

Tussentijds rapport

Geologisch 3D-lagenmodel voor 10 Cenozoïsche formaties

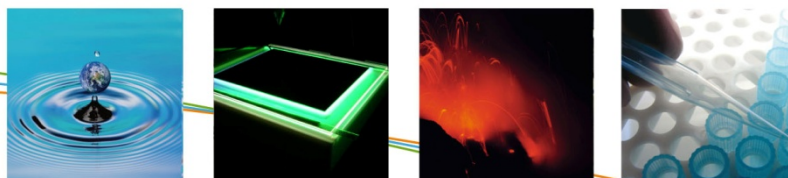
Roel De Koninck, Timothy Lanckacker en Johan Matthijs

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



2012/SCT/R/12

Januari 2012



VITO NV

Boeretang 200 – 2400 MOL – BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 – Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be – www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 435-4508191-02 KBC (Brussel)
BE32 4354 5081 9102 (IBAN) KREDBEBB (BIC)

VERSPREIDINGSLIJST

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

SAMENVATTING

In dit rapport wordt beschreven hoe de kartering van de basis van tien Cenozoïsche lithostratigrafische formaties plaatsvond voor Vlaanderen, exclusief de Roerdalslenk. Het betreft de Formaties van Weelde, Malle, Merksplas, Maldegem, Brussel, Aalter, Gentbrugge, Tielt, Kortrijk en Hannut. Deze kartering, die kadert in het opstellen van een geologisch 3D-model voor Vlaanderen, werd uitgevoerd als onderdeel van de VLAKO-referentietask voor ALBON.

De gebruikte gegevens zijn vooral boorbeschrijvingen en boorgatmetingen die afkomstig zijn uit de Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV), de archieven van de Belgische Geologische Dienst (BGD) en de archieven van de Kempense Steenkoolmijnen (KS). Dit laatste archief wordt beheerd door VITO. Naast de observaties uit Belgische boringen, werd ook een aantal Nederlandse boringen geselecteerd uit de archieven van TNO (via dinoloket) en uit de archieven van de BRGM (via infoterre). Aangezien er in het noordoosten van Vlaanderen (in de Roerdalslenk) nauwelijks boordata aanwezig zijn, wordt dit gebied in dit rapport buiten beschouwing gelaten. Desalniettemin werd de basis van de 10 formaties in dit gebied wel degelijk gekarteerd, en dit op basis van seismische analyses. Hiervoor wordt verwezen naar het VITO-rapport Broothaers, Deckers, Lagrou en Matthijs van 2012. Beide modellen (in en uit de Roerdalslenk) worden in het 3D-Lagenmodel samengebracht.

Na de selectie van de gegevens, op basis van zowel stratigrafische als geografische gronden, werden deze data gecontroleerd. Vooreerst gebeurde dit door de coördinaten van de verschillende archieven met elkaar te vergelijken. Indien er een significante afwijking aanwezig was, werden de coördinaten nagekeken. Op basis van de originele kaarten van de BGD en de topografische kaart, werden vervolgens aangepaste coördinaten voorgesteld. Een tweede controle gebeurde door de bekomen gegevens in ArcGIS te plotten om also hun geografisch verband duidelijk te laten worden. Boorbeschrijvingen die niet voldeden aan een algemene trend, werden nagezien. Indien mogelijk werden deze boorbeschrijvingen aangepast, hetzij voor wat betreft de coördinaten, hetzij voor wat betreft de geologische interpretaties. Een ander deel van de afwijkende boorbeschrijvingen moest verworpen worden omdat ze onvoldoende betrouwbaar waren voor het opstellen van het 3D-model.

De controle van de gegevens werd gevolgd door het manueel tekenen van enkele isohypsenkaarten van de basis van de 10 verschillende formaties. Om een geologisch relevante interpolatie te kunnen uitvoeren, werden enkele breuken overgenomen uit de kartering van de top van het Krijt (Matthijs & Lagrou, 2007). Deze breuken werden lichtjes verschoven, als gevolg van de geringere diepteligging van de Tertiaire formaties.

Uiteindelijk werd, na enkele keren de isohypsenkaart te hebben aangepast en hertekend, zo een isohypsenkaart van de basis van de bestudeerde formaties bekomen. De hierop getekende isohypsen werden gedigitaliseerd en ingeladen in AutoCAD. In dit softwarepakket werd aan elke isohyps en aan elke breuk een 3D-waarde gehangen. Isohypsen en breuken werden nadien van punten voorzien en deze onregelmatige puntenwolk werd als ASCII-bestand geëxporteerd. Op basis hiervan werd er in Surfer een regelmatig raster opgebouwd met een celgrootte van 100 op 100 meter. Tenslotte werd dit raster in ArcGIS geladen en naar het gewenste formaat omgezet. Na het afknippen volgens de voorkomens- en landgrens, werd zo een 3D-model bekomen van de basis van de Formaties van Weelde, Malle, Merksplas, Maldegem, Brussel, Aalter, Gentbrugge, Tielt, Kortrijk en Hannut.

INHOUD

Verspreidingslijst	I
Samenvatting	III
Inhoud	IV
Lijst van tabellen	V
Lijst van figuren	VI
Lijst van afkortingen	VII
HOOFDSTUK 1. Opbouw van het model	1
1.1. Gebruikte gegevens	1
1.2. Verwerking van de gegevens	2
1.2.1. Selectie en controle van data	2
1.2.2. Geologische kenmerken en problemen	5
1.2.3. Modellerings	15
HOOFDSTUK 2. Kaarten	17
2.1. Isohyphen van de basis van de Formatie van Weelde	17
2.2. Isohyphen van de basis van de Formatie van Malle	18
2.3. Isohyphen van de basis van de Formatie van Merksplas	19
2.4. Isohyphen van de basis van de Formatie van Maldegem	20
2.5. Isohyphen van de basis van de Formatie van Brussel	21
2.6. Isohyphen van de basis van de Formatie van Aalter	22
2.7. Isohyphen van de basis van de Formatie van Gentbrugge	23
2.8. Isohyphen van de basis van de Formatie van Tielt	24
2.9. Isohyphen van de basis van de Formatie van Kortrijk	25
2.10. Isohyphen van de basis van de Formatie van Hannut	26
HOOFDSTUK 3. Besluit	29
Literatuurlijst	30

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1. Overzicht van de in 2011 gekarteerde Tertiaire formaties	5
Tabel 2. Overzicht van de gekarteerde lagen ten opzichte van Buffel et al. (2001) en Bogemans (2006)	7

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1. Positie van boring kb7d15e-B206 op de topografische kaart, volgens gegevens DOV-archief (rood) en volgens gegevens BGD-archief (blauw)	3
Figuur 2. Geofysische boorgatmeting van boring KS22, met de kenmerkende signatuur van de Formatie van Hannut.	14
Figuur 3. Isohypsen van de basis van de Formatie van Weelde	17
Figuur 4. Isohypsen van de basis van de Formatie van Malle	18
Figuur 5. Isohypsen van de basis van de Formatie van Merksplas	19
Figuur 6. Isohypsen van de basis van de Formatie van Maldegem	20
Figuur 7. Isohypsen van de basis van de Formatie van Brussel	21
Figuur 8. Isohypsen van de basis van de Formatie van Aalter	22
Figuur 9. Isohypsen van de basis van de Formatie van Gentbrugge	23
Figuur 10. Isohypsen van de basis van de Formatie van Tielt	24
Figuur 11. Isohypsen van de basis van de Formatie van Kortrijk	25
Figuur 12. Verschillende deelzones bij de constructie van de isohypsen van de Formatie van Hannut. Het groene gebied is het Belgische deel van de Roerdalslenk.	26
Figuur 13. Isohypsen van de basis van de Formatie van Hannut	27

LIJST VAN AFKORTINGEN

ALBON	Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen
ANRE	Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie
BGD	Belgische Geologische Dienst
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières, de Franse geologische dienst
DOV	Databank Ondergrond Vlaanderen
KS	Kempische Steenkoolmijnen
MVG	Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
TAW	Tweede Algemene Waterpassing, Belgisch referentieniveau voor hoogtemeting
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
VLAKO	Vlaams Kenniscentrum voor de Ondergrond
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij

HOOFDSTUK 1. OPBOUW VAN HET MODEL

1.1. GEBRUIKTE GEGEVENS

Bij de opbouw van het 3D-model werden volgende informatiebronnen gebruikt:

- *Boorbeschrijvingen*, komende uit de archieven van
 - DOV
 - BGD
 - VITO (het KS-archief)
 - Metro Brussel (BGD-archief)
 - TNO (via dinoloket.nl)
 - BRGM (via infoterre.fr)
- *Boorgatmetingen*
 - DOV
 - BGD
 - VITO (KS-boorgatmetingen)
 - VMM (Welkenhuysen & De Ceukelaire, 2009)
- *Kaartmateriaal*
 - Geologische kaart van Vlaanderen in digitale vorm (MVG, ANRE, 2001)
 - Toelichtingen bij de Tertiairgeologische kaartbladen van België
 - Toelichtingen bij de Quartairgeologische kaart van België
 - Topografisch model DEM-VLAKO (Matthijs, 2010)
 - 3D-model van het Quartair in Vlaanderen (Matthijs, 2011)
 - Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen (OC-GIS Vlaanderen, 2003)
 - Hydrologische kartering van de Ondergrond in Vlaanderen (HCOV) (Vancampenhout *et al.*, 2007)
 - De structureel-geologische kaart van de Kempen (Langenaeker, 2000)
- *Algemene stratigrafische achtergrond*
 - Lithostratigrafische indeling van het Neogeen (De Meuter & Laga, 1976)
 - Lithostratigrafische indeling van het Paleogeen (Marechal & Laga (1988) en Steurbaut (1998))
 - De Neogene en Paleogene stratigrafische eenheden in de herziene stratigrafische schaal van België (Laga *et al.*, 2001)
 - Sequentiestratigrafie van de Tertiaire afzettingen in Noord-België (Vandenberghe *et al.*, 2004)
 - Geologie van de Kempen (Wouters & Vandenberghe, 1994)
 - De reconstructie van de Pliocene en Pleistocene paleogeografie van noordelijk Vlaanderen (bijvoorbeeld Bogemans (1999), Funnell (1996) en Kasse (1988))

1.2. VERWERKING VAN DE GEGEVENS

1.2.1. SELECTIE EN CONTROLE VAN DATA

In eerste instantie werd het verzamelde kaartmateriaal gedigitaliseerd. Het betreft hier voornamelijk de isohypsenkaarten die in de verschillende toelichtingenboekjes van het Tertiair terug te vinden zijn. Daarnaast werd ook gewerkt met een automatische analysefunctie die de archieven van DOV op een handige en snelle manier onderzocht. Deze bevragingsmodule werd ingeschakeld om een bepaalde formatie af te zonderen in DOV en om vervolgens, de daaraan vasthangende, nuttige informatie uit te zuiveren en op te slaan in een tabel. Op deze wijze werden bijvoorbeeld alle boringen waarin de Formatie van Kortrijk geïnterpreteerd is, uitgefilterd. Bovendien werden uit de desbetreffende boorbeschrijvingen ook automatisch volgende kenmerken in een tabel weergegeven:

- het proefnummer (of DOV-nummer)
- x-, y- en z-coördinaten;
- positie van de top en basis van de onderzochte formatie (uitgedrukt ten opzichte van het maaiveld, z);
- dikte van de geanalyseerde formatie;
- positie van de basis van de formatie (ten opzichte van zeeniveau, TAW);
- de gecodeerde naam van de formaties / leden boven en onder de geanalyseerde formatie;
- de gecodeerde naam van het bovenste en het onderste aangetroffen lid binnenin de onderzochte formatie (bij Gentbrugge bvb GeVI en GeMe).

Deze werkwijze werd gevolgd voor alle onderzochte lagen, behalve de bovenste 3, namelijk de Formaties van Weelde, Malle en Merksplas. De interpretaties van deze lagen zitten niet, of slechts onvolledig, in DOV. Daarom werd er voor deze 3 formaties gewerkt met de tabellen uit de Quartairkartering van de Noorderkempen, meerbepaald van de kaartbladen 2-8 en 3-9 (Bogemans, 2005a & 2005b).

Om ook de boorbeschrijvingen die enkel in het BGD-archief aanwezig waren, te incorporeren, werd een andere vorm van selectie uitgevoerd. Op basis van de isohypsen van het HCOV-model (Vancampenhout *et al.*, 2007), werd een benaderend basisvlak voor de te onderzoeken formaties gecreëerd. Voor de Plio-Pleistocene formaties werd op basis van de reeds vergaarde data zelf een benaderend basisvlak geconstrueerd. Vervolgens werden de (volledige) dieptes van de BGD-boringen vergeleken met de benaderde diepteligging van dit zojuist bekomen basisvlak. Indien de boring zijn eindpunt dieper had dan het aldaar voorspelde basisvlak, was ze geschikt om verder gebruikt te worden in de constructie van het 3D-model. Deze boringen prikken immers als het ware door de basislaag heen. De bekomen lijst boringen overlapte in grote mate met de geselecteerde boringen uit het DOV-archief. Daarnaast kwamen op deze wijze ook nieuwe data aan het licht. De nieuwe gegevens moesten echter manueel ingegeven worden. Er dient te worden opgemerkt dat een aantal geselecteerde BGD-boringen achteraf ten onrechte bleek geselecteerd te zijn. Dit was waarschijnlijk te wijten aan één of meerdere van volgende factoren: foute z-waardes (en bijgevolg foute diepteliggingen), foute positionering (x,y), onvolkomenheden in het benaderende 3D-model, ontbrekende dieptes en/of boorbeschrijvingen, enz.

De vraag kan gesteld worden of het wel nodig was om bijkomende inspanningen te doen om deze extra BGD-boringen in te voegen. Hoe dan ook kwamen deze additionele punten de nauwkeurigheid van het 3D-model ten goede, en hielp het mee om een aantal lokalisatie- en typefouten in de databanken te kunnen opsporen en dus ook het model te kunnen uitzuiveren.

Bovendien dienen deze extra boringen ook als een oplossing voor de blinde vlekken zoals in verscheidene breukvakken van het Bekken van de Kempen, waar het interpreteren anders moeilijk was. Tot slot wordt de kwaliteit van het 3D-model in het dagzoomgebied van de onderzochte Tertiaire formaties ook verhoogd door extra boringen mee te nemen in de database.

De bekomen selectie werd vervolgens aan een aantal controles onderworpen. Vooreerst werden de coördinaten van de verschillende boringen gecontroleerd. Hiervoor werden eerst de geselecteerde DOV-nummers gekoppeld aan de BGD-nummers en vice versa. Ook hun respectievelijke coördinaten werden ingevoegd in de bestaande tabel. Bijgevolg werd het mogelijk om een vergelijking te maken tussen de twee bronnen van coördinaten. Indien de twee reeksen coördinaten overeenkwamen, werd er van uitgegaan dat de bijhorende boorpunten juist gepositioneerd waren. Indien er echter een aanzienlijke afwijking te zien was tussen de twee coördinaten ($> 250\text{m}$ verschil voor x en y ; $> 2\text{m}$ verschil voor z), diende er een extra controle te gebeuren. De exacte positionering van deze punten werd geplot en vergeleken met de oorspronkelijke BGD-positionering, die indertijd meestal met de hand was aangetekend op een topografische kaart daterend uit circa 1900. Deze originele coördinaten van op de oude BGD-kaarten werden vervolgens bij de opbouw van het 3D-model aangenomen als zijnde de (meest) correcte. Hiervoor werden 3 extra kolommen in de bestaande tabel ingevoegd (*aangepaste x , y en z*). In Figuur 1 is een voorbeeld te zien van een dergelijk coördinatenprobleem, waarbij de boring kb7d15e-B206 een andere x - en y -coördinaat had in de archieven van DOV en BGD. Het BGD-nummer van deze boring is 015e0198. In Figuur 1 is de topografische kaart van de omgeving weergegeven. De blauwe cirkel op de kaart geeft de coördinaten van de BGD weer, en staat op exact dezelfde plaats als op de oude BGD-kaartjes. De rode cirkel duidt de coördinaten van DOV aan. De originele, op de oude kaarten aangetekende, coördinaten komen dus enkel overeen met de BGD-coördinaten, waardoor deze dan ook werden weerhouden.



