldwijk (in de praktijk inclusief het uitwiggende veen tegen de Brabantse Wal, net ten oosten van het verbreidingsgebied van de Formatie van Naaldwijk); veenvoorkomens in beekdalen worden bij het Laagpakket van Singraven van de Formatie van Boxtel gerekend (Schokker et al., 2007).

In België worden de quartaire veenlagen formeel gegroepeerd in de Groep van Organogene-Chemische eenheden (Gullentops et al., 2001). De enige veenafzetting die formeel benoemd wordt, is het Lid van Rotselaar van de Formatie van Arenberg; deze eenheid omvat uitsluitend de holocene veenlagen gevormd in een fluviaatiele omgeving in het Scheldebekken. Bij de Quartairkartering van kaartblad Kapellen-Essen werden de holocene veenlagen in het Schelde-estuarium gekarteerd als (informeel) lid van Antwerpen van de formatie van het Waasland (Bogemans, 1997). Gezien het ontbreken van een formele stratigrafische benaming voor deze afzettingen in België wordt het informele lid van Antwerpen geprefereerd.

## **21.6. Formatie van Vlaanderen (BE)/ Naaldwijk (NL)**

### **a. Lithologische samenstelling**

Binnen het inventarisatiegebied zijn wad- en getijdengeulenafzettingen aanwezig, die ingedeeld worden bij de leden van Calais en Dunkerque (BE; de laatste is niet aanwezig binnen het Belgische deelgebied)/ laagpakketten van Wormer en Walcheren (NL). De afzettingen bestaan uit een complexe opeenvolging van veelal schelpenhoudende fijne en matig fijne zanden en kleilagen, met grofzandige *lags* en dunne discontinue veenlagen.

### **b. Logsignatuur**

N.v.t.

### **c. Seismische interpretatie**

N.v.t.

### **d. Ondergrens**

Het Laagpakket van Wormer (NL; in het Nederlandse deelgebied) heeft veelal een scherp (erosief) contact met onderliggend veen (Formatie van Nieuwkoop-Basisveen Laag, NL), de Kreekrak Formatie (NL) of zandige pleistocene eenheden (Formatie van Boxtel of Formatie van Koewacht, NL).

Het Lid van Dunkerque (BE)/ Laagpakket van Walcheren (NL) heeft een discordant (erosief) contact met, of geleidelijke overgang van klei of fijn zand naar onderliggend veen (lid van Antwerpen-BE/ Formatie van Nieuwkoop-Hollandveen Laagpakket-NL). Waar veen en klei ontbreken, ligt het discordant op pleistocene eenheden (Formatie van Gent-BE/ Boxtel-NL of Formatie van Eeklo-BE/ Koewacht-NL).

Indien beide laagpakketten aanwezig zijn (in het Nederlandse deelgebied), worden ze van elkaar gescheiden door een doorlopende veenlaag (Formatie van Nieuwkoop-Hollandveen Laagpakket, NL).

### **e. Bovengrens**

Het Laagpakket van Wormer (NL) wordt stratigrafisch discordant bedekt door veen (Formatie van Nieuwkoop-Hollandveen Laagpakket-NL; geleidelijke overgang vaak inclusief doorworteling, of scherp contact) of door de eveneens estuariene afzettingen van het Laagpakket van Walcheren (NL; indien het veen geërodeerd is, scherpe overgang).

De bovengrens van het Lid van Dunkerque (BE)/ Laagpakket van Walcheren (NL) ligt doorgaans aan het maaiveld.

### **f. Chronostratigrafische positie**

Lid van Calais (BE)/ Laagpakket van Wormer (NL): Boreaal-Atlanticum.

Lid van Dunkerque (BE)/ Laagpakket van Walcheren (NL): Subatlanticum.

### **g. Dikte en verbreiding**

De verbreiding van beide laagpakketten/leden binnen het inventarisatiegebied is beperkt tot het uiterste westen, in en langs de paleo-Scheldevallei. Totale dikte binnen het inventarisatiegebied varieert van enkele meters tot 10 m, in getijdengeulen tot 20 m.

### **h. Discussie/opmerkingen**

Bij de Quartairkartering van kaartblad Kapellen-Essen (BE) werden de holocene estuariene afzettingen gekarteerd als (informele) formatie van het Waasland-lid van Ekeren (Bogemans, 1997).

Op Belgisch grondgebied is binnen de holocene veenafzettingen (lid van Antwerpen) een dunne brakwaterklei-intercalatie aangetroffen tot in Doel en Kallo; deze laag representeert de verste uitbreiding van mariene invloed tijdens het midden-Holoceen (Verbruggen & Denys, 1991; Kiden, 2006). In theorie kan deze laag gecorreleerd worden met het Lid van Calais (BE)/ Laagpakket van Wormer (NL), maar in de praktijk is ze in boringen moeilijk te onderscheiden van de fluviatiele afzettingen van de Formatie van Arenberg (BE) en wordt daarom daarmee samen gekarteerd (lid van Doel in de Quartairkartering; Bogemans, 1997).

