

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75
infodesk@tno.nl

TNO-rapport

TNO 2012 R10991

GeoTop modellering

Datum	17 januari 2013
Auteur(s)	dr. J. Stafleu drs. D. Maljers dr. F.S. Busschers drs. J.L. Gunnink dr. J. Schokker R.M. Dambrink MSc H.J. Hummelman M.L. Schijf MSc
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	216 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	
Projectnaam	GIP VOXELS 2012
Projectnummer	056.01541

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, 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 belang-hebbenden is toegestaan.

© 2012 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Ondergrondmodellen van TNO – Geologische Dienst Nederland	5
1.2	GeoTOP	8
1.3	Dit rapport	10
1.3.1	1.3.1 Gerelateerde publicaties	10
1.3.2	Beperkingen	11
1.4	Versie historie	11
2	Het GeoTOP model	13
2.1	Inleiding	13
2.2	Conceptueel gegevensmodel	16
2.2.1	Voxelmodel	18
2.2.2	Modelgebieden	19
2.2.3	Voxel	22
2.2.4	Modeleenheid	24
2.2.5	Lithoklasse	24
2.2.6	Raster	25
2.2.7	Rastercel	25
2.2.8	Interpretaties van boorbeschrijvingen	26
2.2.9	Interpretaties van sonderingen	27
3	Brongegevens	29
3.1	Inleiding	29
3.2	Boorbeschrijvingen DINO	29
3.3	Boorbeschrijvingen Universiteit Utrecht	36
3.4	Tauw Veenboringen	37
3.5	DINO Sonderingen	38
3.6	Geologische Kaart van de Ondiepe Ondergrond	40
3.7	DGM	42
3.8	REGIS II	45
3.9	REGIS Zeeland	47
3.10	Breuken	47
3.11	Actueel Hoogtebestand Nederland	49
3.12	Maaiveld- en waterbodemhoogten	50
3.13	Holocene geulsystemen van de Universiteit Utrecht	52
3.14	Bodemkaart	53
3.15	Geomorfologische kaart	54
3.16	Landelijk Grondgebruik Nederland	56
3.17	Topografische kaart	57
3.18	Luchtfoto's	58
3.19	Lithostratigrafische Nomenclator Ondiepe Ondergrond	59
3.20	Software	61

4	Procesbeschrijving GeoTOP	63
4.1	Inleiding	63
4.2	Vorbereiden basisgegevens	64
4.2.1	Vaststellen modelgebiedsbegrenzing	67
4.2.2	Voorlopige extractie van boringen en sonderingen	68
4.2.3	Toepassen kwaliteitsfilter boringen en sonderingen	70
4.2.4	Lithologisch interpreteren van sonderingen	71
4.2.5	Inventariseren lithostratigrafische eenheden	74
4.2.6	Selecteren te modelleren eenheden	75
4.2.7	Opstellen conceptueel model	75
4.2.8	Verzamelen kaartmateriaal	77
4.2.9	Maken verbreidingsgrenzen	78
4.2.10	Corrigeren maaiveld- en waterbodemoogten	82
4.2.11	Maken stuurvlakken	82
4.3	Indelen stratigrafie (boringen en sonderingen)	84
4.3.1	Definitieve extractie van boringen en sonderingen	85
4.3.2	Toekennen niet-DGM stratigrafie aan intervallen	86
4.3.3	Aanpassen verbreidingsgrenzen	91
4.3.4	Bijwerken stuurvlakken	91
4.3.5	Verrasteren verbreidingsgrenzen	91
4.3.6	Toekennen DGM-stratigrafie aan intervallen	93
4.3.7	Maken van een gecombineerde stratigrafische indeling	95
4.3.8	<i>Controleren stratigrafische indeling</i>	96
4.3.9	<i>Workflow management</i>	97
4.4	Modelleren stratigrafie (lagenmodel)	98
4.4.1	<i>Vereenvoudigen boorbeschrijvingen</i>	102
4.4.2	<i>Opsporen en uitsluiten duplicaten</i>	102
4.4.3	<i>Prepareren dataset voor Isatis</i>	102
4.4.4	<i>Importereren data</i>	103
4.4.5	<i>Importereren of maken trendvlak basis</i>	104
4.4.6	<i>Simuleren zonder minimale basis</i>	104
4.4.7	<i>Simuleren met minimale basis</i>	107
4.4.8	<i>Berekenen gemiddelde uitkomst basis</i>	108
4.4.9	<i>Uitzondering: Antropogeen</i>	108
4.4.10	<i>Maken consistent lagenmodel</i>	108
4.4.11	<i>Exportereren lagenmodel</i>	111
4.4.12	<i>Controleren lagenmodel</i>	111
4.4.13	Werkproces met Holocene geulsystemen	112
4.4.14	<i>Berekenen kans op stratigrafie</i>	115
4.4.15	<i>Workflow management</i>	117
4.5	Modelleren lithoklasse (voxelmodel)	118
4.5.1	<i>Definiëren modelblokken</i>	122
4.5.2	<i>Vertalen lagenmodel naar voxelmodel</i>	123
4.5.3	Indelen boorbeschrijvingen in lithoklassen	125
4.5.4	Vereenvoudigen lithoklasseintervallen	128
4.5.5	Fitten lithoklasseintervallen aan lagenmodel	129
4.5.6	Regulariseren lithoklasseintervallen	131
4.5.7	Berekenen globale verhoudingen	133
4.5.8	Importereren data	135

4.5.9	Maken selecties	136
4.5.10	Vaststellen geostatistische parameters	136
4.5.11	Simuleren lithoklassen	137
4.5.12	Uitzondering: hellende eenheden en door landijs gestuwde eenheden	142
4.5.13	Berekenen kans op lithoklasse	145
4.5.14	Berekenen meest waarschijnlijke lithoklasse	145
4.5.15	Uitzondering: Antropogeen	149
4.5.16	Exporteren voxelmodel	149
4.5.17	Controleren voxelmodel	149
4.5.18	Werkproces met Holocene geulsystemen	150
4.5.19	Workflow management	154
4.6	Maken afgeleide producten (o.a. kaarten)	155
4.6.1	Maken samengesteld lagenmodel	156
4.6.2	Maken upload bestanden voor geïnterpreteerde boorbeschrijvingen	160
4.6.3	Maken horizontale doorsneden	162
4.6.4	Maken cumulatieve kaarten	168
4.6.5	Maken geologische kaarten	169
4.6.6	<i>Maken Top Pleistoceen kaart</i>	172
4.6.7	<i>Maken grondslagkaarten</i>	174
4.6.8	<i>Maken datasets voor de Subsurface Viewer</i>	177
4.6.9	<i>Maken datasets voor Delfstoffen Online</i>	184
4.6.10	<i>Maken (x,y)-bestand</i>	196
5	Ondertekening	199
6	Literatuur	201
7	Bijlagen	205
7.1	Modeleenheden	205
7.2	Lithoklassen	208
7.2.1	Lithoklassen volgens de indeling van REGIS II	208
7.2.2	Lithoklassen volgens de indeling van Delfstoffen	209
7.3	Dataformaat lagenmodel	210
7.3.1	Header-deel	210
7.3.2	Data-deel	212
7.3.3	Andere dataformaten voor rasters	213
7.4	Dataformaat voxelmodel	213
7.4.1	Dataformaat voxels zonder (x,y,z)-coördinaten per voxel	213
7.4.2	Dataformaat voxels met (x,y,z)-coördinaten per voxel	215

1 Inleiding

1.1 Ondergrondmodellen van TNO – Geologische Dienst Nederland

De ondergrond van Nederland is van groot maatschappelijk belang. Ze levert de samenleving een schat aan delfstoffen, schoon drinkwater, ruimte voor infrastructuur en voedingsstoffen voor gewassen en natuurlijke vegetaties. In de Nederlandse ondergrond bestaat de drager van al deze functies vooral uit de grondsoorten zand, grind, klei en veen. De afwisseling in grondsoorten (lithologie) en de daarmee samenhangende eigenschappen bepaalt mede het voorkomen, de kwaliteit en de stroming van het grondwater.

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 in de vorm van computermodellen van de Nederlandse ondergrond. Voor een diepte tot circa 500 m zijn dit de modellen DGM, REGIS II, GeoTOP en NL3D. De modellen voorspellen de geometrie en de eigenschappen van de ondergrond. Het zijn statische modellen, dat wil zeggen dat de modellen niet de dynamische aspecten van de ondergrond, zoals grondwaterstroming of zetting, voorspellen. Wel fungeren de modellen als basis voor grondwaterstudies of zettingsberekeningen.

Aardlagen in de ondergrond worden gegroepeerd in geologische eenheden (formaties, laagpakketten en lagen) op basis van de aard en samenstelling van de gesteenten of grondsoorten. Het Digitaal Geologisch Model (DGM) is een lagenmodel van de geologische eenheden die in Nederland onderscheiden worden tot een diepte van grofweg 500 m. REGIS II is de hydrogeologische verfijning van het DGM in goed doorlatende zandige, en slecht doorlatende kleiige eenheden. Aan iedere zandige en kleiige eenheid worden bovendien (gemiddelde) hydrogeologische parameters toegekend, zoals doorlatendheid, zodat het model in grondwatermodelstudies gebruikt kan worden.

GeoTOP is een volledig 3D model waarbij tot een diepte van 30 - 50 m onder maaiveld de ondergrond in voxels (3D cellen) van 100 x 100 x 0,5 m wordt ingedeeld. Iedere voxel bevat informatie over de geologische eenheid, de grondsoort en (in de toekomst) diverse fysische en chemische eigenschappen. GeoTOP wordt regiogewijs gemaakt: op dit moment zijn de modelresultaten van de modelgebieden Zeeland, Goeree, Zuid-Holland, Noord-Holland en het Rivierengebied via het portal *DINO*Loket (www.dinoloket.nl) beschikbaar. GeoTOP dekt daarmee circa 35% van Nederland af. In 2012 is begonnen met de modellering van Noord Nederland.

Een vierde modelproduct, dat in 2012 op *DINO*Loket beschikbaar is gekomen, is Nederland3D (NL3D). Dit model is een lage-resolutievariant van GeoTOP met voxels van 250 x 250 x 1 m. het NL3D model is in relatief korte tijd tot stand gekomen, maar gebruikt dan ook veel minder geologische data dan GeoTOP. Het NL3D model geeft voor heel Nederland informatie over de grondsoorten van maaiveld tot een diepte van 50 m onder NAP.

Tot slot wordt een regionaal ondergrondmodel van het Nederlands Continentaal Plat (NCP) ontwikkeld dat onder meer van belang is voor het beheer en gebruik van de kust, de zeeweringen, de ecologische gesteldheid en potentie voor zandwinningen.

In de voxelmodellen GeoTOP en NL3D kan variatie en heterogeniteit van de ondergrond beter worden weergegeven dan in de lagenmodellen DGM en REGIS II mogelijk is.

Onderstaande tabel, ontleend aan Van der Meulen et al. (2011), geeft een overzicht van de informatievoorziening van TNO – Geologische Dienst Nederland, waarin de modellen een belangrijke rol spelen.

Huidige geo-informatievoorziening van de Geologische Dienst Nederland (actuele informatiediensten en –producten, in ontwikkeling c.q. in onderhoud)	
DATA	<ul style="list-style-type: none"> • DINO, de centrale opslagplaats voor geowetenschappelijke gegevens over de diepe en ondiepe ondergrond van Nederland. Het archief omvat diepe en ondiepe boringen, grondwatergegevens, sonderingen, geo-elektrische metingen resultaten van geologische, geochemische en geomechanische monsteranalyses, boorgatmetingen en seismische gegevens.
MODELLEN	<ul style="list-style-type: none"> • DGM: een gridlagenmodel van de formaties die in de Nederlandse ondergrond onderscheiden worden (top, basis, dikte). Voor de ondiepe en ondiepe ondergrond (zie onder toelichting in deze tabel) gaat het om gescheiden maar wel aansluitende modellen, waaraan voor zover relevant wordt gerefereerd als DGM-ondiep en DGM-diep. • REGIS II: de geohydrologische verbijzondering van DGM-ondiep, waarbij de ondergrond is ingedeeld in goed doorlatende en slecht doorlatende lagen (zand vs. klei/veen). Naast de geometrie zijn per eenheid gemiddelde geohydrologische parameters gegeven. • GeoTOP: een zgn. 3D model waarbij de ondergrond tot 30 à 50 m - maaiveld in zgn. voxels van 100 x 100 x 0,5 m is ingedeeld, met de grondsoort en diverse fysische en chemische eigenschappen als attribuut, inclusief onzekerheden (uitgedrukt als kans op voorkomen). • NL3D: een lage-resolutievariant van GeoTOP (250 x 250 x 1 m). NL3D is gebouwd om tot tijdens uitvoering van het GeoTOP-project al landsdekkend 3D informatie te bieden.
TOELICHTING	<ul style="list-style-type: none"> • DGM en REGIS II zijn lagenmodellen, die voornamelijk bodemopbouw weergeven (ook al zijn de laageneheden van REGIS II en DGM-diep wel degelijk voorzien van bulk eigenschappen). In de voxelmodellen GeoTOP en NL3D zijn variatie en heterogeniteit van de ondergrond, gegeven de modelresolutie, beter gepresenteerd dan in lagenmodellen mogelijk is. • Diep versus ondiep: <ul style="list-style-type: none"> – ondiep: het dieptebereik < 500 m (~ het Kwartair en Boven-Tertiair), met toepassingen in grondwaterbeheer, ruimtelijke ordening, (pre)prospectie voor delfstoffen, bouw/geotechniek, inschatten van geohazards, bodembeheer, etc. – diep: het dieptebereik > 500 m (~ het Tertiair en ouder), met toepassingen in de olie-/gasexploratie, zoutwinning, geothermie, en ondergrondse gas- en CO₂-opslag. – De werkwijze van de diepe en ondiepe karteringen verschilt, wat te maken heeft met de beschikbare gegevenstypes. De producten die voor het ondiepe bereik worden gemaakt zijn over het algemeen bulkinterpretaties van boorgegevens. In het diepe bereik wordt primair met geofysische data (seismiek en boorgatdata) gewerkt. • Naast de bovenstaande basismodellen zijn er toegepaste producten ontwikkeld zoals Delfstoffen Online, ThermoGis en bodemdalingskaarten en –voorspellingen. • Naast modellen zijn er resultaten van afgesloten projecten (kaartseries, atlassen, etc.).

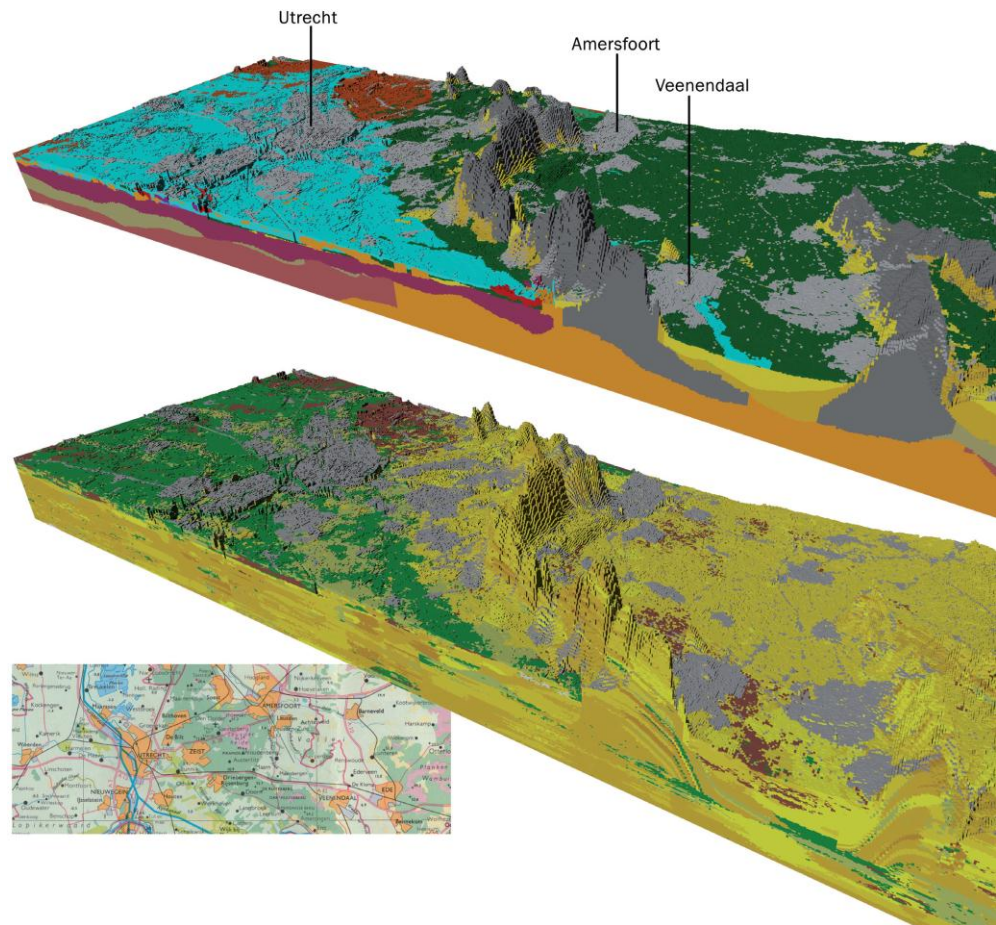
Met de ondergrondmodellen ondersteunt TNO – Geologische Dienst Nederland overheden en bedrijven bij de visie-ontwikkeling en planning van het beheer en gebruik van de ondergrond, inclusief het grondwater. Tevens dragen de modellen bij aan het verkrijgen van inzicht in de geologische ontwikkeling van Nederland en zijn het bouwstenen voor verder geowetenschappelijk onderzoek.

1.2 **GeoTOP**

Het model GeoTOP geeft een gedetailleerd driedimensionaal beeld van de Nederlandse ondergrond tot een diepte van 30 - 50 m onder maaiveld. Het model is feitelijk een detaillering van de bovenkant van de modellen DGM en REGIS II en bestrijkt het deel van de bodem dat in Nederland het meest intensief wordt gebruikt. GeoTOP vormt de basis voor het beantwoorden van vragen op het gebied van de ruimtelijke ordening van de ondergrond, de ondiepe delfstoffenwinning (zand, grind en klei) en het grondwater. GeoTOP wordt daarom opgenomen in de Basisregistratie Ondergrond (BRO). Het model draagt mede bij aan het verkrijgen van inzicht in de geologische ontwikkeling van Nederland en vormt het fundament voor hydrogeologische, geotechnische en geo-archeologische toepassingen en voor overig geowetenschappelijk onderzoek.

Uitgangspunt voor het GeoTOP model zijn de boringen in de DINO database (beheerd door TNO) aangevuld met externe gegevensbronnen. In het modelgebied Zeeland zijn 23.000 boringen beschikbaar, in modelgebied Zuid-Holland zelfs 50.000. Elke boring geeft gedetailleerde informatie over de opbouw van de ondergrond op één specifieke locatie.

Naast boorinformatie wordt er in GeoTOP ook gebruik gemaakt van digitaal kaartmateriaal, zoals de bestaande geologische kaarten (TNO) en de zandbanenkaart van de Universiteit Utrecht. Met behulp van interpolatietechnieken worden de boringen vertaald naar de voxels van 100 bij 100 m horizontaal en 50 cm verticaal, zodat een continu 3D beeld ontstaat van de geologische opbouw van de ondergrond (Figuur 1.1). Bij de constructie van de GeoTOP-modellen voor Noord-Holland en het Rivierengebied worden ook sondeergegevens gebruikt.



Figuur 1.1: 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 stratigrafische eenheden zien; de onderste de lithoklasse indeling. Geel in de lithoklasse indeling is zand (hoe donkerder de kleur, hoe grover de korrels); groen is klei; olijfgroen is kleilig zand en zandige klei; bruin is veen. Het blok is 62 bij 24 km; de basis ligt op 50 m onder NAP en de verticale schaal is 75 keer overdreven. Let op de hellende lagen in de stuwwallen die gebaseerd zijn op grondradaronderzoek.

De delen van het GeoTOP model die gereed zijn worden via het portaal DINOloket (www.dinoloket.nl) ter beschikking gesteld. Op dit moment kunnen ArcGIS-bestanden van uit GeoTOP afgeleide kaarten worden gedownload, bijvoorbeeld het lagenmodel van het Holoceen (een detaillering van DGM), cumulatieve veendikte kaarten en geologische oppervlaktekaarten. Deze kaarten zijn ook via de kaartviewer in DINOloket te bekijken.

TNO heeft samen met INSIGHT Geological Software Systems GmbH een 3D viewer ontwikkeld waarin het lagenmodel, het voxelmodel en de onderliggende geïnterpreteerde boorbeschrijvingen van GeoTOP gevisualiseerd kunnen worden. In de toekomst zullen de 3D modelresultaten direct in de DINO database dan wel de database van de Basisregistratie Ondergrond (BRO) opgeslagen worden, waarna gebruikers in staat worden gesteld om modelresultaten van een zelf gekozen deelgebied te downloaden.

GeoTOP is een relatief nieuw product en is nog niet landsdekkend beschikbaar. Desondanks wordt het model al op diverse terreinen toegepast. Een aantal voorbeelden:

- Delfstofwinning: het vaststellen van de geologisch winbare hoeveelheden zand en grind (Van der Meulen et al., 2005). In paragraaf 4.6 wordt uitgebreid op deze toepassing in gegaan.
- Kaart met de geschiktheid van de ondiepe ondergrond (bovenste 8 m) voor de aanleg van rioleringen en andere toepassingen. Ook deze toepassing wordt in paragraaf 4.6 gedetailleerd besproken.
- Langetermijn (tot 200 jaar) voorspellingen van bodemdaling. De ruimtelijke verdeling van klei en veen is een belangrijke factor bij bodemdalingsvoorspellingen. De bodemdalingskaart van Flevoland (De Lange et al., 2012) is een voorbeeld van zo'n voorspelling en is gebaseerd op het NL3D voxelmodel. Daarnaast is er een bodemdalingskaart in de provincie Utrecht gemaakt op basis van geoTOP (Van de Schans, 2012).
- Gietwatervoorziening voor de glastuinbouw in het Westland (Klein et al., 2011), waarbij de hydrogeologische opbouw van de ondiepe ondergrond is geanalyseerd met een combinatie van GeoTOP en REGIS II.
- Risicokaart met de kans op het optreden van hydraulische kortsluiting ("lekkage") bij baggerwerkzaamheden in de Utrechtse Vecht. Deze kaart is gebaseerd op de geometrie en samenstelling van de Holocene zandbanen in GeoTOP.
- *Climate proof areas*: onderzoek naar o.a. zoetwatervoorziening in kustgebieden (Van Baaren & Harezlak, 2011; Van Baaren et al. 2012).
- Onderzoek naar de zoutwater problematiek in Zeeland (De Louw et al., 2011; Faneca Sánchez et al., 2012).
- Geohydrologische modellering van Zuiderzee regio (het AZURE grondwatermodel). Dit modelonderzoek is in 2012 gestart en maakt gebruik van het GeoTOP model Rivierengebied (<http://www.azuremodel.nl/>).
- Veendiktekaart als onderdeel van een onderzoek naar landschapskwaliteit van Laag Holland (Bos, 2012).

1.3 Dit rapport

Dit rapport geeft een gedetailleerde beschrijving van GeoTOP: het beschrijft wat GeoTOP is, op welke brongegevens het is gebaseerd en hoe het gemaakt wordt. Ook worden de uit GeoTOP afgeleide producten beschreven die (vrijwel) direct toepasbaar zijn bij het analyseren en oplossen van ondergrondvraagstukken.

Het rapport start met een beschrijving van de verschillende onderdelen van het model: geïnterpreteerde boringen, rasters van toppen en basissen van stratigrafische eenheden en voxels met stratigrafische en lithologische kenmerken (hoofdstuk 2). Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een overzicht gegeven van de bij GeoTOP betrokken brongegevens, o.a. boringen, sonderingen en kaartmateriaal. Hoofdstuk 4 beslaat het grootste deel van het rapport en geeft een gedetailleerde beschrijving van het proces waarmee GeoTOP wordt gemaakt. Dit proces bestaat uit 5 werkprocessen: 1) voorbereiden basisgegevens; 2) indelen stratigrafie; 3) modelleren stratigrafie (lagenmodel); 4) modelleren lithoklassen (voxelmodel) en 5) maken afgeleide producten. Het rapport eindigt met een aantal bijlagen die uitleg geven over in GeoTOP gebruikte coderingen en bestandsformaten.

1.3.1 Gerelateerde publicaties

GeoTOP is niet het eerste voxelmodel dat door TNO – Geologische Dienst Nederland is ontwikkeld.

Voorlopers van GeoTOP zijn onder andere een landsdekkend voxelmodel dat gericht is op de winning van zand en grind (Van der Meulen et al., 2005; zie ook paragraaf 4.6 van dit rapport) en een model met de winbare hoeveelheden klei (Van der Meulen et al., 2007). De modellering van GeoTOP bouwt verder op ervaringen die in deze voorlopers zijn opgedaan, en hergebruikt daarnaast de *best practices* van de modellen DGM (Gunnink et al., subm.) en REGIS II (Vernes & Van Doorn, 2005).

De eerste wetenschappelijke publicatie over GeoTOP behandelt het modelgebied Zeeland en gaat uitvoerig in op de gebruikte interpolatiemethoden (Stafleu et al., 2011b). Op diverse internationale wetenschappelijke congressen is GeoTOP gepresenteerd. Naar aanleiding van een aantal van deze congressen zijn *extended abstracts* verschenen (Stafleu et al., 2009, 2010, 2011a).

Tot slot hebben een aantal Geologische Diensten uit verschillende landen, waaronder Nederland, een overzicht gemaakt van hun 3D modellen (Berg et al., 2011).

1.3.2 *Beperkingen*

Dit rapport beschrijft niet zozeer de resultaten van de GeoTOP modellering, maar concentreert zich op de manier waarop de modellering wordt uitgevoerd. In principe wordt elk gebied op dezelfde manier gemodelleerd, maar er zijn (uiteraard) uitzonderingen. Deze uitzonderingen worden in dit rapport niet in detail beschreven. Ook de voor een modelgebied specifieke details, zoals welke geologische eenheden er voorkomen en welke criteria er zijn gebruikt bij de geautomatiseerde interpretatie van boorbeschrijvingen, komen in dit rapport niet aan de orde.

In de toekomst zullen ook fysische en chemische parameters in GeoTOP worden opgenomen. Deze parametrisering van GeoTOP valt echter buiten de scope van dit document.

1.4 **Versie historie**

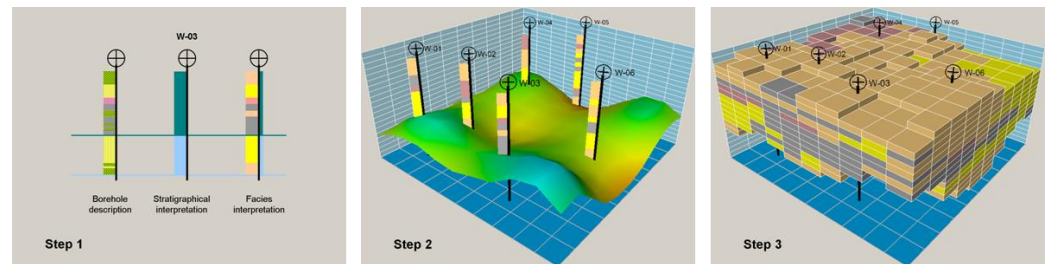
GeoTOP is een model in ontwikkeling, wat betekent dat de wijze waarop GeoTOP wordt geconstrueerd in de toekomst kan veranderen. Een belangrijke verandering die voor de nabije toekomst wordt voorzien is de opname van het model in de Basisregistratie Ondergrond (BRO). De voorliggende versie van het rapport beschrijft echter de situatie vóór opname van GeoTOP in de BRO. De belangrijkste gegevensbron voor GeoTOP is daarom de DINO-database en de uitlevering van het model verloopt via *DINOLOket*.

Versie	Datum	Omschrijving
1.0	November 2012	Initieel document; versie vóór opname in Basisregistratie Ondergrond (BRO).

2 Het GeoTOP model

2.1 Inleiding

GeoTOP is niet alleen een voxelmodel maar bestaat uit een aantal hieronder beschreven producten en tussenproducten die ontstaan uit een gestandaardiseerd werkproces. Het werkproces wordt gedetailleerd beschreven in hoofdstuk 4, maar het wordt hier kort samengevat (Figuur 2.1).



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

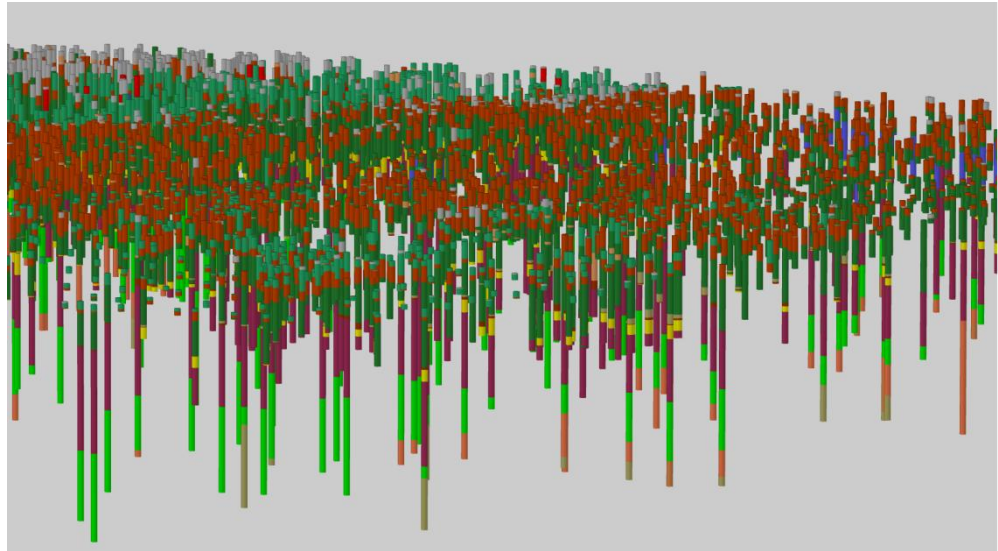
In stap 1 worden de gedetailleerde lithologische boorbeschrijvingen (linker boorkolom) onderverdeeld in geologische eenheden (middelste boorkolom) en lithoklassen (rechter boorkolom). In stap 2 wordt voor elke geologische eenheid een top- en een basis vlak geconstrueerd. Elke voxel die tussen de top en basis van een geologische eenheid valt hoort vervolgens tot die eenheid. Tot slot wordt in stap 3 voor elke voxel binnen de geologische eenheid de lithoklasse bepaald. In stap 2 en stap 3 worden stochastische simulatietechnieken gebruikt die ervoor zorgen dat we beschikken over een maat van modelonzekerheid.

De verschillende (tussen)producten van GeoTOP zijn:

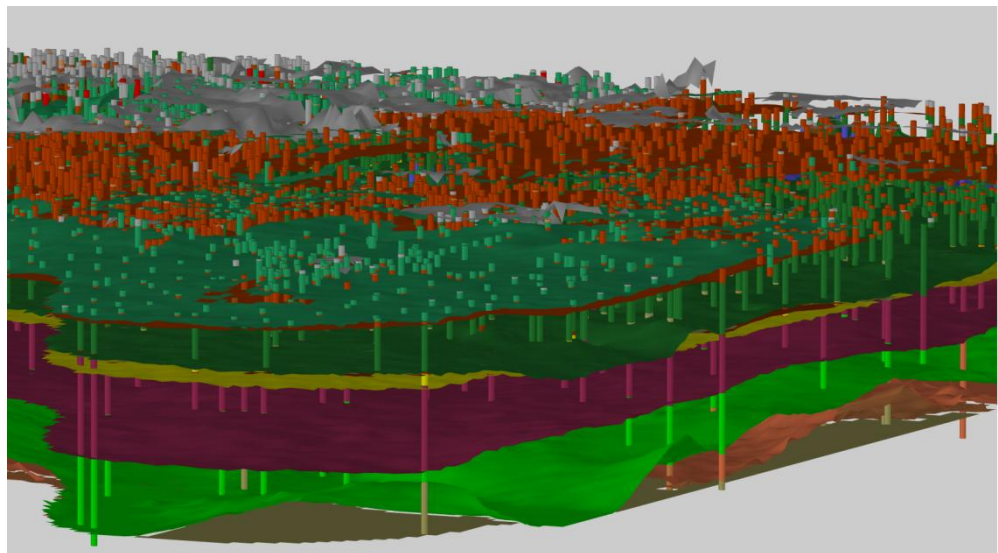
- Het eigenlijke **voxelmodel** waarbij de ondergrond in voxels van 100 x 100 x 0,5 m ingedeeld is. Elke voxel heeft een aantal attributen, waaronder de geologische eenheid, de lithoklasse (veen, klei, zand en voor het zand diverse korrelgrootteklassen) en een maat van modelonzekerheid (kans op lithoklasse).
- Een onderliggend **lagenmodel**, vergelijkbaar met de lagenmodellen DGM en REGIS II, maar gebaseerd op veel meer boringen. In het lagenmodel is 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 resp. 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.
- De indeling van de boorbeschrijvingen en sondeercurves in **geologische eenheden** en in **lithoklasse eenheden**. Elke boorbeschrijving en sondeercurve is onderverdeeld in intervallen van gelijke geologische eenheid (met een top en basis ten opzichte van NAP). Daarbinnen worden de intervallen verder opgedeeld in intervallen van een gelijke lithoklasse.

- Uit de bovengenoemde drie onderdelen worden **afgeleide producten** vervaardigd zoals horizontale doorsneden door het voxelmodel, cumulatieve diktekaarten en een geologische oppervlaktekaart.

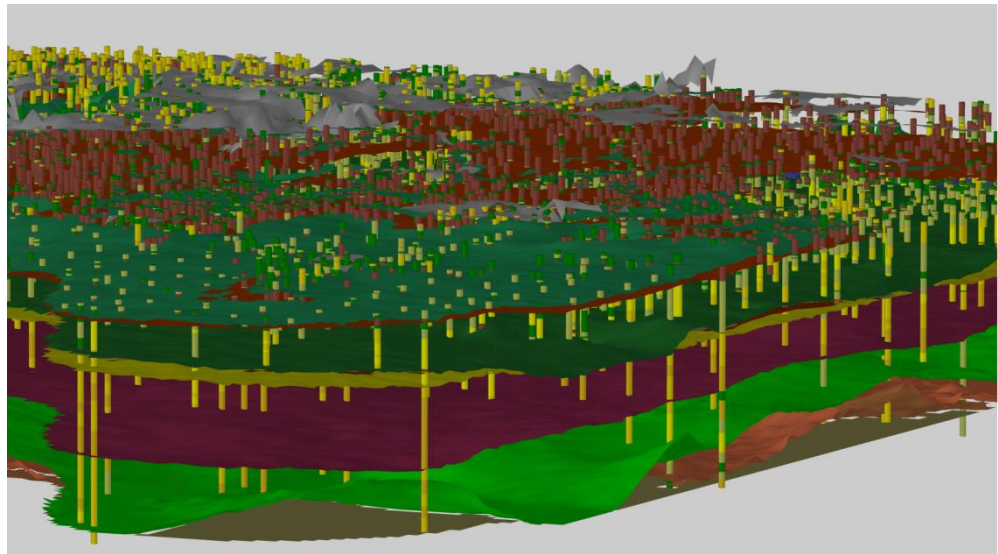
De onderlinge samenhang van geïnterpreteerde boorbeschrijvingen, lagenmodel en voxelmodel is geïllustreerd in Figuur 2.2 – 2.5.



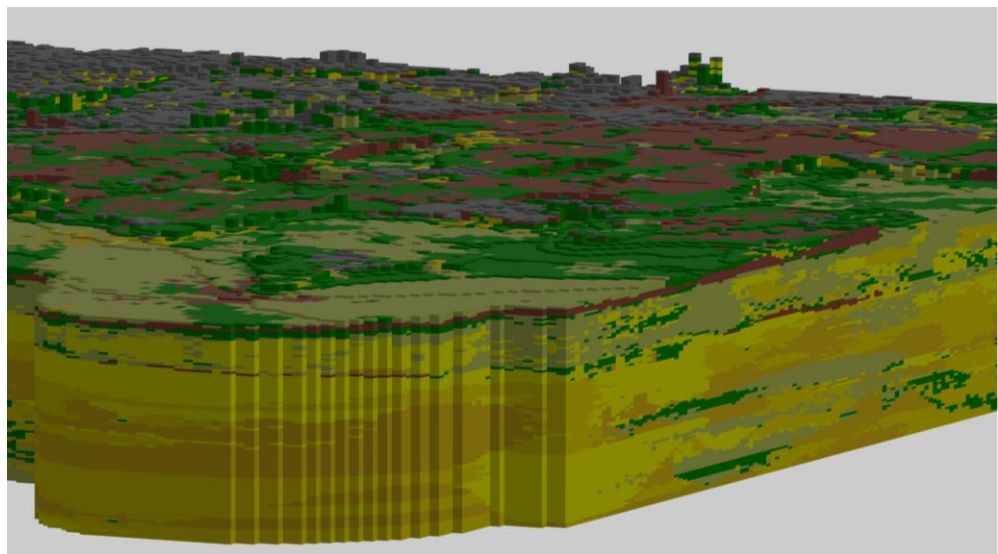
Figuur 2.2: 3D weergave van boorkolommen waarbij de kleuren verschillende geologische eenheden weergeven.



Figuur 2.3: 3D weergave van een lagenmodel gebaseerd op de geïnterpreteerde boringen van Figuur 2.2. Van het lagenmodel zijn alleen de basisvlakken weergegeven. Elk basisvlak is het resultaat van een ruimtelijke interpolatie van de in de boringen aangetroffen basissen van de betreffende eenheid.



Figuur 2.4: 3D weergave van het lagenmodel van Figuur 2.3 waarbij de kleuren in de boorkolommen nu de lithoklasse weergeven. (Geel in de lithoklasse indeling is zand (hoe donkerder de kleur, hoe grover de korrels); groen is klei; olijfgroen is kleilig zand en zandige klei; bruin is veen.)



Figuur 2.5: 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 boringen. (Geel in de lithoklasse indeling is zand (hoe donkerder de kleur, hoe grover de korrels); groen is klei; olijfgroen is kleilig zand en zandige klei; bruin is veen.)

Een ander belangrijk aspect van GeoTOP is dat het is opgedeeld in **modelgebieden**. GeoTOP wordt niet in een keer landelijk samengesteld maar regiogewijs ontwikkeld in een langlopend project met een werkplan van 2007 t/m 2018. 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. In 2012 is gestart met Noord Nederland.

2.2 Conceptueel gegevensmodel

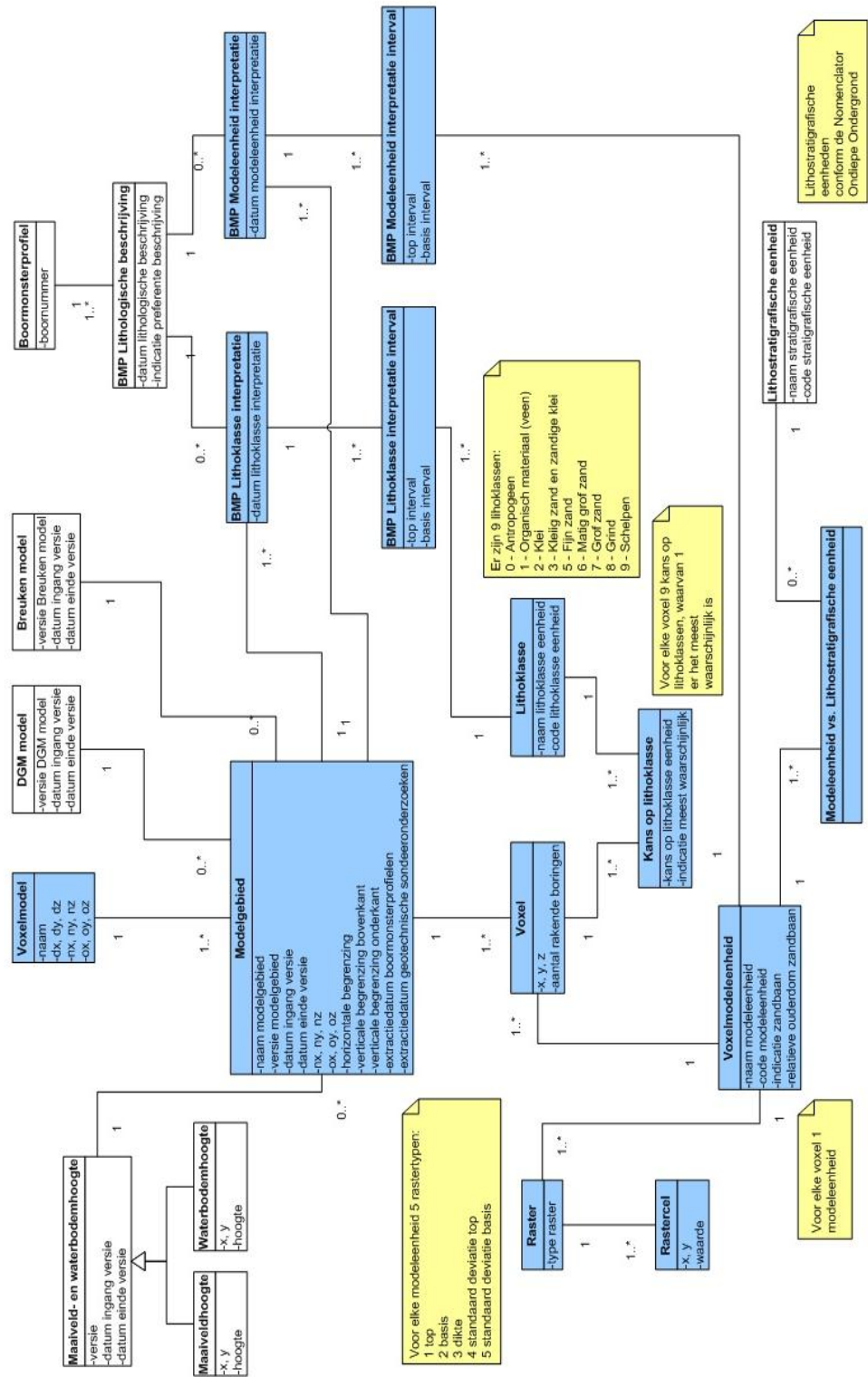
In de hieronder volgende paragrafen worden de verschillende onderdelen van GeoTOP beschreven aan de hand van een conceptueel gegevensmodel. Een conceptueel gegevensmodel beschrijft de bij een systeem betrokken gegevens in termen van entiteiten, attributen en relaties. **Entiteiten** zijn de verschillende onderdelen van GeoTOP, zoals modelgebied, voxel, raster en modeleenheid. **Attributen** zijn de eigenschappen van de entiteiten. Een voxel heeft bijvoorbeeld de (x,y,z)-coördinaten van het middelpunt als attribuut. Tot slot geven de **relaties** de samenhang tussen de entiteiten weer. Er is bijvoorbeeld een relatie tussen raster en rastercel die aangeeft dat een raster uit meerdere rastercellen bestaat.