Figuur 1. Positie van boring kb7d15e-B206 op de topografische kaart, volgens gegevens DOV-archief (rood) en volgens gegevens BGD-archief (blauw)

In dit geval werd het weerhouden van de BGD-coördinaten geruggensteund door extra uitleg in de boorbeschrijving zelf. Er wordt immers vermeld dat de boring in 1934 werd uitgevoerd langsheen de “Chaussée de Bréda” meerbepaald te “Voskol”, heden ten dage gekend als de “Bredabaan” in de wijk “Voshol”. Zoals op Figuur 1 is te zien liggen de BGD-coördinaten wel degelijk in de buurt van de “Bredabaan” en de wijk “Voshol”, terwijl de DOV-coördinaten ergens anders plotten.

In de volgende tussenstap werd nagegaan welke van de geselecteerde boringen vergezeld werden van een geofysische boorgatmeting. Een groot deel van deze boorgatmetingen werd reeds geïnterpreteerd (Vandenberghe *et al.* (2001), Verheyen (2003), Welkenhuysen & De Ceukelaire (2010) en op DOV). Deze datapunten hadden een grotere betrouwbaarheid en werden daarom primordiaal gebruikt, alvorens de overige boringen erbij te betrekken. De interpretaties die zijn gestoeld op boorgatmetingen verkrijgen deze meerwaarde ten opzichte van andere interpretaties omdat de eigenschappen van de boorputten, eenmaal de geofysische meting geplot, beter en nauwkeuriger met elkaar zijn te vergelijken dan bij gewone lithologische beschrijvingen. Bovendien vervalt bij boorgatmetingen gedeeltelijk de persoonlijke interpretatie van de observator, daar er gewerkt wordt met gestandaardiseerde meetinstrumenten. Kwalitatief gezien zijn de gemeten signalen tussen verschillende boringen eenduidiger te vergelijken, dan de relatief gezien “subjectieve” boorbeschrijvingen. Hierdoor worden interpretatieproblemen zoals die bijvoorbeeld voorkomen bij het beschrijven van kleilig zand of zandige klei vermeden: afhankelijk van de auteur zal immers in bovenstaand geval de op de lithologie gebaseerde interpretatie hiervan verschillen, terwijl bij een boorgatmeting de interpretatie veel minder persoonsgebonden zal zijn. De grenzen tussen de formaties zijn bijgevolg dan ook waarheidsgetrouwer aan te duiden.

Vervolgens werden alle boringen waarvan het diepste punt zich boven de ondergrens van de gezochte formatie bevond, apart genomen. Deze boringen werden in een latere fase gebruikt om het model te controleren, of om in gebieden met weinig data toch een inschatting te kunnen maken van de positie van de basissen (die dan natuurlijk lager moet liggen dan het diepst bereikte punt).

De resterende boordata werden daarna een eerste keer geplot met behulp van het computerprogramma ArcGIS (ArcMap). Dit resulteerde, na een voorlopige interpolatie, in een benaderende algemene hellings- en dieptetrend, maar bracht meteen ook een aantal afwijkingen aan het licht.

Deze anomalieën kunnen verschillende bestaansredenen hebben:

- *Als gevolg van de gebruikte boortechnieken*
Boorbeschrijvingen die werden gebaseerd op spoelboringen dienen dikwijls met een korreltje zout genomen te worden en soms zelfs serieus in vraag gesteld te worden, als gevolg van de verregaande interactie en verspoeling tussen de verscheidene opgeboorde lagen, nog vooraleer ze aan het aardoppervlak door de geoloog van dienst kunnen worden beschreven. Indien deze afwijkende spoelboringen duidelijk te ongedetailleerd waren om te kunnen gebruiken in dit onderzoek, werden ze apart gehouden om te vermijden dat ze later ongewenste vervormingen van het model zouden teweeg brengen. Deze boringen werden dus in de volgende stadia van de opbouw van het 3D-model niet meer gebruikt.
- *Doordat de interpretatie en de toegekende stratigrafie in vraag zijn te stellen*
Bij het grootste deel van deze boringen kon een nieuw voorstel gedaan worden voor wat betreft de positie van de formatiegrens. Dit loste meestal de afwijking op. De reden van aanpassing werd bijgehouden in een nieuwe tabel, telkens vergezeld van de belangrijkste informatie omtrent de boring. Met deze aangepaste datapunten werd verder gewerkt.

Als gevolg van deze eerste controlerende waren alle data onderverdeeld in 3 groepen:

- Bruikbare boringen (initieel goed fittende data + de aangepaste boringen)
- Probleemboringen ('slechte' spoelboringen + sterk afwijkende andere soorten boringen)
- Boringen die niet door de basis van een bepaalde formatie snijden, maar wel de top doorprikken

Na deze indeling in groepen, werd de groep van de "bruikbare boringen" nogmaals geplot. Opnieuw werd een controle uitgevoerd op de al te afwijkende punten (de afwijking was zoals te verwachten al veel kleiner dan bij de eerste controle). Ditmaal spitste de controle zich echter vooral nog toe op de geologische interpretaties. In wat volgt zullen enkele specifieke interpretatieproblemen laag per laag worden besproken.

1.2.2. GEOLOGISCHE KENMERKEN EN PROBLEMEN

→ Algemene kenmerken

De 10 gekarteerde Tertiaire formaties bevinden zich verspreid in de stratigrafische kolom. De formaties zijn grotendeels in 3 groepen te verdelen. Een eerste groep vinden we in de grenszone tussen het Quartair en het Tertiair, terwijl de tweede groep voornamelijk in het midden van het Tertiair gesitueerd is (Tabel 1). De laatste groep bevat enkel de Formatie van Hannut die vroeg in het Tertiair werd afgezet.

Formatie	Ouderdom	Voorkomingsgebied	Laag
Weelde	Onder Pleistoceen	Antwerpen	1
Malle	Onder Pleistoceen	Antwerpen	2
Merksplas	Onder Pleistoceen tot Boven Pliocene	Antwerpen	3
Maldegem	Boven Eoceen	Geheel Vlaanderen	4
Brussel	Midden Eoceen	Antwerpen, Vlaams-Brabant, Limburg	5
Aalter	Midden Eoceen	Oost-Vlaanderen, West-Vlaanderen	6
Gentbrugge	Onder Eoceen	Antwerpen, Oost-Vlaanderen, Vlaams-Brabant, West-Vlaanderen	7
Tielt	Onder Eoceen	Antwerpen, Oost-Vlaanderen, Vlaams-Brabant, West-Vlaanderen	8
Kortrijk	Onder Eoceen	Geheel Vlaanderen	9
Hannut	Laat Paleoceen	Geheel Vlaanderen	10

Tabel 1. Overzicht van de in 2011 gekarteerde Tertiaire formaties

De gekarteerde lagen hebben typisch het grootste deel van hun voorkomingsgebied in het noorden van de provincies West-Vlaanderen, Oost-Vlaanderen en Antwerpen. Meer zuidelijk komen deze formaties echter ook voor, maar dan als geïsoleerde outliers bovenop verschillende getuigenheuvels in het zuiden van Vlaanderen. Een uitzondering hierop vormen de 3 bovenste lagen (Formaties van Weelde, Malle en Merksplas), die enkel voorkomen in de Noorderkempen. Hun verspreidingsgebied is dan ook vrij beperkt.

→ **Formatie van Weelde**

De Formatie van Weelde bestaat uit grijze tot blauwgrijze micahoudende kleien, soms afgewisseld met zandige laagjes. Voornamelijk in het noorden en het oosten van het voorkomensgebied wordt de Formatie van Weelde in z'n geheel beduidend zandiger.

De Formatie van Weelde is van oorsprong een fluviatiele afzetting, waardoor veen, fossiele bodems, schuine gelaagdheid en ook bioturbaties kunnen voorkomen. Schelpen komen normaal gezien niet voor.

In totaal bestaat de Formatie van Weelde uit 3 leden (Bogemans, 2006), van boven naar onder: de leden van Rijkevorsel, Beerse en Turnhout. Voornamelijk het Lid van Beerse komt slechts lokaal voor, maar ook de andere leden zijn niet per se over het gehele voorkomensgebied van de Formatie van Weelde terug te vinden. Bovendien wordt het onderscheid tussen de verschillende leden naar het noordoosten toe (dieper in het bekken) ook steeds moeilijker te maken.

De dikte van de Formatie van Weelde bedraagt gemiddeld ongeveer 10 tot maximaal 20 meter, waarbij de hoogste waardes worden opgetekend in het noord(oost)en.

→ **Formatie van Malle**

De Formatie van Malle wordt gekenmerkt door een pakket grijze tot bruingrijze, fijne tot zeer fijne zanden. De zanden zijn soms licht glauconiethoudend. Mica's zijn dikwijls aanwezig, terwijl schelpen volledig ontbreken. Verspreid komen silt- of kleilenzen voor. Sporadisch kunnen ook lenzen met grof zand voorkomen, wat het onderscheid met de onderliggende Formatie van Merksplas soms kan bemoeilijken. Bogemans (2006) deelt de Formatie van Malle in twee leden, namelijk het Lid van Brasschaat en het Lid van Vosselaar. De verschillen tussen deze twee leden zijn echter dermate klein dat een onderscheid in de meeste gevallen niet is vast te stellen. De Formatie van Malle heeft een dikte tussen 10 en 25m, waarbij de diktes het hoogst oplopen in het oosten.

Een probleem duikt op aan de zuidelijke dagzoomgrens van de Formatie van Malle: daar wordt het dikwijls erg lastig om het onderscheid met het bovenliggende Quartair (voornamelijk Formatie van Gent) verder te kunnen maken. Bovendien werd in het verleden in dit gebied de allesomvattende term 'Formatie van Brasschaat' gebruikt (Gulinck, 1962), waarmee het fijne zand werd bedoeld aan de noordostrand van Antwerpen-stad. Deze benaming had echter geen stratigrafische onderbouwing, waardoor ruimte werd gelaten voor verwarring. Hieronder een stukje uit de oorspronkelijke beschrijving van deze zanden (Gulinck, 1962).

«En bordure de ces argiles (= *Formatie van Weelde*) s'étend une large région recouverte par des sables grisâtres, souvent pointillés de glauconie. On les a mis en parallèle avec les sables de Mol mais cette assimilation est théorique. Nous proposons de les dénommer Sables de Brasschaat, sans préjuger de leur position stratigraphique réelle. En dessous viennent des sables grossiers, même graveleux [...]. Nous les appellerons les Sables grossiers de Merksplas. Notons qu'au sud de Turnhout, le contact du faciès des Sables de Brasschaat aux sables scaldiens (= *Formatie van Lillo*) se fait sans interposition de ce faciès grossier.»

Samengevat beschrijft Gulinck dus bovenaan een pakket kleien, naar onder toe gevolgd door een pakket fijn zand. Hieronder wordt vervolgens een pakket grove zanden aangetroffen. Enkel ten zuiden van Turnhout is dit pakket grove zanden afwezig, en liggen de fijne zanden rechtstreeks op het Pliocene substraat.

Buffel *et al.* (2001) extrapoleren dit rechtstreeks voorkomen van de fijne zanden op het Pliocene substraat (Formatie van Lillo) echter over gans de Kempen, wat schijnbaar in tegenspraak is met de analyse van Gulinck (1962). In hun visie zijn de fijne Brasschaat zanden afwezig waar de Formatie van Merksplas aanwezig is, en omgekeerd. Deze Brasschaat zanden zouden equivalent zijn aan het bovenste deel van de Formaties van Lillo en Mol. Ze beschouwen de fijne Brasschaat-zanden

bijgevolg als een aparte Tertiaire formatie die (enkel) ten zuiden van de Formatie van Merksplas voorkomt.

Bogemans (2005) is het hier echter niet mee eens. Volgens haar bevindt het pakket fijne zanden zich in het grootste deel van de Noorderkempen tussen de Formatie van Weelde en de Formatie van Merksplas in. Dit pakket fijne zanden, de Zanden van Brasschaat sensu Gulinck (1962) dus, geeft ze de naam Formatie van Malle mee. Aangezien de top van de Formatie van Merksplas een Quartaire ouderdom heeft, leidt Bogemans vervolgens ook af dat de fijne zanden eveneens in het Quartair moeten zijn afgezet (zie Tabel 2). Er dient wel te worden opgemerkt dat Bogemans (2006) de fijne zanden die Gulinck destijds beschreef, niet enkel in de Quartaire Formatie van Malle onderbrengt. In het zuiden van het gebied wordt een deel van die fijne zanden immers ook binnen de Formatie van Gent (Holoceen) geklasseerd.

Na uitvoerig onderzoek van de regionaal talrijk voorhanden zijnde boringen en boorgatmetingen, diende de auteur van deze tekst zich genooddaakt om de visie van Bogemans (2005) te volgen. Aangezien de lithostratigrafische indeling op de Tertiairgeologische kaartbladen van Turnhout en Arendonk is gebaseerd op Buffel *et al.* (2001), resulteert dit in een aanzienlijk verschil met het 3D-model. Anderzijds ligt het 3D-model daardoor wel in lijn met de Quartairgeologische kaarten, die de indeling van Bogemans (2005) aanhouden.

Tijd (Ma)	Buffel <i>et al.</i> , 2001	Bogemans, 2005		3D model
Eburoniaan		Formatie van Ravels		Quartair (Matthijs, 2011)
Tigliaan	Kempen Groep	Formatie van Weelde	Lid van Turnhout	Formatie van Weelde
			Lid van Beerse	
			Lid van Rijkevorsel	
		Formatie van Malle	Lid van Vosselaar Lid van Brasschaat	Formatie van Malle
Pretigliaan	Formatie van Merksplas	Formatie van Merksplas		Formatie van Merksplas
Piacenziaan	Formatie van Brasschaat	Formatie van Lillo		Formatie van Lillo
	Formatie van Lillo			

Tabel 2. Overzicht van de gekarteerde lagen ten opzichte van Buffel *et al.* (2001) en Bogemans (2006)

→ **Formatie van Merksplas**

De Formatie van Merksplas omvat een pakket grove zanden (Gulinck, 1962), die dikwijls grijs of bruin zijn van kleur. Witte of meer groene tinten kunnen echter ook voorkomen. Kleine hoeveelheden glauconiet kunnen aanwezig zijn, maar steeds in beperktere mate dan in de onderliggende zanden van de Formatie van Lillo. Schelpen komen dikwijls voor, meestal in gebroken vorm. Silexen en mica's kunnen ook aangetroffen worden, evenals kleine zandsteentjes. De hoeveelheid mica's is echter steeds lager dan in de bovenliggende Formatie van Malle.