## 22 Modeleenheid Antropogeen – opgebrachte grond

De modeleenheid Antropogeen omvat alle door de mens opgebrachte of herwerkte sedimenten en is dus zeer heterogeen van samenstelling.

In Nederland worden de Antropogene afzettingen onderverdeeld in de laagpakketten Opgebrachte grond, Omgewerkte grond en Esdekken; in het geologisch model DGM v2.2 en het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 is de eenheid geïncorporeerd in het Holoceen complex (HLC).

In België worden antropogene afzettingen formeel lithostratigrafisch niet onderscheiden; in de Vlaamse modellen worden alleen kunstmatige ophogingen onderscheiden, als G3Dv3-modeleenheid “Antropogeen” en H3Dv2-eenheid “A0110 Ophogingen”.

## 23 Referenties

- Adriaens, R., 2015. Neogene and Quaternary clay minerals in the southern North sea. KU Leuven, PhD proefschrift. *Aardkundige Mededelingen* 47, 272 pp.
- Al-Silwadi, S., 2017. Dinoflagellate cyst stratigraphy and paleoecology of the Upper Miocene and Pliocene, Rees Borehole, Northern Belgium. Unpublished MSc. Thesis Earth Science, Brock University, Ontario, Canada, 128 pp.
- Beerten, K., Vandenberghe, N., Gullentops, F. & Paulissen, E., 2005. Toelichting bij de Quartairgeologische kaart. Kaartblad 10-18 Maaseik. Vlaamse overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen, 49 pp.
- 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 pp.
- 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.
- Bogemans, F., 1994. Toelichting bij de Quartairgeologische Kaart van Vlaanderen, Kaartbladen 2&8. Ongepubliceerd technisch rapport, 102 pp.
- Bogemans, F., 1997. Toelichting bij de Quartairgeologische Kaart van Vlaanderen, Kaartblad 1-7, Essen-Kapellen. Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen, 40 pp.
- Bogemans, F., 1998. Toelichting bij de Quartairgeologische Kaart van Vlaanderen, Kaartbladen 3&9. Ongepubliceerd technisch rapport, 80 pp.
- Bogemans, F., 1999. The Campine Clays and Sands in northern Belgium: a depositional model related to sea level fluctuations. *Contr. Tert. Quatern. Geol.* 36(1-4): 59-72.
- Bogemans, F., 2005. Toelichting bij de Quartairgeologische Kaart van Vlaanderen, Kaartblad 2-8, Meerle-Turnhout. Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen, 38 pp.
- Buffel, P., Van Barel, L. & Gullentops, F., 1999. Geologische kaart van België, Vlaams Gewest, Kaartblad 8-2 Turnhout-Meerle. Vlaamse Overheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen.
- Buffel, P., Vandenberghe, N., Goolaerts, S. & Laga, P., 2001. The Pliocene in four boreholes in the Turnhout area (North-Belgium): the relation with the Lillo and Mol Formations. *Aardkundige Mededelingen*, 11: 1-9.
- Deckers, J., De Koninck, R., Bos, S., Broothaers, M., Dirix, K., Hambsch, L., Lagrou, D., Lanckacker, T., Matthijs, J., Rombaut, B., Van Baelen, K. & Van Haren, T., 2019. Geologisch (G3Dv3) en hydrogeologisch (H3D) 3D-lagenmodel van Vlaanderen. Studie uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving, departement Omgeving en de Vlaamse Milieumaatschappij. VITO, Mol, VITO-rapport 2018/RMA/R/1569. <https://archieff-algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/handle/acd/251494>
- 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.
- De Lang, F.D., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid. Formatie van Dongen. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 6 pp.
- De Lang, F.D. & Weerts, H.J.T., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Stramproy. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 5 pp.
- 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.
- De Ploey, J., 1961. Morfologie en Kwartair-stratigrafie van de Antwerpse Noorderkempen. *Acta Geographica Lovaniensia*, Vol. 1, 130 pp.
- De Schepper, S., Head, M.J. & Louwye, S., 2009. Pliocene dinoflagellate cyst stratigraphy, palaeoecology and sequence stratigraphy of the Tunnel-Canal Dock, Belgium. *Geol. Mag.* 146(1): 92-112.
- Dinoloket, 2018. Geografische verbreiding van de laagpakketten van de Formatie van Dongen. <https://www.dinoloket.nl/stratigrafische-nomenclator/naar-ouderdom/eoceen-paleoceen/formatie-van-dongen>

