

Earth, Life & Social SciencesPrincetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

TNO-rapport**TNO 2016 R10577 | 1.3****Productspecificatie
Ondergrondmodel GeoTOP**

Datum 18 april 2016

Auteur(s) Jan Stafleu

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 55

Aantal bijlagen

Opdrachtgever

Projectnaam Voxels

Projectnummer 060.14481

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2016 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Gerelateerde documenten	5
2	Productbeschrijving (informele beschrijving)	7
2.1	Productnaam	7
2.2	Algemene beschrijving.....	7
3	Doel, gebruik en beperkingen	13
3.1	Doel en gebruik.....	13
3.2	Beperkingen.....	15
4	Gegevensmodel (formele beschrijving)	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Modelversie en modelgebiedversie	19
4.3	Geïnterpreteerde boormonsterprofielen met beschrijvings- en interpretatie- intervallen	21
4.4	Lagenmodel	25
4.5	Voxelmodel	27
4.6	Definities van eigenschappen.....	29
5	Uitgifte	33
5.1	Inleiding	33
5.2	Kaart met het dekkingsgebied van GeoTOP en de locatie van de boormonsterprofielen.....	33
5.3	Reële boorkolom met interpretaties.....	35
5.4	Virtuele boorkolom (appelboor)	36
5.5	Verticale dwarsdoorsnede (profiel) door het voxelmodel	37
5.6	Kaart van een geologische eenheid uit het lagenmodel.....	38
5.7	SubsurfaceViewer bestanden.....	38
5.8	ArcGIS bestanden met het lagenmodel.....	39
5.9	ArcGIS bestanden met horizontale doorsneden	40
5.10	Kosten.....	41
6	Kwaliteitsaspecten	43
6.1	Algemeen.....	43
6.2	Aansluiting van modelgebieden.....	43
6.3	Boormonsterprofielen	44
6.4	Verbreidingen	46
6.5	Lagenmodel	46
6.6	Voxelmodel	48
7	Metadata	49
7.1	Identificatie.....	49
7.2	Uitgiftedatum.....	49
7.3	Resolutie	49
7.4	Gebruiksschaal	49
7.5	Gebiedsaanduiding.....	49
7.6	Horizontale begrenzing.....	51
7.7	Verticale begrenzing	51

7.8	Horizontaal referentiesysteem.....	51
7.9	Verticaal referentiesysteem	51
7.10	Brongegevens.....	51
7.11	Opdrachtgever	51
7.12	Juridische aspecten	52
7.13	Veiligheid	52
7.14	Contactgegevens.....	52
8	Literatuur	53
9	Ondertekening	55

1 Inleiding

Deze productspecificatie beschrijft het ondergrondmodel GeoTOP, versie 1.3, van TNO – Geologische Dienst Nederland. Op basis van deze specificatie kan de lezer beslissen of, en zo ja hoe, het ondergrondmodel voor zijn of haar toepassing gebruikt kan worden.

Het document start met een algemene beschrijving van GeoTOP (hoofdstuk 2). Dit hoofdstuk is een informele inleiding bedoeld om de lezer een eerste indruk van het ondergrondmodel te geven. Het gaat in op het raamwerk van de lithostratigrafie, de indeling in lithoklassen en de (toekomstige) koppeling met fysisch-chemische parameters. Ook wordt een voorbeeld gegeven van de modelonzekerheden die in GeoTOP zijn opgenomen.

Hoofdstuk 3 beschrijft doel, gebruik en beperkingen van GeoTOP als gebruiksproduct.

In hoofdstuk 4 wordt het gegevensmodel van GeoTOP beschreven: de onderdelen waaruit het product is opgebouwd en een beschrijving van de entiteiten en attributen. Dit hoofdstuk is de formele beschrijving van het ondergrondmodel.

De manier waarop het ondergrondmodel aan de gebruikers ter beschikking wordt gesteld wordt besproken in hoofdstuk 5. De uitgifte omvat zowel online-visualisaties op DINOloket als te bestellen software en databestanden.

Hoofdstuk 6 beschrijft belangrijke kwaliteitsaspecten van het ondergrondmodel.

De productspecificatie wordt afgesloten met een overzicht van de formele metadata (hoofdstuk 7).

1.1 Gerelateerde documenten

Het rapport GeoTOP modellering (Stafleu et al., 2012) bevat een gedetailleerde beschrijving van GeoTOP: het beschrijft wat GeoTOP is, op welke brongegevens het is gebaseerd en hoe het gemaakt wordt (procesbeschrijving). Ook worden de uit GeoTOP afgeleide producten beschreven die (vrijwel) direct toepasbaar zijn bij het analyseren en oplossen van ondergrondvraagstukken.

Een wetenschappelijke publicatie over GeoTOP behandelt het modelgebied Zeeland en gaat o.a. uitvoerig in op de gebruikte stochastische interpolatietechnieken (Stafleu et al., 2011).

Andere, met GeoTOP verwante ondergrondmodellen van TNO zijn DGM (Gunnink et al., 2013), REGIS II (Vernes & van Doorn, 2005) en Delfstoffen Online (Van der Meulen et al., 2005). Een vergelijking tussen GeoTOP en Delfstoffen Online is te vinden in Maljers et al. (2015).

In GeoTOP versie 1.3 zijn twee nieuwe maten van modelonzekerheid aan het voxelmodel toegevoegd. Een uitgebreide toelichting op deze nieuwe attributen is te vinden in het document "Modelonzekerheid in GeoTOP" op DINOloket (TNO, 2014a; www.dinoloket.nl/meer-weten-over-geotop).

2 Productbeschrijving (informele beschrijving)

2.1 Productnaam

Deze productspecificatie beschrijft het ondergrondmodel GeoTOP, versie v01r3, van TNO – Geologische Dienst Nederland.

2.2 Algemene beschrijving

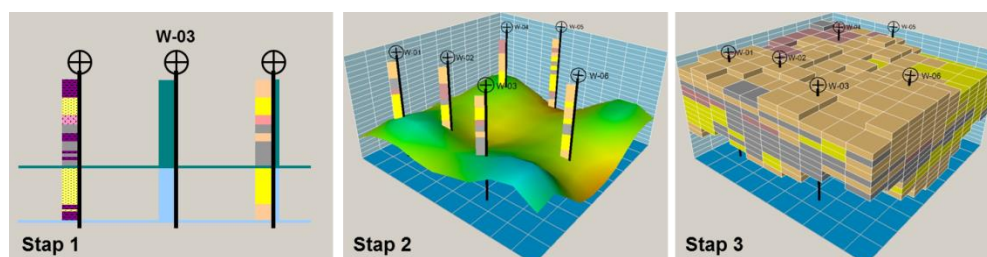
Voor een duurzaam gebruik en beheer van de ondergrond is informatie over de opbouw en eigenschappen van de ondergrond essentieel. TNO – Geologische Dienst Nederland levert deze informatie o.a. in de vorm van digitale ondergrondmodellen. Eén van deze ondergrondmodellen is GeoTOP dat een schatting geeft van de geometrie en eigenschappen van de ondergrond tot een diepte van maximaal 50 m onder NAP. Dit is het deel van de bodem dat door de mens het meest intensief wordt benut.

In GeoTOP is de ondergrond onderverdeeld in een regelmatig grid van aaneengesloten voxels (volumezellen) van 100 bij 100 m in de horizontale richtingen en 0,5 m in de verticaal. Aan elke voxel zijn eigenschappen gekoppeld. Dit zijn de lithostratigrafische c.q. geologische eenheid waartoe de voxel behoort, de lithoklasse (de grondsoort, bijvoorbeeld zand, veen en klei) die representatief is voor de voxel en een aantal attributen die tezamen een maat van modelonzekerheid vormen. De twee eigenschappen lithostratigrafie en lithoklasse worden hieronder toegelicht: -

- **Lithostratigrafie** betekent het rangschikken van gesteentelagen in eenheden zoals formaties en laagpakketten op basis van lithologische kenmerken (waaruit bestaat het materiaal?), verbreiding (waar komt de eenheid voor?) en positie (wat is de ligging ten opzichte van andere eenheden?). Om praktische redenen die later worden beschreven wordt in GeoTOP de term **geologische eenheid** gebruikt in plaats van lithostratigrafische eenheid.
- Lithologische kenmerken worden in GeoTOP weergegeven door middel van **lithoklassen**, waarin lithologie (grondsoort) en zandkorrelgrootteklassen zijn gecombineerd in één legenda.

Het belangrijkste uitgangspunt voor GeoTOP zijn de boormonsterprofielen in de DINO-databank. Elk van deze boormonsterprofielen geeft vaak gedetailleerde informatie over de opbouw van de ondergrond op één specifieke locatie. Uit het feit dat we de beschikking hebben over circa 425.000 boormonsterprofielen op een oppervlak van 41.000 km², kunnen we afleiden dat aan het aardoppervlak iets meer dan 10% van de voxels doorboord is. Met de diepte neemt dit percentage snel af. Dit betekent dat we voor verreweg de meeste voxels in het model een schatting moeten maken op basis van in de omgeving van de voxel aanwezige boormonsterprofielen. Dit wordt gedaan met behulp van stochastische interpolatietechnieken.

De eerste stap in het constructieproces van GeoTOP is de interpretatie van boormonsterprofielen (Figuur 2.1).



Figuur 2.1: De belangrijkste stappen in het constructieproces van GeoTOP. Stap 1 – interpreteren van boorbeschrijvingen; stap 2 – modelleren van stratigrafische grensvlakken (lagenmodel); stap 3 – modelleren van lithoklassen (voxelmodel).

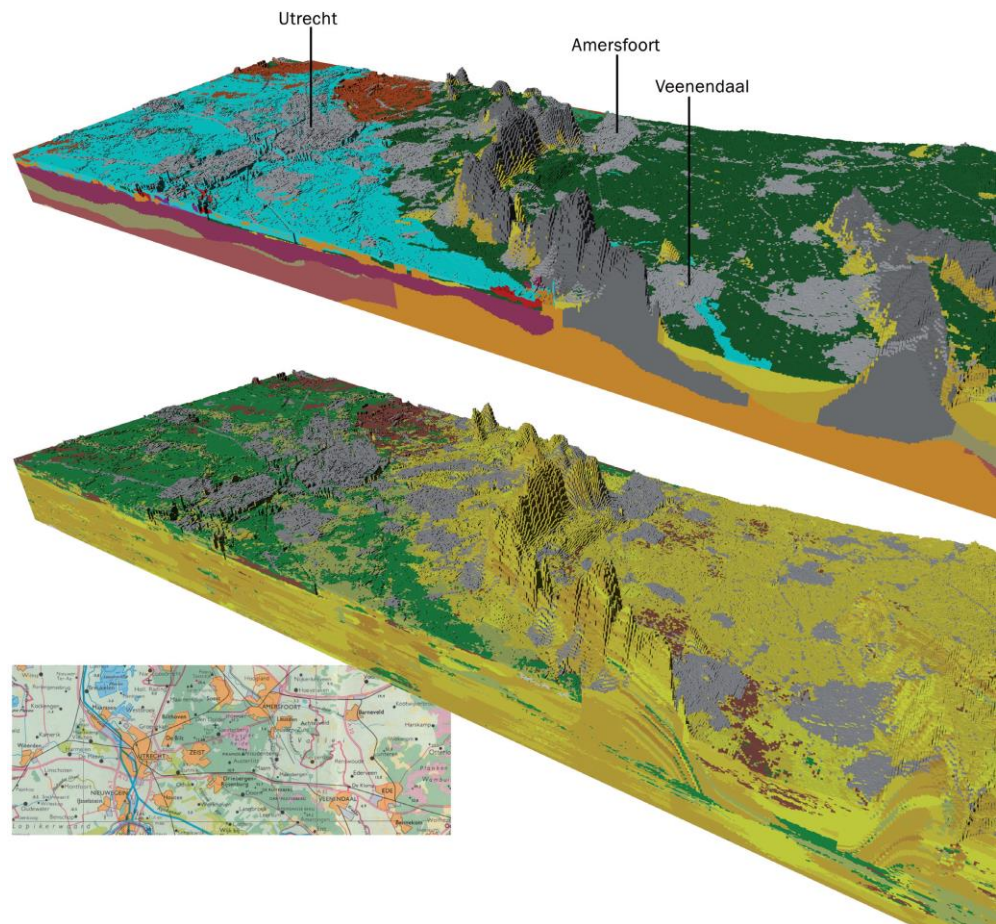
Deze interpretatie omvat het onderverdelen van de boormonsterprofielen in geologische eenheden en in lithoklasse-eenheden. In de tweede modelleerstep worden grensvlakken geconstrueerd. Deze vlakken vormen de boven- en onderkant van de geologische eenheden. Elke voxel in het model kan nu eenvoudig aan de juiste geologische eenheid worden gekoppeld. In de derde en laatste stap worden stochastische interpolatietechnieken gebruikt om de voxels ook aan een lithoklasse te koppelen.

Voxels gevuld met geologische eenheden en lithoklassen worden geïllustreerd in een deel van het GeoTOP model in de omgeving van Utrecht en de Gelderse Vallei (Figuur 2.2a en b). In het lithoklassenmodel is onder meer de opbouw met grof zand en grind van de gestuwde lagen rond de vallei zichtbaar. Ook de scheefstelling door het ijs van de oorspronkelijk vrijwel horizontaal afgezette sedimenten komt goed tot uiting in het 3D model. Het model kan gesneden worden met vlakken op bepaalde diepten, waardoor inzicht wordt verkregen in de variatie in lithologie op die diepten. Als voorbeeld zijn twee horizontale doorsneden afgebeeld van de bodem in Zuid-Holland waaruit duidelijk de verschillen in grondsoort en korrelgrootte van de laat-pleistocene en holocene afzettingen valt af te lezen (Figuur 2.3).

Het gebruik van stochastische interpolatietechnieken in de modellering maakt het mogelijk om voor elke voxel een kans op een bepaalde lithoklasse te berekenen. Deze kansen zijn een maat voor de onzekerheid in het model. Figuur 2.4 laat dit zien voor de komafzettingen van de Rijn in de Formatie van Echteld nabij Wijk bij Duurstede. De kleuren geven aan wat de kans is dat een voxel de lithoklasse ‘klei’ bevat. Op enige afstand van de rivierlopen is de kans hoog (rood is een kans van 100%). Naarmate we dichterbij de rivierlopen komen laten de groene en blauwe kleuren zien dat de kans snel terugloopt. Hier is de kans op kleiig zand en zand veel groter. Dit patroon, waar zand in en nabij de rivierlopen wordt afgezet en klei in de komgebieden, is kenmerkend voor de holocene rivierafzettingen in Nederland.

In de toekomst zullen ook fysisch en chemisch meetbare parameters in GeoTOP worden opgenomen. Het meetprogramma is zo ingericht dat de resultaten gekoppeld kunnen worden aan de geologische eenheden en lithoklassen in het model. Zo ontstaat een gedetailleerd driedimensionaal beeld van de ruimtelijke variabiliteit van de parameterwaarden in de ondergrond. Voorbeelden van parameters zijn de horizontale en verticale doorlatendheid, van belang voor grondwaterstudies, en reactiviteit van het sediment, van belang voor het modelleren van vervuilingsspluimen. De keuze van parameters wordt afgestemd op de wensen en behoeften van de huidige en potentiële gebruikers van GeoTOP.

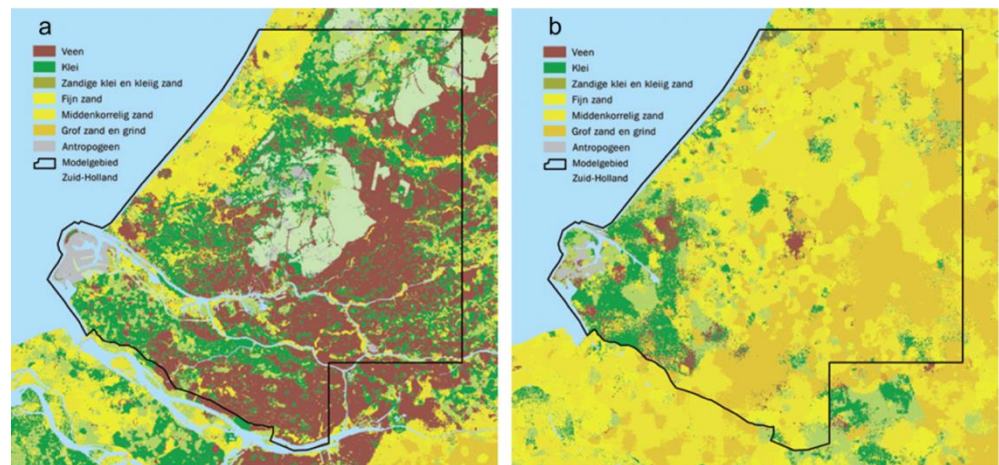
GeoTOP wordt regio-gewijs gemaakt: op dit moment zijn de modelresultaten van de modelgebieden (regio's) Zeeland, Goeree-Overflakkee, Zuid-Holland, Noord-Holland, het Rivierengebied, Westelijke Wadden en Oostelijke Wadden beschikbaar. GeoTOP dekt daarmee circa 57% van Nederland af.



