

Eindrapport

Thematisch delfstoffenmodel - Zand- en grindafzettingen van Maas en Rijn in Vlaanderen

Tom van Haren, Katrijn Dirix, Roel De Koninck

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



ETE/1310192-01/2016-0001

November 2016



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 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

ETE/1310192-01/2016-0001

VERSPREIDINGSLIJST

ALBON	2 exemplaren
VITO	2 exemplaren
BGD	1 exemplaar

SAMENVATTING

Dit rapport licht het thematisch delfstoffenmodel van de zanden en grinden van Maas en Rijn, afgezet tijdens het Quartair in het oosten van Vlaanderen toe. Het modelgebied omvat het Kempisch Plateau en het Belgische deel van de Roerdalslenk inclusief de grindterrassen langsheen de Maas en heeft een oppervlakte van ca. 1230 km².

Het voxelmodel is opgesteld binnen de VLAKO-referentietask die VITO uitvoert voor de Vlaamse overheid, Departement LNE, ALBON. Deze modellering volgt op een eerdere modellering van de eolische leemafzettingen [1] en steunt deels op informatie van het geologisch lagenmodel G3Dv2 [2] en de quartairgeologische kartering [3]. Ter hoogte van de Roerdalslenk steunt het model op de modelresultaten van het project "H3O- Roerdalslenk" [4]. Het heeft een ondersteunende functie voor het duurzaam beheer van delfstoffen binnen Vlaanderen.

In het kader van dit voxelmodel werd een nieuwe methodologie uitgewerkt die specifiek gericht is op de modellering van de zanden en grinden. Hierbij werd gebruik gemaakt van de softwareprogramma's ArcGIS®, Surfer® en Voxler®. De basis van het model wordt gevormd door ca. 5000 boringen en hun boorbeschrijvingen, afkomstig uit de [Databank Ondergrond Vlaanderen \(DOV\)](#). Deze beschrijvingen werden stratigrafisch geïnterpreteerd, gecodeerd en omgezet in relatieve aandelen per lithoparameter. Deze data werden vervolgens geïnterpoleerd in 3D tot een voxelmodel bestaande uit voxels met dimensies van 25 x 25 x 0.5 m. Daarnaast werd ook een lagenmodel aangemaakt dat gebaseerd is op nieuw gemodelleerde lagen en (updates van) bestaande lagen. Dit lagenmodel werd in een finale stap gecombineerd met het voxelmodel, waardoor ook conceptuele geologische kennis werd geïntegreerd in het finale model.

Het opgeleverde model bestaat uit ca. 52 miljoen voxels, waaraan lithoparameters zijn toegekend (aandeel klei, aandeel fijn zand, aandeel middelmatig zand, aandeel grof zand en aandeel grind). Samen beschrijven deze parameters een voorspelling van de regionale lithologische voorkomens en variatie.

Het voxelmodel toont de ruimtelijke verdeling en diktevariatie van de Pleistocene afzettingen van Maas en Rijn op indicatieve wijze. Het laat toe om een aantal essentiële parameters die het potentieel van de afzettingen als delfstof bepalen te onderzoeken en te visualiseren (o.a. de dikte van de deklaag en de eventuele aanwezigheid van stoorlagen). Het model kan gebruikt worden voor pre-prospectieve doeleinden, het geeft een algemeen overzicht van de eigenschappen en dikteverdeling van de potentiële delfstoffen, en kan als hulpmiddel gebruikt worden bij het onderzoek naar de potentiële economische waarde van de ondergrond.

INHOUD

Verspreidingslijst	I
Samenvatting	II
Inhoud	III
Lijst van tabellen	V
Lijst van figuren	VI
HOOFDSTUK 1. Inleiding	1
HOOFDSTUK 2. Geologische setting	3
2.1. <i>Zanden en grinden van Maas en Rijn</i>	5
2.1.1. Formatie van Sterksel	7
2.1.2. Formatie van Zutendaal	7
2.1.3. Formaties van Lanaken, Lanklaar en Stokkem	7
2.1.4. De Modeleenheden van de zanden en grinden van Maas en Rijn	7
2.2. <i>Deklaag op de zanden en grinden van Maas en Rijn</i>	8
2.2.1. (Niveo-) eolische zanden en lemen	8
2.2.2. Holocene alluviale afzettingen	8
2.2.3. De Modeleenheden van de deklaag	9
HOOFDSTUK 3. Zand en grind als delfstof	10
3.1. <i>Toepassingen</i>	10
3.2. <i>Relevante parameters voor het potentieel als delfstof</i>	10
3.2.1. Samenstelling van de afzetting	10
3.2.2. Economische haalbaarheid	11
3.3. <i>Korrelgrootte: industrie versus geologie</i>	11
3.4. <i>Consequenties voor het delfstoffenmodel</i>	12
HOOFDSTUK 4. Boringen: basisdata en bewerkingen	14
4.1. <i>Overzicht workflow bewerkingen boringen</i>	14
4.2. <i>Basisdata</i>	15
4.2.1. Boringdataset	15
4.2.2. Bestaande boorbeschrijvingen	16
4.2.3. Bestaande gecodeerde boorbeschrijvingen	16
4.2.4. Stratigrafische interpretaties	17
4.3. <i>Aanvullende Interpretaties boringen</i>	17
4.4. <i>Aanvullende coderingen</i>	18
4.4.1. Coderingsmodule	18
4.4.2. Optimalisatie codering boringen	18
4.4.3. Coderingsresultaat	18
4.5. <i>Omzetting codering naar relatieve aandelen per parameter</i>	19

4.6.	<i>Aanmaak gecombineerde dataset</i>	21
4.7.	<i>Opmaak inputtabel voxelmodellering</i>	22
4.7.1.	Fitten boring-intervallen met lagenmodel	22
4.7.2.	Exclusie van top- en kleilagen	24
4.7.3.	Omzetting intervallen naar datapunten	24
HOOFDSTUK 5.	Lagenmodel	26
5.1.	<i>Algemene aanpak</i>	26
5.2.	<i>Bestaande lagen</i>	26
5.3.	<i>Aanmaak nieuwe lagen buiten modelgebied H3O-De Roerdalslenk:</i>	27
5.4.	<i>Combinatie nieuwe lagen met bestaande lagen in modelgebied H3O- Roerdalslenk</i>	27
5.5.	<i>Overzicht lagenmodel</i>	29
HOOFDSTUK 6.	Voxelmodel	31
6.1.	<i>Deelgebieden</i>	31
6.2.	<i>Workflow voxelmodellering</i>	32
6.3.	<i>Koppeling voxelmodel en lagenmodel</i>	34
6.4.	<i>Interpolatiemethode</i>	34
HOOFDSTUK 7.	Mogelijkheden Visualisatie	37
7.1.	<i>3D-Visualisaties</i>	37
7.2.	<i>2D-visualisaties</i>	39
7.3.	<i>Voorbeeld delfstoffenviewer</i>	42
HOOFDSTUK 8.	Gebruik en disclaimer	43
HOOFDSTUK 9.	Opgeleverde documenten	45
Literatuurlijst		46
Bijlage A:	Chronologische weergave van de modeleenheden en de koppeling met de Belgische stratigrafie en het model H3O – De Roerdalslenk	48
Bijlage B:	Ruimtelijke verdeling hoofdlithologie en neven lithologieën – topview	49
Bijlage C:	Leesmij-files van de opgeleverde documenten	51

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Aanpassing output coderingsmodule zodat onderscheid gemaakt wordt tussen de definitie van nevenlithologie 1 (NL1) en nevenlithologie 2 (NL2)	18
Tabel 2: Illustratie van de basisprocedure voor de omzetting van de codering in relatieve aandelen per lithoparameter	21
Tabel 3: Voorbeeld van extract uit de gecombineerde dataset met koppeling lithologische beschrijving - interpretatie en codering	22
Tabel 4: Voorbeeld inputdataset voor voxelmodellering	25
Tabel 5: Opsomming van bestaande modellagen, geïntegreerd in het voxelmodel	26
Tabel 6: Overzicht van de lagen in het finale lagenmodel en haar onderdeel-lagen die deels uit bestaande en deels uit nieuwe lagen bestaan.	28
Tabel 7: Werkwijze herberekening onbekende zandfractie	33

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Overzicht structuur rapport en algemene workflow voxelmodellering _____	2
Figuur 2: Reliëfkaart van Vlaanderen met aanduiding modelgebied _____	3
Figuur 3: Weergave van het modelgebied met situering van de Roerdalslenk en de Feldbiss breukzone en het geomorfologisch onderscheid tussen het Kempisch plateau en de Maasvallei _____	4
Figuur 4: Weergave van het modelgebied met de verschillende zanden en grinden van de Maasgroep. 'HMR' staat voor herwerkte Maas- en Rijnsedimenten. De figuur is gebaseerd op de quartairgeologische kaart [3]. _____	5
Figuur 5: Dwarsprofielen AA' en BB' (Figuur 4): vereenvoudigde geologische dwarsdoorsneden van het modelgebied. Met weergave van de zanden en grinden van Maas en Rijn en de deklaag. _____	6
Figuur 6: Het modelgebied met ligging van de alluviale Holocene kleien en lemen. _____	9
Figuur 7: Oppervlaktedelfstoffenkaart van Vlaanderen (Bron: AOD, 2008, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie) _____	10
Figuur 8: Korrelgrootte classificatie op basis van de Wentworth-schaal (korrelgroottes in mm) _____	11
Figuur 9: Korrelgrootte classificatie van de zandfractie gebruikt in de industrie (NBN B11-011). _____	12
Figuur 10: Voorkomen van de termen "glauconiet", "groen" en "kalk" in de lithologische beschrijvingen van de boringen in het modelgebied. _____	13
Figuur 11: Overzicht workflow aanmaak input tabel voor de voxelmodellering _____	14
Figuur 12: Histogram van de diepteklassen van de boringen gebruikt voor de modellering _____	15
Figuur 13: 2D-spreiding van de boringen gebruikt als input voor het voxelmodel _____	16
Figuur 14: Verdeling van relevante lithologische categorieën over de hoofdlithologie, nevenlithologie 1 en nevenlithologie 2 _____	19
Figuur 15: Illustratie gevolgen van ontbreken match tussen boringen en lagenmodel. _____	23
Figuur 16: Illustratie van de toegepaste verschuiving van de boringen zodat de geïnterpreteerde top van de Maasgroep in de boringen overeenkomt met de top van de Maasgroep in het lagenmodel. Door deze bewerking is de interpolatie tussen de boringen meer correct en is er een kleinere kans op onterecht afsnijden van voxels of foutief toekennen van vaste voxelwaardes. _____	24
Figuur 17: Illustratie van de omzetting van boorbeschrijving-intervallen naar datapunten. _____	25
Figuur 18: Schematische weergaven van het lagenmodel en haar eenheden, gemodelleerd in het kader van het voxelmodel. De verschillende afkortingen zijn toegelicht in Tabel 6. _____	28
Figuur 19: 3D-weergave (hoogteoverdrijving x25) van het lagenmodel kijkend richting het noordwesten. De steilrand, het Kempisch plateau en de Maasvallei zijn duidelijk waar te nemen. De toplaag is weggelaten voor de weergave van de onderliggende deklaag. _____	29
Figuur 20: Dikteweergaven van de verschillende modeleenheden. A: Diktemodel van de Holocene alluviale afzettingen. B: Diktemodel van de deklaag, inclusief de Holocene alluviale afzettingen. C: Diktemodellen van de verschillende kleien, aanwezig binnen de Maasgroep, respectievelijk Sterksel klei 1, Beegden klei 1 en 2 en RAFZ. D: Diktemodel van de Maasgroep. _____	30
Figuur 21: Overzicht van de 32 initiële deelgebieden en de 3 finale zones waarin het voxelmodel werd opgedeeld _____	31
Figuur 22: Workflow voxelmodellering, met herschaling van de onbekende zandfractie tot relatieve aandelen fijn, middelmatig en grof zand. _____	32
Figuur 23: Voorbeeld outputtabel voxelmodellering. _____	33
Figuur 24: Sleutel toegekende vaste voxelwaardes _____	34
Figuur 25: 2D-voorbeeld in XY-richting van de werking van Inverse Distance Weighting voor de berekening van een voxelwaarde op basis van input uit boringen. Voor de berekening, zie Vergelijking 1 _____	35

Figuur 26: 3D-view van het zuidelijke gedeelte van het modelgebied. Code 8 (mogelijke ophoging) wordt hier niet getoond. _____	37
Figuur 27: 3D-subcropview van het zuidelijke gedeelte van het modelgebied. Hierbij worden alle voxels getoond, behalve die met vaste voxelwaarde 5 (RAFZ), 6 (Deklaag, excl. Holocene kleien en lemen) en 7 (Holocene kleien en lemen). De meer donkergele kleuren geven zones aan waar meer grind aanwezig is. _____	38
Figuur 28: 3D-dwarsdoorsnede van het model ter hoogte van de Roerdalslenk. Hierbij worden alle voxels getoond, behalve die met vaste voxelwaarde 5 (RAFZ), 6 (Deklaag) en 7 (Holocene kleien en lemen). De meer donkergele kleuren geven zones aan waar meer grind aanwezig is. _____	38
Figuur 29: Voorbeeld van een kaart die het cumulatieve aandeel grind toont, met als randvoorwaarde dat de delfstoffen maximaal 10 m diep mogen zitten. _____	40
Figuur 30: Analoog aan Figuur 29, met als extra voorwaarde dat enkel die voxels worden meegenomen waarvan het gemodelleerde grindaandeel minstens 20% bedraagt. _____	41
Figuur 31: Voorbeeld layout delfstoffenviewer _____	42

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

In opdracht van de Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond, Natuurlijke Rijkdommen van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie van de Vlaamse overheid werd een 3D-modellering van de Pleistocene zanden en grinden afgezet door Maas en Rijn uitgevoerd, gebaseerd op de lithologische beschrijvingen opgenomen in de databank [DOV](#) [18]. De resultaten van deze modellering kunnen gebruikt worden in een online “delfstoffenviewer”, die gebruikers zal toelaten na te gaan welke gebieden potentieel hebben als bron van deze delfstoffen. Deze modellering volgt op een eerdere modellering van de eolische leemafzettingen [1] en steunt deels op informatie van het geologisch lagenmodel G3Dv2 [2] en de quartairgeologische kartering [3]. Ter hoogte van de Roerdalslenk steunt het model op de modelresultaten van het project “H3O-Roerdalslenk” [4] (zie Figuur 3).

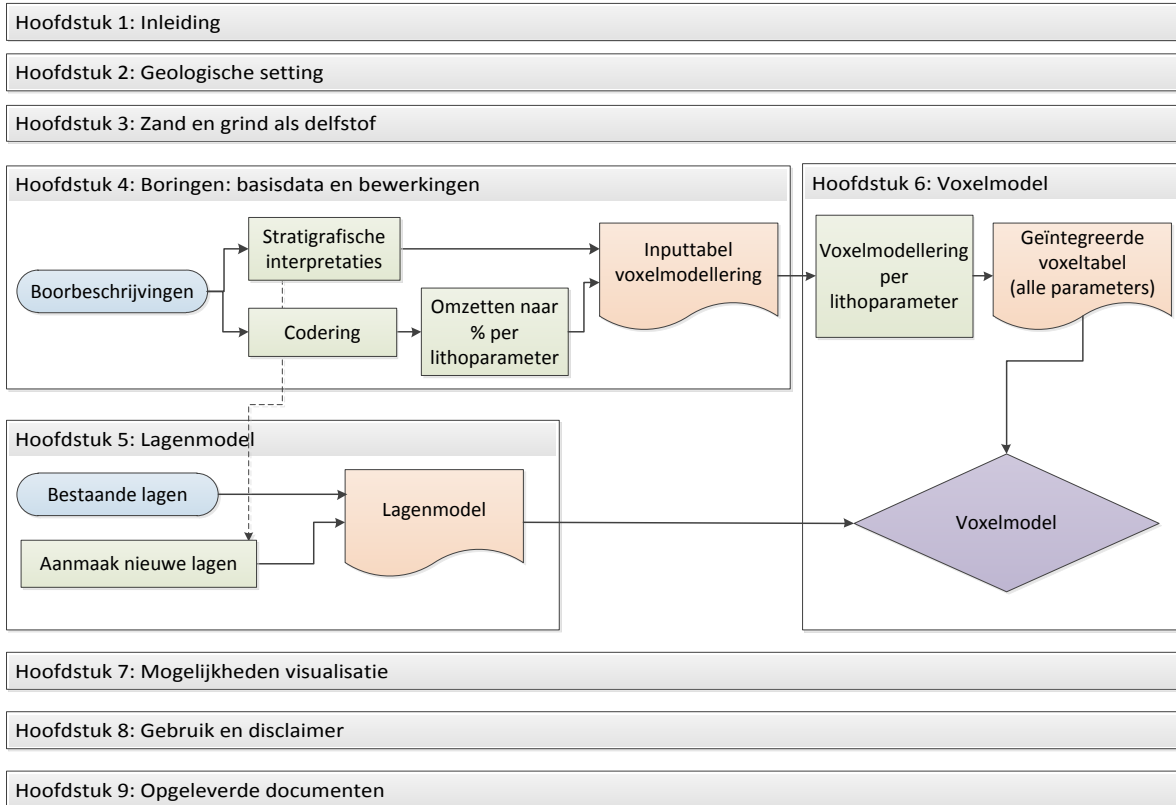
Het modelgebied komt overeen met de voorkomensgebieden van de Pleistocene Maas- en Rijnafzettingen. Dit gebied omvat het Kempisch Plateau en het Belgische deel van de Roerdalslenk inclusief de grindterrassen langs de Maas en heeft een oppervlakte van ca 1230 km² (Figuur 2).

Voor de opmaak van het 3D-model werden meer dan 23000 lithologische beschrijvingen afkomstig van ca. 5000 individuele boringen gecodeerd en geïnterpoleerd. Hiervan zijn ca. 1100 boringen gelegen in het modelgebied van het project “H3O-Roerdalslenk” (zie Figuur 4). Het opgeleverde model bestaat uit ca. 52 miljoen voxels met afmetingen van 25 x 25 x 0.5 m, waaraan parameters zijn toegekend (aandeel klei, aandeel fijn zand, aandeel middelmatig zand, aandeel grof zand en aandeel grind). Samen beschrijven deze parameters de voorspelde lithologie in de betrokken voxel.

Onderstaande figuur linkt de algemene workflow van de voxelmodellering met de opbouw van het rapport. In hoofdstukken 2 en 3 wordt het geologisch kader van de Pleistocene Maas- en Rijnafzettingen geschetst en wordt hun gebruik als delfstof toegelicht. In hoofdstuk 4 worden de processtappen besproken die toegepast werden om de boorbeschrijvingen om te zetten naar een bruikbaar formaat voor de voxelmodellering. Hierbij werden de boringen gecodeerd, en werd ook de link gelegd met de stratigrafische interpretaties van de boringen.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 besproken hoe het lagenmodel werd aangemaakt dat gebruikt werd als raamwerk voor het voxelmodel. Hierbij werd enerzijds gebruik gemaakt van bestaande lagen, en anderzijds werden ook een aantal nieuwe lagen opgemaakt. Bij de opmaak van de nieuwe lagen werd gebruik gemaakt van de stratigrafische interpretaties van de boorbeschrijvingen. In hoofdstuk 6 wordt vervolgens de eigenlijke voxelmodellering besproken. Hierin wordt de gebruikte interpolatiemethode toegelicht, alsook de workflow waarbij de output van de voxelmodellering gecombineerd wordt met het lagenmodel om zo tot het uiteindelijke voxelmodel te komen.

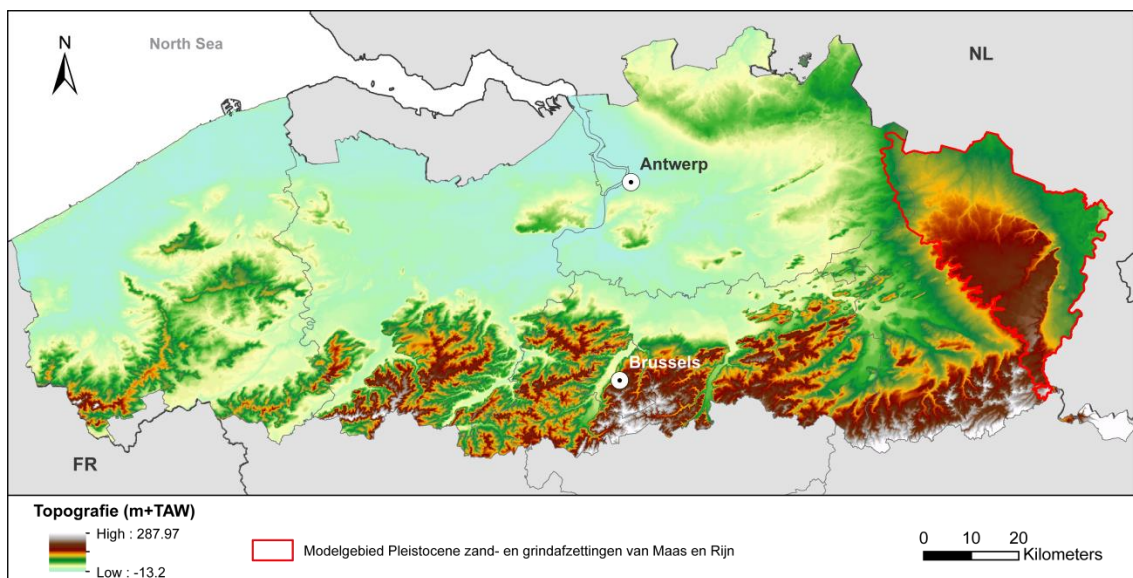
In hoofdstuk 7 worden een aantal voorbeelden gegeven voor de visualisatie van het voxelmodel en in hoofdstuk 8 wordt een uiteenzetting gedaan over de mogelijkheden en beperkingen van het gebruik van het voxelmodel.



Figuur 1: Overzicht structuur rapport en algemene workflow voxelmodellering

HOOFDSTUK 2. GEOLOGISCHE SETTING

Het voxelmodel voor de Quartair zanden en grinden van Maas en Rijn is gesitueerd in het oostelijk deel van Vlaanderen. Een groot deel van het model wordt ingenomen door het Kempisch Plateau dat zich als een opvallende driehoekige reliëfeenheid onderscheidt van de omliggende regio's (Figuur 2). De oostelijke rand van het plateau valt samen met de steilrand van de Maasvallei, die een maximaal hoogteverschil kent van 40 m. De overige randen zijn minder geprononceerd, maar nog goed waarneembaar. Het Plateau van de Kempen vormt hierdoor een waterscheiding tussen het Scheldebekken in het westen en het Maasbekken in het oosten.