- 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. & Vandenberghe, N., 2020. Upper Oligocene lithostratigraphic units and the transition to the Miocene in North Belgium. *Geologica Belgica*, 23(3-4): 113-125.
- Dusar, M. & Vandenberghe, N., 2022. Lithostratigraphic identification sheet Veldhoven Formation. In: De Nil, K. & Verhaegen, J. (eds.), Revision of the Neogene stratigraphy of Belgium – Discussion Document, Version 1.0, National Commission for Stratigraphy of Belgium Subcommission for Paleogene and Neogene Stratigraphy: 5-10.
- Ebbing, J.H.J. & de Lang, F.D., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Oosterhout. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 6 pp.
- Everaert, S., Deckers, J., Munsterman, D., Wesselingh, F., 2023 (in review). The Pliocene-Pleistocene transition in the subsurface of the Dutch-Belgian border region: insights from borehole Huijbergen. *Geologica Belgica*.
- Gulinck, M., 1962. 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*, 6: 30-39.
- Gullentops, F.; Bogemans, F.; De Moor, G.; Paulissen, E. & Pissart, A., 2001. Quaternary lithostratigraphic units (Belgium). *Geologica Belgica*, 4/1-2: 153-164.
- 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., Adriaens, R., Goolaerts, S., Laga, P., Louwye, S., Matthijs, J., Vandenberghe, N. & Verhaegen, J., 2020. The Diest Formation: a review of insights from the last decades). *Geologica Belgica*, 23(3-4): 199-218.
- Houthuys, R., Adriaens, R., Goolaerts, S., Laga, P., Louwye, S., Matthijs, J., Vandenberghe, N. & Verhaegen, J., 2022. Lithostratigraphic identification sheet Diest Formation. In: De Nil, K. & Verhaegen, J. (eds.), Revision of the Neogene stratigraphy of Belgium – Discussion Document, Version 1.0, National Commission for Stratigraphy of Belgium Subcommission for Paleogene and Neogene Stratigraphy: 72-75.
- Houthuys, R., Vandenberghe, N. & Matthijs, J., 2018. Brussel formatie. NCS proposal text. [https://ncs.naturalsciences.be/sites/default/files/20180302\\_BrusselsFormation\\_aanp181219.pdf](https://ncs.naturalsciences.be/sites/default/files/20180302_BrusselsFormation_aanp181219.pdf)
- Kasse, C., 1988. Early-Pleistocene tidal and fluvial environments in the southern Netherlands and northern Belgium. *Vrije Universiteit Amsterdam, Academisch Proefschrift*, 190 pp. + ann.
- Kasse, K., 1990. Lithostratigraphy and provenance of the Early-Pleistocene deposits in the southern Netherlands and northern Belgium: *Geologie & Mijnbouw*, 69: 327-340.
- 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.
- Kiden, P., 2006. De evolutie van de Beneden-Schelde in België en Zuidwest-Nederland na de laatste ijstijd. *Belgische Tijdschrift voor Geografie*, 2006(3): 279-294.
- Kiden, P., 2010. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Koewacht. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 9 pp.
- Kiden, P. & Gouw, M., 2010. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Kreekrak Formatie. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 7 pp.
- Laga, P., 1974. Geologische SW-NE doorsnede Terhagen-Poppel (PGL-74/105). BGD archief.
- Louwye, S. & De Schepper, S., 2010. The Miocene–Pliocene hiatus in the southern North Sea Basin (northern Belgium) revealed by dinoflagellate cysts. *Geological Magazine*, 147 (5): 760–776.
- 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.