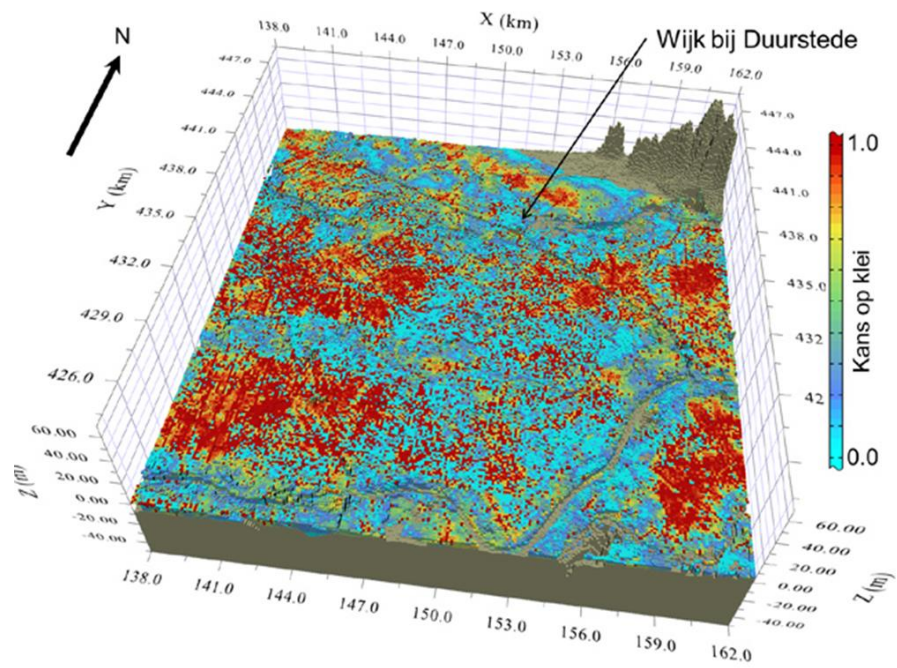
Figuur 2.2a: Impressie van GeoTOP: Deel van het GeoTOP model met links Utrecht, in het midden de Utrechtse Heuvelrug en rechts de Gelderse Vallei. De bovenste figuur laat geologische eenheden zien; de onderste de lithoklasse indeling. Voor een legenda zie Figuur 2.2b. Het weergegeven blok meet 62 bij 24 km; de basis ligt op 50 m onder NAP en de verticale schaal is 75 keer overdreven.



Figuur 2.2b: Legenda bij Figuur 2.2a.



Figuur 2.3: Variatie in lithoklassen op diepten van 5 (a) en 20 m (b) onder NAP in modelgebied Zuid-Holland.



Figuur 2.4: Kans op het voorkomen van klei in de komgebieden ten zuiden van Wijk bij Duurstede.

3 Doel, gebruik en beperkingen

3.1 Doel en gebruik

GeoTOP geeft een schatting van de geometrie en een aantal eigenschappen van de ondergrond van het vasteland van Nederland tot een diepte van maximaal 50 m onder NAP. In GeoTOP is zoveel mogelijk van de beschikbare gegevens van en aanwezige kennis over de Nederlandse ondiepe ondergrond samengevat in geïnterpreteerde boormonsterprofielen, een lagenmodel en een voxelmodel die via DINOloket (www.dinoloket.nl) te raadplegen en te bestellen zijn.

GeoTOP is een subregionaal ondergrondmodel met een gebruiksschaal die past bij toepassingen op provinciaal, gemeentelijk of wijkniveau. Deze gebruiksschaal is vergelijkbaar met de schaal van 1:50.000 die bij Geologische Kaart van Nederland, een voorloper van GeoTOP, gehanteerd werd. Bij ondergrondvraagstukken op een grotere schaal (straatniveau of individuele gebouwen) kan GeoTOP dienen als raamwerk waarbinnen meer detail kan worden aangebracht.

GeoTOP is breed toepasbaar in verschillende toepassingen waarbij de ondiepe ondergrond een rol speelt. Hieronder volgt een aantal voorbeelden van gebruik.

3.1.1 *Algemeen gebruik als 3D geologische kaart*

GeoTOP kan gezien worden als een driedimensionale geologische kaart en daarmee als een opvolger van de papieren 1:50.000 Geologische Kaart van Nederland. Het algemene gebruik wordt ondersteund door diverse visualisaties op DINOloket (hoofdstuk 5) waarmee de gebruiker zich een goed 3D-beeld van de opbouw en de eigenschappen van de ondergrond kan vormen. Bij een gedetailleerde kartering van de ondergrond, bijvoorbeeld op een bouwlocatie, kan GeoTOP als raamwerk dienen. De bij een detailkartering benodigde onderdelen van GeoTOP, met name het lagenmodel en het voxelmodel, zijn als GIS-bestanden via DINOloket verkrijgbaar.

3.1.2 *Grondwatermodellering*

De ruimtelijke variatie in fysisch meetbare eigenschappen in de ondergrond, zoals de doorlatendheid voor grondwater, is in belangrijke mate afhankelijk van de twee in GeoTOP gemodelleerde eigenschappen geologische eenheid en lithoklasse. Zand heeft uiteraard een andere doorlatendheid dan klei, maar klei in de ene geologische eenheid heeft ook een andere doorlatendheid dan klei in een andere geologische eenheid. Door aan de combinatie van geologische eenheid en lithoklasse doorlatendheden te koppelen kan GeoTOP dienen als input voor een grondwaterstromingsmodel.

Voor regionale grondwaterstromingsmodellen die gebaseerd zijn op het hydrogeologische lagenmodel REGIS II (Vernes & Van Doorn, 2005) fungeert GeoTOP als detaillering van de bovenste 30 m. Dit geldt in het bijzonder voor de holocene afzettingen, die in REGIS II gekarteerd zijn als één hydrogeologische eenheid 'Holoceen complex'. In GeoTOP is het holocene pakket gedetailleerd gekarteerd in verschillende laagpakketten, lagen en geulsystemen, elk met hun eigen hydraulische eigenschappen.

GeoTOP is niet direct geschikt voor een lokaal grondwatermodel, bijvoorbeeld rondom een grondwateronttrekking. Het kan wel dienen als raamwerk voor het construeren van een gedetailleerd, lokaal grondwatermodel waarbij aanvullende gegevens van lokale boorbeschrijvingen of sonderingen betrokken worden. Een voorbeeld is de geohydrologische modellering van de Zuiderzee regio (het AZURE grondwatermodel) dat gebruik maakt van het GeoTOP model Rivierengebied (www.azuremodel.nl).

3.1.3 *Geotechniek*

In de planningsfase van grote infrastructurele werken, bijvoorbeeld de aanleg van tunnels en snelwegen, geeft GeoTOP inzicht in de te verwachten draagkracht van de ondergrond. Met name in het westen van het land zijn de diepteligging van het pleistocene zand, de samenstelling van het holocene pakket en de ligging en dikte van zandige geulsystemen belangrijke parameters bij het maken van een kostenschatting en het plannen van aanvullend bodemonderzoek. De te verwachten samenstelling van de ondergrond zal verder een factor kunnen zijn bij de tracékeuze.

Uiteindelijk zal bij elk infrastructureel project aanvullend, lokaal bodemonderzoek nodig zijn. De schaal van GeoTOP is niet geschikt voor de uitvoeringsfase van een infrastructureel project.

3.1.4 *Bodemdaling*

Bodemdaling als gevolg van inklinking van klei en oxidatie van veen is sterk afhankelijk van de lithologische samenstelling van de ondiepe ondergrond en van de grondwaterspiegel. GeoTOP is daarom zeer geschikt om te gebruiken bij het voorspellen van bodemdaling op lange termijn en wordt daar ook voor gebruikt. Hierbij geldt dezelfde aantekening als bij de andere toepassingen: de op GeoTOP gebaseerde bodemdaling geeft trends weer op regionale schaal en zijn niet bedoeld voor lokale situaties. De bodemdalingskaart van Flevoland (De Lange et al., 2012) is een voorbeeld van zo'n voorspelling en is gebaseerd op het NL3D voxelmodel van TNO. Daarnaast is er een bodemdalingskaart in de provincie Utrecht gemaakt op basis van GeoTOP (Van de Schans, 2012).

3.1.5 *Delfstofwinning*

GeoTOP biedt inzicht in het voorkomen van de oppervlakedelfstoffen zand en grind in de ondergrond. Ook kan uit GeoTOP worden afgeleid hoeveel onbruikbare deklaag (bijvoorbeeld klei) er afgegraven moet worden om de delfstof te bereiken. TNO – Geologische Dienst Nederland publiceert al geruime tijd interactieve delfstofkaarten onder de naam Delfstoffen Online (www.delfstoffenonline.nl; Van der Meulen et al., 2005). GeoTOP wordt gebruikt om deze delfstofkaarten te verbeteren (Maljers et al., 2015).

3.1.6 *Baggerwerkzaamheden*

Bij baggerwerkzaamheden in rivieren zoals de Utrechtse Vecht is er een risico op het optreden van hydraulische kortsluiting ("lekkage", met als gevolg daarvan binnendijkse kwel). De geometrie en samenstelling van de holocene zandbanen in GeoTOP kunnen gebruikt worden om te bepalen in welke delen van een rivierloop dit risico groot is, en waar aanvullend bodemonderzoek noodzakelijk is.

3.1.7 *Wetenschap*

GeoTOP ondersteunt wetenschappelijk onderzoek naar bijvoorbeeld zandkorrelgroottetrends in de holocene Rijn-Maas delta (Stafleu & Busschers, 2014). Ook ontstaan bij het analyseren van de 3D beelden van GeoTOP, bijvoorbeeld met de SubsurfaceViewer (zie paragraaf 5.7), nieuwe inzichten in de geologie van Nederland. Een voorbeeld, overigens aan de hand van NL3D, wordt uitgewerkt in Busschers et al. (in voorbereiding).

3.2 **Beperkingen**

GeoTOP is nog in ontwikkeling en daarmee nog niet landsdekkend. Voor delen van het land waar GeoTOP niet beschikbaar is kan gebruik gemaakt worden van NL3D (Nederland 3D), een landsdekkend voxelmodel met een lagere resolutie (voxels van 250 bij 250 bij 1 m) dan GeoTOP.

Zoals in de vorige paragraaf aan de hand van voorbeelden is geïllustreerd, is GeoTOP niet geschikt voor gebruik op lokale schaal, zoals bijvoorbeeld bouwlocaties, individuele huizen of huizenblokken, en waterkeringen. Om een goede schatting van de geometrie en de eigenschappen van de ondergrond op een lokale schaal te kunnen geven zullen vrijwel altijd aanvullende gegevens nodig zijn.

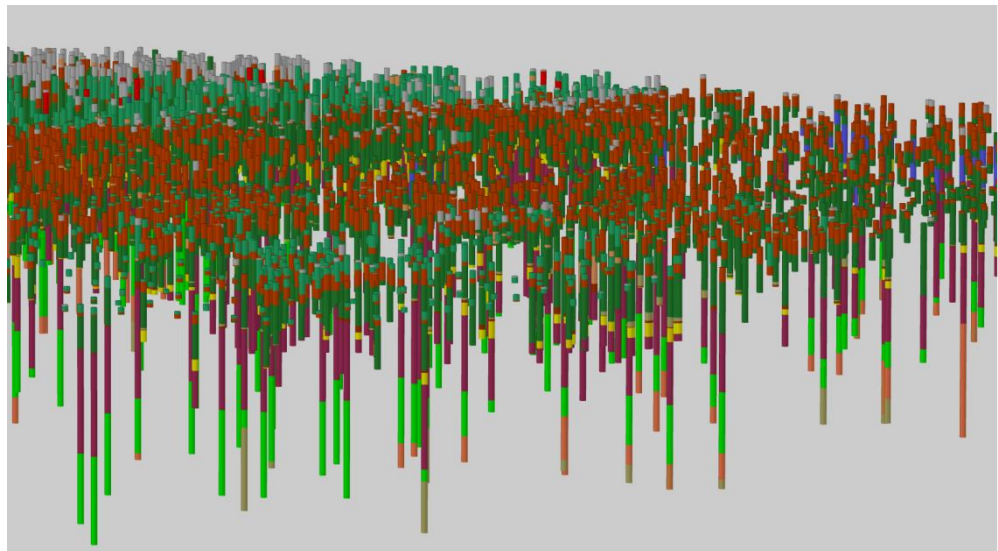
4 Gegevensmodel (formele beschrijving)

4.1 Inleiding

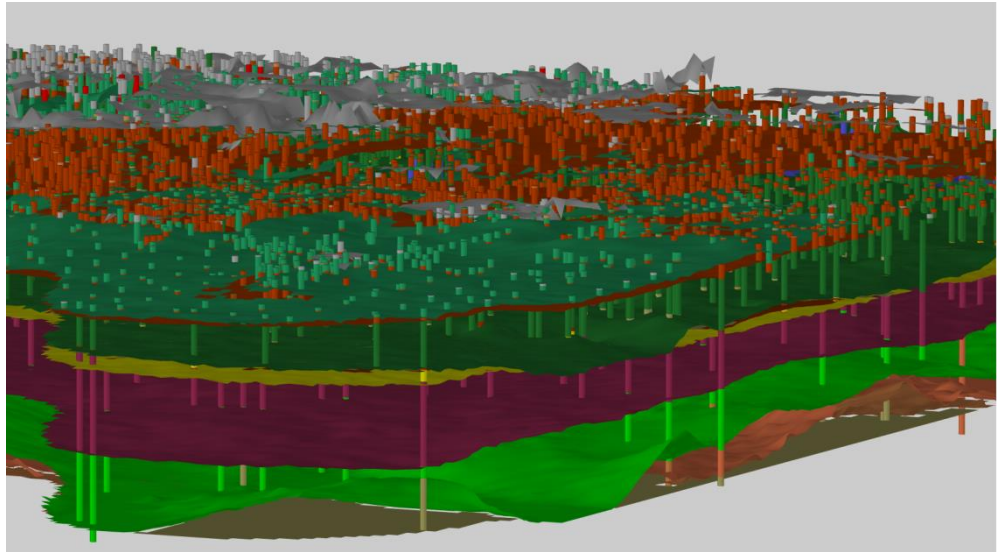
GeoTOP bestaat uit de volgende beschreven producten en tussenproducten die ontstaan uit een gestandaardiseerd werkproces:

- De interpretatie van de boormonsterprofielen in **geologische eenheden** en in **lithoklasse-eenheden**. Elk boormonsterprofiel wordt onderverdeeld in intervallen van gelijke geologische eenheid. Daarbinnen worden de intervallen verder opgedeeld in intervallen van een gelijke lithoklasse.
- Een **lagenmodel**, vergelijkbaar met de lagenmodellen DGM en REGIS II, maar gebaseerd op veel meer boormonsterprofielen. In het lagenmodel wordt de ondergrond weergegeven als een stapeling van geologische eenheden die begrensd worden door een top- en een basisvlak. Beide vlakken worden weergegeven als een **raster** met cellen van 100 x 100 m. Elke **rastercel** heeft de diepteligging van top respectievelijk basis in m onder NAP als attribuut. Uit de top- en basisrasters wordt een dikteraster afgeleid met de dikte van de geologische eenheid in m. Tot slot zijn er voor zowel top als basis standaarddeviatierasters beschikbaar die de modelonzekerheid van het lagenmodel representeren.
- Het eigenlijke **voxelmodel** waarbij de ondergrond in voxels van 100 x 100 x 0,5 m ingedeeld is. Elke **voxel** heeft een aantal attributen, namelijk de geologische eenheid, de lithoklasse en een aantal attributen die tezamen een maat van modelonzekerheid vormen.