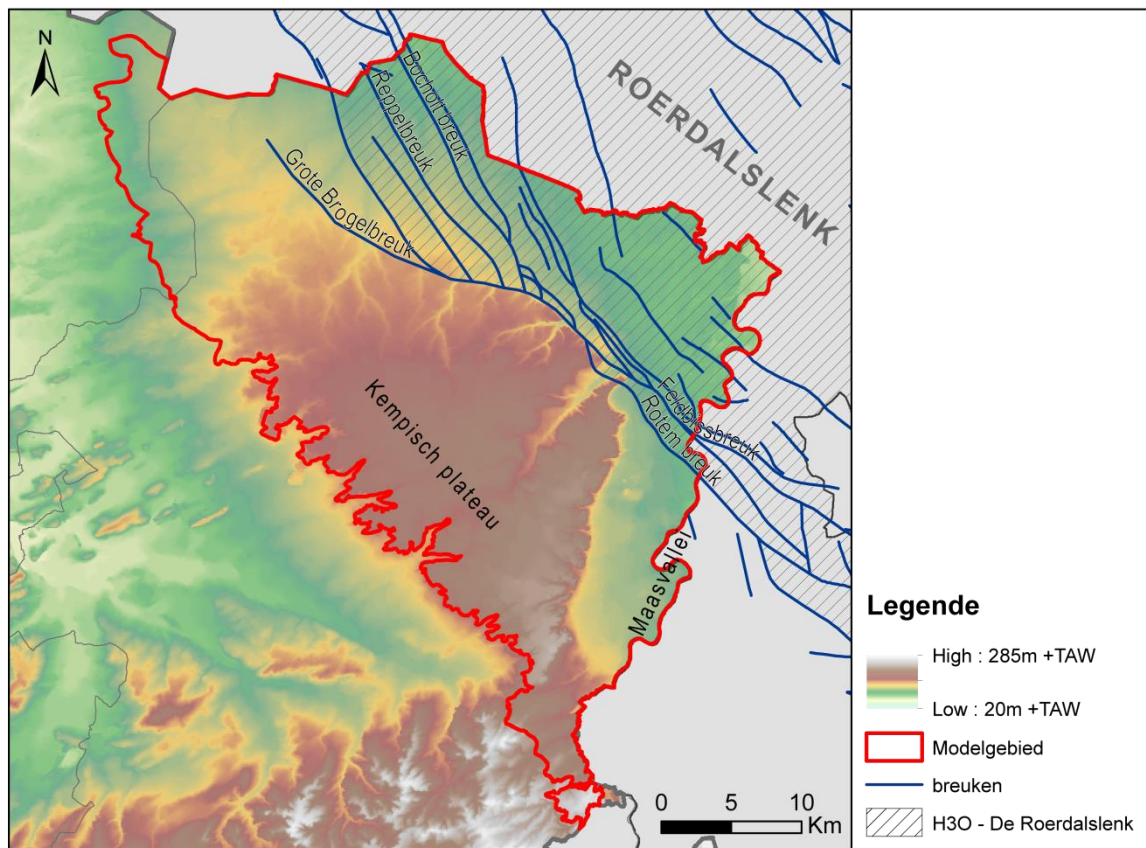
Figuur 2: Reliëfkaart van Vlaanderen met aanduiding modelgebied

Regionaal-geologisch liggen het Kempisch Plateau en de Maasvallei in het Bekken van de Kempen. Het oostelijke deel van het modelgebied maakt hierbij deel uit van de Roerdalslenk. Dit is een grabenstructuur die onderdeel is van het Rijnslenksysteem. De Feldbiss Breukzone vormt hierbij de zuidwestelijke grens van de Roerdalslenk. De Feldbissbreuk vormt samen met zijn verlengde, de breuk van Reppel, de zuidwestelijke grens van de Roerdalslenk (zie Figuur 3). Naar het noorden toe splitst de Feldbissbreuk in drie nieuwe breuken, namelijk de breuken van Grote-Brogel, Reppel en Bocholt. De Grote-Brogel breuk en Feldbissbreuk zijn actief geweest tot in het Vroeg-Pleistoceen, met de Feldbissbreuk zelfs tot in het Saliën [5]. Vanwege sterke subsidie in de Roerdalslenk lopen de Quartairdiktes op tot maximaal 80 m. Op het Kempisch Plateau is de dikte van het Quartair daarentegen gering met diktes tot maximaal 20 m.

De quartaire afzettingen binnen het voxelmodel bestaan uit twee groepen van afzettingen: enerzijds de zanden en grinden van Maas en Rijn en anderzijds de deklaag (bestaande uit eolische zanden en Holocene alluviale afzettingen) die deze afdekt.

Over de laterale verspreiding, ouderdom en onderlinge relatie tussen de zanden en grinden bestaat nog enige onduidelijkheid. De opdeling weergegeven in Figuur 4 is gebaseerd op de

quartaargeologische kartering [3]. Eenheden zijn daarbij vaak niet van elkaar te onderscheiden in boorbeschrijvingen en zijn daarom moeilijk te verifiëren.

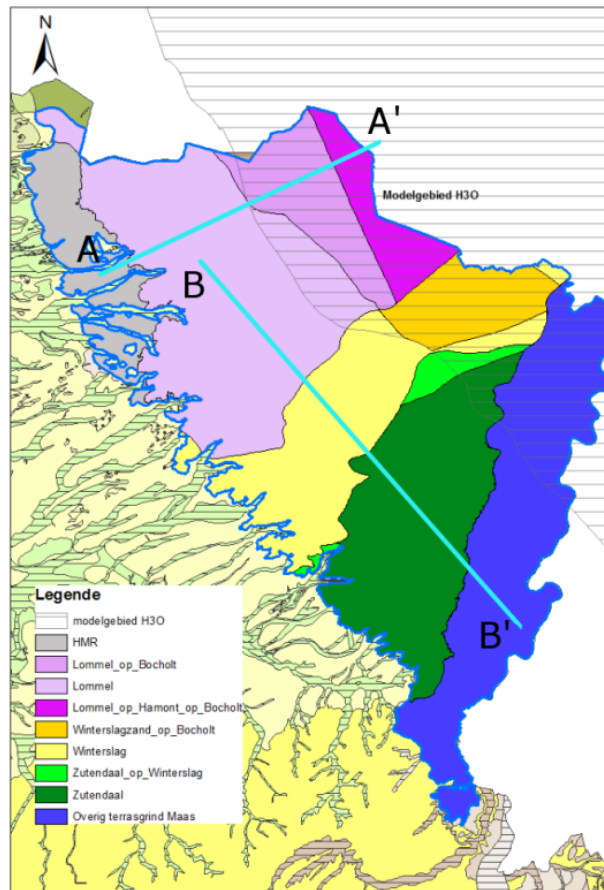


Figuur 3: Weergave van het modelgebied met situering van de Roerdalslenk en de Felsbiss breukzone en het geomorfologisch onderscheid tussen het Kempisch plateau en de Maasvallei

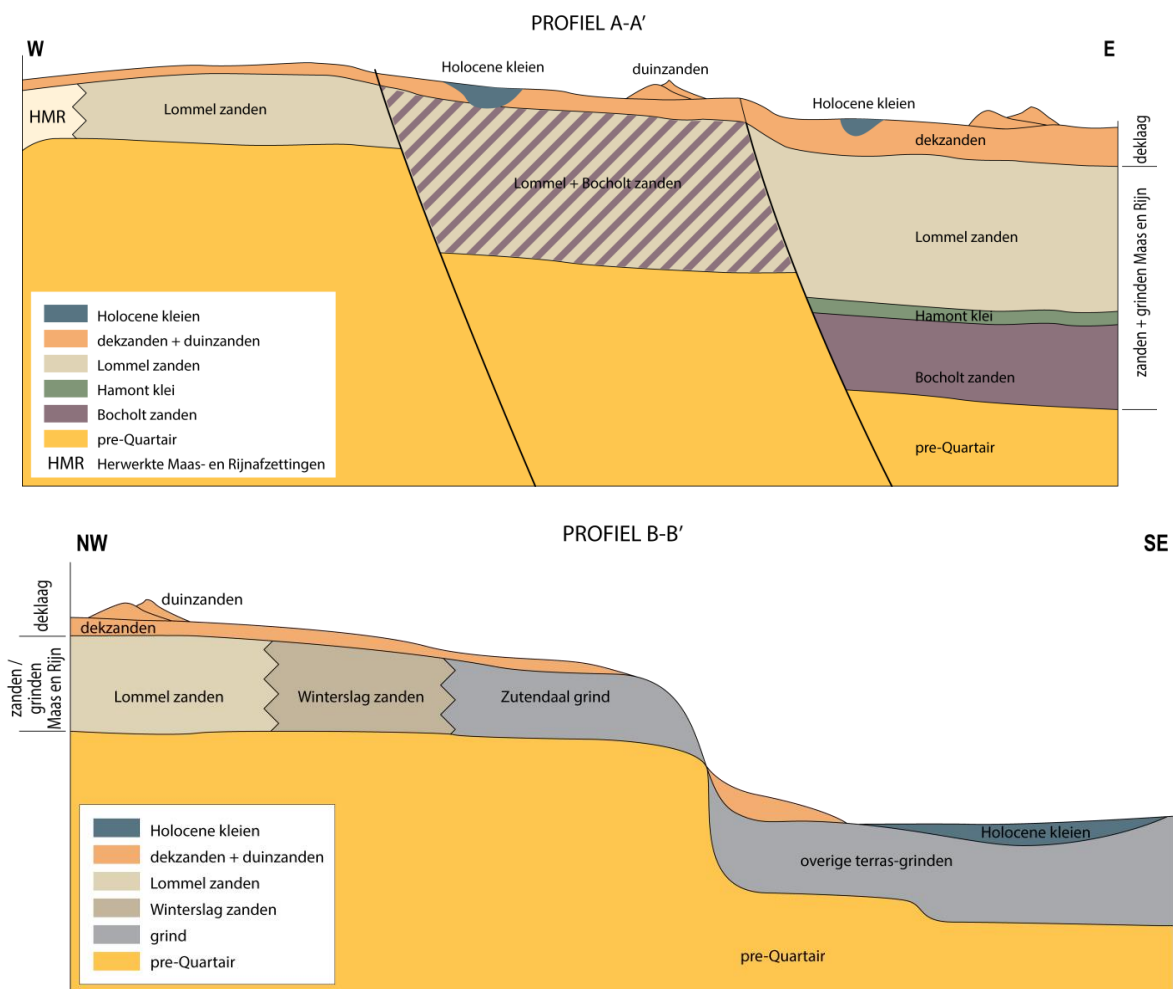
Een overzicht van de verschillende zanden en grinden en de koppeling met de Belgische stratigrafie is weergegeven in bijlage A. De namen van de leden en formaties zijn, indien ze voorkomen in de Belgische Quartair-stratigrafische kolom, toegevoegd aan de tabel. Deze zanden en grinden en de hierop gelegen deklaag zijn onderstaand verder toegelicht.

2.1. ZANDEN EN GRINDEN VAN MAAS EN RIJN

Figuur 4 toont de ligging van de verschillende zanden en grinden van Maas en Rijn, zoals verkregen tijdens de Quartairgeologische kartering in 2005 [3]. De twee dwarsprofielen AA' en BB' zijn weergegeven in Figuur 5.



Figuur 4: Weergave van het modelgebied met de verschillende zanden en grinden van de Maasgroep. 'HMR' staat voor herwerkte Maas- en Rijnsedimenten. De figuur is gebaseerd op de quartairgeologische kaart [3].



Figuur 5: Dwarsprofielen AA' en BB' (Figuur 4): vereenvoudigde geologische dwarsdoorsneden van het modelgebied. Met weergave van de zanden en grinden van Maas en Rijn en de deklaag.

De zanden en grinden van Maas en Rijn binnen het modelgebied zijn grotendeels afgezet tijdens het Pleistoceen, startend in het Vroeg-Pleistoceen. Tijdens het Pliocceen en Vroeg-Pleistoceen (2.6 – 0.75 Ma) stroomde de Maas langsheen Luik en Aken om verder nabij Jülich uit te monden in de Rijn. Deze stroomde toen in noordwestelijke richting langsheen Roermond en Eindhoven richting de Noordzee. Vanaf het Cromeriaan werden Maas en Rijn aangetrokken door een hernieuwde werking van de breuk van Rauw en een opheffing van de Ardennen. Dit zorgde voor een verdere kanteling van het Kempisch blok richting het noorden en het toenmalig rivierpatroon werd hierdoor drastisch beïnvloed. De Maas brak hierdoor door vanaf Luik richting het noorden, waar het in een verwilderd riviersysteem de gekende zanden en grinden heeft afgezet [6]. In onderstaande paragrafen zijn de verschillende formaties beschreven die de verschillende zanden en grinden van Maas en Rijn omvatten. Alle benoemde formaties vallen samen onder de Maas Groep. De bespreking is gebaseerd op de werken van Wouters & Vandenberghe, 1994; Beerten, 2003; Dreesen, Janssen & Van Uytven, 2010; Gullentops et al., 2001 [6]–[9].

2.1.1. **FORMATIE VAN STERKSEL**

Tijdens het Vroeg-Pleistoceen kreeg het noordelijke deel van het Kempisch Plateau te maken met een combinatie van zandige Maas- en Rijnafzettingen, horende bij de zanden van Lommel en Bocholt (resp. lid van Lommel en lid van Bocholt). De Lommel zanden bestaan voornamelijk uit middelmatig tot grof zand in FU-sequenties van enkele decimeter tot een drietal meter. Sommige niveaus zijn zeer grindrijk. De dikte varieert tussen de 3 en 15 m. De Bocholt zanden zijn beperkt tot de slenk, terwijl de Lommel zanden zowel in de slenk als op het plateau voorkomen. Het Bocholt zand betreft een middelmatig tot grof zand met bijmenging van fijn grind, en vooral onderaan met talrijke kleibrokken. De basis is meestal een zeer heterogene afzetting van grof grind, zand, leem en klei. Er komen FU-sequenties voor tot 1 m. De dikte varieert tussen 4.5 tot 26 m. Het onderscheid tussen de Lommel en Bocholt zanden is meestal onduidelijk. Enkel ter hoogte van de Vlakte van Bocholt komt lokaal een geïntercaleerd kleipakket, de Hamont klei, voor tussen het Lommel zand en het Bocholt zand. De Hamont klei is een kleilig en lemig pakket dat tot 18 m dik is [20].

2.1.2. **FORMATIE VAN ZUTENDAAL**

Vanaf het eerste deel van het Cromeriaan kreeg het zuidelijke deel van het Kempisch blok te maken met voornamelijk zandige Maasafzettingen, die Winterslag zanden (lid van Winterslag) genoemd worden. Deze zanden zijn mogelijk lateraal aan de Lommel en Bocholt zanden afgezet. Het Winterslag zand is afkomstig van gemakkelijk erodeerbare tertiaire sedimenten van de Ardennen en de Condroz. Het bestaat uit middelmatig tot grof zand (minstens 75% kleiner dan 500 μm) met grinden die verspreid zijn of in banken voorkomen. De dikte schommelt tussen de 3 en 20 m. Tijdens de tweede helft van het Cromeriaan (tussen 0.8 en 0.6 miljoen jaar geleden), waren de Maas en haar bijrivieren doorheen de tertiaire lagen geërodeerd tot in de onderliggende hardere lagen van het Paleozoïcum. Deze vormden het geërodeerde puin voor de grinden van Zutendaal, die boven op de zanden van Winterslag kwamen te liggen.

2.1.3. **FORMATIES VAN LANAKEN, LANKLAAR EN STOKKEM**

Vanaf het einde van het Cromeriaan begon de Maas zich stilaan in te snijden in het oosten van haar puinafzetting, om zo de huidige Maasvallei te vormen, die via een oostelijke steilrand of talud een zeer duidelijke en plotse overgang vormt met het Kempisch Plateau (Figuur 3). Tegen het einde van het Holstein interglaciaal bedroeg de insnijding al 40 m. Tijdens de daarop volgende interglacialen zou de Maas zich verder insnijden, waarbij ze zich geleidelijk oostwaarts ging verplaatsen en verschillende terrassen gaat vormen die onderverdeeld worden in de Formaties van Lanaken, Lanklaar en Stokkem [6].

2.1.4. **DE MODELEENHEDEN VAN DE ZANDEN EN GRINDEN VAN MAAS EN RIJN**

Het onderscheid, op lithologisch zowel als op stratigrafisch vlak, binnen de Pleistocene zanden en grinden is meestal moeilijk te maken. Om die reden is ervoor gekozen om deze afzettingen in het model te incorporeren binnen dezelfde modelleenheid, m.n. de Maasgroep.

Enkel ter hoogte van de Roerdalslenk (Figuur 4) is het gekarteerde onderscheid tussen 'Beegden' en 'Sterksel' afzettingen bewaard. De distributie van zand en grind in het voxelmodel steunt op de lithologische distributie, afkomstig van de informatie uit de boorbeschrijvingen van [DOV](#) [18]. Enkele kleilagen, zowel binnen het H30-projectgebied als erbuiten, zijn apart gekarteerd, aangezien deze een stoorlaag kunnen vormen tijdens ontginning. De verschillende modelleenheden

en hun correlatie met de Belgische stratigrafie zijn weergegeven in bijlage B. De correlatie met de modeleenheden van het H3O-project zijn hierbij eveneens aangeduid.

2.2. DEKLAAG OP DE ZANDEN EN GRINDEN VAN MAAS EN RIJN

De deklaag, gelegen op de Maasgroep, bestaat voornamelijk uit eolische zanden (Formatie van Gent) en lemen (Formaties van Veldwezelt en Gembloux) en alluviale Holocene kleien en lemen (Formatie van Leut, Heppeneert leem, Mullem klei, Formatie van Singraven) en worden hieronder toegelicht.

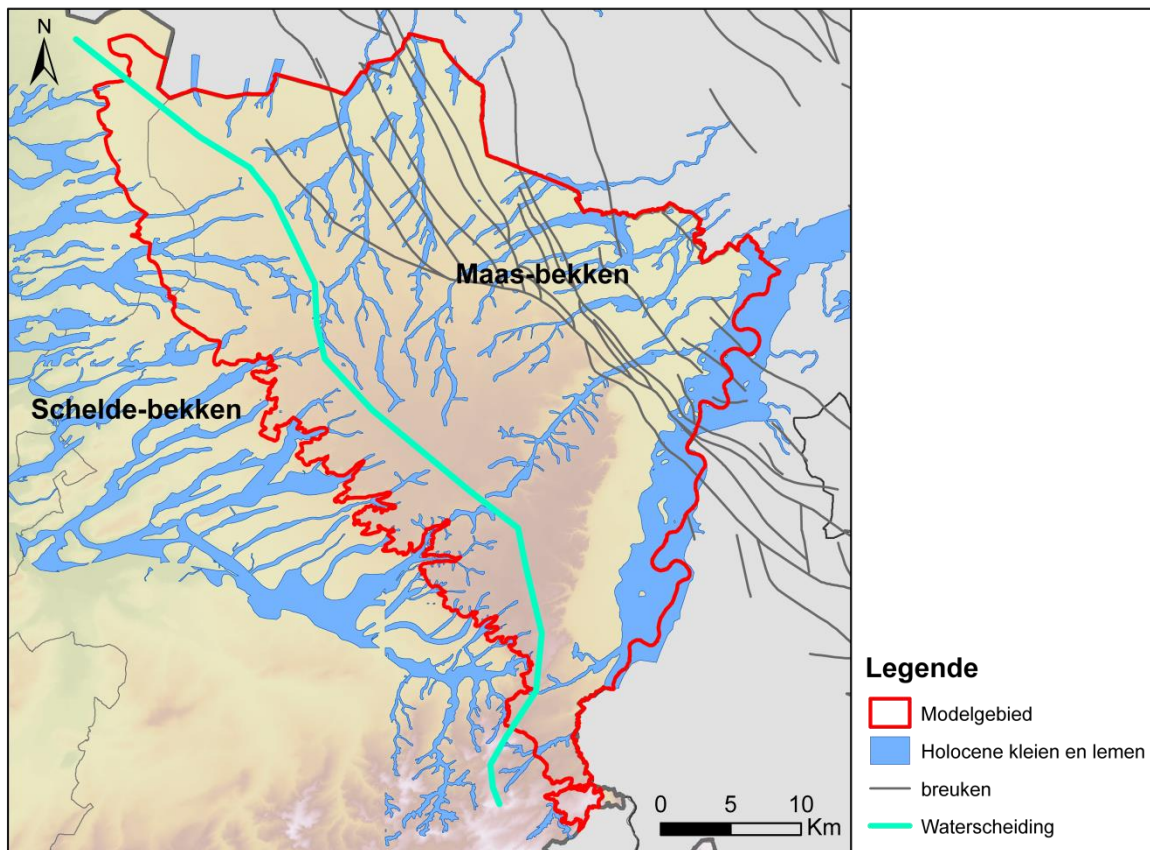
2.2.1. (NIVEO-) EOLISCHE ZANDEN EN LEMEN

Vanaf het Midden-Pleistoceen tot aan het begin van het Holoceen werd Vlaanderen tijdens periglaciale omstandigheden bedekt door enorme hoeveelheden zand en stof, afkomstig van smeltwatervelden in gebieden ten noorden van België. In noordelijk Vlaanderen en de Kempen werd een gordel van eolische dekzanden afgezet. Het fijnere stof is zuidelijker en op grotere hoogte neergekomen en heeft zodoende leempakketten afgezet. Tussen de twee afzettingen is een overgangszone aanwezig, het 'zandleemgebied'. De zand- en zandleemafzettingen behoren tot de Formatie van Gent. Alle (niveo-)eolische leemafzettingen binnen België behoren tot de Veldwezelt formatie en de Gembloux formatie. De eolische afzettingen komen verspreid over het gehele modelgebied voor met een dikte variërend tussen ongeveer 0 en 20 m, waarbij de grootste diktes behaald worden in het zuidelijk leemgebied.

2.2.2. HOLOCENE ALLUVIALE AFZETTINGEN

De verspreiding van de alluviale Holocene afzettingen is weergegeven in Figuur 6. De rivieren wateren af richting het Scheldebekken in het westen en het Maasbekken in het oosten.

De alluviale afzettingen omvatten verschillende klei- en leemafzettingen (Leut, Mullem klei, Heppeneert leem) en (venig) beekalluvium. Al deze Holocene alluviale afzettingen worden in het vervolg van dit rapport Holocene 'kleien en lemen' genoemd.



Figuur 6: Het modelgebied met ligging van de alluviale Holocene kleien en lemen.

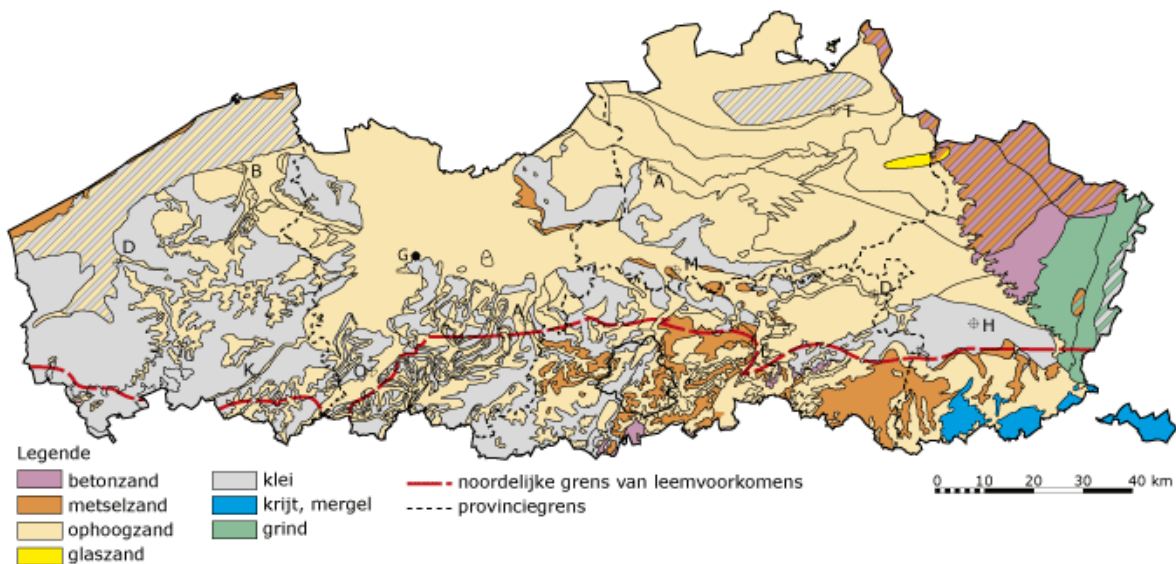
2.2.3. DE MODELEENHEDEN VAN DE DEKLAAG

De gemodelleerde deklaag bestaat uit twee eenheden, waarbij enerzijds alle Pleistocene en Holocene (niveo-) eolische afzettingen (modeleenheid “deklaag”) en anderzijds alle Holocene alluviale afzettingen (modeleenheid “Holocene kleien en lemen”) zijn gegroepeerd (zie bijlage B en C).

HOOFDSTUK 3. ZAND EN GRIND ALS DELFSTOF

3.1. TOEPASSINGEN

In een groot gedeelte van Vlaanderen komen zanden voor in de ondiepe ondergrond (Figuur 7). Echter, daar waar de toepassingen voor het merendeel van deze zanden beperkt blijft tot gebruik als fijn zand (ophoogtoepassingen, bijmenging bij grof zand, aanleg pistes, ...) maakt de specifieke samenstelling en korrelgrootte van de zanden en grinden afgezet door Maas en Rijn het mogelijk deze te gebruiken voor hoogwaardige toepassingen binnen de bouwsector (aannemerij, beton, asfalt, ...). Voor de zanden wordt hierbij traditioneel een onderscheid gemaakt tussen metselzand (korrelmediaan < 0.255 & > 0.100 mm) en betonzand (korrelmediaan > 0.255 mm) [10]. De toepassing van grinden situeert zich eveneens in de bouwsector en ze zijn tevens belangrijk voor infrastructuurtoepassingen (als steenslag in asfalt of in spoorwegbeddingen). De verbreiding van de zanden en grinden van Maas en Rijn zijn aangeduid op Figuur 2.