De sedimenten uit de Formatie van Merksplas werden afgezet in een estuarien tot ondiep marien milieu, in het verlengde van de fluviatiele tot deltaïsche afzettingen van de Formatie van Mol (Kasse, 1990). In het uiterste zuidoosten van het voorkomensgebied wordt het onderscheid tussen deze twee formaties dan ook erg moeilijk te maken. Waarschijnlijk gaat de top van de Formatie van Mol geleidelijk in de Formatie van Merksplas over (Kasse, 1988), maar mogelijk wigt de Formatie van Merksplas echter uit boven de Formatie van Mol.

De dikte van de Formatie van Merksplas varieert grotendeels tussen de 8 en de 25m. Grotere diktes zijn echter mogelijk, voornamelijk in het noordwesten van het voorkomensgebied. De Formatie van Merksplas kent geen onderverdeling in leden.

→ **Formatie van Maldegem**

De Formatie van Maldegem bestaat uit een afwisseling van zand- en kleipakketten die geleidelijk in elkaar overgaan. De Formatie is opgesplitst in volgende leden (van boven naar onder): Lid van Onderdijke (klei), Lid van Buisputten (zand), Lid van Zomergem (klei), Lid van Onderdale (zand), Lid van Ursel (klei), Lid van Asse (klei) en Lid van Wemmel (zand). Voor het karteren van de basis is het vooral van belang te kijken naar de onderste leden, met name het kleiige lid van Asse en het zandige Lid van Wemmel.

Het Lid van Asse bestaat uit glauconiethoudende klei, aan de basis gekenmerkt door het voorkomen van de "Bande Noire", een zeer glauconietrijk grof zand. Ook op geofysische logs is deze "Bande Noire" goed te herkennen.

Het Lid van Wemmel wordt gekenmerkt door het voorkomen van specifieke Nummulieten (*Nummulites wemmelensis*, *Nummulites orbignyi*), tesamen met meer algemeen voorkomende Nummulieten (*Nummulites variolarius* en *Nummulites laevigatus*) die vermoedelijk herwerkt zijn uit onderliggende lagen. Het bestaat uit grijs glauconiethoudend fijn zand, met toenemend kleigehalte naar boven toe, waar het overgaat in het Lid van Asse. De dikte van het Lid van Wemmel is eerder gering (4 à 5m), maar kan een dikte bereiken tot 10m.

In veel boringen (meestal zeer gegeneraliseerd beschreven spoelboringen) werd de basis van de Formatie van Maldegem vastgelegd op het contact klei-zand. Het zandpakket bestaat dan uit het Lid van Wemmel en de Formaties van Lede, Brussel of Aalter (al dan niet samen voorkomend). Wanneer deze grens als basis van de Formatie van Maldegem genomen wordt, wordt er gebruik gemaakt van een basis die te hoog ligt, omdat er abstractie gemaakt wordt van het Lid van Wemmel. Wanneer met dit gegeven rekening gehouden wordt bij het opstellen van de isohypsenkaart van de basis van de Formatie van Maldegem, wordt een veel beter passend geheel bekomen, dan zonder hiermee rekening te houden.

Op basis van de geconstrueerde isohypsen moet het ontsluitingsgebied lokaal in zuidelijke richting opschuiven. Voorlopig worden in deze zones de bestaande verbreidingsgrenzen gebruikt. Eind 2012 zullen de nieuwe verbreidingsgrenzen opgeleverd worden, samen met de nieuwe verbreidingsgrenzen van andere lagen wanneer van toepassing. Dit zuidelijk verschuiven van de verbreidingsgrenzen is mogelijk te wijten aan het, voornamelijk in spoelboringen, moeilijke onderscheid met de onderliggende Formatie van Lede, die eveneens bestaat uit (licht) glauconiethoudende zanden. In een beperkt aantal boringen in deze regio kan het Lid van Wemmel

wel worden herkend op basis van fossielinhoud. Bij het uittekenen van goed passende isohypsen op basis van deze waarnemingen wordt een meer zuidelijke verbreiding bekomen. Een bijkomend argument voor het zuidelijk verschuiven van de voorkomensgrens is het feit dat op de bestaande Tertiairkaart in die zone het Lid van Wemmel niet is ingetekend, maar dat het Lid van Asse er rechtstreeks op de Formatie van Lede rust. Het Lid van Wemmel zou hier dus foutief kunnen aanzien zijn als de Formatie van Lede.

→ **Formatie van Brussel**

De Formatie van Brussel bestaat uit een afwisseling van kalkrijke en kalkarme zandpakketten. Een belangrijk kenmerk is de geulvorming in de basis van de Formatie van Brussel. De Formatie van Brussel wordt officieel niet verder opgedeeld in leden, hoewel er lithologisch wel vrij grote verschillen voorkomen binnen deze formatie (op basis van korrelgrootte, kalk- en glauconietgehalte, structurele kenmerken, Houthuys, 1990, 2011). De kalkarme niveaus zijn relatief grofkorrelig en vertonen dikwijls gekruiste gelaagdheden. Het kalkrijke zand is fijner. Binnen de Formatie van Brussel komen ook een aantal zandsteenniveaus voor (oa. Gobertangesteent). De Formatie van Brussel komt voornamelijk voor ten oosten van de Zenne. Ten westen ervan komt de Formatie van Brussel slechts sporadisch voor.

In de spoelboringen dieper in het Kempens Bekken is het onderscheid tussen de bovenliggende Formatie van Lede en de Formatie van Brussel niet altijd duidelijk. Ook het onderscheid met het onderliggende Lid van Vlierzele uit de Formatie van Gentbrugge is er niet altijd heel duidelijk. Boorgatmetingen kunnen in deze gevallen voor meer zekerheid omtrent de basis zorgen.

→ **Formatie van Aalter**

De Formatie van Aalter bestaat voornamelijk uit glauconiethoudend zand en is vooral bekend omwille van het voorkomen van horizonten met *Turritella solanderi*. Het onderscheid met het onderliggende zand uit de Formatie van Gentbrugge is niet altijd duidelijk, in het bijzonder in de gevallen waarbij er geen *Turritella* aanwezig of beschreven zijn. Op basis van de geconstrueerde isohypsen wordt een verbreidingsgebied bekomen dat in het zuiden vrij sterk kan afwijken van de bestaande verbreidingsgrenzen. Het onderscheid tussen de Formaties van Aalter en Gentbrugge wordt in boringen veelal vastgelegd op basis van het al dan niet “kwartsachtig” zijn van het zand, waarbij dit kwartsachtig zand wordt toegewezen aan de Formatie van Gentbrugge. Er bestaan echter gedetailleerd beschreven boringen waarbij ook de Formatie van Aalter (te herkennen aan het voorkomen van *Turritella*) als kwartsachtig wordt beschreven. Op basis van deze waarnemingen en het feit dat het intekenen van de grens tussen beide formaties op basis van dit criterium leidt tot een geologisch weinig realistisch vlak, kan er geconcludeerd worden dat het al dan niet kwartsachtig zijn van het zand geen goede indicator is voor het onderscheid tussen de Formaties van Aalter en Gentbrugge.

→ **Formatie van Gentbrugge**

De Formatie van Gentbrugge, vroeger de Formatie van Gent genaamd, bestaat uit drie leden: het Lid van Vlierzele bovenaan, met daaronder het Lid van Pittem en helemaal onderaan het Lid van Merelbeke.

Het Lid van Vlierzele bestaat uit een fijn tot middelmatig, dikwijls kruisgelaagd, zand. Het pakket is vrij sterk glauconiethoudend, waardoor het Lid van Vlierzele een geelgroene kleur heeft. Onderaan kan de afzetting wat meer kleiig worden. Schelpen en enige brokken kunnen voorkomen, zij het

eerder sporadisch. Zandsteenbanken komen geregeld voor. De dikte van het Lid van Vlierzele bedraagt zo'n 10 à 15m.

Onder het Lid van Vlierzele vinden we het Lid van Pittem, gekenmerkt door de aanwezigheid van kleihoudend zand tot zandhoudende klei. Het geheel heeft een grijsgroene kleur en bevat glauconiet en zandbankjes. Het onderscheid met het Lid van Vlierzele is, voornamelijk in oostelijk Vlaanderen, soms moeilijk te maken.

Het onderste lid van de Formatie van Gentbrugge is het Lid van Merelbeke. Dit is een grijze plastische klei. Verspreid kunnen enkele kleine zandlensjes of pyrietconcreties voorkomen. Het Lid van Merelbeke is vrij gemakkelijk herkenbaar in boringen en boorgatmetingen en kan daarom gebruikt worden om de Formatie van Gentbrugge te traceren in meer oostelijke delen van Vlaanderen, waar het herkennen van de formatie anders moeilijk zou worden (Fobe, 1989). Het Lid van Merelbeke verdikt van het westen (1m) naar het oosten (4-5m) toe, maar is op verschillende plaatsen afwezig. In dit geval kan er verwarring en verwisseling optreden met dieperliggende kleilagen uit de Formatie van Tielt.

→ **Formatie van Tielt**

De Formatie van Tielt is een grijsgroene fijnzandige eenheid, die bestaat uit twee leden. Bovenaan bevindt zich het Lid van Egem, onderaan treft men het Lid van Kortemark aan. Beide leden zijn ongeveer even dik en vormen samen een pakket van gemiddeld zo'n 35m. De gehele eenheid wordt in het algemeen zandiger naar het oosten toe.

Het Lid van Egem bestaat uit een glimmer- en glauconiethoudend zeer fijn zand. Hierin kunnen (nummulieten)zandsteenbanken voorkomen. Ook kunnen meer kleiige lagen worden aangetroffen. Onderaan treft men dikwijls een kleipakket aan, dat soms als een apart lid wordt onderverdeeld, namelijk het Lid van Egemkapel. Aangezien deze indeling echter niet algemeen voorkomt, wordt dit pakket in deze bespreking gewoon bij het Lid van Egem onderverdeeld en besproken.

Het Lid van Kortemark omvat een pakket kleiige silten. De ganse eenheid is glimmer- en glauconiethoudend en zandige intercalaties komen regelmatig voor. Ook verharde banken silt en klei kunnen aanwezig zijn.

→ **Formatie van Kortrijk**

De Formatie van Kortrijk bestaat voornamelijk uit kleiige afzettingen. De formatie wordt ingedeeld in 4 leden, namelijk (van boven naar onder): het Lid van Aalbeke, het Lid van Moen, het Lid van Saint-Maur en het Lid van Mont-Héribu. De volledige formatie kan tot meer dan 100m dik zijn en rust meestal op de Groep van Landen; plaatselijk ligt de Formatie van Kortrijk echter rechtstreeks op de Paleozoïsche sokkel (Massief van Brabant).

Het Lid van Aalbeke bestaat uit een pakket compacte klei, waarin nauwelijks zandbijmenging voorkomt. Het verschilt lithologisch gezien dus erg weinig van het Lid van Merelbeke uit de Formatie van Gentbrugge, waar het dan ook makkelijk mee kan verward worden. Het Lid van Aalbeke is typisch een paar meter dik.

Hieronder bevindt zich het Lid van Moen, een siltige afzetting. Het veelvuldig voorkomen van de schelpen *Nummulites planulatus* kenmerkt dit pakket. Plaatselijk, voornamelijk in het oosten van het voorkomensgebied, wordt deze eenheid beduidend zandiger. De totale dikte bedraagt ongeveer 45m.

Vervolgens wordt het Lid van Saint-Maur aangetroffen. Dit is een fijnsiltige klei of zeer fijn silt. De gemiddelde dikte is zo'n 30m.

Helemaal onderaan vindt men het Lid van Mont-Héribu, bestaande uit een afwisseling van glauconiethoudend kleiig zand en compacte siltige klei. De dikte bedraagt circa 10m.

Het onderscheid tussen deze verschillende leden is niet steeds te maken, met name in spoelboringen wordt het maken van een indeling erg bemoeilijkt.

→ **Formatie van Hannut**

De Formatie van Hannut maakt, samen met de Formatie van Tienen, deel uit van de Landen Groep. De formatie komt voor in heel Vlaanderen en bestaat hoofdzakelijk uit fijnkorrelige sedimenten. In het oosten van Vlaanderen rust ze op de Mergels van Gelinden van de Formatie van Heers, in het westen rust ze op sedimenten van het Krijt en centraal in het zuiden van Vlaanderen rust ze op de Vroeg-Paleozoïsche sokkelgesteenten van het Massief van Brabant. Lokaal wordt ze in het noorden volledig doorsneden door de Formatie van Tienen. In het zuidoosten van Limburg wordt ze afgesneden door de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern. Tussen Tienen, Leuven en Brussel kan ze lokaal volledig doorsneden worden door de Formatie van Brussel. En ten zuiden van Brussel, ter hoogte van de as van het Paleozoïsche Massief van Brabant, wordt ze op enkele plaatsen afgesneden door de Formatie van Kortrijk. De Formatie van Hannut dagzoomt in het zuidoosten van Vlaanderen en in enkele rivierdalen ten zuiden van Brussel en Leuven. In Vlaanderen bestaat de formatie formeel uit 4 leden, elk met een eigen kenmerkende lithologie. Van boven naar onder zijn dit, het zandige Lid van Granglise, het siltige Lid van Halen met lateraal de tuffeau van het Lid van Lincient en het kleiige Lid van Waterschei. Informeel wordt er ook nog gesproken van de kleiige mergel of mergelige klei van het Lid van Maaseik, dat onder het Lid van Waterschei voorkomt (Steurbaut, 1998).

Het Lid van Grandglise bestaat uit een grijs tot grijsgroen glauconiethoudend homogeen fijn zand met dunne kleiige intercalaties. In het westen van Vlaanderen komen er naar de basis toe geregeld schelpenfragmenten voor. In Henegouwen komen er plaatselijk zwak geconsolideerde zandstenen voor in het pakket. De laterale equivalenten in Haspengouw, informeel het Lid van Hoegaarden en het Lid van Racour genoemd, worden gevormd door geelgroene licht glauconiethoudende middelmatige zanden, die naar onder toe kleirijker worden. Deze ondiep mariene afzetting is tussen de 15m en 30m dik.

Het Lid van Halen is een mariene afzetting van grijs tot groengrijs silt met verkiezelde siltsteenbanken. Onderaan is het silt heel kleiig van aard, naar boven toe krijgt het eerder een zandig karakter en is er een geleidelijke overgang naar het Lid van Granglise. Het onbenoemde laterale equivalent in het westen van Vlaanderen wordt over het algemeen beschreven als een zandige tot zeer zandige klei met zachte of brosse kleistenen en siltstenen. Geregeld wordt de aanwezigheid van schelpengruis vermeld. Het pakket heeft een maximale dikte van 60m.

In het zuidoosten van Vlaanderen dagzoomt het Lid van Lincient. Net als zijn lateraal equivalent, het Lid van Halen, is dit een mariene afzetting. Ze bestaat hoofdzakelijk uit een bleke kiezelrijke kalksteen met intercalaties van harde chalcedoonrijke chertbanken en mergellenzen. De afzetting is zeer poreus omwille van de talrijke kleine holtes van opgeloste sponsspliculen. Vandaar dat dit sediment klassiek als de "Tuffeau van Lincient" omschreven wordt. In het typegebied komt er aan de basis een dunne kleilaag voor gevolgd door een zeer glauconiethoudend zand, gekend als het Zand van Overbroek. Naar het noorden toe neemt het kalkgehalte af en het kleigehalte toe en is er een geleidelijke overgang naar het Lid van Halen. Naar het westen toe, in de omgeving van Leuven, bestaat het Lid van Lincient hoofdzakelijk uit bruingroene glauconiethoudende kleiige zanden aaneengekit met een opalcement. Het pakket is tussen de 20m en 40m dik.