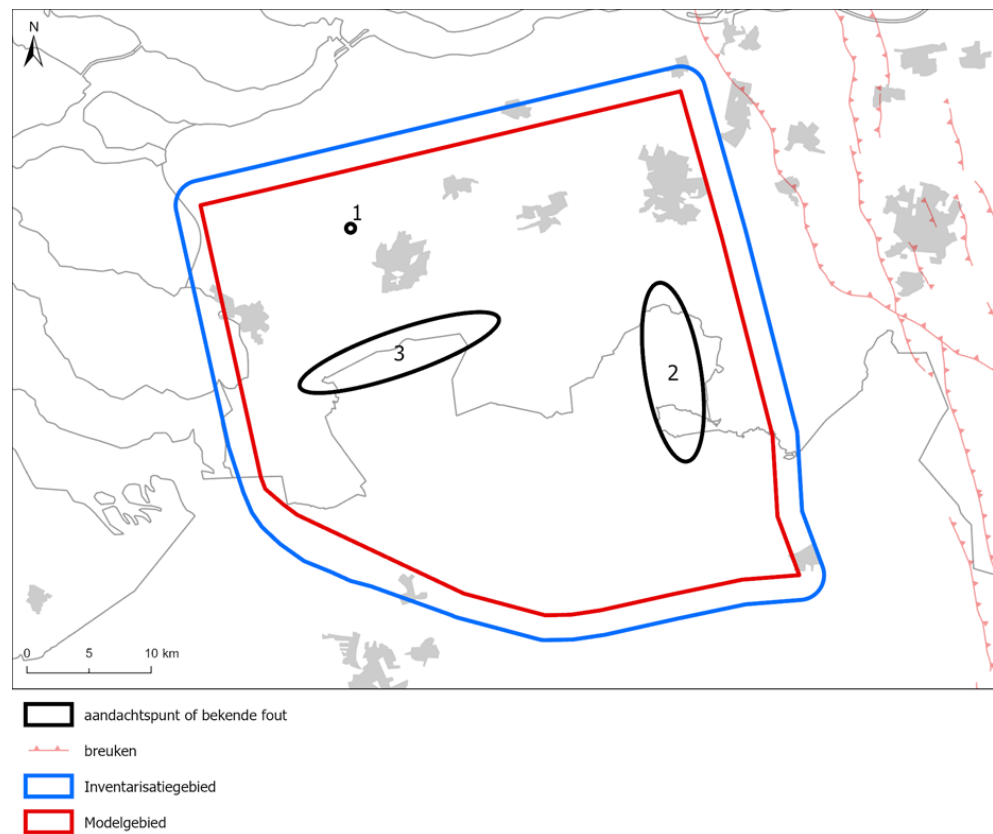
- Louwey, S., Deckers, J., & Vandenberghe, N., 2020. The Pliocene Lillo, Poederlee, Merksplas, Mol and Kieseloolite Formations in northern Belgium: a synthesis. *Geologica Belgica*, 23(3-4): 297-313.
- Louwey, S., Deckers, J., & Vandenberghe, N., 2022. Lithostratigraphical identification sheet Poederlee Member (Lillo Formation). In: De Nil, K. & Verhaegen, J. (eds.), Revision of the Neogene stratigraphy of Belgium – Discussion Document, Version 1.0, National Commission for Stratigraphy of Belgium Subcommittee for Paleogene and Neogene Stratigraphy: 215-217.
- Marechal, R. & Laga, P., 1988. Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Nationale commissies voor stratigrafie, commissie Tertiair, 208 pp.
- Matthijs, J., 2017a. Beselare Member - HnBe. NCS discussion text.  
<https://ncs.naturalsciences.be/sites/default/files/Discussion%20text%20Beselare%20Member%20%20Johan%20Matthijs%2010052017.pdf>
- Matthijs, J., 2017b. Maaseik Member - HsMa. NCS discussion text.  
<https://ncs.naturalsciences.be/sites/default/files/Discussion%20text%20Maaseik%20Member%20%20Johan%20Matthijs%2010052017.pdf>
- Munsterman, D.K., 2020. De resultaten van het palynologische onderzoek naar geselecteerde Paleogene en Neogene intervallen in boringen B49G0959, B49F0431, B49F1427 en B44D0483 (ZW Nederland- De Voorkempen). TNO Rapport R11209, 45 pp. incl. bijlage.
- Munsterman, D.K. & Brinkhuis, H., 2004. A southern North Sea Miocene dinoflagellate cyst zonation. *Netherlands Journal of Geosciences* 83(4): 267–285.
- Munsterman, D.K. & Deckers, J., 2020. The Oligocene/Miocene boundary in the ON-Mol-1 and Weelde boreholes along the southern margin of the North Sea Basin, Belgium. *Geologica Belgica*, 23(3-4): 127-135.
- Munsterman, D.K., ten Veen, J.H., Menkovic, A., Deckers, J., Witmans, N., Verhaegen, J., Kerstholt-Boegehold, S.J., van de Ven, T., & Busschers, F.S. (2019). An updated and revised stratigraphic framework for the Miocene and earliest Pliocene strata of the Roer Valley Graben and adjacent blocks. *Netherlands Journal of Geosciences*, 98, e8. <https://doi.org/10.1017/njg.2019.10>
- 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.
- Paepe, R. & Vanhoorne, R., 1976. The Quaternary of Belgium in its relationship to the stratigraphical legend of the geological map. *Memoirs of the Geological Survey of Belgium*, vol. 18, 38 pp.
- 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*, 9 pp.
- 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*, 86: 197-210.
- Sturbaut, E., De Ceukelaire, M., Lanckacker, T., Matthijs, J., Stassen, P., Van Baelen, H. & Vandenberghe, N., 2016. Lithostratigraphy Ieper Group. <http://ncs.naturalsciences.be/paleogene-neogene/ieper-group>
- Tavernier, R. & de Heinzelin, J., 1963. Introduction au Néogène de la Belgique. *Mémoires de la Société belge de Géologie*, 6: 7-30.
- Van Adrichem Boogaert, A.H. & Kouwe, W.F.P., 1993. Stratigraphic Nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGEPa. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* 50 (section I), 39 pp.
- Van Simaey, S., Munsterman, D. & Brinkhuis, H., 2005. Oligocene dinoflagellate cyst biostratigraphy of the southern North Sea Basin. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 134: 105-128.
- Vandenberghe, N. & De Ceukelaire, M., 2017. Lithostratigraphy Ieper Group – A practical guide to identify a lithostratigraphic unit in the Ieper Group. Eds.: De Nil, K. & De Ceukelaire, M. NCS.  
[https://ncs.naturalsciences.be/sites/default/files/Ieper%20Groep\\_flyer.pdf](https://ncs.naturalsciences.be/sites/default/files/Ieper%20Groep_flyer.pdf)
- Vandenberghe, N., De Craen, M. & Wouters, L., 2014. The Boom Clay Geology. From sedimentation to present-day occurrence: a review. *Memoirs of the Geological Survey of Belgium*, 60, 76 pp.
- Vandenberghe, N., Hager, H., van den Bosch, M., Verstraelen, A., Leroi, S., Steurbaut, E., Prüfert, J., & Laga, P., 2001. Stratigraphical Correlation by calibrated well logs in the Rupel Group between North Belgium, the Lower-Rhine area in Germany and Southern Limburg and the achterhoek, in The Netherlands. *Aardkundige Mededelingen*, 11: 69-84.