Een vergelijkbaar gegevensmodel vormt ook de basis voor de toekomstige opname van GeoTOP in de Basisregistratie Ondergrond (BRO).

Figuur 2.6 geeft het conceptueel gegevensmodel schematisch weer. Elk blokje in het diagram stelt een entiteit voor. Elke entiteit beschikt over een aantal attributen die in de navolgende paragrafen beschreven worden. De blauw gekleurde entiteiten representeren de gegevens die door GeoTOP zelf gemaakt worden. De overige entiteiten worden bij het maken van GeoTOP als brongegeven geraadpleegd.

De lijnen in het diagram geven aan hoe de entiteiten aan elkaar gerelateerd zijn. Bij elke lijn staat aangegeven wat de aard van de relatie is. Bijvoorbeeld: tussen 'Voxelmodel' en 'Modelgebied' staat bij voxel een '1' en bij modelgebied '1 .. *'. Hiermee wordt aangegeven dat bij 1 voxelmodel 1 of meerdere (*) modelgebieden horen. Omgekeerd hoort elk modelgebied bij precies 1 voxelmodel.

Voor de overzichtelijkheid zijn sonderingen (geotechnische sondeonderzoeken) met bijbehorende lithoklasse interpretatie en modeleenheid interpretatie weggelaten. De entiteiten, attributen en relaties van de sonderingen zijn vrijwel gelijk aan die van de boormonsterprofielen.

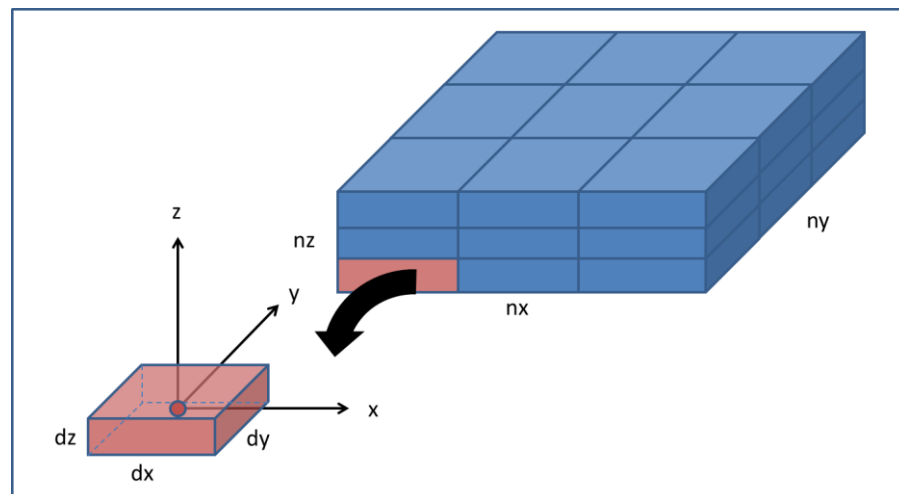


Figuur 2.6. Conceptueel gegevensmodel van GeoTOP

2.2.1 Voxelmodel

Een **voxelmodel** is een beschrijving van de geometrie en de eigenschappen van de Nederlandse ondergrond waarbij de ondergrond wordt voorgesteld als een regelmatig grid van aaneengesloten **voxels** met uniforme eigenschappen. GeoTOP is een voxelmodel, evenals NL3D.

Een voxelmodel wordt omvat door een blokvormig grid (Figuur 2.7). Het grid heeft drie assen: een horizontale as in de x- of oostwaartse richting; een horizontale as in de y- of noordwaartse richting; en een verticale as in de z- of opwaartse richting. Afstanden langs de assen worden gemeten in meters; voor de horizontale afstanden zijn dat meters in het Rijksdriehoekstelsel en voor de verticale afstanden zijn het meters ten opzichte van NAP.



Figuur 2.7: Blokvormig grid dat een voxelmodel omvat.

De **oorsprong** van het blokvormig grid ligt in het **middelpunt** van de voxel met de laagste (x,y,z)-coördinaat. De omvang van het grid wordt bepaald door de afmetingen van de voxels (dx,dy,dz) en het aantal voxels (nx,ny,nz; Figuur 2.7).

Voor het GeoTOP-model dat heel *onshore* Nederland omvat gelden de volgende waarden:

GeoTOP	X	Y	Z
Oorsprong (m)	50	300.050	-49,75
Afmetingen (m)	100	100	0,5
Aantal	2.800	3.250	750
Minimale waarde (m)	0	300.000	-50
Maximale waarde (m)	280.000	625.000	325

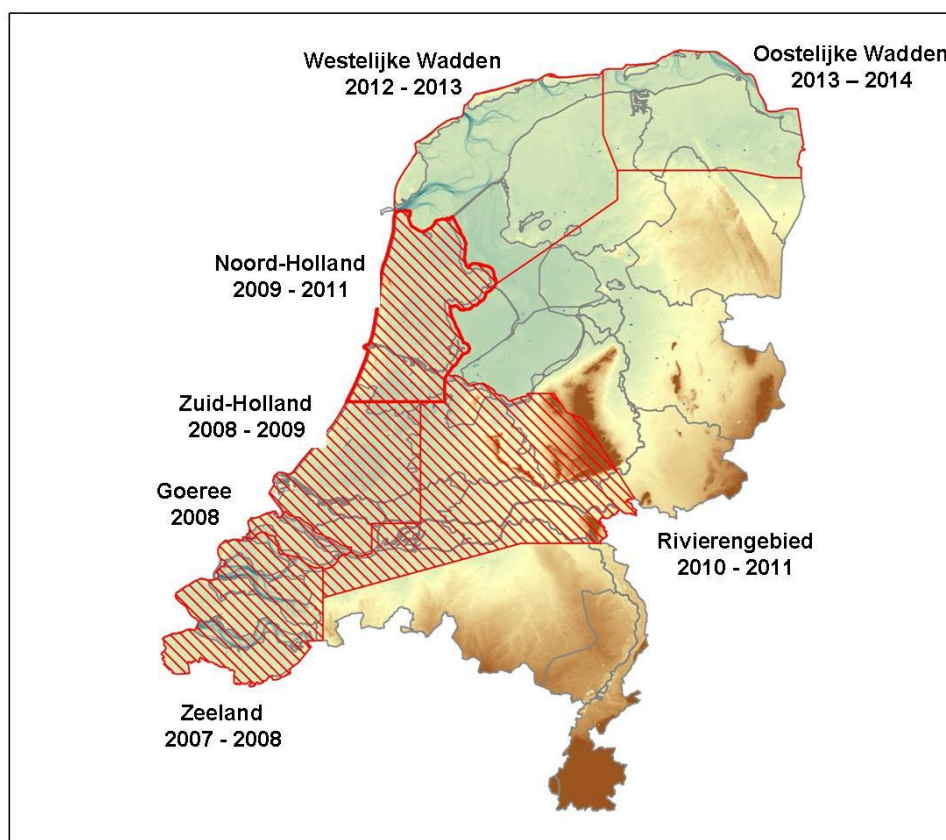
Het totale aantal voxels in het blokvormig grid dat heel *onshore* Nederland omvat is $2.800 \times 3.250 \times 750 = 6.825.000.000$ voxels. Verreweg de meeste van deze voxels zijn echter niet gevuld omdat ze zich in de Noordzee, buiten de landsgrenzen of in de lucht bevinden. Welke voxels gevuld zijn, wordt bepaald door de begrenzingen van de modelgebieden.

De waarden in de x en y richting (oorsprong, afmetingen en aantal) zijn zodanig gekozen dat ze overeenkomen met de rasters van de lagenmodellen van GeoTOP, DGM en REGIS II.

2.2.2 Modelgebieden

Het voxelmodel GeoTOP bestaat uit een aantal **modelgebieden**. Dit zijn gebieden die in één keer gemodelleerd worden op basis van een set basisgegevens. Bij het opnieuw modelleren van hetzelfde modelgebied ontstaat een nieuwe versie van het modelgebied.

Figuur 2.8 laat de huidige modelgebieden zien met de periode waarin de eerste versie is gemaakt. GeoTOP heeft zich in de eerste jaren (2007 – 2009) 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. In 2012 is gestart met Noord Nederland.



Figuur 2.8: Modelgebieden GeoTOP met de periode waarin gemodelleerd is. De gearceerde gebieden zijn nu gereed. Aan de gebieden in het noorden wordt gewerkt; voor de rest van Nederland zijn nog geen modelgebieden vastgesteld. De kleuren geven de hoogteligging van maaiveld- en waterbodemp weer.

Analoog aan het voxelmodel wordt ook een modelgebied omvat door een blokvormig grid (Figuur 2.7), dat uiteraard kleiner is dan het blokvormig grid van GeoTOP zelf.

In een modelgebied is daarnaast ook vastgelegd welke voxels er gevuld zijn. Dit wordt bepaald door de horizontale begrenzing, de verticale begrenzing aan de onderzijde en de verticale begrenzing aan de bovenzijde van het modelgebied.

De **verticale begrenzing aan de bovenkant** wordt bepaald door het maaiveld- en waterbodemoogtebestand (zie hoofdstuk 3). 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 (Figuur 2.8; merk op dat niet alleen het vasteland, maar ook de grote wateren als IJsselmeer, Waddenzee en de Zeeuwse zeegaten opgenomen zijn in het bestand).

De **verticale begrenzing aan de onderkant** wordt bepaald door een raster met cellen van 100 x 100 m. Elke rastercel geeft de hoogteligging van de ondergrens weer in meters ten opzichte van NAP.

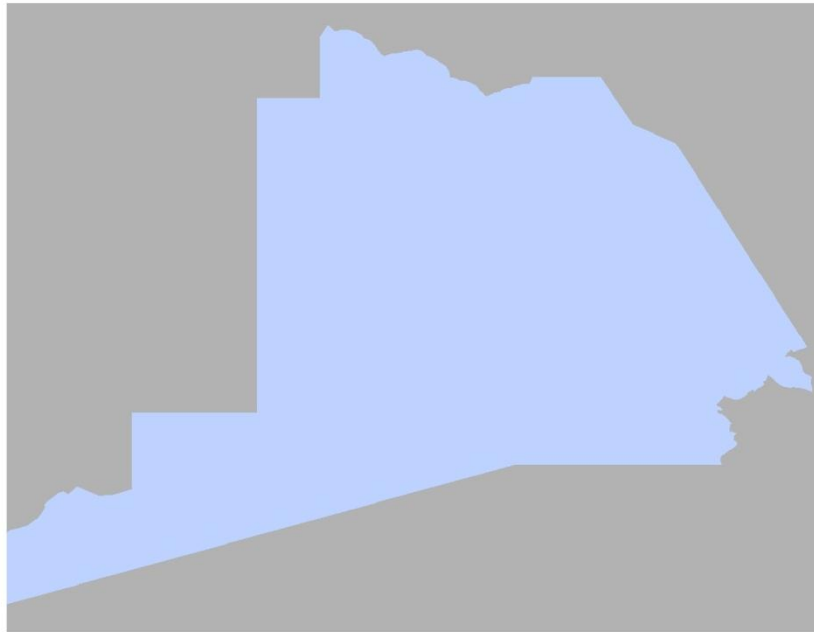
De **horizontale begrenzing** wordt eveneens bepaald door een raster met cellen van 100 x 100 m. Elke rastercel geeft met een indicator aan of de cel wel of niet in het modelgebied ligt.

Als voorbeeld wordt hier de begrenzing van het modelgebied Rivierengebied beschreven. Het blokvormig grid dat het hele modelgebied omvat is als volgt gedefinieerd:

Rivierengebied	X	Y	Z
Oorsprong (m)	80.050	390.050	-49,75
Afmetingen (m)	100	100	0,5
Aantal	1.300	1.000	320
Minimale waarde (m)	80.000	300.000	-50
Maximale waarde (m)	210.000	490.000	110

Het totale aantal voxels is $1.300 \times 1.000 \times 320 = 416.000.000$ waarvan er zo'n 65 miljoen daadwerkelijk gevuld zijn.

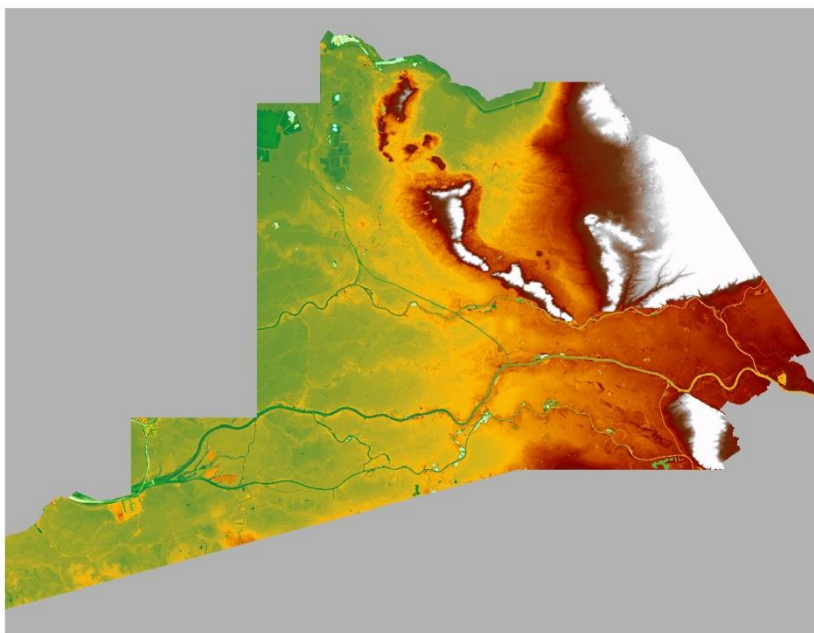
De horizontale begrenzing van het Rivierengebied is weergegeven in Figuur 2.9.



Figuur 2.9: Horizontale begrenzing van modelgebied Rivierengebied. De grijze rechthoek representeert het blokvormig grid; daarbinnen geeft de lichtblauwe zone aan welke rastercellen in het modelgebied liggen.

De verticale begrenzing is in het Rivierengebied een constante, namelijk 50 m onder NAP (middenpunt van de voxel op -49,75 m). Het raster ziet er daarom net zo uit als het raster in Figuur 2.9, met dat verschil dat de waarde van elke cel -50 m is.

De verticale begrenzing aan de bovenkant wordt bepaald door het landsdekkende **maaiveld- en waterbodemhoogtebestand** te snijden met de horizontale begrenzing, dit levert Figuur 2.10 op.



Figuur 2.10: Maaiveld en waterbodemoogte van modelgebied Rivierengebied. Kleurenschaal loopt van lichtblauw (waterbodemoogte -36.7 m) via groen, geel en bruin naar wit (hoogste maaiveld 106.1 m).

De horizontale grenzen van de modelgebieden worden niet willekeurig gekozen, maar volgen een (geologisch) onderbouwde afwegingen. In hoofdstuk 4 wordt een voorbeeld uit modelgebied Rivierengebied beschreven.

2.2.3 Voxel

Een **voxel** is een blokvormig volume in de ondergrond met uniforme eigenschappen dat zich binnen de horizontale en verticale begrenzing van een **modelgebied** bevindt. Een voxel heeft een locatie, vastgelegd door de (x,y,z)-coördinaten van het middelpunt van de voxel, en een aantal attributen. De attributwaarden zijn representatief voor de hele voxel, niet alleen voor het middelpunt.

De **modeleenheid** geeft aan tot welke geologische eenheid de voxel behoort. Dit gegeven wordt afgeleid uit het lagenmodel waarbij geldt dat de voxel tot een bepaalde eenheid hoort als het middelpunt van de voxel zich tussen de top en de basis van de eenheid in het lagenmodel bevindt.

Naast modeleenheid kent elke voxel een aantal attributen die betrekking hebben op de **lithoklasse** waarmee de voxel gevuld is. De lithoklasse wordt berekend met een stochastische simulatietechniek. Deze simulatietechniek proces resulteert in 100 uitkomsten ("realisaties") voor de lithoklasse van de voxel. De uitkomst kan bijvoorbeeld in 30 gevallen veen zijn, en in 70 gevallen klei. Uit de 100 realisaties wordt een aantal attributen afgeleid en in het datamodel opgenomen. Dit zijn: de kans op lithoklasse, de meest waarschijnlijke lithoklasse, en de kans op de meest waarschijnlijke lithoklasse. De 100 realisaties zelf worden niet in het datamodel opgenomen. De manier waarop de simulaties worden uitgevoerd wordt uitvoerig beschreven in paragraaf 4.5.

Per lithoklasse is er een attribuut **kans op lithoklasse** uitgedrukt als fractie van 0 – 1 waarbij 0 de laagst mogelijke kans en 1 de hoogst mogelijke kans is. (NB: in Figuur 2.2 is de kans op lithoklasse in een aparte entiteit opgenomen.)

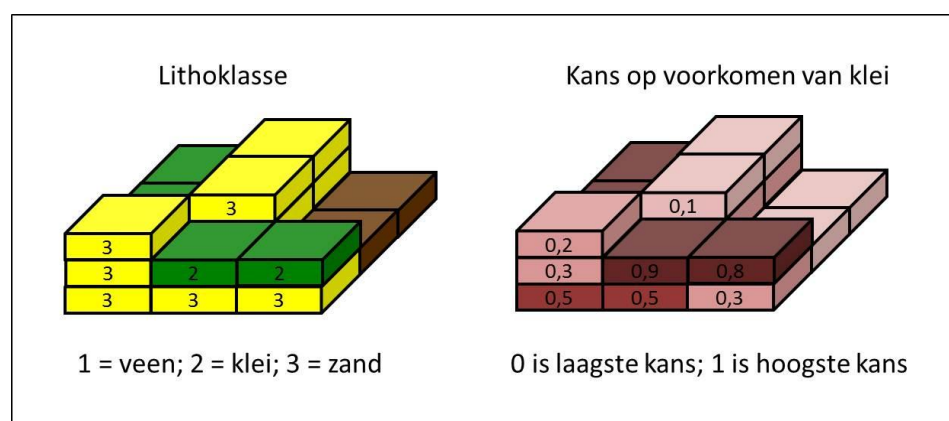
De kansen worden berekend door het aantal keer dat een lithoklasse in de voxel gesimuleerd wordt te delen door het aantal simulaties. Voorbeeld: als er in 100 simulaties 30 keer veen is gesimuleerd en 70 keer klei, dan is de kans op veen 0.3, de kans op klei 0.7 en alle andere kansen zijn 0.

Attribuut **meest waarschijnlijke lithoklasse** geeft de voorspelde waarde aan van de lithoklasse waarmee de voxel gevuld is. In hoofdstuk 4 wordt beschreven hoe deze lithoklasse bepaald wordt.

Attribuut **kans op meest waarschijnlijke lithoklasse** is de kans dat de voxel gevuld is met de meest waarschijnlijke lithoklasse, uitgedrukt als fractie van 0 – 1 waarbij 0 de laagst mogelijke kans en 1 de hoogst mogelijke kans is.

Als extra maat voor de betrouwbaarheid van het model is het **aantal boringen dat de voxel doorsnijdt** als attribuut opgenomen. Voor de meeste voxels is dit aantal 0 en is de lithoklasse geïnterpoleerd vanuit boringen die buiten de voxel liggen. In het algemeen geldt dat de hoogste kwaliteit vooral dicht aan het aardoppervlak wordt behaald, waar de datadichtheid het hoogst is. Op grotere diepte komen minder boringen voor en zal de kwaliteit in het algemeen lager zijn. In regio's waar stratigrafische eenheden voorkomen met weinig variatie in lithologie kan een lage datadichtheid echter prima samengaan met een hoge kwaliteit.

In vrijwel alle technische implementaties (i.e. bestanden of databases) van voxeldata bevatten de voxels altijd numerieke waarden. Dit kunnen gehele getallen (integer waarden) of reële getallen (floating point waarden) zijn. Als we een voxel willen voorzien van een lithoklasse als "klei" of "veen" moeten we daarom een nummer gebruiken die de lithoklasse representeert. Bijvoorbeeld 1 = "veen" of 2 = "klei" (Figuur 2.11).



Figuur 2.11: Voxels bevatten altijd numerieke waarden. Als we een voxel willen voorzien van een lithoklasse als "klei" of "veen" moeten we daarom een nummer gebruiken die de lithoklasse representeert.

2.2.4 *Modeleenheid*

Een **modeleenheid** omvat ruimtelijk samenhangende delen van de ondergrond met overeenkomstige lithologische en genetische eigenschappen. In veel gevallen komen modeleenheden overeen met lithostratigrafische eenheden zoals die beschreven zijn in de Nomenclator Ondiepe Ondergrond.

We gebruiken echter de term modeleenheid 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 modeleenheid. Zo worden de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre gecombineerd in één modeleenheid. De tegenovergestelde situatie, waar een lithostratigrafische eenheid wordt gesplitst in een of meerdere modeleenheden komt ook voor. Bijvoorbeeld de Formatie van Echteld wordt in drie 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) geulsysteem, 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.

In Bijlage 7.1 is een lijst opgenomen met alle in GeoTOP voorkomende modeleenheden.

2.2.5 *Lithoklasse*

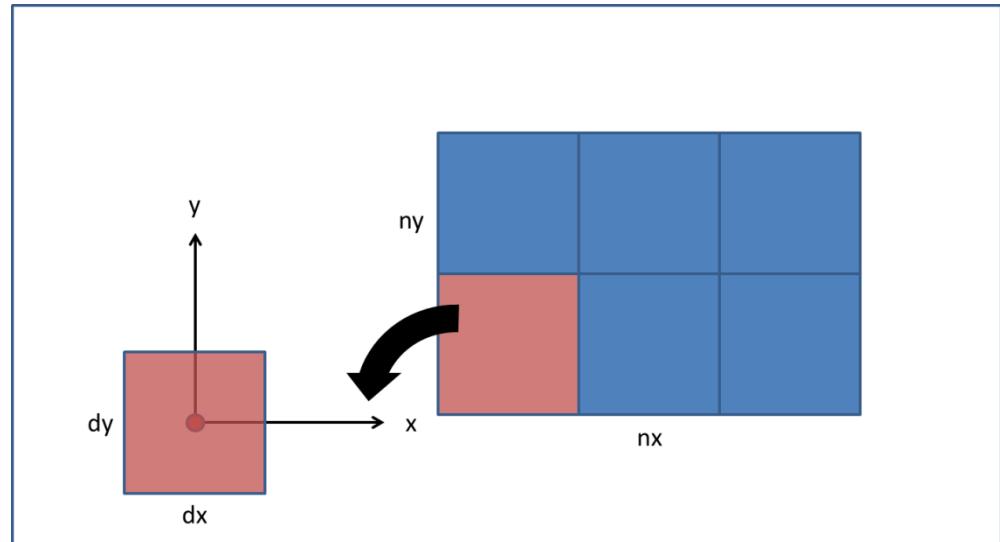
Een **lithoklasse** is een klasse uit een classificatie van grondsoorten. Voor GeoTOP geldt dat de classificatie van REGIS II wordt aangehouden, waaraan nog een lithoklasse 'antropogeen' is toegevoegd (zie paragraaf 3.16):

Lithoklasse	Nummer	Afkorting	Korrelgrootte (mediaan)
Antropogeen	0	a	-
Organisch materiaal (veen)	1	o	-
Klei	2	k	-
Kleiig zand, zandige klei en leem	3	kz	-
Fijn zand	5	zf	≥ 63 µm en < 150 µm
Midden zand	6	zm	≥ 150 µm en < 300 µm
Grof zand	7	zg	≥ 300 µm en < 2 mm
Grind	8	g	≥ 2 mm
Schelpen	9	sch	-

De lithoklasse wordt op basis van een set regels afgeleid uit de boorbeschrijvingen. Een gedetailleerde beschrijving van deze afleiding is opgenomen in hoofdstuk 4.

2.2.6 Raster

Een **raster** is een rechthoekig, regelmatig grid van vierkante rastercellen waarmee een geometrische eigenschap (namelijk: top, basis, dikte, standaarddeviatie top en standaarddeviatie basis) van een in een **modelgebied** gemodelleerde **modeleenheid** wordt vastgelegd (Figuur 2.12). De horizontale begrenzing, oorsprong, rastercelgrootte en aantal rastercellen liggen vast in de definities van x en y van het voxelmodelgebied.



Figuur 2.12: Rechthoekig grid met de definitie van een raster.

Voor elke modeleenheid in een modelgebied zijn 5 rasters beschikbaar (top, basis, dikte, standaarddeviatie top en standaarddeviatie basis). De rasters van een modelgebied vormen samen een **lagenmodel**. Dit 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 modeleenheid bevindt. Deze gevolgtrekking gebruiken we om van (de middelpunten van) voxels te bepalen tot welke eenheid ze behoren.

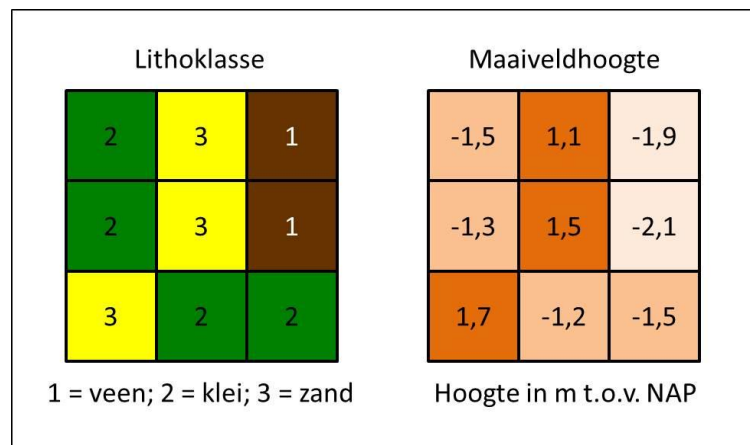
Voor de consistentie geldt een uitzondering voor de rasters van de Holocene geulsystemen: deze overlappen met de andere rasters. Een punt in de ruimte kan bijvoorbeeld zowel in een holocene geul liggen als in de Formatie van Echteld. In het voxelmodel geldt deze uitzondering niet: een voxel heeft altijd 1 modeleenheid waarbij de holocene geulsystemen voorrang hebben. In paragraaf 4.4 en 4.5 wordt deze uitzondering in meer detail besproken.

2.2.7 Rastercel

Een **rastercel** is een vierkant gebied (100 bij 100 m) in een **raster**. Een rastercel heeft een (x,y) -locatie (het middelpunt van de rastercel) en een attribuutwaarde. De attribuutwaarde is altijd representatief voor de *hele rastercel* van 100 bij 100 m. Bijvoorbeeld een maaiveldhoogte van 3,5 m is een gemiddelde maaiveldhoogte van de rastercel van 100 bij 100 m, en niet de maaiveldhoogte van het middelpunt van

de rastercel. Het maaiveld van een boring (puntlocatie) die in deze rastercel gelegen is kan hoger of lager zijn dan 3,5 m.

In alle technische implementaties (i.e. bestanden of databases) van rasterdata bevatten de rastercellen numerieke waarden. Dit kunnen gehele getallen (integer waarden) of reële getallen (floating point waarden) zijn. Als we een rastercel willen voorzien van een lithoklasse als “klei” of “veen” moeten we daarom een nummer gebruiken die de lithoklasse representeert. Bijvoorbeeld 1 = “veen” of 2 = “klei” (Figuur 2.13).

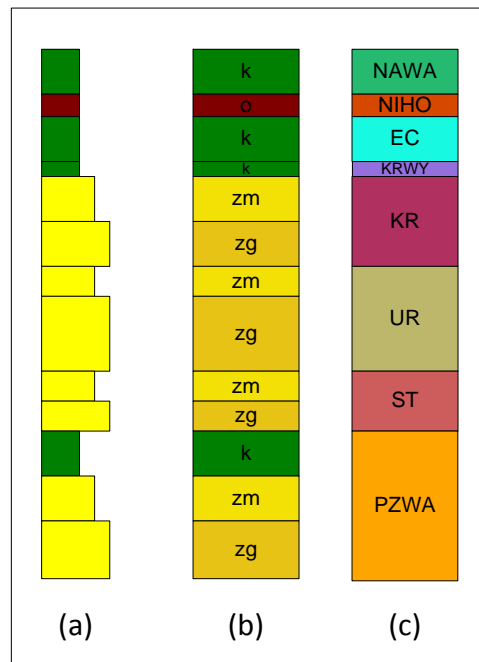


Figuur 2.13: Net als voxels bevatten rastercellen altijd numerieke waarden. Als we een rastercel willen voorzien van een lithoklasse als “klei” of “veen” moeten we daarom een nummer gebruiken die de lithoklasse representeert.

2.2.8 Interpretaties van boorbeschrijvingen

Boringen, in de BRO boormonsterprofielen geheten, hebben een lithologische beschrijving met informatie over o.a. lithologie, korrelgrootte en bijmengingen. De boring wordt daarbij opgedeeld in intervallen met gelijke kenmerken. Bij elk interval kan een groot aantal kenmerken worden vastgelegd.

Voor de voxelmodellen wordt de boorbeschrijving op twee manieren geïnterpreteerd: als opeenvolging van intervallen van gelijke lithoklasse en als opeenvolging van intervallen van gelijke modeleenheid (Figuur 2.14).



Figuur 2.14: Geïdealiseerde boorbeschrijving (a) met lithoklasseindeling (b) en modeleenheid indeling (c).

De interpretaties van de boorbeschrijvingen worden altijd uitgevoerd in het kader van het modelleren van een modelgebied. Vrijwel alle geïnterpreteerde boorbeschrijvingen worden gebruikt bij het maken van het lagenmodel en het voxelmodel (zie hoofdstuk 4). De boornummers van de boringen waarvan na interpretatie blijkt dat ze niet geschikt zijn voor de modellering, worden vastgelegd in zogenaamde “uitsluitlijsten”.

2.2.9 *Interpretaties van sonderingen*

Sonderingen, in de BRO geotechnische sondeonderzoeken genaamd, hebben een drietal meetreeksen waaruit informatie over de lithologische samenstelling van de ondergrond valt af te leiden. Deze meetreeksen zijn conusweerstand, plaatselijke wrijving en wrijvingsgetal. Voor de voxelmodellen worden de meetreeksen geïnterpreteerd in lithologische informatie. Op dit moment is het mogelijk om op geautomatiseerde wijze de sondering op te delen in intervallen van gelijke hoofdlithologie: zand, veen, klei. Met deze informatie is het mogelijk om voor een beperkt aantal voxelmodeleenheden de diepteligging vast te stellen. Een voorbeeld is de diepteligging van de Basisveen Laag, waarvan de afleiding uit sonderingen uitvoerig in hoofdstuk 4 is beschreven.

De interpretaties van de sonderingen worden altijd uitgevoerd in het kader van het modelleren van een modelgebied. Vrijwel alle geïnterpreteerde sonderingen worden gebruikt bij het maken van het lagenmodel. De nummers van de sonderingen waarvan na interpretatie blijkt dat ze niet geschikt zijn voor de modellering, worden vastgelegd in zogenaamde “uitsluitlijsten”.

3 Brongegevens

3.1 Inleiding

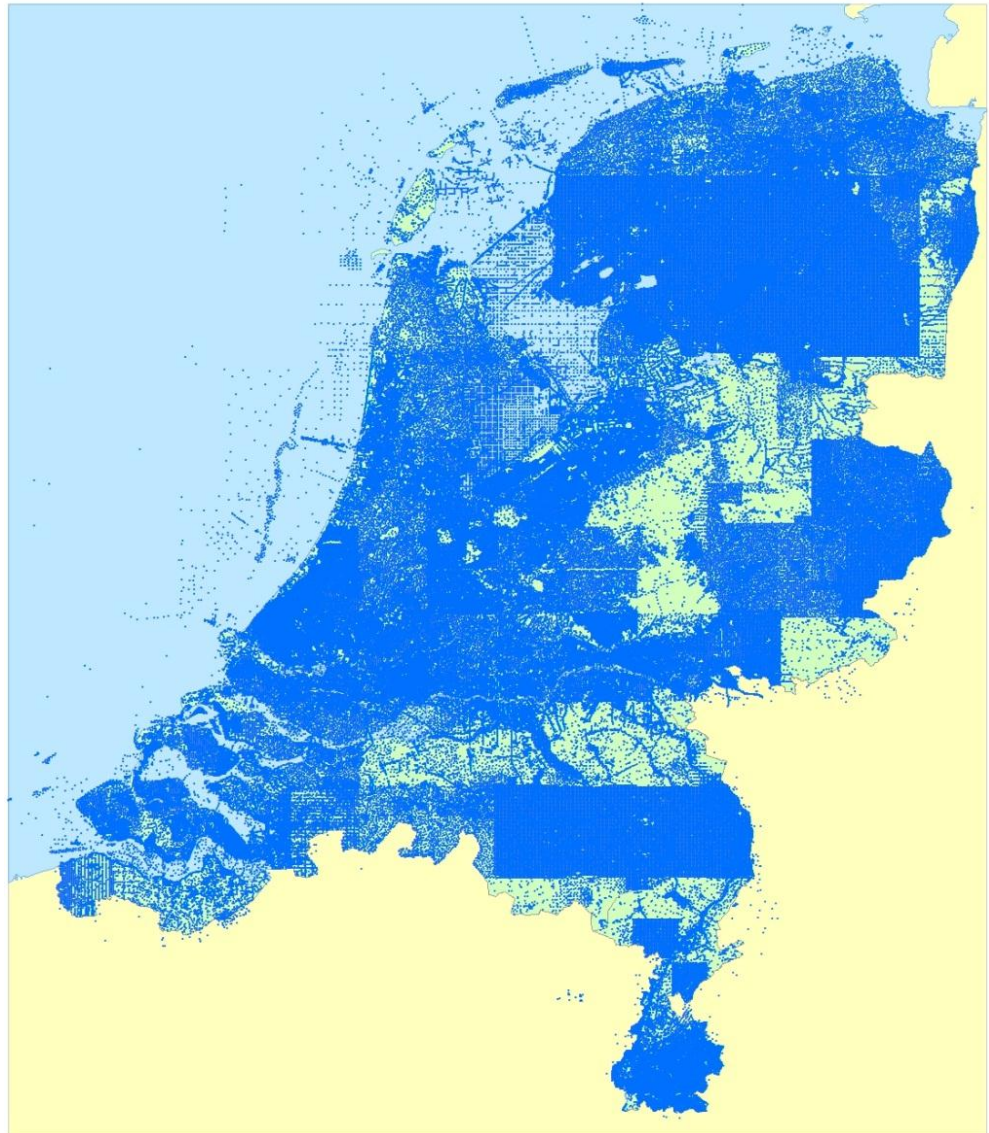
In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de brongegevens die bij het maken van GeoTOP gebruikt worden. Het betreft brongegevens die een landelijke of regionale dekking hebben. Voorbeelden zijn de bodemkaart 1:50.000 (landelijke dekking) en de zandbanenkaart van Rijn en Maas (regionale dekking). Bij het modelleren van een modelgebied worden daarnaast nog lokale gegevensbronnen gebruikt. Een voorbeeld is het proefschrift van Bos (2010) met geologische kaarten van de Utrechtse Vecht. Deze lokale gegevensbronnen worden hier niet verder beschreven.

De manier waarop de verschillende brongegevens in GeoTOP worden gebruikt wordt beschreven in paragraaf 4.2.

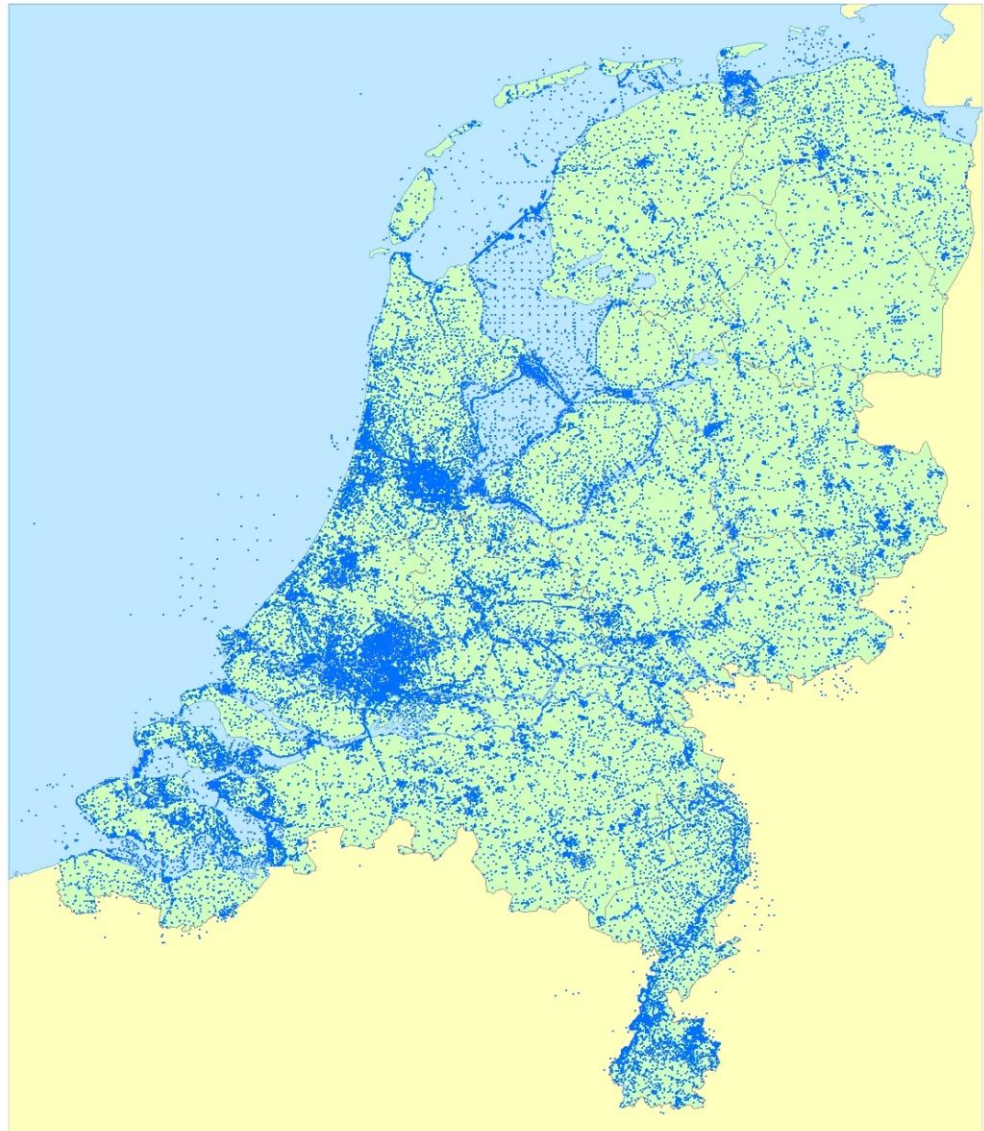
3.2 Boorbeschrijvingen DINO

Verreweg de belangrijkste gegevensbron voor GeoTOP zijn de boorbeschrijvingen met bijbehorende lithostratigrafische interpretaties in de DINO databank. DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond en is de landelijke centrale opslag voor geowetenschappelijke gegevens over de diepe en ondiepe ondergrond (www.dinoloket.nl).

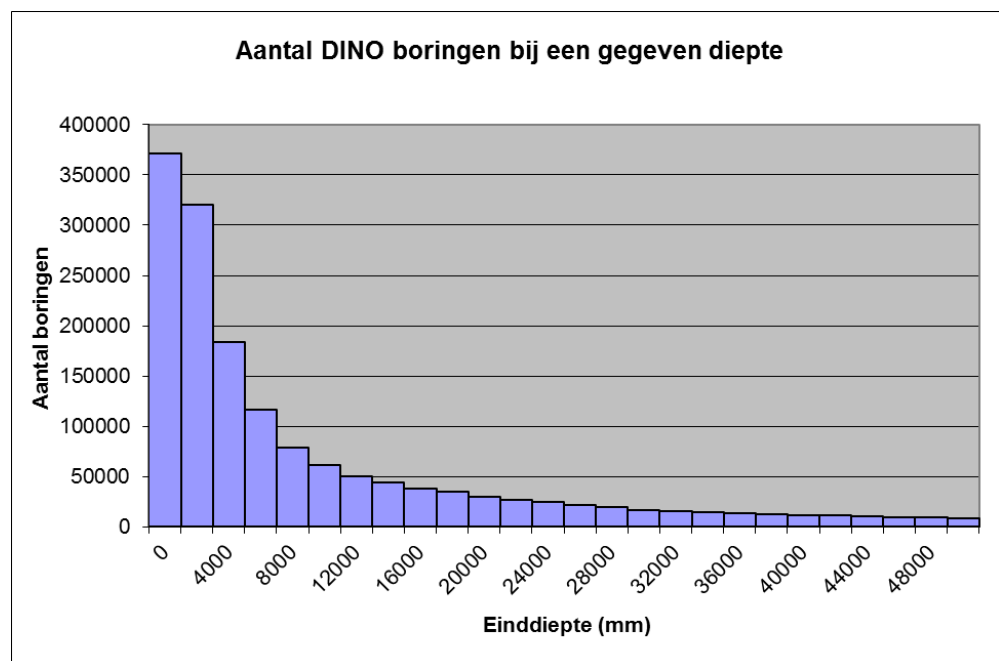
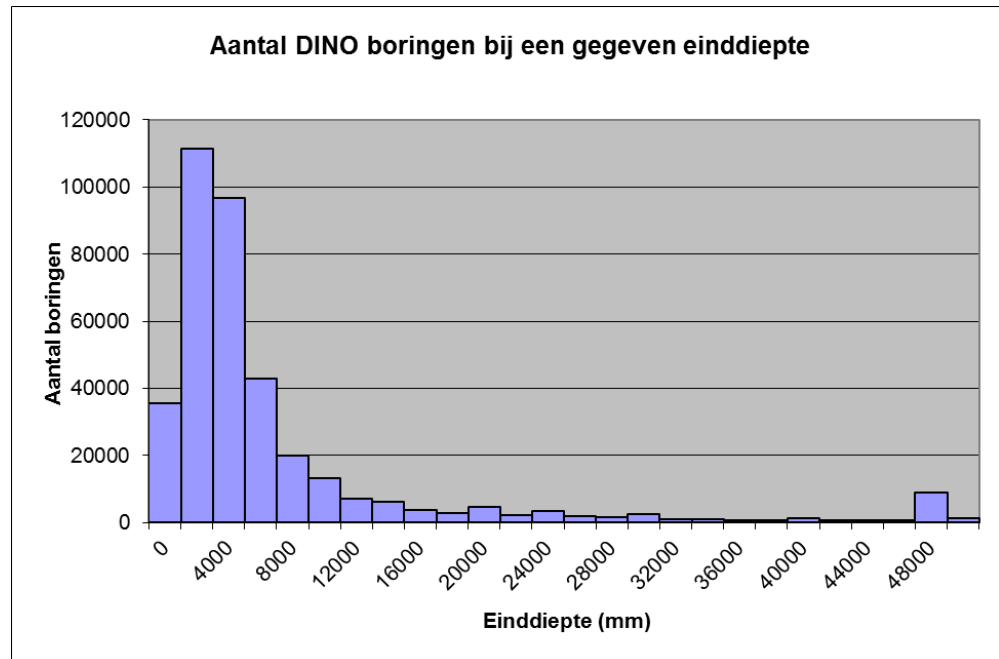
Omdat de boorbeschrijvingen in DINO een gestandaardiseerde coderingsmethode volgen (Bosch, 2000), is het mogelijk om op geautomatiseerde wijze grote hoeveelheden boorbeschrijvingen te analyseren en interpreteren. De dataset omvat zowel handboringen (5 – 10 m diep) als mechanisch uitgevoerde boringen (meestal 20 m of dieper). In totaal bevat DINO circa 448.000 boorbeschrijvingen, waarvan er circa 275.000 voorzien zijn van een lithostratigrafische interpretatie (NB: dit aantal is het aantal handmatig gelabelde boringen en exclusief de op geautomatiseerde wijze door GeoTOP gelabelde boringen; stand september 2012). Door het grote aandeel ondiepe handboringen in DINO neemt het aantal beschikbare boorbeschrijvingen met de diepte echter snel af (Figuren 3.1, 3.2 en 3.3).