Het Lid van Waterschei is het onderste lid van de Formatie van Hannut. Dit pakket diep mariene sedimenten bestaat uit een grijsgroene siltrijke en soms kalkhoudende klei. Meestal gaat het om

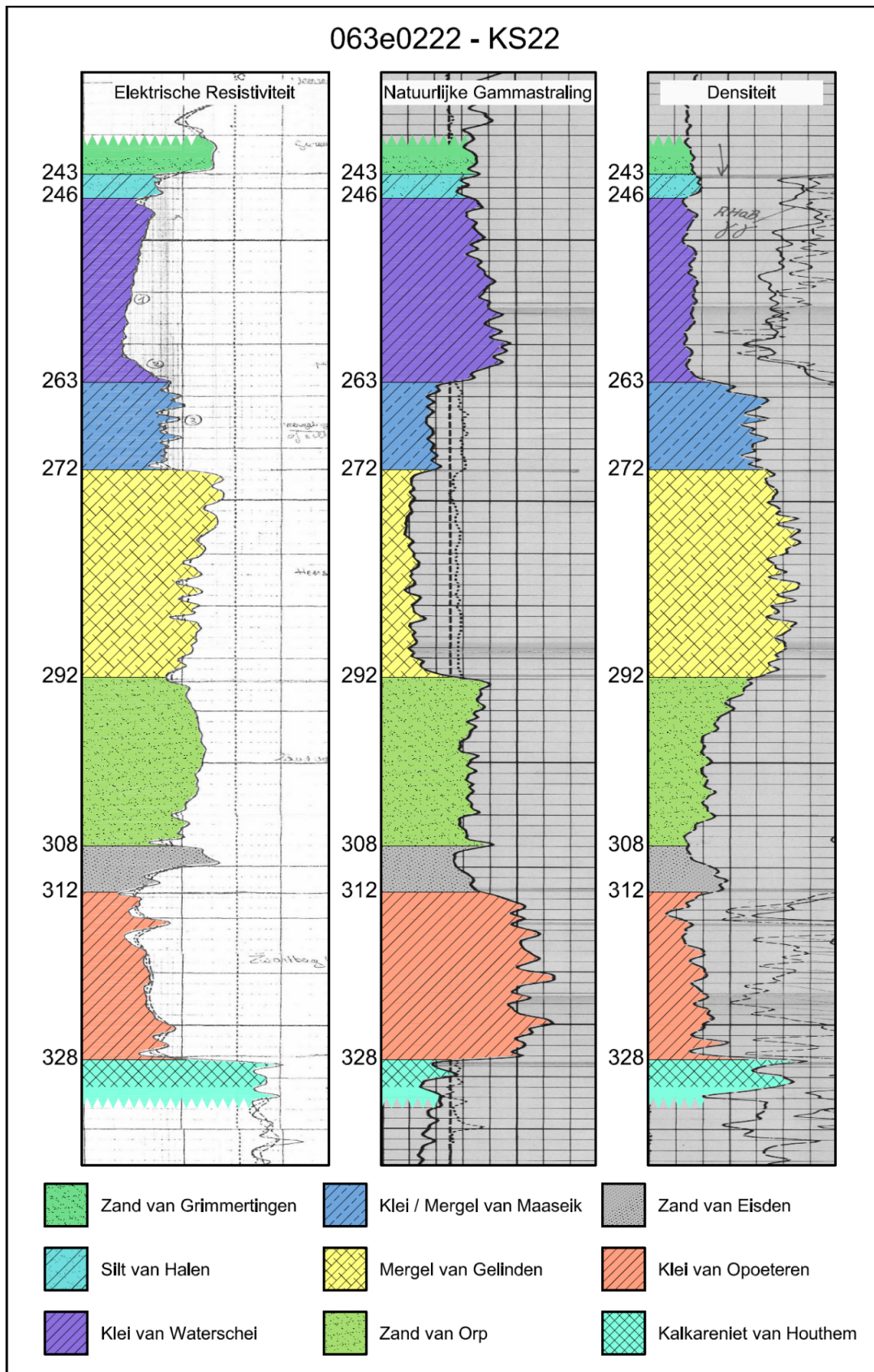
een stijve, harde klei die lokaal verkit is tot kleisteenbanken. Aan de basis wordt er geregeld een concentratie aan sponsspliculen aangetroffen en/of een glauconietrijk kleilig zand, mogelijk equivalent aan het Zand van Overbroek. Deze kleilige afzetting heeft een maximale dikte van 40m. Ze dagzoomt niet in Vlaanderen, maar komt enkel voor in de ondergrond. In het oosten staat het pakket bekend als de Klei van Waterschei, in het westen van Vlaanderen komt er een onbenoemd lateraal equivalent voor.

Informeel gezien vormt het Lid van Maaseik de basis van de Formatie van Hannut. Deze naam werd in 1998 geïntroduceerd door Steurbaut voor de “kalkhoudende Landen kleien” van Laga en Van Dormael (1990), voordien ook gekend als het kleilige deel van de Formatie van Gelinden, ook wel Gelinden-b genoemd. Net als de overige leden van de Formatie van Hannut is het Lid van Maaseik een mariene afzetting. Ze bestaat uit grijze mergelige klei tot kleilige mergel en kan plantenresten bevatten. Naar het noorden toe is er sprake van een grijze mergelige klei, naar het zuiden toe eerder van een bleekgrijze kleilige mergel. Het pakket heeft een gemiddelde dikte van 7m en vertoont een zeer karakteristieke signatuur op geofysische boorgatmetingen (Figuur 2). Typisch is enerzijds de matige toename in natuurlijke gammastraling bij de overgang van het Lid van Gelinden naar het Lid van Maaseik en de sterke toename in gammastraling bij de overgang van het Lid van Maaseik naar het Lid van Waterschei, met een hoge piek op de grens tussen beide. Anderzijds is er de afname van de elektrische resistiviteit bij de overgang van het Lid van Gelinden naar het Lid van Maaseik en de matige afname van de elektrische resistiviteit bij de overgang van het Lid van Maaseik naar het Lid van Waterschei. Het Lid van Maaseik komt enkel voor in het Bekken van de Kempen in het oosten van Vlaanderen.

Kenmerkend voor de basis van de Formatie van Hannut is, vooreerst in het dagzoomgebied het voorkomen van een dunne laag groen zeer glauconietrijk kleilig zand onderaan de Tuffeau van Lincent rustend op de Mergels van Gelinden (Zand van Overbroek), vervolgens het voorkomen van een dunne grindlaag van groen verkleurde silexkeien rustend op de sedimenten van het Krijt en ten slotte een grindpakket, bestaande uit zowel hoekige als gerolde fragmenten van sokkelgesteente en silexkeien, rustend op de sedimenten van het Krijt in de onmiddellijke nabijheid van de uitstekende kliffen van het paleoreliëf van het Massief van Brabant of rustend op de Vroeg-Paleozoïsche sokkelgesteenten. Onderaan de kliffen van het paleoreliëf van het Brabant Massief kan dit grindpakket, bestaande uit afbraakpuin van de sokkel, verschillende meters dik worden. In sommige gevallen, waar de Formatie van Hannut rechtstreeks op de gesteenten van het Krijt rust, vult deze lokaal diepe karstholten op met een mengeling van zand, klei, grind en krijtfragmenten.

Bij het modelleren van de basis van de Formatie van Hannut in het oosten van Vlaanderen, meer bepaald in het dagzoomgebied en in het Bekken van de Kempen, bleek al snel dat de grens tussen het Lid van Maaseik en het Lid van Gelinden van de onderliggende Formatie van Heers, niet eenduidig te bepalen was op basis van boorbeschrijvingen. In het zuiden van Vlaanderen, meer bepaald in het dagzoomgebied van beide leden, is het onderscheid zelfs in droge boringen moeilijk te maken. Beide eenheden worden als bleekgrijze tot witte mergel omschreven, al dan niet kleilig, met plantenresten en al dan niet met wat glauconiet. Als gevolg van het toenemende kleigehalte in het Lid van Maaseik lijkt de grens tussen beide pakketten naar het noorden toe iets duidelijker te worden, wat ook op geofysische boorgatmetingen waar te nemen is. De geofysische signatuur verandert van het noorden naar het zuiden. Zo vermindert de relatieve toename in natuurlijke gammastraling van het Lid van Gelinden naar het Lid van Maaseik zuidwaarts en verdwijnt deze quasi geheel in het dagzoomgebied. Een gelijkaardige observatie kan gedaan worden met betrekking tot de relatieve afname van de elektrische resistiviteit. Opvallend is verder dat, zowel in het zuiden als het noorden van Vlaanderen, volgens de densiteitsmeting beide pakketten als één geheel naar voor komen (Figuur 2). Tussen het Lid van Gelinden en het Lid van Maaseik is quasi geen verschil in densiteit waar te nemen, terwijl er een sterke afname in densiteit gemeten wordt

bij de overgang van het Lid van Maaseik naar het Lid van Waterschei. In boorbeschrijvingen wordt op deze grens ook steeds een verandering in kleur opgetekend van grijs (Maaseik) naar grijsgroen (Waterschei). De hoge piek van natuurlijke gammastraling waargenomen aan de basis van het Lid van Waterschei bij de overgang naar het Lid van Maaseik, gaat in boorbeschrijvingen steeds gepaard met de waarneming van een dunne laag glauconietrijk zand of met de aanwezigheid van glauconietrijke zandige lenzen in de klei, die tot in het dagzoomgebied vervolgd en gecorreleerd kan worden met het Zand van Overbroek. Worden geofysische boorgatmetingen opgelijnd en gecorreleerd van het dagzoomgebied in het zuiden van Limburg, over het mijngebied in het Bekken van de Kempen tot aan de Nederlandse grens in de Antwerpse Kempen, dan valt op dat de hoge piek van natuurlijk gammastraling, waargenomen aan de basis van de Waterschei Klei, stelselmatig de onderliggende pakketten naar het zuiden toe afsnijdt. Met andere woorden het Lid van Maaseik wordt stelselmatig dunner naar het zuiden en wordt uiteindelijk zelfs helemaal weggesneden door het Zand van Overbroek onderaan de Waterschei Klei. Nog verder naar het zuiden in het dagzoomgebied snijdt het Zand van Overbroek, onder een dunne kleilaag (een restant van de Waterschei Klei?) aan de basis van de Tuffeau van Lincen, zelfs de Mergels van Gelinden aan. Het lijkt er bijgevolg op dat de mergelige klei of kleiige mergel van het Lid van Maaseik eerder bij de onderliggende Mergels van Gelinden hoort, dan bij de bovenliggende sedimenten van de Formatie van Hannut. In dat geval moet de oorspronkelijke interpretatie van deze sedimenten, als zijnde het kleiige deel van de Mergels van Gelinden (Gelinden-b), herzien worden. Dit is bovendien niet in tegenspraak met de aanwezigheid van nannoplankton van zone NP6 in de onderste 3m van het Lid van Maaseik in boring KS22 (063E0222) (Steurbaut, 1998), aangezien deze zone tot in de Mergels van Gelinden reikt (Steurbaut et. al., 2003). Deze hypothese dient nog verder onderzocht te worden. Vandaar dat de modellering in dit rapport nog verder uitgaat van het Lid van Maaseik als horende bij de Formatie van Hannut.



Figuur 2. Geofysische boorgatmeting van boring KS22, met de kenmerkende signatuur van de Formatie van Hannut.

1.2.3. MODELLERING

Bij het aanmaken van de isohypsenkaarten van de 10 Tertiaire lagen, werden initieel enkel computerprogramma's gebruikt om enerzijds een eerste zicht te krijgen op de aard van de te karteren vlakken en anderzijds om de controle van de data te faciliteren. Het tekenen van de isohypsen zelf gebeurde met de hand. Deze manier van werken werd gevolgd om te vermijden dat de conceptloze computermodellen geologisch zeer onwaarschijnlijke resultaten zouden produceren, zoals kruisende isohypsen of 'eilanden'. Bovendien verkrijgen de isohypsen een veel te kronkelend patroon wanneer ze met de computer gegenereerd worden. Door de isohypsen te laten intekenen door een geoloog kon er gestreefd worden om de werkelijkheid dichter te benaderen, vooral door tijdens het tekenen meer waarde te hechten aan bijvoorbeeld geofysische boorgatmetingen dan aan beschrijvingen van spoelboringen. Verder kon er ook rekening gehouden worden met data van boorbeschrijvingen die net niet de basis van de onderzochte lithostratigrafische eenheden bereiken. Tijdens het tekenen van de isohypsen werd nog een aantal extra datapunten ingevoegd. Deze punten liggen op Nederlandse en Franse bodem en zijn afkomstig van het TNO-archief (dinoloket) en het BRGM-archief (infoterre). Ze vormden een onontbeerlijke gegeven om de basissen van de formaties zo goed mogelijk te kunnen reconstrueren nabij de Nederlandse en Franse grens.

In het oosten van Vlaanderen worden de isohypsen sterk beïnvloed door de aanwezigheid van breuken. De breuken waarmee gewerkt werd, waren initieel dezelfde als tijdens de Krijtkartering van VITO (Matthijs & Lagrou, 2007) en zijn gebaseerd op een werk van Langenaeker (2000). De breuken die Langenaeker vermeldt, bevinden zich echter in de top van het Paleozoïcum. Dit heeft twee gevolgen voor hun bruikbaarheid in het 3D-model van het Tertiair. Enerzijds staan deze breuken niet loodrecht op het aardoppervlak, maar hellen ze af, waardoor de geografische positie van de breuken per stratigrafische eenheid verandert. Hierbij werd een helling van 70° (t.o.v. het aardoppervlak) aangenomen. Anderzijds waren de breuken die actief waren tijdens of na het Paleozoïcum niet noodzakelijk ook actief tijdens het Tertiair. Bij sommige breuken trad helemaal geen sprong meer op en deze konden dan ook geweerd worden. Daarentegen werden wel enkele reeds eerder gekarteerde breuken verder doorgetrokken.

De verplaatsing en gedeeltelijke aanpassing van de breuken had een duidelijk gevolg voor de isohypsen. Zo zijn sommige datapunten zeer dicht bij een breuk gelegen en weken deze in eerste instantie, dus vóór de verplaatsing van de breuken, vrij sterk af van de omgevende datapunten (uit hetzelfde breukblok uiteraard). Dit resulteerde in een onnatuurlijke kromming van de isohypsen. Na de verplaatsing van de breuk bleken deze datapunten echter aan de andere zijde van de breuk te liggen, alwaar ze veel beter in het plaatje pasten en derhalve de isohypsen langs weerszijden van de breuk konden worden gecorrigeerd naar een natuurlijker verloop.

Volgens deze werkwijze werd voor het grootste deel van Vlaanderen een isohypsenkaart verkregen, maar voor een aantal gebieden diende nog een oplossing uitgewerkt te worden. Het betreft hier vooral de gebieden in de buurt van de randbreuken van de Roerdalslenk. In deze breukblokken zijn immers weinig datapunten beschikbaar. Hierdoor was het vaak onduidelijk welke strekking de Tertiaire lagen in dit gebied hebben. Er werd bij de intekening van de isohypsen in deze zones dan ook rekening gehouden met de reeds bestaande isohypsen van de onderliggende top van het Krijt en de basis van de bovenliggende Neogene lagen.

Nadat deze isohypsenkaarten waren gedigitaliseerd en ingeladen in AutoCAD Civil 3D, werd een 3D-waarde gecreëerd voor elke isohypsen en werden ook de breuken in 3D gezet. Vervolgens werd via een triangulatie in Surfer een diepteraster gecreëerd. In ArcGIS kon dan, gebruik makende van

kleurschakeringen, de veranderende diepte van de basis van de desbetreffende formatie in beeld worden gebracht.