Figuur 7: Oppervlakedelfstoffenkaart van Vlaanderen (Bron: AOD, 2008, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie)

3.2. RELEVANTE PARAMETERS VOOR HET POTENTIEEL ALS DELFSTOF

3.2.1. SAMENSTELLING VAN DE AFZETTING

De belangrijkste parameter voor het gebruik van zand en grind als delfstof is de granulometrische samenstelling. Zoals geïllustreerd in bovenstaande paragraaf wordt de korrelgrootte van een afzetting vaak rechtstreeks gelinkt aan mogelijke toepassingen. Hierbij wordt de zandfractie typisch opgedeeld in subklassen “grof zand”, “middelmatig zand” en “fijn zand”. De wetenschappelijke en de bouwkundige sector hanteren echter een verschillende benadering voor de grenzen tussen deze klassen. Aangezien dit onderscheid van groot belang is voor het voxelmodel wordt hier dieper op

ingegaan in paragraaf 3.3. Naast de korrelgrootte is ook de korrelvorm van belang omdat deze een invloed heeft op de reactiviteit van de korrels en hun hechting met bindmiddelen.

Ook de lithologische samenstelling van een afzetting is relevant, aangezien de aanwezigheid van bepaalde componenten het potentieel als delfstof sterk kan doen verminderen. Een zeer belangrijk voorbeeld hiervan is glauconiet. Dit is een ijzerrijk silicaat dat kan zwellen en oxideren, waardoor zelfs lage glauconietgehalten een zand ongeschikt kunnen maken voor verschillende bouwtoepassingen. Ook de aanwezigheid van klei en kalk doen het delfstoffen-potentieel van een zand- en grindafzetting verminderen [11].

Tenslotte bestaan er parameters die gelinkt zijn aan specifieke toepassingen. Voorbeelden hiervan zijn de hardheid en de weerstand tegen polijsting, die van belang zijn voor delfstoffen gebruikt in wegbedekkingen.

3.2.2. ECONOMISCHE HAALBAARHEID

Naast de samenstelling van de afzetting zelf bepalen een aantal andere factoren of het economisch interessant is om een afzetting te ontginnen. Hieronder vallen de mogelijke exploitatiewijze (o.a. natte versus droge ontginning), de transportkosten, de dikte van de ontginbare laag, en de dikte van een eventuele deklaag en andere stoorlagen. Daarnaast dient rekening gehouden te worden met aspecten zoals landschapsimpact, exploitatiehinder, grondwaterkwetsbaarheid en potentiële nabestemming. Op deze aspecten oefent ook de bevoegde overheid een belangrijke invloed uit. In Vlaanderen wordt het oppervlakedelfstoffenbeleid vastgelegd in het [Oppervlakedelfstoffendecreet](#) [16] en specifiek voor grind in het [Grinddecreet](#) [17].

3.3. KORRELGROOTTE: INDUSTRIE VERSUS GEOLOGIE

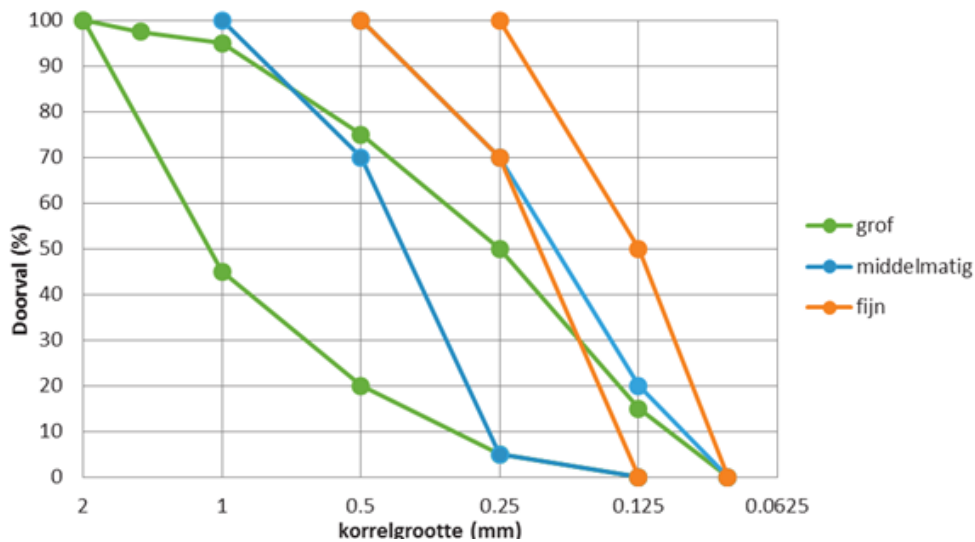
Algemeen gezien wordt binnen de geologie het onderscheid tussen grind en de verschillende zandfracties gemaakt op basis van de “Wentworth-classificatie” [10] (Figuur 8). Deze classificatie definieert de klassen “grof zand”, “middelmatig zand” en “fijn zand” op basis van harde granulometrische grenzen tussen de verschillende fracties.

8	4	2	1	0.5	0.25	0.063	0.002
grind		grof zand		middelmatig zand	fijn zand	silt	klei

Figuur 8: Korrelgrootte classificatie op basis van de Wentworth-schaal (korrelgroottes in mm)

In realiteit bestaan zand- en grindafzettingen echter nooit uit één zuivere fractie, maar steeds uit een mengeling van verschillende fracties. In de industrie wordt het onderscheid tussen “grof zand”, “middelmatig zand” en “fijn zand” daarom op een andere manier gemaakt en hebben deze termen betrekking op specifieke verhoudingen van de verschillende korrelgroottefracties. Grof zand bevat bijvoorbeeld ook een gedeelte zandfractie die volgens de Wentworth-classificatie beschreven zou worden als middelmatig zand of fijn zand. De Belgische norm NBN B11-011 legt de technische definitie van deze termen in de bouwindustrie vast (Figuur 9). Hierbij kan opgemerkt worden dat de ondergrens van de zandfractie geplaatst wordt op 0.08 mm (t.o.v. 0.063 mm volgens de

Wentworth-classificatie). Al het materiaal met een kleinere korrelgrootte wordt omschreven als “vulstof”.



Figuur 9: Korrelgrootte classificatie van de zandfractie gebruikt in de industrie (NBN B11-011).

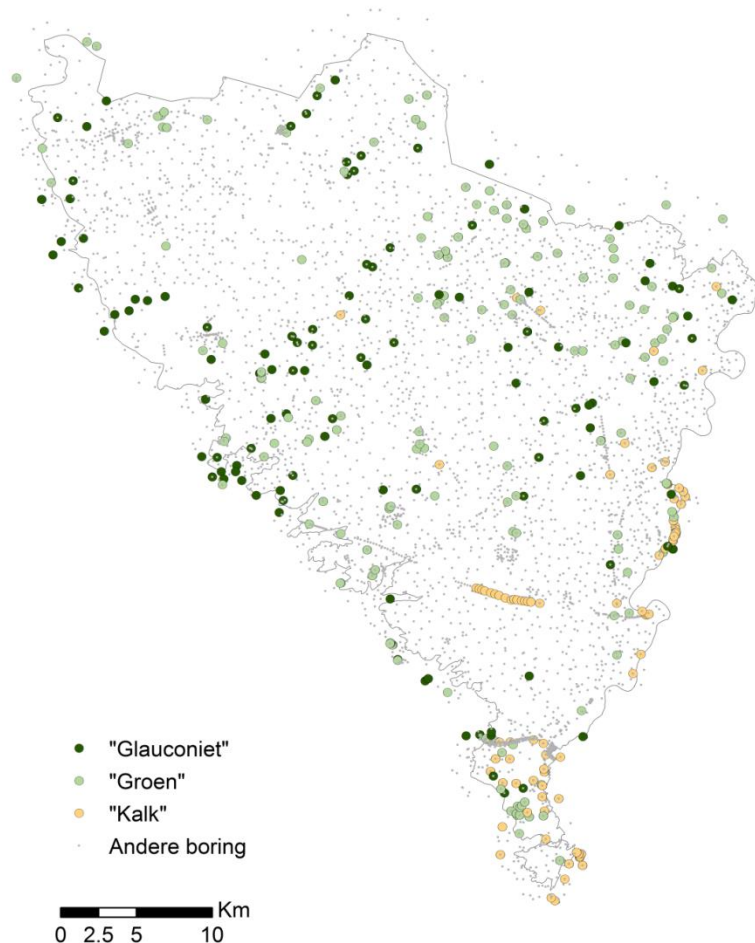
3.4. CONSEQUENTIES VOOR HET DELFSTOFFENMODEL

Bovenstaande paragrafen tonen aan dat het potentieel van zand- en grindafzettingen om gebruikt te worden als delfstof afhankelijk is van een groot aantal, vaak toepassings-specifieke factoren. Verschillende socio-economische factoren zoals landschapsimpact, mogelijke ontginningstechniek en transportkosten vallen buiten de scope van het voxelmodel. Uiteraard dienen deze aspecten wel in rekening gebracht te worden bij de uiteindelijke analyse van het potentieel van bepaalde regio's om delfstoffen te leveren.

Parameters die wel ondervangen worden in het delfstoffenmodel zijn onder meer de dikte van de afzettingen, het voorkomen van kleilagen en de dikte van de deklaag. Deze zitten vervat in het lagenmodel dat als 'skelet' van het voxelmodel fungeert. Verder liet de modellering toe om aan de voxels de verdeling van de belangrijkste lithologieën en korrelgrootteklassen toe te kennen. De lithologische informatie wordt verdeeld over drie klassen (klei, zand en grind). De klasse klei omvat in dit model ook de lithologieën veen, leem en silt. De klasse 'zand' wordt verder onderverdeeld in 'fijn zand', 'middel zand' en 'grof zand'.

Gezien het grote belang van de granulometrische samenstelling van de zanden en grinden voor de mogelijke toepassingen zou de modellering van deze fracties idealiter gebaseerd worden op korrelgrootteanalyses. Echter, in de praktijk zijn er in het modelgebied slechts een vijftigtal boringen met korrelgrootteanalyses binnen het Quartair aanwezig (in totaal zijn er op deze manier ca. 550 korrelanalyses beschikbaar). Dit is veel te weinig om te kunnen gebruiken als input voor het volledige delfstoffenmodel. Als gevolg hiervan diende de modellering zich te baseren op de beschreven korrelgroottefracties in de lithologische beschrijvingen van de boringen. Deze beschreven fracties volgen de wetenschappelijke benadering van de verschillende zandklassen, en komen dus niet rechtstreeks overeen met de in de industrie gehanteerde criteria (paragraaf 3.3). Het is belangrijk om dit aspect in het achterhoofd te houden bij het analyseren van de resultaten van de modellering.

Ook het voorkomen van glauconiet en kalk op basis van de boorbeschrijvingen werd onderzocht. In de boorbeschrijvingen komt het woord "glauconiet" voor in 184 beschrijvingen (in 115 unieke boringen), het woord "groen" (wat potentieel ook kan wijzen op glauconiet) komt voor in 503 beschrijvingen (165 unieke boringen) en het woord "kalk" komt 327 keer voor (96 unieke boringen). Voor wat betreft "glauconiet" en "groen" zijn er geen duidelijke ruimtelijke trends te herkennen, behalve een zwakke concentratie in het zuidoostelijke gebied van de Lommel zanden. Kalkhoudende afzettingen worden iets vaker waargenomen in het zuidoosten van de Maasvlakte en in het zuiden van het modelgebied, in de overgangszone met het leemgebied. Ook hier geldt opnieuw dat het steeds mogelijk is dat deze componenten toch aanwezig zijn op andere locaties, maar niet voorkomen in de boorbeschrijvingen omdat ze niet opgemerkt werden door de beschrijver, of als niet relevant beschouwd werden. Gezien het beperkt aantal boringen waarin deze componenten worden beschreven, werden deze parameters niet verder gemodelleerd.



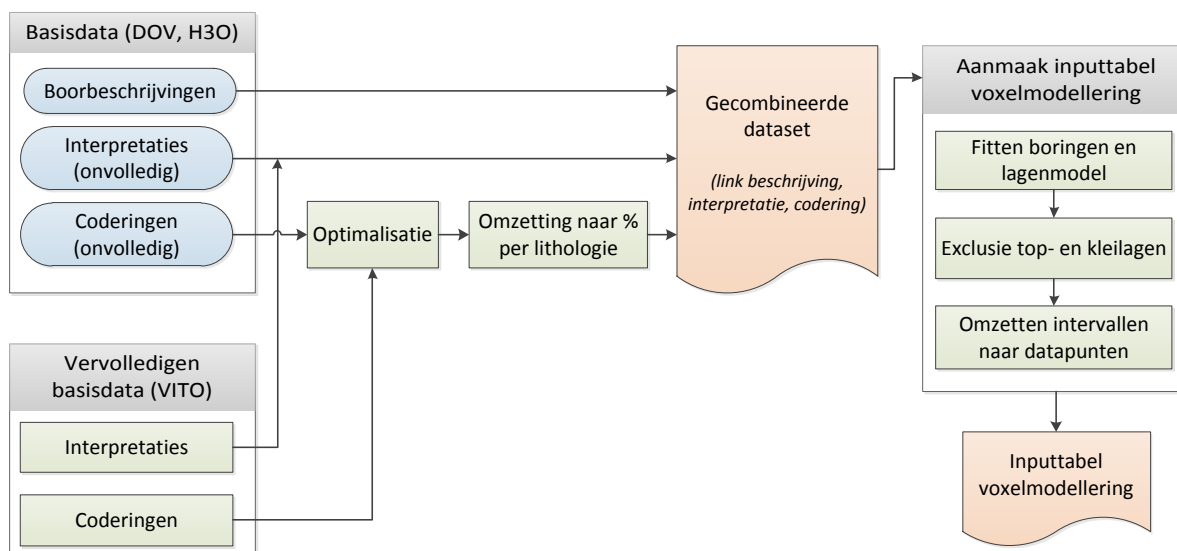
Figuur 10: Voorkomen van de termen "glauconiet", "groen" en "kalk" in de lithologische beschrijvingen van de boringen in het modelgebied.

HOOFDSTUK 4. BORINGEN: BASISDATA EN BEWERKINGEN

4.1. OVERZICHT WORKFLOW BEWERKINGEN BORINGEN

Onderstaande Figuur 11 geeft een overzicht van de verschillende processtappen die werden toegepast om de beschikbare data om te zetten naar een geschikt inputformat voor de voxelmodellering.

Een belangrijke eerste stap hierbij was de aanvulling van interpretaties en codering van de basisdata nodig voor de modellering. In dit kader werden door VITO een groot aantal stratigrafische interpretaties uitgevoerd en werden boringen gecodeerd met een door VITO ontwikkelde coderingsmodule. Deze coderingen werden, na een optimalisatiestap (zie paragraaf 4.4.2) omgezet naar relatieve aandelen per relevante lithologische klasse (klei/leem/silt, fijn zand, middelmatig zand, etc.). Vervolgens werd de aldus verkregen informatie samengevoegd in een combinatiedataset. In deze dataset wordt de link gelegd tussen boorbeschrijving, stratigrafische interpretatie en codering. Op basis van deze dataset werd vervolgens de inputtabel voor de voxelmodellering aangemaakt. Deze processtap omvat nog drie deelstappen, namelijk het verschuiven van de boringen zodat zij perfect passen binnen het lagenmodel, het verwijderen van intervallen geïnterpreteerd als top- en kleilagen (om te voorkomen dat zij de interpolatieresultaten beïnvloeden) en uiteindelijk de omzetting van de intervallen naar datapunten. In onderstaande paragrafen worden deze processtappen meer uitgebreid toegelicht.



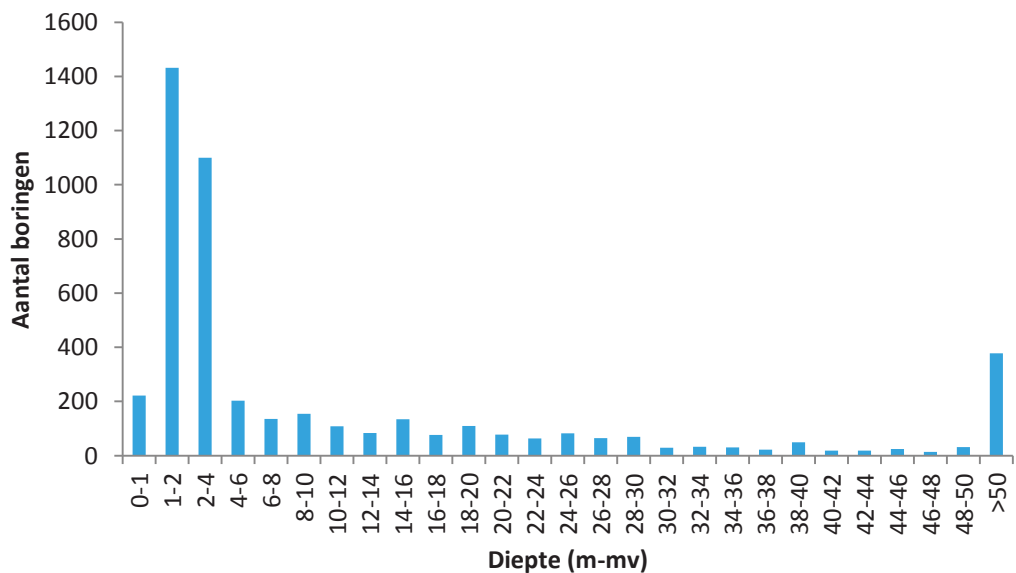
Figuur 11: Overzicht workflow aanmaak input tabel voor de voxelmodellering

4.2. BASISDATA

4.2.1. BORINGDATASET

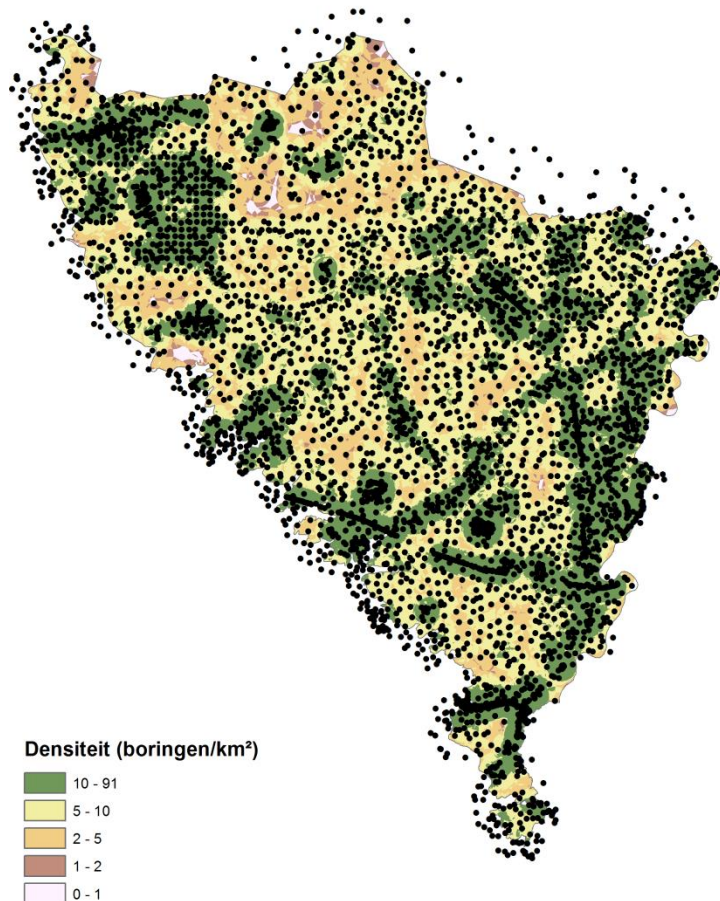
Boringen werden geselecteerd binnen het modelgebied en met een buffer van ca. 1 km rond het modelgebied. Voor de extractie van de informatie gelinkt aan de boringen werd gebruik gemaakt van de databank van [DOV](#) [18]. Een aantal boringen in de bufferzone bevindt zich in Nederland. Voor de extractie van de informatie gelinkt aan deze boringen werd gebruik gemaakt van de gegevens aanwezig in [Dinoloket](#) [19].

In totaal zijn er 8438 boringen aanwezig in het modelgebied. Echter, een gedeelte van deze boringen zijn niet geschikt als input voor het model (e.g. boringen zonder boorbeschrijving, boringen met een zeer algemene beschrijving in het ondiepe bereik, boringen met foute XY-coördinaten, etc.). Tijdens de datapreparatiestap voorafgaand aan de eigenlijke voxelmodellering werd daarom een uitgebreide kwaliteitscontrole doorgevoerd voor de boringen gelegen buiten het modelgebied van het project “H3O-Roerdalslenk”. Voor de boringen gelegen binnen het H3O-modelgebied werd de boringset zoals gebruikt tijdens het betreffende project overgenomen. Deze kwaliteitscontrole resulteerde in een finale dataset van 4766 boringen die verder gebruikt werden voor de voxelmodellering (hiervan liggen er 63 op Nederlands grondgebied en 1072 in H3O-modelgebied). Deze boringen zijn veelal ondiep: ca. 50% van de boringen heeft een diepte van minder dan 4 m-mv (Figuur 12).



Figuur 12: Histogram van de diepteklassen van de boringen gebruikt voor de modellering

Er komen gemiddeld 10.7 boringen/km² voor (mediaan: 8 boringen/km²). Algemeen gezien kan gesteld worden dat boringen dikwijls geclusterd voorkomen, en dat er een lage densiteit voorkomt in het noorden van het modelgebied (Figuur 13).



Figuur 13: 2D-spreiding van de boringen gebruikt als input voor het voxelmodel

4.2.2. BESTAANDE BOORBESCHRIJVINGEN

De beschrijvingen van de boringen op Belgisch grondgebied zijn afkomstig uit DOV. Voor de boringen op Nederlands grondgebied zijn de beschrijvingen afkomstig van Dinoloket. In totaal omvat de dataset 23182 lijnen met boorbeschrijvingen, waarvan er 22244 afkomstig zijn van boringen op Belgisch grondgebied.

De mate van detail van de boorbeschrijvingen is heel variabel, maar in 75% van de boringen bedragen de beschreven intervallen gemiddeld 0.5 -1.25 m. Boringen met ruimere intervallen in het Quartair zijn bijvoorbeeld diepere boringen, waar de focus meer ligt op Neogene en Paleogene lagen.

4.2.3. BESTAANDE GECODEERDE BOORBESCHRIJVINGEN

In DOV zijn reeds een aantal gecodeerde boorbeschrijvingen aanwezig. Deze coderingen werden steeds overgenomen. Indien er meerdere coderingen aanwezig waren werd gekozen voor de meest nauwkeurige, de meest recente, of coderingen uitgevoerd door een onderzoekinstelling. Op deze manier werden in totaal 601 reeds gecodeerde boringen overgenomen. De overige coderingen werden uitgevoerd door middel van een door VITO ontwikkelde coderingsmodule (paragraaf 4.4).

4.2.4. STRATIGRAFISCHE INTERPRETATIES

Binnen het modelgebied van het project "H3O-Roerdalslenk" waren interpretaties voorhanden voor de volledige dataset. Deze interpretaties werden integraal overgenomen voor het voxelmodel.

Ook in de rest van het modelgebied waren reeds interpretaties beschikbaar in DOV voor een aantal boringen. Daarnaast zijn er in het kader van de quartairgeologische kartering ook een uitgebreid aantal boringen geïnterpreteerd [3]. Aangezien de kwaliteit van deze interpretatie sterk varieerde werden deze interpretaties gecontroleerd alvorens ze overgenomen werden voor verdere verwerking in het voxelmodel. In totaal werden voor 53 boringen interpretaties onveranderd overgenomen uit DOV, voor 2010 boringen zijn de interpretaties afkomstig van de quartairgeologische kartering, en voor 1072 boringen zijn de interpretaties afkomstig van het project "H3O-Roerdalslenk". Voor 1631 boringen werden bijkomende interpretaties uitgevoerd door VITO in het kader van het huidige voxelmodel. Dit betreffen zowel boringen waarvan de interpretatie werd aangepast/geoptimaliseerd als boringen waarvoor nog geen interpretatie beschikbaar was (meer uitleg over de interpretatie-procedure in onderstaande paragraaf). Hierbij dient opgemerkt te worden dat binnen éénzelfde boring verschillende bronnen van interpretaties kunnen voorkomen, bijvoorbeeld doordat bestaande interpretaties maar deels gevolgd werden.

4.3. AANVULLENDE INTERPRETATIES BORINGEN

De bijkomende interpretatie van 1631 boorbeschrijvingen is een belangrijke en tijdrovende stap in het gehele modelleringsproces. De boorbeschrijvingen werden in detail nagekeken en lateraal met elkaar vergeleken.