Figuur 3.1 Locatie van boringen aan maaiveld (N = 371.266). In totaal bevat DINO circa 448.000 boringen; boringen met een voor GeoTOP te lage kwaliteit zijn in deze kaart weggelaten



Figuur 3.2 Locatie van boringen op een diepte van 10 m onder maaiveld (N = 65.063). Boringen met een voor GeoTOP te lage kwaliteit zijn weggelaten.

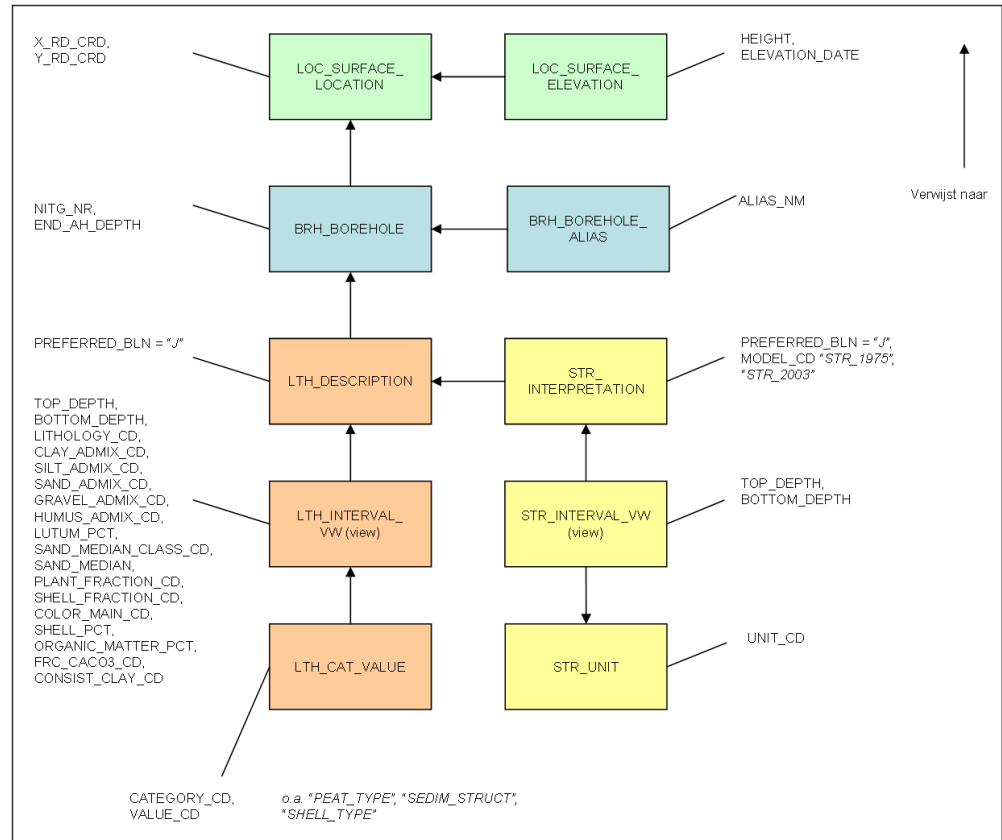


Figuur 3.3 Histogram met aantal boringen bij een gegeven einddiepte onder maaiveld (boven) en het aantal boringen dat minimaal een bepaalde diepte bereikt (onder). $N = 371.266$; interval 2 m (2000 mm). Boringen met een voor GeoTOP te lage kwaliteit zijn weggelaten.

Een deel van de boorbeschrijvingen (circa 9000) in DINO is vertrouwelijk. Deze boringen worden in de modellering wel gebruikt, maar niet als modelresultaat gepubliceerd.

De belangrijkste attributen van de boorbeschrijvingen zijn top en basis van de intervalbeschrijvingen, hoofd lithologie, bijmengingen van zand, silt, klei, grind en

humus, zandmediaan, schelpgehalte en sedimentstructuren zoals scheve gelaagdheid. Een overzicht van alle de op dit moment gebruikte entiteiten en attributen is gegeven in Figuur 3.4 en wordt toegelicht in onderstaande tabel.



Figuur 3.4: Belangrijkste entiteiten en attributen van DINO boorbeschrijvingen en stratigrafische interpretaties.

Entiteit	Attribuut	Toelichting
BRH_BOREHOLE <i>Boring</i>	NITG_NR	Boornummer
	END_AH_DEPTH	Einddiepte
BRH_BOREHOLE_ALIAS <i>Alternatieve nummering van de boring</i>	ALIAS_NM	Alternatieve nummering van de boring, onder andere van belang om vast te stellen of een boring een ondiepe handboring betreft ('streepjesboring')
LOC_SURFACE_LOCATION <i>Locatie</i>	X_RD_CRD	x-coördinaat in Rijksdriehoekstelsel
	Y_RD_CRD	y-coördinaat in Rijksdriehoekstelsel
LOC_SURFACE_ELEVATION <i>Hoogte</i>	HEIGHT	Hoogte, gemeten ten opzichte van NAP
	ELEVATION_DATE	Bij meetreeksen worden meerdere hoogtes vastgelegd. De hoogte

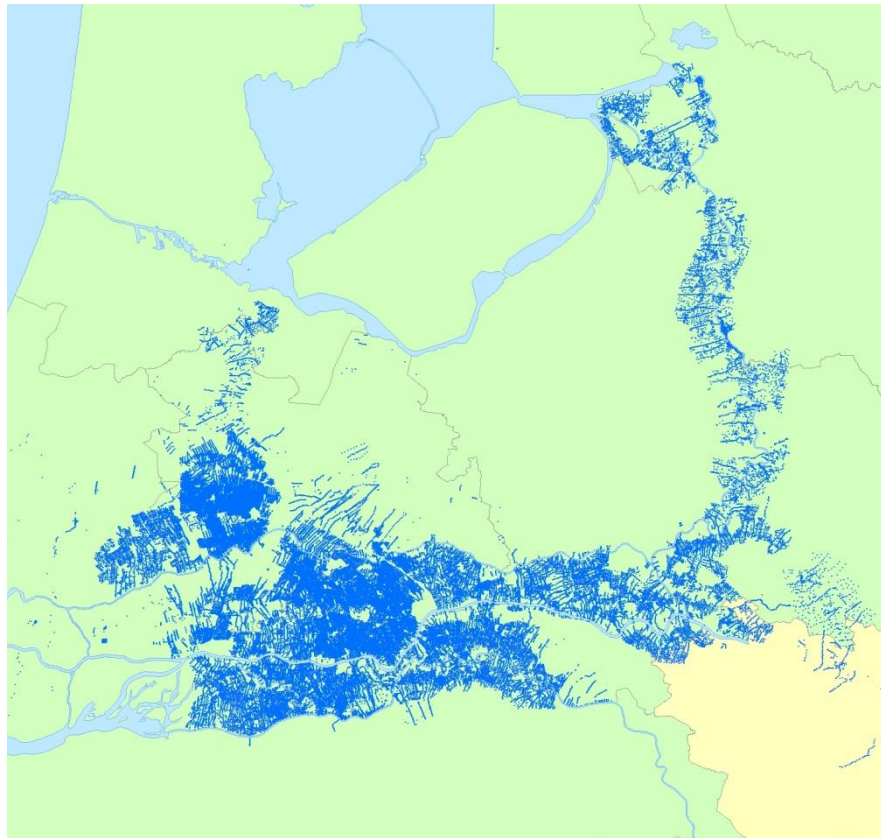
		met de oudste datum is dan de hoogte op het moment dat de boring gezet werd. Deze oudste hoogte wordt gebruikt in de modellering.
LTH_DESCRIPTION <i>Boorbeschrijving</i>	PREFERRED_BLN	Bij een boring kunnen meerdere boorbeschrijvingen vastgelegd zijn, waarvan er een als voorkeursbeschrijving is aangemerkt. In de modellering wordt altijd de voorkeursbeschrijving gebruikt.
LTH_INTERVAL_VW (view) <i>Boorbeschrijving intervallen</i>	TOP_DEPTH	Top van het boorbeschrijving interval, gemeten langs de boring (top hoogste interval is in alle boringen 0 m).
	BOTTOM_DEPTH	Basis van het boorbeschrijving interval, gemeten langs de boring.
	LITHOLOGY_CD	Hoofdlithologie
	SAND_MEDIAN	Zandmediaan (percentage)
	SAND_MEDIAN_CLASS_CD	Zandmediaan (klasse)
	CLAY_ADMIX_CD	Bijmenging klei (klasse).
	SILT_ADMIX_CD	Bijmenging silt (klasse).
	SAND_ADMIX_CD	Bijmenging zand (klasse).
	GRAVEL_ADMIX_CD	Bijmenging grind (klasse).
	HUMUS_ADMIX_CD	Bijmenging humus stof (klasse).
	SHELL_PCT	Schelpen fractie (percentage)
	SHELL_FRACTION_CD	Schelpen fractie (klasse)
	PLANT_FRACTION_CD	Planten fractie (klasse)
	MICA_FRACTION_CD	Mica fractie (klasse)
	GLAUC_FRACTION_CD	Glauconiet fractie (klasse)
	ORG_MAT_PCT	Organisch materiaal (percentage)
	CACO3_FRACTION_CD	Kalkgehalte (klasse)
CONSIST_CLAY_CD	Consistentie (stevigheid) van klei	
COLOR_MAIN_CD	Hoofdkleur	
LUTUM_PCT	Lutum gehalte	

		(percentage)
	BORDB_DESCRIPTION	Tekstuele, oude, beschrijving
LTH_INTERVAL_REMARK	REMARK	Opmerkingen
LTH_CAT_VALUE <i>Categorie waarden. Bij elk interval kan voor een of meerdere categorieën een aantal waarden worden vastgelegd. Voorbeeld: bij een interval kunnen bij 'SHELL_TYPE' meerdere schelpensoorten worden beschreven; bij hetzelfde interval kan daarnaast bij 'CLASTIC_ADMIX_TYPE' kleibrokjes zijn beschreven.</i>	CATEGORY_CD	De categorieën: <ul style="list-style-type: none"> • PLANT_TYPE • PEAT_TYPE • ORGMAT_ADMIX_TYPE • BIOGEN_ADMIX_TYPE • SHELL_TYPE • CLASTIC_ADMIX_TYPE • COARSEMAT_ADMIX_TYPE • GEOL_INTPRT • GRAVEL_TYPE • GRAVEL_FRACTION_TYPE
	VALUE_CD	De waarde van de categorie
STR_INTERPRETATION <i>Stratigrafische interpretatie</i>	PREFERRED_BLN	Bij een boring kunnen meerdere stratigrafische interpretaties vastgelegd zijn, waarvan er een als voorkeursinterpretatie is aangemerkt. In de modellering wordt altijd de voorkeursinterpretatie gebruikt.
	MODEL_CD	Aanduiding of de interpretatie volgens Doppert et al. (1975) is of volgens De Mulder et al. (2003).
STR_INTERVAL_VW <i>Stratigrafisch interval</i>	TOP_DEPTH	Top van het stratigrafische interval, gemeten langs de boring (top hoogste interval is in alle boringen 0 m).
	BOTTOM_DEPTH	Basis van het stratigrafische interval, gemeten langs de boring.
STR_UNIT <i>Stratigrafische eenheid</i>	UNIT_CD	De aan het interval toegekende stratigrafische eenheid volgens Doppert et al. (1975) of volgens De Mulder et al. (2003).

3.3 Boorbeschrijvingen Universiteit Utrecht

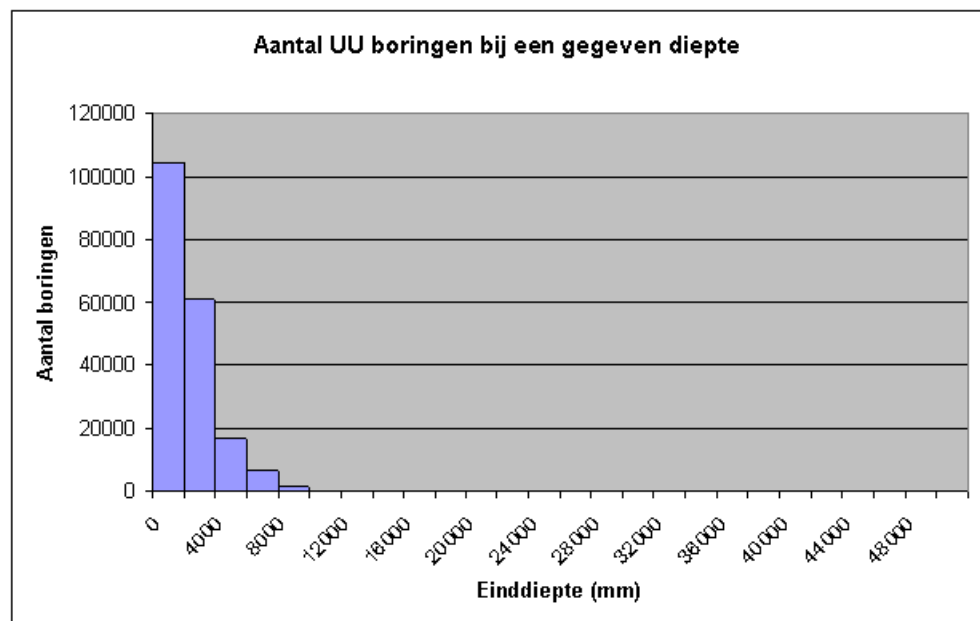
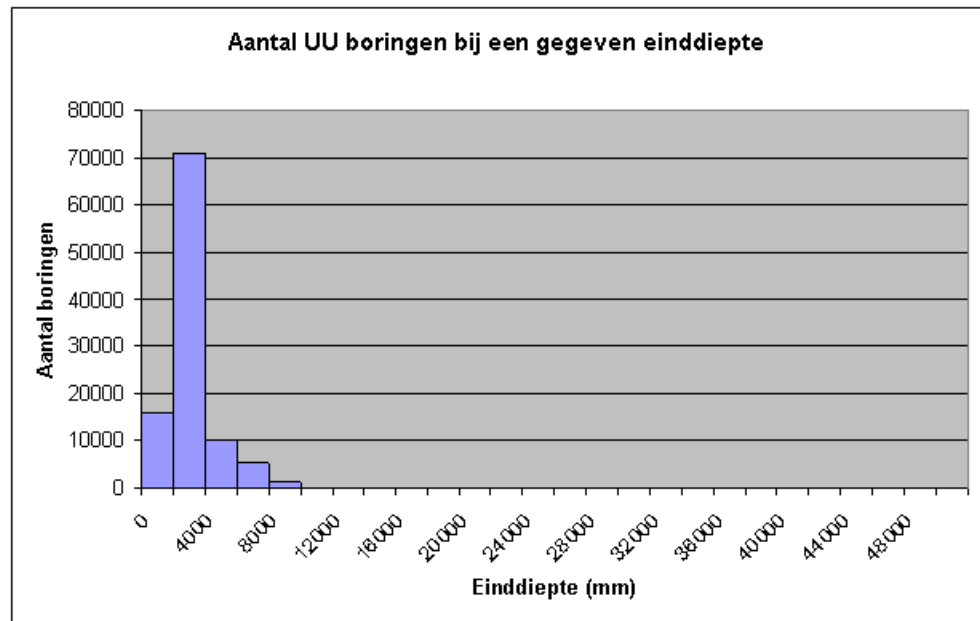
In de modelgebieden Noord-Holland, Zuid-Holland en Rivierengebied is een groot aantal ondiepe handboringen van de Universiteit Utrecht (UU) meegenomen (Figuur 3.5). Het betreft handboringen die door studenten en hun begeleiders gezet zijn in het kader van het veldwerk Laaglandgenese. Van de handboringen zijn er ruim 125.000 gedigitaliseerd en opgeslagen in de Laaglandgenese databank (LLG, Berendsen 2005, <http://www.geo.uu.nl/fg/palaeogeography/LLGDatabase/database>).

Deze gedigitaliseerde UU boringen worden periodiek door de Universiteit aan TNO geleverd in een Microsoft Access database. Met behulp van query's in Access zijn de boorbeschrijvingen vertaald naar het formaat van de DINO boorbeschrijvingen (zie vorige paragraaf).



Figuur 3.5: Kaart met de ligging van de UU boringen in de Rijn-Maas Vallei en in het IJsseldal.

Vergeleken met DINO is het dieptebereik van de UU boringen geringer. Ter illustratie is het dieptebereik voor modelgebied Rivierengebied weergegeven in Figuur 3.6. De set UU boringen in het Rivierengebied omvat 104.396 ondiepe handboringen. Ter vergelijking: in hetzelfde gebied zijn 66.501 DINO boringen gebruikt.



Figuur 3.6 Histogram met aantal UU boringen in het Rivierengebied bij een gegeven einddiepte onder maaiveld (boven) en het aantal boringen dat minimaal een bepaalde diepte bereikt (onder). $N = 104.396$; interval 2 m (2000 mm).

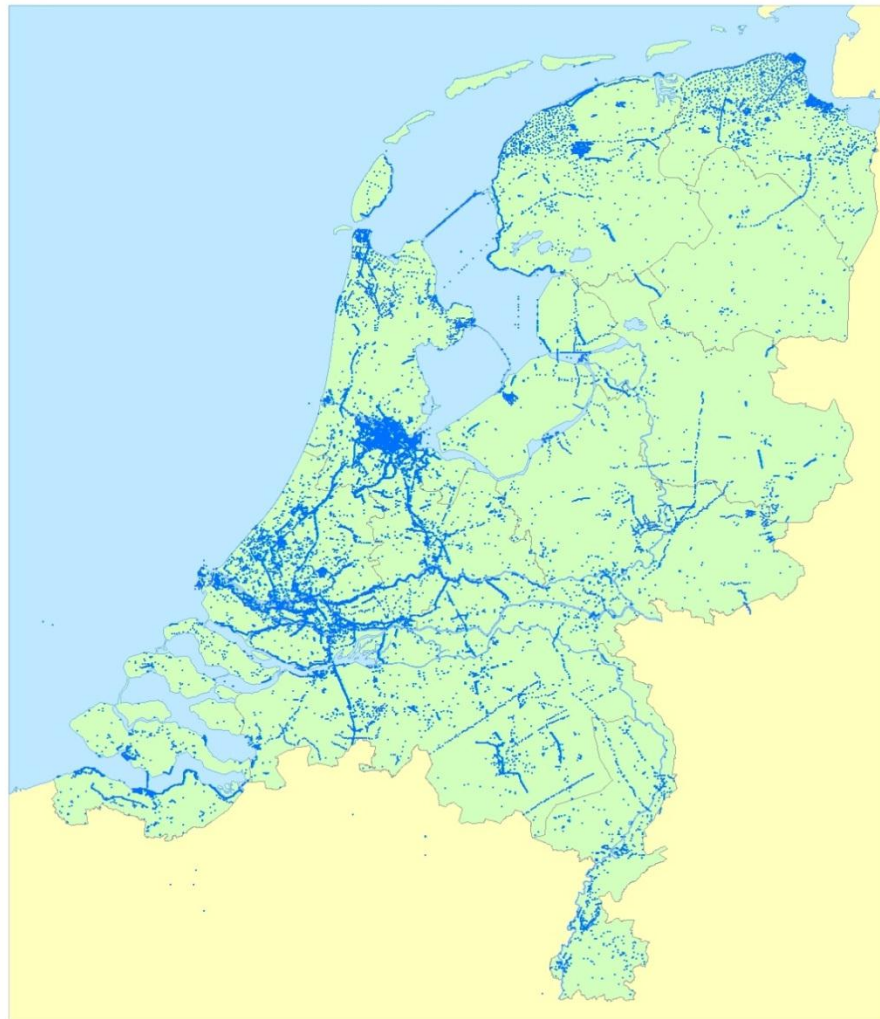
3.4 Tauw Veenboringen

Ingenieursbureau Tauw heeft in opdracht van de Provincie Utrecht een groot aantal ondiepe handboringen gezet in het Utrechtse Veenweidegebied. De digitale boorbeschrijvingen van Tauw zijn eerst vertaald naar boorbeschrijvingen conform die van de Universiteit Utrecht, en vervolgens vertaald naar het formaat van DINO boorbeschrijvingen. De set boringen van Tauw omvat 6711 ondiepe handboringen. Al deze boringen zijn circa 2 m diep.

3.5 DINO Sonderingen

Naast boorbeschrijvingen bevat DINO ook een groot aantal sonderingen. Van deze sonderingen zijn voor de modellering de parameters conusweerstand en wrijvingsgetal relevant, omdat daarmee in principe de lithoklasse kan worden afgeleid. Omdat sonderingen veelal gezet worden ter voorbereiding van een bouwproject is de ligging geconcentreerd in de stedelijke gebieden en langs lijnelementen als dijken, spoorlijnen en snelwegen (Figuur 3.7). Het dieptebereik van de sonderingen varieert van 0 – 50 m; het grootste deel is minder dan 20 m diep.

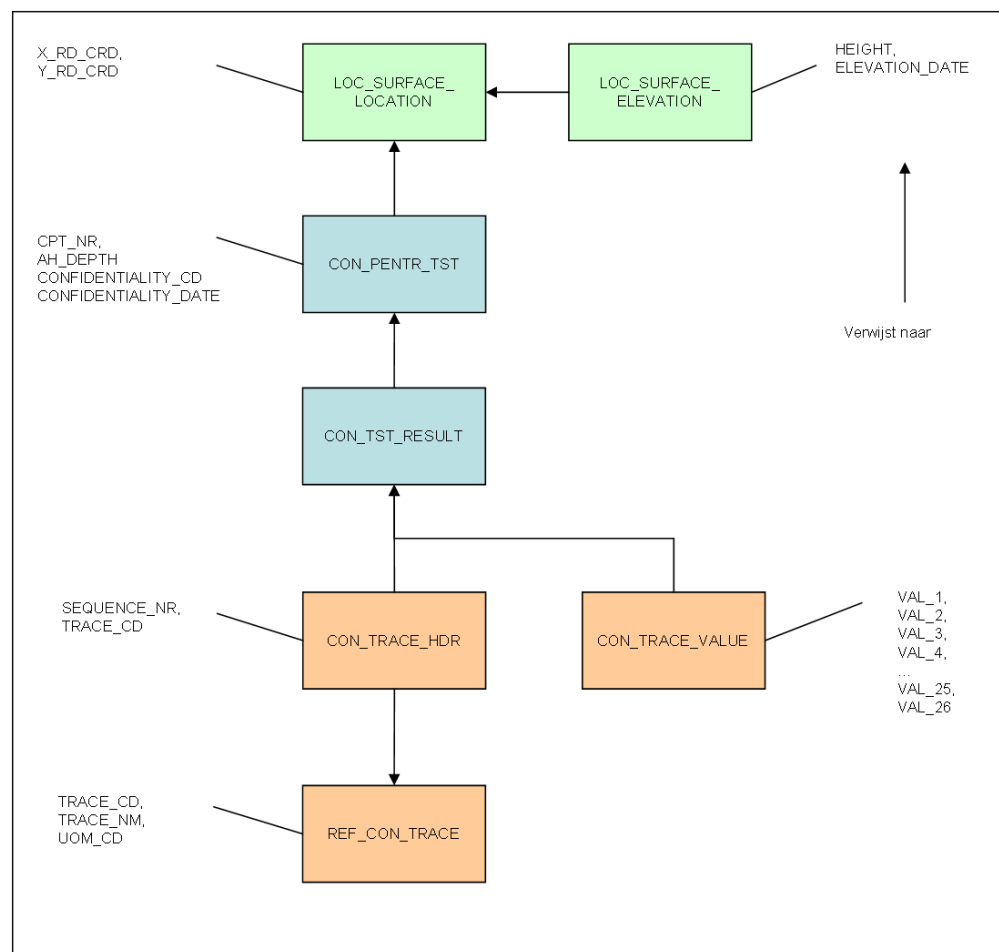
Op de sonderingen wordt een aantal kwaliteitscriteria toegepast waarbij een groot aantal sonderingen wordt uitgesloten. Dit komt vooral door ontbrekende maaivelden en ontbrekende meetwaarden. De details van de kwaliteitscriteria zijn beschreven in hoofdstuk 4. De sonderingen die na toepassen van de kwaliteitscriteria overblijven zijn weergegeven in Figuur 3.7.



Figuur 3.7: Locaties van sonderingen in de DINO database (N = 69.169). De ligging is geconcentreerd in de stedelijke gebieden en langs lijnelementen als dijken, spoorlijnen en snelwegen.

De bij de sonderingen betrokken entiteiten en attributen zijn weergegeven in Figuur 3.8. De algemene gegevens (kopgegevens) van een sondering zijn opgenomen in CONE_PENETRATION_TEST en CONE_TEST_RESULT. In CONE_TRACE_VALUE zijn de meetwaarden opgeslagen voor maximaal 26 verschillende meetsoorten. Welke meetsoorten er voor een specifieke sondering van toepassing zijn ligt vast in CONE_TRACE_HEADER. Alle mogelijke meetwaarden liggen vast in de referentietabel REFERENCE_CONE_TRACE.

Bijvoorbeeld: voor sondering met nummer 'S25H0004' zijn we op zoek naar de conusweerstand. Volgens de referentietabel REFERENCE_CONE_TRACE is dit tracecode '2'. In CONE_TRACE_HEADER is vastgelegd dat voor deze sondering inderdaad een conusweerstand gemeten is, en dat dit de vierde meetwaarde is. De conusweerstand van deze sondering zijn dan opgeslagen in het attribuut 'VAL_4' in CONE_TRACE_VALUE.



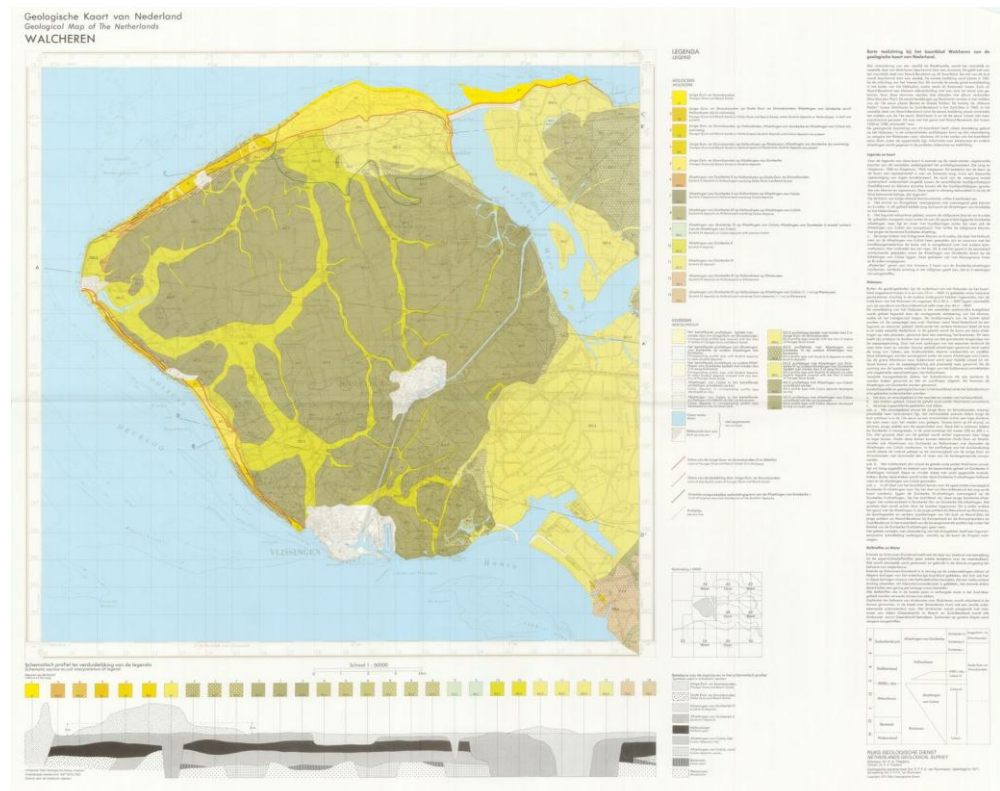
Figuur 3.8: Belangrijkste entiteiten en attributen van DINO sonderingen.

De voor de modellering gebruikte meetwaarden zijn aangegeven in onderstaande tabel:

Trace code	Omschrijving	Eenheid
1	Sondeerlengte t.o.v. maaiveld	mm
2	Conusweerstand	MPa
3	Plaatselijke wrijving	MPa
4	Wrijvingsgetal	%

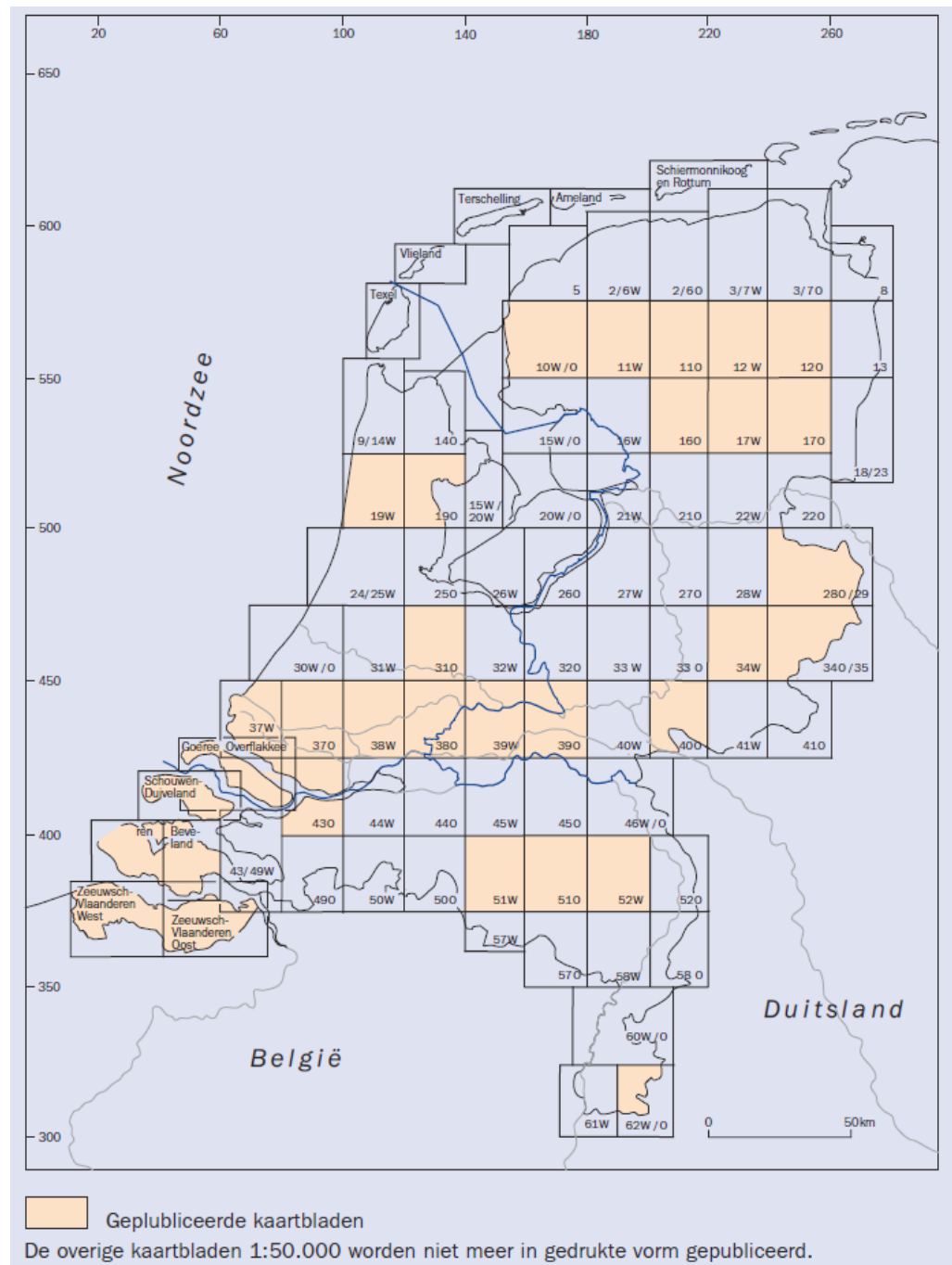
3.6 Geologische Kaart van de Ondiepe Ondergrond

De Geologische Kaart van de Ondiepe Ondergrond van Nederland, schaal 1:50.000, is de gepubliceerde neerslag van de inventarisatie van de ondergrond (tot ongeveer 500 m diepte), uitgevoerd ten behoeve van een verantwoord gebruik van de ondergrond en de ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen. De nadruk ligt op de ontstaanswijze van de ondergrond en de daarmee samenhangende afzettingen. Bij elk kaartblad horen één of meer bladen met bijkaarten en profielen. Op de bijkaarten worden bepaalde stratigrafische eenheden of bepaalde aspecten van de ondergrond nader belicht. Bij de meeste kaartbladen wordt een Toelichting geleverd met foto's, figuren en beschrijvingen. De legenda op de kaartbladen is in het Nederlands en Engels beschreven. Figuur 3.9 geeft als voorbeeld de hoofdkaart van kaartblad Walcheren.



Figuur 3.9: Hoofdkaart van kaartblad Walcheren (papier versie; GeoTOP gebruikt de digitale versie van deze kaarten).

Figuur 3.10 geeft aan welke kaartbladen er in druk zijn verschenen.



Figuur 3.10: Gepubliceerde kaartbladen van de Geologische Kaart van de Ondiepe Ondergrond van Nederland, schaal 1:50.000.

Voor de modellering wordt gebruik gemaakt van de gedigitaliseerde versie van deze kaart, bestaande uit polygonen die de grenzen van de geologische eenheden aangeven. Een overzicht van deze kaarten is weergegeven in onderstaande tabel:

Naam	Jaar van publicatie
Sneek (10W, 10O)	1976
Heerenveen West (11W) en Heerenveen Oost (11O)	1987
Assen West (12W) en Assen Oost (12O)	1990
Steenwijk oost (16O)	1978
Emmen West (17W) en Emmen Oost (17O)	1979
Alkmaar West (19W) en Alkmaar oost (19O)	1987
Almelo Oost (28O) en Denekamp (29)	1993
Utrecht Oost (31O)	1988
Eschede West, Eschede Oost/Glanerbrug (34W, 34O/35)	2000
Rotterdam Oost (37O)	1998
Rotterdam West (37W)	1979
Gorinchem Oost (38O)	1970
Gorinchem West (38W)	1994
Tiel West (39W) en Tiel Oost (39O)	1984
Arnhem Oost (40O)	1977
Willemstad Oost (43O)	1980
Eindhoven Oost (51O)	1973
Eindhoven West (51W)	1985
Venlo West (52W)	1976
Heerlen (62W oostelijke helft, 62O westelijke helft)	1980
Beveland	1978
Goeree-Overflakkee	1964
Schouwen-Duiveland	1970
Walcheren	1972
Zeeuws-Vlaanderen	1977
Terschelling	1977

Het is de bedoeling dat de gedigitaliseerde kaarten in de toekomst via DINOLoket beschikbaar worden gesteld.

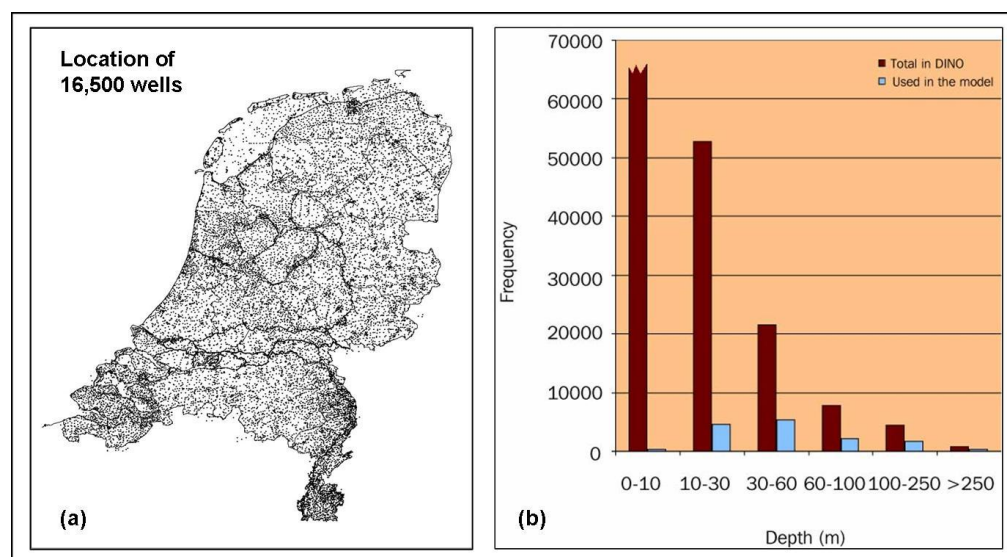
3.7 DGM

Eind jaren '90 van de vorige eeuw werd de klassieke kartering van de 'ondiepe ondergrond' van Nederland, uitmondend in de hierboven beschreven, op papier gedrukte kaarten en profielen, stopgezet en werd het werkproces sterk geautomatiseerd. Vanaf die tijd is het Digitaal Geologisch Model (DGM) ontwikkeld, een grootschalig landsdekkend lagenmodel waarin de geometrie van de geologische eenheden wordt weergegeven tot een diepte van ongeveer 500 m (Gunnink et al., subm.). De onderscheiden geologische eenheden zijn formaties volgens de lithostratigrafische indeling van de ondiepe ondergrond van Nederland

(Weerts et al., 2000; De Mulder et al., 2003); in een enkel geval wordt een laagpakket apart gemodelleerd. In tegenstelling tot het lagenmodel van GeoTOP worden de Holocene afzettingen in DGM gerepresenteerd door één geologische eenheid.

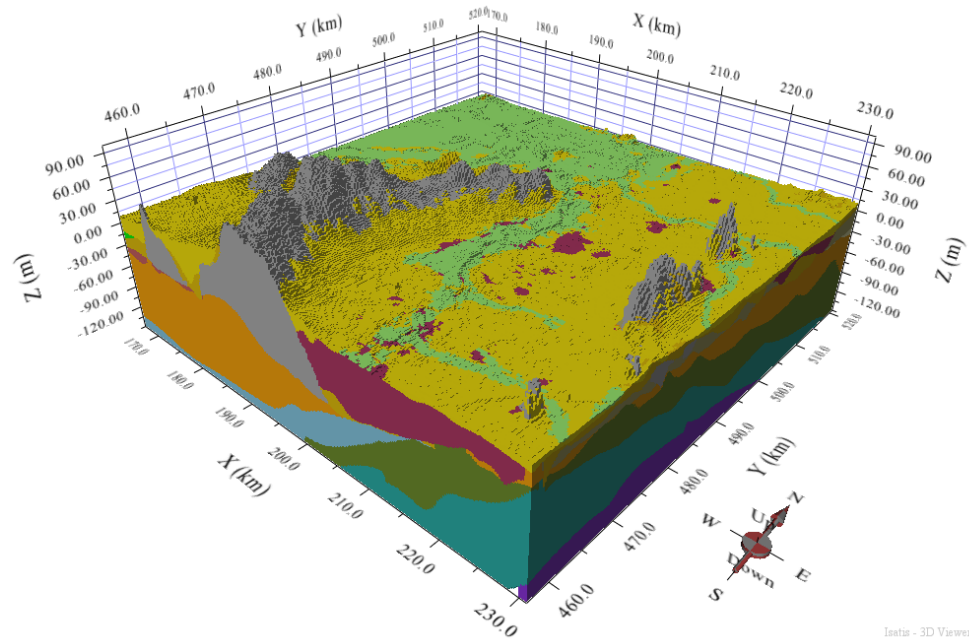
DGM is gebaseerd op een set matig diepe boringen. De set omvat circa 16.500 boringen, met dieptes tussen 10 en 500 m (Figuur 3.11). Deze boringen set is op basis van kwaliteit van de boorbeschrijvingen uit de DINO database geselecteerd, waarbij een evenwichtige geografische spreiding, in relatie tot de geologische complexiteit, is beoogd. Met het oog op de toepassing in REGIS II (zie de volgende paragraaf) zijn ook boringen gebruikt die liggen op hydrologisch relevante locaties, zoals meetnetpunten en pompstations voor drinkwater.

Al deze 16.500 boringen uit de DINO-boringendatabase zijn voorzien van een lithostratigrafische interpretatie. Uit de lithostratigrafische interpretaties wordt een lagenmodel geconstrueerd waarin de ondergrond wordt weergegeven als een stapeling van lithostratigrafische 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 resp. basis in meters onder NAP als attribuut. Uit de top- en basisrasters wordt een dikteraster afgeleid met de dikte van de lithostratigrafische eenheid in meters. Tot slot zijn er voor zowel de top als basis betrouwbaarheidsrasters beschikbaar die de modelonzekerheid van het lagenmodel representeren.



Figuur 3.11: Locatie en histogrammen van de selectieset van boringen gebruikt in de modellering van DGM en REGIS II. De histogrammen geven het aantal boringen weer dat een bepaalde einddiepte bereikt voor de hele DINO database (donkerrode kolommen) en voor de selectieset (lichtblauwe kolommen).