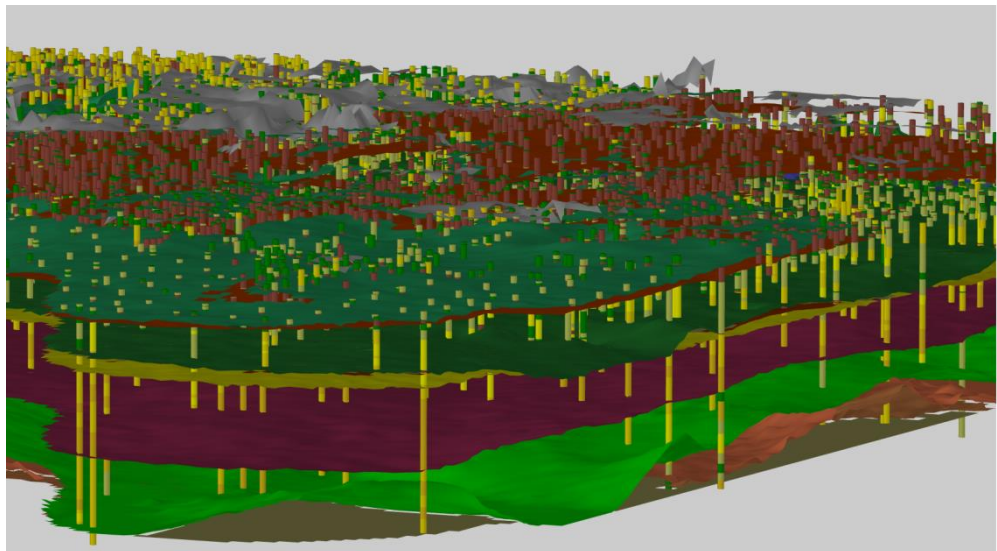
De onderlinge samenhang van geïnterpreteerde boormonsterprofielen, lagenmodel en voxelmodel is geïllustreerd in Figuur 4.1 – 4.4.



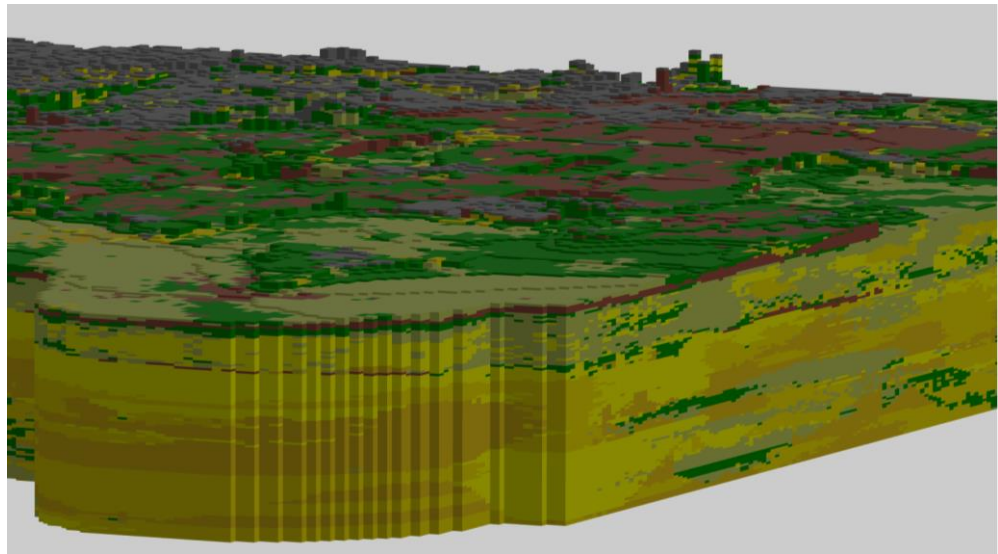
Figuur 4.1: 3D weergave van boormonsterprofielen waarbij de kleuren verschillende geologische eenheden weergeven.



Figuur 4.2: 3D weergave van een lagenmodel gebaseerd op de geïnterpreteerde boormonsterprofielen van Figuur 4.1. Van het lagenmodel zijn alleen de basisvlakken weergegeven. Elk basisvlak is het resultaat van een ruimtelijke interpolatie van de in de boormonsterprofielen aangetroffen basissen van de betreffende geologische eenheid.



Figuur 4.3: 3D weergave van het lagenmodel van Figuur 4.2 waarbij de kleuren in de boormonsterprofielen nu de lithoklasse weergeven. (Geel in de lithoklasse-indeling is zand (hoe donkerder de kleur, hoe grover de korrels); groen is klei; olijfgroen is kleig zand en zandige klei; bruin is veen.)



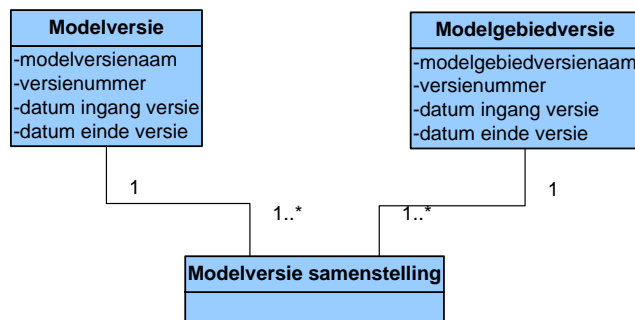
Figuur 4.4: 3D weergave van een voxelmodel waarbij de kleuren van de voxels de lithoklasse weergeven. De lithoklasse indeling in de voxels is het resultaat van een ruimtelijke interpolatie van de lithoklassen in de geïnterpreteerde boormonsterprofielen. (Geel in de lithoklasse indeling is zand (hoe donkerder de kleur, hoe grover de korrels); groen is klei; olijfgroen is kleig zand en zandige klei; bruin is veen.)

Een ander belangrijk aspect van GeoTOP is dat het is opgedeeld in **modelgebieden**. GeoTOP wordt niet in één keer landelijk samengesteld maar regio-gewijs ontwikkeld in een langlopend project met een werkplan vanaf 2007. Ruwweg een keer per jaar wordt een nieuw modelgebied opgeleverd. GeoTOP heeft zich in de eerste jaren (2007 – 2010) gericht op modelgebieden in Zuidwest Nederland (Zeeland, Goeree-Overflakkee en Zuid-Holland). In 2011 zijn Noord-Holland, Utrecht en het Rivierengebied van Rijn en Maas gereedgekomen. Sinds 2012 wordt gewerkt aan Noord Nederland met de modelgebieden Westelijke Wadden (2014) en Oostelijke Wadden (2016)

Op GeoTOP is **versiebeheer** van toepassing. Het versiebeheer geldt zowel voor individuele modelgebieden als voor GeoTOP als geheel. Een versie van GeoTOP is een samenstelling van meerdere versies van modelgebieden.

4.2 Modelversie en modelgebiedversie

4.2.1 Diagram



Figuur 4.5: Diagram van het gegevensmodel met modelversie, modelgebiedversie en modelversie- samenstelling.

4.2.2 *Modelversie*

Definitie	Een versie van het ondergrondmodel GeoTOP, bestaande uit één of meer modelgebiedversies .
Relaties	Een modelversie is samengesteld uit één of meer modelgebiedversies , zoals vastgelegd in modelversie-samenstelling .
Attribuut	Omschrijving
Modelversienaam	Naam van de modelversie. De huidige versie heeft als naam "GeoTOP"
Versienummer	Versienummer. De huidige versie heeft als nummer "v01r3"
Datum ingang versie	Eerste dag waarop de modelversie actueel is.
Datum einde versie	Laatste dag waarop de modelversie actueel is. De huidige versie heeft (nog) geen einddatum.

4.2.3 *Modelgebiedversie*

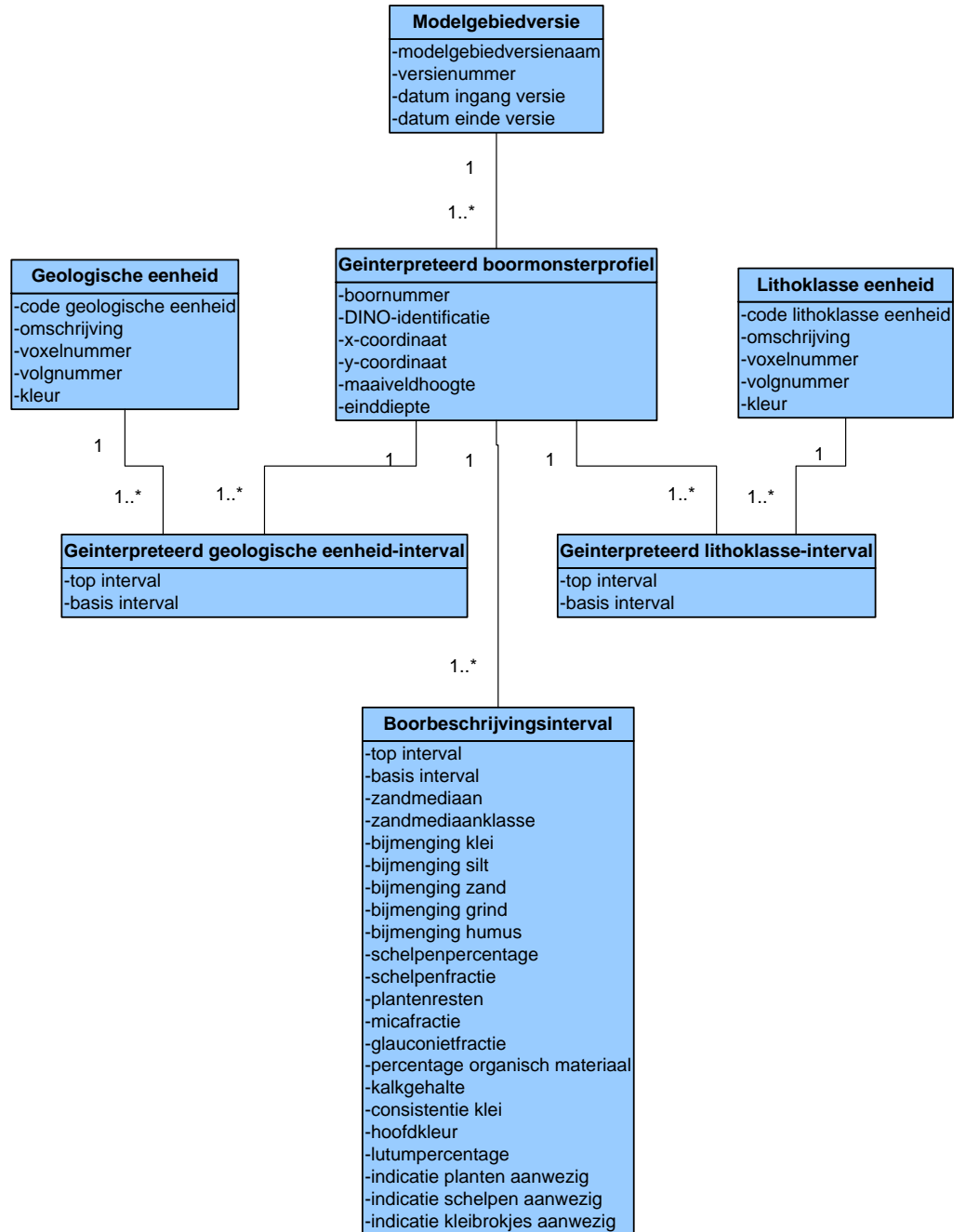
Definitie	Een versie van een modelgebied.
Relaties	Een modelgebiedversie maakt deel uit van één of meer modelversies , zoals vastgelegd in modelversie samenstelling .
Attribuut	Omschrijving
Modelgebied-versienaam	Naam van de modelgebiedversie. Bijvoorbeeld "Rivierengebied".
Versienummer	Versienummer. Bijvoorbeeld "v01r3".
Datum ingang versie	Eerste dag waarop de modelgebiedversie actueel is.
Datum einde versie	Laatste dag waarop de modelgebiedversie actueel is.

4.2.4 *Modelversie-samenstelling*

Definitie	De modelversie samenstelling geeft aan uit welke modelgebiedversies een modelversie is samengesteld.
Relaties	Een modelversie is samengesteld uit één of meer modelgebiedversies . Een modelgebiedversie maakt deel uit van één of meer modelversies .
Attribuut	Omschrijving
Modelversie	Verwijzing naar de modelversie .
Modelgebiedversie	Verwijzing naar de modelgebiedversie .

4.3 Geïnterpreteerde boormonsterprofielen met beschrijvings- en interpretatie-intervallen

4.3.1 Diagram



Figuur 4.6: Diagram van het gegevensmodel met modelgebiedversie, geïnterpreteerde boormonsterprofielen en bijbehorende beschrijvings- en interpretatie-intervallen.

4.3.2 *Geïnterpreteerd boormonsterprofiel*

Definitie	Een in een modelgebiedversie gebruikt boormonsterprofiel waarbij een interpretatie in geologische eenheden en in lithoklassen is gemaakt.
Relaties	Bij een geïnterpreteerd boormonsterprofiel horen één of meer boorbeschrijvingsintervallen , 1 of meer geïnterpreteerde geologische eenheid-intervallen en 1 of meer geïnterpreteerde lithoklasse-intervallen . Een geïnterpreteerd boormonsterprofiel hoort bij één modelgebiedversie .
Attribuut	Omschrijving
Modelgebiedversie	Verwijzing naar de modelgebiedversie .
Boornummer	NITG-nummer van het boormonsterprofiel.
DINO-identificatie	Verwijzing naar het corresponderende boormonsterprofiel in de DINO-databank.
X-coördinaat	X-coördinaat in het Rijksdriehoekstelsel van de ligging van het boormonsterprofiel.
Y-coördinaat	Y-coördinaat in het Rijksdriehoekstelsel van de ligging van het boormonsterprofiel.
Maaiveldhoogte	Hoogte van het maaiveld c.q. de waterbodem ter plaatse van het boormonsterprofiel in mm ten opzichte van NAP.
Einddiepte	De diepte waar tot geboord is in mm gerekend vanaf de bovenkant van het boormonsterprofiel.

4.3.3 *Toelichting*

Bij het construeren van een modelgebiedversie wordt op een zeker moment een momentopname ('snapshot') gemaakt van de boormonsterprofielen en de bijbehorende boorbeschrijvingsintervallen in de DINO-databank. De interpretaties van de boormonsterprofielen worden vervolgens gebaseerd op deze momentopname. Alle wijzigingen die na de momentopname in de DINO-databank worden aangebracht, zullen daarom niet zichtbaar zijn in de betreffende modelgebiedversie. Wel is er een relatie tussen het boormonsterprofiel in de momentopname en het boormonsterprofiel in de DINO-databank (attribuut DINO-identificatie), zodat indien gewenst de momentopname vergeleken kan worden met de actuele situatie in DINO.

4.3.4 *Boorbeschrijvingsinterval*

Definitie	Boorbeschrijvingsinterval van een in een modelgebiedversie geïnterpreteerd boormonsterprofiel .
Relaties	Een boorbeschrijvingsinterval maakt deel uit van een geïnterpreteerd boormonsterprofiel .