Binnen het Quartair zijn de volgende categorieën onderscheiden:

- 'antropogeen' (geroerde gronden (met bodemvreemde bijmengingen));
- 'Beegden_zg' (zanden en grinden van de Beegden-formatie (H3O-project));
- 'Be-k-1' (Beegden klei 1 (H3O-project));
- 'Be-k-2' (Beegden klei 2 (H3O-project));
- 'Romont groep' (eolische lemen), 'Formatie van Gent' (eolische dek- en duinzanden buiten de Roerdalslenk) en 'Formatie van Boxtel' (eolische dek- en duinzanden binnen de Roerdalslenk, conform naamgeving van het project "H3O-Roerdalslenk" [4]);
- 'HL' (Holocene alluviale kleien en lemen);
- 'Maasgroep' (groepering van de leden van Bocholt, Lommel, Winterslag, Zutendaal en herwerkte Maas- en Rijnafzettingen);
- 'Onbekend' en 'Q overig' (eenheden die niet konden of moesten geïnterpreteerd worden);
- 'RAFZ'¹ (een bedekt alluviaal pakket van de Maas thv kaartblad 34, Tongeren. Het situeert zich tussen de eolische leemafdekking en de Maasgrindterrassen) [21];
- 'Sterksel_zg' (zanden en grinden van de Sterksel-formatie (H3O-project));
- 'St-k-1' (Sterksel klei 1 (Hamont-klei in H3O-project)).

In functie van het lagenmodel (zie paragraaf 5.5) zijn op basis van de interpretaties de diktes van de Holocene alluviale afzettingen, de deklaag en de Maasgroep vastgelegd. De laatstgenoemde basis komt overeen met de basis van het Quartair. Tijdens het opstellen van het lagenmodel zijn de interpretaties op iteratieve wijze gecontroleerd, aangezien interpretaties regionaal met elkaar vergeleken werden.

¹ Bedekt Maasalluvium bestaande uit een afwisseling van kleien, leem, zand en grind. Beschreven in de [Toelichting op de Quartairgeologische kartering van kaartblad 34 Tongeren, paragraaf 3.3.1.3.4](#)

4.4. AANVULLENDE CODERINGEN

4.4.1. CODERINGSMODULE

Zoals aangehaald in paragraaf 4.2.3 werden in totaal 4165 boringen gecodeerd via een door VITO ontwikkelde coderingsmodule. Deze module is geïmplementeerd binnen ArcMAP® en Microsoft Access® en is gebaseerd op het gebruik van woordenlijsten waarmee boorbeschrijvingen (typisch in volzinnen) omgezet worden in een aantal specifieke parameters, waaronder hoofdlithologie, nevenlithologie, kleur en extra kenmerken.

4.4.2. OPTIMALISATIE CODERING BORINGEN

Gezien het grote belang van de uitgevoerde coderingen op de kwaliteit van het uiteindelijke voxelmodel werd een uitgebreide kwaliteitscontrole doorgevoerd. Deze kwaliteitscontrole leidde tot een optimalisatiestap waarbij de automatische codering van een aantal boringen werd bijgestuurd.

Specifiek voor de in DOV aanwezige coderingen betrof dit een uniformisering van de coderingsoutput. Er werden een aantal inconsistenties weggewerkt die belangrijke gevolgen hebben voor het voxelmodel. Zo werd de beschrijving ‘sable graveleux’ bijvoorbeeld in een aantal gevallen gecodeerd als grindig zand, en in andere gevallen als grof zand. In de optimalisatiestap werd er voor gezorgd dat deze beschrijving consistent wordt gecodeerd als ‘grindig zand’.

Verder wordt er in het zand- en grindmodel veel belang gehecht aan het onderscheid tussen nevenlithologie 1 en 2, waarbij werd aangenomen dat nevenlithologie 2 in een kleinere hoeveelheid aanwezig is in het beschouwde interval dan nevenlithologie 1. Dit criterium wordt niet standaard toegepast in de coderingsmodule van VITO en in de in DOV aanwezige coderingen. Daarom werd de codering aangepast zodat voldaan wordt aan dit criterium (Tabel 1). Er werd aandacht besteed aan dit onderscheid tussen nevenlithologie 1 en 2, omwille van het feit dat deze categorieën worden omgezet in relatieve aandelen, zoals beschreven in paragraaf 4.5.

Beschrijving	Codering oorspronkelijk			Codering aangepast		
	HL1	NL1	NL2	HL1	NL1	NL2
Grindig zand	Zand	Grind		Zand	Grind	
Zand met enkele grindjes	Zand	Grind		Zand		Grind
Zand, enkele grindjes, zeer kleilig	Zand	Grind	Klei	Zand	Klei	Grind

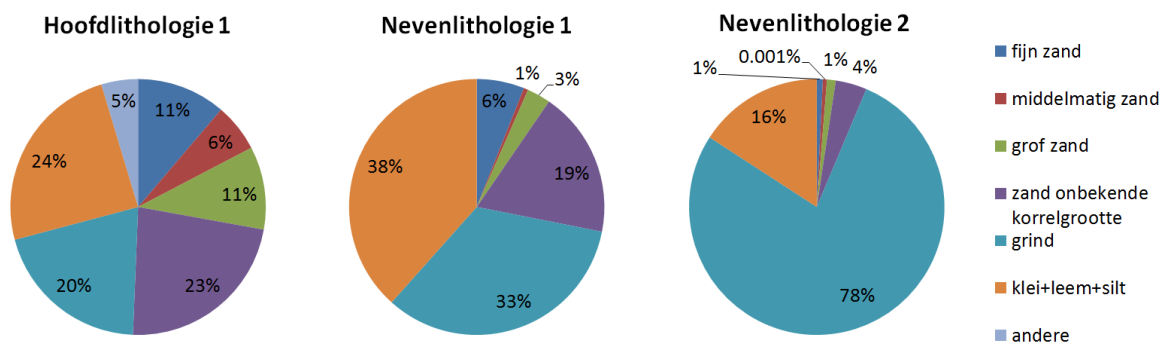
Tabel 1: Aanpassing output coderingsmodule zodat onderscheid gemaakt wordt tussen de definitie van nevenlithologie 1 (NL1) en nevenlithologie 2 (NL2)

4.4.3. CODERINGSRESULTAAT

Het coderen van de boringen laat toe om een eerste statistische analyse te doen van de samenstelling van de boringen die als input voor het voxelmodel worden gebruikt (Figuur 14). Deze figuur toont dat de zandfractie veruit het meest voorkomt als hoofdlithologie (alle zandkorrelgrootteklassen samen zijn goed voor 51% van de coderingen). Hierbij komen grof zand en fijn zand ongeveer even veel voor (11%). Middelmatig zand komt minder voor (6%) en zand

zonder opgegeven korrelgrootte is de grootste categorie (23%). Ongeveer 20% van de intervallen beschrijven grind als hoofdlithologie, en in ongeveer 24% van de intervallen werden klei, leem of silt als hoofdlithologie gecodeerd (het intern onderscheid tussen deze klassen werd als niet relevant beschouwd voor het zand- en grindmodel). De categorie ‘andere’ omvat voornamelijk intervallen waar geen lithologie werd gespecificeerd of die beschreven werden als ‘toplaag’. Binnen de nevenlithologieën wordt het aandeel van klei/leem/silt en grind duidelijk belangrijker. In 33% van de gevallen waar nevenlithologie 1 voorkomt werd deze gecodeerd als grind, en in 38% van de intervallen als klei/leem/silt. Bij nevenlithologie 2 neemt het aandeel van grind nog toe tot 78% terwijl dat van klei/leem/silt afneemt tot 16%. Hierbij is het relevant om te vermelden dat 40% van de intervallen naast een hoofdlithologie ook een eerste nevenlithologie beschreven, en 24% van de intervallen een tweede nevenlithologie.

Deze resultaten komen overeen met de geologische kennis over de afzettingen in het gebied. Algemeen gezien bestaan de afzettingen uit het modelgebied overwegend uit zanden met variabele bijmengingen van grind en klei. De reden voor de sterke aanwezigheid van grind in de categorie ‘Nevenlithologie 2’ is dat in zeer veel gevallen beschreven wordt dat “enkele grindjes” voorkomen in een zandpakket. In deze beschrijvingen werd het grind consistent gecodeerd als nevenlithologie 2. Bij omschrijvingen die spraken over “grindig zand” werd het grind gecodeerd als nevenlithologie 1. Zoals geïllustreerd in Tabel 1 wordt dit onderscheid belangrijk wanneer 2 nevenlithologieën aanwezig zijn, aangezien er in het zand- en grindmodel beschouwd wordt dat nevenlithologie 1 in een grotere hoeveelheid aanwezig is in het beschreven interval ten opzichte van nevenlithologie 2.



Figuur 14: Verdeling van relevante lithologische categorieën over de hoofdlithologie, nevenlithologie 1 en nevenlithologie 2

Voor een overzicht van de ruimtelijke verdeling van deze categorieën wordt verwezen naar Bijlage B.

4.5. OMZETTING CODERING NAAR RELATIEVE AANDELEN PER PARAMETER

Bovenstaande Figuur 14 illustreert dat elk gecodeerd interval gekarakteriseerd wordt door drie voor het model relevante categorieën (hoofdlithologie en 2 nevenlithologieën). Als input van het voxelmodel dient deze informatie omgezet te worden naar numerieke data.

Een manier om dit te doen is door deze drie categorieën te combineren tot één lithoklasse, waaraan in een volgende stap een getal wordt toegekend (e.g. kleig zand met grind wordt lithoklasse 7). Echter, wanneer alle informatie die uit de codering komt behouden blijft zou dit leiden tot meer dan 300 lithoklassen (elke categorie bestaat uit zeven voor de modellering relevante lithologieën). Zelfs wanneer er voor gekozen wordt om de coderingsinformatie van de

nevenlithologieën te vereenvoudigen door daar geen onderscheid te maken tussen de verschillende zandfracties zouden er nog meer dan 60 lithoklassen overblijven. De enige manier om een redelijk aantal lithoklassen te bekomen zou zijn om de informatie uit nevenlithologie 2 volledig te elimineren en enkel te werken met de hoofdlithologie en één nevenlithologie.

Omdat dit tot een sterk verlies aan informatie zou leiden werd voor het zand- en grindmodel een nieuwe aanpak opgezet, waarbij werd afgestapt van het opstellen van lithoklassen, maar waarbij wordt gefocust op de relatieve aanwezigheid van elke lithoparameter in elk interval. Deze aanpak verschilt van deze gebruikt in het leemmodel, maar werd wel reeds succesvol toegepast in een aantal andere modellen [12]–[14].

Een eerste stap in deze aanpak is het opstellen van voor het model relevante ‘lithoparameters’. In dit geval werd gekozen om onderscheid te maken tussen onderstaande parameters:

- Klei/silt/leem: betekenen stoorlagen in het model en worden verder samen beschouwd onder de parameter ‘klei’
- Grind
- Fijn zand
- Middelmatig zand
- Grof zand
- Zand met onbekende korrelgrootte: in een ideale situatie komt deze parameter niet voor, echter in vele boorbeschrijvingen wordt de korrelgrootte niet gespecificeerd. Deze parameter zal in het verdere proces wel worden omgerekend tot een combinatie van zandfracties (paragraaf 6.2.)

Aan elk van deze parameters wordt een relatief aandeel toegekend (een waarde tussen 0 en 1) die weergeeft of de betreffende parameter als hoofdlithologie, nevenlithologie 1 of nevenlithologie 2 aanwezig is in het betrokken boorinterval (Tabel 2). De som van deze aandelen bedraagt steeds 1.

Indien geen nevenlithologie 1 of 2 beschreven worden, wordt de ontbrekende klasse ingevuld door de ‘hogere’ categorie (bijvoorbeeld: een ontbrekende nevenlithologie 2 wordt opgevuld met de informatie uit nevenlithologie 1). Op deze manier weerspiegelt het aandeel hoofdlithologie zo veel mogelijk een realistische verhouding met de werkelijkheid (Tabel 2).

1. Beschrijving			2. Codering			3. Omrekening naar relatieve aandelen					
Van	Tot	Beschrijving	HL1	NL1	NL2	% klei	% fijnz	%middelz	%grofz	%grind	%zand_gn korrel
0	0.5	Leem, zeer fijn zandhoudend, grindfragmentjes	Leem	Fijn zand	Grind	0.75	0.15	0	0	0.1	0
0.5	0.7	Grijsbruin kleilig zand, enkele keitjes	Zand	Klei	Grind	0.15	0	0	0	0.1	0.75
0.7	0.9	Grijsbruin kleilig zand	Zand	Klei		0.25	0	0	0	0	0.75
0.9	1.5	Zand, enkele keitjes	Zand		Grind	0	0	0	0	0.1	0.9

Tabel 2: Illustratie van de basisprocedure voor de omzetting van de codering in relatieve aandelen per lithoparameter

Het bepalen van de gewichtsverdeling tussen de hoofdlithologie en beide nevenlithologieën is een belangrijke stap. Om deze verdeling te bepalen werd een analyse uitgevoerd op de boringen waarvoor korrelgroottebepalingen beschikbaar waren. De beschrijvingen van de verschillende intervallen werden hierbij gelinkt aan de korrelgrootteanalyses, met als doel na te gaan in welk percentage een beschreven hoofdlithologie of nevenlithologie werkelijk aanwezig was in het sediment. De voornaamste conclusies van deze test waren dat er een zeer grote spreiding zat op deze vergelijking. De belangrijkste verklaringen hiervoor zijn enerzijds de sterk variabele kwaliteit en detaillering van de boorbeschrijvingen en anderzijds het feit dat korrelanalyses vaak puntanalyses zijn, terwijl boorbeschrijvingen meestal een gemiddelde beschrijving van een interval van bijvoorbeeld 1 m geven. De test toonde wel aan dat de beschreven hoofdlithologie ook in de gemeten korrelgroottes duidelijk de belangrijkste parameter was, met een relatief aandeel dat schommelde tussen de 65 en 90%. Omwille van deze observatie werd besloten om de volgende sleutel te hanteren:

- Hoofdlithologie: 75%
- Nevenlithologie 1: 15%
- Nevenlithologie 2: 10%.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze aandelen niet mogen beschouwd worden als correcte kwantitatieve waarden, maar dienen gezien te worden als een semi-kwantitatieve aanduiding die weergeeft of een bepaalde parameter veel of weinig aanwezig is in een specifiek interval.

Deze aanpak heeft als belangrijk voordeel dat een veel groter aandeel aan informatie uit de codering wordt behouden in de modelinput. De korrelgrootte-informatie wordt bijvoorbeeld impliciet meegenomen in het modelleringsproces. Ook kan er nu informatie van drie verschillende lithologieën per beschrijvingsinterval worden ingevoerd als input voor de voxelmodellering.

4.6. AANMAAK GECOMBINEERDE DATASET

In deze stap worden de beschikbare basisdata gecombineerd met de resultaten van de verschillende processtappen beschreven in dit hoofdstuk.

Hierbij worden dus de in DOV beschikbare coderingen en de door VITO uitgevoerde coderingen samengevoegd tot één tabel. Hetzelfde gebeurt voor de stratigrafische interpretaties. Vervolgens wordt al deze informatie gekoppeld in één gecombineerde dataset, waarbij per boring de

beschrijving, codering en interpretaties aan elkaar gelinkt werden. Deze link tussen boorbeschrijvingen en stratigrafie is een belangrijke stap in de voorbereiding van de voxelmodellering, aangezien ze toelaat de intervallen behorende tot de deklaag of tot kleilagen te verwijderen uit de uiteindelijke input voor de voxelmodellering. Indien deze stap niet wordt toegepast worden deze intervallen mee geïnterpoleerd en kunnen ze zo het interpolatieresultaat binnen het eigenlijke zand- en grindpakket verstoren.

Aan deze combinatietabel worden ook een aantal metadata-parameters gekoppeld, zoals de auteur van de interpretatie en de bron van de codering. Op basis van deze metadata is het steeds mogelijk om de bron van de informatie terug te traceren.

Beschrijving			Interpretatie	Codering			Relatieve aandelen		
Van	Tot	Beschrijving		HL1	NL1	NL2	% klei	...	%zand_gn korrel
0	0.5	Leem, zeer fijn zandhoudend, grindfragmentjes	Deklaag	Leem	Fijn zand	Grind	0.75	...	0
0.5	0.7	Grijsbruin kleiig zand, enkele keitjes	Maasgroep	Zand	Klei	Grind	0.15	...	0.75
0.7	0.9	Grijsbruin kleiig zand	Maasgroep	Zand	Klei		0.25	...	0.75
0.9	1.5	Zand, enkele keitjes	Maasgroep	Zand		Grind	0	...	0.9

Tabel 3: Voorbeeld van extract uit de gecombineerde dataset met koppeling lithologische beschrijving - interpretatie en codering

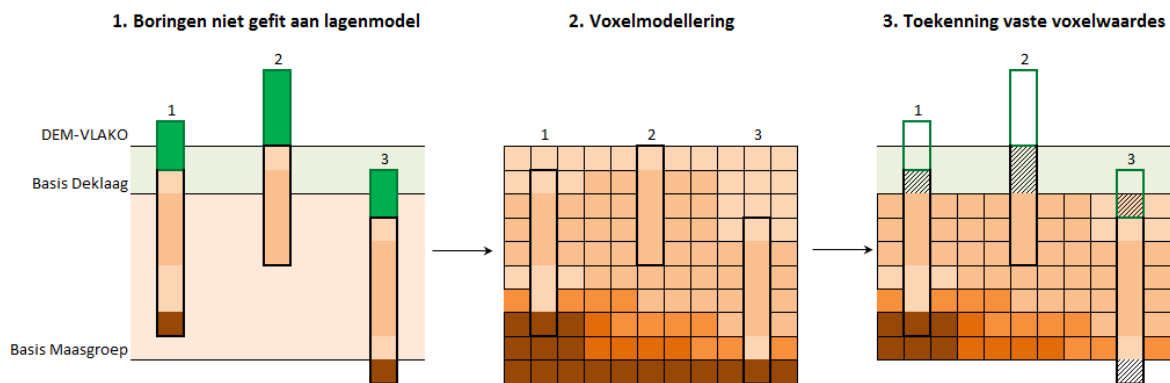
4.7. OPMAAK INPUTTABEL VOXELMODELLERING

4.7.1. FITTEN BORING-INTERVALLEN MET LAGENMODEL

De finale stap van de voxelmodellering bestaat eruit om het lagenmodel te linken aan het voxelmodel, en op deze manier vaste voxelwaardes toe te kennen aan de lagen die binnen het modelgebied liggen, maar die niet tot de zanden en grinden van Maas en Rijn behoren. Om deze stap correct uit te voeren is het van essentieel belang dat er een zo goed mogelijke overeenstemming is tussen de top- en basisgrens van de zanden en grinden in de boringen en deze grenzen binnen het lagenmodel.

Indien deze overeenstemming niet correct is, kan dit een negatief gevolg hebben op het interpolatieresultaat, aangezien intervallen foutief met elkaar gecorreleerd kunnen worden. Tevens is het mogelijk dat er aan foutieve voxels vaste voxelwaardes toegekend worden en er voxels onterecht uit het model geknipt worden. Dit heeft ook tot gevolg dat in het uiteindelijke voxelmodel de opeenvolging van voxels op de locatie van de boringen niet langer overeenkomt met de oorspronkelijke boorbeschrijving. Gezien de hoge resolutie van het opgemaakte voxelmodel ten opzichte van de beperkte diepte van de meeste boringen kunnen ook kleine afwijkingen in de grootteorde van 0.5 - 1 m belangrijke gevolgen hebben voor het uiteindelijke voxelmodel. In Figuur 15 worden de gevolgen getoond van het ontbreken van een exacte match tussen boringen en lagenmodel. De groengekleurde delen van de boring geven de geïnterpreteerde deklaag weer, de bruintinten reflecteren de gecodeerde relatieve aandelen van bijvoorbeeld grind. In stap 1 en 2 wordt de mismatch tussen de boringen en het

lagenmodel getoond en hoe de boringen worden geïnterpoleerd tijdens de modellering (de intervallen geïnterpreteerd als deklaag worden verwijderd voorafgaand aan de interpolatie). Stap 3 toont het finale voxelmodel, nadat vaste voxelwaarden worden toegekend aan cellen die volgens het lagenmodel binnen de deklaag liggen. Dit heeft echter voor boringen 1 en 2 tot gevolg dat er een vaste voxelwaarde wordt toegekend aan cellen waar wel degelijk afzettingen van de maasgroep aanwezig waren en voor boring 3 wordt er een maasgroep-voxel berekend in een cel waar volgens de boring nog deklaag aanwezig was. Door de snijding met het lagenmodel worden er tevens voxels onterecht uit het voxelmodel geknipt, waardoor bijvoorbeeld het onderste waargenomen interval van boring 3 uit het model valt. In Figuur 15 zijn de cellen gearceerd waaraan onterecht vaste of berekende voxelwaarden werden toegekend of die onterecht werden afgesneden.



Figuur 15: Illustratie gevolgen van ontbreken match tussen boringen en lagenmodel.

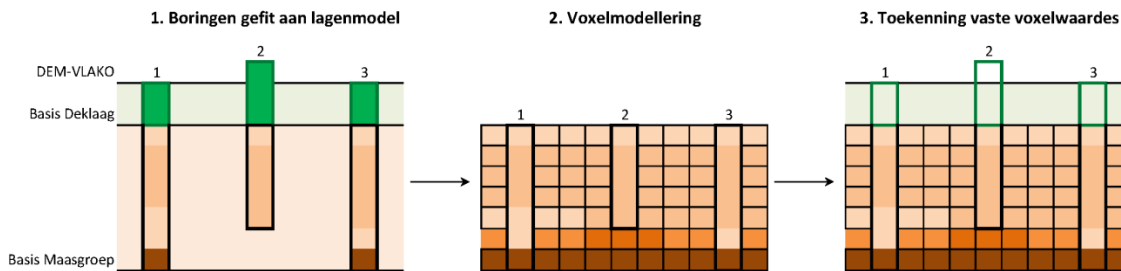
Aangezien het lagenmodel gebaseerd is op de boorbeschrijvingen zou kunnen gesteld worden dat de overeenstemming tussen boringen en lagenmodel steeds goed zou moeten zijn. In de realiteit klopt deze aanname dikwijls niet om twee redenen:

1. Het lagenmodel bestaat uit cellen van 25x25 m (625 m²), waarvan de invulling een gemiddelde weergave is van de boringen gelegen rondom elke cel. Hierdoor kan een afwijking in diepte- en diktewaardes ontstaan tussen de cel en de boring.
2. In een aantal gevallen komt de opgegeven Z-waarde van de top van een boring niet overeen met deze van DEM-VLAKOv2. Dit kan het gevolg zijn van bijvoorbeeld uitgraving of ophoging op de locatie van de boring, of gelinkt zijn aan de gebruikte techniek voor de bepaling van de Z-waarde van de boring (afgelezen op topokaart, GPS-meting, enz.). Daarnaast kan ook de onnauwkeurigheid van DEM-VLAKOv2 een rol spelen.

Om deze situatie recht te zetten werden de boringen zo verschoven dat de geïnterpreteerde top van de zanden en grinden in de boringen overeenkomt met deze in het lagenmodel (= de basis van de deklaag). Zoals geïllustreerd in Figuur 16 vermindert deze operatie sterk de mogelijke probleempunten besproken in Figuur 15, waardoor een meer correct voxelmodel gegenereerd wordt.

Deze geautomatiseerde operatie werd gekoppeld aan een uitgebreide manuele check waarbij werd nagegaan of de verschuiving geologisch gezien te verantwoorden is. Voor alle boringen waar er argumenten waren dat de boring geplaatst werd na eventuele menselijke activiteit (bijvoorbeeld een ontginning) werd een andere aanpak gehanteerd. Aangezien in dergelijke boringen de top van de Maasgroep niet noodzakelijk overeenkomt met de top van de

Maasgroep volgens het lagenmodel werd voor deze groep de geïnterpreteerde basis van de Maasgroep in de boringen verschoven naar de basis van de Maasgroep volgens het lagenmodel. Boringen waar een verschuiving van meer dan 10 m nodig was, werden eveneens systematisch geverifieerd.



Figuur 16: Illustratie van de toegepaste verschuiving van de boringen zodat de geïnterpreteerde top van de Maasgroep in de boringen overeenkomt met de top van de Maasgroep in het lagenmodel. Door deze bewerking is de interpolatie tussen de boringen meer correct en is er een kleinere kans op onterecht afsnijden van voxels of foutief toekennen van vaste voxelwaarden.

4.7.2. EXCLUSIE VAN TOP- EN KLEILAGEN

Zoals reeds geïllustreerd in Figuur 15 en Figuur 16 werd de gecombineerde codering- en interpretatie-dataset zo gefilterd dat alle intervallen die niet geïnterpreteerd waren als behorende tot de Maasgroep verwijderd werden uit de dataset. Concreet betrof dit de intervallen die geïnterpreteerd waren als Deklaag, Holocene kleien of lemen, Beegden of Sterksel klei of RAFZ-afzettingen (zie paragraaf 4.3 en 5.4 voor meer uitleg over deze lagen).