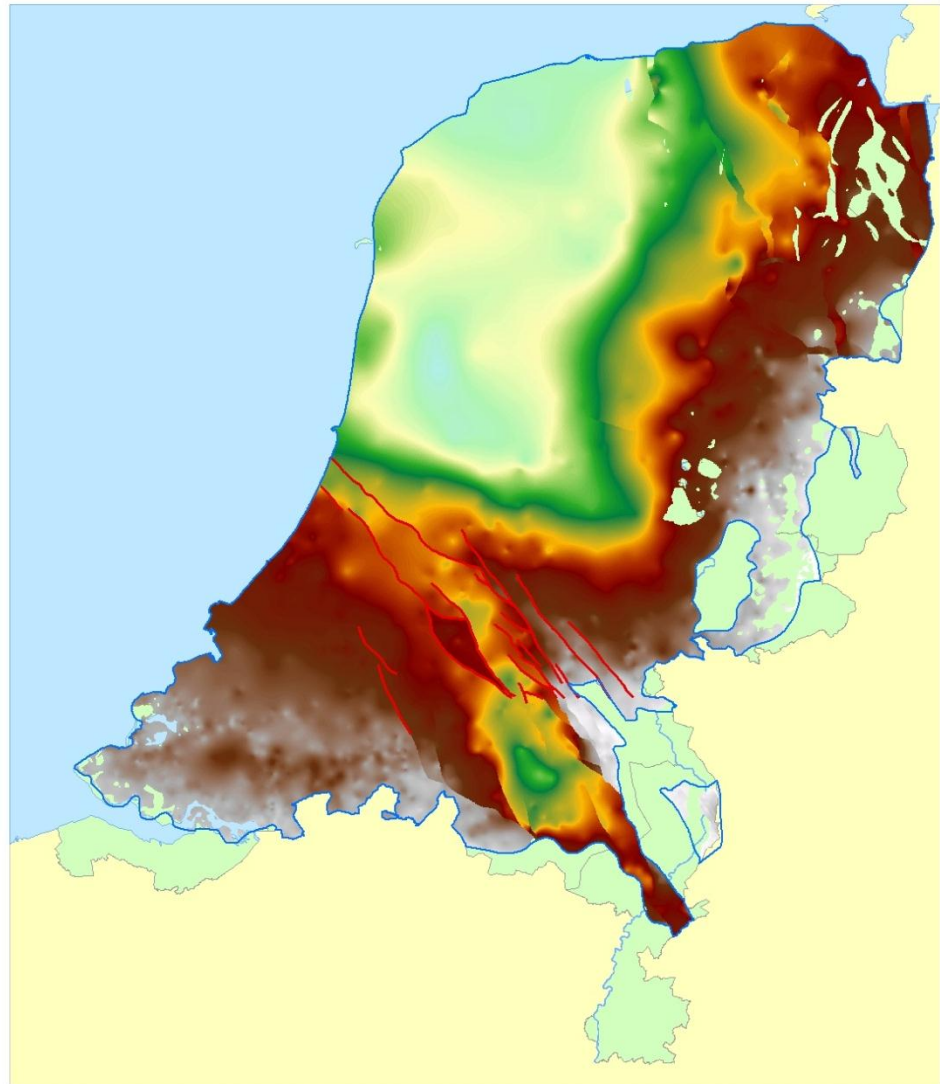
Figuur 3.12 geeft een beeld van DGM in de oostelijke Veluwe en het IJsseldal. Een landelijk beeld van DGM, in combinatie met REGIS II, is weergegeven in Figuur 3.14.



Figuur 3.12: 3D weergave van het lagenmodel DGM in een deel van het IJsseldal en de oostelijke Veluwe gezien vanuit het zuidoosten. De door landijs gestuwde afzettingen zijn in grijs weergegeven. Tussen de stuwwallen bevinden zich Pleistocene rivierafzettingen (rood en oranje) en dekzanden (geel). De loop van de rivier de IJssel en de beekdalen zijn in lichtgroen weergegeven. Onder de Pleistocene afzettingen zijn nog oude, scheefgestelde mariene eenheden uit het Tertiair zichtbaar (blauw, olijfgroen en paars).

In de modellering van GeoTOP wordt het lagenmodel (de set van rasters van top en basis van de geologische eenheden) van DGM gebruikt. Daarnaast worden de potentiële verbreidingsgrenzen van DGM in GeoTOP toegepast. Een voorbeeld van een door GeoTOP gebruikt basisvlak uit DGM wordt weergegeven in Figuur 3.13.

Van DGM komt periodiek een nieuwe versie uit. Bij het modelleren van een modelgebied van GeoTOP wordt bepaald wat de meest geschikte DGM versie voor dat modelgebied is (meestal is dat de meest recente DGM versie).



Figuur 3.13: Kaart met de ligging van de basis van DGM eenheid 'PZWA' (gecombineerde Formaties van Peize en Waalre; de oranje eenheid in Figuur 3.12). De kleurschaal loopt van lichtblauw (laagste waarde -294 m) via groen, geel en bruin naar wit (hoogste waarde +28.5 m). Merk op dat de basis van 'PZWA' in de Roerdalslenk versneden wordt door breuken (rode lijnen). Merk daarnaast op dat de potentiële verbreidingsgrens (blauwe lijn) o.a. in het noorden groter is dan de actuele verbreiding van het basisraster. De eenheid is daar versneden cq. geërodeerd door de geulen van de Formatie van Peelo.

3.8 REGIS II

REGIS II is de opvolger van het Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem REGIS I, een set van digitale bestanden met hydrogeologische informatie, die door TNO in samenwerking met de provincies en het RIZA (thans waterdienst Rijkswaterstaat) in de jaren 1990 is ontwikkeld. Met REGIS II hebben overheden, waterbeheerders, adviesbureaus en onderwijsinstellingen online de beschikking over een hydrogeologisch model van Nederland. REGIS II vormt hiermee de basis

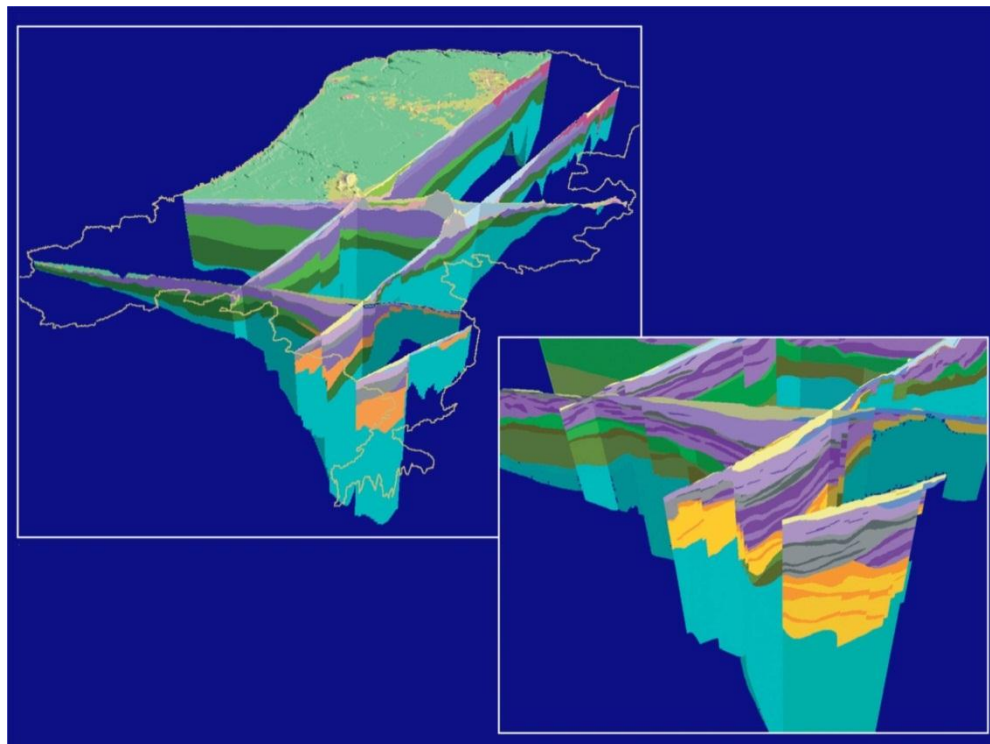
voor het samenstellen van regionale grondwatermodellen. Aangevuld met lokale (boor)informatie is REGIS II ook een uitgangspunt voor lokale grondwatermodellen. Een uitgebreide beschrijving van REGIS II is gegeven in Vernes and Van Doorn (2005).

In REGIS II zijn 131 zandige, kleiige, complexe (afwisselend zand-klei), venige, bruinkool- en kalksteen-eenheden in kaart gebracht, die op regionale schaal onderscheiden kunnen worden binnen de afzonderlijke geologische formaties van DGM (Figuur 3.14). Deze hydrogeologische onderverdeling is gebaseerd op de lithologische samenstelling en daarmee samenhangende hydraulische eigenschappen van het sediment. Intensieve interactie tijdens de geologische en hydrogeologische interpretaties van de boringen zorgen ervoor dat DGM en REGIS II naadloos op elkaar aansluiten. REGIS II is gebaseerd op dezelfde set van 16.500 boringen als DGM.

Van elke hydrogeologische eenheid is de diepteligging van de top en basis en de dikte vastgelegd in rasters met gridcellen van 100 bij 100 m. Naast deze geometrische gegevens bevat het hydrogeologisch model voor elke eenheid ook doorlatendheidsgrids en rasters met daarvan afgeleide hydraulische eigenschappen. Dit zijn geïnterpoleerde doorlatendheden uit de boringen die op hun beurt weer zijn afgeleid uit de relatie tussen lithologie, afzettingmilieu en hydraulische eigenschappen. De gebruikte geostatistische interpolatietechniek maakt het mogelijk om naast kaartbestanden van de horizontale en verticale doorlatendheid ook de onzekerheid rond deze parameters te presenteren in de vorm van de standaardafwijking.

Net als in DGM worden de Holocene afzettingen in REGIS II gerepresenteerd door één, in dit geval hydrogeologische, eenheid.

In de modellering van GeoTOP wordt het lagenmodel (de set van rasters van top en basis van de hydrogeologische eenheden) van REGIS II gebruikt. Op dit moment is het gebruik nog zeer beperkt, zeker vergeleken met het gebruik van DGM. Van REGIS II komt periodiek een nieuwe versie uit. Bij het modelleren van een modelgebied van GeoTOP wordt bepaald wat de meest geschikte REGIS II versie voor dat modelgebied is (meestal is dat de meest recente REGIS II versie).



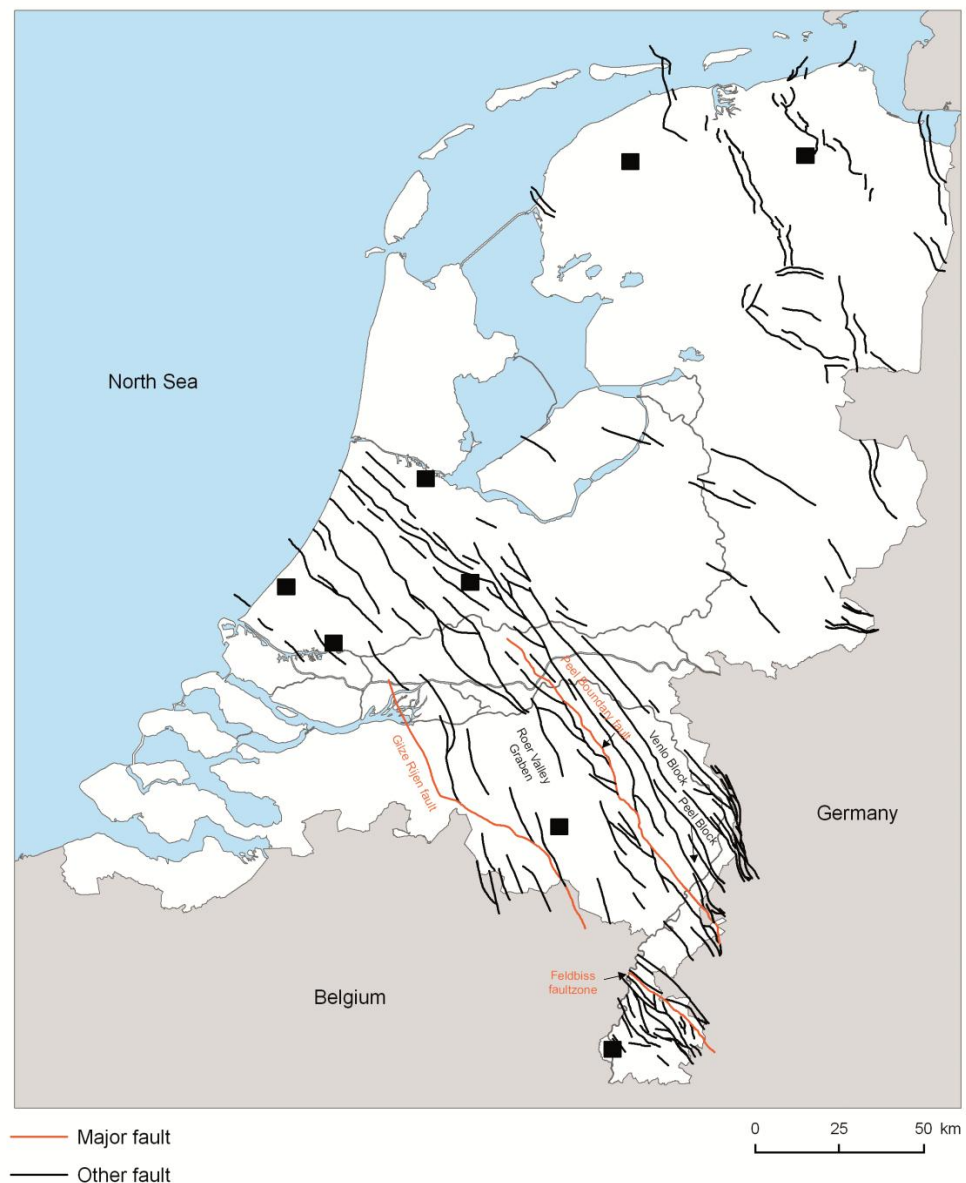
Figuur 3.14: De landsdekkende lagenmodellen DGM en REGIS II weergegeven met een aantal dwarsdoorsneden die de laagopvolging van Kwartaire en Boven-Tertiaire eenheden laat zien. Links een beeld van DGM voor heel Nederland; rechts en detail van Limburg waarin te zien is hoe de geologische eenheden van DGM verder opgedeeld zijn in goed doorlatende zandige en en slecht doorlatende kleiige eenheden. Donkere tinten zijn kleiige lagen, de lichte tinten zijn zandige lagen.

3.9 REGIS Zeeland

In opdracht van de provincie Zeeland is naast het hydrogeologische model van REGIS II, een aanvullend model en bijbehorend kaartmateriaal gemaakt. Zo is voor Zeeland op basis van zowel matig diepe als ondiepe boringen een gedetailleerd hydrogeologisch model van de Holocene deklaag uitgewerkt en zijn stijghoogtebeelden van het daaronder gelegen watervoerende pakket gemaakt. Het gedetailleerde hydrogeologische model van de Holocene deklaag omvat onder andere een lagenmodel van de verschillende laagpakketten en lagen in de Holocene Formaties van Naaldwijk en Nieuwkoop. Dit lagenmodel is als uitgangspunt voor het GeoTOP modelgebied Zeeland gebruikt.

3.10 Breuken

Als onderdeel van de modellering van DGM en REGIS II is een tektonische kaart van Nederland gemaakt waarop alle bekende grote breuken in de Nederlandse ondergrond zijn weergegeven (Figuur 3.15). De kaart is het resultaat van een gedegen herziening van breukpatronen uit eerdere publicaties, waaronder kaarten gebaseerd op door de olie-industrie uitgevoerde seismische profielen. Ook hoge-resolutie seismiek in de Roerdalslenk, het belangrijkste tektonische fenomeen in de Nederlandse ondiepe ondergrond, is in de kartering gebruikt.



Figuur 3.15: Kaart met de ligging van de breuken in de ondiepe ondergrond van Nederland.

Voor elke geologische eenheid die in DGM wordt gemodelleerd, is vastgesteld welke breuken de basis van de eenheid verstoren. Bij het modelleren van de geologische eenheid wordt rekening gehouden met die breuken.

GeoTOP gebruikt de breuken (een lijnenbestand, zgn. “polylines”) bij zowel de lagenmodellering als de lithoklassemodellering. De breuken worden één-op-één overgenomen van DGM. Van de breuken dataset komt periodiek een nieuwe versie uit. Bij het modelleren van een modelgebied van GeoTOP wordt de versie gebruikt die bij de door GeoTOP gebruikte DGM versie hoort.

3.11 Actueel Hoogtebestand Nederland

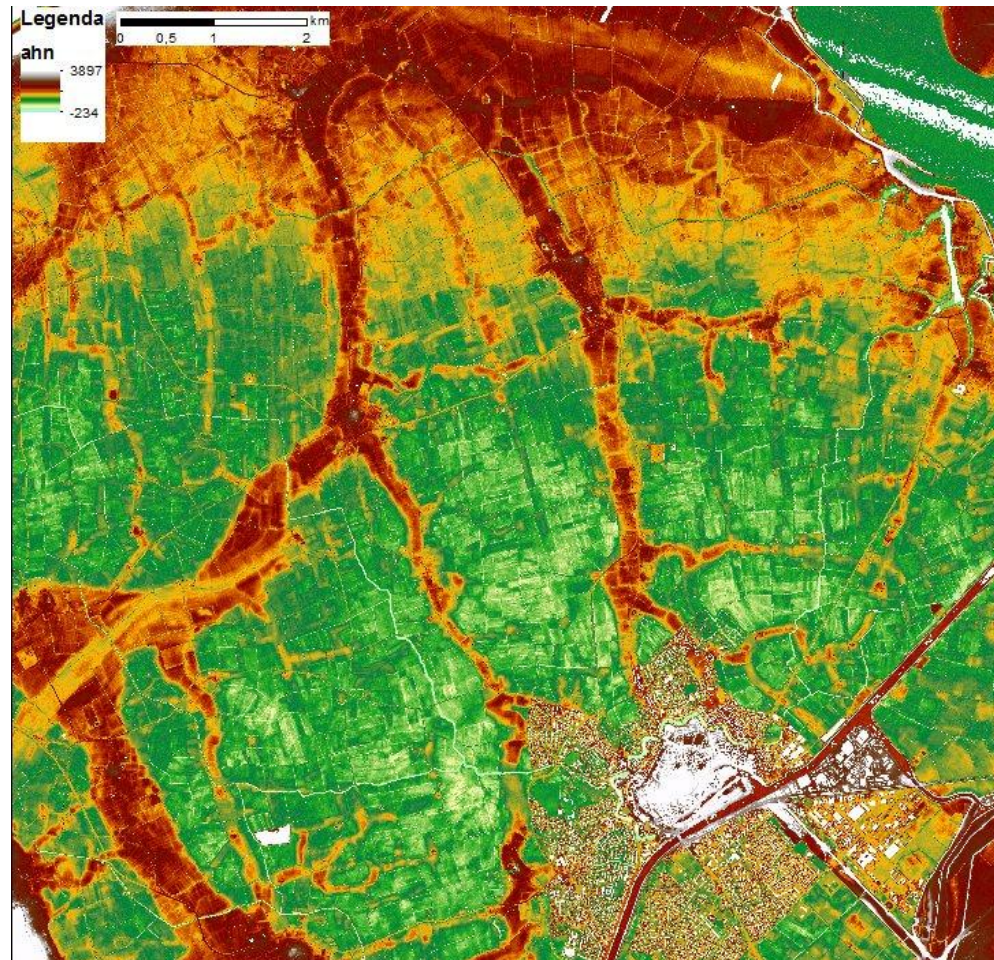
Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN, www.ahn.nl) is een bestand van Rijkswaterstaat met voor heel Nederland gedetailleerde en precieze hoogtegegevens. Het AHN wordt gemaakt door met een laser metingen te verrichten vanuit een vliegtuig (laseraltimetrie).

TNO gebruikt het AHN op twee manieren: (1) om geologische fenomenen aan het aardoppervlak te karteren en (2) als een van de bronnen om het maaiveld- en waterbodemoogtebestand samen te stellen. Toepassing (1) wordt in deze paragraaf verder beschreven, toepassing (2) in de volgende paragraaf.

Het reliëf van het aardoppervlak bevat veel aanwijzingen over de geologie van de (ondiepe) ondergrond. Zo zijn in Nederland de stuwwallen van de voorlaatste ijstijd als geprononceerde heuvels in het landschap aanwezig (Utrechtse Heuvelrug, Veluwe, Sallandse Heuvelrug). Hoe gedetailleerder de hoogte-informatie is, hoe meer geologen eruit kunnen afleiden. Een mooi voorbeeld is het karteren van oude rivierlopen van de Rijn en de Maas in het westen en midden van Nederland. Deze tot 6000 jaar oude rivierlopen zijn als hoger gelegen stroomruggen zichtbaar in het AHN. Het hoogteverschil wordt veroorzaakt doordat het klei en veen naast de rivierlopen meer inklinkt dan het zand in de rivierlopen. Een vergelijkbaar voorbeeld zijn de Holocene getijdegeulen (kreken) op het voormalige eiland Walcheren (Figuur 3.16).

In de modellering wordt geen gebruik gemaakt van de oorspronkelijke lasermeeetwaarden, maar van een door Rijkswaterstaat samengesteld raster met een resolutie van 5 x 5 m. Met deze hoge resolutie is het goed mogelijk om geologische fenomenen die aan of vlak onder maaiveld liggen te herkennen en te karteren.

Van het AHN is een nieuwe versie in ontwikkeling, AHN2. Deze nieuwe versie wordt op dit moment nog niet in GeoTOP gebruikt.



Figuur 3.16: Holocene geulen op het voormalige eiland Walcheren zichtbaar als terreinverhoging in het AHN. De stad rechtsonder in beeld is Middelburg.

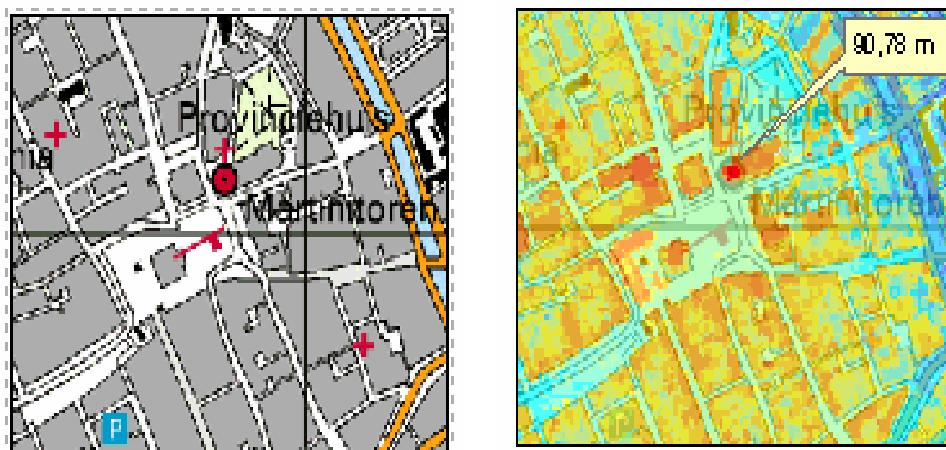
3.12 Maaiveld- en waterbodemoogten

De bovenkant van de ondergrondmodellen DGM, REGIS II, GeoTOP en NL3D wordt gevormd door een combinatie van maaiveld (op het land) en waterbodemoogten (waaronder het IJsselmeer, de Waddenzee, de Zeeuwse wateren en de bodems van de grote rivieren). Het maaiveld wordt grotendeels afgeleid uit het AHN. Het AHN geeft echter geen informatie over de waterbodemoogten. Deze worden daarom afgeleid uit bathymetrische metingen (de zogenaamde “lodingen”) van Rijkswaterstaat en diverse provincies en waterschappen.

Het AHN geeft een zeer gedetailleerd beeld van de hoogte van het Nederlandse maaiveld. Het detailniveau is zo hoog dat individuele gebouwen te onderscheiden zijn van hun omgeving. Verder kan vegetatie een verhogend effect hebben op de hoogtemeting. Voor geologische toepassingen is het noodzakelijk om de gegevens te *filteren*, zodat de invloed van bebouwing en vegetatie wordt weggenomen. Tevens dienen de gegevens te worden *opgeschaald* van de oorspronkelijke 5 bij 5 m resolutie naar de gewenste 100 bij 100 m schaal.

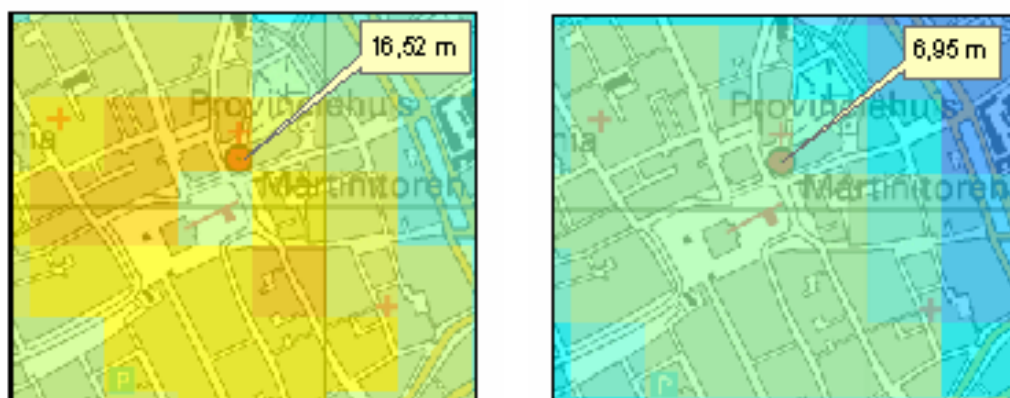
De filtering en opschaling is uitgevoerd met speciaal voor dit doel ontwikkelde software, aangevuld met geautomatiseerde procedures (scripts) om diverse conversieslagen uit te voeren. In onderstaande figuren wordt het doel van de filtering nader toegelicht.

Links in Figuur 3.17 is een stukje van de topografische kaart van de binnenstad van Groningen te zien, met de Grote Markt en de Martinitoren. Rechts is het oorspronkelijke AHN bestand weergegeven (raster van 5 x 5 m). Duidelijk is te zien dat de bebouwing hoger ligt dan de straten en het marktplein. Ook de Martinitoren is goed herkenbaar met een maximale hoogte van 90,78 m.



Figuur 3.17: Topografie (links) en AHN (rechts) van de binnenstad van Groningen.

Links in Figuur 3.18 is het resultaat weergegeven van opschalen zonder eerst te filteren. De celgrootte is nu 100 x 100 m. De bebouwing levert een grote bijdrage aan de hoogte. Alleen het marktplein heeft een lage waarde. Rechts is het resultaat weergegeven van opschalen nadat eerst de bebouwing is gefilterd. Het hele gebied heeft nu lage waarden die overeenkomen met de waarden van het marktplein. Dit geldt zelfs voor de Martinitoren, waar nu een hoogte van 6,95 m geldt.



Figuur 3.18: Opgeschaalde hoogte (100 bij 100 m) zonder filter (links) en met filter (rechts).

Het resulterende maaiveldbestand is gecombineerd met de bathymetrische gegevens tot één landsdekkend maaiveld- en waterbodemoogtebestand met een rastergrootte van 100 m. Daarnaast zijn hulpbestanden vervaardigd waarin de verdeling van land en water en de gegevensherkomst (AHN, Provincie, Waterschappen) wordt aangegeven. In totaal zijn er daarmee drie bestanden beschikbaar:

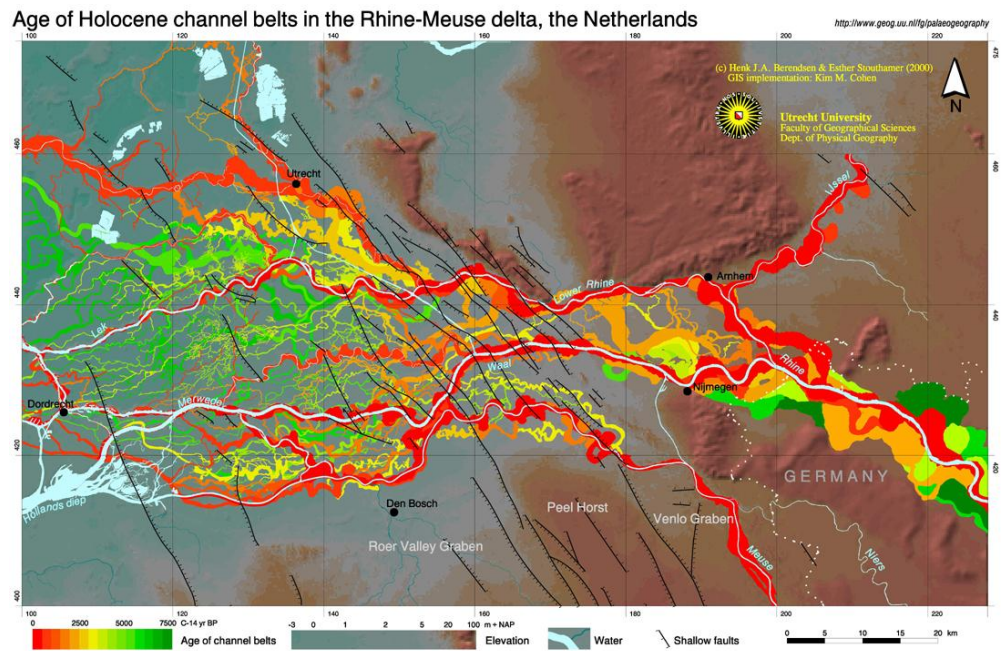
- Maaiveld- en waterbodemoogte (mv), waarbij elke cel de hoogteligging in meters ten opzichte van NAP weergeeft.
- Land-watergrens (mvlwg), waarbij elke cel met een code aangeeft of het een maaiveldhoogte (celwaarde 1) of waterbodemoogte betreft (celwaarde 2).
- Bron (mvbron), waarbij elke cel met een code aangeeft wat de herkomst van de maaiveld- of waterbodemoogte is.

3.13 Holocene geulsystemen van de Universiteit Utrecht

De ligging van de Holocene geulsystemen van de Rijn-Maas delta is door de Universiteit Utrecht zeer gedetailleerd in kaart gebracht (Figuur 3.19; Berendsen & Stouthamer, 2001,

<http://www.geo.uu.nl/fg/palaeogeography/results/palaeogeography>).

In het kader van de samenwerking "Delta Evolution" tussen de Universiteit Utrecht en TNO wordt deze kaart periodiek bijgewerkt aan de hand van nieuwe boorgegevens en nieuwe wetenschappelijke inzichten. De kaart wordt voor GeoTOP vervolgens aangevuld met verbreidingen (polygonen) van de Holocene geulsystemen in Zuid-Holland, het gebied ten westen van Figuur 3.19 tot aan de Noordzeekust, die zijn gekarteerd in het kader van de geologische oppervlaktekartering (paragraaf 3.6).

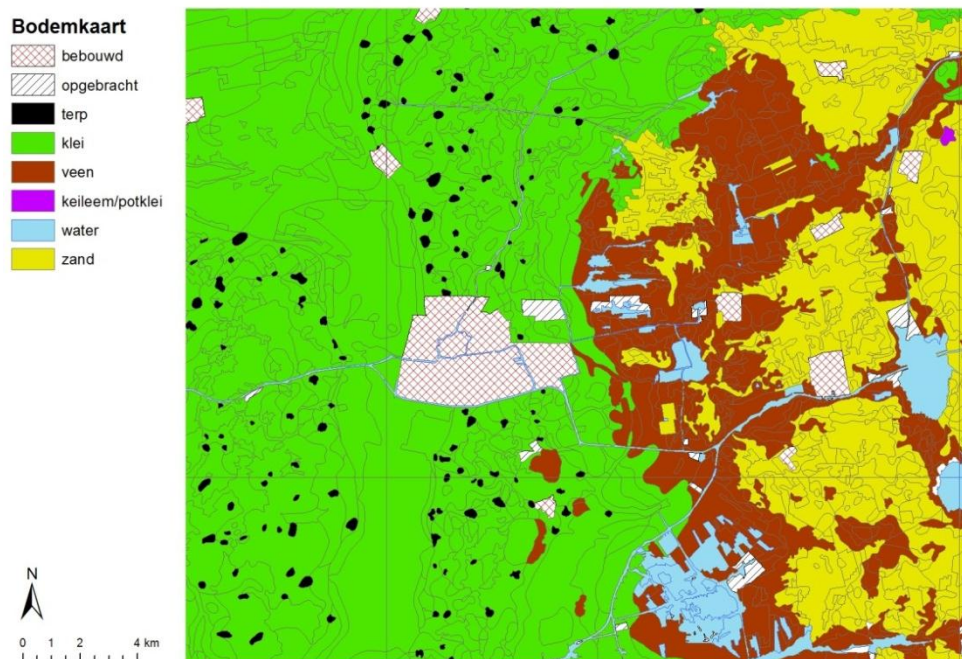


Figuur 3.19: Holocene geulsystemen in de Rijn-Maas delta (Berendsen & Stouthamer, 2001) met een digitaal hoogtemodel als achtergrond. De getoonde geulsystemen zijn ontstaan van 7000 BP tot heden. Jonge geulsystemen zijn rood gekleurd, oude groen. Kleurverschillen representeren steeds een tijdstap van 500 jaar. Merk op dat de kaart niet tot aan de kust doorloopt; het meest westelijke deel van de Holocene geulsystemen in GeoTOP wordt gebaseerd op de eerder beschreven Geologische Oppervlaktekaart en recent onderzoek.

3.14 Bodemkaart

De Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, geeft ruimtelijke informatie over de bodemopbouw tot globaal 1 m diepte. Met grondwatertrappen wordt informatie gegeven over de grondwaterstanden ten tijde van de kartering.

De bodemkundige informatie op de bodemkaart heeft betrekking op de aard en samenstelling van de bovengrond (grondsoort) met een verdere onderverdeling naar bodemvorming, veensoort, afwijkende lagen in het profiel, aanwezigheid van kalk en verstoringen door vergraving en egalisatie. De kaart geeft meestal geen bodemkundige informatie over de stedelijke gebieden. Figuur 3.20 geeft een voorbeeld van de bodemkaart, waarbij de tientallen bodemklassen ten behoeve van GeoTOP zijn geaggregeerd tot een klein aantal voor GeoTOP relevante klassen.



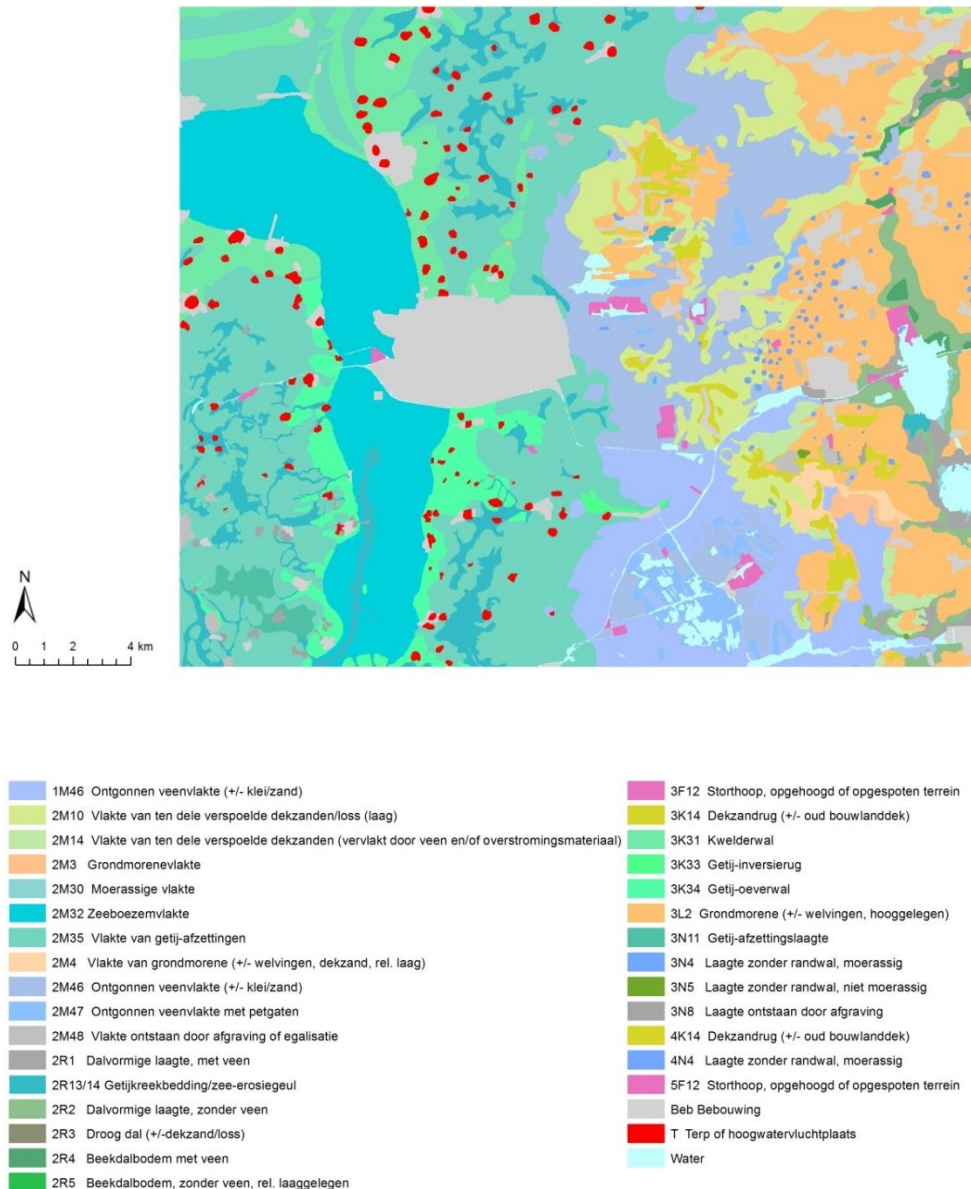
Figuur 3.20: Uitsnede van Bodemkaart van de omgeving van Leeuwarden. De bodemklassen zijn geaggregeerd tot een klein aantal voor GeoTOP relevante klassen.

De bodemkaart wordt gemaakt en onderhouden door Alterra - <http://www.alterra.wur.nl/NL/Producten/GIS-bestanden/Bodem/Bodemkaart+500000/>

In GeoTOP wordt de digitale versie van de bodemkaart, bestaande uit polygoenen die de grenzen van de bodemeenheden aangeven, gebruikt bij het maken van potentiële verbreidingsgrenzen van de te modelleren geologische eenheden. Door de aard van de bodemkaart gaat dit altijd om eenheden aan of direct onder het aardoppervlak. Denk aan stuifzanden van de Laagpakket van Kootwijk en beekdalafzettingen van het Laagpakket van Singraven (beide laagpakketten zijn onderdeel van de Formatie van Bostel).

3.15 Geomorfologische kaart

Geomorfologie is de wetenschap die zich bezig houdt met het bestuderen van de vormen van het aardoppervlak. Deze tak van aardwetenschappen omvat het karakter van het reliëf, het omschrijven van de gedaante van de vormen en het onderzoek naar hun ontstaanswijze. Op een geomorfologische kaart vinden we deze aspecten dan ook terug: informatie over hoogteverschillen, genese (ontstaan) en ouderdom voor een specifiek kaartelement. Al deze elementen vormen samen patronen die het verhaal van het ontstaan en de vorming van het landschap vertellen. De eerste, gedetailleerde landsdekkende en digitale versie van de geomorfologische kaart van Nederland, schaal 1 : 50.000, is in 2003 gereed gekomen (Figuur 3.21).



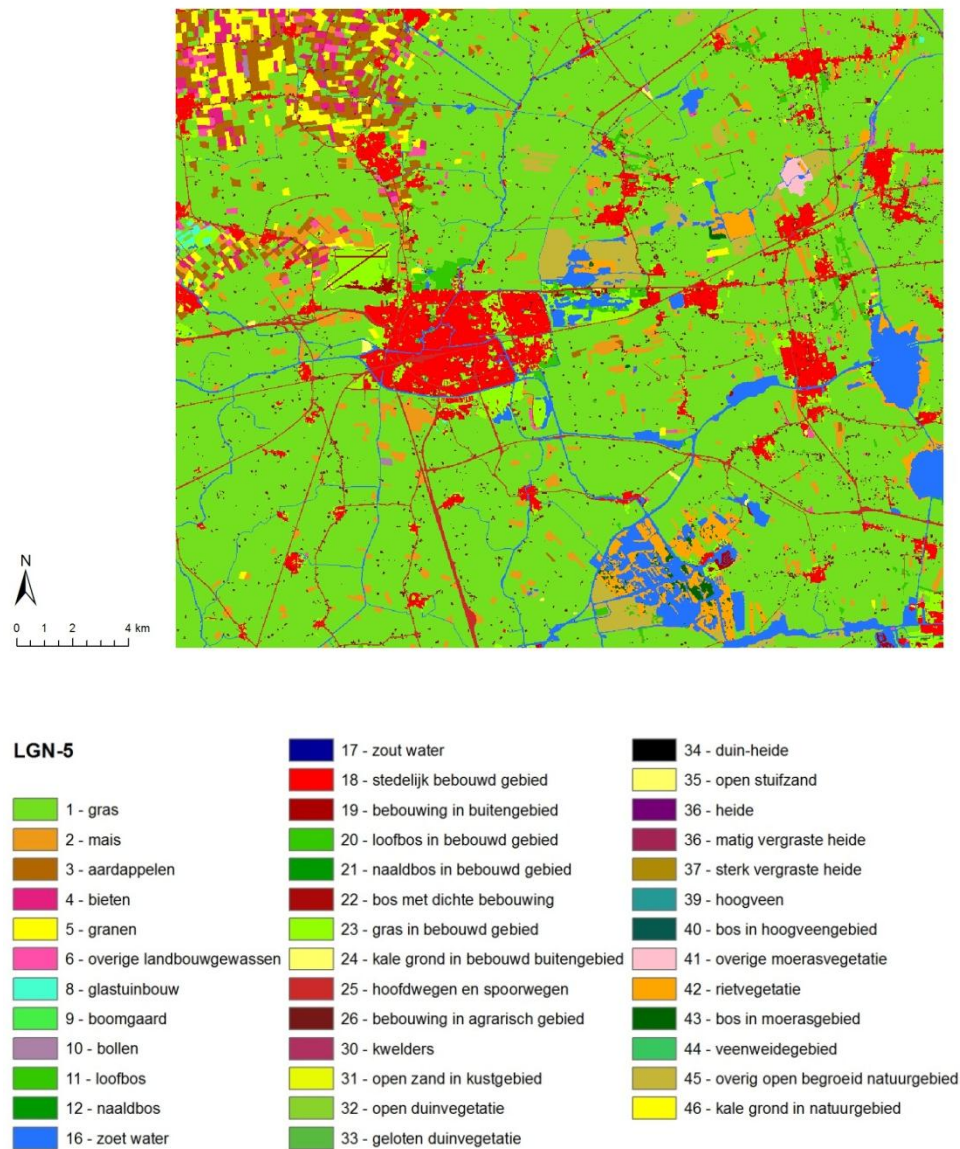
Figuur 3.21: Uitsnede van Geomorfologische kaart van de omgeving van Leeuwarden.