- 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., 2014. The implications of K-Ar glauconite dating of the Diest Formation on the paleogeography of the Upper Miocene in Belgium. *Geologica Belgica*, 17(2): 161-174.
- Vandenberghe, N., Verhaegen, J. & Walstra, J., 2023. Lithostratigraphic identification sheet Poppel facies. In: De Nil, K. & Verhaegen, J. (eds.), Revision of the Neogene stratigraphy of Belgium – Discussion Document, National Commission for Stratigraphy of Belgium Subcommission for Paleogene and Neogene Stratigraphy, version 6 January 2023, 3 pp.
- Vandenberghe, N., Wouters, L., Schiltz, M., Beerten, K., Berwouts, I., Vos, K., Houthuys, R., Deckers, J., Louwye, S., Laga, P., Verhaegen, J., Adriaens, R., & Dusar, M., 2020. The Kasterlee Formation and its relation with the Diest and Mol Formations in the Belgian Campine. *Geologica Belgica*, 23(3-4): 265-287. <https://doi.org/10.20341/gb.2020.014>
- Verhaegen, J. & Vandenberghe, N., 2022. Lithostratigraphic identification sheet Kasterlee Formation. In: De Nil, K. & Verhaegen, J. (eds.), Revision of the Neogene stratigraphy of Belgium – Discussion Document, Version 1.0, National Commission for Stratigraphy of Belgium Subcommission for Paleogene and Neogene Stratigraphy, pp. 97-100.
- Verhaegen, J., Adriaens, R., Louwye, S., Vandenberghe, N. & Vos, K., 2014. Sediment-petrological study supporting the presence of the Kasterlee Formation in the Heist-op-den-Berg and Beerzel hills, southern Antwerp Campine, Belgium. *Geologica Belgica* 17 (3-4), 323-332. <https://popups.uliege.be/1374-8505/index.php?id=4682>.
- Verheyen, A., 2003. Uitdieping van het Neogeen. Project i.o.v. NIRAS / ONDRAF. Katholieke Universiteit Leuven, Historische Geologie. Verslag: 41 pp.; interpretaties van boringen: 44 + 6 pp.; profielen 1 tot en met 5, profielen A & B: 41 pp.
- Verbruggen, C. & Denys, L., 1991. Early tidal influence on the Lower Schelde, Belgium. *Aardkundige Mededelingen*, 6: 167-169.
- Verhaegen, J., 2020. Stratigraphic discriminatory potential of heavy mineral analysis for the Neogene sediments of Belgium. *Geologica Belgica*, 23 (3-4): 379-398. DOI: 10.20341/gb.2020.003.
- Verhaegen, J., Frederickx, L. & Schiltz, M., 2020. New insights into the lithostratigraphy and paleogeography of the Messinian Kasterlee Formation from the analysis of a temporary outcrop. *Geologica Belgica*, 23 (3-4): 253-263. DOI: 10.20341/gb.2020.015.
- Verhaegen, J. & Vandenberghe, N. 2022. Lithostratigraphic identification sheet Poppel Facies (Kasterlee Formation). In: De Nil, K. & Verhaegen, J. (eds.), Revision of the Neogene stratigraphy of Belgium – Discussion Document, Version 1.0, National Commission for Stratigraphy of Belgium Subcommission for Paleogene and Neogene Stratigraphy: 120-122.
- Walstra, J., Meyvis, B. & Bogemans, F., 2020. Documentering van de tijdelijke ontsluiting 'kleigroeve Het Blak Meergoor te Beerse'. BGD rapport 2020/06, studie uitgevoerd in opdracht van Vlaams Planbureau voor Omgeving (Departement Omgeving), 24 pp.
- Weerts, H.J.T. & Busschers, F.S., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Nieuwkoop, 7 pp.
- 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 pp. + ann.
- 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 Breda. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 7 pp.
- Westerhoff, W.E., 2003b. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Sterksel. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 6 pp.
- 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 pp.
- Westerhoff, W.E., & Weerts, H.J.T., 2003. Beschrijving lithostratigrafische eenheid: Formatie van Waalre. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 9 pp.