Door in deze stap reeds de stratigrafische kennis van de geologie te integreren in de modellering wordt voorkomen dat intervallen die niet behoren tot de Maasgroep tijdens de interpolatiestap toch een invloed zouden uitoefenen op de invulling van voxels gelegen binnen de Maasgroep.

4.7.3. OMZETTING INTERVALLEN NAAR DATAPUNTEN

De gebruikte modelleersoftware vraagt puntgegevens als input formaat. Daarom werden de gecodeerde boorbeschrijvingen (in intervallen) omgezet naar datapunten via een automatische omzettingfunctie. Hierbij werd voor elk lithologisch interval om de 0.5 m een datapunt aangemaakt. Daarnaast werden twee datapunten toegekend voor iedere lithologische overgang, respectievelijk 0.01 m boven en 0.01 m onder de lithologische intervalsgrens. Zo blijven de lithologische grenzen op hun juiste positie behouden.



Figuur 17: Illustratie van de omzetting van boorbeschrijving-intervallen naar datapunten.

De uiteindelijke inputdataset voor de verdere voxelmodellering bestaat voor ieder datapunt uit XYZ-coördinaten met daaraan gekoppeld zeven kolommen met lithoparameters waaraan relatieve aandelen werden toegekend (er werd een extra parameter “Zand_totaal” toegevoegd voor de latere omrekening van de onbekende zandfractie (paragraaf 6.2)).

Boring	X	Y	Z	% klei	% fijnz	%middelz	%grofz	%grind	%zand_gn korrel	% zand_totaal
B/932/22/2	231040	214203	33.84	0.75	0.15	0	0	0.1	0	0.15
B/932/22/2	231040	214203	33.35	0.75	0.15	0	0	0.1	0	0.15
B/932/22/2	231040	214203	33.33	0.15	0	0	0	0.1	0.75	0.75
B/932/22/2	231040	214203	32.83	0.15	0	0	0	0.1	0.75	0.75
B/932/22/2	231040	214203	32.33	0.15	0	0	0	0.1	0.75	0.75
B/932/22/2	231040	214203	32.30	0.15	0	0	0	0.1	0.75	0.75
B/932/22/2	231040	214203	32.28	0	0	0.1	0	0.9	0	0.10
B/932/22/2	231040	214203	31.78	0	0	0.1	0	0.9	0	0.10

Tabel 4: Voorbeeld inputdataset voor voxelmodellering

HOOFDSTUK 5. LAGENMODEL

5.1. ALGEMENE AANPAK

Het lagenmodel vertegenwoordigt het ‘skelet’ van het voxelmodel. De lagen zijn uitgedrukt in m+TAW en zijn gebaseerd op de interpretaties van de boorbeschrijvingen. De reeds bestaande lagen (100 m resolutie-grid) van het projectgebied “H3O-Roerdalslenk” zijn overgenomen en omgezet tot een 25 m resolutie-grid. Het overige deel van het modelgebied is nieuw gemodelleerd. Beiden zijn uiteindelijk gecombineerd tot een finaal lagenmodel.

5.2. BESTAANDE LAGEN

De reeds bestaande lageninformatie is in onderstaande Tabel 5 opgesomd.

Bron	Laag	Functie	Referentie
AGIV	DHM	Toplaag model, topografie	DHM-Vlaanderen, raster, 100 m, versie 1.0, OC-GIS Vlaanderen, 2003
Project G3Dv2	DEM-VLAKOv2	Originele geologische toplaag, zonder menselijk ingrijpen	Aangepast DEM-VLAKOv2, 25 m resolutie [22]
	Basis Quartair	Basislaag model, omgezet naar 25 m resolutie-grid	Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest – versie 2 [2]
Project “H3O-Roerdalslenk”	Basis Boxtel	Basis deklaag	Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Roerdalslenk in Zuidoost-Nederland en Vlaanderen, 100m resolutie [4]
	Basis Beegden zand	Deels basislaag model	
	Basis Sterksel zand	Deels basislaag model	
	Top en basis Be-k-1, Be-k-2, St-k-1	Top- en basislagen van klei-intercalaties	

Tabel 5: Opsomming van bestaande modellagen, geïntegreerd in het voxelmodel

Binnen het projectgebied van “H3O-Roerdalslenk” werden de lagen integraal overgenomen en omgezet naar een 25 m resolutie-grid.

Buiten dit gebied werden enkel DHM, DEM-VLAKOv2 en basis Quartair overgenomen. DEM-VLAKOv2 dient als steunlaag voor de modellering van de verschillende basisvlakken binnen het Quartair. DHM vormt daarentegen de finale toplaag van het voxelmodel dat overeenkomt met de hedendaagse topografie, inclusief menselijke ingrepen, zoals terrils, kanalen en ontginningen. Basis Quartair is aanvullend omgezet naar een 25 m resolutie-grid. Hierbij werd het bestaande grid verder aangepast en verfijnd op basis van een vergelijking met de Quartair dikte-waarden geïnterpreteerd in alle boringen die gelegen zijn binnen het modelgebied. De overige lagen zijn nieuw gemodelleerd en worden in onderstaande paragraaf toegelicht.

5.3. AANMAAK NIEUWE LAGEN BUITEN MODELGEBIED H3O-DE ROERDALSLENK:

De volgende lagen zijn in functie van het voxelmodel nieuw gemodelleerd:

- Basis van de Holocene alluviale afzettingen
- Basis van de Pleistocene eolische afzettingen
- Overige lemige en kleiige afzetting van de Maas, RAFZ

Het modelleringsproces van de nieuwe lagen start vanuit de interpretaties van de boorbeschrijvingen en bestaat uit de volgende vier stappen:

1. Omzetting van intervalinterpretaties naar diktewaarden voor elke laag;
2. Opmaken van een diktemodel door middel van interpolatie van de verschillende dikte-waarden op basis van de interpolatietechniek 'natural neighbour';
3. Omzetten van de diktelaag naar een hoogtelaag door ophanging aan DEMVLAKOv2;
4. Het onderling afstemmen van de verschillende hoogtelagen

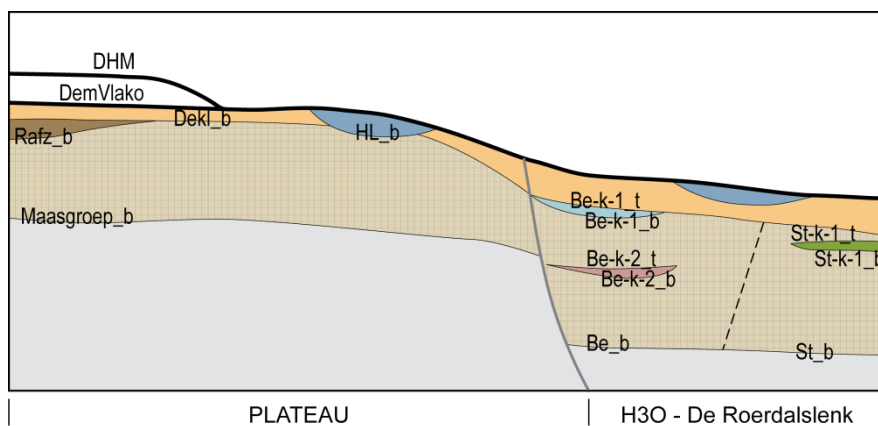
Voor zowel de Holocene alluviale afzettingen als de eolische sedimenten werd gemodelleerd met de diktewaarden vanuit de interpretaties van de boorbeschrijvingen. Diktelagen werden gecreëerd door de diktes met elkaar te interpoleren volgens de deterministische 'natural neighbour'-techniek, die geschikt is voor de interpolatie van een heterogeen verdeelde dataset aan boringen. Een hoogtemodel werd vervolgens verkregen door het gemodelleerde diktegrid af te trekken van DEM-VLAKOv2. De lagen werden vervolgens onderling afgestemd om de correcte geologische opeenvolging te waarborgen.

5.4. COMBINATIE NIEUWE LAGEN MET BESTAANDE LAGEN IN MODELGEBIED H3O- ROERDALSLENK

De bestaande en de nieuwe lagen, die in bovenstaande paragrafen zijn toegelicht, zijn samen gecombineerd tot een finaal lagenmodel. In onderstaande Tabel 6 is een overzicht weergegeven van de bestaande lagen en nieuwe lagen en welke combinaties hebben geleid tot de finale lagen. Het lagenmodel en haar eenheden is ook schematisch weergegeven in Figuur 18.

Naam finale (gecombineerde) laag	Bestaande (deel-)laag	Nieuwe (deel-)laag
DHM	DHM	-
DEM-VLAKOv2	DEM-VLAKOv2	-
Basis Holocene kleien en lemen (HL_b)	basis HL (H3O)	Basis HL (deel plateau)
Basis deklaag (Dekl_b)	Basis Boxtel (H3O)	Basis deklaag (deel plateau)
Top en Basis klei1 Beegden (Be-k-1_t + Be-k-1_b)	Top en basis BEK1 (H3O)	-
Top en Basis klei2 Beegden (Be-k-2_t + Be-k-2_b)	Top en basis BEk2 (H3O)	-
Top en Basis klei Sterksel (St-k-1_t + St-k-1_b)	Top en basis STk1 (H3O)	-
Basis RAFZ (RAFZ_b)	-	Basis RAFZ (deel plateau, kaartblad 34)
Basis Beegden (Be_b)	Basis Beegden (H3O)	-
Basis Sterksel (St_b)	Basis Sterksel (H3O)	-
Basis Maasgroep (Q_b)	Combinatie basis Beegden (H3O) + basis Sterksel (H3O)	Verfijnde basis Quartair (deel plateau)

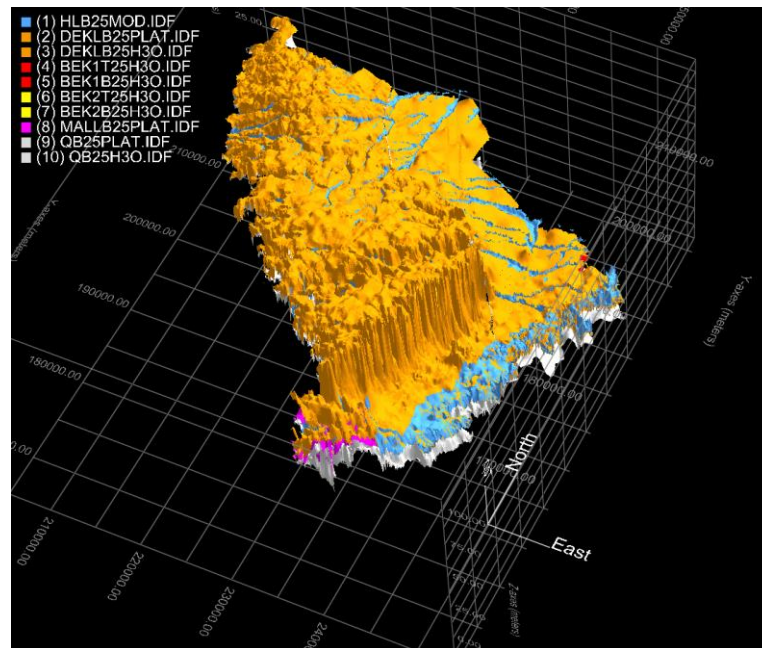
Tabel 6: Overzicht van de lagen in het finale lagenmodel en haar onderdeel-lagen die deels uit bestaande en deels uit nieuwe lagen bestaan.



Figuur 18: Schematische weergaven van het lagenmodel en haar eenheden, gemodelleerd in het kader van het voxelmodel. De verschillende afkortingen zijn toegelicht in Tabel 6.

5.5. OVERZICHT LAGENMODEL

In totaal zijn er 14 lagen opgesteld met een grid-resolutie van 25 m. Figuur 19 toont een 3D-weergave van het lagenmodel zonder de toplaag.



Figuur 19: 3D-weergave (hoogteverdriving x25) van het lagenmodel kijkend richting het noordwesten. De steilrand, het Kempisch plateau en de Maasvallei zijn duidelijk waar te nemen. De toplaag is weggelaten voor de weergave van de onderliggende deklaag.

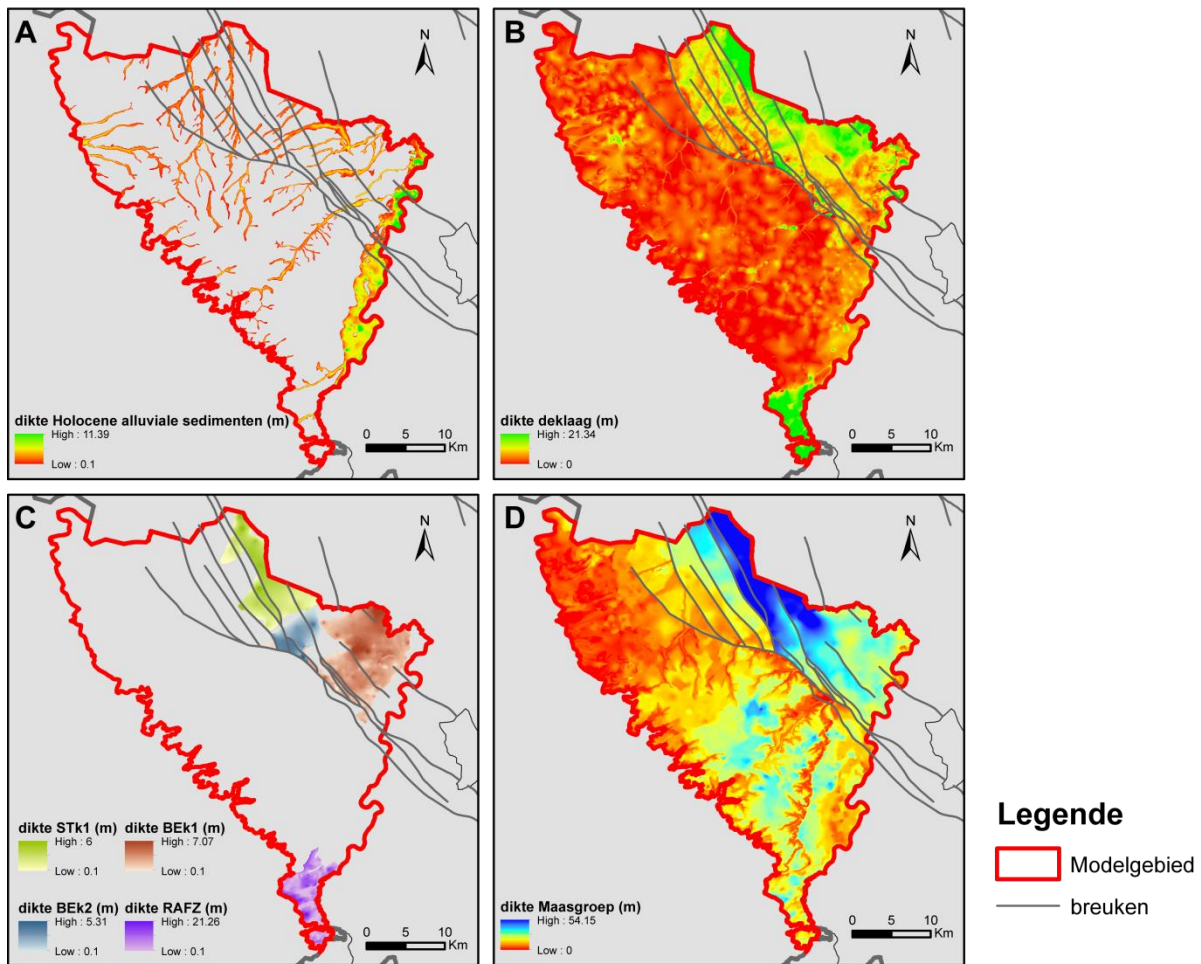
Het lagenmodel fungeert niet alleen als ‘skelet’ voor de verdere voxelinput, het brengt ook de diktevariatie in beeld van de onderscheiden modeleenheden. Op basis van de lagen kan de dikte berekend worden van de Holocene alluviale afzettingen, van de deklaag in zijn geheel, van de ontginbare zanden en gronden van de Maasgroep en de dikte van de intercalerende kleilagen die als stoorlaag kunnen fungeren tijdens ontginning.

Figuur 20 toont de diktevariatie van de Holocene alluviale afzettingen, van de deklaag, van de verschillende kleilagen en van de Maasgroep in zijn geheel. De Holocene alluviale afzettingen verdikken in stroomafwaartse richting zoals verwacht, met de grootste diktes in de huidige Maasbedding. De eolische zanden en lemen vormen een dunne bedekking op het Kempisch Plateau met diktes tussen 0 tot lokaal 5 m. In de slenk neemt de dikte van de deklaag stelselmatig toe over breuklijnen tot meer dan 7 m in het noordoosten van de slenk op Belgisch grondgebied. In het zuidelijk deel van het model komt de deklaag overeen met de leemgordel waar diktes tot 21 m bereikt worden.

De diktes van deze kleilagen variëren tussen de 0 en 7 m voor de Beegden en Sterksel kleien. De dikte van RAFZ reikt lokaal tot 21 m. Voor de kleien worden geen duidelijke diktetrends waargenomen.

Figuur 20 toont de totale dikte van de Maasgroep gelegen onder de deklaag. De dikte varieert sterk, van 0.1 m op het plateau tot bijna 55 m in de slenk. Ook hier zijn verdikkingen zichtbaar, stelselmatig over de breuklijnen heen. De insnijding van rivieren op het plateau en de steilranden zijn duidelijk zichtbaar. De grootste diktes op het plateau worden gehaald ter hoogte van de

Winterslag zanden en Zutendaal grinden. Het gebied met de kleinste diktes op het plateau komt overeen met de Lommel zanden en de herwerkte Maas- en Rijn-sedimenten.



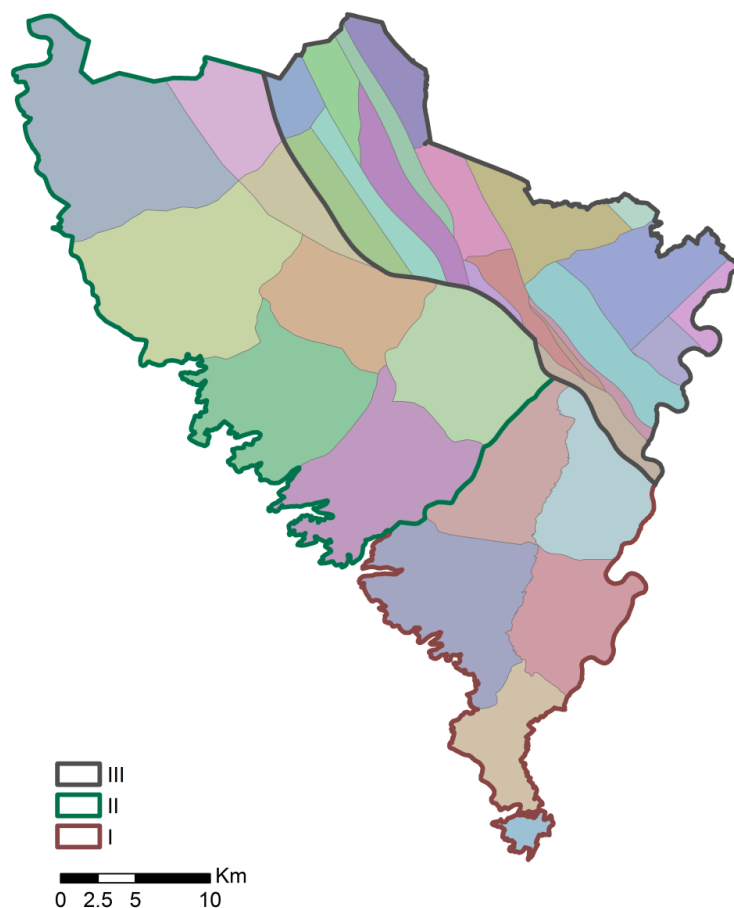
Figuur 20: Dikteweergaven van de verschillende modeleenheden. A: Diktemodel van de Holocene alluviale afzettingen. B: Diktemodel van de deklaag, inclusief de Holocene alluviale afzettingen. C: Diktemodellen van de verschillende kleien, aanwezig binnen de Maasgroep, respectievelijk Sterksel klei 1, Beegden klei 1 en 2 en RAFZ. D: Diktemodel van de Maasgroep.

HOOFDSTUK 6. VOXELMODEL

6.1. DEELGEBIEDEN

Het aangemaakte voxelmodel heeft een resolutie van 25 x 25 m in de XY-richting en 0.5 m in de Z-richting. Dit wil zeggen dat een gebied van 10 km² met een modeldikte van 5 m al 1.6 miljoen voxels omvat. Deze grote aantallen hebben tot gevolg dat het modelgebied (met een totale oppervlakte van ca. 1230 km²) niet in zijn geheel kon gemodelleerd worden, omdat dit computationeel te zwaar was voor de gebruikte software.

Daarom werd het modelgebied opgedeeld in 32 deelgebieden. De grenzen van deze deelgebieden werden gelegd op natuurlijke grenzen (bv. rivieren) of langsheen breukblokken. De voxelmodellering werd individueel uitgevoerd voor deze 32 deelgebieden, en in het finale model werden de resultaten van deze deelgebieden samengevoegd tot 3 zones. Deze zones bevatten respectievelijk 11 512 464 (I), 14 845 789 (II) en 25 615 011 (III) voxels, wat het totaal aantal voxels van het model op ca. 52 miljoen brengt.

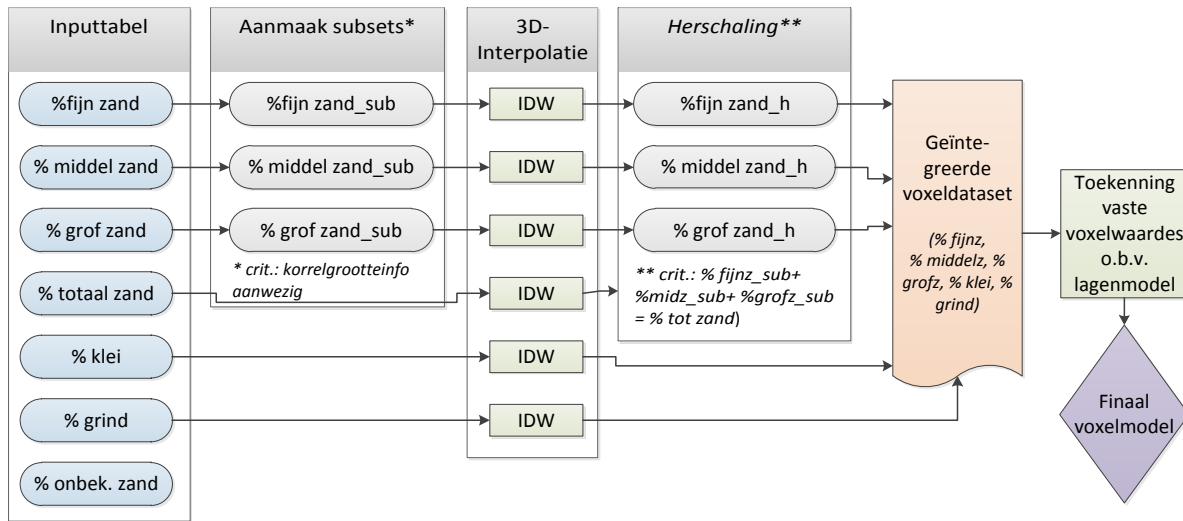


Figuur 21: Overzicht van de 32 initiële deelgebieden en de 3 finale zones waarin het voxelmodel werd opgedeeld

6.2. WORKFLOW VOXELMODELLERING

De voxelmodellering werd uitgevoerd op basis van de aangemaakte input dataset die bestaat uit datapunten met relatieve aandelen van een aantal lithoparameters (Tabel 4). Deze 3D-interpolatie gebeurde initieel voor elke parameter apart, en in een latere stap werden de interpolatieresultaten van deze individuele parameters samengevoegd tot een geïntegreerde dataset (Figuur 22).

Figuur 22Net als bij de input dataset gold hierbij dat de som van de gemodelleerde aandelen van de verschillende parameters steeds gelijk was aan 1. De hieronder beschreven workflow werd uitgevoerd voor elk van de 32 deelgebieden.



Figuur 22: Workflow voxelmodellering, met herschaling van de onbekende zandfractie tot relatieve aandelen fijn, middelmatig en grof zand.

In de boorbeschrijvingen wordt de korrelgrootte van de zandfractie dikwijls niet vermeld, hetgeen aanleiding gaf tot het aanmaken van de parameter “% onbekend zand”. Dit is in feite een artificiële parameter, aangezien deze in werkelijkheid bestaat uit een combinatie van een bepaald aandeel fijn zand, middelmatig zand en grof zand. Daarom werd er besloten om deze parameter te herberekenen naar zijn werkelijke componenten.