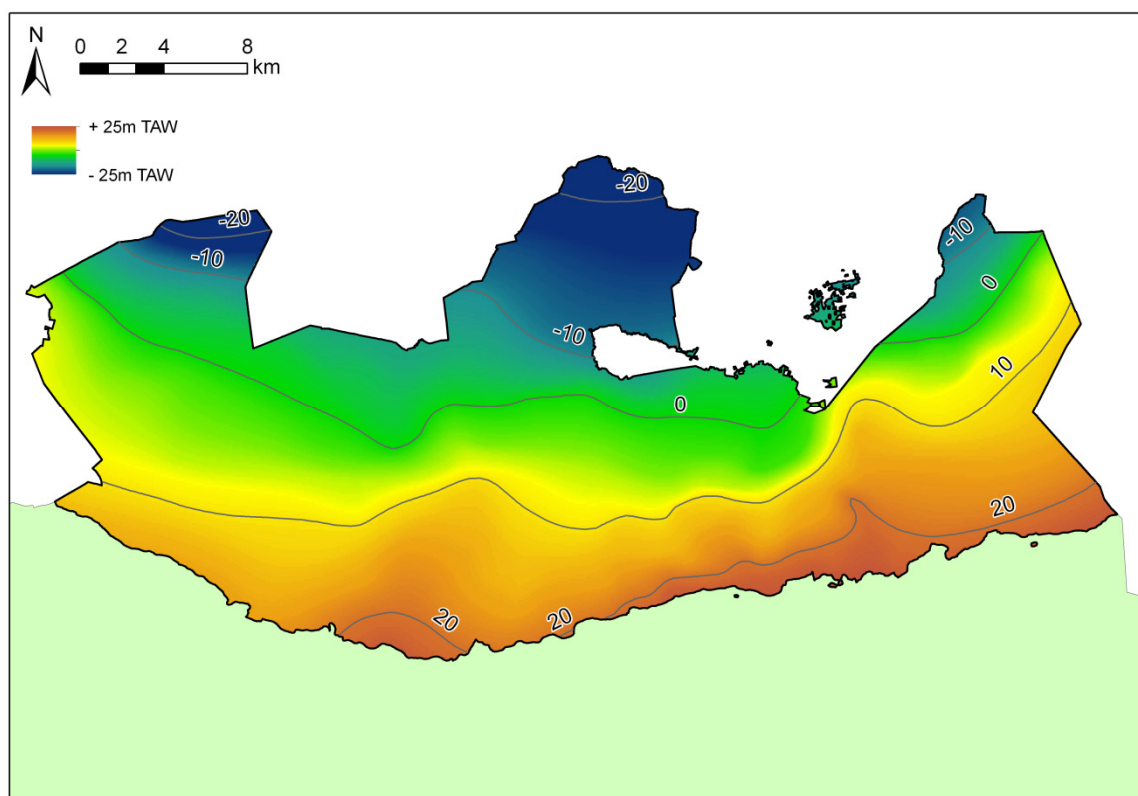
Ten slotte werden de verkregen rasters zo afgeknipt dat enkel het deel van het raster binnen het voorkomengebied overbleef.

HOOFDSTUK 2. KAARTEN

In wat volgt zal enkel aandacht besteed worden aan het Vlaams grondgebied dat buiten de Roerdalslenk ligt. Voor de analyse in de Roerdalslenk wordt verwezen naar Broothaers, Deckers, Lagrou en Matthijs van 2012.

2.1. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN WEELDE

De Formatie van Weelde komt voor in de Noorderkempen, meer bepaald ten noorden van de lijn Kapellen-Malle-Arendonk. In het zuidelijke dagzoomgebied vormt de Formatie van Weelde een microcuesta die in het landschap als een west-oost gerichte verhoging waarneembaar is.

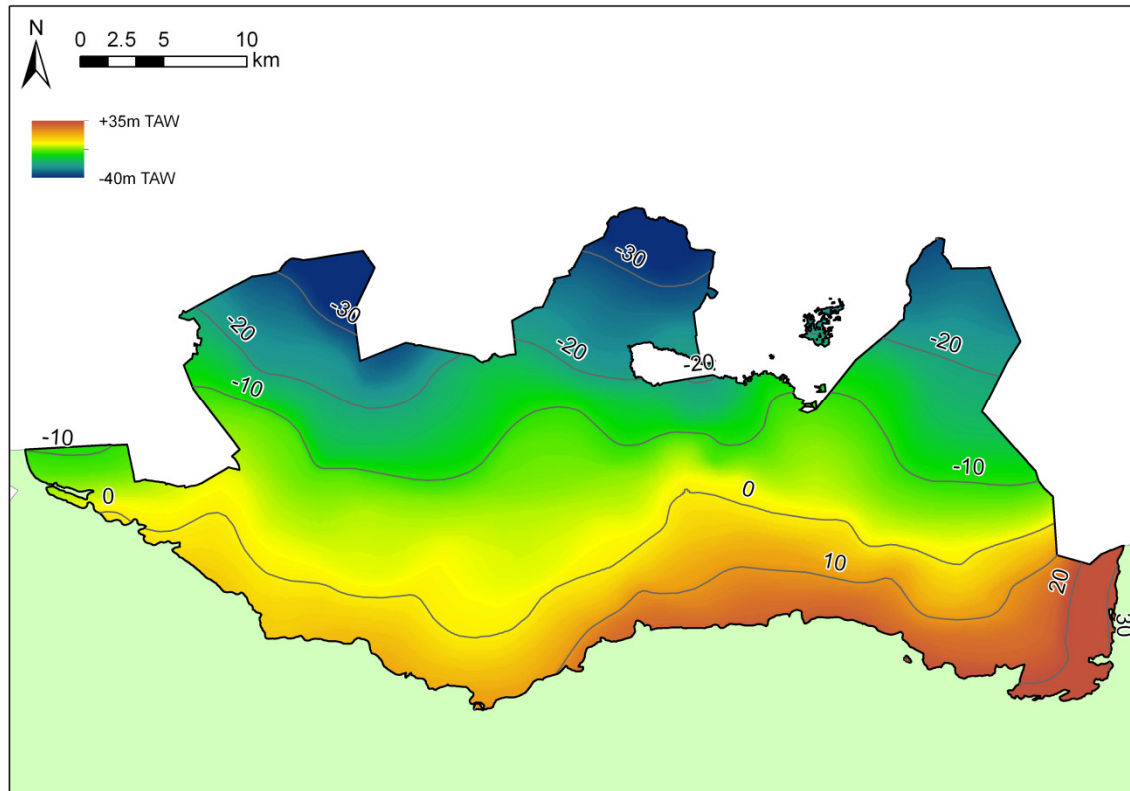


Figuur 3. Isohypsens van de basis van de Formatie van Weelde

De isohypsens van de basis van de Formatie van Weelde kennen een vrij gekarteld verloop. De grootste kromming is te vinden in het zuiden van het voorkomengebied. Meer grootschalig gezien vormen de isohypsens een komvormige depressie die naar het noorden toe verdiept. De laagste waarden voor de basis van de Formatie van Weelde worden dan ook in het noorden van deze depressie bereikt, nabij de Nederlandse grens: in Hoogstraten en Essen ligt de basis van de Formatie van Weelde op een diepte van -20m TAW. De hoogste isohypsens worden in het zuid(oost)en aangetroffen met ongeveer +25m TAW te Turnhout, Brecht en Arendonk. Gemiddeld gezien helt de basis van de Formatie van Weelde hierdoor met zo 'n 0,25% naar het noorden.

2.2. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN MALLE

Ook de Formatie van Malle komt enkel voor in de Noorderkempen, ten noorden van de lijn Antwerpen (Haven) – Zoersel – Turnhout – Dessel – Mol (Postel).



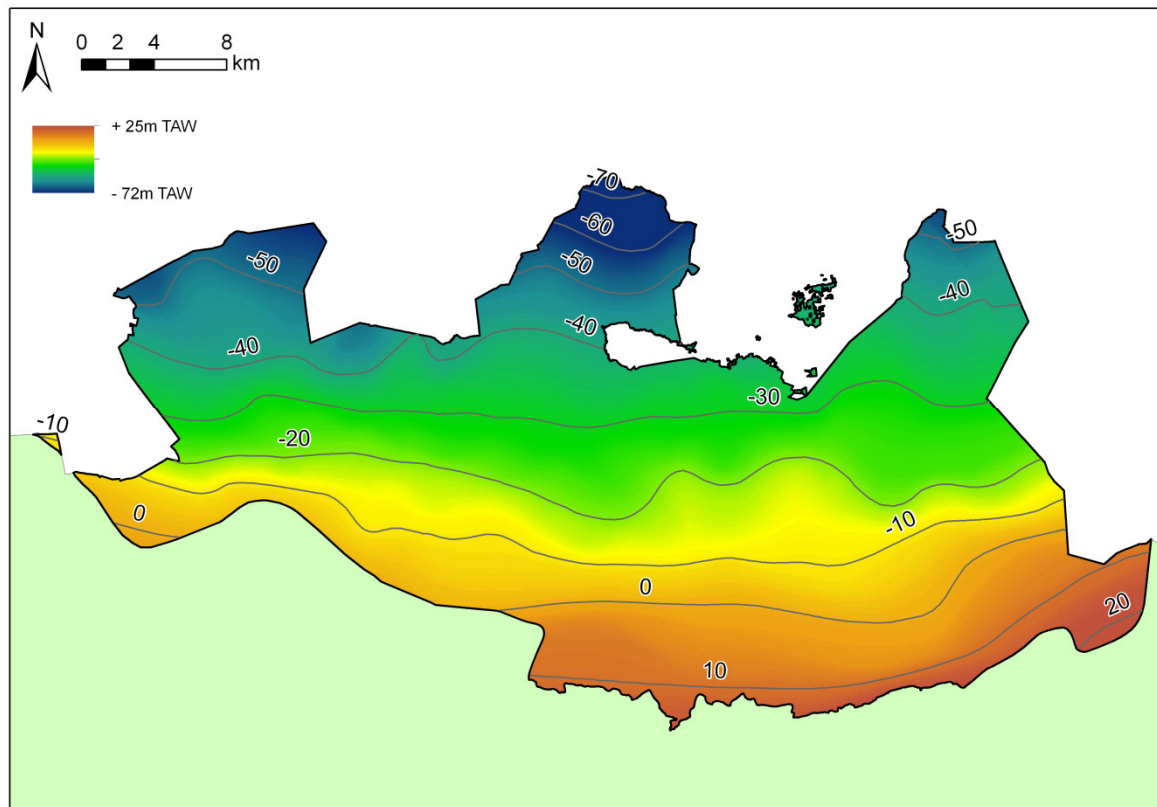
Figuur 4. Isohypsens van de basis van de Formatie van Malle

De isohypsens van de Formatie van Malle volgen een vrij gekarteld patroon. Ze zijn globaal gezien west-oost gericht, maar plaatselijk komen baaivormige structuren voor.

De hoogteligging van de isohypsens van de basis van de Formatie van Malle schommelt tussen de -40m TAW en de +25m TAW. De laagste waarden zijn opnieuw te vinden in het noorden: -40m TAW in Essen en Hoogstraten. De basis van de Formatie van Malle ligt het hoogst in het zuidoosten: tot +30m TAW in de buurt van Dessel en Mol-Postel. In het zuidwesten van het voorkomengebied (regio ten noorden van Antwerpen-stad) blijft de hoogte veeleer beperkt, tot maximaal +10m TAW. De gemiddelde hellingsgraad van de basis van de Formatie van Malle bedraagt 0,25%, maar uitschieters tot 1% zijn mogelijk.

2.3. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN MERKSPLAS

De Formatie van Merksplas wordt aangetroffen in de Noorderkempen, ten noorden van de lijn Stabroek-Malle-Kasterlee-Retie. In het uiterste oosten gaat de Formatie van Merksplas vrij onmerkbaar over in het bovenste deel van de Formatie van Mol.

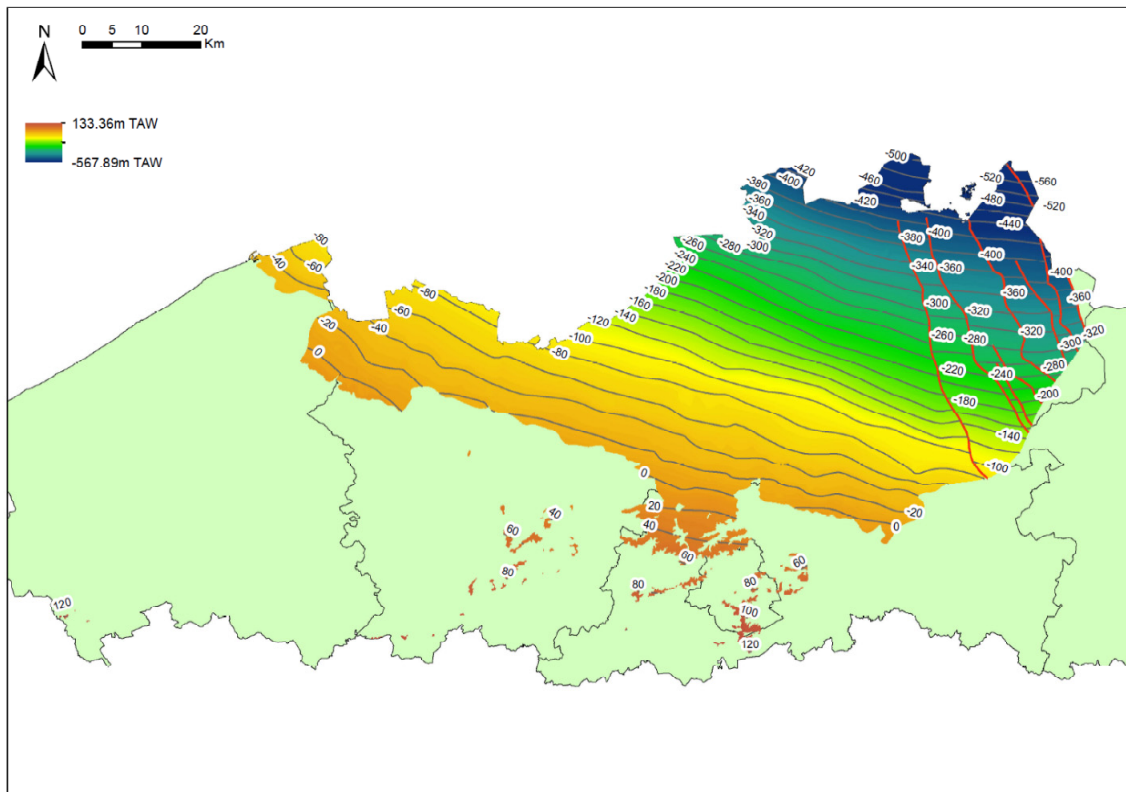


Figuur 5. Isohypsens van de basis van de Formatie van Merksplas

De isohypsens van de Formatie van Merksplas kennen een licht golvend patroon. In grote lijnen lopen ze west-oost gericht, maar baaivormige structuren kunnen voorkomen. De hoogteligging van de basis van Merksplas varieert tussen -70m TAW in Hoogstraten en +15m TAW in Lille. In het zuidoosten worden hoogtes tot +25m en meer opgetekend, maar mogelijk gaat het hier (deels) om sedimenten uit de top van de Mol Formatie. In het noordoosten van het voorkomengebied, nabij de Nederlandse grens, werd op basis van de boorgegevens een breuk ingetekend in de basis van de Formatie van Merksplas (cfr. ook Vandenberghe, 1988). Deze breuk zou een sprong van maximaal 10m veroorzaken.