Attribuut	Omschrijving
Boornummer	Verwijzing naar het geïnterpreteerde boormonsterprofiel waartoe het beschreven interval behoort.
Top interval	Top van het interval in mm vanaf de bovenkant van het boormonsterprofiel.
Basis interval	Basis van het interval in mm vanaf de bovenkant van het boormonsterprofiel.
Zandmediaan	De korrelgrootte in μm , waarbij de zandfractie op basis van gewicht in twee delen van 50% is verdeeld. Bij het beschrijven wordt dit kenmerk als zandmediaan (getal) en als klasse waarin deze mediaan valt (zandmediaanklasse) vastgelegd.
Zandmediaanklasse	Vastlegging van de zandmediaan als klasse waarin deze mediaan valt.
Bijmenging klei	Code die de mate van bijmenging van klei aangeeft.
Bijmenging silt	Code die de mate van bijmenging van silt aangeeft.
Bijmenging zand	Code die de mate van bijmenging van zand aangeeft.
Bijmenging grind	Code die de mate van bijmenging van grind aangeeft.
Bijmenging humus	Code die de mate van bijmenging van humeus materiaal aangeeft.
Schelpenpercentage	Geschatte gewichtspercentage van de schelpenfractie (schelpen ≥ 2 mm).
Schelpenfractie	Code die het volume-aandeel van schelpmateriaal (inclusief schelpgruis) aangeeft.
Plantenresten	Code die het volume-aandeel van het plantenmateriaal aangeeft.
Micafractie	Code die het percentage glimmer aangeeft.
Glauconietfractie	Code die het percentage glauconiet aangeeft.
Percentage organisch materiaal	Geschatte gewichtspercentage van het percentage organische stof.
Kalkgehalte	Code die het kalkgehalte aangeeft.
Consistentie klei	Code die de consistentie van klei aangeeft.
Hoofdkleur	Overheersende kleur.
Lutumpercentage	Geschatte gewichtspercentage van de minerale delen, voornamelijk kleimineralen, met een korrelgrootte kleiner dan 2 μm .
Indicatie planten aanwezig	Indicatie (J/N) of er plantenresten aanwezig zijn.
Indicatie schelpen aanwezig	Indicatie (J/N) of er schelpen aanwezig zijn.
Indicatie kleibrokjes	Indicatie (J/N) of er kleibrokjes aanwezig zijn.

aanwezig	
----------	--

4.3.5 *Geïnterpreteerd geologische eenheid-interval*

Definitie	Interpretatie van een in GeoTOP gebruikt boormonsterprofiel als opeenvolging van boorbeschrijvingsintervallen van gelijke geologische eenheid .
Relaties	Een geïnterpreteerd geologische eenheid-interval hoort bij één geïnterpreteerd boormonsterprofiel en bij één geologische eenheid . Een niet in het gegevensmodel weergegeven relatie is dat een geologische eenheid-interval een interpretatie is van 1 of meerdere opeenvolgende, aaneengesloten boorbeschrijvingsintervallen en dat een boorbeschrijvingsinterval altijd tot precies 1 geologische eenheid hoort. Verder geldt dat een geologische eenheid in 1 of meer lithoklasse-intervallen is onderverdeeld en dat een lithoklasse-interval altijd deel uit maakt van 1 geologische eenheid-interval.
Attribuut	Omschrijving
Boornummer	Verwijzing naar het geïnterpreteerde boormonsterprofiel waartoe het geologische eenheid-interval behoort.
Top interval	Top van het interval in mm vanaf de bovenkant van het boormonsterprofiel.
Basis interval	Basis van het interval in mm vanaf de bovenkant van het boormonsterprofiel.
Geologische eenheid	Verwijzing naar de geologische eenheid van het interval.

4.3.6 *Geïnterpreteerd lithoklasse-interval*

Definitie	Interpretatie van een in GeoTOP gebruikt boormonsterprofiel als opeenvolging van boorbeschrijvingsintervallen van gelijke lithoklasse .
Relaties	Een geïnterpreteerd lithoklasse-interval hoort bij één geïnterpreteerd boormonsterprofiel en bij één lithoklasse . Een niet in het gegevensmodel weergegeven relatie is dat een lithoklasse-interval een interpretatie is van 1 of meerdere opeenvolgende, aaneengesloten boorbeschrijvingsintervallen en dat een boorbeschrijvingsinterval altijd tot precies 1 lithoklasse-eenheid hoort. Verder geldt dat een lithoklasse-interval altijd deel uit maakt van 1 geologische eenheid-interval en dat een geologische eenheid in 1 of meer lithoklasse-eenheden is onderverdeeld.
Attribuut	Omschrijving
Boornummer	Verwijzing naar het geïnterpreteerde boormonsterprofiel waartoe het lithoklasse-interval behoort.

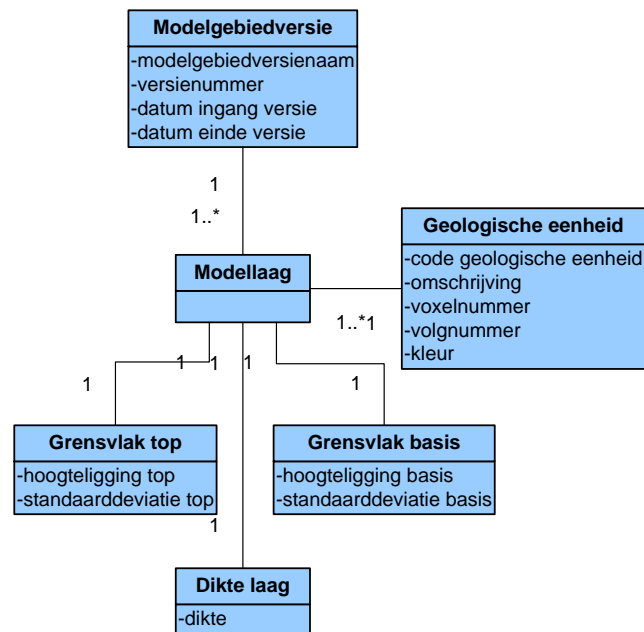
Top interval	Top van het interval in mm vanaf de bovenkant van het boormonsterprofiel.
Basis interval	Basis van het interval in mm vanaf de bovenkant van het boormonsterprofiel.
Lithoklasse	Verwijzing naar de lithoklasse van het interval.

4.3.7 Technische aspecten

Geïnterpreteerde boormonsterprofielen met beschrijvings- en interpretatieintervallen zijn tabulaire informatie. De data is in een relationele database vastgelegd.

4.4 Lagenmodel

4.4.1 Diagram



Figuur 4.7: Diagram van het gegevensmodel met modelgebiedversie, modellaag, grensvlakken en dikte in het lagenmodel.

4.4.2 Modellaag

Definitie	Een volume van een geologische eenheid die in een modelgebiedversie is opgenomen en die aan de top en basis begrensd wordt door grensvlakken .
Relaties	Een modellaag hoort bij één modelgebiedversie . In een modelgebiedversie zijn meerdere modellagen opgenomen. Een modellaag beschrijft het volume van één geologische eenheid . Een niet in het gegevensmodel weergegeven relatie is dat een voxel zich binnen de grensvlakken van een modellaag bevindt.
Attribuut	Omschrijving
Modelgebiedversie	Verwijzing naar de modelgebiedversie

Geologische eenheid	Verwijzing naar de geologische eenheid .
---------------------	---

4.4.3 Grensvlak top

Definitie	De ruimtelijke begrenzing van de bovenkant van een modellaag .
Relaties	Een modellaag wordt altijd begrensd door één grensvlak top. Een grensvlak top beschrijft altijd de bovenkant van één modellaag .
Attribuut	Omschrijving
Hoogteligging top	Hoogteligging van de top in m ten opzichte van NAP.
Standaarddeviatie top	Standaarddeviatie van de hoogteligging van de top in m.

4.4.4 Grensvlak basis

Definitie	De ruimtelijke begrenzing van de onderkant van een modellaag .
Relaties	Een modellaag wordt altijd begrensd door één grensvlak basis. Een grensvlak basis beschrijft altijd de onderkant van één modellaag .
Attribuut	Omschrijving
Hoogteligging basis	Hoogteligging van de basis in m ten opzichte van NAP.
Standaarddeviatie basis	Standaarddeviatie van de hoogteligging van de basis in m.

4.4.5 Dikte modellaag

Definitie	De dikte van een modellaag , afgeleid uit de grensvlak top en grensvlak basis.
Relaties	Bij een modellaag hoort altijd één dikte. Een dikte heeft altijd betrekking op één modellaag .
Attribuut	Omschrijving
Dikte	Dikte in m. De dikte is afleidbaar uit het verschil tussen top en basis.

4.4.6 Technische aspecten

In technische zin wordt het lagenmodel opgeslagen in rasterbestanden. Een **raster** is een rechthoekig, regelmatig grid van vierkante rastercellen waarmee één eigenschap van een modellaag wordt vastgelegd. Een **rastercel** is een vierkant gebied van 100 bij 100 m in een raster met een voor de hele rastercel representatieve waarde van de door het raster beschreven eigenschap.

Voor elke modellaag in het lagenmodel zijn er 5 rasters die elk één eigenschap vastleggen, namelijk top, basis, dikte, standaarddeviatie van de top en standaarddeviatie van de basis. Bijvoorbeeld voor modellaag 'NIHO' (Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket):

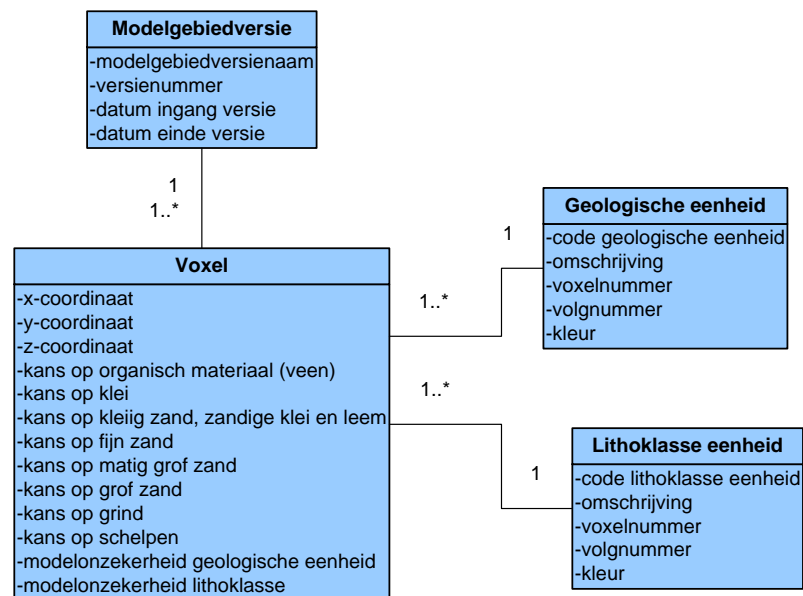
Rasterbestand	Toelichting
niho_bcc.asc	Basis van de eenheid.
niho_tcc.asc	Top van de eenheid.
niho_dcc.asc	Dikte van de eenheid.
niho_std_bcc.asc	Standaard deviatie in de basis van de eenheid.
niho_std_tcc.asc	Standaard deviatie in de top van de eenheid.

De rasters zijn fysiek opgeslagen in het *ArcInfo ASCII Grid-formaat* van ESRI (extensie *.asc), of kortweg *ArcAscii-formaat*. Bij de uitgifte van GeoTOP via DINOloket (zie hoofdstuk 5) is ervoor gekozen de rasters op te slaan in het ERDAS Imagine formaat (extensie *.img). Beide formaten kunnen in de meeste GIS-pakketten al dan niet met een ingebouwde conversiefunctie geopend worden. Zie Stafleu et al. (2012) voor een gedetailleerde beschrijving van het ArcAscii-formaat.

Rasters die het hele dekkingsgebied van een modelversie van GeoTOP beslaan bestaan uit afzonderlijke rasters van modelgebiedversies die zonder verdere andere bewerkingen zijn samengevoegd tot één raster.

4.5 Voxelmodel

4.5.1 Diagram



Figuur 4.8: Diagram van het gegevensmodel met modelgebiedversie en voxel van het voxelmodel.

4.5.2 Voxel

Definitie	Een voxel is een blokvormig volume in de ondergrond met uniforme eigenschappen. Een voxel heeft een locatie, vastgelegd door de (x,y,z)-coördinaten van het middelpunt van de voxel, en een aantal attributen. De attribuutwaarden zijn representatief voor de hele voxel, niet alleen voor het middelpunt.
Attribuut	Omschrijving
Modelgebiedversie	Verwijzing naar de modelgebiedversie .
X-coördinaat	X-coördinaat in het Rijksdriehoekstelsel van het middelpunt van de voxel.
Y-coördinaat	Y-coördinaat in het Rijksdriehoekstelsel van het middelpunt van de voxel.
Z-coördinaat	Z-coördinaat in m ten opzichte van NAP van het middelpunt van de voxel.
Geologische eenheid	Verwijzing naar de geologische eenheid waar de voxel onderdeel van uitmaakt.
Meest waarschijnlijke lithoklasse	Verwijzing naar de lithoklasse waarmee de voxel gevuld is.
Kans op organisch materiaal (veen)	Kans dat de voxel gevuld is met de lithoklasse 'organisch materiaal (veen)'. De kans is vastgelegd in een reëel getal met waarden vanaf 0 t/m 1, waarbij 0 een zeer kleine kans en 1 een zeer hoge kans aangeeft.
Kans op klei	Idem voor lithoklasse 'klei'
Kans op kleilig zand, zandige klei en leem	Idem voor lithoklasse 'kleilig zand, zandige klei en leem'
Kans op fijn zand	Idem voor lithoklasse 'fijn zand'
Kans op matig grof zand	Idem voor lithoklasse 'matig grof zand'
Kans op grof zand	Idem voor lithoklasse 'grof zand'
Kans op grind	Idem voor lithoklasse 'grind'
Kans op schelpen	Idem voor lithoklasse 'schelpen'
Modelonzekerheid geologische eenheid	De mate waarin het model in staat is om een eenduidige schatting te geven van de geologische eenheid waartoe de voxel behoort. De modelonzekerheid is vastgelegd in een reëel getal met waarden vanaf 0 t/m 1, waarbij 0 een zeer kleine modelonzekerheid en 1 een zeer hoge modelonzekerheid aangeeft.
Modelonzekerheid lithoklasse	De mate waarin het model in staat is om een eenduidige schatting te geven van de voor de voxel representatieve lithoklasse. De modelonzekerheid is vastgelegd in een reëel getal met waarden vanaf 0 t/m 1, waarbij 0 een zeer kleine modelonzekerheid en 1 een zeer hoge modelonzekerheid aangeeft.

4.5.3 *Toelichting*

In GeoTOP v1.2 waren de twee modelonzekerheden alleen opgenomen in het voxelmodel van modelgebied Westelijke Wadden. In de huidige versie zijn de modelonzekerheden in alle modelgebieden beschikbaar.

4.5.4 *Technische aspecten*

Voor het vastleggen van een voxelmodel wordt gebruik gemaakt van twee alternatieve dataformaten: een waarbij per voxel de (x,y,z)-coördinaten van de voxel zijn opgenomen, en een waarbij de (x,y,z)-coördinaat van elke voxel afgeleid kan worden uit de header informatie (vergelijkbaar met het hierboven genoemde ArcAscii-formaat voor rasters). Beide dataformaten zijn in ASCII. Voxelmodellen die met de SubsurfaceViewer worden meegeleverd (zie paragraaf 5.7) zijn van het tweede type. In Stafleu et al. (2012) worden beide dataformaten in detail beschreven.

4.6 **Definities van eigenschappen**

4.6.1 *Geologische eenheid*

Definitie	Een geologische eenheid omvat ruimtelijk samenhangende delen van de ondergrond met overeenkomstige lithologische en genetische eigenschappen.
Attribuut	Omschrijving
Code	Unieke, identificerende code van de geologische eenheid, bijvoorbeeld 'NAWA'
Omschrijving	Naam van de geologische eenheid, bijvoorbeeld 'Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren'
Voxelnummer	Unieke, numerieke code van de geologische eenheid die in veel technische implementaties van het voxelmodel gebruikt wordt.
Volgnummer	Volgnummer van de preferente stratigrafische volgorde waarin de geologische eenheden geordend zijn. Lage nummers liggen relatief hoog in de stratigrafische kolom. Het volgnummer wordt o.a. gebruikt bij het tonen van de geologische eenheden in een legenda.
Kleur	RGB-waarden van de kleur waarmee de geologische eenheid in visualisaties wordt weergegeven

4.6.2 *Toelichting*

In veel gevallen komen geologische eenheden overeen met lithostratigrafische eenheden zoals die beschreven zijn in de Nomenclator Ondiepe Ondergrond. We gebruiken echter de term geologische eenheid omdat niet elke eenheid één-op-één overeenkomt met een lithostratigrafische eenheid volgens de Nomenclator. Het kan namelijk voor de modellering nodig zijn om twee lithostratigrafische eenheden samen te nemen tot één geologische eenheid. Zo worden de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre gecombineerd in één geologische eenheid. De tegenovergestelde situatie, waar een lithostratigrafische eenheid wordt gesplitst in een of meerdere geologische eenheden komt ook voor.