- Westerhoff, W.E.; Kemna, H.A. & Boenigk, W., 2008. The confluence of Rhine, Meuse, and Belgian rivers: Late Pliocene and Early Pleistocene fluvial history of the northern Lower Rhine Embayment. *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw*, 87-1: 107-125.
- Wouters, L. & Schiltz, M., 2011. Overview of field investigations in and around the nuclear site of Mol-Dessel. ONDRAF/NIRAS open report, 100 pp. + ann.
- Zagwijn, W.H., 1989. The Netherlands during the Tertiary and Quaternary: A case history of Coastal Lowland evolution. *Geologie & Mijnbouw*, 68: 107-120.

## F Aandachtspunten en bekende fouten in de modellen

Deze bijlage geeft een overzicht van aandachtspunten en reeds bekende fouten in de modellen. De locaties of gebieden waar deze punten spelen, zijn vastgelegd in de shapefiles "aandachtspunten" die apart opgeleverd werd. 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 de modellen, stand 07/10/202022.

VOLG-NUMMER	OMSCHRIJVING
Algemeen	Het antropogeen is binnen het H3OVK model niet als aparte eenheid gemodelleerd. Het antropogeen, zoals dit in het model is opgenomen is binnen het Nederlandse grondgebied overgenomen uit GeoTOP 1.4, het antropogeen binnen het Belgische grondgebied is overgenomen uit G3Dv3.
Algemeen	Voor alle geologische- en hydrogeologische eenheden zijn de standaard landelijke modelleringstechnieken gebruikt. Dus ook bij de modellering van de holocene beekdalen. Doordat er echter een verschil in definitie in basis holoceen beekdal tussen Nederland en België wordt gehanteerd, bestaat er ook een verschil in interpretatie van de basis en de verbreiding van deze holocene beekdalen. De beekdalen in Nederland zijn daardoor significantie dieper dan de beekdalen in België. Voor een goede aansluiting zijn 2 beekdalen op het Nederlands grondgebied ten zuiden van Chaam aangepast aan de Belgische systematiek. Daarnaast is rond de landgrens een bufferzone van 2 kilometer aangehouden waarin de basis van de beekdalen in elkaar overlopen.
1	In het noordwestelijk deel van het modelgebied zit een sprong in de basis van de Formatie van Waalre tussen twee naast elkaar liggende boringen (B49E0254 en B49E1462). Deze sprong is veroorzaakt door de foutieve interpretatie van de boring B49E0254. Deze boring dient uit de selectieset verwijderd te worden.
2	In het Vlaamse deel van het grensgebied zijn grofweg noord-zuid lopende brede geulinsnijdingen van de formaties van Weelde, Malle en Merksplas (BE) - Formatie Waalre (NL) in de top van de onderliggende formatie van Lillo (BE) - Formatie van Maassluis (NL) geïnterpreteerd. De geometrie van dergelijke geulsystemen is niet in het aangrenzende Nederlandse deel bekend. Er zijn daar namelijk onvoldoende data om de ligging(richting) van de geulinsnijdingen te interpreteren. Dit resulteert in een verschil in diepteligging van de basis van de formaties van Weelde, Malle en Merksplas (BE) - Formatie Waalre (NL).
3	Er zijn in de Belgische en Nederlandse modellen verschillen in de diepteligging van de basis van de Formatie van Oosterhout (NL) of top van de Formatie van Diest (BE) / formatie van Diessen (NL). De oorzaak is de verschillend benadering bij de interpretatie van de Formatie van Oosterhout (NL) en de Formatie van Diest (BE). Het onderste hydrogeologische zandpakket van de Formatie van Oosterhout (NL), namelijk OOz4, wordt vanuit Nederland doorgetrokken tot in België. Daar wordt het in België echter reeds als onderdeel (top) van de Formatie van Diest (BE) beschouwd. Daarom kent het Nederlandse model van de Formatie van Oosterhout (NL) in België een sterke diktesprong (verdunding) waar het pakket OOz4 eindigt en lateraal overgaat in de Formatie van Diest (BE). In het Belgische model zit deze diktesprong niet aangezien OOz4 hier volledig binnen de Formatie van Diest (BE) wordt geplaatst.