De geomorfologische kaart wordt gemaakt en onderhouden door Alterra - <http://www.alterra.wur.nl/NL/Producten/GIS-bestanden/Geomorfologie/Geomorfologische+kaart/>

In GeoTOP wordt de digitale versie van de geomorfologische kaart, bestaande uit polygonen die de grenzen van de geomorfologische eenheden aangeven, op een vergelijkbare manier gebruikt als de bodemkaart (zie vorige paragraaf). Net als bij de bodemkaart gaat het om eenheden die aan of direct onder het aardoppervlak voorkomen.

3.16 Landelijk Grondgebruik Nederland

Het Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN, <http://www.lgn.nl>) is een landsdekkend rasterbestand met een resolutie van 25 m waarin 39 vormen van landgebruik zijn onderscheiden (Figuur 3.22). In het bestand worden de belangrijkste landbouwgewassen, een aantal natuurklassen en stedelijke klassen onderscheiden. Versie 5 (LGN5) is vervaardigd met behulp van satellietbeelden van 2004 en 2005 en andere relevante ruimtelijke informatie. Sinds 1986 wordt het bestand met een frequentie van eens per 3-5 jaar gemaakt. LGN is een product van het Centrum voor Geo-informatie dat onderdeel uitmaakt van het Wageningen-Universiteit en Research centrum.



Figuur 3.22: Uitsnede van LGN5 van de omgeving van Leeuwarden.

In de modellering wordt LGN5 gebruikt om de verbreiding van antropogene ophogingen te bepalen. Daarbij worden de 39 landgebruik klassen gereclassificeerd naar 2 klassen: stedelijk gebied en landelijk gebied. Stedelijk gebied zijn de klassen 18 t/m 26:

- 18 stedelijk bebouwd gebied
- 19 bebouwing in buitengebied
- 20 loofbos in bebouwd gebied
- 21 naaldbos in bebouwd gebied
- 22 bos met dichte bebouwing
- 23 gras in bebouwd gebied
- 24 kale grond in bebouwd buitengebied
- 25 hoofdwegen en spoorwegen
- 26 bebouwing in agrarisch gebied

De overige LGN klassen zijn landelijk gebied en worden in GeoTOP niet gebruikt.

3.17 Topografische kaart

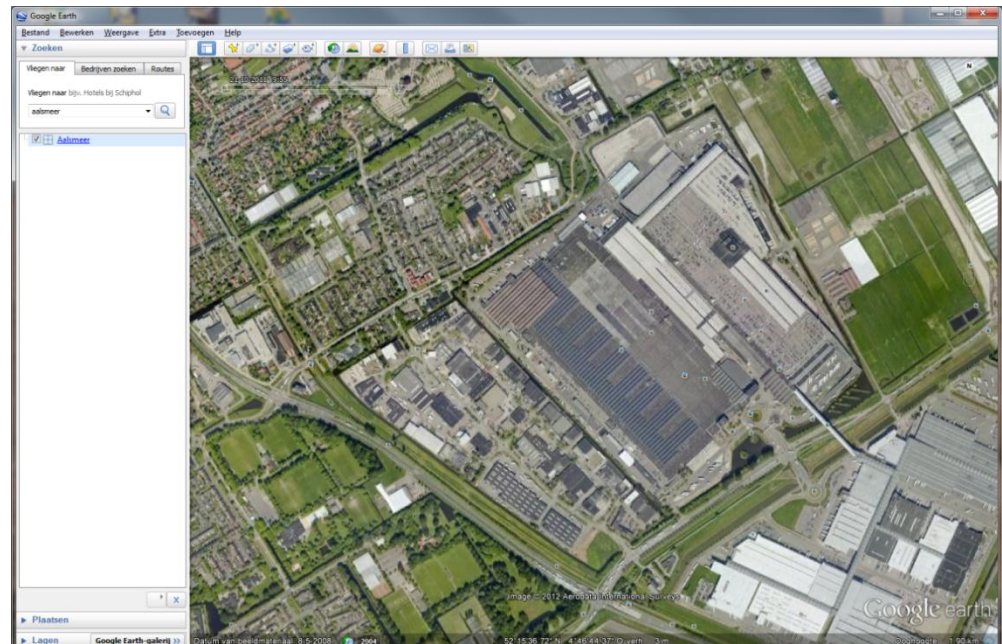
Als algemene topografische ondergrond en referentie wordt gebruik gemaakt van de Topografische kaart 1:50.000 van het Kadaster (www.kadaster.nl). Dit product heet TOP50raster en wordt geleverd als gegeorefereerde rasterkaarten (GeoTIFF) in de vorm van kaartbladen van (meestal) 20 bij 25 kilometer (Figuur 3.23). De kaarten worden bij het maken van GeoTOP gebruikt en daarnaast ook uitgeleverd aan gebruikers van de SubsurfaceViewer (zie paragraaf 4.6.8).



Figuur 3.23: Kaartblad 140 van TOP50raster van het Kadaster met de Wieringermeer. Gebiedsomvang is 20 bij 25 kilometer.

3.18 Luchtfoto's

Bij het analyseren van geologische verschijnselen aan of nabij het aardoppervlak wordt gebruik gemaakt van luchtfoto's van Google Earth (<http://www.google.com/intl/nl/earth/index.html>) en Bing Maps (<http://www.bing.com/maps>). Een van de toepassingen is het verifiëren of een afwijkende maaiveldhoogte wordt veroorzaakt door bebouwing (Figuur 3.24).



Figuur 3.24: Gebruik van Google Earth: een afwijkende maaiveldhoogte van 12 m boven NAP bij Aalsmeer blijkt na verificatie veroorzaakt te worden door het dak van de bloemenveiling.

3.19 Lithostratigrafische Nomenclator Ondiepe Ondergrond

De Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond (<http://www.dinoloket.nl/nomenclatorShallow/start/start/introduction/index.html>; Figuur 3.25) omvat de definities van de lithostratigrafische eenheden die voorkomen in de bovenste honderden meters van de ondergrond van het vasteland van Nederland. Van iedere eenheid worden een uitgebreide beschrijving, een verbreidingskaart en de stratotypes getoond. De tekst beschrijft onder meer de lithologische kenmerken, de boven- en ondergrens van de betreffende lithostratigrafische eenheid en de relatie tot niet meer in gebruik zijnde stratigrafische terminologie.

Chronostratigrafie		Lithostratigrafische eenheden op formatieniveau								
		Marien	Fluviaal				Glaciaal	Overig		
			Oostelijke rivieren	Rijn	Maas	Belgische rivieren				
Kwartair	Holoceen	Formatie van Naaldwijk		Formatie van Echteld	Formatie van Beegden	Kreekrak Formatie		Formatie van Nieuwkoop		
		Eem Formatie		Formatie van Krefenheye		Formatie van Koewacht	Formatie van Drente	Woudenberg		
	Pleistoceen	"Midden"		Formatie van Urk				Formatie van Drachten	Formatie van Bixstel	
			Formatie van Appelscha	Formatie van Sterksel			Formatie van Peelo			
				Formatie van Waalre						
			Formatie van Maassluis	Formatie van Peize		Formatie van Stramproy				
		"Vroeg"								Formatie van Heijenrath
										Formatie van Holsset
Neogeen	Pliocene	Formatie van Oosterhout		Kiezelooliet Formatie						
	Mioceen	Formatie van Breda		Formatie van Inden			Formatie van Velle			
Paleogeen	Oligoceen	Fm. v. Veldhoven								
		Rupel Formatie								
	Fm. v. Tongeren									
Eoceen		Formatie van Dongen								
		Formatie van Landen								
Paleoceen										

Figuur 3.25: Lithostratigrafische eenheden op formatieniveau.

De uitgangspunten van de lithostratigrafische indeling staan beschreven in het rapport 'De lithostratigrafische indeling van Nederland – Formaties uit het Tertiair en Kwartair' (Weerts et al., 2000). Het boek 'De ondergrond van Nederland' (De Mulder et al., 2003) vormt een goede inleiding op de geologie van Nederland en geeft een beknopte beschrijving van de onderscheiden lithostratigrafische eenheden.

De lithostratigrafische eenheden vormen de basis van de ondergrondmodellen GeoTOP, DGM, REGIS II en NL3D. De in de modellen gebruikte geologische eenheden komen voor een belangrijk deel overeen met lithostratigrafische eenheden. Zoals in hoofdstuk 2 echter al is beschreven, komen de eenheden in de modellen niet altijd één-op-één overeen met een lithostratigrafische eenheden volgens de Nomenclator. Het kan namelijk nodig zijn om twee lithostratigrafische eenheden samen te nemen tot één modeleenheid. Zo worden de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre gecombineerd in één modeleenheid. De tegenovergestelde situatie, waar een lithostratigrafische eenheid wordt gesplitst in een of meerdere modeleenheden komt ook voor. Bijvoorbeeld de Formatie van Echteld wordt in drie verschillende eenheden, elk met een andere stratigrafische positie ten opzichte van andere eenheden, gemodelleerd.

3.20 Software

Er wordt gebruik gemaakt van de volgende software:

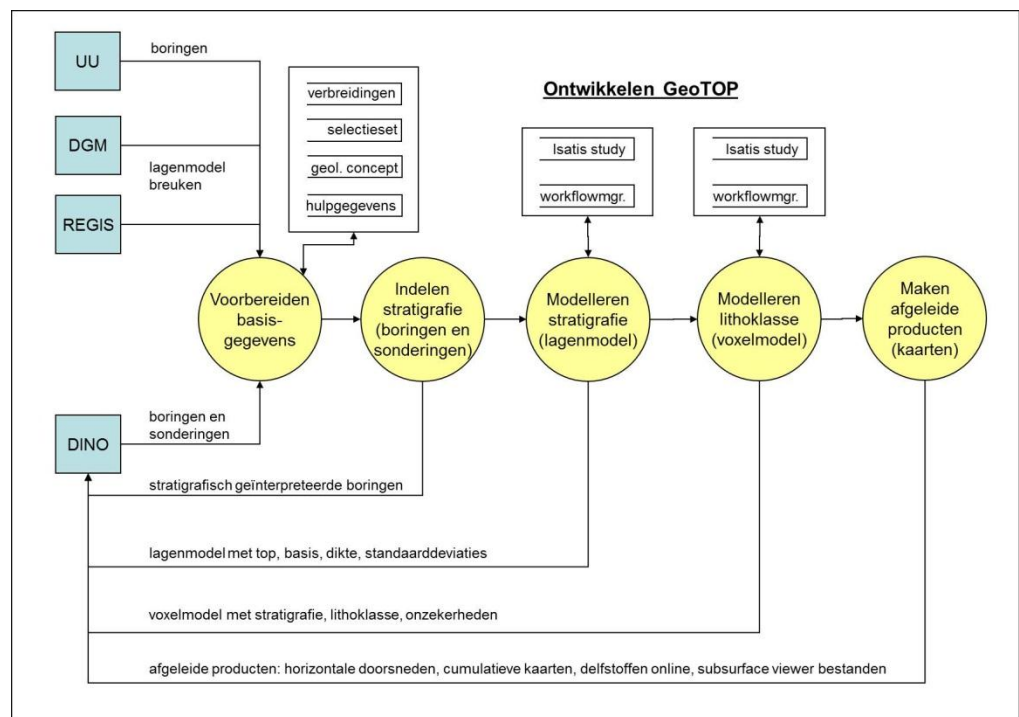
Software	Versie	O.a. gebruikt voor
Isatis	2011.4	Geostatistische berekeningen voor het lagenmodel en het voxelmodel.
MS Excel	2010	In Excel zijn <i>workflow managers</i> ontwikkeld (een voor 2D en een voor 3D) die opdrachtregels voor Isatis aanmaken.
Python	2.6	Programmeertaal voor het ontwikkelen van scripts voor dataextractie, dataconversie, toekennen van stratigrafische interpretaties etc.
ArcGIS Desktop	10 SP3	GIS pakket voor visualisatie in 2D en uitvoeren van GIS operaties. Het lagenmodel van GeoTOP wordt opgeslagen als ArcGIS rasters; verbredingspolygonen worden opgeslagen als ArcGIS shapefiles.

Het versienummer is de actuele stand van zaken; per modelgebied kan een andere versie van het pakket gebruikt zijn.

4 Procesbeschrijving GeoTOP

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het proces van het maken van GeoTOP beschreven. Het proces bestaat uit vijf werkprocessen zoals weergegeven in Figuur 4.1.1. Het proces wordt *per modelgebied* uitgevoerd. In deze inleiding worden de werkprocessen kort beschreven. In de navolgende paragrafen 4.2 – 4.6 wordt elk van de vijf werkprocessen verder onderverdeeld in processtappen.



Figuur 4.1.1: Processchema voor het ontwikkelen van een modelgebied van GeoTOP. De gele cirkels stellen werkprocessen voor waarin de werkzaamheden plaatsvinden. Inkomende pijlen stellen gegevens voor die het betreffende werkproces gebruikt; uitgaande pijlen zijn gegevensproducten van het werkproces. De blauwe blokjes zijn externe gegevensbronnen buiten GeoTOP. De witte vierkanten zijn dataverzamelingen die door GeoTOP gemaakt, opgeslagen en onderhouden worden.

Het werkproces **Vorbereiden basisgegevens** houdt zich bezig met de datavoorbereiding:

- Kwaliteitsfiltering boringen en sonderingen (maken van een 'selectieset'; deze selectieset is beduidend groter dan die van DGM en REGIS II).
- Maken van een conceptueel model van de te modelleren stratigrafische eenheden (bestaande uit een schematische dwarsdoorsnede met korte toelichting). Het conceptueel model laat zien welke eenheden in het modelgebied worden onderscheiden en wat de stratigrafische opeenvolging en de onderlinge relaties zijn (bijvoorbeeld een eenheid ligt altijd op of juist onder een andere eenheid; waar de ene eenheid voorkomt, komt de andere eenheid niet voor).

- Maken van potentiële verbreidingsgrenzen (shapefiles).
- Maken van diverse hulpbestanden, o.a. uitsneden en interpretaties van het Actueel Hoogtebestand Nederland en een kartering van het Top-Pleistoceen.

In GeoTOP worden verbreidingsgrenzen gemaakt voor eenheden op laagpakketniveau die (nog) niet voorkomen in DGM en REGIS II. Voor de overige laagpakketten en formatieverbreidingen wordt gebruik gemaakt van het DGM en REGIS II lagenmodel.

De basisgegevens worden in werkproces **Indelen stratigrafie** gebruikt om aan elk lithologisch interval van alle boringen en sonderingen een modelleenheid toe te kennen. Dit levert een set van geïnterpreteerde boringen en sonderingen op die als product aan de BRO wordt geleverd. Voor de sonderingen geldt dat de metingen (conusweerstand, wrijvingsweerstand en wrijvingsgetal) eerst met software die gebruik maakt van een neurale netwerk vertaald worden naar lithologie.

De eigenlijke modellering van GeoTOP bestaat uit de werkprocessen **Modelleren stratigrafie** en **Modelleren lithoklasse**. Beide werkprocessen maken gebruik van Isatis en een bijbehorende *workflow manager*. **Modelleren stratigrafie** berekent de vlakken van het lagenmodel (vergelijkbaar met dat van DGM en REGIS II), waarbij gerekend wordt met alle beschikbare boringen en sonderingen die het kwaliteitsfilter zijn gepasseerd. Behalve de vlakken zelf wordt ook de onzekerheid in de vlakken berekend. Vlakken en onzekerheid worden beide opgenomen in het 3D voxelmodel. In **Modelleren lithoklasse** wordt de ruimte tussen de lagen van het lagenmodel opgevuld met een lithoklasse inclusief een maat van onzekerheid. In beide werkprocessen wordt een kwaliteitscontrole door geologische experts uitgevoerd. Zowel het lagenmodel als het voxelmodel wordt opgenomen in de BRO.

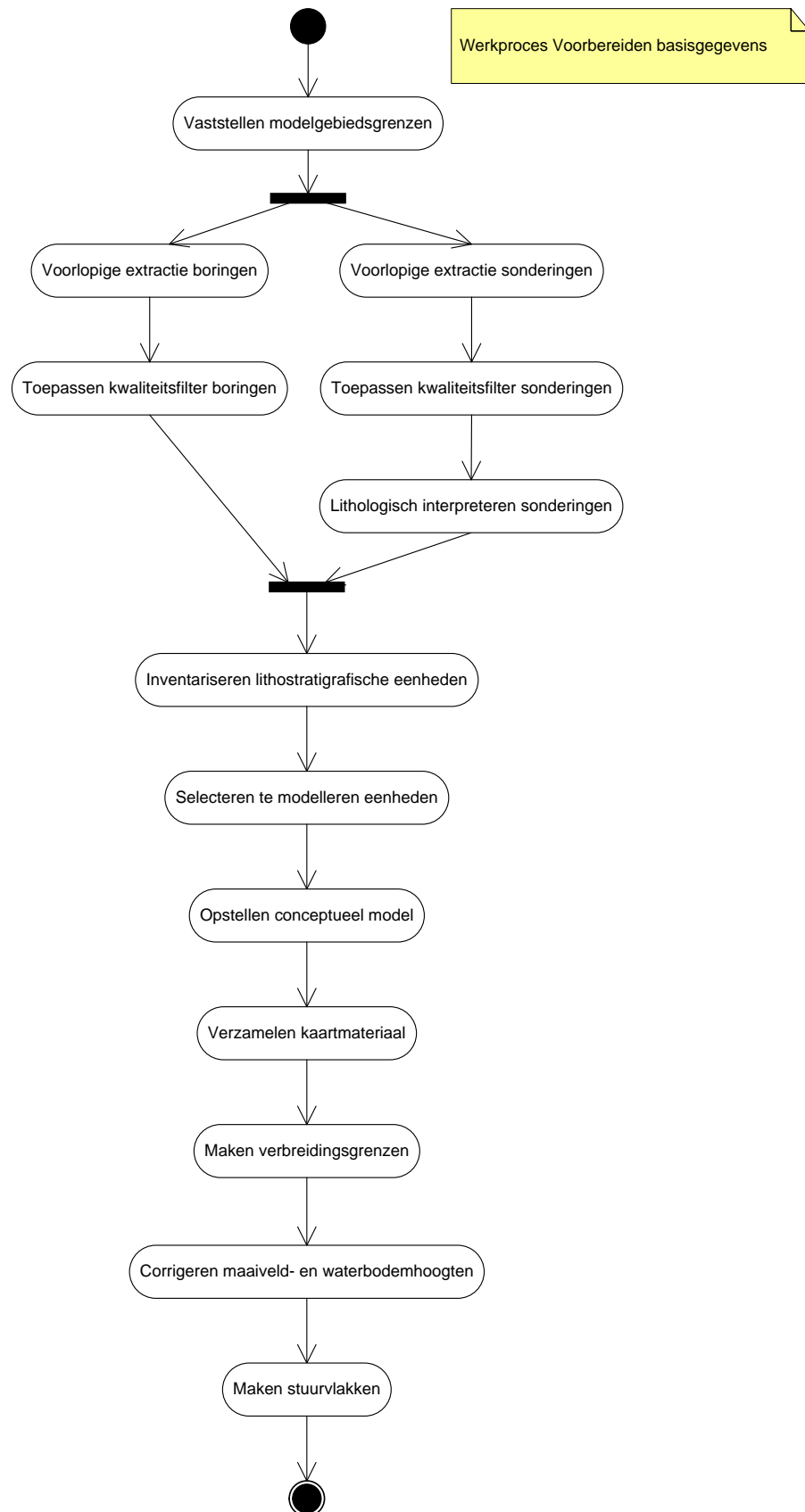
In het werkproces **Maken afgeleide producten** worden op basis van het lagenmodel en het voxelmodel kaarten gemaakt van bijvoorbeeld cumulatieve veendiktes, horizontale doorsneden door het model en kaarten voor Delfstoffen Online. Deze kaarten worden niet opgenomen in de BRO maar beschikbaar gesteld aan de afdeling DINO voor publicatie op de Internet portal *DINO Loket*.

4.2 Voorbereiden basisgegevens

Het werkproces **Vorbereiden basisgegevens** houdt zich bezig met de datavoorbereiding en bestaat uit de volgende processtappen (Figuur 4.2.1):

- Vaststellen modelgebiedsgrenzen.
- Voorlopige extractie van boringen en sonderingen uit de DINO database en andere gegevensbronnen.
- Toepassen kwaliteitsfilter boringen en sonderingen.
- Lithologisch interpreteren van sonderingen.
- Inventariseren stratigrafische eenheden.
- Selecteren te modelleren eenheden.
- Opstellen conceptueel model.
- Verzamelen kaartmateriaal.
- Maken verbreidingsgrenzen.
- Corrigeren maaiveld- en waterbodemoogten.
- Maken stuurvlakken.

Deze processtappen worden iteratief uitgevoerd. Bij het maken van verbreidingsgrenzen van de te modelleren eenheden kan bijvoorbeeld geconcludeerd worden dat het conceptueel model moet worden aangepast. Ook kan tijdens uitvoering van het werkproces de modelgebiedsgrens nog aangepast worden, waarna het noodzakelijk is om de voorlopige extractie en kwaliteitsfiltering opnieuw uit te voeren.



Figuur 4.2.1: Processtappen in het werkproces Voorbereiden basisgegevens.

4.2.1 Vaststellen modelgebiedsbegrenzing

Het modelgebied heeft een horizontale begrenzing, een verticale begrenzing aan de onderzijde en een verticale begrenzing aan de bovenzijde van het modelgebied.

De **verticale begrenzing aan de bovenkant** wordt bepaald door het maaiveld- en waterbodemoogtebestand (zie hoofdstuk 3). Dit bestand is een raster met cellen van 100 x 100 m. Elke rastercel geeft de hoogteligging van het maaiveld resp. de waterbodem in meters ten opzichte van NAP.

De **verticale begrenzing aan de onderkant** wordt bepaald door een raster met cellen van 100 x 100 m. Elke rastercel geeft de hoogteligging van de ondergrens weer in meters ten opzichte van NAP.

De **horizontale begrenzing** wordt eveneens bepaald door een raster met cellen van 100 x 100 m. Elke rastercel geeft met een indicator aan of de cel wel of niet in het modelgebied ligt. De horizontale begrenzingen van het modelgebied wordt behalve in een raster ook in een shapefile vastgelegd.

Naast bovengenoemde grenzen wordt ook de definitie van het **blokvormige grid** bepaald dat het modelgebied omvat, namelijk de oorsprong en het aantal voxels in de x-, y- en z-richting. De dimensies van een voxel zijn voor GeoTOP altijd 100 x 100 x 0,5 m. De horizontale grenzen van de modelgebieden worden niet willekeurig gekozen, maar volgen een (geologisch) onderbouwde rationale. Voor het Rivierengebied geldt bijvoorbeeld:

Zuidgrens – Het gesloten Holocene dek (volgens DGM) wordt geheel meegenomen, met een marge ten zuiden daarvan. De vorm is een rechte lijn van net ten zuiden van Steenbergen via Oosterhout naar Oss. De Holocene afzettingen geassocieerd aan beekdalmondingen (Raamsdonksveer-Oosterhout en omgeving Den Bosch) worden grotendeels niet meegerekend. Vanaf Oss een oostzuidoostwaartse voortzetting via Cuijck naar de Duitse grens bij de steilrand van de stuwwal.

Oostgrens – De stuwwallen van het Montferland en de daarmee geassocieerde Pleistocene afzettingen rondom Didam worden buiten beschouwing gelaten. De oude Rijnstrangen van Zevenaar worden wel bij het modelgebied getrokken. De snelweg A12 tussen de Duitse grens en Arnhem is als (arbitraire) grens aangenomen, waarmee ook voor de Formatie van Drente (glaciale bekkens en hoogten ertussen) een logische afbakening is gekozen.

Noordgrens - De noordgrens is zodanig vastgesteld dat het beheersgebied van Waterschap Vallei en Eem binnen het modelgebied valt. De grens is gelegd op het centrale (hoogste) deel van de Oost-Veluwe stuwwal (tot aan de A1 snelweginsnijding) en het centrale (hoogste) deel van de Garderen stuwwal (en vandaar uit naar Nuldernauw (randmeer). Vanaf hier sluit de grens aan op Noord-Holland, de dijk van het oude land volgend, met een buffer van 2 km richting het IJsselmeer.

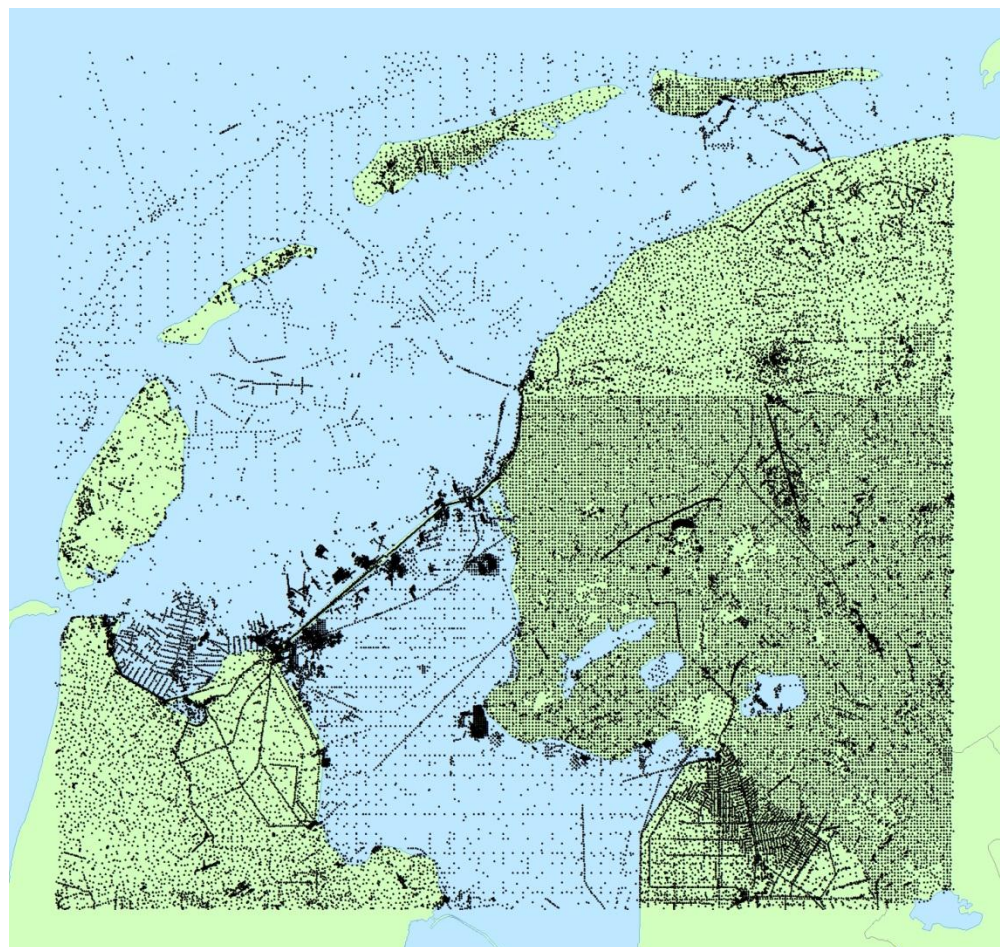
Westgrens – De westgrens wordt gevormd door de GeoTOP modelgebieden Noord-Holland, Zuid-Holland, Goeree en Zeeland.

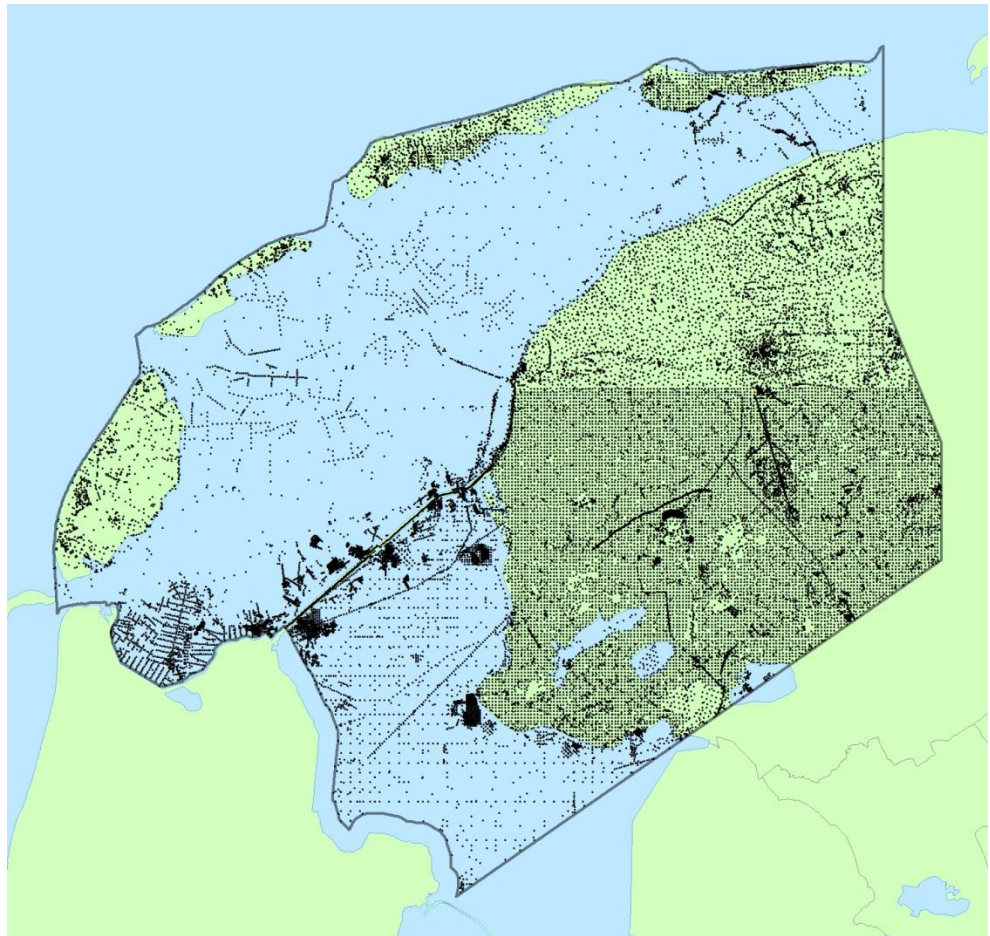
Het vaststellen van de modelgebiedsbegrenzing is een handmatig proces. Voor de vastlegging wordt ArcGIS gebruikt als hulpmiddel.

4.2.2 *Voorlopige extractie van boringen en sonderingen*

Boringen en sonderingen die in het modelgebied liggen worden geëxtraheerd uit de DINO database en eventuele andere gegevensbronnen (zoals de boringen van de Universiteit Utrecht). Het betreft hier een *voorlopige* extractie; de *definitieve* extractie vindt later plaats in het werkproces Indelen stratigrafie.

Om de **boorbeschrijvingen** te kunnen extraheren wordt eerst bepaald welke boringen zich binnen de grenzen van het rechthoekige grid bevinden dat het modelgebied omvat (query op de database met een selectie op (x,y)-coördinaten). Van deze boringen wordt vervolgens vastgesteld welke zich binnen de shapefile bevinden die het modelgebied begrenst (GIS-bewerking; Figuur 4.2.2).





Figuur 4.2.2: Boorlocaties in een rechthoekig grid (boven) en binnen een shapefile van het modelgebied Westwadden (onder).

Voor elk van de boringen wordt nu de boorbeschrijving geëxtraheerd. Dit levert een bestand op met per boring, per interval een lithologische beschrijving in een aantal kenmerken. De geëxtraheerde kenmerken zijn eerder beschreven in hoofdstuk 3.

De extractie van lithologische kenmerken wordt aangevuld met een extractie van lithostratigrafische interpretaties. Het betreft hier lithostratigrafische interpretaties die handmatig door een geoloog aan de boorbeschrijving zijn toegevoegd. In DINO is sprake van twee verschillende lithostratigrafische interpretaties: een volgens de definities van Doppert et al. (1975), en een volgens de definities van De Mulder et al. (2003). Beide interpretaties worden geëxtraheerd en toegevoegd aan de lithologische kenmerken.

Ook voor de **sonderingen** geldt dat eerst wordt bepaald welke sonderingen zich binnen de grenzen van het rechthoekige grid bevinden dat het modelgebied omvat. Van deze sonderingen wordt vervolgens vastgesteld welke zich binnen de shapefile bevinden die het modelgebied begrenst.

Voor elk van de sonderingen worden nu de registraties van conusweerstand, plaatselijke wrijving en wrijvingsgetal geëxtraheerd.

Dit levert een bestand op met per sondering, per laagdiepte een waarde van conusweerstand, plaatselijke wrijving en wrijvingsgetal.

De voorlopige extractie van boringen en sonderingen is een geautomatiseerd proces.

4.2.3 *Toepassen kwaliteitsfilter boringen en sonderingen*

Uitgangspunt voor GeoTOP is dat alle boringen en sonderingen worden meegenomen in de modellering. Voor een deel van de boorbeschrijvingen en sonderingen geldt echter dat de kwaliteit zodanig laag is, dat GeoTOP er niet beter maar slechter door zou worden. Om deze boorbeschrijvingen en sonderingen te traceren en uit te sluiten wordt een kwaliteitsfilter toegepast.

Bij de extractie van **boringen** is impliciet al een kwaliteitsfilter toegepast. Boringen zonder boorbeschrijving (alleen kopgegevens) en boringen zonder maaiveld, einddiepte of locatiegegevens worden niet geselecteerd en daarmee direct uitgesloten.

Vervolgens worden alle boorbeschrijvingen onderworpen aan een geautomatiseerd uitgevoerde kwaliteitscheck. Op dit moment wordt de kwaliteit bepaald 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 de boring bevindt.) Van deze intervallen wordt de maximale dikte en de gemiddelde dikte bepaald. Boringen 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 de boring echter in het kustgebied ligt, dan geldt als criterium een maximale dikte van meer dan 9 m. De gemiddelde dikte speelt in het kustgebied geen rol. Het kustgebied is gedefinieerd in een shapefile 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.

Boringen 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 aangevuld. Afhankelijk van het modelgebied wordt circa 5% van de boringen op basis van het automatische kwaliteitsfilter uitgesloten. Bijvoorbeeld in Rivierengebied circa 4500 van de circa 80.000 DINO boringen (5,6%).

Op de UU boringen is hetzelfde geautomatiseerde kwaliteitsfilter toegepast als bij de DINO boringen. Op basis van het kwaliteitsfilter worden slechts een paar boringen uitgesloten.

Sonderingen moeten voldoen aan de volgende criteria:

- Locatie (x,y) en maaiveldhoogte (in m ten opzichte van NAP) zijn bekend.
- Er zijn intervallen beschreven.
- De laagdieptes zijn als positieve waarde vastgelegd.
- De sondering is minimaal 1 m lang (maximumdiepte \geq 1000 mm).

- De opeenvolgende laagdieptes moeten minder dan 1 m uit elkaar liggen (uitval bij onderlinge verticale afstand van ≥ 1000 mm). Deze situatie komt voor als de apparatuur een bepaald dieptetraject niet heeft geregistreerd.
- Conusweerstand en plaatselijke wrijving moeten gevuld zijn (als alleen wrijvingsgetal ontbreekt wordt wrijvingsgetal berekend uit conusweerstand en plaatselijke wrijving).

Het toepassen van de kwaliteitsfilters op boringen en sonderingen is een geautomatiseerd proces.

4.2.4 *Lithologisch interpreteren van sonderingen*

Om de geëxtraheerde sonderingen te kunnen gebruiken in de modellering dienen de sondeerparameters conusweerstand en wrijvingsgetal te worden vertaald naar lithologie.

Daarvoor zijn twee methoden ontwikkeld. De eerste methode analyseert de gemeten wrijvingsgetallen van de sondering direct en gebruikt deze om de overgang van veen naar zand te vinden. De methode is goed bruikbaar voor het vaststellen van de ligging van de basis van de Basisveen Laag, die in de modellen van West- en Noord-Nederland een belangrijke rol speelt. De tweede methode, die gebruik maakt van een artificieel neurale netwerk, is generieker toepasbaar, maar is nog in ontwikkeling. Naar verwachting zal de methode in de toekomst wel toegepast worden.

Eerste methode: Vaststellen van de ligging van de basis van de Basisveen Laag

De eerste methode analyseert de gemeten wrijvingsgetallen van de sondering direct en gebruikt deze om de overgang van veen naar zand te vinden.

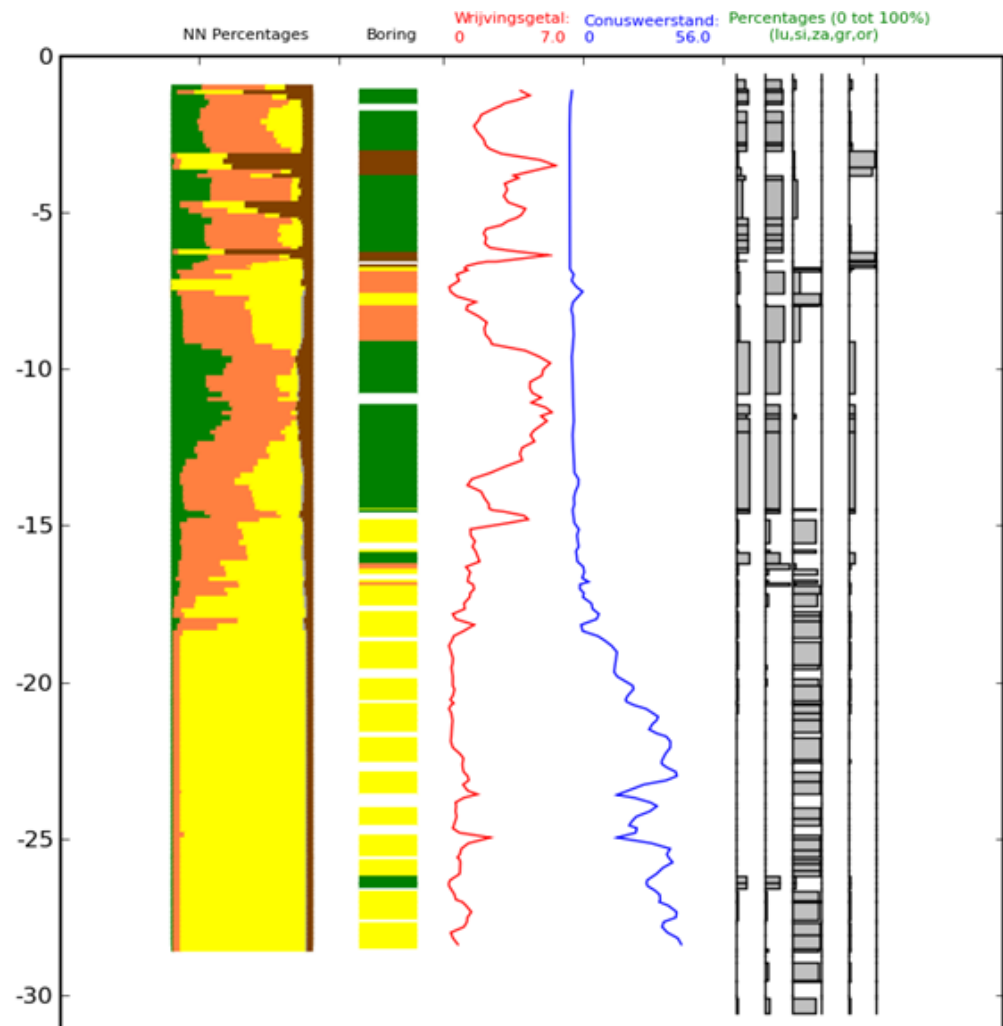
- De wrijvingsgetallen worden geresampled naar regelmatige intervallen van 10 cm. Hierbij wordt lineair geïnterpoleerd tussen de twee waarden rondom het te bepalen punt.
- Om de hoogfrequente ruis uit de gemeten wrijvingsgetallen te verwijderen wordt een zogenaamd 13-punts Shepard filter toegepast. Dit filter past een *moving average* toe waarbij de meetwaarden dichtbij het te berekenen punt een groter gewicht toegekend krijgen dan de meetwaarden veraf van het te berekenen punt.
- De gefilterde wrijvingsgetallen worden genormaliseerd op een schaal van 0 tot 10 (alle waarden worden vermenigvuldigd met 10 / maximale waarde).

Vervolgens wordt rondom een stuurvlak gezocht naar een overgang van veen naar zand. Dit stuurvlak is een raster dat de (globale) diepteligging van de top van het Pleistoceen aangeeft. In een dieptetraject (buffer) van 2.5 m boven het stuurvlak tot 5.0 m onder het stuurvlak wordt gezocht naar een interval waarin het wrijvingsgetal groter is dan een genormaliseerde grenswaarde van 4.0. De bovenkant van het interval wordt gezien als de basis van de Basisveen Laag. De parameters 2.5 m, 5.0 m en een wrijvingsgetal van 4.0 zijn ervaringscijfers. Deze eerste methode is in de modelgebieden Zuid-Holland, Noord-Holland en Rivierengebied toegepast.

Tweede methode, stap 1: Vertalen van sonderingen naar kans op lithologie

TNO heeft in het project "Autosond" een methode ontwikkeld om automatisch vanuit sonderingen, via de sonderingparameters conusweerstand en wrijvingsgetal, de kans op een bepaalde lithologie te bepalen. Hierbij is een zogenaamd artificieel neurale netwerk (NN) gebruikt. Het NN wordt getraind met paren bestaande uit een steekboring en een sondering die op dezelfde locatie zijn gezet. Op deze locaties is de relatie tussen sondeerwaarde en lithologie bekend.

Na de training is het NN in staat om sonderingen te vertalen zonder hulp van aanvullende informatie. Een goed overzicht van deze techniek is te vinden in Kurup en Griffin (2006).



Figuur 4.2.3: Vertaling van sonderingen naar kans op lithologie. Legenda: groen = klei; oranje = silt; geel = zand; bruin = veen. Zie tekst voor verdere uitleg.

Voor elk modelgebied dient een representatieve training set te worden samengesteld. Hiervoor worden bij voorkeur paren van steekboringen en sonderingen gebruikt die in het kader van het project "Topintegraal" uitgevoerd zijn en een hoge kwaliteit hebben. Voor de modelgebieden Zuid-Holland, Noord-Holland en Rivierengebied betreft het 28 steekboringen en sonderingen uit Zuidwest Nederland. Figuur 4.2.3 toont een voorbeeld van een resultaat uit de training set. De boorbeschrijving van de steekboring bevat voor de beschreven intervallen percentages lutum, silt, zand, grind en organisch materiaal. Op basis van deze percentages wordt de hoofdlithologie vastgesteld (kolom 'boring' in Figuur 4.2.3). Het NN algoritme schat op basis van de conusweerstand en het wrijvingsgetal van de boring de kansen op de verschillende hoofdlithologiën (kolom 'NN percentages' in Figuur 4.2.3).