Bijvoorbeeld de Formatie van Echteld wordt in twee verschillende eenheden, elk met een andere stratigrafische positie ten opzichte van andere eenheden, gemodelleerd.

Een bijzondere situatie zijn de zandbanen. Dit zijn holocene geulsystemen van de Formaties van Naaldwijk en Echteld die separaat van hun lithostratigrafische eenheid gemodelleerd zijn. Een zandbaan wordt gekarakteriseerd door de relatieve diepteligging in de ondergrond, waarvoor een classificatie A t/m E is bedacht. A staat daarbij voor het minst diep gelegen (en tevens jongste) geulstelsel, E representeert het diepst gelegen (tevens oudste) systeem. De holocene geulsystemen worden in de Nomenclator niet als aparte eenheden onderscheiden. Ze vormen een onderdeel van de Formatie van Echteld en van de Laagpakketten Walcheren en Wormer van de Formatie van Naaldwijk.

4.6.3 Lithoklasse

Definitie	Een lithoklasse is een individuele klasse uit een classificatie van grondsoorten.
Attribuut	Omschrijving
Code	Unieke, identificerende code van de lithoklasse, bijvoorbeeld 'k'
Naam	Naam van de lithoklasse, bijvoorbeeld 'klei'
Voxelnummer	Unieke, numerieke code van de lithoklasse die in veel technische implementaties van het voxelmodel gebruikt wordt.
Volgnummer	Het volgnummer wordt o.a. gebruikt bij het tonen van de lithoklasse-eenheden in een legenda.
Kleur	RGB-waarde van de kleur waarmee de lithoklasse in visualisaties wordt weergegeven

4.6.4 Toelichting

Voor GeoTOP geldt dat de classificatie van REGIS II wordt aangehouden, waaraan nog een lithoklasse 'antropogeen' is toegevoegd:

Naam	Code	Voxelnummer	Korrelgrootte (mediaan)
Antropogeen	a	0	-
Organisch materiaal (veen)	v	1	-
Klei	k	2	-
Kleilig zand, zandige klei en leem	kz	3	-
Fijn zand	zf	5	≥ 63 µm en < 150 µm
Matig grof zand	zm	6	≥ 150 µm en < 300 µm
Grof zand	zg	7	≥ 300 µm en < 2 mm
Grind	g	8	≥ 2 mm
Schelpen	she	9	-
Zand met onbekende korrelgrootte	z	-	Onbekend
Overig	o	-	-

De lithoklasse wordt op basis van een set regels afgeleid uit de boorbeschrijvingen. Een gedetailleerde beschrijving van deze afleiding is opgenomen in Stafleu et al (2012).

De lithoklasse 'antropogeen' komt alleen voor in het voxelmodel. De lithoklassen 'zand met onbekende korrelgrootte' en 'overig' komen juist alleen in de interpretaties van boormonsterprofielen voor.

4.6.5 *Technische aspecten*

Definities van geologische eenheden en lithoklassen zijn tabulaire informatie. De data is in een relationele database vastgelegd.

5 Uitgifte

5.1 Inleiding

GeoTOP wordt uitgegeven via het uitgifteloket van TNO – Geologische Dienst Nederland: DINOloket (www.dinoloket.nl).

Op het uitgifteloket is GeoTOP in de volgende verschijningsvormen beschikbaar:

- Kaart waarop het dekkingsgebied van GeoTOP is weergegeven, samen met de locatie van de boormonsterprofielen die gebruikt zijn in het constructieproces van GeoTOP.
- Reële boorkolom van elk boormonsterprofiel waarin naast de lithologische beschrijving de voor GeoTOP gemaakte interpretatie in geologische eenheid en in lithoklasse is weergegeven.
- Virtuele boorkolom (appelboor) door het voxelmodel waarin van een door de gebruiker gekozen locatie op de kaart de verticale opeenvolging van voxels getoond wordt.
- Verticale dwarsdoorsnede (profiel) door het voxelmodel van een door de gebruiker gekozen tracé op de kaart.
- Kaart met de verbreiding en top, basis of dikte van een door de gebruiker gekozen geologische eenheid uit het lagenmodel.
- SubsurfaceViewer bestanden met daarin het voxelmodel, het lagenmodel en de geïnterpreteerde boormonsterprofielen van een door de gebruiker gekozen kaartblad (een rechthoekig gebied van meestal 20 bij 25 km). Deze bestanden kunnen in speciaal daarvoor ontwikkelde SubsurfaceViewer-software gevisualiseerd worden, inclusief een 3D weergave.
- ArcGIS bestanden met het lagenmodel (rasters).
- ArcGIS bestanden met horizontale doorsneden (rasters) door het voxelmodel (zowel ten opzichte van maaiveld als ten opzichte van NAP).

Deze verschijningsvormen van GeoTOP worden hieronder nader toegelicht.

Op DINOloket wordt alleen de actuele versie van GeoTOP beschikbaar gesteld. Oudere versies kunnen desgewenst worden opgevraagd via de Servicedesk.

5.2 Kaart met het dekkingsgebied van GeoTOP en de locatie van de boormonsterprofielen

5.2.1 Doel en gebruik

Deze kaart toont de gebruiker waar op het vasteland van Nederland GeoTOP beschikbaar is en waar niet. De kaart toont tevens de locatie van de boormonsterprofielen die gebruikt zijn in het constructieproces van GeoTOP.

5.2.2 Beschrijving

Met een rode lijn is de grens van het actuele dekingsgebied van GeoTOP aangegeven (Figuur 5.1). Daarbinnen zijn de locaties van de boormonsterprofielen te zien. Dit zijn alleen de boormonsterprofielen die in GeoTOP gebruikt zijn. Door op een boormonsterprofiel te klikken wordt de reële boorkolom getoond.



Figuur 5.1: Kaart met het dekingsgebied van de actuele versie van GeoTOP.

5.2.3 Beperkingen

De grens is een polygoon terwijl het lagenmodel en het voxelmodel van GeoTOP rasters met cellen van 100 bij 100 m zijn. Delen van het model kunnen daarom net buiten of net binnen de polygoon vallen.

In het constructieproces van GeoTOP zijn ook vertrouwelijke boormonsterprofielen gebruikt. Deze vertrouwelijke boormonsterprofielen worden niet op DINOloket getoond of uitgegeven. Daarnaast maakt GeoTOP gebruik van een omvangrijke set handboringen van de Universiteit Utrecht in het rivierengebied van Rijn, Maas en IJssel. Ook deze handboringen worden niet op DINOloket getoond of uitgegeven.

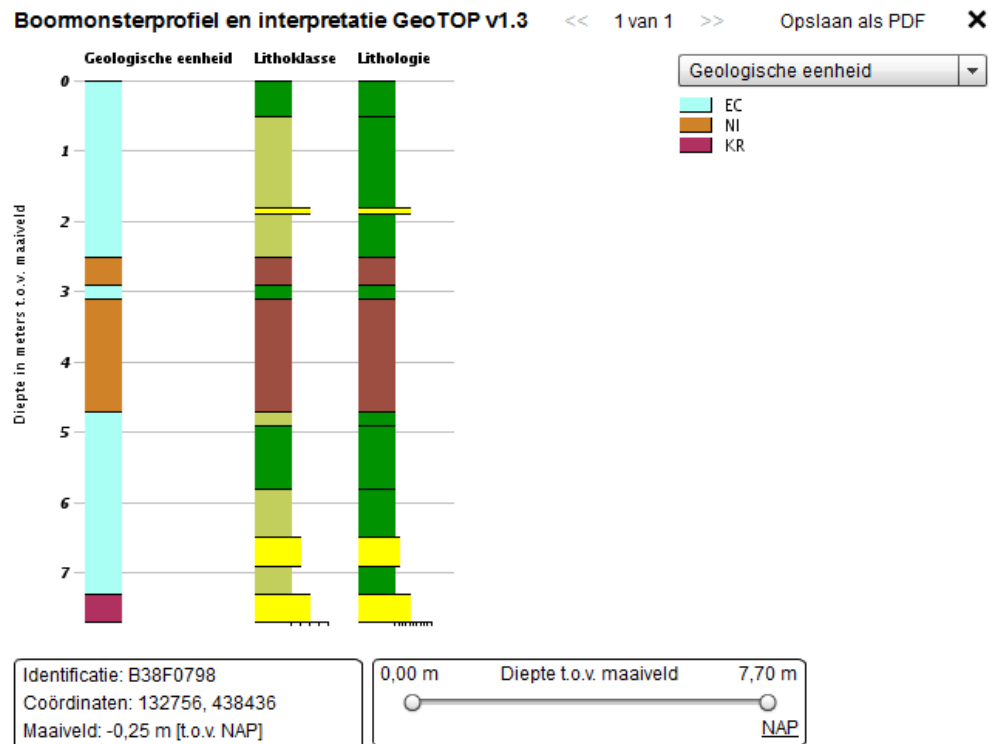
5.3 Reële boorkolom met interpretaties

5.3.1 Doel en gebruik

De reële boorkolom geeft inzicht in de door GeoTOP gebruikte en geïnterpreteerde boormonsterprofielen.

5.3.2 Beschrijving

De reële boorkolom (Figuur 5.2) toont de verticale opeenvolging van geïnterpreteerde geologische eenheid-intervallen (linkerkolom), de geïnterpreteerde lithoklasse-intervallen (middelste kolom) en de boorbeschrijvingsintervallen (rechterkolom).



Figuur 5.2: Reële boorkolom van een in GeoTOP geïnterpreteerd boormonsterprofiel.

5.3.3 Beperkingen

In het constructieproces van GeoTOP zijn ook vertrouwelijke boormonsterprofielen gebruikt. Deze vertrouwelijke boormonsterprofielen worden niet op DINOloket getoond of uitgegeven. Hetzelfde geldt voor de boormonsterprofielen van de Universiteit Utrecht.

Een boormonsterprofiel geeft een gedetailleerd beeld van de opbouw van de ondergrond op één specifieke locatie. In het lagenmodel en in het voxelmodel wordt een schatting gegeven van de opbouw van de ondergrond die representatief is voor een gebied van 100 bij 100 m en die past bij een (sub)regionale schaal. De interpretatie van een boormonsterprofiel kan daarom afwijken van een appelboor op dezelfde locatie.

De hoogte van het maaiveld op de locatie van het boormonsterprofiel kan eveneens afwijken van de maaiveldhoogte van het model. Dit kan verschillende oorzaken hebben, zoals kleine hoogteverschillen ter plaatse van het boormonsterprofiel, fouten in de opname van de maaiveldhoogte of een daadwerkelijke verandering in maaiveldhoogte door bijvoorbeeld afgraving of ophoging die in de tijd tussen het zetten van het boormonsterprofiel en het construeren van het model heeft plaatsgevonden.

5.4 Virtuele boorkolom (appelboor)

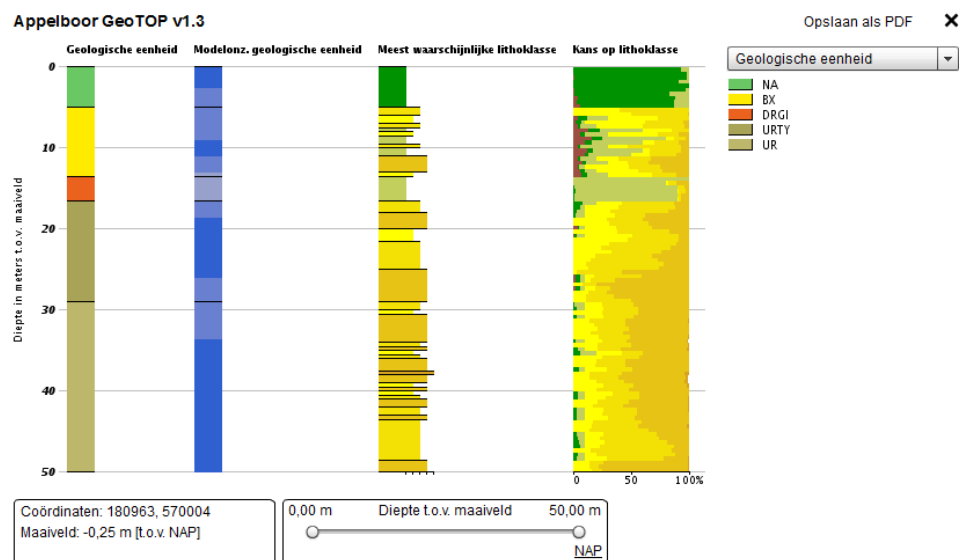
5.4.1 Doel en gebruik

De virtuele boorkolom ("appelboor") door het voxelmodel van GeoTOP toont van een door de gebruiker gekozen locatie op de kaart de verticale opeenvolging van voxels, inclusief de bijbehorende modelonzekerheid.

5.4.2 Beschrijving

De virtuele boorkolom ("appelboor") door het voxelmodel van GeoTOP toont van een door de gebruiker gekozen locatie op de kaart de verticale opeenvolging van voxels. De voxels hebben een omvang van 100 bij 100 m in de horizontaal en 0,5 m in de verticaal. In de virtuele boorkolom zien we de voxels daarom terug als lagen van elk 0,5 m dik (Figuur 5.3). Van elke voxel worden verschillende eigenschappen getoond die representatief zijn voor de hele voxel, namelijk:

- De geologische eenheid waartoe de voxel behoort;
- De modelonzekerheid geologische eenheid (alleen in modelgebied Westelijke Wadden);
- De meest waarschijnlijke lithoklasse waarmee de voxel gevuld is;
- De kansen op de verschillende lithoklassen waarmee de voxel gevuld kan zijn.



Figuur 5.3.: Virtuele boorkolom door het voxelmodel van GeoTOP.

Lithoklassen worden in GeoTOP geschat in een stochastisch proces, dat naast een meest waarschijnlijke uitkomst ook kansen oplevert voor elk van de onderscheiden lithoklassen. De kansen zijn een maat voor modelonzekerheid.

Als er voor een voxel bijvoorbeeld kansen van 80% fijn zand en 20% klei wordt geschat, dan is er relatief weinig onzekerheid. Worden er daarentegen kansen van 35% klei, 40% veen en 25% fijn zand weergegeven, dan is er relatief veel onzekerheid. Het is belangrijk te beseffen dat met de kansen geen verhoudingen worden weergegeven: 35% kans op klei wil zeggen dat er 35% kans is dat klei de representatieve lithoklasse van de *hele* voxel is, en niet dat 35% van de voxel gevuld is met klei.

Ook aan de indeling in geologische eenheden zijn onzekerheden verbonden. Deze onzekerheden worden in modelgebied Westelijke Wadden weergegeven in de kolom 'Modelonzekerheid geologische eenheid'. Daarnaast bevatten de ArcGIS bestanden met het lagenmodel van GeoTOP onzekerheidsinformatie van de geologische eenheden in de vorm van rasters met standaard deviaties.

5.5 Verticale dwarsdoorsnede (profiel) door het voxelmodel

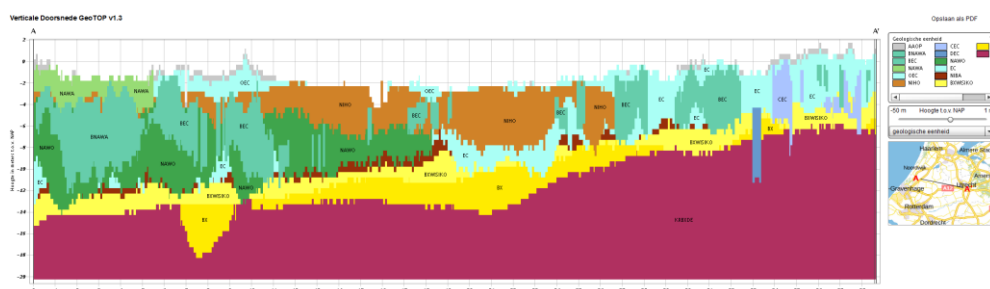
5.5.1 Doel en gebruik

De verticale dwarsdoorsnede (profiel) door het voxelmodel van GeoTOP toont langs een door de gebruiker gekozen tracé op de kaart de door een verticaal vlak aangesneden voxels. Door meerdere verticale dwarsdoorsneden door een interessegebied te maken, kan de gebruiker zich een goed 3D-beeld van opbouw en eigenschappen van de ondergrond vormen.