De aanpak voor de herberekening van de onbekende zandfractie gebeurt in feite door de interpolatie van fijn zand, middelmatig zand en grof zand enkel te doen op basis van die datapunten waarvoor een korrelgrootte beschreven is (dus op basis van een subset van de totale dataset). Na de interpolatie werden deze parameters herschaald zodat hun som gelijk is aan het gemodelleerde aandeel totaal zand (Tabel 7). Deze herberekening werd geïntegreerd in de workflow van de voxelmodellering, zoals geïllustreerd in Figuur 22.

	Klei	Fijn zand	Middelmatig zand	Grof zand	Zand_gn korrelinfo	Grind	Zand totaal
Input voxelmodel	0	0.1	0.75	0	0.15	0	1
Output voxelmodel vóór herschaling	0	0.1	0.75	0	/ (niet gemodelleerd)	0	1
Output voxelmodel na herschaling	0	$\frac{0.1}{(0.1 + 0.75) * 1} = 0.12$	$\frac{0.75}{(0.1 + 0.75) * 1} = 0.88$	0	/	0	1

Tabel 7: Werkwijze herberekening onbekende zandfractie

De geïntegreerde workflow omvat volgende stappen:

1. Aanmaak van subsets voor fijn zand, middelmatig zand en grof zand. Deze subsets bevatten enkel die datapunten waarvoor korrelgrootte informatie aanwezig is (hiermee wordt dus een beschreven korrelgrootte bedoeld, niet een gemeten korrelgrootte).
2. 3D Inverse Distance Weighting interpolatie met Voxler® voor elke individuele parameter. Meer uitleg over de interpolatiemethode: zie paragraaf 6.4
3. Herschaling van de zandfracties zodat hun som gelijk is aan het gemodelleerde totaal aandeel zand (Microsoft SQL Server®)
4. Combinatie van de parameters in een geïntegreerde voxeldataset (Microsoft SQL Server®)
5. Toekenning vaste voxelwaardes op basis van het lagenmodel: zie paragraaf 6.3

De output van het uiteindelijke voxelmodel ziet er uit zoals weergegeven in Figuur 23. Een eerste kolom ('cat') toont aan of voxels al dan niet een vaste voxelwaarde bezitten. Vervolgens volgen de kolommen met de verschillende gemodelleerde parameters, al dan niet opgevuld met de vaste voxelwaarde op basis van de categorie-kolom.

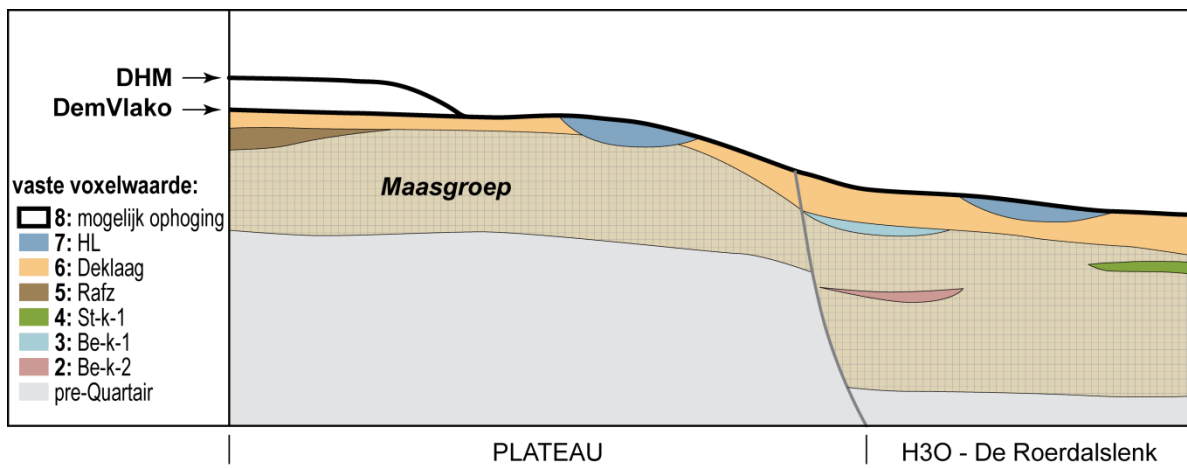
X	Y	Z	cat	perc_klei	percfijnz	percmiddelz	percgrfz	percgrind
227087.5	197212.5	75.5	8	8	8	8	8	8
227087.5	197212.5	75	6	6	6	6	6	6
227087.5	197212.5	74.5	6	6	6	6	6	6
227087.5	197212.5	74	6	6	6	6	6	6
227087.5	197212.5	73.5	6	6	6	6	6	6
227087.5	197212.5	73	NULL	0.02009911	0.0001737177	0.5957249	0.182236	0.2017662
227087.5	197212.5	72.5	NULL	0.01394804	0.0001324614	0.6494901	0.17709	0.1593394
227087.5	197212.5	72	NULL	0.01101435	0.0001176124	0.6760898	0.1757757	0.1370026
227087.5	197212.5	71.5	NULL	0.009422049	0.0001149438	0.6902342	0.1760616	0.1241672
227087.5	197212.5	71	NULL	0.008201931	0.000197052	0.6990924	0.1764487	0.1160599
227087.5	197212.5	70.5	NULL	0.007088934	0.0002053541	0.7050878	0.1768304	0.1107875
227087.5	197212.5	70	NULL	0.00604538	0.0002137887	0.709493	0.1768991	0.1073487
227087.5	197212.5	69.5	NULL	0.005095996	0.0003146263	0.7127758	0.1767087	0.1051049
227087.5	197212.5	69	NULL	0.00427218	0.000423359	0.7153623	0.1763038	0.1036384
227087.5	197212.5	68.5	NULL	0.003556628	0.0004477979	0.7176076	0.1758336	0.1026842

Figuur 23: Voorbeeld outputtabel voxelmodellering.

6.3. KOPPELING VOXELMODEL EN LAGENMODEL

De koppeling tussen het lagenmodel en het voxelmodel vormt een belangrijke stap in de voxelmodellering, aangezien ze toelaat de geologische kennis van het lagenmodel expliciet te integreren in het voxelmodel.

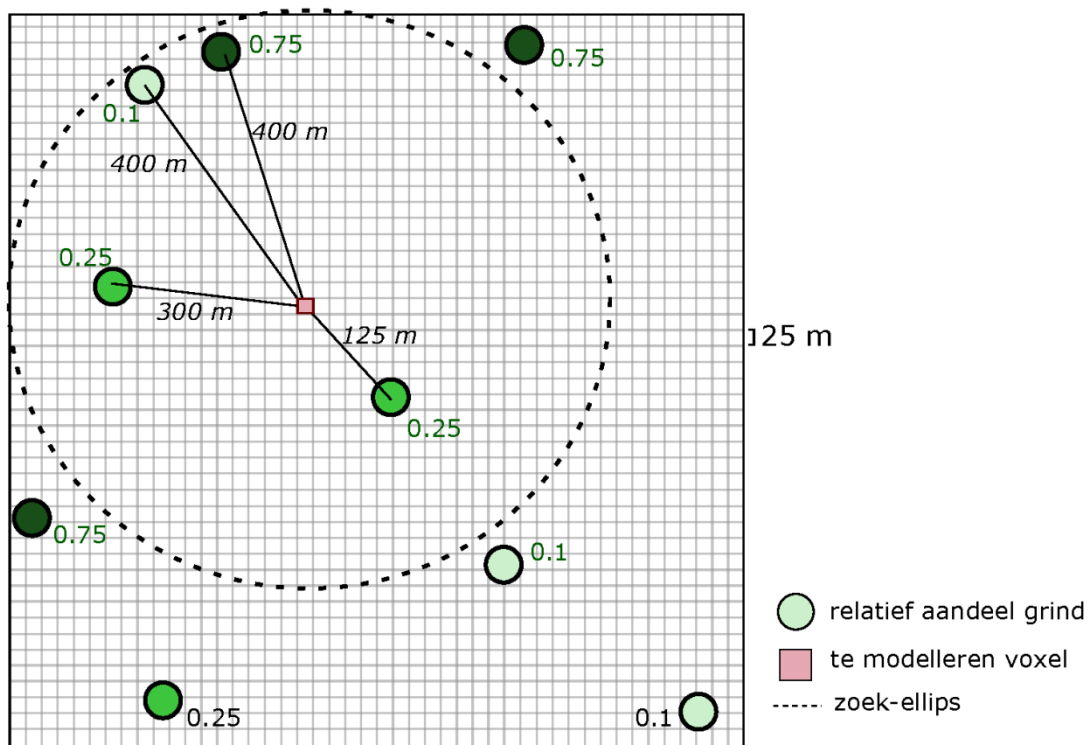
Het doel van deze koppeling is het toekennen van vaste voxelwaarden aan voxels die volgens het lagenmodel behoren tot één van de gemodelleerde klei- of deklagen. Op deze manier kunnen deze voxels in de verdere verwerking van het voxelmodel eenvoudig gevisualiseerd worden en kunnen ze in rekening gebracht worden bij eventuele delfstoffenberekeningen. Daarnaast werd in deze stap het voxelmodel ook afgesneden op de correcte top- en basisvlakken (respectievelijk DHM en basis Maasgroep). De koppeling tussen het lagenmodel en het voxelmodel gebeurde in Microsoft SQL Server®.



Figuur 24: Sleutel toegekende vaste voxelwaardes

6.4. INTERPOLATIEMETHODE

Voor de 3D-interpolatie werd gebruik gemaakt van de software Voxler® en de interpolatie gebeurde met de Inverse Distance Weighting (IDW) methode. Dit is een klassieke deterministische interpolatiemethode waarbij de waarde van een onbekende voxel wordt berekend als zijnde een gewogen gemiddelde van de waardes in omliggende datapunten. Hoe verder deze datapunten gelegen zijn van de onbekende voxel, des te lager hun gewicht. Figuur 25 en vergelijking 1 illustreren de werking van deze interpolatiemethode in 2D. De 3D-berekening is volledig equivalent, maar houdt ook rekening met de Z-richting.



Figuur 25: 2D-voorbeeld in XY-richting van de werking van Inverse Distance Weighting voor de berekening van een voxelwaarde op basis van input uit boringen. Voor de berekening, zie Vergelijking 1

$$x = \frac{\frac{0.1}{400^p} + \frac{0.75}{400^p} + \frac{0.25}{125^p} + \frac{0.25}{300^p}}{\frac{1}{400^p} + \frac{1}{400^p} + \frac{1}{125^p} + \frac{1}{300^p}}$$

Vergelijking 1: berekening van de onbekende voxelwaarde x op basis van Inverse Distance Weighting. Exponent p is de gekozen power.

Bij IDW-interpolatie dienen er een aantal variabelen bepaald te worden. De belangrijkste hiervan zijn: de zoek-ellips (hoe groter de stralen van deze ellips hoe meer boringen worden meegenomen in de berekening van de onbekende voxels), de anisotropie (kan gebruikt worden om een bepaalde interpolatierichting zwaarder te laten doorwegen in de uiteindelijke berekening) en de power (hoe lager de power, hoe meer gewicht gegeven wordt aan verafgelegen boringen).

Aangezien voor dit model de voxelresolutie significant hoger ligt dan de densiteit van de input datapunten (de boringen) was het van belang de zoekcirkel (in XY-richting) zo te kiezen dat er bij de berekening van een onbekende voxel steeds minstens één boring binnen de zoekstraal lag (indien dit niet het geval is kent de voxel geen geïnterpoleerde waarde). De aldus bekomen zoekcirkels waren in een aantal gevallen groot, met waardes tot 15 km. In de Z-richting is de dataresolutie hoger, dus in deze richting kon de zoekstraal kleiner gehouden worden. Concreet werd de zoekstraal in deze richting gelijk gesteld aan de maximale dikte van het Quartair (75 m).

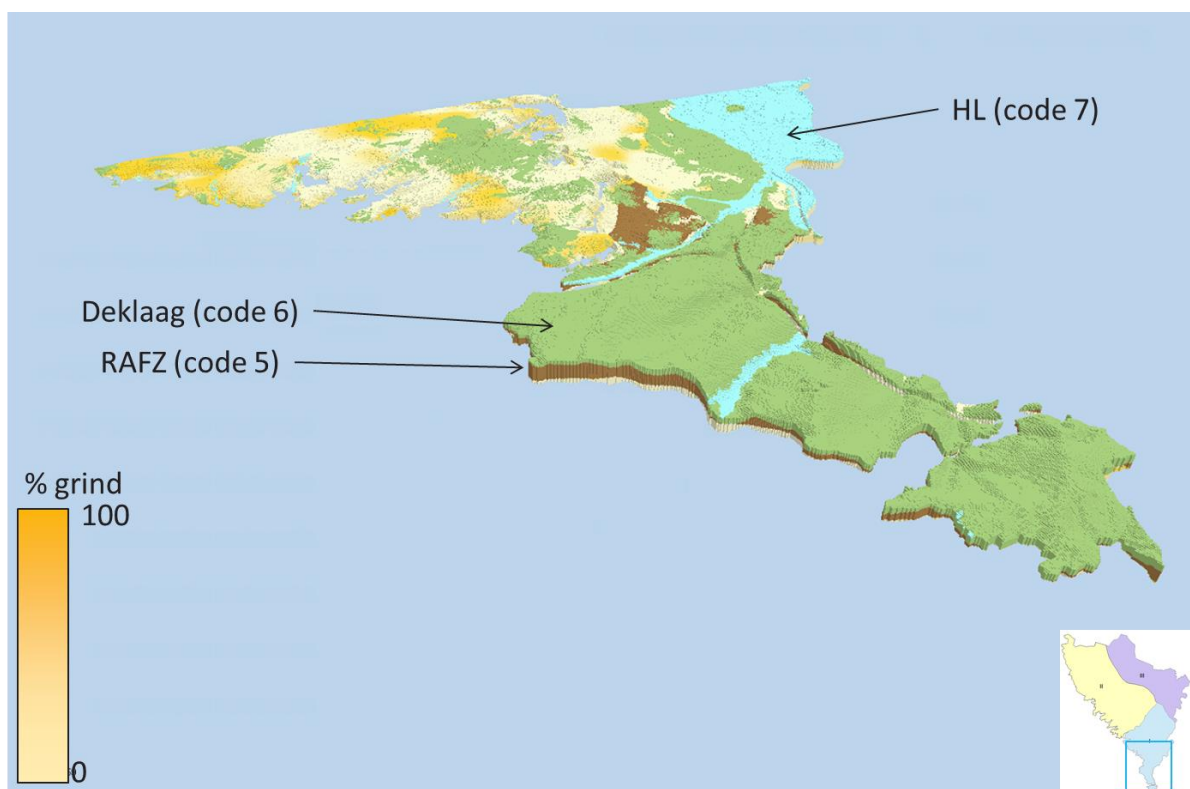
Aangezien de zoekcirkels relatief groot dienden te zijn werd voor de power (p) een gewicht van 4 ingesteld. Dit vermindert de invloed van zeer verafgelegen boringen op de waarde van de te modelleren voxel. Er werd ook een anisotropie ingesteld tussen de XY-richting en Z-richting, waarbij een evenwicht is gezocht tussen enerzijds de datadensiteit en anderzijds de geologische verhoudingen van de Pleistocene alluviale verwilderde afzettingen. Dit resulteerde in een anisotropie-verhouding groter dan 150 tussen de XY- en Z-richting. De zoek- en interpolatie-ellips in de XY-richting is altijd isotropisch gehouden, aangezien de richting van de alluviale afzettingen van de Maasgroep niet duidelijk genoeg was.

HOOFDSTUK 7. MOGELIJKHEDEN VISUALISATIE

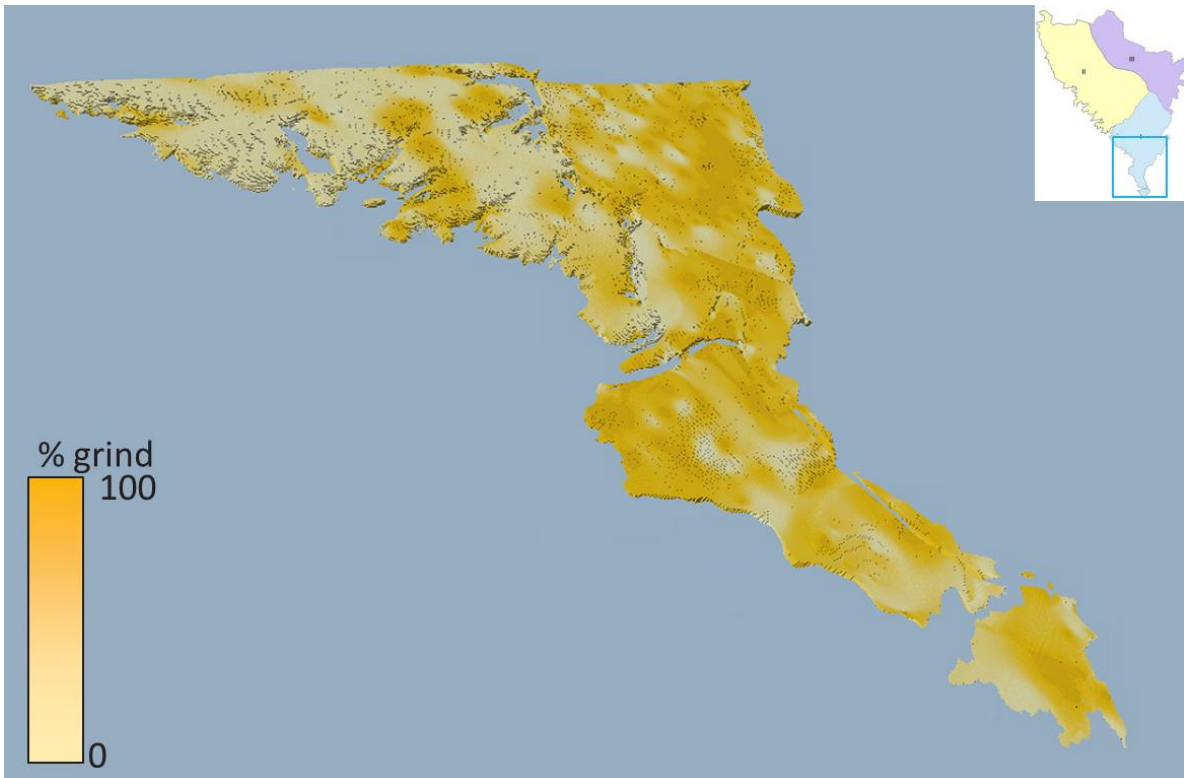
7.1. 3D-VISUALISATIES

De meest eenvoudige manier om het voxelmodel te visualiseren is door de individuele parameters van het model (Figuur 26) te plotten met een 3D-viewer.

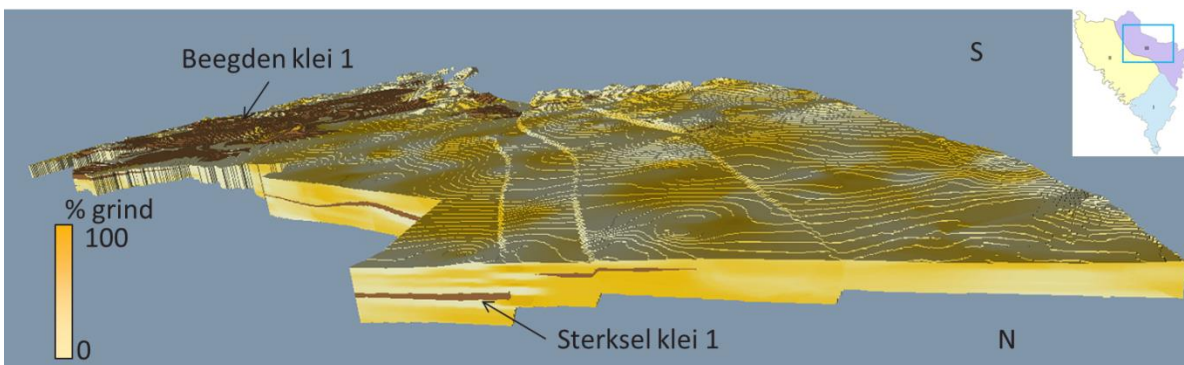
Onderstaande figuren zijn voorbeelden van dergelijke visualisaties. Afhankelijk van de doelstelling kunnen de top- en/of stoorlagen al dan niet geplot worden.



Figuur 26: 3D-view van het zuidelijke gedeelte van het modelgebied. Code 8 (mogelijke ophoging) wordt hier niet getoond.



Figuur 27: 3D-subcropview van het zuidelijke gedeelte van het modelgebied. Hierbij worden alle voxels getoond, behalve die met vaste voxelwaarde 5 (RAFZ), 6 (Deklaag, excl. Holocene kleien en lemen) en 7 (Holocene kleien en lemen). De meer donkergele kleuren geven zones aan waar meer grind aanwezig is.



Figuur 28: 3D-dwarsdoorsnede van het model ter hoogte van de Roerdalslenk. Hierbij worden alle voxels getoond, behalve die met vaste voxelwaarde 5 (RAFZ), 6 (Deklaag) en 7 (Holocene kleien en lemen). De meer donkergele kleuren geven zones aan waar meer grind aanwezig is.

7.2. 2D-VISUALISATIES

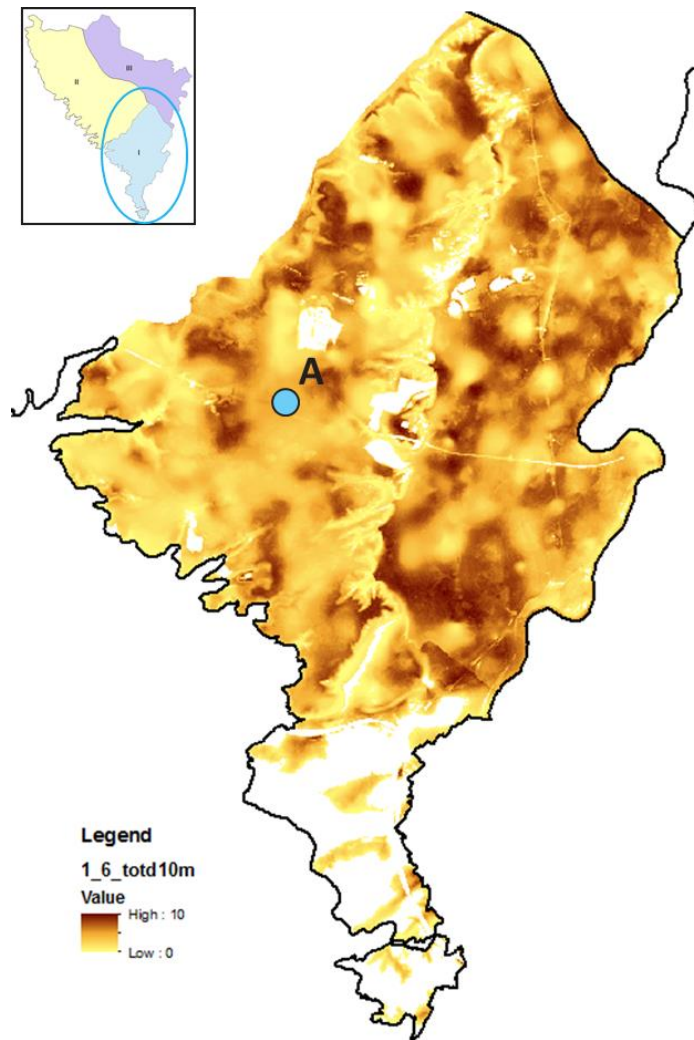
Voor gebruik in een 2D-delfstoffenviewer dienen de 3D-modelresultaten omgezet te worden naar 2D-kaarten. Aangezien het opgeleverde model 5 lithoparameters bevat die een waarde kunnen hebben tussen 0 en 1, en er daarnaast ook 7 categorieën van vaste voxelwaarden met een andere betekenis voorkomen, zijn er zeer veel mogelijkheden tot visualisatie. Hieronder worden een aantal voorbeelden en aandachtspunten gegeven.