De basis van de Formatie van Merksplas helt gemiddeld zo'n 0,4% naar het noorden, grotere percentages tot 1% zijn plaatselijk ook mogelijk.

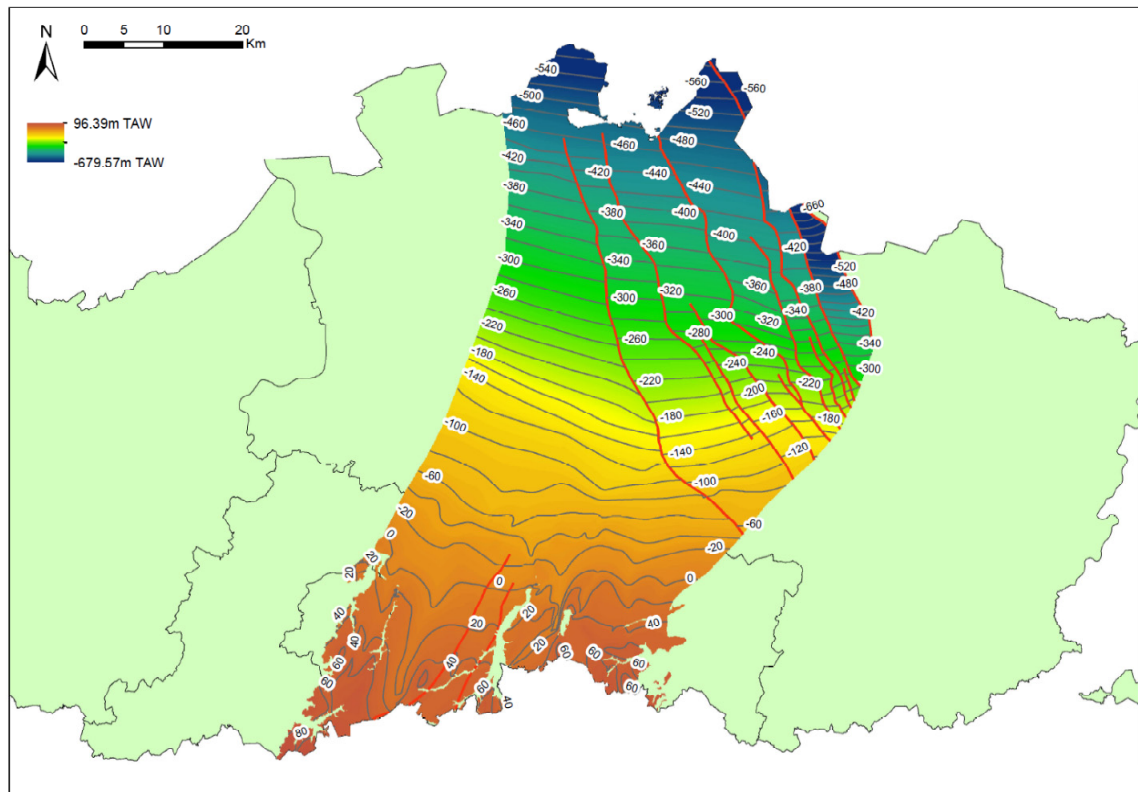
2.4. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN MALDEGEM



Figuur 6. Isohypsens van de basis van de Formatie van Maldegem

De isohypsens van de basis van de Formatie van Maldegem kennen een vrij regelmatig, WNW-ESE verlopend patroon. De hoogteligging van de basis varieert van +133m TAW op de Kemmelberg in de gemeente Heuvelland tot bijna -570m TAW bij de grens met Nederland in de gemeente Ravels. De gemiddelde helling van de basis bedraagt ongeveer 0,7% naar het noorden.

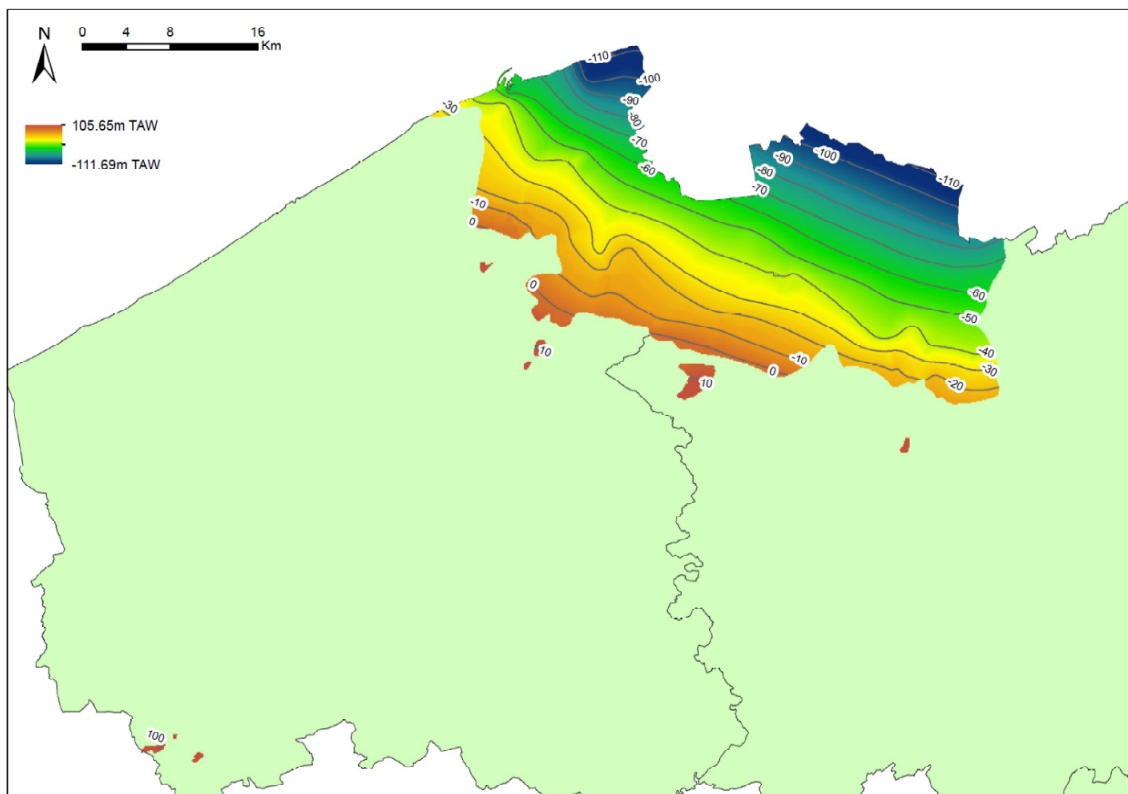
2.5. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN BRUSSEL



Figuur 7. Isohypsens van de basis van de Formatie van Brussel

De hoogteligging van de Formatie van Brussel varieert tussen ongeveer +96m TAW in Halle en ongeveer -680m TAW in Mol. De isohypsens van de basis van de Formatie van Brussel worden gekenmerkt door geulvorming. De twee voornaamste geulen liggen tussen Brussel en Leuven (Tervuren-Hoeilaart) en net ten oosten van Leuven. De basis kan er lokaal tot 40m diep zijn ingesneden. Dieper in het bekken van de Kempen verdwijnt het geulvormig patroon in de basis van de Formatie van Brussel. De gemiddelde helling ligt hier rond 0,8%. Het is onduidelijk of het geulvormig patroon effectief verdwijnt naarmate we dieper in het bekken van de Kempen komen, of dat het een kunstmatig gegeven betreft, veroorzaakt door het gebrek aan voldoende datapunten. Op seismische profielen van de kanalenseismiek (uitgevoerd in de periode 1989-1996) is er lokaal wel geulvorming aan de basis van de Formatie van Brussel waargenomen (vb. op het profiel van het Albertkanaal tussen Herentals en Kwaadmechelen) (De Batist en Versteeg, 1999). Gezien het geringe aantal waarnemingen dieper in het bekken van de Kempen, dat de basis van de Formatie van Brussel bereikt, was het niet mogelijk dit geulvormig patroon door te trekken in het gehele voorkomegebied.

2.6. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN AALTER



Figuur 8. Isohypsens van de basis van de Formatie van Aalter

De Formatie van Aalter komt overwegend voor in het noorden van de provincies West- en Oost-Vlaanderen. De strekking verloopt algemeen in een WNW-ESE richting. Verder komt ze ook nog voor op enkele heuvels in het zuiden van West-Vlaanderen. Op deze heuvels vinden we de basis terug op hoogtes tussen 105m TAW en 90m TAW. In het noorden varieert de hoogteligging van de basis tussen ongeveer +20m TAW en -110m TAW. In de zuidelijke helft van het voorkomen gebied vertoont de basis van de Formatie van Aalter een golfvormig patroon. In de noordelijke helft verloopt de basis meer gelijkmatig. De gemiddelde helling van de basis van de Formatie van Aalter bedraagt 0,5% naar het noorden.

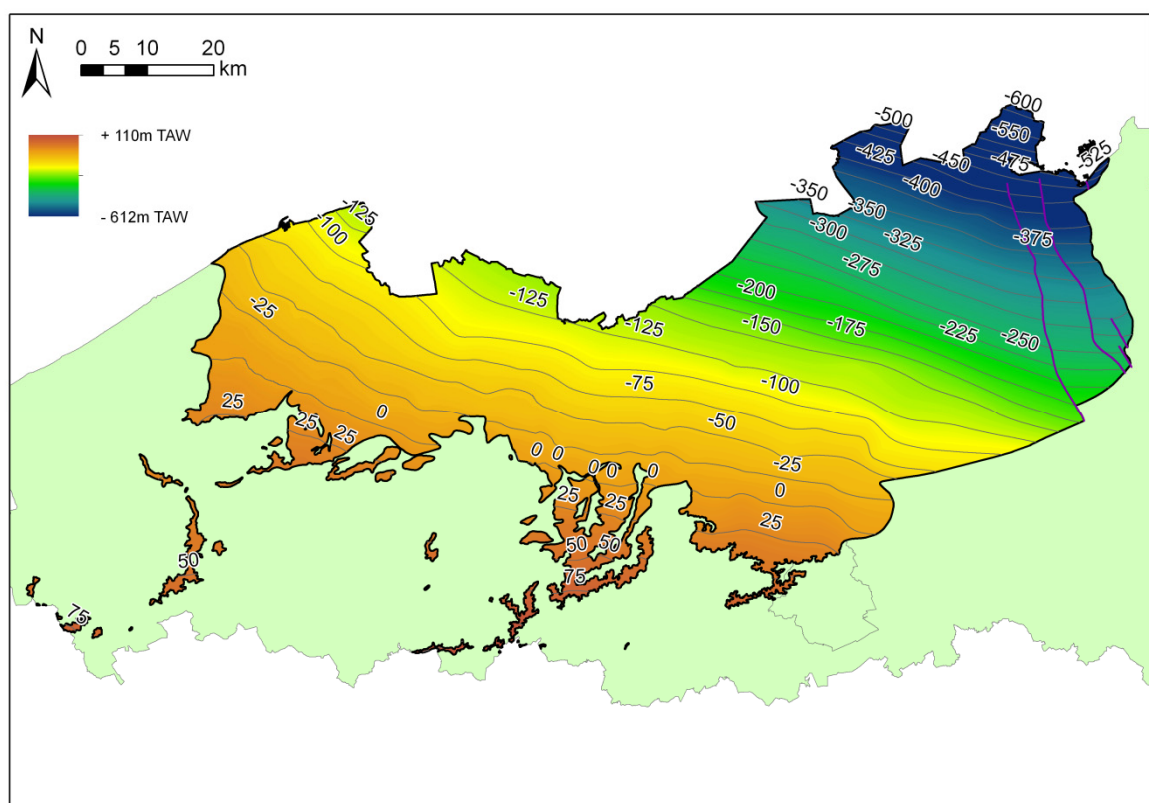
2.7. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN GENTBRUGGE

De Formatie van Gentbrugge komt voor in een aaneengesloten gebied in het noorden en noordwesten van Vlaanderen. Daarnaast komt de Formatie van Gentbrugge ook voor in de meeste getuigenheuvels van het zuid- en zuidwesten van Vlaanderen. Ten oosten van de lijn Turnhout-Leuven lijkt de formatie niet meer voor te komen (Steurbaut, 1986).

De isohypsen van de Formatie van Gentbrugge kennen een vrij rechtlijnig verloop. De richting van de isohypsen is gewoonlijk westnoordwest-oostzuidoost georiënteerd. De Formatie van Gentbrugge wordt het diepst teruggevonden in het noorden van het land, met waarden tot -600m TAW (te Hoogstraten). In het noordwesten van Vlaanderen is de diepteligging veel meer beperkt, tot maximaal -150m te Assenede en Sint-Laureins.

In het zuiden worden uiteraard de hoogste waardes bereikt, gaande van +70m TAW in de buurt van Brussel over +80m in Heuveland tot +100m TAW in de buurt van Ronse.

In het noordoosten van het voorkomengebied van de Formatie van Gentbrugge werden enkele breuken ingetekend, deels gebaseerd op de gebruikte data en deels gebaseerd op breuken in onder- en bovenliggende strata. De breuksprongen zijn eerder klein, tot circa 15m. De basis van de Formatie van Gentbrugge helt in de provincies Oost- en West-Vlaanderen en Vlaams-Brabant gemiddeld zo'n 0,5%. In de provincie Antwerpen worden percentages van 1% en plaatselijk zelfs iets meer bereikt.



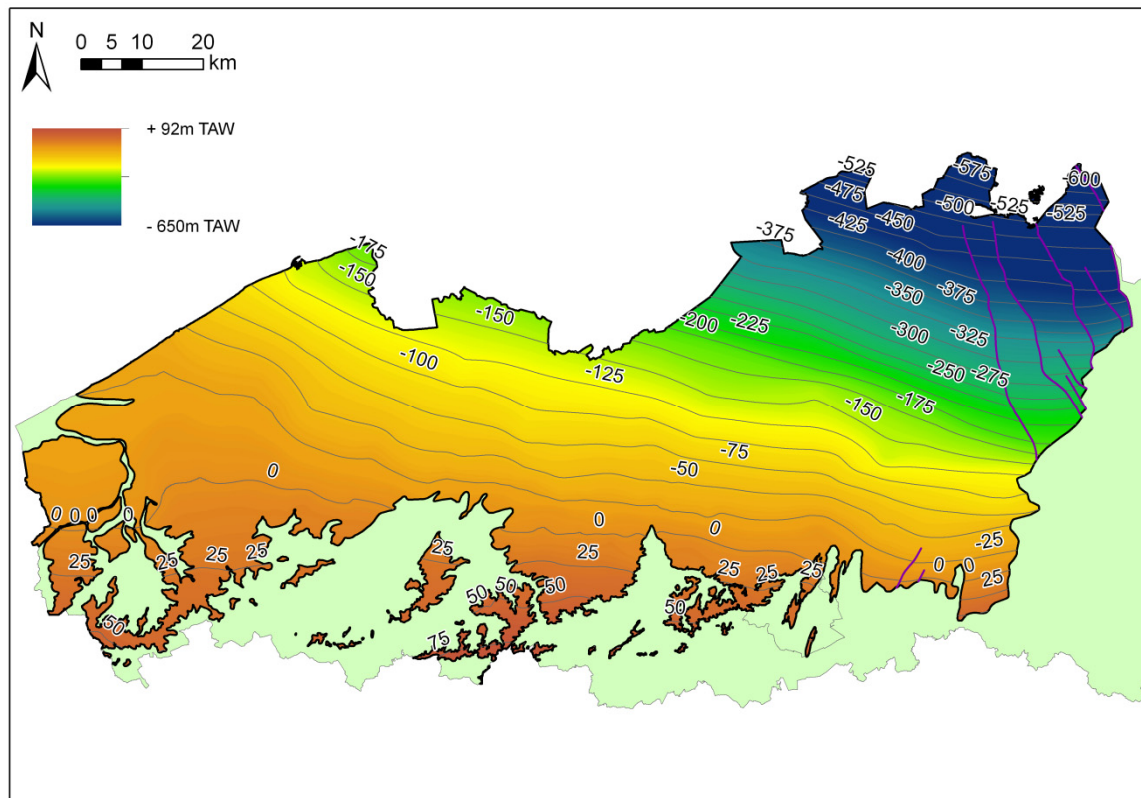
Figuur 9. Isohypsens van de basis van de Formatie van Gentbrugge

2.8. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN TIELT

De Formatie van Tielt komt voor in een aaneengesloten gebied in het noorden en het noordwesten van Vlaanderen. In Limburg en het oosten van Vlaams-Brabant komt de formatie niet voor (Steurbaut, 1986), net als in de lagere delen (de valleigebieden) van het zuiden van Vlaanderen.