5.5.2 Beschrijving

De gebruiker definieert een tracé door punten op de kaart aan te klikken. Dit kunnen boormonsterprofielen zijn of willekeurige locaties. Met meerdere muisklikken kan bijvoorbeeld een dijktracé gevolgd worden.

De visualisatie toont een verticale dwarsdoorsnede door het voxelmodel langs het tracé (Figuur 5.4). De gebruiker kan kiezen welk van de attributen van het voxelmodel getoond wordt: geologische eenheid, meest waarschijnlijke lithoklasse, of een van de kansen op lithoklasse. In modelgebied Westelijke Wadden kan ook de modelonzekerheid van lithoklasse of geologische eenheid worden weergegeven.



Figuur 5.4: Verticale dwarsdoorsnede door het voxelmodel van GeoTOP.

5.5.3 Beperkingen

Breuken die snijden met het profiel zijn niet als zodanig weergegeven. Wel is het eventuele verzet langs de breuk zichtbaar als een sprong in geologische eenheid en/of lithoklasse.

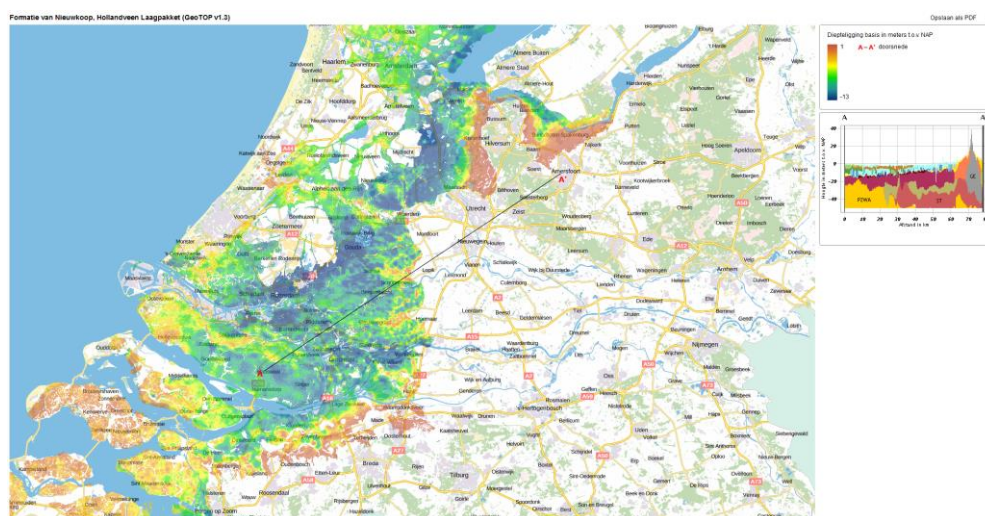
5.6 Kaart van een geologische eenheid uit het lagenmodel

5.6.1 Doel en gebruik

De kaart met de verbreiding en top, basis of dikte van een door de gebruiker gekozen geologische eenheid geeft de gebruiker inzicht in het ruimtelijk verloop van een geologische eenheid dat zichtbaar is in een verticale dwarsdoorsnede. Door verticale dwarsdoorsnedes te combineren met kaartbeelden van geologische eenheden, kan de gebruiker zich een goed 3D-beeld van opbouw en eigenschappen van de ondergrond vormen.

5.6.2 Beschrijving

De gebruiker klikt in een verticale dwarsdoorsnede een geologische eenheid aan en kan vervolgens naar keuze een kaart met verbreiding en top, basis of dikte van de betreffende geologische eenheid bekijken (Figuur 5.5).



Figuur 5.5: Kaart van de verbreiding en diepteligging van de basis van een geologische eenheid uit het lagenmodel van GeoTOP.

5.6.3 Beperkingen

Breuken die snijden met de kaart zijn niet als zodanig weergegeven. Wel is het eventuele verzet langs de breuk zichtbaar als een sprong in top, basis en/of dikte van de geologische eenheid.

Kaartbeelden kunnen alleen opgeroepen worden vanuit een verticale doorsnede. De kaart is een statische afbeelding, er kan niet in gezoomd of gepand worden.

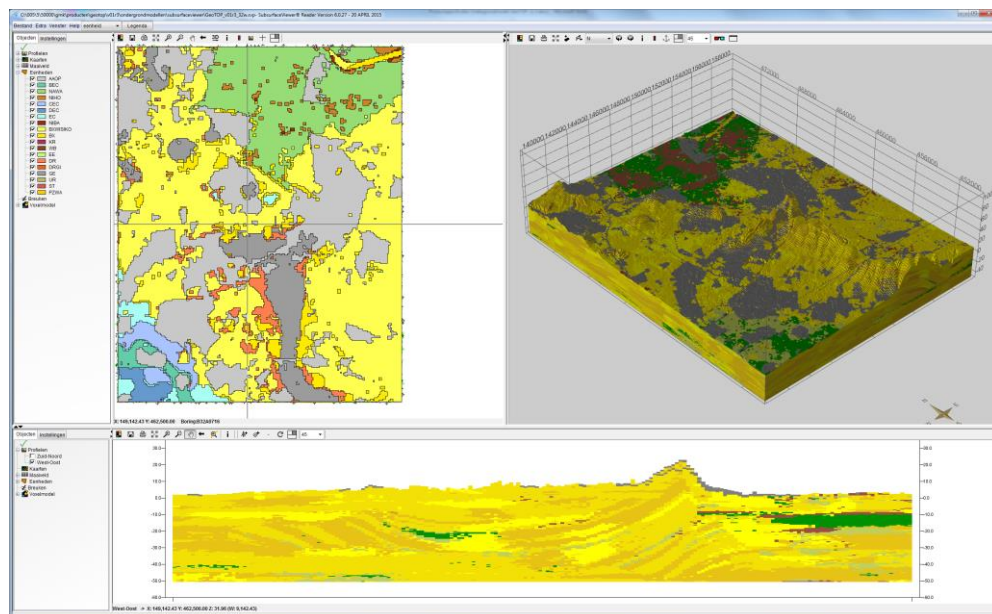
5.7 SubsurfaceViewer bestanden

5.7.1 Doel en gebruik

De SubsurfaceViewer geeft door middel van kaartbeelden, appelboren, profielen en een volledige 3D weergave inzicht in de door GeoTOP geschatte geometrie en eigenschappen van de Nederlandse ondergrond. De kaartbladen van de bij de SubsurfaceViewer horende bestanden bevatten tevens het voxelmodel in ASCII-formaat.

5.7.2 Beschrijving

De SubsurfaceViewer is een programma voor het visualiseren van het lagenmodel, het voxelmodel en de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen van GeoTOP. Het programma is voor TNO ontwikkeld door de Duitse firma *INSIGHT Geological Software Systems GmbH* (www.subsurfaceviewer.com) en kan gratis gedownload en geïnstalleerd worden vanaf DINOloket. De datasets die met de SubsurfaceViewer bekeken kunnen worden zijn afgeleid uit GeoTOP (Figuur 5.6). Verdere informatie over de werking van de software kan gevonden worden in de *Handleiding SubsurfaceViewer 3D* (TNO, 2014b).



Figuur 5.6: GeoTOP kaartblad 32w in de SubsurfaceViewer, met links bovenin een kaartbeeld van het lagenmodel, rechts bovenin een 3D weergave van het voxelmodel en onderin een West-Oost verticale dwarsdoorsnede door het voxelmodel.

5.7.3 Beperkingen

De SubsurfaceViewer software stelt vrij hoge eisen aan de hardware van de PC, met name aan de grafische kaart.

Bestanden van de SubsurfaceViewer zijn alleen verkrijgbaar in vooraf gedefinieerde kaartbladen, overeenkomstig de kaartbladindeling van Top50raster van Kadaster.nl.

5.8 ArcGIS bestanden met het lagenmodel

5.8.1 Doel en gebruik

Van elke geologische eenheid in GeoTOP zijn vijf rasters beschikbaar van top, basis en dikte, standaarddeviatie van de top en standaarddeviatie van de dikte. De rasters van de afzonderlijke modelgebiedversies zijn voor de actuele versie van GeoTOP samengevoegd. De rasters kunnen onder meer gebruikt worden als raamwerk voor het ontwikkelen van een gedetailleerd, lokaal ondergrondmodel voor bijvoorbeeld een bouwlocatie.

5.8.2 *Beschrijving*

De ArcGIS bestanden zijn verzameld in één zip-file van circa 300 MB in omvang. Uitgepakt nemen de bestanden circa 10 GB in beslag. Het zip-file omvat de volgende bestanden:

- ArcMap document “Holoceen” met de holocene eenheden, voorzien van legenda’s
- ArcMap document “Pleistoceen” met de pleistocene en oudere eenheden, voorzien van legenda’s.
- Per eenheid:
 - Rasterkaarten met de verbreiding en diepteligging van de top en basis van de eenheid (in m ten opzichte van NAP).
 - Rasterkaart met de verbreiding en dikte van de eenheid (in m).
 - Rasterkaarten met de standaarddeviatie in de diepteligging van de top en basis van de eenheid (in m).
 - Shapefile (punten) met de geïnterpreteerde boormonsterprofielen waarin de eenheid is aangetroffen, met daarbij informatie over de top, basis en dikte van de eenheid in het boormonsterprofiel.
- Algemene, ondersteunende informatie:
 - Eenvoudige topografische kaart van Nederland (shapefile, polygoon).
 - Grenzen van de GeoTOP modelgebieden (shapefile, polygoon).
 - Maaiveld- en waterbodemoogtekaart (raster).
 - Overzicht van de topografische kaartbladen waarop de nummering van de boormonsterprofielen gebaseerd is (shapefile, polygoon).

5.8.3 *Beperkingen*

Omdat de rasters van verschillende modelgebieden aaneen zijn gevoegd, zijn op de modelgebiedgrenzen soms artificiële overgangen (randeffecten) zichtbaar.

Sommige eenheden vallen in het ene modelgebied binnen het dieptebereik van GeoTOP, en in een ander modelgebied niet. Deze eenheden zijn dan alleen gemodelleerd in de modelgebieden waar de eenheid wel binnen het dieptebereik van GeoTOP valt.

De mxd-bestanden zijn alleen te openen in ArcGIS versie 10 of hoger. De rasters en shapefiles zijn overigens in de meeste GIS-pakketten, al dan niet na een conversieslag, te openen. Voorbeelden van alternatieve GIS-pakketten zijn Grass (open-source), MapInfo en GeoMedia.

5.9 **ArcGIS bestanden met horizontale doorsneden**

5.9.1 *Doel en gebruik*

Horizontale doorsneden geven inzicht in de ruimtelijke verspreiding van geologische eenheden en lithoklassen op een bepaalde hoogte ten opzichte van NAP of maaiveld.

5.9.2 *Beschrijving*

Horizontale doorsneden zijn rasterkaarten die een eigenschap van het voxelmodel (bijvoorbeeld lithoklasse) op een bepaalde diepte ten opzichte van maaiveld of NAP weergeven. Figuren 5.7a en b geven als voorbeeld horizontale doorsneden van lithoklasse ten opzichte van maaiveld resp. ten opzichte van NAP weer.

Een zip-bestand met horizontale doorsneden bevat de volgende bestanden:

- ArcMap document waarin het kaartmateriaal verzameld is en is voorzien van legenda's.
- Per diepte, in stappen van 0,5 m:
 - Rasterkaart met lithoklasse of geologische eenheid (NB: in het ArcMap document worden alleen de rasters in stappen van 1 m getoond, maar in het downloadbestand zijn alle rasters om de 0,5 m aanwezig).
- Algemene, ondersteunende informatie:
 - Eenvoudige topografische kaart van Nederland (shapefile, polygoon).
 - Grenzen van de GeoTOP modelgebieden (shapefile, polygoon).
 - Maaiveld- en waterbodemoogtekaart (raster).
 - Overzicht van de topografische kaartbladen waarop de nummering van de boormonsterprofielen gebaseerd is (shapefile, polygoon).

5.9.3 *Naamgeving horizontale doorsneden*

De horizontale doorsneden door GeoTOP hebben bestandsnamen die als volgt zijn opgebouwd.

Horizontale doorsneden ten opzichte van maaiveld: de naam bestaat uit een prefix "strat" (modeleenheden) of "lith" (lithoklassen) gevolgd door een diepteaanduiding in cm onder maaiveld (4 cijfers). Bijvoorbeeld strat_0000_mv.img wil zeggen een doorsnede door de modeleenheden van 0 tot 0,5 m onder maaiveld. Het daaropvolgende raster strat_0050_mv.img geeft een doorsnede van 0,5 tot 1 m onder maaiveld.

Horizontale doorsneden ten opzichte van NAP: de naam bestaat uit een prefix "strat" (modeleenheden) of "lith" (lithoklassen) gevolgd door een volgnummer van drie cijfers en de hoogte-aanduiding in cm ten opzichte van NAP (vier cijfers). Volgnummer 001 is de laagst gelegen doorsnede op 50 m onder NAP met een bereik van 50 tot 49,5 m onder NAP. De naam wordt dan lith_001_5000_cm Onder NAP.img. Een voorbeeld van een doorsnede boven NAP is lith_103_0100_cm Boven NAP.img, met een bereik van 1 tot 1,5 m boven NAP.

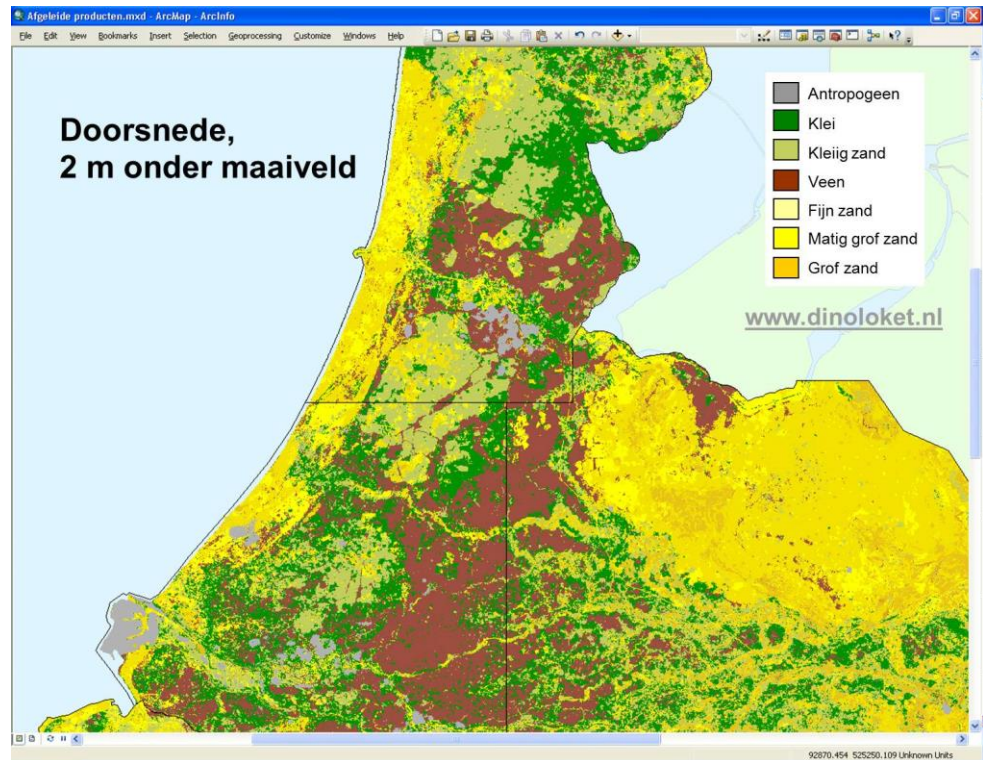
5.9.4 *Beperkingen*

De mxd-bestanden zijn alleen te openen in ArcGIS versie 10 of hoger. De rasters en shapefiles zijn overigens in de meeste GIS-pakketten, al dan niet na een conversieslag, te openen. Voorbeelden van alternatieve GIS-pakketten zijn Grass (open-source), MapInfo en GeoMedia.