## G Bestandsformaten en attributen

### G.1 Inleiding

Dit document is opgesteld in samenspraak tussen VMM, BGD, TNO, VITO en VPO in het begin van het H3O-De Voorkempen project. Het beschrijft de gemaakte data-afspraken en de bestanden die zullen opgeleverd worden door de uitvoerders aan Nederlandse en Vlaamse zijde in de context van dit project:

- bij de uitwisseling van bestanden tussen de opdrachtnemers doorheen de opdracht. Deze bestanden worden aangeduid met een (\*).
- bij de kwaliteitscontroles, tijdens de uitvoering. Deze bestanden en/of attributen worden niet formeel opgeleverd aan het einde van het project, noch publiek gemaakt. Deze bestanden of attributen worden aangeduid met een (\*\*).
- bestanden die enkel in Lambert/TAW opgeleverd worden (\*\*\*)
- op het einde van het H3O-De Voorkempen project.

### G.2 Algemene afspraken naamgeving bestanden

De naamgeving van de op te leveren producten van modelleenheden zal steeds conform zijn met de codes van deze modelleenheden in de correlatietabel.

De achtervoegsels van de op te leveren bestanden zal erop wijzen in welk coördinatenstelsel dit bestand wordt weergegeven of dient weergegeven te worden. Indien het achtervoegsel “\_RD” betreft, wijst dit erop dat het bestand in RD-referentiestelsel staat en volgens NAP-referentiehoogte. Indien het achtervoegsel “LB” betreft, wijst dit erop dat het bestand in Lambert-72 coördinaten staat en volgens TAW-referentiehoogte.

Indien er tussen de uitvoerders datasets worden uitgewisseld, wijzen achtervoegsels “\_BE” en “\_NL” in de naamgeving erop dat het data van respectievelijk Belgisch en Nederlands grondgebied betreft. (\*)

### G.3 Op te leveren bestandsformaten

De op te leveren bestandsformaten bestaan uit zowel grids als shapefiles. Bij beide soorten bestanden wordt de georeferentie op gepaste wijze toegevoegd. Hieronder wordt opgesomd welk type bestandsformaat bij welk type van op te leveren data wordt verwacht:

- Hoogte- en diktekaarten:
  - Grids van basis, dikte en top van alle eenheden (.img, .asc, .tif\*\*\*):
    - Dikte (m)
    - Hoogte (m TAW of NAP)
    - cijfers na de komma
  - Grids van gecombineerd maaiveld- en waterbodemhoogte (.img, .asc):
    - Hoogte (m TAW of NAP)
    - cijfers na komma
- Shapefiles voor punt-, lijn of polygoonkaarten.

## G.4 Attributen van de shapefiles van de modellen

De op te leveren shapefiles (voor punt-, lijn of polygoonkaarten) omvatten attribootgegevens. Deze attribootgegevens bevatten steeds automatisch volgende kolommen:

Attribuutnaam	Omschrijving
FID	Volgnummer
Shape of Shape*	Type shapefile (Point, Point ZM, Polyline, Polyline ZM of Polygon)

Daarnaast worden er nog extra attributen verwacht. Hieronder volgt een uiteenzetting van welke attribootgegevens verwacht worden per type van shapefile. De algemene shapefiles worden als eerste toegelicht en daarna de shapefiles die verschillend zijn voor de verschillende (hydro)geologische eenheden.

Algemene shapefiles

Gebieden met hoge onzekerheid (H3OVK\_gebied\_nummer.shp):

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
Volgnr	Uniek volgnummer van het gebied met hoge onzekerheid	-	-

Aandachtspunten (H3OVK\_aandachtspunten.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
Volgnummer	Uniek volgnummer van het aandachtspunt	-	-
type	"lijn" of "gebied". Het aandachtspunt heeft betrekking op een lijntraject (lijn), of op meerdere boringen, een regio, ... (gebied)	Lijn/gebied	-

Overzicht boringen (H3OVK\_boringen\_overzicht.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
DINO	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databank DINOLOKET	-	-
NLOG	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databank NLOG	-	-

DOV	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databank DOV (voor alle publieke boringen in Vlaanderen noodzakelijk)	-	-
BGD	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databanken van BGD	-	-
ANDER	Een andere naam of nummer uit een extern archief, die in de rijen hierboven niet voorkomt maar wel een nuttige aanvulling is om de herkomst van de boring te documenteren.	-	-
X	x-coördinaat in m	m	2
Y	y-coördinaat in m	m	2
Z	Hoogte van het maaiveld ter hoogte van de boring ten tijde van de boring in mTAW	m	2
Einddiepte	Einddiepte van de boring (m)	m	2
BGM	Is er een boorgatmeting aanwezig?	J/N	-
DOV-pkey	Indien een NR-DOV: unieke, stabiele link naar DOV-database	-	-
Openbaarheid	Is de boring openbaar?	J/N	-