De isohypsen van de Formatie van Tielt kennen in het grootste deel van het voorkomengebied een rechtlijnig verloop. De richting van deze isohypsen is dan westnoordwest-oostzuidoost georiënteerd. In het westen van Vlaanderen, in de IJzervlakte, draaien de isohypsen echter plots weg. Hier kennen ze dan ook een zuidwest-noordoost verloop. In deze regio laten de isohypsen van de top van het Krijt overigens dezelfde oriëntatie zien; mogelijk houdt dit verband met de positie van de IJzervlakte juist bovenop de as van het Brabant Massief.

De kromming in de isohypsen veroorzaakt in westelijk Vlaanderen een vervlakking van de basis van de Formatie van Tielt. In de rest van Vlaanderen varieert de helling van de basis van de formatie tussen de 0,5 en 1%. Algemeen kan gezegd worden dat de helling vergroot naargelang men zich oostelijker bevindt. De basis van de Formatie van Tielt wordt het diepst aangetroffen in het noorden van het land, met -625m TAW in Hoogstraten en -650m TAW in Ravels. In het zuiden worden de hoogste waarden opgetekend, gaande van +50m TAW (Bierbeek) over +60m TAW (Ukkel) tot +80m TAW (Ronse). In het westen spant Heuvelland met +50m TAW de kroon. In het noordoosten van het voorkomensgebied werden verschillende breuken ingetekend. De breuksprongen zijn vrij beperkt, tot maximaal 20m. In het zuidoosten, in de buurt van Leuven, werden ook twee breuken ingetekend. Hier bedraagt de sprong slechts maximaal 10m.

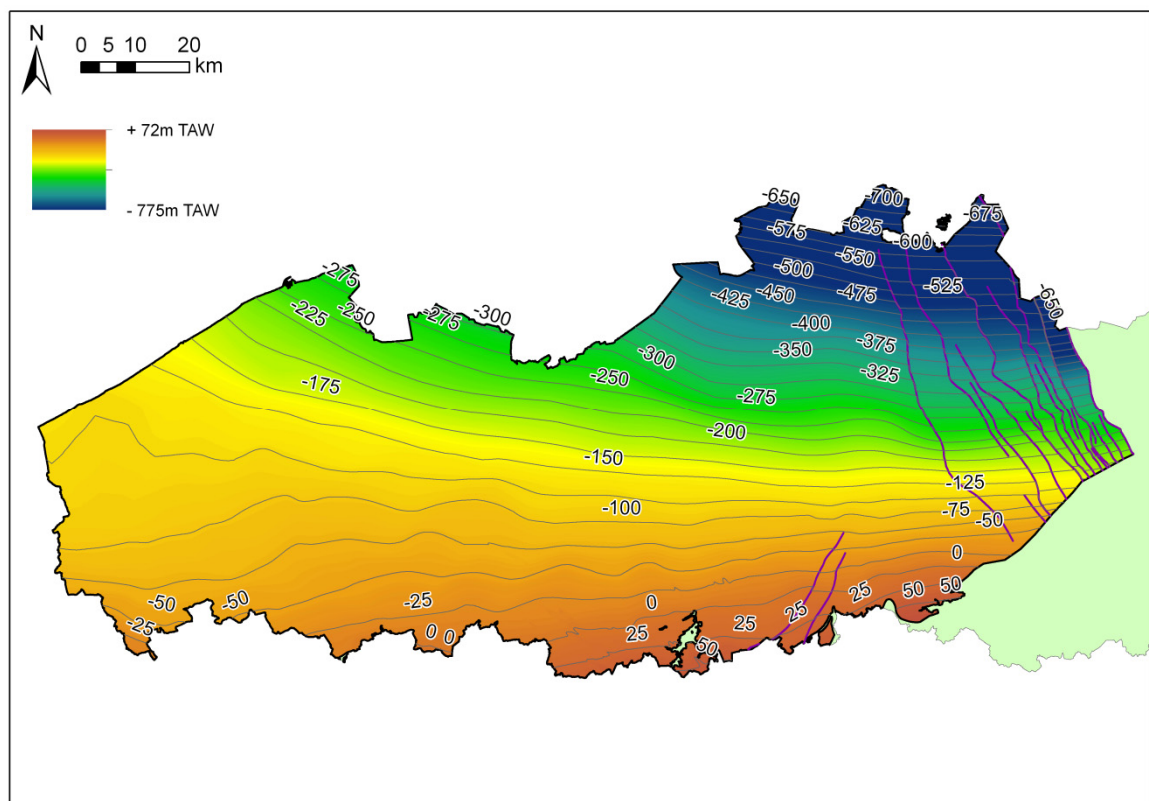


Figuur 10. Isohypsens van de basis van de Formatie van Tielt

2.9. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN KORTRIJK

De Formatie van Kortrijk komt in een groot deel van Vlaanderen voor. Enkel in Limburg, het oosten van Vlaams-Brabant en in de vallei van de Zenne ten zuiden van Brussel is de formatie afwezig.

Ook de isohypsen van de basis van de Formatie van Kortrijk kennen een vrij rechtlijnig verloop. De algemene strekking is ongeveer westnoordwest-oostzuidoost, maar in het oosten van het voorkomensgebied is de strekking veeleer west-oost. In de regio ten zuiden van Brussel, waar de Formatie van Kortrijk rechtstreeks op de Sokkel ligt, wijken de isohypsen uiteraard sterk af van dit algemene patroon. Ook helemaal in het westen van Vlaanderen draaien de isohypsen terug om vervolgens zuidwest-noordoost te verlopen, alzo een vervlakking creërend. Dit fenomeen werd ook vastgesteld in de bovenliggende Formatie van Tielt. De algemene helling van de basis van de Formatie van Kortrijk bedraagt gemiddeld zo'n 1%. In het westen worden veeleer waarden van 0,5% en minder waargenomen, terwijl in het oosten waarden van 1,5% en meer worden aangetroffen. De basis van de Formatie van Kortrijk bevindt zich het diepst in het noorden van de provincie Antwerpen, met als uitschieters -710m TAW (Mol-Postel) en -775m TAW (Hoogstraten en Ravels). In het zuidoosten worden de hoogste waarden bereikt nabij de grens met Wallonië: +50m TAW in Halle en Hoegaarden. In het zuidwesten zijn de hoogtes veeleer gering, van -25m TAW in Kortrijk tot zelfs -130m TAW in De Panne. Ook voor de Formatie van Kortrijk werden, op basis van data en de aanwezigheid van breuken in bovenliggende lagen, verschillende breuken ingetekend in het noordoosten van z'n voorkomensgebied. De sprongen bedragen maximaal zo'n 75m (bij het kruisen van de breuk van Rauw), maar zijn gewoonlijk veel kleiner, rond 10 à 20m.

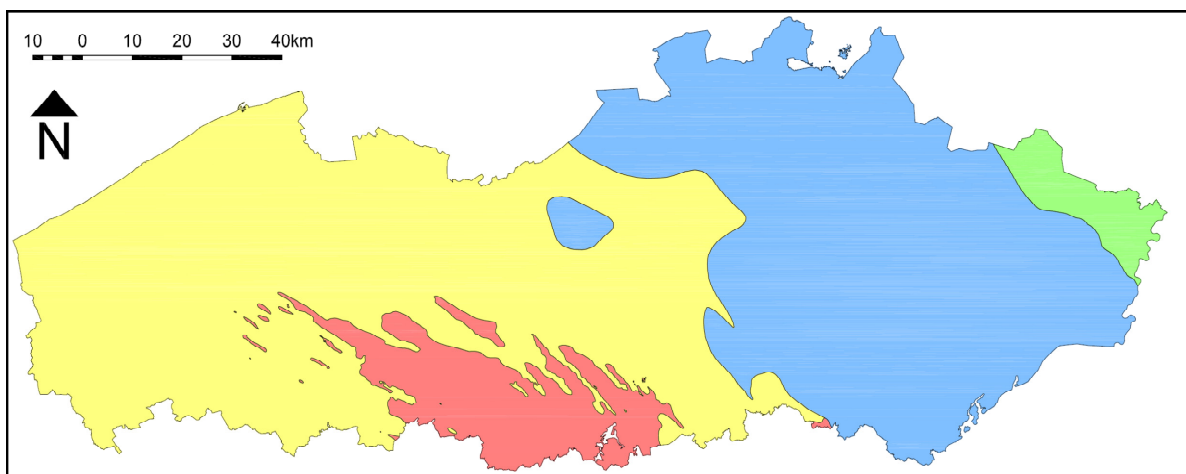


Figuur 11. Isohypsens van de basis van de Formatie van Kortrijk

2.10. ISOHYPSEN VAN DE BASIS VAN DE FORMATIE VAN HANNUT

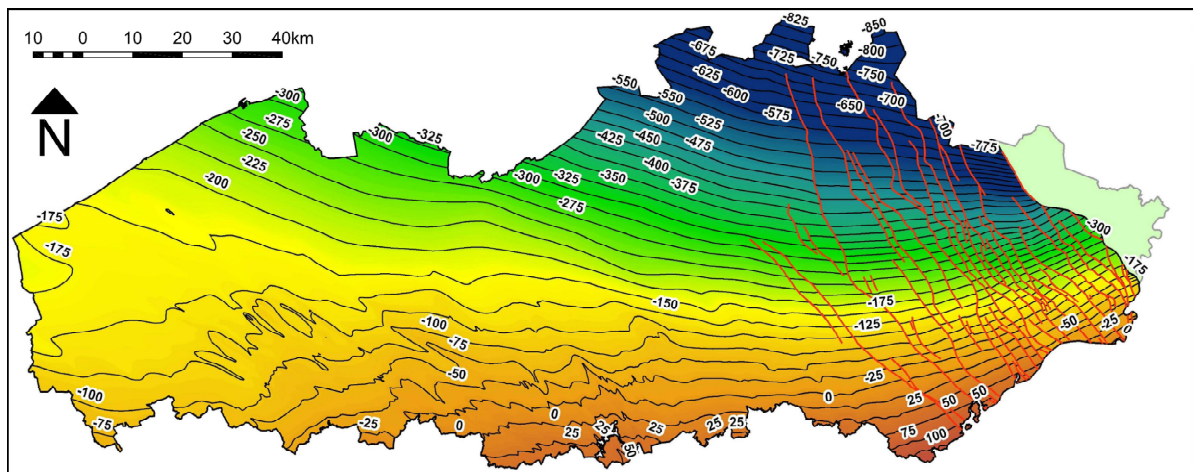
De Formatie van Hannut komt voor in het overgrote deel van Vlaanderen. Ze dagzoomt hoofdzakelijk in het zuidoosten van de provincies Limburg en Vlaams-Brabant. In het zuiden van Vlaams-Brabant, ten zuiden van Brussel en Leuven dagzoomt de Formatie van Hannut ook nog in enkele rivierdalen. Lokaal is de formatie afwezig. Zo wordt ze in het noorden van Vlaanderen doorsneden door de Formatie van Tienen, in het zuiden ter hoogte van Halle wordt de Formatie van Hannut afgesneden door de Formatie van Kortijk, tussen Brussel en Tienen wordt ze doorsneden door de Formatie van Brussel en in het uiterste zuidoosten van Limburg wordt ze afgesneden door de Formatie van Sint-Huibrechts-Hern. Voorlopig worden nog de verbreidingsgrenzen opgesteld door Vancampenhout (2004) gebruikt. In de loop van 2012, als alle Tertiaire lagen gemodelleerd zijn, zullen de nodige aanpassing aan deze grenzen gebeuren om tot een sluitend 3D-model te komen. Op dat moment worden ook de verschillende lagen van de Roerdalslenk (groen op de onderstaande figuur 11) in het model geïncorporeerd.

De isohypsen van de basis van de Formatie van Hannut werden samengesteld uit de isohypsen van de top van de Vroeg-Paleozoïsche Sokkel van het Brabant Massief voor het zuiden van centraal Vlaanderen (rood op onderstaande figuur 11), de isohypsen van de top van het Krijt voor het westen van Vlaanderen (geel op onderstaande figuur 11) en de isohypsen van de basis van het Lid van Maaseik voor het oosten van Vlaanderen (blauw op onderstaande figuur 11). De isohypsen van de basis van het Lid van Maaseik werden naar het westen toe aangesloten op de isohypsen van de top van het Krijt, daar waar onderliggende Formatie van Gelinden uitwigt en diens voorkomegebied bijgevolg eindigt.



Figuur 12. Verschillende deelzones bij de constructie van de isohypsen van de Formatie van Hannut. Het groene gebied is het Belgische deel van de Roerdalslenk.

Centraal in Vlaanderen, volgens de as van het Massief van Brabant, vertonen de isohypsen van de basis van de Formatie van Hannut het grillige patroon van het paleoreliëf van de top van de Vroeg-Paleozoïsche Sokkel. Daar rond volgen ze het iets minder grillige patroon van de isohypsen van de top van het Krijt. Naar het noorden toe krijgen de isohypsen meer en meer een rechtlijnig karakter. In het oosten worden de isohypsen doorsneden door de breuken van het Bekken van de Kempen. Nabij de taalgrens, in het zuidoosten van Vlaanderen, ligt de basis van de formatie ongeveer op 100m TAW. Geheel in het noorden tegen de Nederlandse grens bevindt de basis van de formatie zich op ongeveer -850m TAW. De basis van de formatie heeft bijgevolg een gemiddelde helling van 1.1% of 0.65° noordwaarts.



Figuur 13. Isohypsens van de basis van de Formatie van Hannut

In de loop van 2012 zijn kleine aanpassingen aan het 3D-model mogelijk, enerzijds daar er nieuwe gegevens voor handen zijn sinds het opstellen van modellen van de top van het Krijt en de top van de Paleozoïsche Sokkel, die beiden een onderdeel vormen van het 3D-model van de basis van de Formatie van Hannut, en anderzijds om bij het aan elkaar zetten van de verschillende lagen tot een sluitend model te komen.

HOOFDSTUK 3. BESLUIT

In dit onderzoek werd een geologisch 3D-model geconstrueerd van de basis van de Formaties van Weelde, Malle, Merksplas, Maldegem, Brussel, Aalter, Gentbrugge, Tielt, Kortrijk en Hannut.