Tweede methode, stap 2: Vertalen van kans op lithologie naar lithologie

Om de resultaten van het NN geschikt te maken voor de 3D interpolatie moet de kans op lithologie nog vertaald worden naar lithologie. Hiervoor zijn rekenregels opgesteld, bijvoorbeeld:

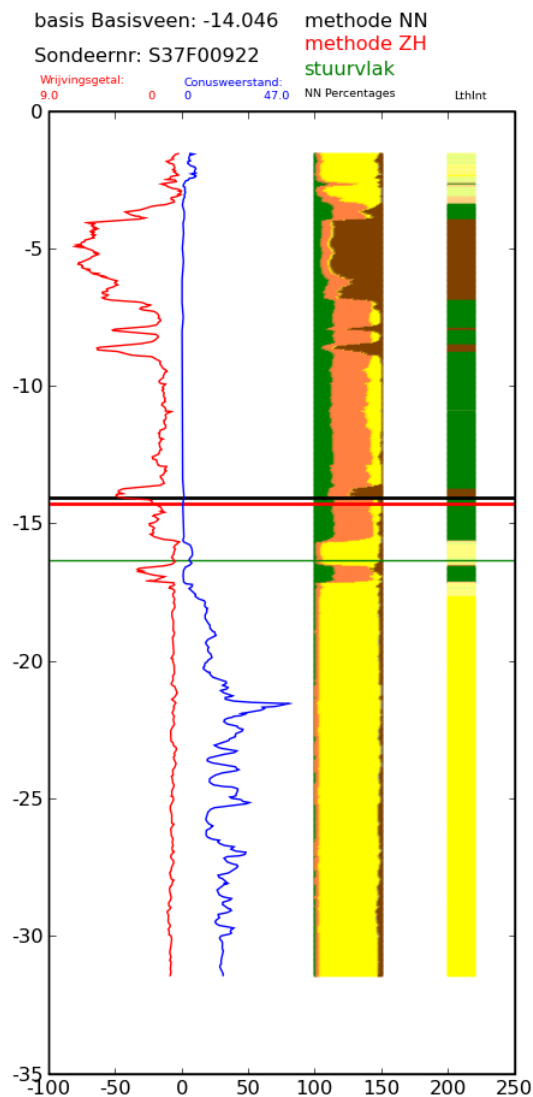
Voorwaarde			Resultaat
Kans op lithologie (%)	Wrijvingsgetal	Conusweerstand	Lithologie
Organisch ≥ 18	≥ 5		V
Lutum ≥ 20	≥ 2.3		K (humeus)
Lutum ≥ 20			K
Silt ≥ 20		≥ 2.3	L (humeus)
Silt ≥ 20		≤ 1.2	L (siltig)
Silt ≥ 20			L
(Zand + Grind) ≥ 50		≥ 6	Z (humeus)
(Zand + Grind) ≥ 50		≤ 3.5	Z (siltig)
(Zand + Grind) ≥ 50			Z
Overige			NBE

De rekenregels zijn gebaseerd op "expert judgement" en kunnen van modelgebied tot modelgebied verschillend zijn. Voor modelgebied Zuid-Holland geldt bijvoorbeeld dat grind in het resultaat niet als aparte lithologie wordt onderscheiden.

Het resultaat van de *eerste methode* is een set sondeerlocaties waarvoor een enkel gegeven bekend is, namelijk de ligging van de basis van de Basisveen Laag. Dit gegeven wordt gebruikt bij het verbeteren van het stuurvlak dat de top van het Pleistoceen aangeeft (zie paragraaf 4.2.11).

Het resultaat van de *tweede methode* is een volledige lithologische interpretatie van de sondeerkolom. Deze lithologische interpretatie kan in theorie in het verdere verloop van het modelleerproces beschouwd worden als een lithologische boorbeschrijving. De basis van de Basisveen Laag kan nu op basis van de lithologie veen binnen een bufferzone rond het stuurvlak Top Pleistoceen gezocht worden. Een vergelijking van de twee methoden, waarbij ze vrijwel hetzelfde resultaat opleveren, is weergegeven in Figuur 4.2.4.

In veel andere toepassingen, anders dan het zoeken naar de basis van de Basisveen Laag, blijkt echter dat de lithologische informatie, in termen van veen, klei, leem en zand, te beperkt is. Dit geldt vooral voor de geautomatiseerde toekenning van modeleenheden aan de sondering, waar ook informatie over bijvoorbeeld bijmengingen van klei en humus nodig zijn om de verschillende eenheden van elkaar te onderscheiden. Daarom is de tweede methode nog in onderzoek en wordt de methode nog niet toegepast in de huidige GeoTOP modelgebieden.



Figuur 4.2.4: Vaststellen van de basis van de Basisveen Laag met behulp van het wrijvingsgetal (eerste methode, in de figuur "ZH" en rood) en lithologie veen (tweede methode, in de figuur "NN" en zwart). Beide methoden maken gebruik van een stuurvlak Top Pleistoceen (groen). In deze sondering leiden beide methoden tot vrijwel hetzelfde resultaat (14 m onder NAP).

De lithologische interpretatie volgens beide methoden is een grotendeels geautomatiseerd proces, waarbij handmatig een aantal parameters vastgesteld moet worden.

4.2.5 *Inventariseren lithostratigrafische eenheden*

In deze processtap wordt onderzocht welke lithostratigrafische eenheden er in het modelgebied voorkomen. Een belangrijk gegeven daarbij is de extractie van boringen die al voorzien zijn van een lithostratigrafische interpretatie. Daarnaast wordt bekeken welke DGM eenheden er binnen de horizontale en verticale grenzen van het modelgebied voorkomen.

Het resultaat van dit onderzoek is een document waarin de in het gebied voorkomende lithostratigrafische eenheden zijn opgesomd, volgens de lithostratigrafische indeling van De Mulder et al. (2003).

Het inventariseren van lithostratigrafische eenheden is een handmatig proces waarbij geologische kennis van het modelgebied nodig is. Hulpmiddelen zijn Excel (voor het sorteren, filteren en analyseren van geïnterpreteerde boorbeschrijvingen), de lagenmodellen van DGM en REGIS II en de Lithostratigrafische Nomenclator Ondiepe Ondergrond.

4.2.6 *Selecteren te modelleren eenheden*

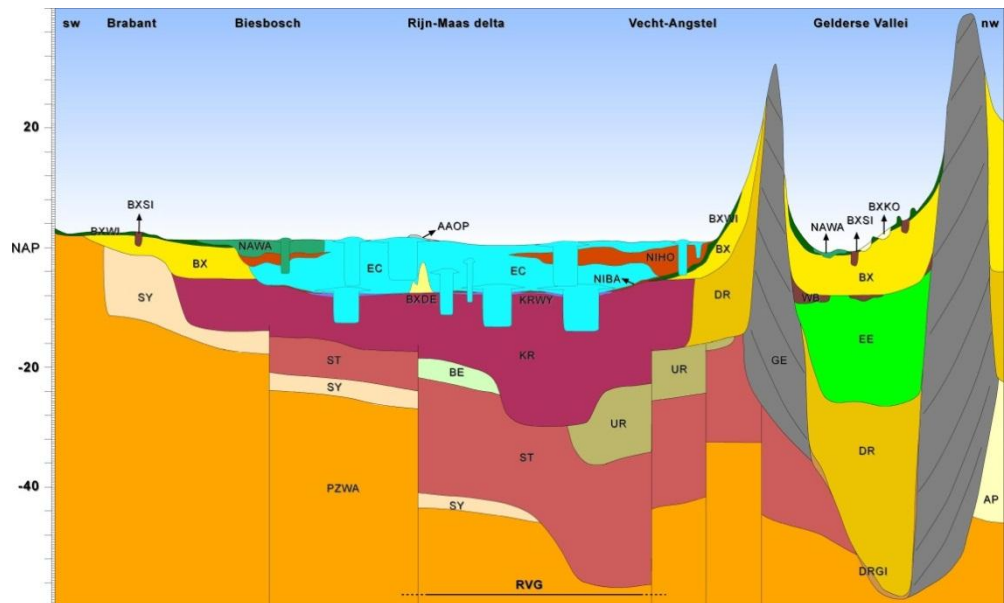
Op basis van de inventarisatie wordt besloten hoe de in het gebied voorkomende stratigrafische eenheden in het model gerepresenteerd worden. Beslissingen die in deze processtap worden genomen zijn onder andere:

- Opsplitsen van stratigrafische eenheden die in meerdere niveau's voorkomen met een andere eenheid ertussen. Een voorbeeld is de Formatie van Echteld die in Zuid-Holland zowel boven als onder het Hollandveen Laagpakket van de Formatie van Nieuwkoop voorkomt. De Formatie van Echteld is daarom gemodelleerd in twee modeleenheden, Echteld-1 en Echteld-2.
- Samenvoegen van stratigrafische eenheden die moeilijk van elkaar te onderscheiden zijn. Met 'moeilijk' wordt hier bedoeld dat het in het werkproces **Indelen stratigrafie** niet mogelijk is om de eenheden op geautomatiseerde wijze van elkaar te onderscheiden. Een voorbeeld is het samenvoegen van de Formaties van Peize en Waalre tot één modeleenheid. Deze formaties zijn in centraal Nederland op complexe wijze met elkaar vertand.
- Het toevoegen van extra modeleenheden die geen lithostratigrafische eenheid zijn. Het belangrijkste voorbeeld zijn de Holocene geulsystemen die als aparte modeleenheden onderscheiden worden.

Het selecteren van te modelleren eenheden is een handmatig proces waarbij geologische kennis van het modelgebied nodig is. Hulpmiddelen zijn Excel, de lagenmodellen van DGM en REGIS II en de Lithostratigrafische Nomenclator Ondiepe Ondergrond.

4.2.7 *Opstellen conceptueel model*

De te modelleren eenheden en hun onderlinge stratigrafische relaties worden vastgelegd in een of meerdere conceptuele profielen (verticale dwarsdoorsneden) door het modelgebied inclusief een korte toelichting. Een voorbeeld van een conceptueel model is gegeven in Figuur 4.2.5.



Figuur 4.2.5: Conceptueel profiel door modelgebied Rivierengebied met de te modelleren eenheden en hun onderlinge stratigrafische relaties.

De bij dit profiel horende korte toelichting is in het kader hieronder weergegeven.

Ten behoeve van de modellering van GeoTOP Rivierengebied is de opbouw van het modelgebied in een conceptueel dwarsprofiel (samen)gevat.

De basis wordt in het gehele gebied gevormd door afzettingen behorende bij de Formaties van Waalre en Peize. Deze formaties zijn in dit gebied grotendeels gelijktijdig afgezet en komen vertand voor. Het betreft rivierafzettingen van de Rijn (Formatie van Waalre) en oostelijke rivieren (Formatie van Peize) welke bestaan uit een afwisseling van voornamelijk zand- en kleilagen. De dikte van de kleiige pakketten bedraagt enkele meters tot maximaal 10 m. In het GeoTOP model (en ook in de DGM en REGIS II modellen) worden deze eenheden gezamenlijk gemodelleerd als eenheid PZWA). Eenheid PZWA wordt bedekt door de Formatie van Stramproy (eenheid SY).

Bovenstaande formaties komen in het zuiden van het gebied voor dicht onder of aan maaiveld. Verder naar het noorden en noordwesten komen de Vroeg Pleistocene afzettingen over het algemeen dieper voor en worden ze bedekt door jongere afzettingen. Breukwerking, vooral rondom de Utrechtse Heuvelrug, zorgt er echter voor dat de Vroeg Pleistocene afzettingen lokaal weer binnen de -30 m zone kunnen voorkomen. In de Roerdal Slenk wordt de Vroeg Pleistocene serie bedekt door de Formaties van Sterksel (eenheid ST), Formatie van Urk (eenheid UR) en Formatie van Beegden (eenheid BE). Deze afzettingen worden gedomineerd door zand, welke veelal grindig van karakter is. Kleilagen komen eveneens voor maar zijn beperkt in dikte en laterale verbreiding.

In de Gelderse Vallei zijn bovengenoemde afzettingen verstoord door ijsbewegingen gedurende de Drenthe glaciatie in het laat Saalien. De top van het Peize/Waalre complex vormt in veel gevallen het stuwings décollement. De ijsbedekking heeft geleid tot de vorming van glaciale bekkens en daaromheen

liggende stuwwallen. In de stuwwallen is materiaal van de Formaties van Peize/Waalre, Sterksel en Urk en smeltwaterafzettingen (eenheid GE - 'gestuwd') opgenomen. In ongestoorde positie komen smeltwaterafzettingen voor langs de zuidrand van de stuwwallen. De glaciële bekkens zijn opgevuld met keileem, slump/massabeweging materiaal, glaciële meerafzettingen. Vanwege de complexiteit is binnen GeoTOP is voor de glaciële afzettingen alleen onderscheid gemaakt in keileem (eenheid DRGI) en een afzetting 'overig' (eenheid DR). Binnen de Gelderse Vallei zijn de glaciële afzettingen gedurende het Eemien bedekt door mariene afzettingen (eenheid EE) en veen van ruwweg dezelfde ouderdom (eenheid WB). Eenheden EE en WB worden in de Gelderse Vallei bedekt door lokale fluviaïele afzettingen en venen (o.a. voorlopers van de rivier de Eem; eenheid BX) en afzettingen van de wind (eenheid BXWI; het 'dekzand'). De top sequentie in de Gelderse Vallei wordt gevormd door Holocene beekafzettingen (eenheid BXSC), verstuivinggebieden (eenheid BXSJ) en een dun mariene dek (eenheid NAWA).

Buiten de Gelderse Vallei werd gedurende het laat Saalien grofzandig materiaal van de Rijn en Maas afgezet (eenheid KR). Aan de noord- en zuidflank van de huidige Rijn-Maas delta wordt eenheid KR bedekt door eenheden BX en/of BXWI. In het centrale deel van de huidige Rijn-Maas delta wordt de top van eenheid KR bedekt door 1) een stugge zandige (kom)kleilaag (Laagpakket van Wijchen, eenheid KRWY) die veelal uit het Vroeg Holoceen stamt en/of 2) rivierduin zand (eenheid BXDE). Lokaal komt eenheid BXDE aan maaiveld. Hoewel het Laagpakket van Wijchen ook lokaal onder de eenheid BXDE voorkomt is voor GeoTOP besloten om dit ongedifferentieerd bij de eenheid KR te rekenen.

De Pleistocene en Vroeg Holoceen afzettingen worden bedekt door een 5-10m dik pakket Holoceen zand, klei en veen. In het westelijk deel van het gebied komen een tweetal veen eenheden voor: de Basisveen laag (eenheid NIBA) en het Hollandveen Laagpakket (eenheid NIHO). De eenheid NIHO bereikt met name langs de flanken van de Rijn-Maas delta zijn grootste dikte (2-7m). Eenheid NIHO is leidend voor een verder (informele) onderverdeling van het GeoTOP Holoceen in het westelijk deel van het gebied. Onder eenheid NIHO komen fluviaïele afzettingen van Rijn en Maas voor (eenheid EC; stroomgordel afzettingen, komkleien, overbanks). Daarnaast kunnen onder eenheid NIHO op kleine schaal nog mariene afzettingen voorkomen van het Laagpakket van Wormer (eenheid NAWO). Veen dat binnen het bereik van eenheid EC en NAWO voorkomt wordt aangeduid als 'ongedifferentieerde' eenheid NI. Op eenheid NIHO komen ook fluviaïele afzettingen voor van Rijn en Maas (eenheid EC) evenals jonge mariene afzettingen (eenheid NAWA). Ook voor deze eenheden geldt dan veen wordt gerekend tot eenheid NI. Buiten het voorkomen van eenheid NIHO worden de fluviaïele afzettingen van Rijn en maas ook bij eenheid EC gerekend.

Het opstellen van een conceptueel model is een handmatig proces waarbij geologische kennis van het modelgebied nodig is. Het profiel wordt getekend in een tekenpakket.

4.2.8 Verzamelen kaartmateriaal

Voor het maken van de verbreidingsgrenzen wordt gebruik gemaakt van digitaal basismateriaal zoals de geomorfologische kaart 1:50.000, de geologische kaart 1:50.000, de bodemkaart 1:50.000, LGN5, het maaiveld- en

waterbodemhoogtebestand en het AHN. Voor het kaartmateriaal van DGM en REGIS II wordt in deze processtap vastgesteld welke versie voor het modelgebied het meest geschikt is. In de regel is dat de meest recente versie.

Bovengenoemde landelijke of regionale brongegevens zijn in hoofdstuk 3 uitvoeriger beschreven. Afhankelijk van het modelgebied wordt er nog aanvullend, lokaal kaartmateriaal verzameld. Voorbeelden zijn het proefschrift van Bos (2010) met kaarten van de Utrechtse Vecht en het proefschrift van Hijma (2009) met kaartmateriaal van Zuid-Holland. Behalve kaartmateriaal wordt ook literatuur over de geologie van het modelgebied verzameld.

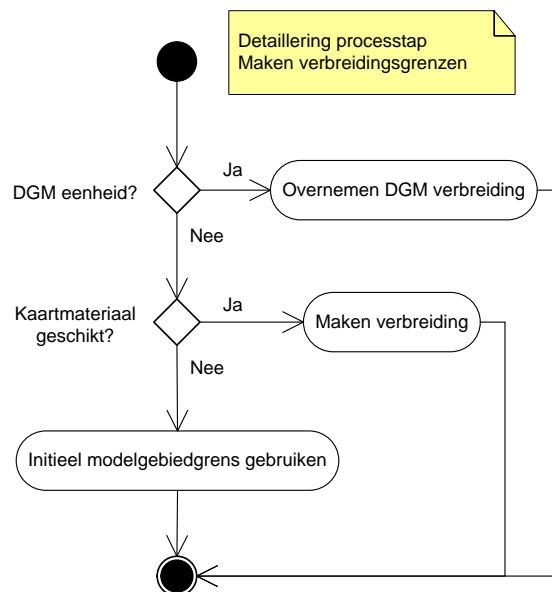
Van al het digitale kaartmateriaal worden uitsneden gemaakt voor de horizontale begrenzing van het modelgebied. In een aantal gevallen worden de kaarten vereenvoudigd. Zo worden in de bodemkaart bodemklassen geaggregeerd tot voor GeoTOP relevante bodemklassen (zie hoofdstuk 3 voor een illustratie.)

Het verzamelen van het kaartmateriaal is een handmatig proces. Voor het maken van uitsneden van het digitale kaartmateriaal en het eventueel vereenvoudigen ervan wordt ArcGIS gebruikt.

4.2.9 *Maken verbredingsgrenzen*

Voor elke te modelleren eenheid wordt een verbredingsgrens (shapefile) gemaakt. Deze verbredingsgrens bakent het gebied af waarbinnen in werkproces Indelen stratigrafie (zie paragraaf 4.3) de boorbeschrijvingen of sonderingen onderzocht worden op het voorkomen van de eenheid. Tevens vormen ze bij de modellering de maximale of potentiële verbreding van de eenheid: buiten de verbreding komt de eenheid *niet* voor, binnen de verbreding *kan* de eenheid voorkomen.

Bij het maken van verbredingsgrenzen wordt onderscheid gemaakt tussen “DGM-eenheden” en “niet-DGM eenheden” (Figuur 4.2.6).

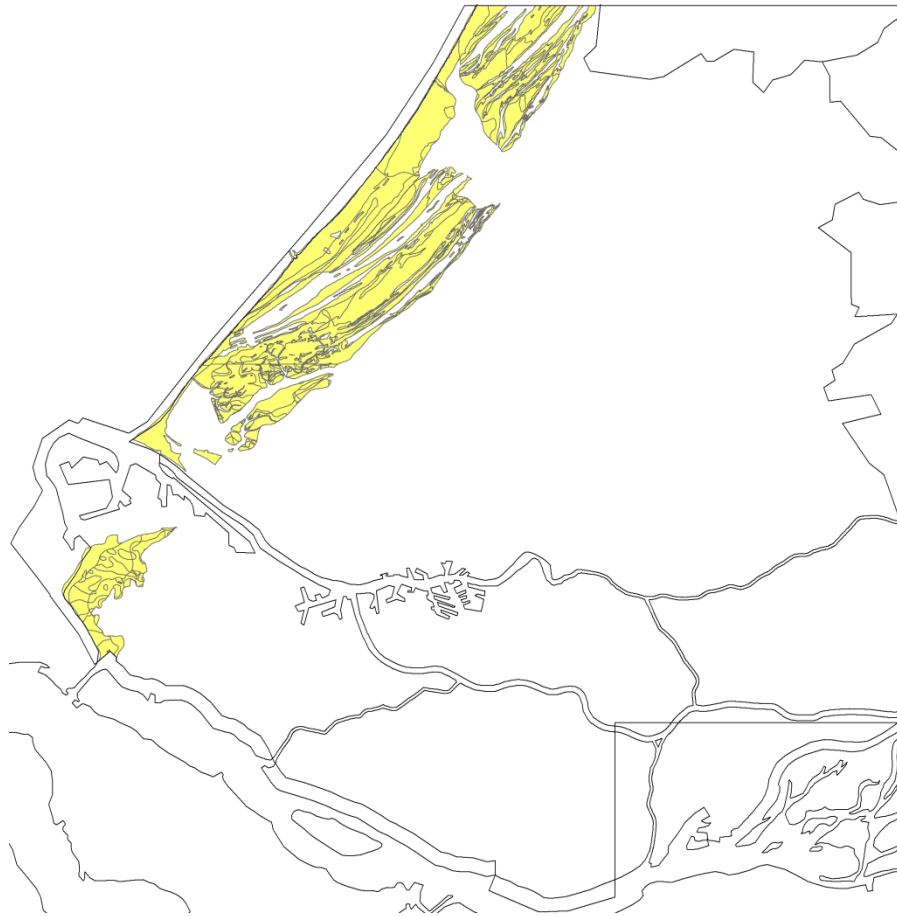


Figuur 4.2.6 Detailering van processtap Maken verbredingsgrenzen.

DGM eenheden zijn te modelleren eenheden waarvan DGM al een verbreidingsgrens bevat. Deze verbreidingsgrens wordt in GeoTOP ongewijzigd overgenomen. Voorbeelden zijn de verbreidingsgrenzen van de Formaties van Kreftenheye en Sterksel (eenheden KR en ST in Figuur 4.2.5).

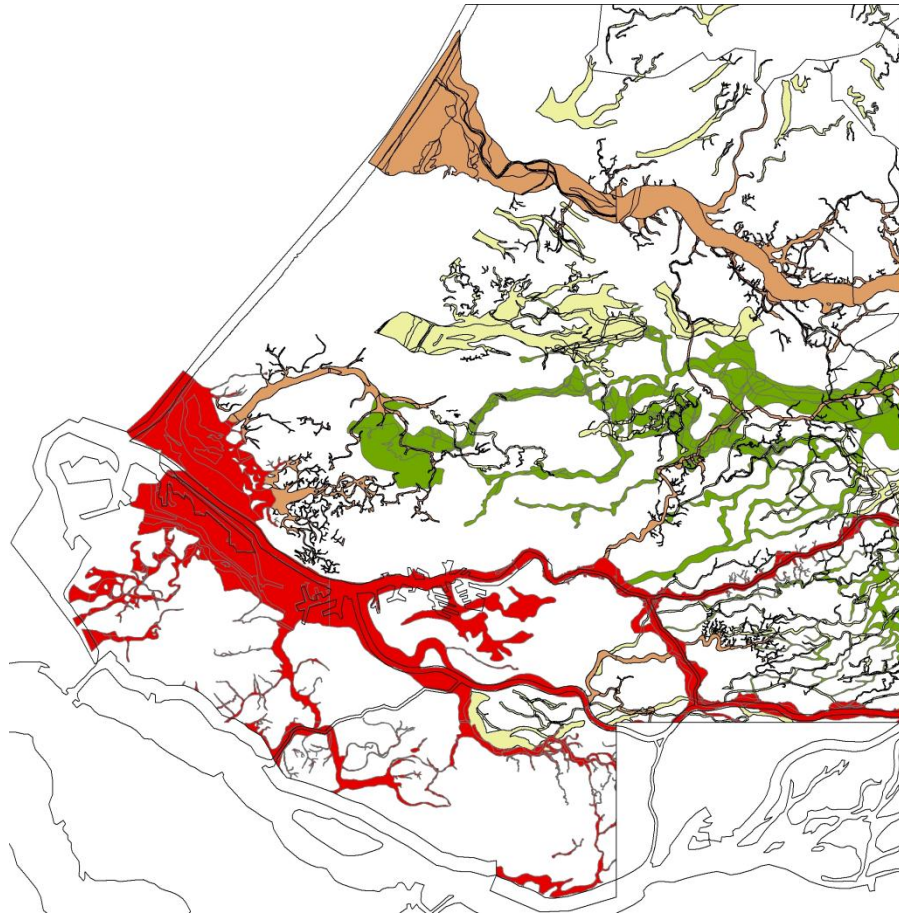
Niet-DGM eenheden zijn eenheden die in de gebruikte DGM versie niet onderscheiden worden. Dit zijn vooral Holocene eenheden, zoals de verschillende laagpakketten van de Formaties van Naaldwijk en Nieuwkoop, maar ook Pleistocene eenheden zoals het Laagpakket van Gieten van de Formatie van Drente (deze eenheid omvat de glaciale keileem afzettingen). Van alle niet-DGM eenheden waarvan de verbreiding kan worden vastgesteld uit het verzamelde kaartmateriaal wordt in deze processtap een verbreidingsgrens gemaakt. Dit gebeurt door een gebiedskundig geoloog aan de hand van het kaartmateriaal, de literatuur en de boorbeschrijvingen met een lithostratigrafische interpretatie. Figuur 4.2.7 geeft een voorbeeld waarbij de verbreiding van de Laagpakketten van Schoorl (duinzanden) en Zandvoort (strandzanden) in modelgebied Zuid-Holland is afgeleid uit de Geologische Kaart 1:50.000. De gehanteerde schaal bij het maken van verbreidingsgrenzen is circa 1:50.000; grotere schalen (bijvoorbeeld 1:10.000) zijn gezien de resolutie van het model (100 x 100 m) niet nodig.

Er zijn ook eenheden waarvoor op basis van het kaartmateriaal **geen verbreiding**, of alleen een verbreiding van onvoldoende kwaliteit, kan worden gemaakt. Voor deze eenheden wordt in eerste instantie de potentiële verbreiding gelijk gesteld aan de modelgebiedsgrens. In werkproces Indelen stratigrafie wordt de eenheid in de boorbeschrijvingen dan ook in eerste instantie gezocht in het hele modelgebied. Dit resulteert in een 'puntenwolk' van locaties waar de eenheid wel en niet is aangetroffen. Op basis van deze puntenwolk wordt dan alsnog de potentiële verbreiding vastgesteld. Een voorbeeld is de Basisveen Laag van de Formatie van Nieuwkoop. Zie verder werkproces Indelen stratigrafie.



Figuur 4.2.7: Verbreiding van de Laagpakketten van Zandvoort en Schoorl in modelgebied Zuid-Holland. De verbreiding is afgeleid van de gedigitaliseerde versie van de 1:50.000 Geologische Kaart.

Ook voor de **Holocene geulsystemen** geldt dat er verbreidingsgrenzen worden gemaakt. Dit is een gezamenlijke inspanning van de Universiteit Utrecht en TNO in het kader van de samenwerking "Delta Evolution". In hoofdstuk 3 is de Holocene geulsystemen kaart van Berendsen & Stouthamer (2001) al beschreven. Dit deel van de verbreidingsgrenzen wordt door de Universiteit Utrecht onderhouden. Ten westen van het karteergebied van de Universiteit Utrecht, Zuid-Holland t/m de Noordzeekust, worden de verbreidingsgrenzen van de Holocene geulsystemen door TNO gemaakt. De samenwerking zorgt er o.a. voor dat beide verbreidingen op elkaar aansluiten (Figuur 4.2.8).



Formaties van Naaldwijk en Echteld) in modelgebied Zuid-Holland. De kaart is gebaseerd op 1) de geulgeneraties 1 t/m 14 (vereenvoudigd) uit de kartering van Berendsen & Stouthamer (2001), 2) de gedigitaliseerde versie van de 1:50.000 Geologische Kaart, 3) geulkartering uitgevoerd door Hijma (2009) en 4) nieuwe karteringen op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

De verbreiding van **antropogene afzettingen** wordt afgeleid uit het bestand Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN5, zie hoofdstuk 3). Dit bestand is een rasterkaart met een resolutie van 25 x 25 m. De kaart bevat 39 landgebruik klassen die in deze processtap met behulp van GIS operaties worden gereclassificeerd naar 2 klassen: stedelijk gebied en landelijk gebied. De eerste klasse geeft de verbreiding van het antropogeen weer. Van de 39 klassen worden de klassen 18 t/m 26 als stedelijke gebieden aangemerkt:

- 18 stedelijk bebouwd gebied
- 19 bebouwing in buitengebied
- 20 loofbos in bebouwd gebied
- 21 naaldbos in bebouwd gebied
- 22 bos met dichte bebouwing
- 23 gras in bebouwd gebied
- 24 kale grond in bebouwd buitengebied
- 25 hoofdwegen en spoorwegen
- 26 bebouwing in agrarisch gebied

Alle overige klassen zijn landelijk gebied en worden in GeoTOP niet gebruikt.

Na de reclassificatie wordt het raster van 25 x 25 m opgeschaald naar de GeoTOP resolutie van 100 x 100 m waarbij de klasse die het meest voorkomt wordt gekozen. In tegenstelling tot de andere verbreidingsgrenzen is die van het antropogeen een raster.

Het maken van verbreidingsgrenzen is een handmatig proces. Hulpmiddel daarbij is ArcGIS.

De in ArcGIS uitgevoerde GIS-operaties, zoals het selecteren en combineren van informatie uit de verschillende kaarten, worden vastgelegd in Python-scripts. Deze vastlegging zorgt ervoor dat het samenstellen van de verbreidingsgrenzen reproduceerbaar is vanuit de bronbestanden.

Tot slot worden de voor het modelgebied gemaakte verbreidingsgrenzen toegevoegd aan een set landelijke verbreidingsgrenzen van alle in GeoTOP gemodelleerde modeleenheden (niet-DGM). Dit waarborgt de aansluiting van verbreidingen tussen de modelgebieden.

4.2.10 *Corrigeren maaiveld- en waterbodemoogten*

Zoals in paragraaf 3.12 is beschreven zijn bij het maken van het maaiveld- en waterbodemoogtebestand daken van gebouwen door een geautomatiseerd proces gefilterd uit het bronbestand AHN. Bij deze filtering kunnen lokaal fouten worden gemaakt. Het betreft vooral daken van grote gebouwen zoals ziekenhuizen en grote bedrijfspanden zoals IKEA en de bloemenveiling van Aalsmeer. Van deze gebouwen wordt de locatie bepaald en een schatting gemaakt van de hoogte van het maaiveld onder het gebouw. Na het afronden van de controle wordt het maaiveld- en waterbodemoogtebestand gecorrigeerd met een eenvoudig softwareprogramma. De correcties worden ook doorgevoerd in het landelijke bestand (buiten scope van dit document).

De controle wordt handmatig uitgevoerd door afwijkende maaiveldhoogten op te zoeken in de Topografische Kaart 1:50.000 (Top50Raster) en de luchtfoto's van Google Earth of een andere bron zoals Bing Maps. Als blijkt dat de afwijkende hoogte veroorzaakt wordt door een gebouw of viaduct dan is een correctie noodzakelijk. Afwijkingen die te maken hebben met antropogene ophogingen (bijvoorbeeld vuilstorten en taluds) worden echter niet gecorrigeerd. Deze ophogingen maken deel uit van de te modelleren eenheid Antropogeen.

Met betrekking tot waterbodemoogte kan een lokale of regionale autoriteit nieuwe waterbodemoogten verschaffen. Het betreft bijvoorbeeld waterbodemoogten van plassen en havens. Deze waterbodemoogten worden op vergelijkbare manier in het maaiveld- en waterbodemoogtebestand verwerkt.

4.2.11 *Maken stuurvlakken*

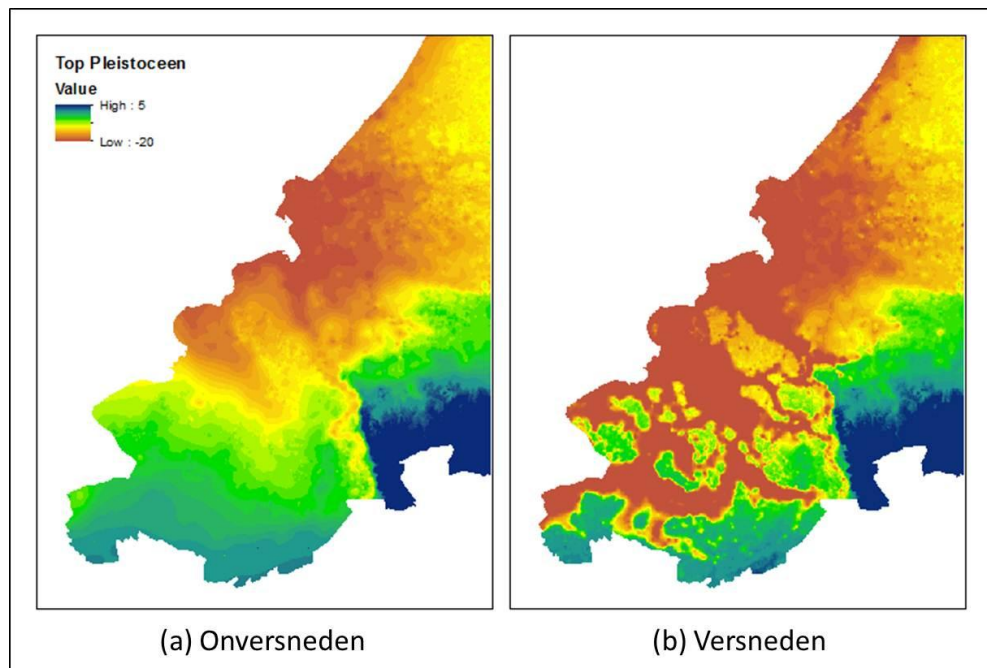
Stuurvlakken zijn rasters die de diepteligging van een geologisch grensvlak in de ondergrond weergeven. Deze rasters worden stuurvlakken genoemd omdat ze sturing geven aan de geautomatiseerde interpretatie van boorbeschrijvingen en sonderingen in modeleenheden (paragraaf 4.3).

Voorbeelden van stuurvlakken zijn de diepteligging van de top van het Pleistoceen en de diepteligging van de basis van het Hollandveen Laagpakket.

Stuurvlakken worden initieel vervaardigd op basis van bij aanvang van het modelleringsproces beschikbare gegevens. Een belangrijk gegeven is de extractie van DINO-boringen die voorzien zijn van een lithostratigrafische interpretatie. Het betreft hier lithostratigrafische interpretaties die handmatig door een geoloog aan de boorbeschrijving zijn toegevoegd, niet de door het werkproces Indelen stratigrafie toegekende interpretatie. Uit de geïnterpreteerde DINO-boringen wordt de diepteligging van belangrijke stratigrafische overgangen op de locatie van de boringen afgeleid. Deze puntgegevens worden ruimtelijk geïnterpoleerd tot een stuurvlak dat de diepteligging op elke locatie voorspelt.

Op dit moment zijn de volgende stuurvlakken in gebruik:

- **Top Pleistoceen onversneden** (Figuur 4.2.9 a). Dit stuurvlak geeft de ligging weer van de bovenkant van de Pleistocene eenheden zoals het was voor aanvang van het Holocene tijdperk. Het vlak is niet versneden door Holocene geulsystemen. Het stuurvlak is initieel gebaseerd op een lithostratigrafisch geïnterpreteerde boorbeschrijvingen waarbij steeds de diepteligging van de overgang van een Holocene naar een Pleistocene eenheid is geselecteerd. Een belangrijk voorbeeld is de basis van de Basisveen Laag zoals beschreven in een eerdere paragraaf. Een andere databron die gebruikt wordt is de contourkaart van het Pleistoceen van Vos et al. 2011 (hun afbeelding 17 op pagina 30) en het maaiveld- en waterbodemoogtebestand (in "Pleistoceen Nederland" valt de bovenkant van het Pleistoceen samen met het maaiveld). De verzamelde gegevens worden in een geautomatiseerd proces geïnterpoleerd tot een raster.
- **Top Pleistoceen versneden** (Figuur 4.2.9 b). Dit stuurvlak geeft de ligging weer van de top van het Pleistoceen, versneden door Holocene geulsystemen. Naast de basis van de Basisveen Laag worden nu ook de in lithostratigrafisch geïnterpreteerde boorbeschrijvingen vastgelegde overgangen van Holocene geulzanden naar onderliggend Pleistocene eenheden meegenomen in de interpolatie.
- **Stuurvlak zandige basis**. Dit stuurvlak is gelijk aan Top Pleistoceen versneden, met dat verschil dat de interpolatie zodanig is uitgevoerd dat de diepteligging in de Holocene geulsystemen niet "omhooggetrokken" wordt door de diepteligging rondom de geulsystemen.
- **Basis specifieke eenheden**. Dit betreft stuurvlakken die gemaakt worden door diepteligging van de basis van de betreffende eenheid in de lithostratigrafische interpretaties van de boorbeschrijvingen te interpoleren. Voorbeelden zijn het Hollandveen Laagpakket van de Formatie van Nieuwkoop en verschillende laagpakketten van de Formatie van Naaldwijk, namelijk Schoorl, Zandvoort, Walcheren en Wormer. Voor deze stuurvlakken geldt dat ze in het werkproces Indelen stratigrafie worden bijgewerkt aan de hand van de geautomatiseerd geïnterpreteerde boorbeschrijvingen. De bijgewerkte stuurvlakken worden daarna in een iteratief proces nogmaals gebruikt voor een automatische interpretatie van de boorbeschrijvingen.



Figuur 4.2.9: Deel van de stuurvlakken Top Pleistoceen onversneden (a) en versneden (b) in Zuidwest Nederland.

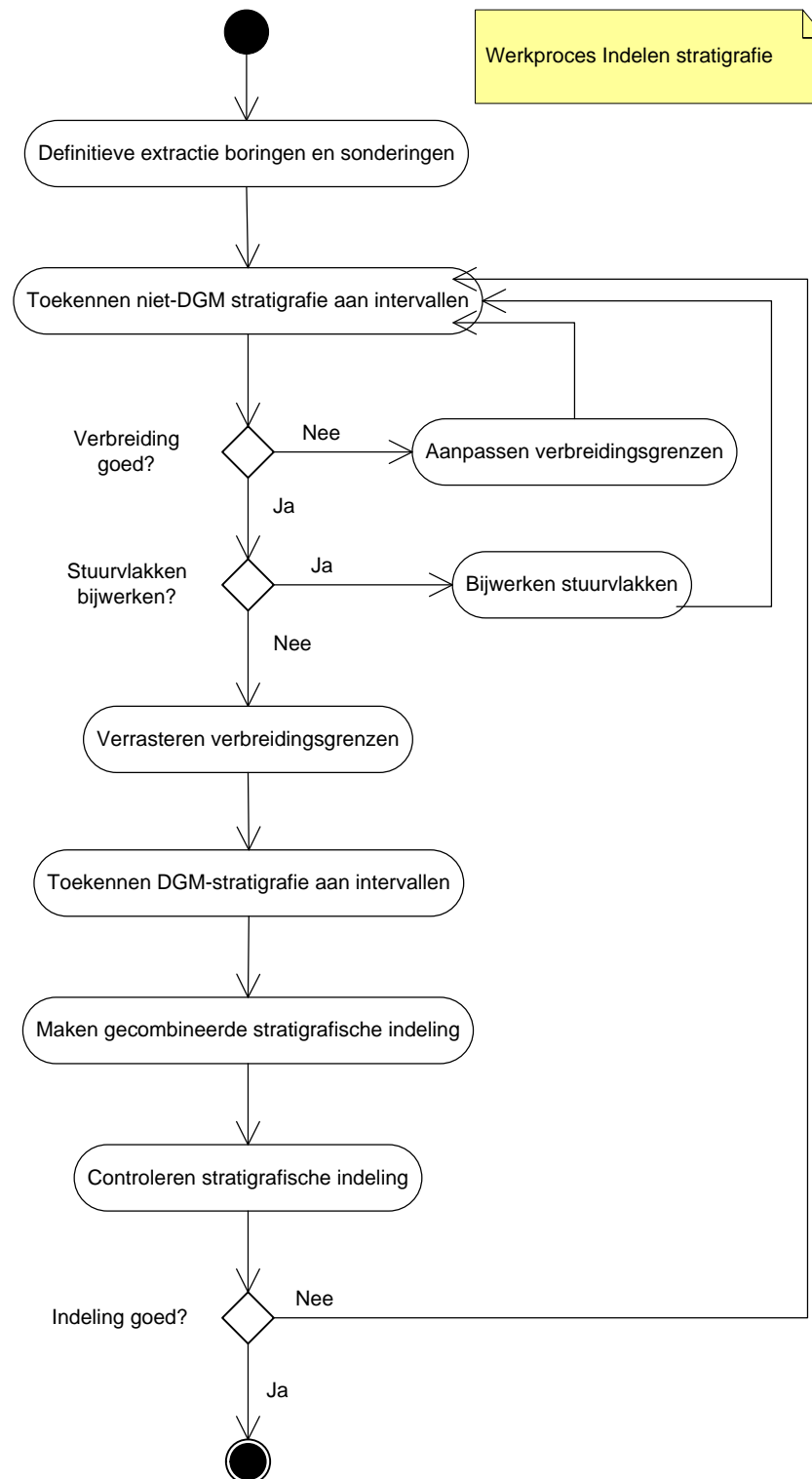
Het maken van stuurvlakken is een interpolatieproces dat met behulp van het pakket Isatis wordt uitgevoerd. De in Isatis uit te voeren operaties liggen vast in een zogenaamde *journal-file*, een batch-bestand waarmee operaties in Isatis geautomatiseerd uitgevoerd kunnen worden. Meer informatie over Isatis volgt in hoofdstuk 4.4.

4.3 Indelen stratigrafie (boringen en sonderingen)

De basisgegevens worden in werkproces **Indelen stratigrafie** gebruikt om aan elk beschreven lithologisch interval van alle boringen en sonderingen een stratigrafische modeleenheid toe te kennen. Dit levert een set van stratigrafisch geïnterpreteerde boringen en sonderingen op die als product aan de BRO wordt geleverd en input is voor de navolgende modelleer-werkprocessen. Voor de sonderingen geldt dat als de metingen (conusweerstand, kleef en wrijvingsgetal) eenmaal met behulp van een neurale netwerk vertaald zijn naar lithologie, ze verder als boorbeschrijving beschouwd kunnen worden. Zie echter het voorbehoud in paragraaf 4.2.