Een nuttige manier om de 3D-eigenschappen van het model te visualiseren in 2D is het berekenen van het cumulatieve aandeel van een bepaalde parameter, eventueel aangevuld met randvoorwaarden (bijvoorbeeld de maximale dikte van de deklaag). Een voorbeeld van een dergelijke visualisatie wordt gegeven in Figuur 29. In deze figuur werd als randvoorwaarde opgelegd dat de diepte van de delfstoffen maximaal 10 m mag bedragen. Concreet betekent dit dat alle diepere voxels niet worden meegenomen in deze visualisatie. Vervolgens kan het cumulatief aandeel grind per XY-coördinaat gevonden worden door per XY-coördinaat de som te maken van het aandeel grind in elke voxel, vermenigvuldigd met de dikte van de voxel. Indien verondersteld wordt dat in punt A de dikte van het voxelpakket minstens 10 m bedroeg en er op deze locatie in de eerste 8 voxels 75% grind voorkomt en in de volgende 12 voxels 10% dan wordt dit:

$$\text{Cumulatief aandeel grind punt A} = 8 * (75\% * 0.5 \text{ m}) + 12 * (10\% * 0.5 \text{ m}) = 3.6 \text{ m}$$

Er kunnen hierbij nog extra achterliggende criteria worden opgelegd, zoals bijvoorbeeld dat enkel die voxels in rekening gebracht worden waar het grindgehalte minstens 20% bedraagt. Bij het opleggen van dergelijke voorwaarden is het van belang van steeds in het achterhoofd te houden dat de gemodelleerde percentages niet rechtstreeks door te trekken zijn naar werkelijke korrelgrootteverdelingen (zie discussie in paragraaf 3.4). De gemodelleerde percentages dienen vooral geïnterpreteerd te worden als een semikwantitatieve aanduiding of een bepaalde lithologie waarschijnlijk veel of weinig aanwezig is.

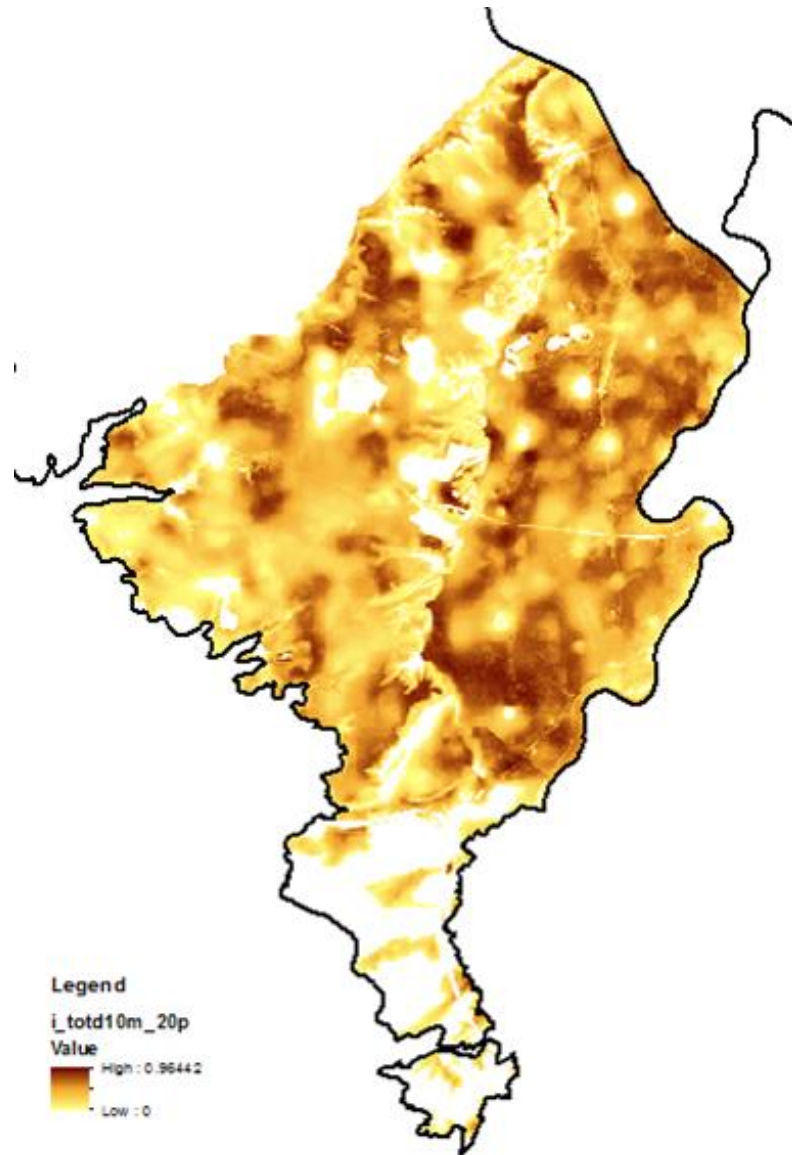
Een andere mogelijkheid is het aanmaken van relatieve aanwezigheidskaarten. Hierbij zouden de resultaten van Figuur 29 gedeeld worden door de totale dikte van het model per XY-coördinaat. Op deze manier ontstaat een kaart met waarden tussen 0 en 1, waarbij hogere waarden de locaties aangeven waar het aandeel delfstoffen hoger is. Een nadeel van een dergelijke voorstellingswijze is dat er dan visueel geen onderscheid gemaakt kan worden tussen de absolute diktes van de totale delfstoffenpakketten (Een locatie waar 2 m delfstof zit, met overall 50% grind zal een gevisualiseerde waarde opleveren van 50% grind. Een locatie waar 10 m delfstof zit, met eveneens overall 50% grind zal ook een gevisualiseerde waarde opleveren van 50% grind. Beide locaties kunnen dus niet van elkaar onderscheiden worden, ondanks hun verschil in absolute dikte).



Figuur 29: Voorbeeld van een kaart die het cumulatieve aandeel grind toont, met als randvoorwaarde dat de delfstoffen maximaal 10 m diep mogen zitten.

Een belangrijk aspect om mee in rekening te brengen is de invloed van dek- en stoorlagen. Voor de voxels met een vaste voxelwaarde kan dit eenvoudig opgelegd worden door een criterium in te stellen dat bijvoorbeeld oplegt dat de dikte van de deklaag (categorie 6) maximaal 2 m mag zijn.

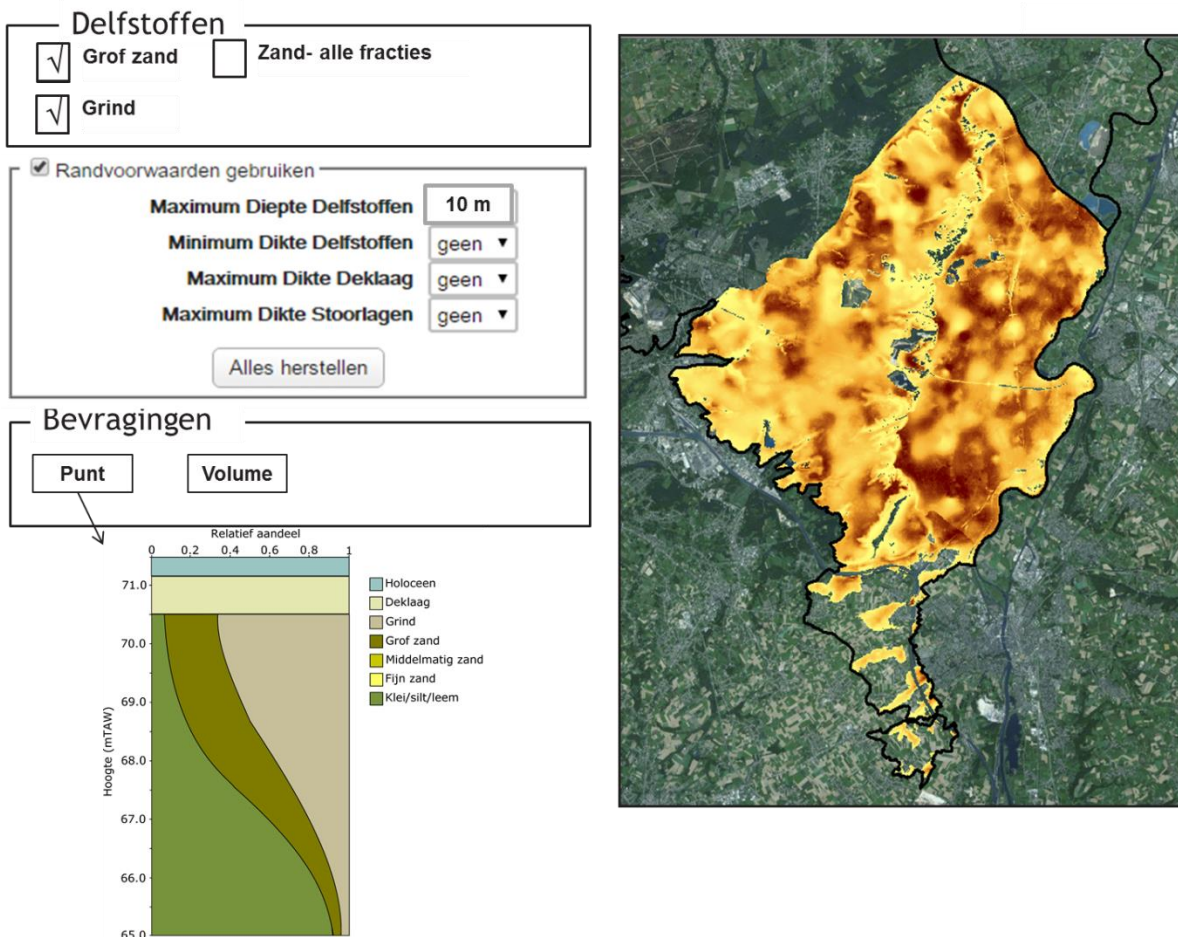
Er kunnen echter ook voorwaarden opgelegd worden op basis van het gemodelleerde aandeel kleien. Zo zou er bijvoorbeeld een kaart kunnen opgesteld worden die het cumulatieve aandeel van grof zand weergeeft met als extra voorwaarde dat zanden en grinden die onder een ononderbroken kleilaag van minstens 2 m liggen als niet ontginbaar beschouwd worden. Hierbij dient in eerste instantie vastgelegd te worden welk gemodelleerd aandeel klei beschouwd wordt als een kleilaag. Hierbij wordt aangeraden om dit criterium vrij streng te maken en dit bijvoorbeeld op een gemodelleerd aandeel van minstens 75% te leggen. Op deze manier worden enkel die zones in de buurt van locaties, waar effectief kleien werden waargenomen, meegenomen. Vervolgens dient dan per XY-coördinaat berekend te worden of er 4 openeenvolgende voxels voorkomen die hieraan voldoen. En dienen de onderliggende voxels weggesneden te worden.



Figuur 30: Analoog aan Figuur 29, met als extra voorwaarde dat enkel die voxels worden meegenomen waarvan het gemiddelde grindaandeel minstens 20% bedraagt.

7.3. VOORBEELD DELFSTOFFENVIEWER

Zoals reeds aangehaald bestaan er veel mogelijkheden voor de uiteindelijke visualisatie in de delfstoffenviewer. Onderstaande Figuur 31 geeft een voorbeeld van een mogelijke layout van de viewer. In dit voorbeeld kan de gebruiker kiezen op welke delfstoffen hij wil focussen, en kan hij daarnaast een aantal randvoorwaarden opleggen (deze werden nu gekopieerd uit het leemmodel, maar zoals hierboven besproken zijn ook veel andere opties mogelijk). Ook kan hij punt- en volumebevragingen doen. Bij de puntbevraging kan dan een figuur getoond worden met de dieptetrends van alle gemodelleerde parameters op de gekozen XY-locatie.



Figuur 31: Voorbeeld layout delfstoffenviewer

HOOFDSTUK 8. GEBRUIK EN DISCLAIMER

Het opgemaakte voxelmodel biedt een unieke inkijk in de ruimtelijke verdeling en de diktevariëaties van de Pleistocene afzettingen van Maas en Rijn. Het laat toe om een aantal essentiële parameters die het potentieel van de afzettingen als delfstof bepalen te onderzoeken en te visualiseren (o.a. de dikte van de deklaag en de eventuele aanwezigheid van stoorlagen).

Door ook de basisdata waarop het model gebaseerd is mee op te leveren krijgen gebruikers bovendien de mogelijkheid om de beschikbare basisgegevens te analyseren en hun metadata te screenen. Zo creëert het model een overzichtelijk medium waarin alle beschikbare informatie wordt geïntegreerd en dat kan gebruikt worden voor een initiële screening voor gebieden potentieel rijk aan delfstoffen. Door te werken met een geparаметriseerd voxelmodel, waarbij aan elke voxel relatieve aandelen van 5 verschillende lithoparameters gekoppeld werden, biedt het model bovendien zeer veel mogelijkheden naar data-analyse en visualisatie.

Toch dient het voxelmodel met enige voorzichtigheid benaderd te worden en is het belangrijk om te benadrukken dat de resultaten als semikwantitatieve waarden dienen geïnterpreteerd te worden.

Er zijn verschillende redenen waarom deze voorzichtigheid geadviseerd wordt, hieronder een overzicht van de belangrijkste:

1. **Datakwaliteit:** Het zandmodel is gebaseerd op een groot aantal data waarvan de kwaliteit, nauwkeurigheid en mate van detail sterk uiteenloopt. Zo werd het model gebaseerd op lithologische beschrijvingen van boringen. Een veel voorkomende beperking van deze beschrijvingen is het ontbreken van korrelgrootte-informatie (bv. “grijs zand met enkele grindjes”). Ook het ontbreken van een gestandaardiseerde boorbeschrijvingsmethode heeft een nadelige invloed op het verdere gebruik van de data.
2. **Datadensiteit versus afzettingsheterogeniteit:** Bij verwilderde rivierafzettingen kunnen lithologische variaties op meterschaal verwacht worden. Deze resolutie is veel hoger dan de beschikbare boringdensiteit en is bijgevolg onmogelijk te modelleren. In dit model werd daarom getracht om meer grootschalige patronen en trends te modelleren. Een horizontale grid resolutie van 25 m is gekozen om enerzijds het model zo goed mogelijk te fitten aan de sterk variërende Quartaire reliëfstructuren en anderzijds om de lithologische informatie uit de boringen zo goed mogelijk in te passen binnen het model. Een verticale resolutie van 0.5 m is gekozen in functie van de heterogene lithologie van het Quartair. Deze aanpak heeft tot gevolg dat niet mag verwacht worden dat het model gebruikt kan worden om exacte voorspellingen te doen op puntniveau.
3. **Geologisch kader:** Een gedetailleerd geologisch kader kan een grote hulp zijn om modelleringen aan te sturen en de output te optimaliseren. In het modelgebied van het voorliggende model is het geologisch raamwerk binnen het quartaire pakket echter maar beperkt gekend (waarschijnlijk in belangrijke mate als gevolg van bovenstaand punt ivm datadensiteit). De basis van de afzettingen, de deklaag, de alluviale kleien en lemen en een aantal interne stoorlagen werden succesvol geïntegreerd in het model, maar verdere informatie die de modellering zou kunnen sturen (zoals bijvoorbeeld de locatie van de oude Maasbeddingen en stroomrichtingen) waren niet beschikbaar en onmogelijk te bepalen op basis van de beschikbare informatie.

Los van deze beperkingen kan het model een grote meerwaarde betekenen voor een aantal toepassingen. Het kan gebruikt worden door de ontginningssector voor pre-prospectieve doeleinden aangezien het een eerste inzicht biedt in potentieel interessante gebieden. Verder onderzoek kan dan meer gericht worden uitgewerkt. Daarnaast biedt het model ook een duidelijk algemeen overzicht over de eigenschappen en dikteverdeling van de potentiële delfstoffen, hetgeen beleidsmakers moet toelaten meer objectieve inschattingen te maken van reserves en gefundeerde beleidsplannen op te stellen. Tenslotte kan de informatie ook nuttig zijn voor projectontwikkelaars, die zich dankzij het model bewust kunnen worden van de potentiële economische waarde van de ondergrond van projectgebieden en deze kunnen trachten te valoriseren.

HOOFDSTUK 9. OPGELEVERDE DOCUMENTEN

Het opgeleverde voxelmodel omvat volgende documenten:

Categorie	Bestanden	Inhoud	Bestandstype
Boringdata	Metadata	Boringspecifieke metadata: coördinaten, diepte, aanvangsjaar, uitvoerder, etc. Eén rij per boring	Excel
	Interpretatie- & coderingstabel	Link tussen de intervallen van de boorbeschrijvingen, de geïnterpreteerde modeleenheden en de codering van de boorbeschrijvingen. Meerdere rijen per boring	Excel
Lagenmodel	2D-grids	Hoogte van alle gemodelleerde lagen per XY-gridpunt (resolutie: 25 m, hoogte in m+TAW)	.txt (tab- delimited)
Voxelmodel	Deelgebied I	Parameterwaarde per XYZ-coördinaat. Parameters: relatief aandeel klei, fijn zand, middelmatig zand, grof zand, grind. Aparte kolom met aanduiding categorieën voor vaste voxelwaardes.	.txt (tab- delimited)
	Deelgebied II		
	Deelgebied III		
Shapefiles	Maasgroep	2D-contouren van voorkomens- gebieden	.shp
	Beegden: Beegden algemeen, Beegden klei 1, Beegden klei 2		
	Sterksel: Sterksel algemeen, Sterksel klei 1		
	RAFZ		
	HL (Holocene kleien en lemen)		
	Modelgebied		
	Deelgebieden voxels: I, II, III		

Een meer gedetailleerde uitleg van deze opgeleverde documenten kan gevonden worden in Bijlage C.

LITERATUURLIJST

- [1] T. van Haren, R. De Koninck en M. Broothaers, “Thematisch delfstoffenmodel voor (niveo-) eolische leemvoorkomens in Vlaanderen,” Mol, 2015.
- [2] J. Matthijs, T. Lanckacker, R. De Koninck, J. Deckers, D. Lagrou en M. Broothaers, “Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest – versie 2, G3Dv2,” 2013.
- [3] F. Bogemans, “Technisch verslag bij de opmaak van de quartairgeologische overzichtskaart van Vlaanderen. Opgemaakt in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie.,” 2005.
- [4] J. Deckers, R. Vernes, W. Dabekaussen, M. Den Dulk, H. Doornenbal, M. Duser, J. Hummelmans, J. Matthijs, A. Menkovic, R. Reindersma, J. Walstra, W. Westerhoff, and N. Witmans, “Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Roerdalslenk in Zuidoost- Nederland en Vlaanderen (H3O – Roerdalslenk),” 2014.
- [5] Borremans M., “Het Kempisch Plateau en het Maasland,” in *Geologie van Vlaanderen*, M. Borremans, Ed. Academia Press, 2015, pp. 241–246.
- [6] R. Dreesen, J. Janssen en D. Van Uytven, “LIKONA Jaarboek 2014 Nr.24,” *LIKONA Jaarboek 2014*, no. 24, p. 96, 2014.
- [7] L. Wouters en N. Vandenbergh, “Geologie van de Kempen. Een synthese.,” Brussel, 1994.
- [8] K. Beerten, “Vroeg- en Midden-Pleistocene sedimentatie- geschiedenis van Maas en Rijn in de Belgische Roergraben. Onderzoeks- resultaten van gekernde boringen,” 2003.
- [9] F. Gullentops, F. Bogemans, G. De Moor, E. Paulissen, and A. Pissart, “Quaternary lithostratigraphic units (Belgium),” *Geol. Belgica*, vol. 4, no. 1–2, pp. 153–164, 2001.
- [10] L. Broothaers, *Zandboek Vlaanderen*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie, 2000.
- [11] F. Gullentops en L. Wouters, *Delfstoffen in Vlaanderen*. Brussel, 1996.
- [12] N. Foged, P. A. Marker, A. V. Christansen, P. Bauer-Gottwein, F. Jorgensen, A.-S. Hoyer, and E. Auken, “Large-scale 3-D modeling by integration of resistivity models and borehole data trough inversion,” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 18, pp. 4349–4362, 2014.
- [13] T. Kearsey, J. Williams, A. Finlayson, P. Williamson, M. Dobbs, B. Marchant, A. Kingdon, and D. Campbell, “Testing the application and limitation of stochastic simulations to predict the lithology of glacial and fluvial deposits in Central Glasgow, UK,” *Eng. Geol.*, vol. 187, pp. 98–112, 2015.
- [14] M. J. Van Der Meulen, S. F. Van Gessel, and J. G. Veldkamp, “Aggregate resources in the Netherlands,” *Netherlands J. Geosci.*, vol. 84, no. 3, pp. 379–387, 2005.
- [15] J. Stafleu, D. Maljesr, F. S. Busschers, J. L. Gunnink, J. Schokker, R. M. Dambrink, H. J. Hummelmans en M. L. Schijf, “GeoTop modellering,” 2013.
- [16] Het oppervlakedelfstoffendecreet: <https://www.lne.be/themas/natuurlijke-rijkdommen/oppervlakedelfstoffen/het-oppervlakedelfstoffenbeleid/het-oppervlakedelfstoffendecreet>
- [17] Het grinddecreet: <https://www.lne.be/themas/natuurlijke-rijkdommen/pdf-files/grinddecreet-gecoördineerde-versie-2009/view>
- [18] Website DOV: <https://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/index.html>
- [19] Ondergrondgegevens Dinoloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- [20] Beerten, K. “Toelichting bij de Quartairgeologische Kaart, kaartblad 10-18 Maaseik”. Opgemaakt in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie. ”, 2005.

- [21] Verstraelen, A. "Toelichting bij de Quartairgeologische Kaart, kaartblad 34 Tongeren". Opgemaakt in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie.", 2000.
- [22] Rombaut, B. "Topo_HCOVv2, DEM-VLAKO en Quartair: aanpassingen en uitbreiding in functie van het G3Dv3 en H3D model". Studie uitgevoerd voor ALBON, VITO-rapport 2014/R/ETE/16, 2014.