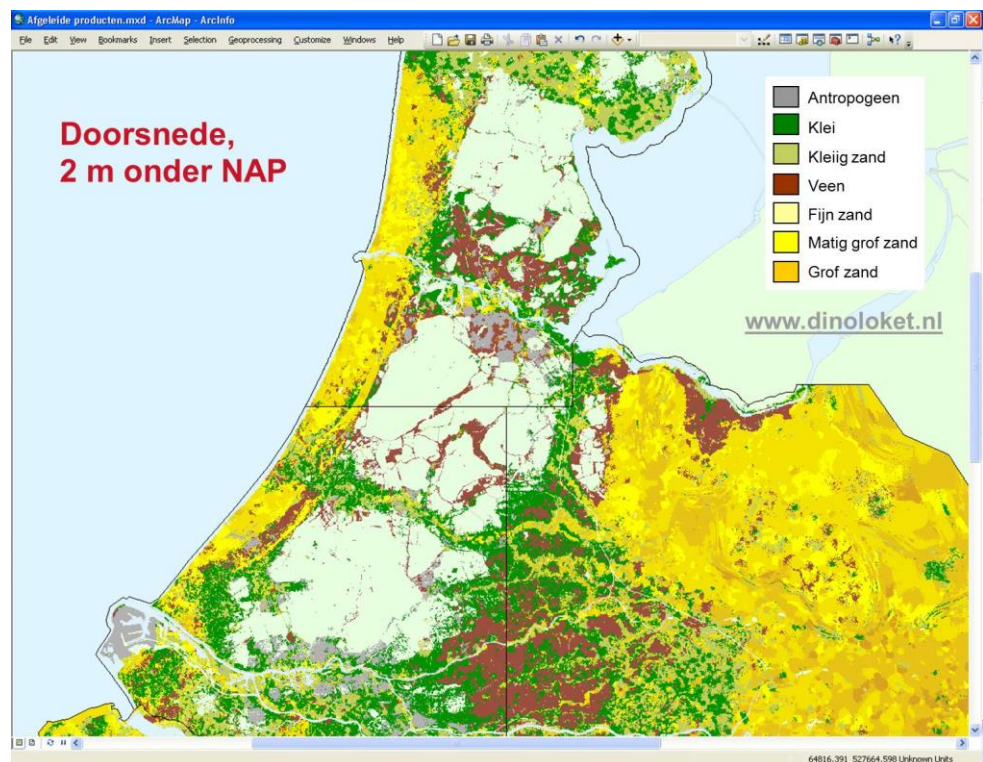
Omdat de rasters van verschillende modelgebieden aaneen zijn gevoegd, zijn op de modelgebiedgrenzen soms artificiële overgangen (randeffecten) zichtbaar.

5.10 **Kosten**

Aan het bestellen van GeoTOP via het uitgifteloket DINOloket zijn geen kosten verbonden. Aan het op aanvraag beschikbaar stellen van (delen van) GeoTOP of uit GeoTOP afgeleide producten kunnen kosten verbonden zijn.



Figuur 5.7a: Horizontale doorsneden met de lithoklassen op 2 m onder maaiveld. De dunne zwarte lijnen geven de grenzen tussen de verschillende modelgebieden weer.



Figuur 5.7b: Horizontale doorsneden met de lithoklassen op 2 m onder NAP. De dunne zwarte lijnen geven de grenzen tussen de verschillende modelgebieden weer.

6 Kwaliteitsaspecten

6.1 Algemeen

De kwaliteit van GeoTOP is sterk afhankelijk van de volgende factoren:

De hoeveelheid beschikbare boormonsterprofielen. De boormonsterprofielen in DINO zijn niet gelijkmatig over Nederland verdeeld. Er zijn gebieden met een zeer hoge boordichtheid, bijvoorbeeld Zuid-Holland en grote delen van het Rivierengebied. Andere delen van het land, zoals de Veluwe, hebben een veel lagere boordichtheid. Bovendien geldt dat de boordichtheid snel met de diepte afneemt (Stafleu et al., 2012). In het algemeen kan gesteld worden dat de datadichtheid dieper dan 30 m onder maaiveld de kwaliteit van de schatting van lithoklasse sterk vermindert.

De kwaliteit van de boormonsterprofielen. De boormonsterprofielen in DINO zijn niet specifiek voor GeoTOP verzameld en de kwaliteit loopt, afhankelijk van het doel en de methode waarmee ze gezet zijn, sterk uiteen.

De ouderdom van de brongegevens. De te modelleren werkelijkheid zoals die in boorbeschrijvingen en op geologisch en bodemkundig kaartmateriaal is weergegeven kan intussen zijn veranderd. Denk aan veen in een boorbeschrijving dat inmiddels is geoxideerd, vergravingen (havens, vaargeulen), of zich verleggende geulsystemen in de Waddenzee.

De complexiteit van de geologie. Een eenvoudige, homogene ondergrond is eenvoudiger en met minder boormonsterprofielen te modelleren dan een complexe, heterogene ondergrond. Complexiteit kan regionaal verschillen, daarnaast bestaan binnen een regio ook verschillen in de complexiteit van de geologische eenheden die in de regio worden onderscheiden.

De toepassing waarin GeoTOP gebruikt wordt. Verschillende toepassingen stellen verschillende kwaliteitseisen.

Deze en andere kwaliteitsaspecten wordt in de navolgende paragrafen verder besproken.

6.2 Aansluiting van modelgebieden

Zowel bij het construeren van nieuwe modelgebieden als bij het plegen van onderhoud aan bestaande modelgebieden wordt gestreefd naar een zo goed mogelijke onderlinge aansluiting van de modelgebieden. Desondanks kunnen zich op de overgang van het ene modelgebied naar het andere aansluitingsproblemen voordoen. Dit heeft te maken met de tijd (soms meerdere jaren) die verstrijkt tussen het opleveren van het ene en het andere modelgebied. In de verstreken tijd zijn meer boormonsterprofielen verzameld, kan er een nieuwe versie van DGM beschikbaar zijn gekomen of zijn de geologische inzichten gewijzigd. Ook kan de te modelleren werkelijkheid zijn gewijzigd, bijvoorbeeld het effect van een zandwinning die in het ene modelgebied al zichtbaar is maar in het andere, oudere modelgebied nog niet.

6.3 Boormonsterprofielen

6.3.1 Boorbeschrijvingen

De inhoudelijke kwaliteit van de boorbeschrijvingen in de DINO databank is zeer wisselend. De gebruikte boormethode en de daaraan gekoppelde manier van monsternamen oefent invloed uit op de inhoudelijke kwaliteit van laagbeschrijvingen. Booractiviteiten verstoren de aanwezige opbouw van de bodemlagen. Afhankelijk van de boormethode treedt in grote of kleine mate vermenging op van de verschillende grondsoorten. In een gestoken boring, waarbij een ongeroerd bodemonmonster voor iedere meter wordt genomen, gebeurt dit alleen bij de overgang van de kernen. Maar tijdens een spoelboring vindt een sterke vermenging van de lagen plaats. Bovendien kan de aan het boorwater toegevoegde boorspoeling de kwaliteit van het monster nog verder doen dalen. Om bij een spoelboring tot een verantwoorde lithologische interpretatie te komen, wordt een boorgatmeting uitgevoerd door met elektrische methoden een verticaal boorprofiel te maken.

Ook de manier waarop de monsters zijn beschreven en de vakkundigheid van de beschrijver spelen een belangrijke rol. Het besluit om de laagopbouw van een boring al dan niet uitgebreid te beschrijven, hangt af van het doel van de boring en de daarvoor beschikbare financiële middelen. TNO heeft ervaren medewerkers in dienst die beschrijvingen maken volgens een gestandaardiseerde methodiek, de Standaard Boor Beschrijvingsmethode (SBB; Bosch, 2000).

6.3.2 Kwaliteitsfiltering

Uitgangspunt voor GeoTOP is dat alle boormonsterprofielen in DINO worden meegenomen in de modellering. Voor een deel van de boorbeschrijvingen geldt echter dat de kwaliteit zodanig laag is, dat GeoTOP er niet beter maar slechter door zou worden. Om deze boorbeschrijvingen te traceren en uit te sluiten wordt een kwaliteitsfilter toegepast. Een eerste filter sluit boormonsterprofielen uit waarvan alleen kopgegevens bekend zijn of waarvan de kopgegevens maaiveldhoogte, einddiepte of locatie (x- en y-coördinaat) ontbreken.

Vervolgens worden alle boorbeschrijvingen onderworpen aan een geautomatiseerd uitgevoerde kwaliteitscontrole. Dit gebeurt door te kijken naar de dikte van de intervallen in de eerste 30 m van de boorbeschrijving. (Een interval bevindt zich in de eerste 30 m als de top zich niet meer dan 30 m onder het maaiveld van het boormonsterprofiel bevindt.) Van deze intervallen wordt de maximale dikte en de gemiddelde dikte bepaald. Boormonsterprofielen met een maximaal dikte-interval van meer dan 7 m en/of een gemiddeld dikte-interval van meer dan 3.5 m komen niet door het kwaliteitsfilter. De parameters 7 m en 3.5 m zijn ervaringscijfers.

Als het boormonsterprofiel echter in het kustgebied ligt, dan gelden soepelere criteria. Dit is gedaan omdat in de duinen ook in goed beschreven boormonsterprofielen dikke intervallen zand kunnen voorkomen. Het criterium in het kustgebied is een maximale dikte van meer dan 9 m. De gemiddelde dikte speelt in het kustgebied geen rol. Het kustgebied is gedefinieerd in een polygoon die de begrenzing van duin- en strandzanden langs de Noordzeekust aangeeft.

Het is mogelijk dat in de toekomst de criteria aangepast of uitgebreid gaan worden, bijvoorbeeld door meer te differentiëren naar geologische regio.

Boormonsterprofielen die worden uitgesloten worden vastgelegd in een lijst met uit te sluiten boornummers, met een (korte) omschrijving van de reden waarom ze uitgesloten zijn. Deze lijst wordt in latere modelleerstappen nog handmatig aangevuld. Afhankelijk van het modelgebied wordt circa 5% van de boormonsterprofielen op basis van het automatische kwaliteitsfilter uitgesloten. Bijvoorbeeld in modelgebied Rivierengebied worden circa 4.500 van de circa 80.000 DINO boormonsterprofielen uitgesloten (5,6%).

Op de boormonsterprofielen van de Universiteit Utrecht is hetzelfde geautomatiseerde kwaliteitsfilter toegepast als bij de DINO boormonsterprofielen. Op basis van het kwaliteitsfilter worden slechts een paar boormonsterprofielen uitgesloten.

6.3.3 *Momentopname*

Bij het construeren van een modelgebiedversie wordt op een zeker moment een momentopname ('snapshot') gemaakt van de boormonsterprofielen en de bijbehorende boorbeschrijvingsintervallen in de DINO-databank. De interpretaties van de boormonsterprofielen worden vervolgens gebaseerd op deze momentopname. Alle wijzigingen die na de momentopname in de DINO-databank worden aangebracht, zullen daarom niet zichtbaar zijn in de betreffende modelgebiedversie.

6.3.4 *Stratigrafische interpretatie*

Door de omvang van de dataset (in de huidige versie van GeoTOP zijn ruim 155.000 DINO boorbeschrijvingen opgenomen) is het ondoenlijk alle boormonsterprofielen handmatig te voorzien van een stratigrafische indeling. Bovendien bestaat bij handmatige werkzaamheden het gevaar van inconsistentie waarbij vergelijkbare boorbeschrijvingen verschillend worden geïnterpreteerd. GeoTOP voorziet daarom in geautomatiseerde procedures om de boorbeschrijving stratigrafisch te interpreteren (zie Stafleu et al. 2012 voor een uitgebreide toelichting).

De stratigrafische interpretatie wordt door gebiedsdeskundige geologen getoetst aan de hand van geologische dwarsdoorsneden en eerder met de hand geïnterpreteerde boorbeschrijvingen. Ook wordt een aantal plausibiliteitscontroles uitgevoerd om een stratigrafisch correcte opeenvolging van eenheden te waarborgen. Het is echter niet mogelijk om alle individuele interpretaties handmatig te controleren.

Voor de oudste twee modelgebieden, Zeeland en Goeree-Overflakkee, geldt dat de stratigrafische interpretatie handmatig is uitgevoerd door gebiedsdeskundige geologen.

6.3.5 *Lithoklasse interpretatie*

De lithoklasse-interpretatie van boorbeschrijvingsintervallen is een geautomatiseerd proces met relatief eenvoudige en eenduidige rekenregels. Een gedetailleerde beschrijving van de rekenregels is opgenomen in Stafleu et al. (2012).

6.3.6 *Verschillen met DGM*

De op geautomatiseerde wijze verkregen stratigrafische indeling van boormonsterprofielen die tot de DGM selectieset behoren, komen voor wat betreft de DGM eenheden in de meeste gevallen overeen met de oorspronkelijke, handmatig toegekende stratigrafische indeling. Door het verschil in de interpretatiemethodiek (in de geautomatiseerde procedure van GeoTOP wordt alleen de lithologische boorbeschrijving zelf geanalyseerd, terwijl bij de handmatige interpretatie van DGM ook geofysische boorgatmetingen en/of nabijgelegen boormonsterprofielen in de analyse worden betrokken) kunnen echter verschillende stratigrafische indelingen ontstaan.

6.4 **Verbreidingen**

Voorafgaand aan de stratigrafische interpretatie van de boormonsterprofielen wordt van elke geologische eenheid een verbreiding vastgesteld. Deze verbreiding bakent het gebied af waarbinnen in het constructieproces van GeoTOP de boormonsterprofielen onderzocht worden op het voorkomen van de geologische eenheid. Tevens fungeert de verbreiding als de maximale of potentiële verbreiding van het lagenmodel: buiten de potentiële verbreiding komt de eenheid niet voor, binnen de verbreiding *kan* de eenheid voorkomen.

Bij het construeren van verbreidingsgrenzen wordt een kaartschaal van circa 1:50.000 gehanteerd. Kleine voorkomens van de geologische eenheid die buiten de resolutie van deze kaartschaal vallen, worden niet in de verbreiding opgenomen.

Ten behoeve van de lagenmodellering worden de verbreidingsgrenzen (polygonen) verrasterd naar rasters met rastercellen van 100 bij 100 m. De regel die daarbij toegepast wordt is dat een rastercel die voor 16.5% bedekt is door een verbreidingsgrens in zijn geheel tot de geologische eenheid gerekend wordt. Dit impliceert een kleine overdrijving van het oppervlak van de geologische eenheid maar waarborgt de connectiviteit (de mate waarin de eenheid een aaneengesloten geheel vormt) van belangrijke eenheden als de holocene geulsystemen.

6.5 **Lagenmodel**

6.5.1 *Stochastisch model*

In het constructieproces van GeoTOP wordt een stochastische procedure gebruikt om de diepteligging van de basis van elke geologische eenheid te schatten. De procedure leidt tot een set van 100 verschillende, maar statistisch gezien even waarschijnlijke schattingen. Het gemiddelde van de 100 schattingen wordt uitgeleverd als basis van de eenheid. Daarnaast wordt de standaarddeviatie van de 100 schattingen als maat van de modelonzekerheid uitgeleverd. Het stochastische karakter van het lagenmodel is terug te zien in een ruiscomponent van kleine lokale afwijkingen gesuperponeerd op een regionale trend.

6.5.2 *Consistent lagenmodel*

Het lagenmodel is consistent, dat wil zeggen dat de top van een eenheid ofwel samenvalt met de basis van een of meerdere hoger gelegen eenheden, ofwel aan maaiveld ligt. Omgekeerd valt de basis van een eenheid samen met een of meerdere toppen van dieper gelegen eenheden, of de basis ligt aan de onderkant van het model. Een logisch gevolg is dat elk willekeurig punt in de ruimte (binnen de begrenzingen van het modelgebied) zich altijd tussen de top en basis van één enkele geologische eenheid bevindt. Deze gevolgtrekking gebruiken we om van (de middelpunten van) voxels te bepalen tot welke eenheid ze behoren.

Voor de consistentie geldt een uitzondering voor de rasters van de holocene geulsystemen: deze overlappen met de andere rasters. Een punt in de ruimte kan bijvoorbeeld zowel in een holocene geul liggen als in de Formatie van Echteld. In het voxelmodel geldt deze uitzondering niet: een voxel heeft altijd 1 geologische eenheid waarbij de holocene geulsystemen voorrang hebben.