Indelen stratigrafie bestaat uit de volgende processtappen (Figuur 4.3.1):

- Definitieve extractie van boringen en sonderingen.
- Toekennen niet-DGM stratigrafie aan intervallen.
- Aanpassen verbreidingsgrenzen.
- Bijwerken stuurvlakken.
- Verrasteren verbreidingsgrenzen.
- Toekennen DGM-stratigrafie aan intervallen.
- Maken van een gecombineerde stratigrafische indeling.
- Controleren stratigrafische indeling.



Figuur 4.3.1: Processtappen in het werkproces Indelen stratigrafie.

- 4.3.1 *Definitieve extractie van boringen en sonderingen*
 Boringen en sonderingen die in het modelgebied liggen worden geëxtraheerd uit de DINO database en eventuele andere gegevensbronnen.

Het betreft hier een herhaling van de *voorlopige* extractie die in het werkproces Voorbereiden basisgegevens is uitgevoerd. Bij het maken van een nieuw modelgebied vindt de definitieve extractie echter (veel) later in de tijd plaats waardoor het mogelijk is dat in de tussentijd nieuwe boringen en sonderingen in het modelgebied beschikbaar zijn gekomen. De **datum en tijd** waarop de definitieve extractie is uitgevoerd wordt vastgelegd in de BRO.

De definitieve extractie omvat tevens een herhaling van het toepassen van het kwaliteitsfilter op zowel boringen als sonderingen en het lithologisch interpreteren van sonderingen zoals dat bij **Voorbereiden basisgegevens** al is uitgevoerd.

4.3.2 *Toekennen niet-DGM stratigrafie aan intervallen*

In deze processtap wordt software ontwikkeld en uitgevoerd om de boorbeschrijvingen te voorzien van een stratigrafische indeling. De stratigrafische indeling is gebaseerd op de in het voorgaande werkproces vastgestelde te modelleren eenheden in samenhang met het conceptueel model.

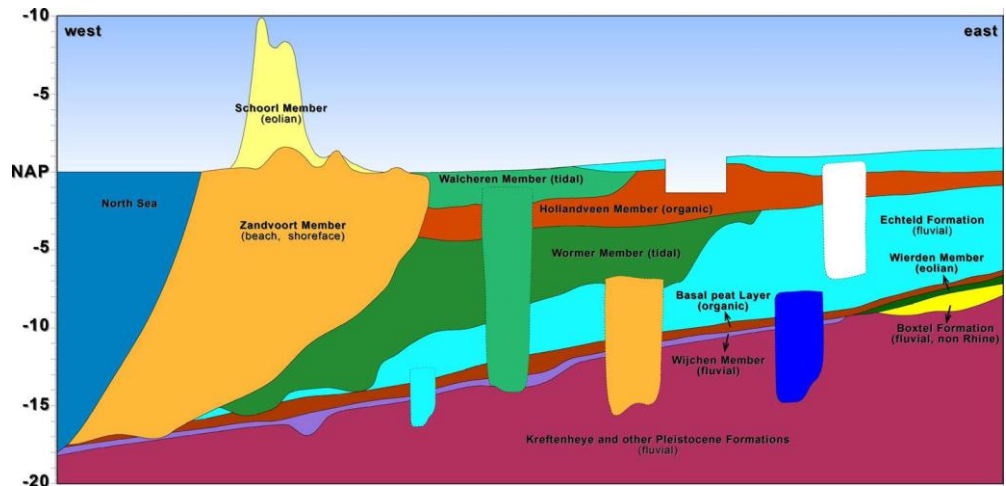
Het gaat in deze processtap alleen om de toekenning van **niet-DGM eenheden**, dat zijn de eenheden die in de gebruikte DGM versie niet onderscheiden worden. Dit zijn vooral Holocene eenheden, zoals de verschillende laagpakketten van de Formaties van Naaldwijk en Nieuwkoop, maar ook Pleistocene eenheden zoals het Laagpakket van Gieten van de Formatie van Drente.

Voor elke eenheid wordt een aantal batchprogramma's ontwikkeld die in beginsel een analyse uitvoeren waarbij dezelfde procedure wordt gevolgd:

- (1) Per eenheid wordt eerst bepaald welke boringen zich binnen de grenzen van de verspreidingsgrens van de eenheid bevinden.
- (2) Van deze boringen wordt vervolgens de geëxtraheerde lithologische boorbeschrijving onderzocht op criteria die karakteristiek zijn voor de eenheid. Op basis van deze criteria wordt de eenheid al dan niet in de boorbeschrijving aangetroffen. Dit onderzoek levert een bestand op met per boring waarin de eenheid is aangetroffen de top en de basis (in m ten opzichte van NAP) van de eenheid.

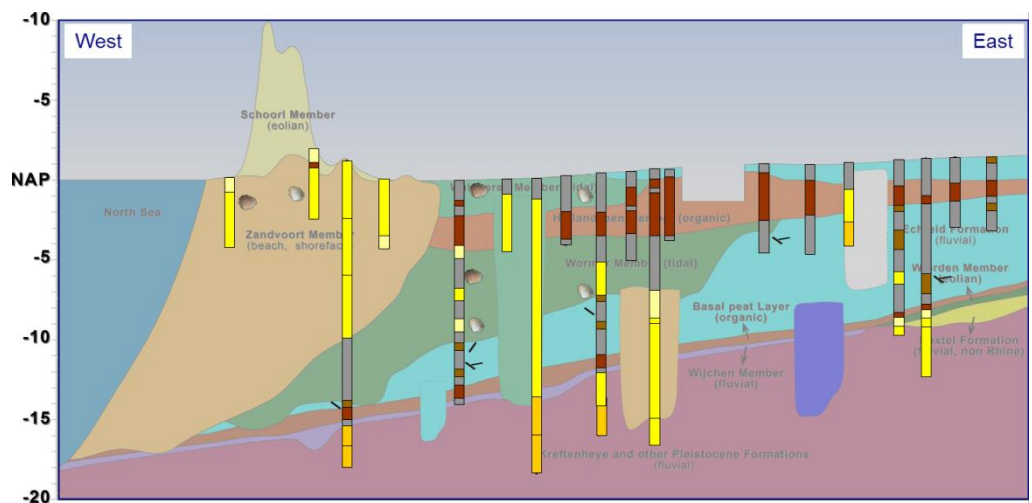
Voor sommige eenheden is de uitwerking van deze procedure eenvoudig, voor andere eenheden is een reeks van complexe programma's nodig om tot het eindresultaat te komen. Hieronder wordt een aantal voorbeelden gegeven voor modelgebied Zuid-Holland.

In Figuur 4.3.2 is het conceptuele model van Zuid-Holland weergegeven. In dit profiel staan de te modelleren eenheden en hun onderlinge stratigrafische relaties weergegeven.



Figuur 4.3.2: Conceptueel model van modelgebied Zuid-Holland. In een dwarsdoorsnede van West naar Oost zijn de te modelleren eenheden en hun onderlinge stratigrafische relaties schematisch weergegeven.

In Figuur 4.3.3 wordt het profiel nogmaals getoond, maar nu inclusief een aantal lithologische boorbeschrijvingen, met de (vereenvoudigde) kenmerken zand (geel), veen (bruin), klei (grijs) en symbolen voor bijmengingen van schelpen (aanwijzing voor mariene omstandigheden) en plantenresten (aanwijzing voor fluviaatiele omstandigheden).



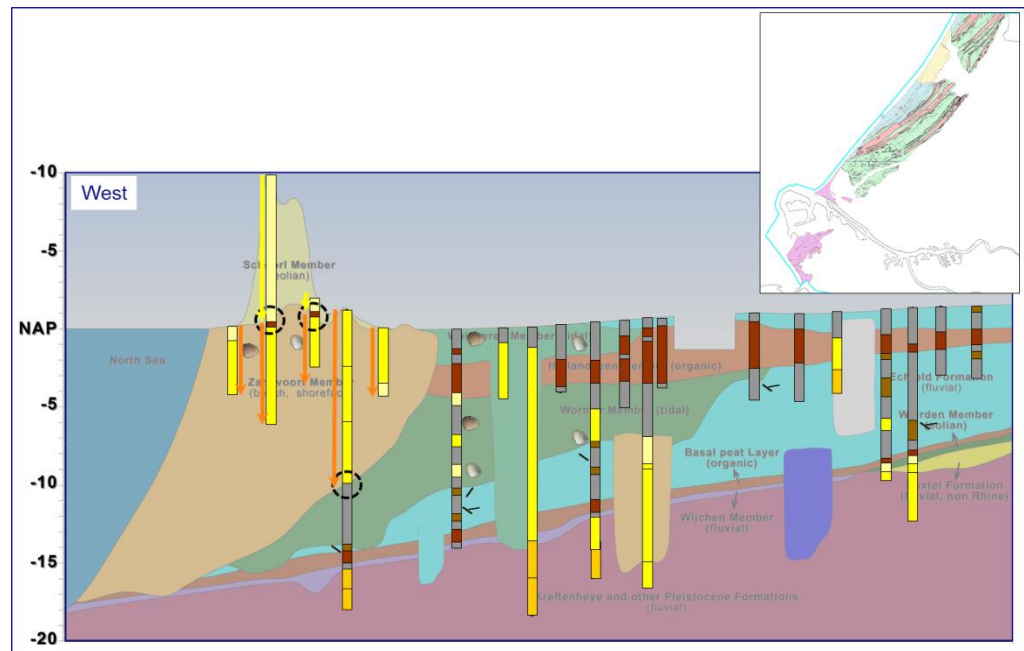
Figuur 4.3.3: Conceptueel model van modelgebied Zuid-Holland, met de (vereenvoudigde) kenmerken zand (geel), veen (bruin), klei (grijs) en symbolen voor bijmengingen van schelpen (aanwijzing voor mariene omstandigheden) en plantenresten (aanwijzing voor fluviaatiele omstandigheden).

Voorbeeld 1: Duin- en strandzanden

De duinzanden (Laagpakket van Schoorl) en strandzanden (Laagpakket van Zandvoort) komen alleen voor binnen de verbreidingsgrens rechtsboven in Figuur 4.3.4. Uit de literatuur is verder bekend dat het Laagpakket van Schoorl bestaat uit zand, dat er geen dikke kleilagen en/of veenlagen in voorkomen en dat de eenheid voorkomt tot een maximale diepte onder NAP.

De boorbeschrijvingen binnen de verbreidingsgrens worden nu met het batchprogramma onderworpen aan deze criteria. De analyse start aan maaiveld, en zoekt net zolang naar beneden totdat er een boorbeschrijvingsinterval wordt gevonden dat niet meer aan de criteria voldoet. In Figuur 4.3.4 is dat het geval als er onder het duinzand een veenlaag wordt aangetroffen. Voor deze boringen wordt nu vastgelegd dat het Laagpakket van Schoorl is aangetroffen tussen maaiveld en de top van de veenlaag.

Voor het Laagpakket van Zandvoort geldt dat er vanaf maaiveld, of, als er in de boring duinzand is aangetroffen, vanaf de basis van het duinzand, wordt gezocht naar de top van kleiige Wormer afzettingen.

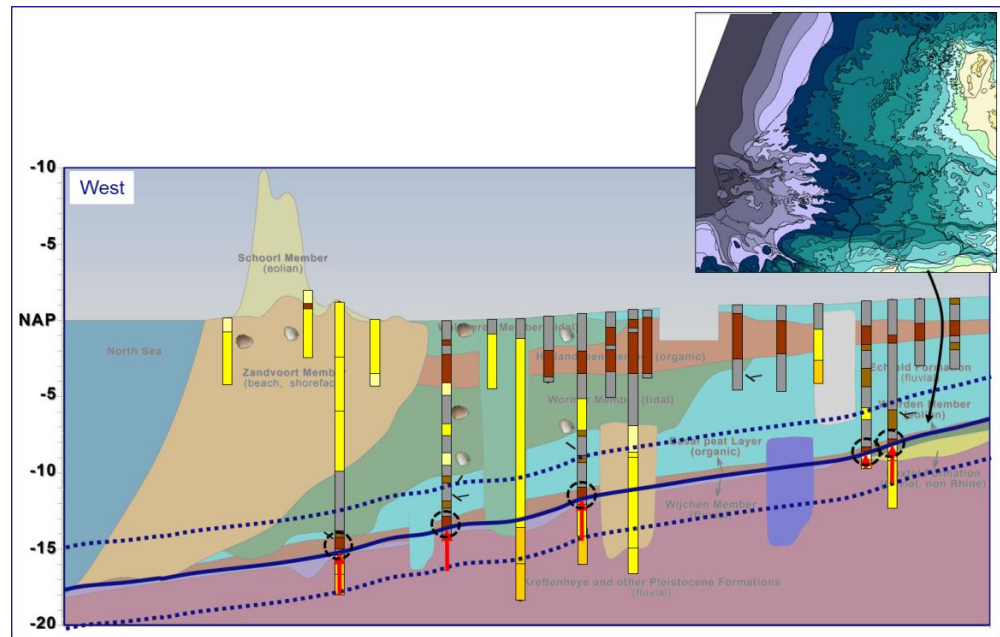


Figuur 4.3.4: Conceptueel model van modelgebied Zuid-Holland, met rechtsboven de verbreidingsgrens van de duin- en strandzanden. Met de pijlen is aangegeven hoe in de boringen de overgang van duinzand naar strandzand gezocht wordt en de overgang van strandzand naar oudere eenheden.

Voorbeeld 2: Basisveen Laag

Voor een aantal eenheden, bijvoorbeeld de Basisveen Laag, is er extra sturing in de programma's meegenomen. Een belangrijke sturing is het Top Pleistoceen onversneden stuurvlak dat de diepteligging van de top van de Pleistocene en vroeg Holocene zanden weergeeft. Dit stuurvlak wordt gebruikt om de buffer aan te geven waarbinnen naar de Basisveen Laag (met als belangrijkste kenmerk dat de lithologie veen is) mag worden gezocht (Figuur 4.3.5).

Voor de Basisveen Laag is in eerste instantie de potentiële verbreiding gelijkgesteld aan de modelgebiedsgrens. Er wordt dus overal in het gebied naar Basisveen gezocht. Dit resulteert in een tweetal 'puntenwolken' van locaties waar de eenheid wel en niet is aangetroffen. Op basis van deze puntenwolken is vervolgens alsnog een verbreiding vastgesteld, waarna processtap *Toekennen stratigrafie aan niet-DGM eenheden* wordt herhaald.



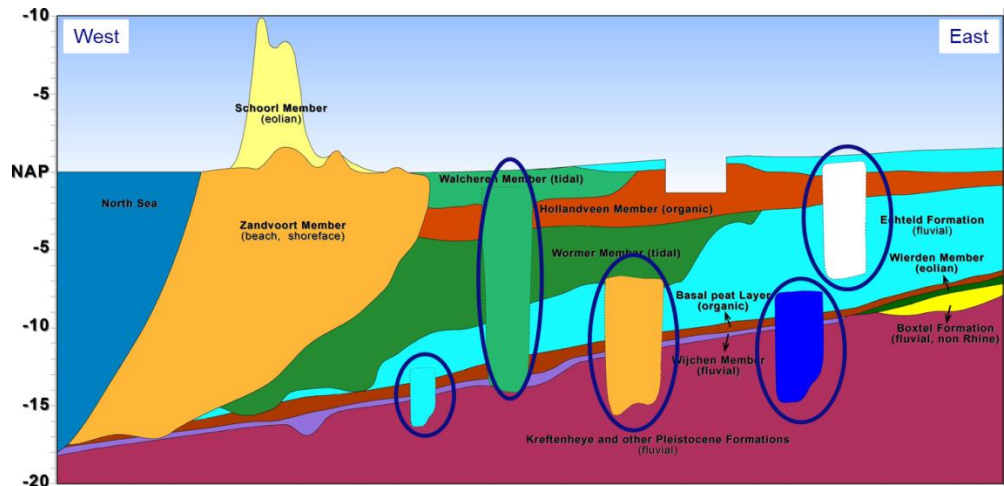
Figuur 4.3.5: Conceptueel model van modelgebied Zuid-Holland, met rechtsboven het stuurvlak Top Pleistoceen. De boorbeschrijvingen worden van onder naar boven onderzocht. Zodra binnen een buffer rondom het stuurvlak veen wordt aangetroffen is de Basisveen Laag gevonden.

Voorbeeld 3: Hollandveen Laagpakket

Het derde voorbeeld betreft het Hollandveen Laagpakket. Voor deze eenheid wordt zowel een verbreidingsgrens als een stuurvlak gebruikt. Het stuurvlak is initieel gemaakt door de diepteligging van de basis van het Hollandveen in de handmatig gemaakte lithostratigrafische interpretaties van de boorbeschrijvingen te interpoleren. In een zone rondom het stuurvlak wordt van boven naar beneden naar een aaneengesloten veenlaag gezocht. Deze veenlaag wordt als de modeleenheid Hollandveen Laagpakket geïnterpreteerd.

Voorbeeld 4: Holocene geulsystemen

Om te illustreren dat de procedure waarmee naar eenheden gezocht wordt complex kan zijn, wordt als laatste voorbeeld het bepalen van top en basis van de Holocene geulsystemen beschreven. De Holocene toplaag in Zuid-Holland wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van stroomgordels van de rivieren Rijn en Maas. Deze Holocene geulsystemen zijn gekarteerd door de Universiteit Utrecht, de voormalige RGD en TNO. De stroomgordels worden bij het toekennen van stratigrafie als aparte eenheden beschouwd. Figuur 4.3.6 laat de Zuid-Hollandse stroomgordels in het conceptueel profiel zien.



Figuur 4.3.6: Conceptueel profiel van modelgebied Zuid-Holland, met in de ovalen de Holocene geulsystemen.

Door zeespiegelstijging en geleidelijke begraving door jonger sediment liggen de oudere stroomgordels dieper onder het huidige oppervlak dan de jongere. Op basis van de ouderdom, feitelijk dus equivalent aan de diepteligging, zijn als eerste stap de geulen ingedeeld in een vijftal generaties (generaties A t/m E; een vereenvoudiging van generaties 1 t/m 14 van Berendsen & Stouthamer, 2001). Dit is gedaan voor alle gekarteerde geulen die voorkwamen in de Formaties van Naaldwijk en Echteld. Voor alle boringen die binnen een bepaalde generatie voorkomen is vervolgens de top en, indien de boring diep genoeg was, de basis (*channel lag*) van het stroomgordel zand bepaald.

Voor het vinden van een top zijn onder andere de volgende criteria gebruikt: onder de top bevindt zich minimaal 1,5 m zand, met stoorlagen van maximaal 50 cm ander materiaal. Verder dient de top zich minstens 1,5 m boven de bovenkant van het Top Pleistoceen stuurvlak te bevinden en dient de top onder eventueel eerder gevonden intervallen van Schoorl, Zandvoort of Antropogeen te bevinden. Voor ondiepe handboringen, die veelal eindigen in de eerste decimeters van het geulzand, is het diktecriterium van 1,5 m niet toegepast. Indien met deze criteria geen top zand gevonden wordt, worden de criteria versoepeld, en wordt in plaats van naar zand ook naar zandige klei en zandige leem gezocht.

Vanaf de top zand wordt al het zand dat aan de criteria voldoet initieel tot de stroombaan gerekend. Dit levert de maximale diepte van de basis van de geul op. Deze diepte kan echter te groot zijn als het Holocene geulzand direct op de zandige Pleistocene ondergrond ligt (de geul is dan 'gefundeerd'). Om de basis van het geulzand te bepalen wordt een aantal criteria vastgesteld. Eerst wordt er, afhankelijk van de generatie, een bufferzone vastgesteld. Voor generatie A verwachten we bijvoorbeeld dat de basis van de geul tussen -9,8 en -15,8 m NAP zal liggen. In de bufferzone wordt van boven naar beneden gezocht naar een overgang van zand naar klei; een overgang van grof zand naar fijn zand (aanwijzing voor een *channel lag* onderin de geul); of een overgang van zand met bijmenging van klei (karakteristiek voor Holoceen zand) naar zand zonder bijmenging van klei (karakteristiek voor Pleistoceen zand).

Als deze overgangen niet worden gevonden, en de eerder vastgestelde maximale diepte ligt binnen de buffer, dan geldt de maximale diepte. Als de maximale diepte dieper dan de bufferzone ligt, dan wordt de basis van de geul in de bufferzone gelegd.

Het ontwikkelen van de software voor het toekennen van niet-DGM stratigrafie aan intervallen vindt plaats met behulp van de programmeertaal Python. Na bouw en test van de software is het uitvoeren van de processtap volledig geautomatiseerd.

4.3.3 *Aanpassen verbreidingsgrenzen*

Het resultaat van de indeling van een eenheid kan ertoe leiden dat de bijbehorende verbreidingsgrens moet worden aangepast. Het kan namelijk voorkomen dat een eenheid in een deel van het gebied wel is gezocht, maar nooit is aangetroffen. Daarnaast zijn er eenheden waarvoor op basis van het kaartmateriaal geen verbreiding, of alleen een verbreiding van onvoldoende kwaliteit, kon worden gemaakt. Voor deze eenheden was in het werkproces **Vorbereiden basisgegevens** in eerste instantie de potentiële verbreiding gelijk gesteld aan de modelgebiedsgrens. In processtap *Toekennen niet-DGM stratigrafie aan intervallen* wordt de eenheid in de boorbeschrijvingen dan in eerste instantie gezocht in het hele modelgebied. Dit resulteert in een tweetal 'puntenwolken' van locaties waar de eenheid wel of juist niet is aangetroffen. Op basis van deze puntenwolken wordt dan alsnog de verbreiding vastgesteld. Een voorbeeld is de Basisveen Laag (voorbeeld 2 in de vorige paragraaf).

In beide situaties wordt de verbreidingsgrens aangepast en wordt de stratigrafie opnieuw toegekend. De processtappen *Toekennen niet-DGM stratigrafie aan intervallen* en *Aanpassen verbreidingsgrenzen* worden dus iteratief uitgevoerd, zoals in het schema in Figuur 4.3.1 is aangegeven.

Het aanpassen van verbreidingsgrenzen is een handmatig proces waarbij ArcGIS het voornaamste hulpmiddel is.

4.3.4 *Bijwerken stuurvlakken*

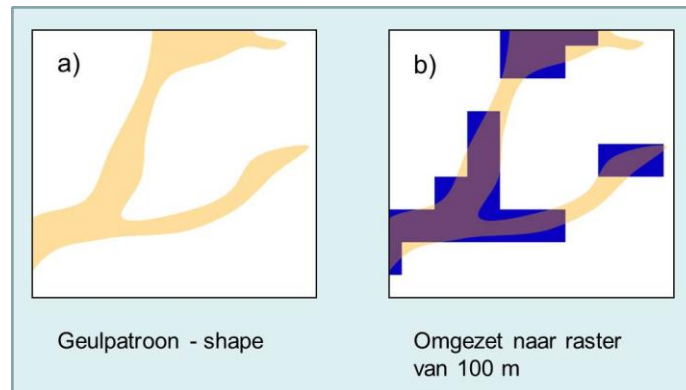
Voor een aantal stuurvlakken, zoals die van het Hollandveen Laagpakket, geldt dat ze na het doorlopen van processtap *Toekennen niet-DGM stratigrafie aan intervallen* worden bijgewerkt aan de hand van de geautomatiseerd geïnterpreteerde boorbeschrijvingen. De bijgewerkte stuurvlakken worden daarna nogmaals gebruikt voor een automatische interpretatie. Daarmee worden ook de processtappen *Toekennen niet-DGM stratigrafie aan intervallen* en *Bijwerken stuurvlakken* iteratief uitgevoerd, zoals in het schema in Figuur 4.3.1 is aangegeven.

Het bijwerken van stuurvlakken is een interpolatieproces dat met behulp van het softwarepakket Isatis wordt uitgevoerd. De in Isatis uit te voeren operaties liggen vast in een zogenaamde *journal-file*, een batch-bestand waarmee operaties in Isatis geautomatiseerd uitgevoerd kunnen worden. Meer informatie over Isatis volgt in hoofdstuk 4.4.

4.3.5 *Verrasteren verbreidingsgrenzen*

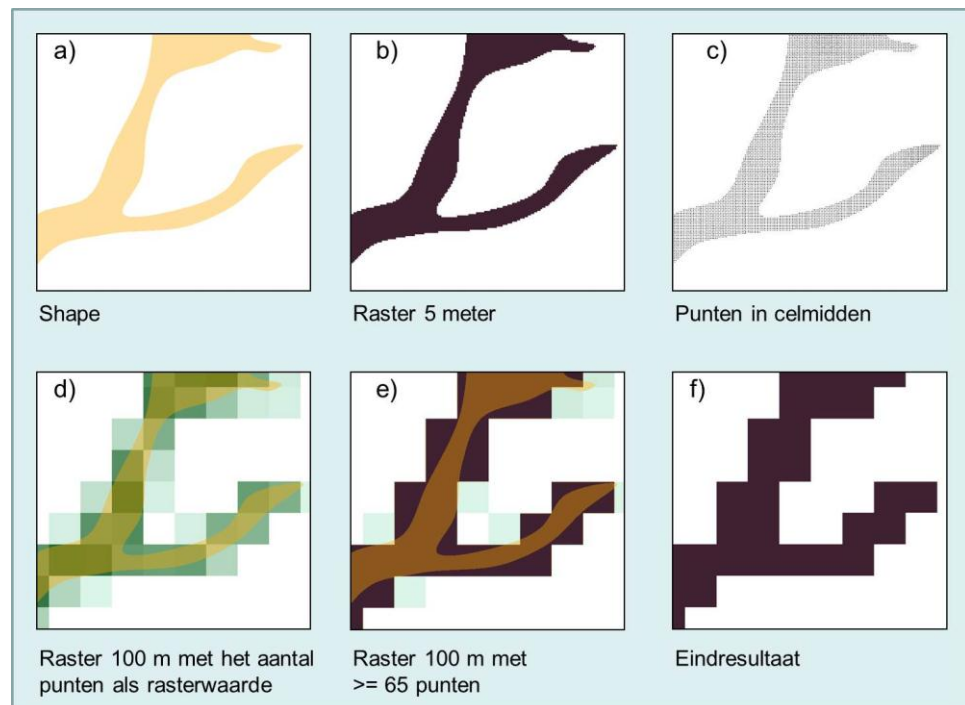
De verbreidingsgrenzen van de niet-DGM eenheden zijn polygonen (shapefiles) en dienen ten behoeve van de lagenmodellering (hoofdstuk 4.4) omgezet te worden in

rasters. De standaardmethode van ArcGIS om polygonen te verrasteren kijkt of het middelpunt van een rastercel binnen de grenzen van het polygoon ligt. Is dit het geval, dan hoort de rastercel tot de verbreding, anders niet. Voor eenheden met gedetailleerde grenzen, zoals de Holocene geulsystemen en de beekdalafzettingen van het Laagpakket van Singraven van de Formatie van Boxtel, leidt deze methode tot een verlies aan informatie (Figuur 4.3.7). Met name de connectiviteit van de geulsystemen, bijvoorbeeld van belang voor grondwatermodellering, kan erdoor verloren gaan.



Figuur 4.3.7: Geulpatroon (a) met standaard GIS functionaliteit omgezet naar raster met celgrootte 100 x 100 m (b). De connectiviteit in het geulpatroon gaat op twee locaties verloren.

De Geologische Dienst heeft daarom een eigen verrasteringstechniek ontwikkeld die bestaat uit een aantal geautomatiseerde GIS operaties (Figuur 4.3.8).



Figuur 4.3.8: Geulpatroon (a) wordt eerst omgezet naar raster met celgrootte 5 x 5 m (b). Dit raster wordt vervolgens omgezet naar een puntenshapefile met een punt

in het midden van elke cel (c). Op basis van dit puntenshapefile wordt een raster gemaakt met een celgrootte van 100 x 100 m waarbij elke cel het aantal punten als celwaarde heeft (d). Tot slot worden alle rastercellen geselecteerd die 65 of meer punten bevatten (e) en (f). Het aantal van 65 punten, 16.25% van het maximale aantal van 400, is een ervaringsgetal.

Voor de verbreiding van de eenheid 'AAOP' (Antropogeen opgebrachte grond) geldt dat het al een raster is.

4.3.6 Toekennen DGM-stratigrafie aan intervallen

In deze processtap wordt software ontwikkeld en uitgevoerd om de boorbeschrijvingen te voorzien van een stratigrafische indeling. De stratigrafische indeling is gebaseerd op de in het voorgaande werkproces vastgestelde te modelleren eenheden in samenhang met het conceptueel model.

Het gaat in deze processtap alleen om de toekenning van **DGM eenheden**, dat zijn de eenheden die overgenomen worden van de gebruikte DGM versie. Dit zijn vooral Pleistocene eenheden, zoals de Formaties van Urk, Sterksel en Peize-Waalre. Bij het construeren van DGM is een deel van de boorbeschrijvingen (een selectieset van circa 16.500 boringen) al van stratigrafie voorzien. In GeoTOP gebruiken we echter veel meer boringen, en ook die willen we van een stratigrafische interpretatie voorzien. Om de boorbeschrijvingen te voorzien van een stratigrafische indeling worden ze gesneden met het lagenmodel van DGM. De procedure is als volgt:

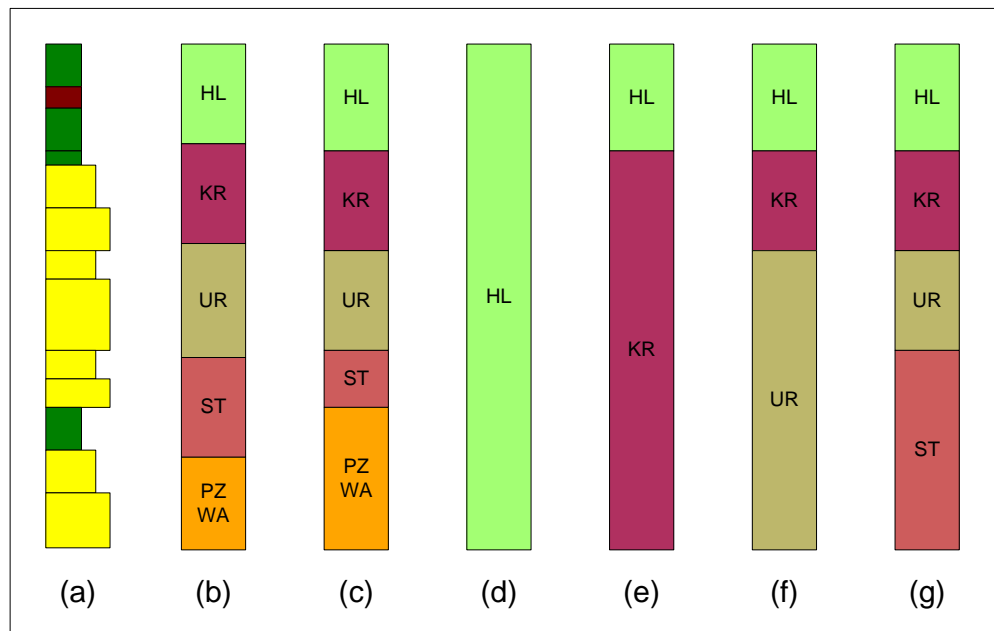
1. Voor elke DGM eenheid die in het lagenmodel voorkomt wordt voor elke boring vastgesteld of de eenheid op de boorlocatie voorkomt. Is dit het geval, dan wordt de diepteligging van de top van de eenheid op de boorlocatie bepaald. Het resultaat is een lijst met per eenheid per boring de diepteligging van de top van de eenheid volgens DGM.
2. Het resultaat van (1) wordt gesorteerd zodat een lijst wordt verkregen met per boring per eenheid de diepteligging van de top van de eenheid.
3. Het resultaat van (2) wordt gefilterd waarbij alle boringen die alleen de eenheid 'HL' (de eenheid 'Holoceen' van DGM) bevatten worden verwijderd.
4. Voor elke te modelleren eenheid wordt in elke boorbeschrijving gezocht naar het interval waarvan de top het dichtstbij de diepteligging van de top van de eenheid volgens DGM ligt.
5. De boorbeschrijvingen worden nu onderverdeeld in DGM-eenheden aan de hand van de gevonden toppen van de in de boorbeschrijving aanwezige eenheden.

Ad (4) – Voor een aantal eenheden is het mogelijk om betere, geologisch onderbouwde, criteria te gebruiken dan het eenvoudigweg zoeken naar het dichtstbijzijnde interval. Een *voorbeeld* is de gecombineerde Formatie van Peize-Waalre waarbij de top van de eenheid gezocht wordt aan de hand van de volgende criteria:

- Top moet in een bufferzone liggen van +/- 3 m rond de diepteligging van de top volgens DGM.
- In de bufferzone wordt gezocht naar een dikke kleilaag van minimaal 1,1 m dikte (met een eventuele stoorlaag van maximaal 0,5 m). Een dergelijke dikke kleilaag komt vaak aan de top van de Peize-Waalre voor. Als de kleilaag wordt gevonden, wordt de top van de kleilaag de top van de Peize-Waalre.

- Als geen kleilaag wordt gevonden wordt in de bufferzone gezocht naar een overgang van grof zand (bovenliggend) naar fijn zand (onderliggend). Deze overgang is kenmerkend voor de grens van Peize-Waalre met de bovenliggende formaties Kreftenheye, Urk of Sterksel waarvan de basis vaak grof ontwikkeld is. Als de overgang wordt gevonden, wordt de basis van het grove zand de top van de Peize-Waalre.
- Als ook geen grof naar fijn overgang wordt gevonden wordt de top vastgesteld op het dichtstbijzijnde interval.

Ad (5) - Door alleen uit te gaan van de toppen, en niet van de basissen, wordt gewaarborgd dat alle intervallen van de boorbeschrijving een DGM eenheid krijgen toegekend. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 4.3.9.

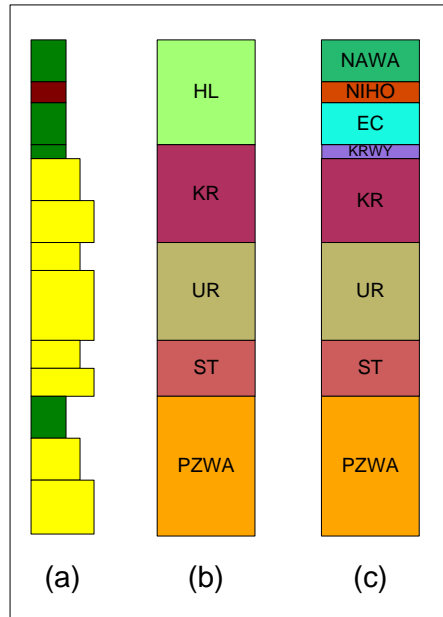


Figuur 4.3.9: Indeling van een geïdealiseerde boorbeschrijving in DGM eenheden. (a) Boorbeschrijving met klei in groen, veen in bruin en zand in geel; (b) Lagenmodel van DGM op de boorlocatie. Merk op dat de laaggrenzen in het lagenmodel niet exact samenvallen met de intervalgrenzen in de boorbeschrijving; (c) Indeling van de boorbeschrijving in DGM eenheden. Voor de meeste eenheden is de top vastgesteld op de top van het dichtstbij gelegen interval in de boorbeschrijving. Voor 'PZWA' is naar een kleilaag in een buffer rondom de top van het lagenmodel gezocht. De top van de kleilaag is de top van de eenheid 'PZWA'; (d) t/m (g) zijn tussenstappen in de indeling waarbij steeds de hele boorbeschrijving vanaf de top naar de basis van de eenheid wordt gelabeld. Deze werkwijze voorkomt lege intervallen in het eindresultaat.

Het ontwikkelen van de software voor het toekennen van DGM-stratigrafie aan intervallen vindt plaats met behulp van de programmeertaal Python. Na bouw en test van de software is het uitvoeren van de processtap volledig geautomatiseerd. Het grootste deel van de software is voor elk modelgebied van GeoTOP gelijk; alleen de eenheden waarvoor geologische criteria worden toegepast worden bij elk modelgebied nieuw ontwikkeld of herzien.

4.3.7 *Maken van een gecombineerde stratigrafische indeling*

In paragraaf 4.3.2 is beschreven hoe de voor de niet-DGM eenheden is bepaald wat de top en basis is in elk van de boorbeschrijvingen waar de eenheid in voorkomt. Dit is voor elke eenheid afzonderlijk gedaan. In de processtap *Maken van een gecombineerde stratigrafische indeling* worden de afzonderlijke resultaten gecombineerd met elkaar en met de indeling van de DGM eenheden. Daarbij worden de DGM-eenheden overschreven. Dit is in Figuur 4.3.10 geïllustreerd aan de hand van dezelfde geïdealiseerde boorbeschrijving als in Figuur 4.3.9.



Figuur 4.3.10: Indeling van dezelfde geïdealiseerde boorbeschrijving als in Figuur 4.3.9. (a) Boorbeschrijving met klei in groen, veen in bruin en zand in geel; (b) Indeling van de boorbeschrijving in DGM eenheden; (c) Indeling van de boorbeschrijving na toevoegen van de niet-DGM eenheden 'NAWA', 'NIHO', 'EC' en 'KRWY'. Merk op dat de niet-DGM eenheid 'KRWY' de DGM-eenheid 'KR' overschrijft.

Omdat de niet-DGM eenheden grotendeels onafhankelijk van elkaar zijn bepaald, kan het voorkomen dat aan een interval meer dan één eenheid is toegekend. In dat geval is de volgorde van toekenning van belang: een eenheid die later in het proces wordt toegekend, overschrijft eventuele eerdere toekenningen. Een ander gevolg is dat er ongewenste stratigrafische volgordes gevonden worden. Deze ongewenste volgordes worden gecorrigeerd in een serie correctiefilters. Tot slot kan het voorkomen dat er tussen de laagste niet-DGM eenheid en de hoogste Pleistocene DGM-eenheid nog een stukje 'HL' overblijft. Dit stukje 'HL' wordt vervangen door de hoogstgelegen Pleistocene DGM-eenheid.

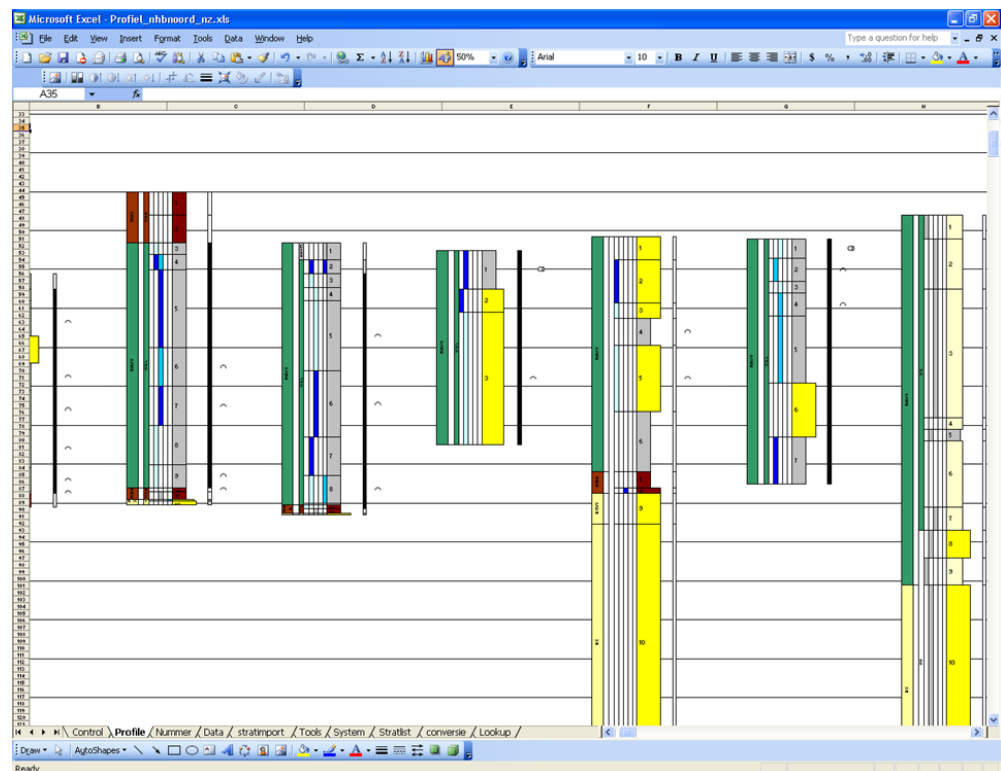
De op geautomatiseerde wijze verkregen stratigrafische indeling van boringen die tot de DGM selectieset behoren, komen voor wat betreft de DGM eenheden in de meeste gevallen overeen met de oorspronkelijke, handmatig toegekende stratigrafische indeling. Door het verschil in de interpretatiemethodiek (in 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 boringen in de analyse worden betrokken) kunnen echter verschillende stratigrafische indelingen ontstaan. Beide indelingen worden opgenomen in DINO en in de BRO. In DINO geldt dat de door de geoloog handmatig toegekende indeling als preferent wordt geormerkt.

Het ontwikkelen van de software voor het maken van de gecombineerde stratigrafische indeling vindt plaats met behulp van de programmeertaal Python. Na bouw en test van de software is het uitvoeren van de processtap volledig geautomatiseerd. Het grootste deel van de software is voor elk modelgebied van GeoTOP gelijk; alleen de volgorde van toekenning en het corrigeren van ongewenste volgordes worden bij elk modelgebied nieuw ontwikkeld of herzien.

4.3.8 Controleren stratigrafische indeling

De stratigrafische indeling van de boorbeschrijvingen worden door een gebiedsdeskundig geoloog gecontroleerd (*quality control*). Hij doet dit aan de hand van een aantal sleutelprofielen door het modelgebied. In de profielen zijn de boorbeschrijving, de stratigrafische interpretatie, en, indien aanwezig, de handmatig toegekende lithostratigrafische interpretatie, grafisch weergegeven (Figuur 4.3.11).



Figuur 4.3.11: Boorbeschrijvingen met stratigrafische interpretaties langs een profiel.

Een nuttig hulpmiddel bij de controle is een programma dat verdachte stratigrafische opeenvolgingen opspoot. Verdachte stratigrafische opeenvolgingen zijn opeenvolgingen die niet mogelijk zijn (bijvoorbeeld een Holocene eenheid onder een Pleistocene eenheid) of hoogste zelden voorkomen. De controlerend geoloog bepaalt vooraf welke opeenvolgingen hij of zij als 'verdacht' aanmerkt. Het programma genereert vervolgens een lijst met boorbeschrijvingen die de verdachte opeenvolgingen bevatten.

De controlerend geoloog legt eventuele bevindingen vast in een bevindingenlijst, met per bevinding de volgende items:

- Volnummer van de bevinding.
- Datum.
- Status ('Open', 'Opgelost', 'Niet oplossen'; initieel: 'Open').
- Nummer van profiel waarin bevinding is geconstateerd.
- Boornummer waarin bevinding is geconstateerd.
- Stratigrafische eenheid waarop bevinding betrekking heeft.
- Beschrijving van de bevinding.
- Eventuele bijlagen.