De noodzakelijke gegevens werden hoofdzakelijk verzameld uit de archieven van de Belgische Geologische Dienst en Databank Ondergrond Vlaanderen. Na een controle op coördinaten volgde een gericht nazicht van de geologische interpretaties. Vervolgens werden met de hand isohypsenkaarten getekend. Na een aantal iteraties werden deze kaarten omgezet in een 3D-model en werd een diepteraster berekend.

Tijdens de constructie van het 3D-model werd een aantal zaken duidelijk, zoals:

- Het gebruik van Nederlandse en Franse boringen was noodzakelijk om het model tot aan de grenzen van Vlaanderen zo correct mogelijk te laten verlopen;
- De spoelboringen doorheen het Eoceen van oostelijk Antwerpen leveren soms moeilijk interpreteerbare data.

Daarnaast kwam, op geologisch gebied, ook aan het licht dat:

- De helling van de Plio-/Pleistocene formaties, zoals te verwachten was, gemiddeld kleiner is dan de helling van de Neogene formaties (De Koninck et al., 2011) of de top van het Krijt (Matthijs & Lagrou, 2007);
- De algemene helling van de Vroeg-Eocene lagen in het westen van het land beduidend vlakker is dan in het oosten van Vlaanderen;
- De Formatie van Kortrijk ten zuiden van Brussel rechtstreeks op de Paleozoïsche Sokkel voorkomt.

LITERATUURLIJST

ANRE, 2001. Digitale uitgave van de Tertiairgeologische kaart.

Beerten, K., Gullentops, F., Paulissen, E., Vandenberghe, N., 2006. Kaartblad 17 Mol. Toelichting bij de Quartairgeologische kaart van Vlaanderen. Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 25.

Bogemans, F., 1997. Kaartblad 1-7 Essen-Kapellen. Toelichting bij de Quartairgeologische kaart van Vlaanderen. Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 39.

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., 2005a. Kaartblad 2-8 Meerle-Turnhout. Toelichting bij de Quartairgeologische kaart van Vlaanderen. Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 38.

Bogemans, F., 2005b. Kaartblad 3-9 Arendonk-Maarle. Toelichting bij de Quartairgeologische kaart van Vlaanderen. Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 31.

Broothaers M., Deckers J., Lagrou D. & Matthijs, J., 2011. 3D Lagenmodel van de Tertiaire afzettingen in de Roerdalslenk in Vlaanderen. Studie uitgevoerd voor ALBON, VITO-rapport 2012/SCT/R/191

Buffel, P., Claes, S. & Gullentops, F., 2001. Kaartblad 26 Rekem. Toelichtingen bij de geologische kaart van België - Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 56p.

Buffel, P., Vandenberghe, N., 2002. Kaartblad 2-8 Meerle-Turnhout. Toelichtingen bij de geologische kaart van België - Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel. (in prep.)

Buffel, P., Vandenberghe, N., Goolaert, S. & Laga, P., 2001. The Pliocene sediments in 4 boreholes in the Turnhout area (North-Belgium): the relationship with the Lillo and Mol Formations. *Aardkundige Mededelingen*, 11, 1-8.

Buffel, P., Vandenberghe, N. & Vackier, M., 2009. Kaartblad 23 Mechelen. Toelichtingen bij de geologische kaart van België - Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Departement LNE, Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond en Natuurlijke Rijkdommen, Brussel, 56p.

Claes, S. & Gullentops, F., 2001. Kaartblad 33 Sint-Truiden. Toelichtingen bij de geologische kaart van België - Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 68p.

Claes, S., Frederickx, E. & Gullentops, F., 2001. Kaartblad 34 Tongeren. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 56p.

- 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 Volume 1, 17-37.
- De Breuck, W., Fobe, B., Lebbe, L., Steurbaut, E., Van Dyck, E., Walraevens, K., 1989.** De boringen van Ursel en Maldegem – Bijdrage tot de kennis van het Eoceen in Noordwest-België. Professional Paper 1978/3 Nr 236, 98p.
- De Koninck, R., Lanckacker, T., Matthijs, J., 2011.** Geologisch 3D-lagenmodel voor 8 Tertiaire lagen – Tussentijds rapport. Studie uitgevoerd voor ALBON, VITO-rapport 2011/SCT/R/152, 46p.
- 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(4), 133-152.
- Demoulin, A., Lenotre, N., Moxhet, J., Pissart, A., 1992.** Les régions neotectoniques de la Belgique définies par la comparaison de nivellements. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, T. 115 (fascicule 1), 99-111.
- Depret, M., 1983.** Studie van de lithostratigrafie van het kwartair en van het tertiaire substraat te Zeebrugge onder meer met diepsonderingen. Professional Paper 1983/6 Nr 201, 235p.
- Fobe, B., 1989.** Het Eoceen tussen Mol en Beringen. Professional Paper 1989/4 Nr 239, 9p.
- Fobe, B., 1988.** De steenbanken van het Midden-Eoceen uit de boring van Kallo: Lithologie en stratigrafische interpretatie. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, vol. 97, deel 1, 25-28.
- Funnell, B., 1996.** Plio-Pleistocene palaeogeography of the southern North Sea basin (3.75-0.60 Ma). *Quaternary Science Reviews*, 15, 391-405.
- Goolaerts, S., Beerten, K., Gullentops, F., Paulissen, E., Vandenberghe, N., 2006.** Kaartblad 16 Lier. Toelichting bij de Quartairgeologische kaart van Vlaanderen. Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 23.
- Gulinck, M., 1962.** Essai d'une carte géologique de la Campine. Etat de nos connaissances sur la nature des terrains néogènes recoupés par sondages. *Mem. Soc. Belge Géol.*, 6, 30-39.
- Gullentops, F. & Vandenberghe, N., 1995.** Kaartblad 17 Mol. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 66p.
- Gullentops, F. & Huyghebaert, L., 1999.** A profile through the Pliocene of the Northern Kempen, Belgium. *Aardkundige Mededelingen*, 9, 191-202.
- Halet, F., 1944.** Sur l'extension des formations lédiennes dans le Nord-Est de la Belgique. *Bulletin de la Société Belge de Géologie*, Tome LIII, 170-171.
- Hance, L., 1988.** Geologie du metro de Bruxelles – etude de 7 tronçons. Professional Paper 1988/3 Nr 233, 53p. + bijlagen.

Herman, J., Steurbaut, E., Vandenberghe, N., 2000. The boundary between the Middle Eocene Brussel Sand and the Lede Sand Formations in the Zaventem – Nederokkerzeel area (Northeast of Brussels, Belgium). *Geologica Belgica*, Brussel, 3(3-4), 231-255.

Houthuys, R., 1990. Vergelijkende studie van de afzettingsstructuur van getijdenzanden uit het Eoceen en van de huidige Vlaamse banken. *Aardkundige Mededelingen*, 5, 137p.

Houthuys, R., 2011. A sedimentary model of the Brussels Sands, Eocene, Belgium. *Geologica Belgica* 14/1-2, 55-74.

Jacobs, P., 1978. Litostratigrafie van het Boven-Eoceen en van het Onder-Oligoceen in Noordwest België. *Professional Paper* 1978/3 Nr 151, 93p.

Jacobs, P., De Ceukelaire, M., 2002. Kaartblad 19-20 Veurne – Roeselare. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 59p.

Jacobs, P., De Ceukelaire, M., De Breuck, W., De Moor, G., 1993. Kaartblad 14 Lokeren. Toelichtingen bij de geologische kaart van België - Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 50p.

Jacobs, P., De Ceukelaire, M., De Breuck, W., De Moor, G., 1996. Kaartblad 22 Gent. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 61p.

Jacobs, P., De Ceukelaire, M., De Breuck, W., De Moor, G., 1999. Kaartblad 19 Tielt. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 60p.

Jacobs, P., De Ceukelaire, M., De Breuck, W., De Moor, G., 1999. Kaartblad 29 Kortrijk. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 68p.

Jacobs, P., De Ceukelaire, M., Moerkerke, G., Polfliet, T., 2002. Kaartblad 4-5-11-12 Blankenberge-Westkapelle-Oostduinkerke-Oostende. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 71p.

Jacobs, P., De Ceukelaire, M. & Sevens, E., 2001. Kaartblad 27-28-36 Proven-leper-Ploegsteert. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 68p.

Jacobs, P., Marechal, R., De Ceukelaire, M., Sevens, E., 1993. Kaartblad 13 Brugge. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie, 38p.

Jacobs, P., Polfliet, T., De Ceukelaire, M., Moerkerke, G., 2010. Kaartblad 15 Antwerpen. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Land en Bodembescherming, Natuurlijke Rijkdommen, Brussel, 59p.

- Jacobs, P., Polfliet, T. & Moerkerke, G., 2010.** Kaartblad 1-7 Essen-Kapellen. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, Brussel, 44p.
- Jacobs, P., Van Lancker, V., De Ceukelaire, M., De Breuck, W. & De Moor, G., 1999.** Kaartblad 30 Geraardsbergen. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 61p.
- Kasse, K., 1988.** Early-Pleistocene tidal and fluvial environments in the southern Netherlands and Northern Belgium. Doctoraatsverdediging, Amsterdam, 190p.
- Kasse, K., 1990.** Lithostratigraphy and provenance of the Early-Pleistocene deposits in the southern Netherlands and northern Belgium. *Geologie en Mijnbouw*, 69, 327-340.
- Laga, P., Louwye, S. & Geets, S., 2001.** Paleogene and Neogene lithostratigraphic units (Belgium). In: *Bultynck & Dejonghe, eds., Guide to a revised lithostratigraphic scale of Belgium*. Geologica Belgica, Brussel, 4(1-2), 135-152.
- Laga, P. & Vandenberghe, N., 1990.** The Knokke Well (11E/138) with a description of the Den Haan (22W/276) and Oostduinkerke (35E/142) Wells. Toelicht. Verhand. Geologische en Mijnkaarten van België, nr. 29, 118p.
- Laga, P. & Vandormael, C., 1990.** The use of geophysical well logs in stratigraphy. *Tert. Res.*, nr. 11, 2-4, 195-203.
- Lagrou D. & Broothaers M., 2010.** 3D Lagenmodel in de Roerdalslenk: Kiezeloöliet, Bolderberg en Boom Formaties. Studie uitgevoerd voor ALBON, VITO-rapport 2010/SCT/R/015.
- Langenaeker, V., 2000.** The Campine Basin, stratigraphy, structural geology, coalification and hydrocarbon potential for the Devonian to Jurassic. *Aardkundige Mededelingen*, KU Leuven, 10, 142p.
- Legrand, R., 1968.** Le massif du Brabant. Toelichtende Verhandelingen voor de Geologische kaart en Mijnkaart van België, Verhandeling 9, 148p.
- Marechal, R. & Laga, P., 1988.** Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen. Nationale commissies voor stratigrafie, commissie Tertiair, Belgische Geologische Dienst, Brussel, 208p.
- Matthijs, J., 1999.** Kaartblad 25 Hasselt. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 104p.
- Matthijs, J., 2010.** Opbouw van een geologisch 3D-lagenmodel: topografie. Studie uitgevoerd voor ALBON, VITO-rapport 2010/SCT/R/014, 17p.
- Matthijs, J., 2011.** Opbouw van een geologisch 3D-lagenmodel: Quartair – exclusief de Kempen Groep en de Merksplas Formatie. Studie uitgevoerd voor ALBON, VITO-rapport 2011/SCT/R/006, 30p.

Matthijs, J. & Buffel, P., 2009. Kaartblad 31-39 Brussel-Nijvel. Toelichtingen bij de geologische kaart van België – Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Departement LNE, Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen, Brussel 51p.

Matthijs, J. & Lagrou, D., 2007. Diepte- en diktekaarten van de Krijtsedimenten in Vlaanderen. Studie uitgevoerd voor ALBON, VITO-rapport 2007/MAT/R/0030, 66p.

Moorkens, L., 1982. Foraminifera of the Montian stratotype and of subjacent strata in the “Mons Well 1969”, with a review of Belgian Paleocene Stratigraphy. Toelichtende Verhandelingen voor de Geologische kaart en Mijnskaart van België, Verhandeling 17, Tome II, 186p.

Databank Ondergrond Vlaanderen. Digitale versie van de Tertiairgeologische kaart; laatst geraadpleegd op 21/12/2011 op <http://dov.vlaanderen.be>

Paepé, R., 1970. Autosnelweg Brussel-Luik – boringen en geologisch profiel. Professional Paper Nr 6, 39p.

Pieters, E., Zeuwts, L., Van Burm, P., Lebbe, L., De Breuck, W., 1988. Hydrogeologisch onderzoek in de omgeving van de Handelskom te Brugge. Professional Paper 1988/2 Nr 232, 44p.

Rossa, H.G., 1986. Upper Cretaceous and Tertiary inversion tectonics in the western part of the Rhenish-Westphalian coal district (F.R.G.) and in the Campine area (N. Belgium). Annales de la Société géologique de Belgique, 109, 367-410.

Schiltz, M., Vandenberghe, N. & Gullentops, F., 1993. Kaartblad 16 Lier. Toelichtingen bij de geologische kaart van België - Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 43p.

Schiltz, M., Vandenberghe, N. & Gullentops, F., 1993. Kaartblad 24 Aarschot. Toelichtingen bij de geologische kaart van België - Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 36p.

Sels, O., Claes, S. & Gullentops, F., 2001. Kaartblad 18-10 Maaseik-Beverbeek. Toelichtingen bij de geologische kaart van België - Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel, 50p.

Steurbaud, E., 1986. Revision of Ypresian stratigraphy of Belgium and northern France. Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie, 23(4), 115-172.

Steurbaud, E., 1998. High-resolution holostratigraphy of Middle Paleocene tot Early Eocene strata in Belgium and adjacent areas. Palaeontographica Abt. A, 247, Lfg. 5-6, 91-156.

Steurbaud, E., Dupuis, C., Jacobs, P., 2003. Field guide to the Ypresian Stratotype. ISPS Symposium on the Paleogene. 25-30 August 2003, Leuven, Belgium.

Van Campenhout P., 2004. Opmaak Isohypsenkaarten van het Tertiair in Vlaanderen. Belgische Geologische Dienst in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, 120p.

- Vancampenhout, P., De Ceukelaire, M., Duser, M. & Declercq, P.-Y., 2007.** Aanpassen van de Hydrogeologische Kartering van de Ondergrond in Vlaanderen (HCOV) (+dvd). Rapport Belgische Geologische Dienst, Brussel, 132p.
- Vandenberghe, J., 1988.** Geoelectric investigations of a fault system in Quaternary deposits. *Geophysical Prospecting*, 30, 879-897.
- Vandenberghe, N., Duser, M., Laga, P., Bouckaert, J., 1988.** The Meer well in North Belgium. *Toelichtende Verhandelingen voor de Geologische en Mijnkaarten van België*, Verhandeling 25, 23p.
- Vandenberghe, N. & Gullentops, F., 2001.** Kaartblad 32 Leuven. Toelichtingen bij de geologische kaart van België - Vlaams Gewest. Belgische Geologische Dienst en Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, Brussel. 78p.
- Vandenberghe, N., Laga, P., Steurbaut, E., Hardenbol J., Vail, P.R., 1988.** Tertiary sequence stratigraphy at the southern border of the North Sea Basin in Belgium. *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European Basins*, SEPM Special Publication N. 60, 119-154.
- 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. *Geologie en Mijnbouw*, 83(3), 155-171.
- 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. Belgische Geologische Dienst, Professional Paper 2009/2, 306, 77p.
- Wouters, L. & Vandenberghe, N. 1994.** Geologie van de Kempen, NIRAS, Brussel, 208p.