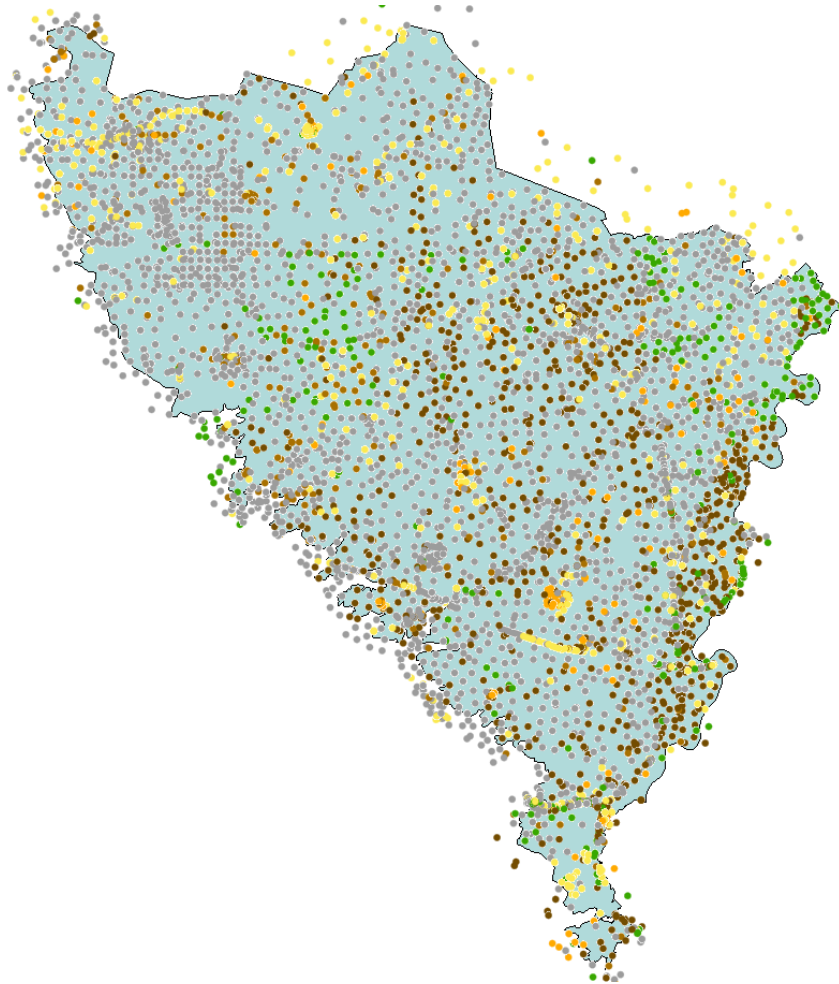
BIJLAGE A: CHRONOLOGISCHE WEERGAVE VAN DE MODELEENHEDEN EN DE KOPPELING MET DE BELGISCHE STRATIGRAFIE EN HET MODEL H30 – DE ROERDALSLENK

				Fluviatiel				Eolisch		Fluvio-lacustro-eolisch			
				Maas- en Rijnafzettingen			Andere	eolische zanden	eolisch leem (Romont)				
Holoceen				Formatie van Stokkem	Stokkem grinden, huidige Maasgrinden	(voormalige) Formatie van Leut	Heppeneert leem en Mullem klei	(venig) beekalluvium + colluvium					
Pleistoceen	Laat Pleistoceen	Weichsel	Tardi-Weichseliaan	Formatie van Lanklaar	Geistingen grinden		Beekgrinden (herwerkte Maas- en Rijnafzettingen)	Herwerkte Maas- en Rijnafzettingen exclusief de grinden	Formatie van Gent	Formatie van Gembloux	afzonderlijke kleilagen: RAFZ/Beegden klei 1 / Beegden klei 2		
			Brabant		Maasmechelen grinden (lid van Maasmechelen)							?	?
			Haspengouw		?								
	Midden Pleistoceen	Saale	Eem	Formatie van Lanaken	Eisden-Lanklaar grinden (lid van Eisden)		Beekgrinden + puinkegelgrinden + pedimentgrinden + puinhellingsgrinden (herwerkte Maas- en Rijnafzettingen)	Herwerkte Maas- en Rijnafzettingen exclusief de grinden		Formatie van Veldwezelt			
					Caberg-Pietersem grinden								
					Lanaken grinden								
	Vroeg Pleistoceen	Cromeriaan		Formatie van Zutendaal	Zutendaal ginden (lid van Zutendaal)								
					Winterslag zanden (lid van Winterslag)								
					Lommel zanden (lid van Lommel)								
			Formatie van Sterksel	Hamont klei									
				Bocholt zanden (lid van Bocholt)									

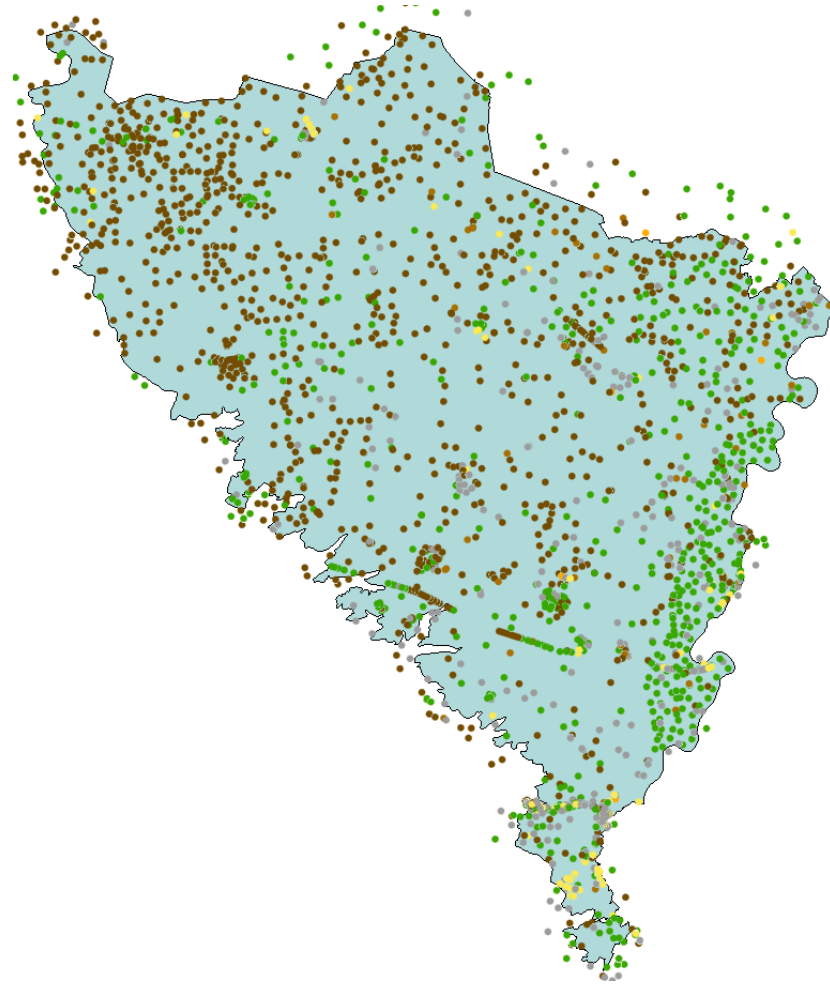
Eenheden zandmodel:

	eenheden voxelmodel	eenheden H30(hydrogeologie)
DEKLAAG	Holocene kleien en lemen	HL (HL-c)
	(niveo-) eolische zanden en leem	Formatie van Boxtel (bx-z-1; bx-z-2; bx-z-3; bx-k-1; bx-k-2)
MAASGROEP	zanden en grinden	Formaties van Beegden en Sterksel (be-z-1; be-z-2; be-z-3; st-z-1; st-z-2)
	afzonderlijke kleilagen (stoorlagen)	Formaties van Beegden (be-k-1; be-k-2) en Sterksel (st-k-1: 'Hamont klei')
	Herwerkte Maas- en Rijnafzettingen	niet gekarteerd

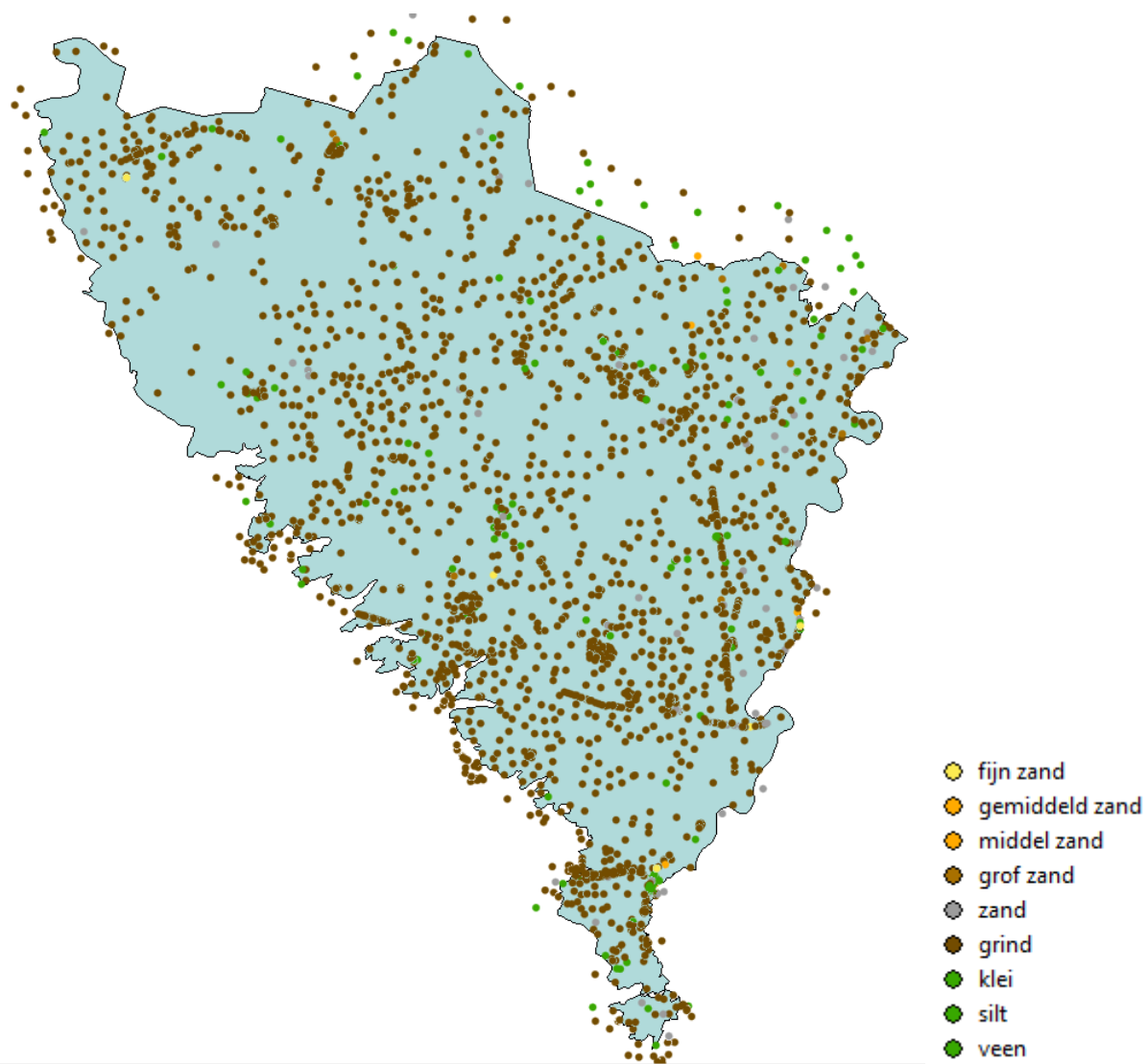
BIJLAGE B: RUIMTELIJKE VERDELING HOOFDLITHOLOGIE EN NEVEN LITHOLOGIEËN – TOPVIEW



Hoofdlithologie



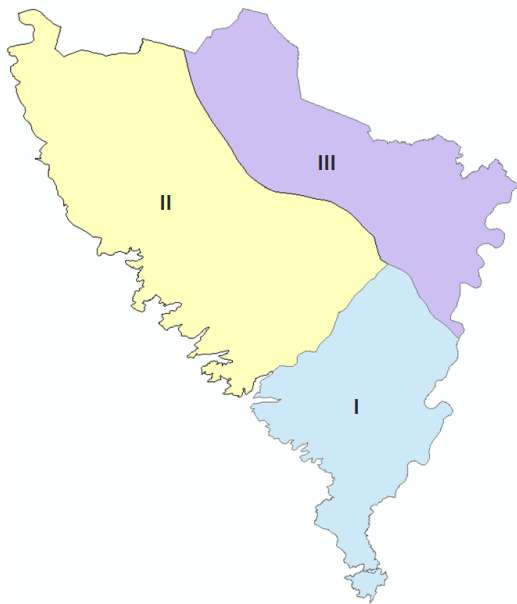
Nevenlithologie 1



Nevenlithologie 2

BIJLAGE C: LEESMIJ-FILES VAN DE OPGELEVERDE DOCUMENTEN**Voxelbestanden**

Het modelgebied werd opgedeeld in volgende drie deelgebieden:

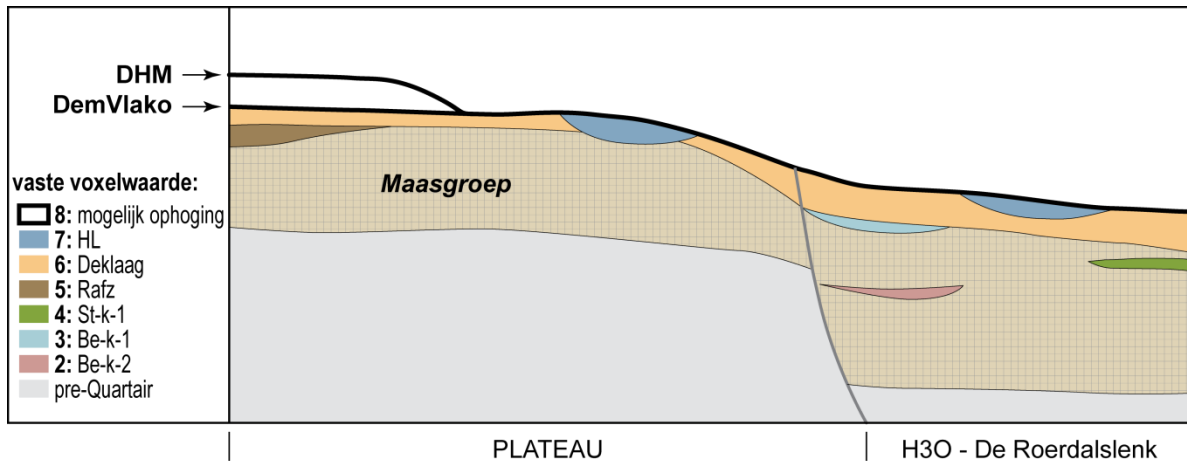


Deze 3D-grids omvatten alle voxels die in het kader van het huidige voxelmodel werden gemodelleerd. In totaal bevatten de deelgebieden respectievelijk 11 512 464 (I), 14 845 789 (II) en 25 615 011 (III) XYZ gridpunten. De Z-waarde is in absolute hoogte (m+TAW) uitgedrukt.

Het 3D-grid bestaat uit de volgende kolommen:

Kolom	Beschrijving
X	X-coördinaat
Y	Y-coördinaat
Z	Z-coördinaat
cat	Aanduiding categorie waartoe de voxel behoort
percklei	Geïnterpoleerd aandeel aan klei
percfijnz	Geïnterpoleerd aandeel aan fijn zand
percmiddelz	Geïnterpoleerd aandeel aan middelmatig zand
percgrofz	Geïnterpoleerd aandeel aan grof zand
percgrind	Geïnterpoleerd aandeel aan grind

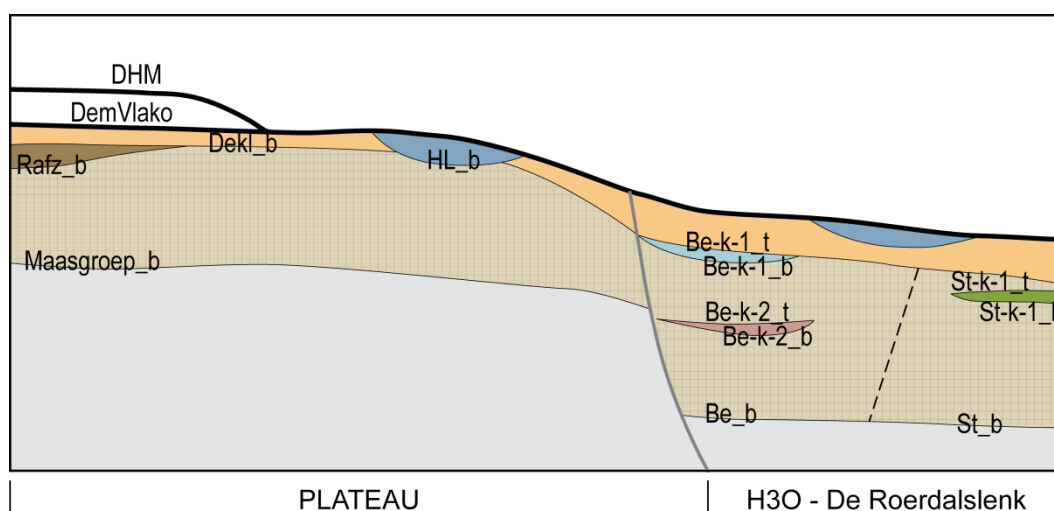
Voxels die gelegen zijn binnen de deklaag en binnen gemodelleerde kleilichamen kennen een vaste voxelwaarde, zoals hieronder weergegeven. Aan de voxels, die de zanden en grinden van Maas en Rijn vertegenwoordigen, zijn geen vaste voxelwaarden toegekend, maar geïnterpoleerde aandelen aan klei, fijn zand, middel zand, grof zand en grind. Deze aandelen zijn relatief ten opzichte van elkaar geïnterpoleerd en vormen samen telkens 1 (=100%).



Categorie	Vaste voxelwaarde
Mogelijke ophoging (DHM > DEMVLAKO)	8
Holocene kleien en lemen	7
Overige deklaag	6
RAFZ	5
Sterksel klei 1	4
Beegden klei 1	3
Beegden klei 2	2

Lagenmodel

Het 2D-grid met 1 966 123 XY-gridpunten omvat alle lagen die in het kader van het voxelmodel zijn gemodelleerd (zie figuur 1). Alle lagen zijn in hoogte (m+TAW) uitgedrukt.



Figuur 1: Lagen (25m rasters), gemodelleerd in het kader van het voxelmodel.

Het grid bestaat uit de volgende kolommen:

Kolom	Beschrijving	Bron
X	X-coördinaat	DOV
Y	Y-coördinaat	DOV
DHM	Digitaal Hoogte Model Vlaanderen, 2003	AGIV
DEM-VLAKOv2	DEM-VLAKO versie 2	G3Dv2 ²
HL_b	basis alluviale Holocene kleien en lemen	nieuw + H3O ³
DEKL_b	basis deklaag, inclusief basis Holocene kleien en lemen (= top van de Maas Groep)	nieuw + H3O
BEk1_t	top klei 1 Beegden	H3O
BEk1_b	basis klei 1 Beegden	H3O
BEk2_t	top klei 2 Beegden	H3O
BEk2_b	basis klei 2 Beegden	H3O
STk1_t	top klei 1 Sterksel	H3O
STk1_b	basis klei 1 Sterksel	H3O
RAFZ_b	basis 'RAFZ' ⁴	nieuw
BE_b	basis Beegden (= basis vd Maas Groep)	H3O
ST_b	basis Sterksel (= basis vd Maas Groep)	H3O
MAASGROEP_b	basis Quartair (= basis vd Maas Groep)	G3Dv2 + H3O

² G3Dv2: Geologisch 3D lagenmodel van Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest – versie 2 (Matthijs et al., 2013)

³ H3O – Roerdalslenk: Geologisch en hydrogeologisch 3D model van het Cenozoïcum van de Roerdalslenk in Zuidoost-Nederland en Vlaanderen (Deckers, 2014)

⁴ Bedekt Maasalluvium bestaande uit een afwisseling van kleien, leem, zand en grind. Beschreven in de [Toelichting op de Quartairgeologische kartering van kaartblad 34 Tongeren, paragraaf 3.3.1.3.4](#)

Met uitzondering van DEM-VLAKOv2 en DHM zijn de lagen binnen de Roerdalslenk afkomstig van het model "H3O-De Roerdalslenk". Aanvullend zijn ter hoogte van het Kempisch plateau basis HL, basis deklaag, basis 'RAFZ' nieuw gemodelleerd en werd de basis Quartair van G3Dv2 verfijnd.

RAFZ

Ter hoogte van kaartblad Tongeren is er tussen de eolische lemen en de Maasgrinden een bedekt alluviaal pakket onderscheiden dat bestaat uit een afwisseling van herwerkt leem, klei, zandige klei, kleiig zand en grind. Dit pakket wordt beschreven in de toelichting bij de Quartairgeologische kaart, kaartblad 34 Tongeren (Bogemans, 1996). De naam RAFZ verwijst naar de code die gebruikt is in de databank van de Quartairgeologische interpretaties.

Voorkomen

De waarde '-9999' duidt aan dat de XY-coördinaat buiten het voorkomensgebied is gelegen. Daar waar een laag volledig is ingesneden door DHM (wegens een ontginning, kanaal, snelweg, etc.) wordt de laag aangeduid met waarde '-8888'.

BoringdataTabel metadata:

Overzicht van algemene eigenschappen van de boringen die gebruikt werden als inputdata voor de modellering. 1 rij per boring.

4766 unieke boringen

Kolom	Beschrijving	Bron
Proefnr		DOV
ProefID⁵		DOV
X		DOV
Y		DOV
Z_top	De Z-waarde van de top van de boring volgens de boorbeschrijving in DOV	DOV
Z_top_model	De Z-waarde van de top van de boring die gebruikt werd tijdens de voxelmodellering (meer info over verschuiving Z-waarde: zie rapport model)	VITO
Diepte	De diepte van de boring in meter onder maaiveld	DOV
Aanvangsdatum	De datum van de plaatsing van de boring	DOV
Boring_uitvoerder	De naam van de uitvoerder van de boring	DOV
Beschrijvingsdatum	De datum van het beschrijven van de boring	DOV
Beschr_auteur	De auteur van de boorbeschrijving	DOV

⁵ Boringen zonder proefID zijn boringen afkomstig van TNO. Om voldoende datapunten te hebben ter hoogte van de Nederlandse grens werden 63 boringen van TNO mee opgenomen in de dataset

Tabel interpretatie en codering:

23182 rijen

Link tussen de intervallen van de boorbeschrijvingen, de geïnterpreteerde modeleenheden en de codering van de boorbeschrijvingen. Meerdere rijen per boring zijn mogelijk.

De kolom '**Dataset**' geeft aan of de boring gelegen is in het modelgebied van het project "H3O-De Roerdalslenk" (H3O), het Kempisch plateau (Plateau) of in Nederland (TNO)⁶.

De kolom '**Bron_interpretatie**' geeft de bron van de interpretatie aan. De interpretaties afkomstig uit H3O-gebied zijn overgenomen voor het voxelmodel. Voor de overige boringen wordt een onderscheid gemaakt tussen 'DOV' (interpretatie overgenomen van DOV), 'VITO' (interne interpretatie in het kader van het huidige project), 'quartairgeol' (interpretatie overgenomen van de quartairgeologische kartering) en 'DOV-VITO' (interpretatie gemaakt door VITO in het kader van het project "H3O-De Roerdalslenk" en in het kader van het huidige project overgenomen van DOV).

De kolom '**interpretatie**' bevat de stratigrafische interpretaties van de beschreven intervallen. Hierin worden volgende categorieën onderscheiden (in alfabetische volgorde):

- Antropogeen
- Beegden_zg (*zanden en grinden van de Beegden-formatie, gedefinieerd binnen het H3O-projectgebied, overeenkomend met de Zutendaal formatie*)
- Be-k-1 (*Beegden klei 1, gedefinieerd binnen het H3O-projectgebied*)
- Be-k-2 (*Beegden klei 2, gedefinieerd binnen het H3O-projectgebied*)
- Boxtel (*eolisch zand (duinzanden en dekzanden), gedefinieerd binnen het H3O-projectgebied*)
- Romont groep (*eolisch leem, buiten het H3O-projectgebied*)
- Formatie van Gent (*eolisch zand (duinzanden en dekzanden) buiten het H3O-projectgebied*)
- HL (*Holocene kleien en lemen*)
- Maasgroep (*omvat alle formaties van de zanden en grinden van Maas en Rijn, buiten het H3O-projectgebied*)
- Onbekend en Q_overig (*eenheden die niet konden of moesten geïnterpreteerd worden*)
- RAFZ⁷ (*een bedekt heterogeen alluviaal pakket van de Maas thv kaartblad 34, Tongeren. Het situeert zich tussen de eolische leemafdekking en de Maasgrindterrassen, gedefinieerd buiten het H3O-projectgebied en behoort tot de Maasgroep*)
- Sterksel_zg (*zanden en grinden van de Sterksel-formatie, gedefinieerd binnen het H3O-projectgebied*)
- St-k-1 (*Sterksel klei 1 (Hamont-klei), gedefinieerd binnen het H3O-projectgebied*)

⁶ Een klein aantal boringen gelegen in het projectgebied van "H3O-De Roerdalslenk" kreeg toch de annotatie "Plateau". Dit betreft o.a. boringen die nog niet in de dataset van het H3O-project aanwezig waren.

⁷ Bedekt Maasalluvium bestaande uit een afwisseling van kleien, leem, zand en grind. Beschreven in de [Toelichting op de Quartairgeologische kartering van kaartblad 34 Tongeren, paragraaf 3.3.1.3.4](#)

De kolom '**Bron_codering**' geeft aan of de codering (in HL en NL) uitgevoerd werd door de coderingsmodule van VITO of reeds in DOV aanwezig was.

De kolommen met '**HL en NL**' geven de codering van de boorbeschrijving:

De kolommen met **percentages** geven de omzetting van de codering (HL1, NL1, NL2) naar relatieve bijdragen van de voor deze modellering relevante lithologieën (klei, fijn zand, middel zand, grof zand, zand zonder gekende korrelgrootte, grind). De sleutel die hiervoor gebruikt werd bedraagt HL: 75%, NL1: 15%, NL2: 10%. In een aantal gevallen zijn deze kolommen opgevuld met '999'. Dit zijn intervallen waarbij codering niet mogelijk was (typisch toplagen met bv. teelaarde, humus, antropogeen materiaal, etc).

Kolom	Beschrijving	Bron
Proefnr		DOV
ProefID		DOV
X		DOV
Y		DOV
Z_top_model	Gebruikte hoogte van de top van de boring in het voxelmodel	DOV/VITO
Beschr_van	Startniveau van interval van beschrijving (m-mv)	DOV
Beschr_tot	Eindniveau van interval van beschrijving (m-mv)	DOV
Codering_van	Startniveau van interval van codering (m-mv)	
Codering_tot	Eindniveau van interval van codering (m-mv)	
Dataset	Onderscheid tussen: 'H3O', 'Plateau' en 'TNO'	VITO
Bron_interpr	Onderscheid tussen: 'DOV', 'VITO', 'quartaargeol' en 'DOV-VITO'	VITO
Interpretatie	Indeling van de beschrijving in één van de verschillende modeleenheden	DOV/VITO/...
Bron_codering	Onderscheid tussen 'DOV' (codering aanwezig in DOV) en 'VITO' (codering door VITO)	DOV/VITO
HL1, HL2, NL1, NL2	De codering van de verschillende lithologieën in hoofdlithologieën (HL) en nevenlithologieën (NL)	DOV/VITO
Kleur	Kleur van de afzetting	DOV/VITO
Extra	Extra informatie (glauconiethoudend, ijzerhoudend, kwartshoudend,...)	DOV/VITO
Percklei, percfinz, percmiddelz, percgrofz, percgrind	Codering van de verschillende lithologieën in percentages.	VITO