6.5.3 *Verschillen met boormonsterprofielen*

Een boormonsterprofiel geeft een gedetailleerd beeld van de stratigrafische opeenvolging van geologische eenheden op één specifieke puntlocatie. In het lagenmodel wordt een schatting gegeven van de stratigrafische opeenvolging die representatief is voor een gebied van 100 bij 100 m (10.000 m²) en die past bij een (sub)regionale schaal. De interpretatie in geologische eenheden van een boormonsterprofiel kan daarom afwijken van de opeenvolging van geologische eenheden in het lagenmodel op dezelfde locatie.

De hoogte van het maaiveld op de locatie van het boormonsterprofiel kan eveneens afwijken van de maaiveldhoogte van het model. Dit kan verschillende oorzaken hebben, zoals kleine hoogteverschillen ter plaatse van het boormonsterprofiel, fouten in de opname van de maaiveldhoogte of een daadwerkelijke verandering in maaiveldhoogte door bijvoorbeeld afgraving of ophoging die in de tijd tussen het maken van het boormonsterprofiel en het construeren van het model heeft plaatsgevonden. Verder geldt ook bij maaiveldhoogte dat de hoogte in het model representatief is voor een gebied van 100 bij 100 m en de hoogte van een boormonsterprofiel geldt voor één specifieke puntlocatie.

6.5.4 *Verschillen met DGM*

In het holocene pakket is het lagenmodel van GeoTOP veel gedetailleerder dan in DGM waarin het holocene pakket als één geologische eenheid is opgenomen. In GeoTOP zijn naast 12 holocene stratigrafische eenheden ook 9 holocene geulsystemen als aparte eenheid gemodelleerd.

Doordat meer boormonsterprofielen in GeoTOP betrokken worden is ook de basis van het holocene pakket, en daarmee de top van de pleistocene ondergrond, gedetailleerder dan in DGM en REGIS II het geval is.

Voor dieper gelegen eenheden komen de ondergrondmodellen meer met elkaar overeen. Er zijn echter toch verschillen doordat in GeoTOP meer boormonsterprofielen betrokken zijn en in GeoTOP, in tegenstelling tot DGM, een stochastische modelleertechniek gebruikt wordt.

6.6 Voxelmodel

6.6.1 *Stochastisch model*

Net als bij het lagenmodel wordt in het voxelmodel een stochastische interpolatietechniek gebruikt om de lithoklasse van de voxels te schatten. De procedure leidt tot een set van 100 verschillende, maar statistisch gezien even waarschijnlijke schattingen. Via een speciaal daarvoor ontwikkelde methode worden de lithoklassen gemiddeld tot de 'meest waarschijnlijke lithoklasse'. Daarnaast wordt voor elke lithoklasse de kans op voorkomen berekend door het aantal keer dat in een voxel de lithoklasse geschat is te delen door 100.

6.6.2 *Verschillen met lagenmodel*

Het voxelmodel heeft in de horizontale richtingen dezelfde dimensies als het lagenmodel. In de verticale richting heeft het voxelmodel echter een maximale resolutie van 0,5 m. Dit betekent dat waarden van top, basis en dikte van de geologische eenheden in het voxelmodel altijd veelvoud van 0,5 m zijn.

Bij het vertalen van het lagenmodel naar het voxelmodel wordt voor het middelpunt van de voxel bepaald in welke geologische eenheid hij valt. Deze eenheid wordt vervolgens aan de voxel toegewezen. Op plaatsen waar een eenheid in het lagenmodel dunner is dan 0,5 m, en er geen voxel-middelpunt tussen top en basis ligt, zal de eenheid niet in het voxelmodel voorkomen. Als er juist wel een voxel-middelpunt tussen top en basis ligt, zal de eenheid een overdreven dikte krijgen van 0,5 m.

In uitzonderingsgevallen wordt ervoor gekozen om een eenheid in het lagenmodel een minimale dikte van 0,5 m te geven. Daarmee wordt gewaarborgd dat de eenheid altijd in het voxelmodel wordt gerepresenteerd.

6.6.3 *Verschillen met boormonsterprofielen*

Net als bij het lagenmodel kunnen er verschillen bestaan tussen de lithoklassen in het boormonsterprofiel en die in het voxelmodel. De lithoklassen in het voxelmodel zijn een schatting die representatief is voor een gebied van 100 bij 100 bij 0,5 m (5.000 m^3) en die past bij een (sub)regionale schaal. De interpretatie in lithoklassen van een boormonsterprofiel kan daarom afwijken van de lithoklasse in het voxelmodel op dezelfde locatie.

7 Metadata

7.1 Identificatie

Deze productspecificatie heeft betrekking op het ondergrondmodel GeoTOP, versie 1, release 3 (v01r3).

GeoTOP is opgebouwd uit een aantal modelgebieden. Dit zijn geografische gebieden die in één keer gemodelleerd worden op basis van een set basisgegevens. De modelgebieden hebben een eigen versienummering. Versie v01r2 van GeoTOP omvat de volgende modelgebieden:

Modelgebied	Versie
Zeeland	v01r2
Goeree-Overflakkee	v01r1
Zuid-Holland	v01r1
Noord-Holland	v01r0
Rivierengebied	v01r0
Westelijke Wadden	v01r0
Oostelijke Wadden	v01r0

GeoTOP versie v01r3 vervangt v01r2. Nieuw in v01r3 is modelgebied Oostelijke Wadden en het toevoegen van twee attributen (modelonzekerheid van geologische eenheid en modelonzekerheid van lithoklasse) aan het voxelmodel in het hele dekkingsgebied van GeoTOP. In GeoTOP v01r2 waren deze twee attributen alleen in Westelijke Wadden beschikbaar.

7.2 Uitgiftedatum

GeoTOP v01r3 is in mei 2016 gepubliceerd op DINOloket (www.dinoloket.nl).

7.3 Resolutie

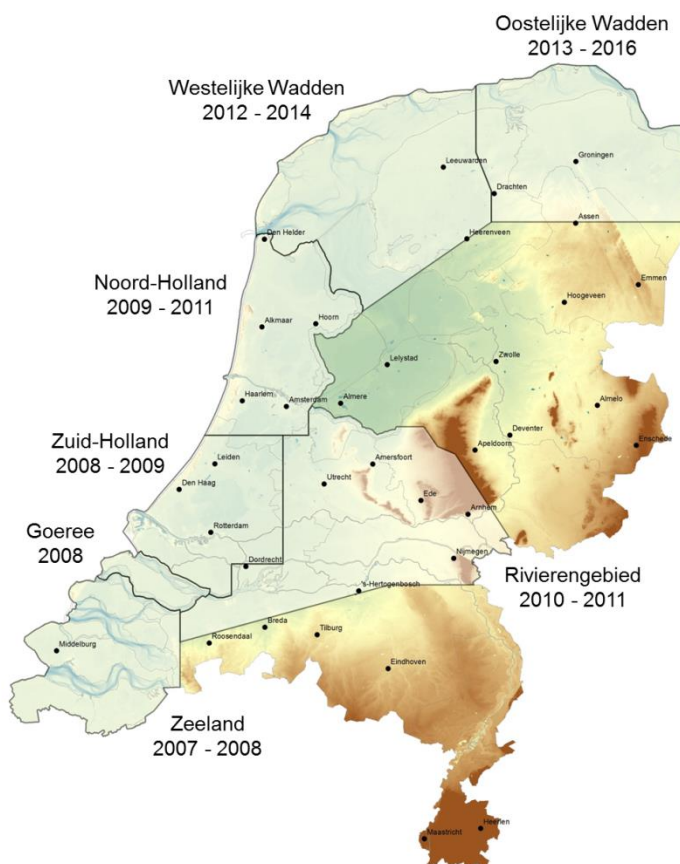
Rastercellen in het lagenmodel hebben afmetingen van 100 bij 100 m. Voxels in het voxelmodel meten 100 bij 100 m in de horizontale richtingen en 0,5 m in de verticale richting.

7.4 Gebruiksschaal

Circa 1:50.000. Zie ook de toelichting in hoofdstuk 3.

7.5 Gebiedsaanduiding

GeoTOP is momenteel nog niet voor heel Nederland beschikbaar. Het model wordt regio-gewijs vervaardigd in een meerjarig project dat gestart is in 2007. Versie v01r3 omvat de modelgebieden (regio's) Zeeland, Goeree-Overflakkee, Zuid-Holland, Noord-Holland, Rivierengebied, Westelijke Wadden en Oostelijke Wadden zoals weergegeven in Figuur 7.1.



Figuur 7.1: Modelgebieden GeoTOP met de periode waarin gemodelleerd is. De modelgebieden Zeeland, Goeree-Overflakkee, Zuid-Holland, Noord-Holland en Rivierengebied vormen samen GeoTOP v01r1. Met de toevoeging van modelgebied Westelijke Wadden is GeoTOP v01r2 ontstaan; GeoTOP v01r3 betreft de uitbreiding met Oostelijke Wadden.. De kleuren geven de hoogteligging van maaiveld- en waterbodembodem weer.

In de toekomst zal GeoTOP het gehele vasteland van Nederland beslaan. Het vasteland omvat ook de grote wateren zoals bijvoorbeeld het IJsselmeer, de Waddenzee en de Westerschelde.

De omgrenzende rechthoek, uitgedrukt in minimale en maximale coördinaten van het model, is vastgesteld in het Rijksdriehoekstelsel. De waarden zijn in onderstaande tabel weergegeven, met daarbij de omgerekende waarden in WGS84.

Coördinaat	Rijksdriehoekstelsel (m)	WGS84 (graden)	WGS84 (decimale graden)
Minimale X- coördinaat	0	E 003 11 40.7450	3.19465
Minimale Y- coördinaat	300.000	N 50 40 09.1109	50.66920
Maximale X- coördinaat	280.000	E 007 16 30.7336	7.27520
Maximale Y-coördinaat	625.000	N 53 35 46.3216	53.59620

7.6 Horizontale begrenzing

De horizontale begrenzing is per modelgebied vastgelegd in een raster met rastercellen van 100 bij 100 m. Elke rastercel geeft met een indicator aan of de cel wel of niet in het modelgebied ligt. Voor de landsgrenzen met België en Duitsland en voor de land-zee grens wordt uitgegaan van het raster van het maaiveld- en waterbodemoogtebestand (Stafleu et al., 2012).

7.7 Verticale begrenzing

De verticale begrenzing aan de bovenkant wordt bepaald door het maaiveld- en waterbodemoogtebestand (Stafleu et al., 2012). Dit bestand is een raster met cellen van 100 x 100 m. Elke rastercel geeft de hoogteligging van het maaiveld resp. de waterbodem ten opzichte van NAP weer.

De verticale begrenzing aan de onderkant wordt bepaald door een raster met cellen van 100 x 100 m. Elke rastercel geeft de diepteligging van de ondergrens weer in meters ten opzichte van NAP. Voor de modelgebieden in versie v01r3 geldt voor alle rastercellen een vaste waarde van 50 m onder NAP.

7.8 Horizontaal referentiesysteem

Alle coördinaten in GeoTOP zijn gegeven in m in het Rijksdriehoekstelsel, code Rijksdriehoekstelsel_New (28992) volgens de aanduiding van EPSG.

Voor de geïnterpreteerde boormonsterprofielen geven de coördinaten de ligging van de boorlocatie aan maaiveld aan. Voor het lagenmodel geldt de conventie dat de ligging van een rastercel wordt beschreven door de coördinaten van de linkeronderhoek ("lower left corner"). Voor het voxelmodel geldt de conventie dat de horizontale ligging van een voxel wordt beschreven door de coördinaten van het middelpunt ("cell center") van de voxel.

7.9 Verticaal referentiesysteem

Alle hoogten in GeoTOP zijn gegeven in m ten opzichte van NAP, code Normaal Amsterdams Peil (5709) volgens de aanduiding van EPSG. Voor het voxelmodel geldt de conventie dat de verticale ligging van een voxel wordt beschreven door de coördinaten van het middelpunt ("cell center") van de voxel.

7.10 Brongegevens

Zie Stafleu et al. (2012) voor een uitgebreid overzicht van de brongegevens anders dan de in dit document beschreven boormonsterprofielen.

7.11 Opdrachtgever

Opdrachtgever is de Geo-informatie Commissie (GIC) waarin het Ministerie van Infrastructuur en Milieu en het Ministerie van Economische Zaken vertegenwoordigd zijn.

7.12 Juridische aspecten

GeoTOP is intellectueel eigendom van TNO – Geologische Dienst Nederland. Het gebruik van GeoTOP is toegestaan onder de gebruiksvoorwaarden zoals die vermeld zijn op DINOloket.

Op het gebruik van GeoTOP is de disclaimer zoals gepubliceerd op DINOloket van toepassing.

7.13 Veiligheid

GeoTOP is vrij toegankelijk.

7.14 Contactgegevens

7.14.1 Bezoekadres

TNO – Geologische Dienst Nederland,
Afdeling Geomodellering,
Princetonlaan 6,
3584 CB Utrecht.

7.14.2 Postadres

Postbus 80015,
3508 TA Utrecht.

7.14.3 Servicedesk

Een contactformulier is beschikbaar op www.dinoloket.nl/contact.

De Servicedesk is op werkdagen van 08:00 - 17:00 telefonisch bereikbaar op 088 - 86 64 300.

Het e-mail adres van de Servicedesk is info@dinoloket.nl.

8 Literatuur

Bosch, J.H.A., 2000. Standaard Boor Beschrijvingsmethode, Versie 5.1. NITG-TNO Rapport 00-141-A, 106 p.

Busschers, F.S., Stafleu, J., Maljers, D., Peeters, J. & Schokker, J., in voorbereiding. Using a 3D voxel model in geological analysis: a case study from the IJssel Valley basin, the Netherlands.

De Lange, G., Gunnink, J., Houthuessen, Y. & Muntjewerff, R., 2012. Bodemdalingskaart Flevoland. Rapport Grontmij no. GM-0042778, 58 p.

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

Maljers, D., Stafleu, J., Van der Meulen, M.J. & Dambrink, R.M., 2015. Advances in constructing regional geological voxel models, illustrated by their application in aggregate resource assessments. Netherlands Journal of Geosciences 94, p. 257 – 270.

Stafleu, J. & F.S. Busschers, 2014. Lithological, grain-size and architectural trends in the Holocene Rhine-Meuse delta: insights from 3D voxel models (Extended abstract). 76th EAGE Conference & Exhibition 2014 Amsterdam RAI, The Netherlands, 16-19 June 2014.

Stafleu, J., Maljers, D., Busschers, F.S., Gunnink, J.L., Schokker, J., Dambrink, R.M., Hummelman, J.H. & Schijf, M.L., 2012. GeoTOP modellering. TNO-rapport TNO-2012-R10991, 214 p. Verkrijgbaar via DINOloket (www.dinoloket.nl).

TNO, 2014a. Modelonzekerheid in GeoTOP. Verkrijgbaar via DINOloket (www.dinoloket.nl).

TNO, 2014b. Handleiding SubsurfaceViewer 3D, een tool voor het visualiseren van DGM, REGIS II, GeoTOP en NL3D in 1, 2 en 3 dimensies, 16 p. Verkrijgbaar via DINOloket (www.dinoloket.nl).

Van der Meulen, M.J., Van Gessel, S.F. & Veldkamp, J.G., 2005. Aggregate resources in the Netherlands. Netherlands Journal of Geosciences, 84(3), p.397-387. Verkrijgbaar via www.delfstoffonline.nl.

Van der Schans, M., 2012. Bodemdaling Provincie Utrecht. Online presentatie: <http://www.slideshare.net/XanderBakker/bodemdeling-model-provincie-utrecht-grontmij>.

Vernes, R.W. & Van Doorn, Th. H. M., 2005. Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid – Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. Netherlands Institute of Applied Geosciences TNO, Report 05-038-B, 105 p. Verkrijgbaar via DINOloket (www.dinoloket.nl).

9 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever
Directie TNO Geologische Dienst van Nederland

Naam en ondertekening interne reviewer



Drs. J.L. Gunnink

Ondertekening:



Dr. J. Stafleu
Auteur

Goedkeuring:



Dr. M.J. van der Meulen
Research Manager