## Overzicht 2D seismiek (H3OVK\_2Dseismiek\_overzicht.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
Campagne	Naam van de seismische campagne waartoe de lijn behoort	-	-
Lijnid	Id van de seismische lijn	-	-
Jaartal	Jaartal van de uitvoering van de seismische campagne	Jaartal	-

Shapefiles zonder extra kolommen:

- i. Modelgebied (H3OVK\_modelgebied.shp)
- iii. Inventarisatiegebied (H3OVK\_inventarisatiegebied.shp)



Shapefiles geologisch en hydrogeologisch model  
 Boringen (H3OVK\_eenheid\_bo.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
DINO	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databank DINOLOKET	-	-
NLOG	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databank NLOG	-	-
DOV	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databank DOV	-	-
BGD	Uniek identificatienummer van de boring zoals gebruikt in de databanken van BGD	-	-
ANDER	Een andere naam of nummer uit een extern archief, die in de rijen hierboven niet voorkomt maar wel een nuttige aanvulling is om de herkomst van de boring te documenteren.	-	-
X	x-coördinaat (L72 of RD)	m	2
Y	y-coördinaat (L72 of RD)	m	2
Z	Hoogte van het maaiveld ter hoogte van de boring (in TAW of NAP)	m	2
Einddiepte	Einddiepte van de boring (m)	m	2
BGM	Is er een boorgatmeting aanwezig	J/N	-
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	Aanwezig/ afwezig/die per dan	-
Top_ref	Hoogte van de top van de eenheid in de boring ten opzichte van de referentiehoogte (TAW of NAP), waarbij deze diepte conform het boorverslag is.	m	2
Basis_ref	Hoogte van de basis van de eenheid in de boring ten opzichte van de referentiehoogte (TAW of NAP), waarbij deze diepte conform het boorverslag is.	m	2
Top_mv	Diepte van de top van de eenheid zoals gemeten in de boring.	m	2
Basis_mv	Diepte van de basis van de eenheid zoals gemeten in de boring.	m	2
Dikte	Dikte van de eenheid (m)	m	2
Z_model (**)	Diepte van de eenheid volgens het model van de basis	m	2
Delta_z (**)	Verschil tussen de diepte van de basis van de eenheid volgens het model en de boring (diepte_basis_mod – diepte_basis_ref)	m	2

In bepaalde gevallen kunnen er in plaats van dieptes in de boringen, ook codes worden ingevuld. Hieronder de mogelijke codes en wat ze betekenen:

-7777	De grens is aanwezig, maar kon niet worden bepaald in de boring
-8888	De boring eindigt in eenheid, dus er kan geen basis in worden vastgelegd
-9999	De eenheid is afwezig

Steunpunten in het diepte-domein (H3OVK\_eenheid\_stp\_diepte.shp) (\*\*)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
NR	Unieke nummer van het steunpunt in het H3OVK-project	-	-
Hoogte/Dikte	Hoogte van het steunpunt ten opzichte van het referentieniveau, afhankelijk van de folder t.o.v. NAP of TAW/Dikte van de eenheid op het steunpunt.	m	2
Reden	Reden voor het plaatsen van het steunpunt	-	-
Type	Aangeven of de basis of dikte of de top of een tussenliggend herkenbaar niveau in een eenheid aangeduid wordt	Basis/Dikte/top/tussen	-

Steunlijnen in het diepte-domein ( H3OVK\_eenheid\_stl\_diepte.shp) (\*\*)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
NR	Unieke nummer van de steunlijn in het H3OVK-project	-	-
Hoogte/Dikte	Hoogte van de steunlijn ten opzichte van het referentieniveau, afhankelijk van de folder t.o.v. NAP of TAW/Dikte van de eenheid op de steunlijn.	m	2
Type	Aangeven of de basis of de top of een tussenliggend herkenbaar niveau in een eenheid aangeduid wordt	Basis/top/tussen	-

## Steunlijnen voor horizons in het tijdsdomein (H3OVK\_ eenheid\_stl\_tijd.shp) (\*\*)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
NR	unieke nummer van de steunlijn (TWT) in het H3OVK-project	-	-
Reden	Reden voor het plaatsen van de steunlijn	-	-
Type	Aangeven of de basis of de top of een tussenliggend niveau aangeduid wordt	Basis/top/tussen	-

## Seismische interpretaties horizons (H3OVK\_ eenheid\_b\_se.shp)

Attribuutnaam	Omschrijving	Eenheid	Aantal decimalen
Tijdswaarde	Diepte van de seismische interpretatie van de betreffende eenheid in tijd (TWT)	ms	2
Type	Aangeven of de basis of de top of een tussenliggend niveau aangeduid wordt	Basis/top/tussen	-