De bevindingen worden geanalyseerd door de modellers en met de controlerend geoloog besproken. Bij de analyse worden de volgende zaken vastgelegd:

- Prioriteit ('Laag', 'Midden', 'Hoog').
- Analyse: oorzaak en gewenste oplossing.
- Oplossing status ('Direct oplossen', 'Volgende release', 'Niet oplossen').

Prioriteit en oplossing status worden in gezamenlijk overleg met de controlerend geoloog vastgesteld. De bevindingen waarvoor besloten is ze op te lossen worden door de modellers in de software van de stratigrafie indeling verwerkt. Bij de eerstvolgende iteratie van de indeling wordt opnieuw gecontroleerd en krijgen opgeloste bevindingen de status 'Opgelost'. Indien er, na een aantal iteraties, geen bevindingen meer zijn die opgelost moeten worden is het eindpunt van het werkproces Indelen stratigrafie bereikt.

Bevindingen die eindigen met de status 'Volgende release' worden opgenomen in een algemene bevindingenlijst van GeoTOP. In deze algemene bevindingenlijst zijn dus bevindingen van meerdere modelgebieden opgenomen.

Een veel voorkomende bevinding is het vinden van een boring van slechte kwaliteit. De boring voldoet weliswaar aan het automatisch toegepaste kwaliteitsfilter, maar de beschrijving biedt onvoldoende aanknopingspunten om een stratigrafie toe te kennen. De boring wordt in voorkomende gevallen opgenomen in de **uitsluitlijst** en doet verder niet meer mee in de modellering; dit is dezelfde lijst als die is aangemaakt bij het automatisch toegepaste kwaliteitsfilter.

4.3.9 *Workflow management*

In de geautomatiseerde processtappen die in de voorgaande paragrafen zijn beschreven wordt gebruik gemaakt van een groot aantal in Python geschreven batchprogramma's. Het is van groot belang dat deze batchprogramma's¹ in de juiste volgorde worden uitgevoerd. Om dat te ondersteunen is een *workflow manager* ontwikkeld in Microsoft Excel (Figuur 4.3.12). In Excel wordt elk uit te voeren programma opgenomen. Per programma is er een regel met in verschillende kolommen de programma naam en eventuele parameterwaarden. De eerste kolom van elke regel bevat een indicator waarmee de regel 'aangezet' of 'uitgezet' kan worden. Met behulp van een VBA-script (macro) wordt een MS-DOS bat-file aangemaakt waarmee alle 'aangezette' programma's uitgevoerd worden. De algemene functionaliteit (o.a. kopiëren en plakken) van Excel maakt het mogelijk om snel programma's te kopiëren of de volgorde aan te passen.

¹ Een batchprogramma is een programma dat na opstarten zonder menselijke tussenkomst een aantal taken uitvoert en daarna automatisch wordt afgesloten.

1	Execu	Action	Parameters	4	5	6	7	8	9	10
2	0	2								
3	0	0								
4	0	0								
5	1	Remark	Stratideling overzetten stratscript stratigrafie - deel1							
6	1	ChangeDir	stratideling							
7	1	Remark	Echtheid							
8	1	RunScript	python 41_BHEC_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_41_BHEC_naar_Stratideling.py	bt		
9	1	RunScript	python 43_EC_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_43_EC_naar_Stratideling.py	bt		
10	1	RunScript	python 42_OEC_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_42_OEC_naar_Stratideling.py	bt		
11	1	Remark	Holoceen							
12	1	RunScript	python 35_NAWO_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_35_NAWO_naar_Stratideling.py	bt		
13	1	RunScript	python 31_NBA_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_31_NBA_naar_Stratideling.py	bt		
14	1	RunScript	python 32_NHO_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_32_NHO_naar_Stratideling.py	bt		
15	1	RunScript	python 34_NAWA_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_34_NAWA_naar_Stratideling.py	bt		
16	1	Remark	KRWV, DRGL, WB							
17	1	RunScript	python 60_KRWV_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_60_KRWV_naar_Stratideling.py	bt		
18	1	RunScript	python 71_DRGL_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_71_DRGL_naar_Stratideling.py	bt		
19	1	RunScript	python 72a_WB_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_72a_WB_naar_Stratideling.py	bt		
20	1	RunScript	python 72b_WB_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_72b_WB_naar_Stratideling.py	bt		
21	1	Remark	Kwastel							
22	1	RunScript	python 52_BXDE_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_52_BXDE_naar_Stratideling.py	bt		
23	1	RunScript	python 51_BXWV_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_51_BXWV_naar_Stratideling.py	bt		
24	1	RunScript	python 53_BXSL_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_53_BXSL_naar_Stratideling.py	bt		
25	1	RunScript	python 54_BXSC_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_54_BXSC_naar_Stratideling.py	bt		
26	1	RunScript	python 55_BXWD_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_55_BXWD_naar_Stratideling.py	bt		
27	1	Remark	Overige							
28	1	RunScript	python 70_AAOP_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_70_AAOP_naar_Stratideling.py	bt		
29	1	RunScript	python 40_Beta_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_40_Beta_naar_Stratideling.py	bt		
30	1	RunScript	python 41_NI_naar_Stratideling.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_41_NI_naar_Stratideling.py	bt		
31	1	CopyFile	stratideling_data Stratideling.csv stratideling_data			Stratideling_deel1.csv				
32	1	Remark	Stratideling: overzetten stratscript stratigrafie - deel2							
33	1	ChangeDir	stratideling							
34	1	Remark	Nabewerkingen en filters							
35	1	RunScript	python 80a_Onder_de_beta_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_80a_Onder_de_beta_filter.py	bt		
36	1	RunScript	python 80b_Onder_de_beta_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_80b_Onder_de_beta_filter.py	bt		
37	1	RunScript	python 81_DGM_lijer_valen_zoeklen.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_81_DGM_lijer_valen_zoeklen.py	bt		
38	1	RunScript	python 83_DR_onder_DRGL_wortl_DRGL_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_83_DR_onder_DRGL_wortl_DRGL_filter.py	bt		
39	1	RunScript	python 83_BX_onder_BXDE_wortl_WB_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_83_BX_onder_BXDE_wortl_WB_filter.py	bt		
40	1	RunScript	python 83_WB_onder_EE_wortl_EE_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_83_WB_onder_EE_wortl_EE_filter.py	bt		
41	1	RunScript	python 84_Gal_lussen_DR_en_DRGL_valen_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_84_Gal_lussen_DR_en_DRGL_valen_filter.py	bt		
42	1	RunScript	python 84_Gal_lussen_WB_en_EE_valen_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_84_Gal_lussen_WB_en_EE_valen_filter.py	bt		
43	1	RunScript	python 85_BX_onder_KRWV_wortl_KR_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_85_BX_onder_KRWV_wortl_KR_filter.py	bt		
44	1	RunScript	python 86_Ontl_nu_KR_BX_wortl_KR_BX_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_86_Ontl_nu_KR_BX_wortl_KR_BX_filter.py	bt		
45	1	Remark	Stratideling van onder naar boven sorteren							
46	1	RunScript	python 100_Sorteer_stratideling_ouder_naar_boven.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_100_Sorteer_stratideling_ouder_naar_boven			
47	1	Remark	Filters met omgekeerde sortering							
48	1	RunScript	python 101_NI_naar_NHO_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_101_NI_naar_NHO_filter.py	bt		
49	1	RunScript	python 102_Sorteer_nu_beta_filter.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_102_Sorteer_nu_beta_filter.py	bt		
50	1	RunScript	python 105_NET_AAOP_NAWA_OEC_op_NHO_wortl_AAOP	N	Y	stratideling_log	Log_script_105_NET_AAOP_NAWA_OEC_op_NHO_wortl			
51	1	Remark	Stratideling weer van boven naar onder sorteren							
52	1	RunScript	python 199_Sorteer_stratideling_boven_naar_ouder.py	N	Y	stratideling_log	Log_script_199_Sorteer_stratideling_boven_naar_ouder			

Figuur 4.3.12: Workflow manager voor werkproces Indelen stratigrafie.

Behalve als hulpmiddel om de programmatuur uit te voeren, dient de *workflow manager* ook als documentatiemiddel. Het werkproces Indelen stratigrafie is dankzij de *workflow manager* en de batchprogramma's in hoge mate geautomatiseerd en reproduceerbaar.

4.4 Modelleren stratigrafie (lagenmodel)

De eigenlijke modellering van GeoTOP bestaat uit de werkprocessen **Modelleren stratigrafie** en **Modelleren lithoklasse**. Beide werkprocessen maken gebruik van Isatis en een bijbehorende *workflow manager*. **Modelleren stratigrafie** berekent een lagenmodel (vergelijkbaar met dat van DGM en REGIS II), waarbij gerekend wordt met alle beschikbare boringen en sonderingen die het kwaliteitsfilter zijn gepasseerd. Behalve de vlakken zelf wordt ook de onzekerheid in de vlakken berekend. In het werkproces wordt een kwaliteitscontrole door geologische experts uitgevoerd. Het lagenmodel wordt opgenomen in de BRO.

In modelgebieden waar Holocene geulsystemen niet voorkomen of niet als aparte eenheden zijn gemodelleerd (het laatste geldt bijvoorbeeld voor Zeeland) bestaat Modelleren stratigrafie (lagenmodel) uit de volgende processtappen (Figuur 4.4.1):

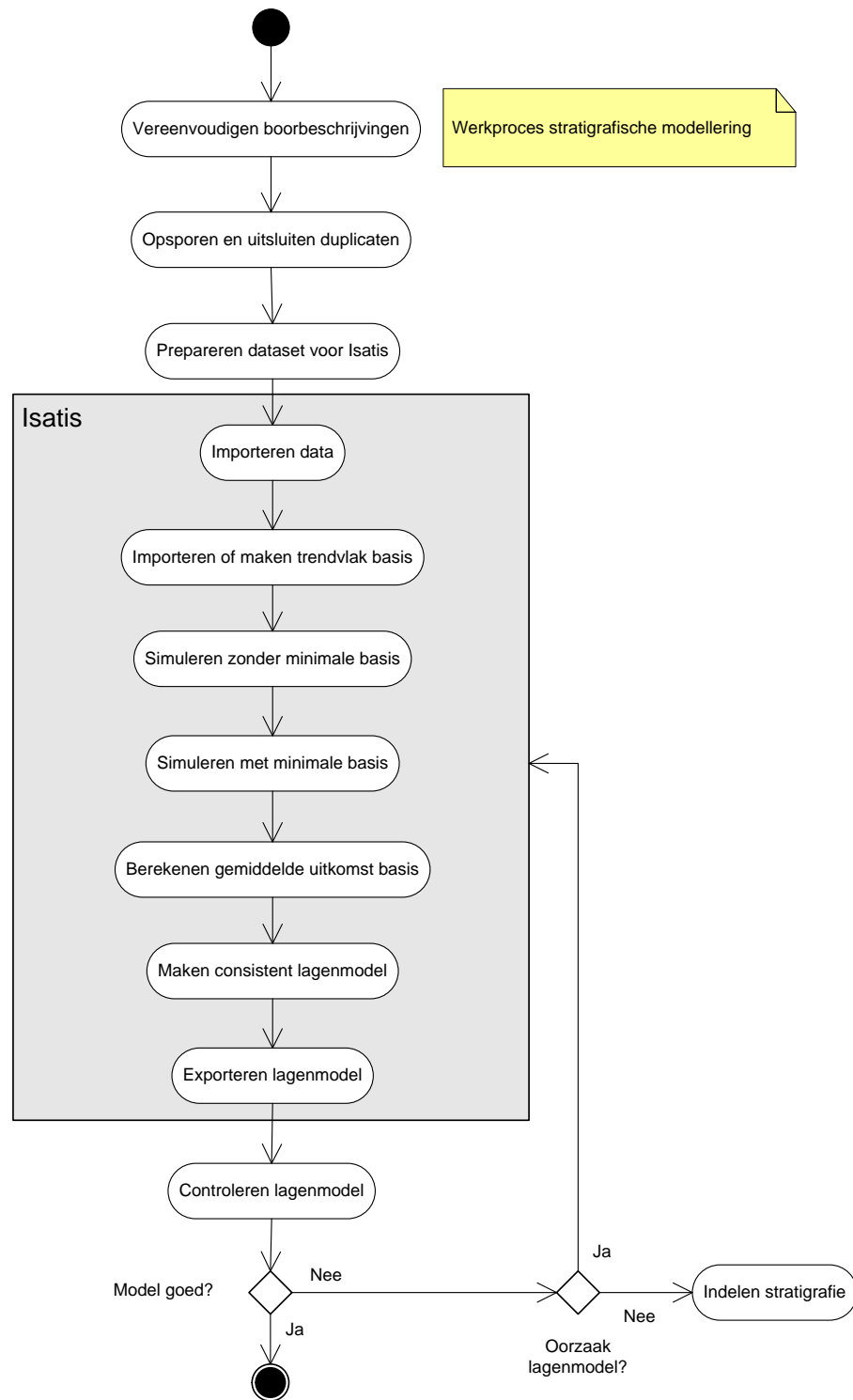
- Vereenvoudigen boorbeschrijvingen.
- Opsporen en uitsluiten duplicaten.
- Prepareren dataset voor Isatis.
- Isatis, met per te modelleren eenheid:
 - Importeren data.
 - Importeren of maken trendvlak basis.
 - Simuleren met boringen zonder minimale basis.
 - Simuleren met minimale basis.
 - Berekenen gemiddelde uitkomst en standaarddeviatie.
 - Maken consistent lagenmodel.

- Exporteren lagenmodel.
- Controleren lagenmodel.
- Optioneel: Berekenen kans op stratigrafie.

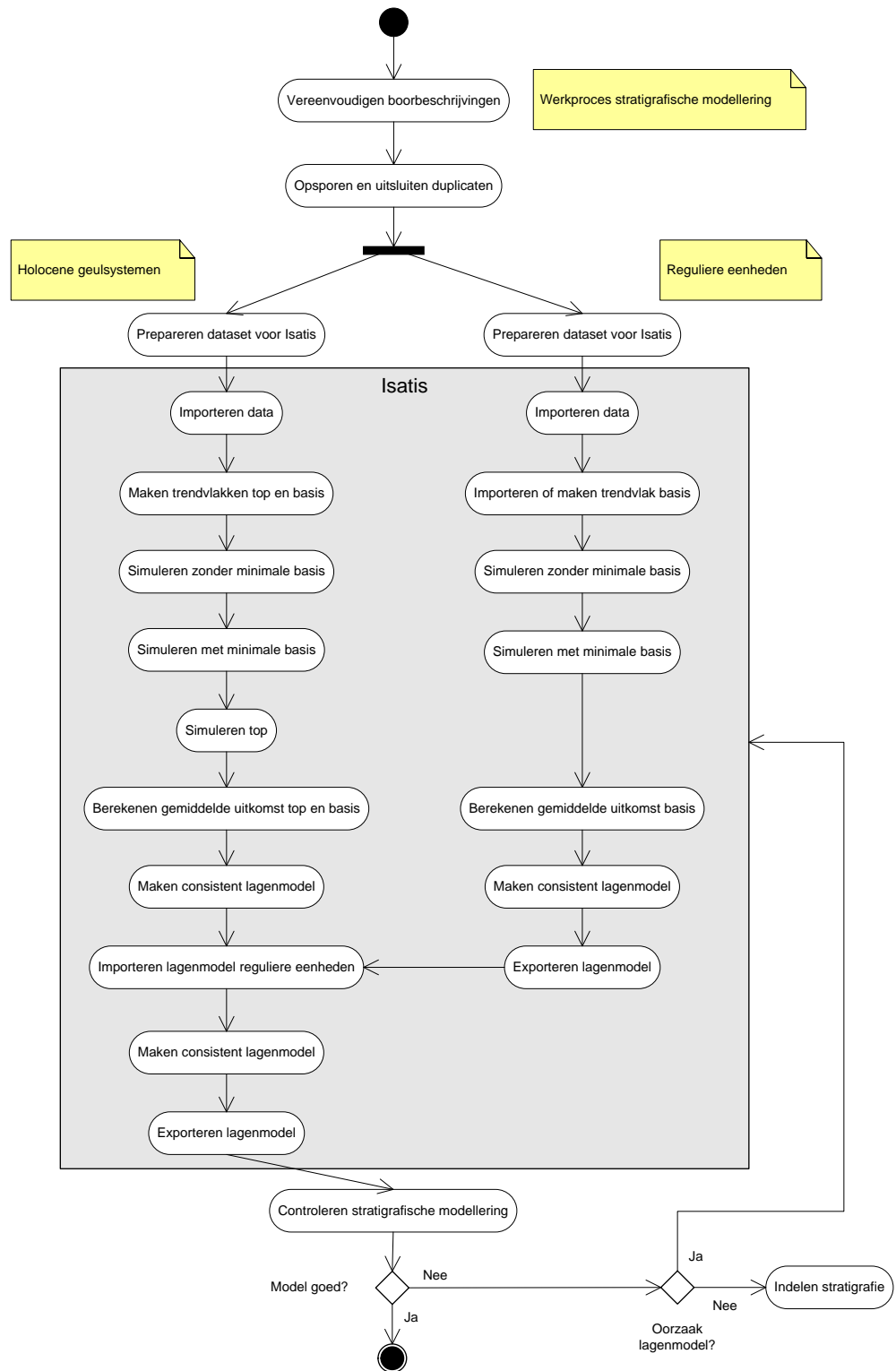
In modelgebieden waarin de Holocene geulsystemen als aparte eenheden zijn gemodelleerd (bijvoorbeeld Zuid-Holland, Noord-Holland en Rivierengebied) wordt het werkproces gedeeltelijk opgesplitst in een deel 'Holocene geulsystemen' en een deel 'Reguliere eenheden' (Figuur 4.4.2).

In onderstaande paragrafen wordt eerst beschreven hoe het werkproces verloopt voor de 'Reguliere eenheden'. Vervolgens wordt beschreven hoe de Holocene geulsystemen worden gemodelleerd en hoe deze worden gecombineerd met de andere eenheden tot één lagenmodel.

Daarna wordt de processtap *Berekenen kans op stratigrafie* beschreven. Dit is een processtap die ontwikkeld en getest is voor modelgebied Zeeland, maar momenteel niet meer wordt uitgevoerd omdat de toepasbaarheid gering is. Voor de volledigheid is de processtap hier wel opgenomen.



Figuur 4.4.1: Processtappen in het werkproces Modelleren stratigrafie voor modelgebieden waar Holocene geulsystemen niet voorkomen of niet als aparte eenheden zijn gemodelleerd.



Figuur 4.4.2: Processtappen in het werkproces Modelleren stratigrafie voor modelgebieden waar Holocene geulsystemen als aparte eenheden zijn gemodelleerd.

Het belangrijkste deel van het werkproces, weergegeven met een grijs blok in de Figuren 4.4.1 en 4.4.2, wordt met behulp van het softwarepakket Isatis van de Franse firma Geovariances uitgevoerd. Isatis is een geostatistisch analyse en modelleringspakket dat zowel interactief (met menselijk tussenkomst) als batchgewijs (zonder menselijke tussenkomst) aangestuurd kan worden. De batchgewijze aansturing wordt gefaciliteerd door een *workflow manager*, die in paragraaf 4.4.15 wordt beschreven.

4.4.1 Vereenvoudigen boorbeschrijvingen

De gedetailleerde boorbeschrijvingen en lithologisch geïnterpreteerde sonderingen die in het voorgaande werkproces zijn voorzien van stratigrafie worden sterk vereenvoudigd tot een bestand met de voor de lagenmodellering relevante boorgegevens. Dit bestand bevat per boring, per stratigrafische eenheid de volgende gegevens:

- Boornummer of sondeernummer.
- Locatie (x,y).
- Maaiveldhoogte (in meters ten opzichte van NAP).
- Top interval (in m ten opzichte van NAP).
- Basis interval (in m ten opzichte van NAP).
- Stratigrafische eenheid code.

Het vereenvoudigen van de boorgegevens is geautomatiseerd.

4.4.2 Opsporen en uitsluiten duplicaten

In DINO komen boorbeschrijvingen voor van boringen met gelijke (x,y)-coördinaten. Deze boorbeschrijvingen leveren duplicaten op in de input data voor Isatis, die tegenstrijdig kunnen zijn. Bijvoorbeeld de basis van de eenheid 'NAWA' ligt in boring A op 5 m onder NAP, en in boring B op 6 m onder NAP. De in GeoTOP gebruikte interpolatiemethoden kunnen niet met dergelijke duplicaten overweg.

In deze processtap wordt daarom onderzocht welke boringen op dezelfde locatie liggen. Vervolgens wordt één boring geselecteerd om mee te doen in de interpolatie en worden de overige boringen uitgesloten. Arbitrair wordt de boring met het laagste boornummer gekozen. Het uitsluiten gebeurt door de boringen op te nemen in een **uitsluitlijst** en **uit de vereenvoudigde boorbeschrijving te halen**. De uitsluitlijst die in deze processtap wordt aangemaakt is aanvullend op de uitsluitlijst die bij het toepassen van het kwaliteitsfilter en bij het controleren van de stratigrafie indeling is aangemaakt. Om een idee te geven van het aantal duplicaten: in modelgebied Rivierengebied is circa 2% van de DINO-boringen een duplicaat.

Deze processtap is geautomatiseerd.

4.4.3 Prepareren dataset voor Isatis

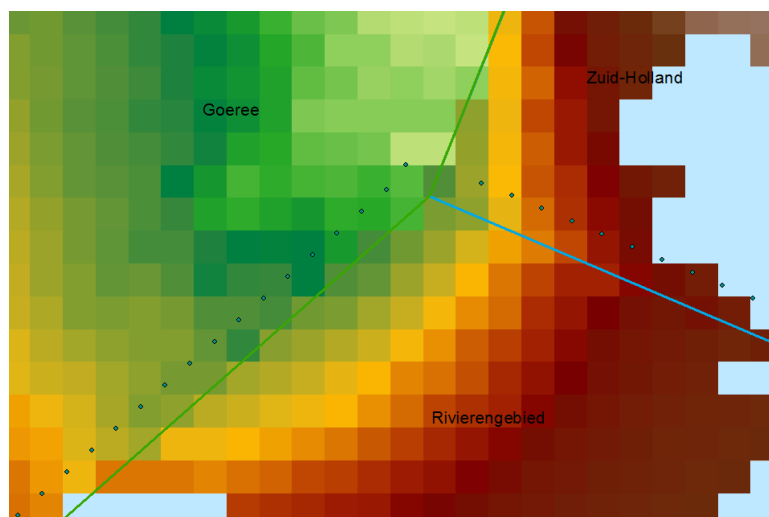
In deze processtap worden de boorbeschrijvingen geconverteerd naar een formaat dat geschikt is als input voor Isatis. Dit formaat bevat per te modelleren stratigrafische eenheid een bestand met daarin per boring de volgende gegevens:

- Boornummer.
- Locatie (x,y).
- Maaiveldhoogte (in m ten opzichte van NAP).
- Top interval (in m ten opzichte van NAP).
- Basis interval (in m ten opzichte van NAP).
- Minimale basis van het interval (in m ten opzichte van NAP).

Voor boringen die de betreffende eenheid volledig doorboren (d.w.z. onder de betreffende eenheid is in de boring nog een andere eenheid aangetroffen) is de minimale basis gelijk aan de basis. Voor boringen die de eenheid niet volledig doorboren (zogenaamde “dieper dan boringen”) is alleen de minimale basis bekend. De minimale basis wordt dan gevuld met de einddiepte van de boring en de basis wordt gevuld met “N/A” (“not applicable”).

In de boorkolom in Figuur 4.3.10 (paragraaf 4.3.7) geldt bijvoorbeeld dat eenheid ‘PZWA’ alleen een minimale basis heeft; de overige eenheden worden volledig doorboord en hebben een basis.

Indien een eenheid grenst aan een of meerdere andere modelgebieden waarin de eenheid ook voorkomt wordt per eenheid een aanvullende dataset met “bufferpunten” gemaakt om een goede aansluiting tussen de modelgebieden te verkrijgen. Deze aanvullende dataset bestaat uit locaties (x,y) in een bufferzone rondom het modelgebied waar de eenheid in een of meerdere andere modelgebieden voorkomt (Figuur 4.4.3) en zal in de interpolatie als harde data worden meegenomen.



Figuur 4.4.3: Bufferpunten op een vaste afstand van de grens van Rivierengebied in de aangrenzende gebieden Goeree en Zuid-Holland.

Deze processtap is geautomatiseerd, met uitzondering van het maken van de bufferpunten. De bufferpunten worden handmatig aangemaakt met behulp van GIS operaties in ArcGIS.

4.4.4 Importeren data

Voor elke eenheid wordt de volgende data in Isatis geïmporteerd:

- De boorgegevens die in de vorige processtap zijn gemaakt.
- Voor eenheden die gebaseerd worden op DGM of REGIS II:
 - DGM of REGIS II basisvlak (raster).
 - Breuken waarin de breuken zijn opgenomen die de basis van de eenheid snijden (shapefile) uit DGM.
 - Potentiele verbreidingsgrens van de eenheid (raster) uit DGM.

- Voor eenheden die niet gebaseerd worden op DGM of REGIS II:
 - Verrasterde verbreidingsgrens (raster).
- Indien de eenheid grenst aan een of meerdere andere modelgebieden waarin de eenheid ook voorkomt worden de basisrasters van die eenheid in de andere modelgebieden geïmporteerd en de in de voorgaande processtap gemaakte bufferpunten. De punten en vlakken worden gebruikt om een goede aansluiting tussen de modelgebieden te verkrijgen.

Verder wordt de volgende algemene informatie geïmporteerd:

- Maaiveld- en waterbodemhoogtebestand van het modelgebied (raster).
- Horizontale begrenzing van het modelgebied (raster).

In Isatis worden de boorgegevens voor elke eenheid opgesplitst in twee subsets: één set met daarin de boringen die de basis van de eenheid bereikt hebben, en één subset met boringen die de basis van de eenheid niet bereikt hebben. Zie ook de uitleg in de vorige paragraaf.

Voor eenheden die grenzen aan een of meerdere andere modelgebieden waarin de eenheid ook voorkomt worden de bufferpunten gesneden met de basisvlakken uit die andere modelgebieden om van de locatie (x,y) de diepteligging van het vlak (z) te bepalen. Het resultaat (x,y,z) wordt toegevoegd aan de boorgegevens met boringen die de basis van de eenheid bereikt hebben.

Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis liggen vast in de *workflow manager*.

4.4.5 *Importeren of maken trendvlak basis*

Om de regionale trend van de basis van de niet-DGM eenheden vast te stellen wordt een trendvlak berekend. Dit gebeurt met de *Linear Kriging* methode waarbij de boorgegevens met boringen die de basis van de eenheid bereikt hebben worden geïnterpoleerd tot een vlak met een grove rastercelgrootte, bijvoorbeeld 500 x 500 of 1000 x 1000 m.

Voor eenheden die gebaseerd worden op DGM of REGIS II geldt dat er al een trendvlak is: dit is namelijk het DGM of REGIS II basisvlak.

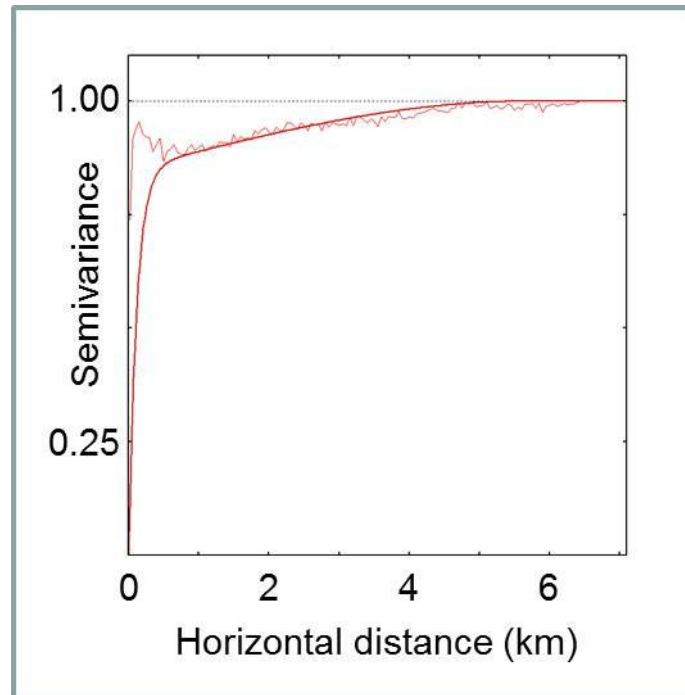
Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis liggen vast in de *workflow manager*.

4.4.6 *Simuleren zonder minimale basis*

Voor elke eenheid worden de boringen die de basis van de eenheid bereikt hebben vergeleken met het trendvlak. Het verschil tussen de boring (puntwaarneming) en het trendvlak heet een residu. De grootte van een residu is een maat voor hoe goed het vlak overeenkomt met de data. Bovendien worden op deze manier eventuele grootschalige trends uit de dataset gehaald, waardoor de resterende ruimtelijke correlatie beter bepaald kan worden.

De berekende residuen worden vervolgens met een *normal score transformation* Gaussisch getransformeerd. Dit betekent dat de residuen een normale verdeling krijgen met een gemiddelde van 0, en een standaarddeviatie van 1. Deze transformatie is noodzakelijk omdat de gekozen interpolatie techniek uitgaat van normaal verdeelde variabelen.

Van de normaal verdeelde residuen wordt vervolgens de ruimtelijke correlatie bepaald en met behulp van een semi-variogram beschreven (Chilès & Delfiner, 2012; Figuur 4.4.4). Deze variogram-analyse is een noodzakelijke, handmatige stap in een voor het overige geautomatiseerde procedure. De resultaten van de variogram-analyse wordt vastgelegd in de *workflow manager*.



Figuur 4.4.4: Voorbeeld van een variogram van het Laagpakket van Walcheren van de Formatie van Naaldwijk in modelgebied Zeeland. De dunne, kronkelige lijn is het experimentele variogram dat uit een statistische analyse van de data volgt. De dikke, gladde lijn is het variogram model waarmee de modelleur de ruimtelijke correlatie beschrijft. In beide gevallen gaat het om de ruimtelijke correlatie in de residuen van de basis van de eenheid.

Voor elke rastercel binnen de potentiële verbreiding van de eenheid wordt nu een voorspelling van de residuele waarde berekend. Hiervoor wordt een *Conditional Sequential Gaussian Simulation (SGS)* (Goovaerts, 1997; Chilès & Delfiner, 2012) uitgevoerd met een *Standard Moving Neighborhood*. De simulatie wordt 10 keer uitgevoerd, resulterend in 10 realisaties of voorspellingen van de residuele waarde.

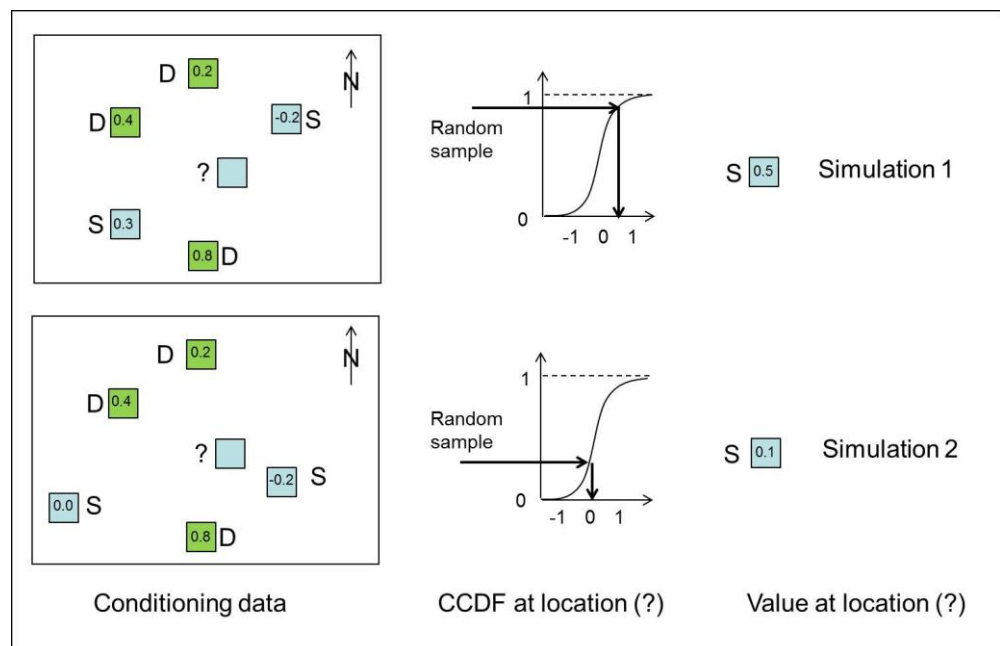
SGS schat de waarde van het residu voor een gegeven rastercel op basis van de datapunten in een cirkelvormig zoekgebied (*neighborhood*) rondom de rastercel en het variogram model dat de ruimtelijke correlatie beschrijft. Het variogram model zorgt ervoor dat de dichtstbij gelegen datapunten het grootste gewicht krijgen in de interpolatie.

Een bijzonderheid van SGS is dat behalve de datapunten ook eerder geschatte waarden in het zoekgebied worden meegewogen in de interpolatie. Door nu de rastercellen middels een *random* pad te bezoeken, zal in elke simulatie een andere set aan eerder geschatte waarden in het zoekgebied liggen.

Uit de datapunten, de eerdere geschatte rastercellen en de gewichten die volgen uit het variogram model wordt de *conditionele cumulatieve data functie* (CCDF) voor de rastercel bepaald met behulp van *simple kriging*. Uit de CCDF wordt vervolgens *random* een waarde getrokken en dit wordt de voorspelde residuele waarde van de rastercel.

De SGS procedure kan als volgt worden samengevat (Figuur 4.4.5; Goovaerts, 1997; Chilès & Delfiner, 2012):

- 1) Bepaal een *random* pad waarmee elke rastercel binnen de potentiële verbreiding eenmaal wordt bezocht.
- 2) Bepaal op elke rastercel binnen de potentiële verbreiding de statistische parameters van de CCDF (gemiddelde en standaard deviatie) voor die rastercel. Doe dit met behulp van *simple kriging* op basis van de conditionerende data binnen het zoekgebied en het variogram model. De conditionerende data bestaat uit de Gaussisch getransformeerde residuen van de boorgegevens en de voorspelde residuele waarden op de eerder bezochte rastercellen binnen het zoekgebied.
- 3) Trek een willekeurige waarde uit de CCDF, en voeg het toe aan de set met waarden van eerder bezochte rastercellen.
- 4) Ga naar de volgende rastercel langs het *random* pad, en herhaal stap 2) en 3)
- 5) Herhaal stap 1) t/m 4) voor elk van de 10 simulaties, en kies telkens een ander *random* pad.



Figuur 4.4.5: Schematische weergave van twee verschillende simulaties van residuele waarde voor dezelfde rastercel "?". In simulatie (1) en simulatie (2) zijn de datapunten ("D") in het zoekgebied gelijk, maar doordat gebruik gemaakt wordt van een random pad zijn de eerder voorspelde residuele waarden ("S") verschillend. Daardoor wordt een verschillend CCDF geconstrueerd waaruit een random trekking wordt gedaan die de residuele waarde voor de rastercel "?" oplevert.

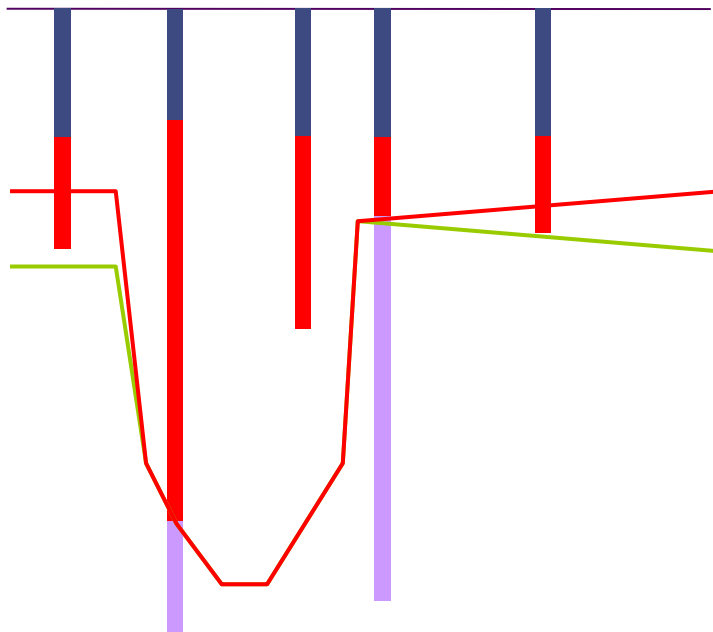
Het voordeel van deze methode is dat de resulterende vlakken een minder glad beeld laten zien, dan vlakken gemaakt met een niet-sequentiële methode als kriging en dat er meerdere even-waarschijnlijke realisaties gemaakt worden. Op deze manier kunnen we de reële variatie in het vlak beter benaderen dan met een niet-sequentiële interpolatie.

Tot slot worden de Gaussische transformatie van de geïnterpoleerde residuen terug gedraaid en wordt het resultaat opgeteld bij het trendvlak van de eenheid. Omdat er 10 realisaties zijn gemaakt, resulteert dit in 10 nieuwe vlakken. Deze vlakken zijn de nieuwe trendvlakken voor de simulatie in de nu volgende processtap *Simuleren met minimale basis*.

Afgezien van de variogram-analyse is deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis inclusief het variogram model liggen vast in de *workflow manager*.

4.4.7 *Simuleren met minimale basis*

Elk van de 10 nieuwe trendvlakken wordt nogmaals met de beschikbare boorgegevens vergeleken. In de boorgegevens worden nu echter ook de boringen die de basis van de eenheid *niet* bereikt hebben betrokken. Deze boringen zijn echter van belang omdat zij laten zien hoe diep de basis van de eenheid minimaal moet liggen. Met name in diep gelegen delen van de eenheid, waar de boorgegevens schaars zijn, komt deze “dieper dan” informatie van pas (Figuur 4.4.6).



Figuur 4.4.6: De invloed van het meenemen van minimale basis informatie in de 'rode' eenheid. De rode lijn stelt de trendvlakbasis van de eenheid voor na de simulatie zonder minimale basis. In deze simulatie waren alleen de boringen betrokken waar onder de rode eenheid nog een andere eenheid aanwezig is (tweede en vierde boring van links). De groene lijn stelt de nieuwe basis van de eenheid voor nadat ook de minimale basis informatie is meegenomen (eerste en vijfde boring van links). De derde boring van links heeft geen invloed omdat het vlak uit de eerste simulatie al dieper lag dan de boring aangaf.

Als het trendvlak al dieper ligt dan de minimale basis van de boorgegevens wordt het datapunt niet meegenomen. Als blijkt dat het vlak *ondieper* ligt dan de minimale basis, dan wordt er een nieuwe basis gemaakt, die de minimale basis neemt minus 1 m (voor enkele eenheden wordt een afwijkende waarde van bijvoorbeeld 0,5 m toegepast).

Vervolgens worden de residuen bepaald van de nieuwe basis ten opzichte van de 10 trendvlakken. Dit geeft 10 sets van de residuen. Daarna wordt dezelfde SGS simulatie nogmaals 10 keer uitgevoerd voor elke set van residuen. Dit resulteert in 10 x 10 is 100 realisaties van de residuen. Opgeteld bij het stuurvlak levert dit 100 realisaties van het basisvlak van de eenheid.

Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis inclusief het variogram model liggen vast in de *workflow manager*.

4.4.8 *Berekenen gemiddelde uitkomst basis*

Voor elke te modelleren stratigrafische eenheid beschikken we nu over 100 realisaties van de basis van de eenheid. Van de 100 realisaties wordt het *gemiddelde* berekend en de *standaarddeviatie*. Alle verdere berekeningen en bewerkingen gaan uit van dit gemiddelde en deze standaarddeviatie; de 100 realisaties worden opgeslagen maar (momenteel) niet verder gebruikt.

Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis liggen vast in de *workflow manager*.

4.4.9 *Uitzondering: Antropogeen*

Er geldt een uitzondering voor de eenheid Antropogeen. Voor deze eenheid geldt dat er binnen de verspreidingsgrens van het Antropogeen een dikte wordt gesimuleerd in plaats van de basis. De gemodelleerde dikte wordt vervolgens afgetrokken van het maaiveld om tot de basis van het Antropogeen te komen. Verder geldt dat het Antropogeen binnen de verspreidingsgrens een minimale dikte krijgt van 0,5 m (resultierend in 1 voxel in het voxelmodel).

Afgezien van de variogram-analyse is deze processtap geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis inclusief het variogram model liggen vast in de *workflow manager*.

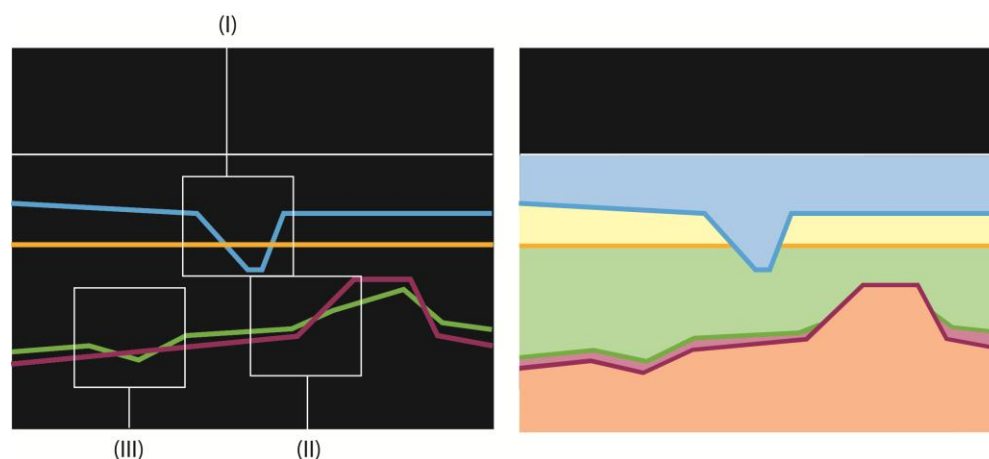
4.4.10 *Maken consistent lagenmodel*

In deze processtap worden de gemiddelde basisvlakken (inclusief die van het Antropogeen) gecombineerd tot een geïntegreerd, consistent lagenmodel, waarbij de stratigrafische positie en de onderlinge geologische afsnijdingsrelaties van de eenheden gehonoreerd worden. Deze relaties zijn bekend uit het in een eerder werkproces opgestelde conceptuele geologische model.

Het consistent maken van de vlakken bestaat uit het systematisch vergelijken van elk basisvlak met de basisvlakken van de stratigrafisch hoger gelegen eenheden. Uit deze vergelijking zal veelvuldig blijken dat de basis van een hoger gelegen eenheid de basis van een onderliggende eenheid doorsnijdt. In het algemeen zijn er drie doorsnijdingsrelaties mogelijk, elk met een verschillend effect op het lagenmodel (Figuur 4.4.7):

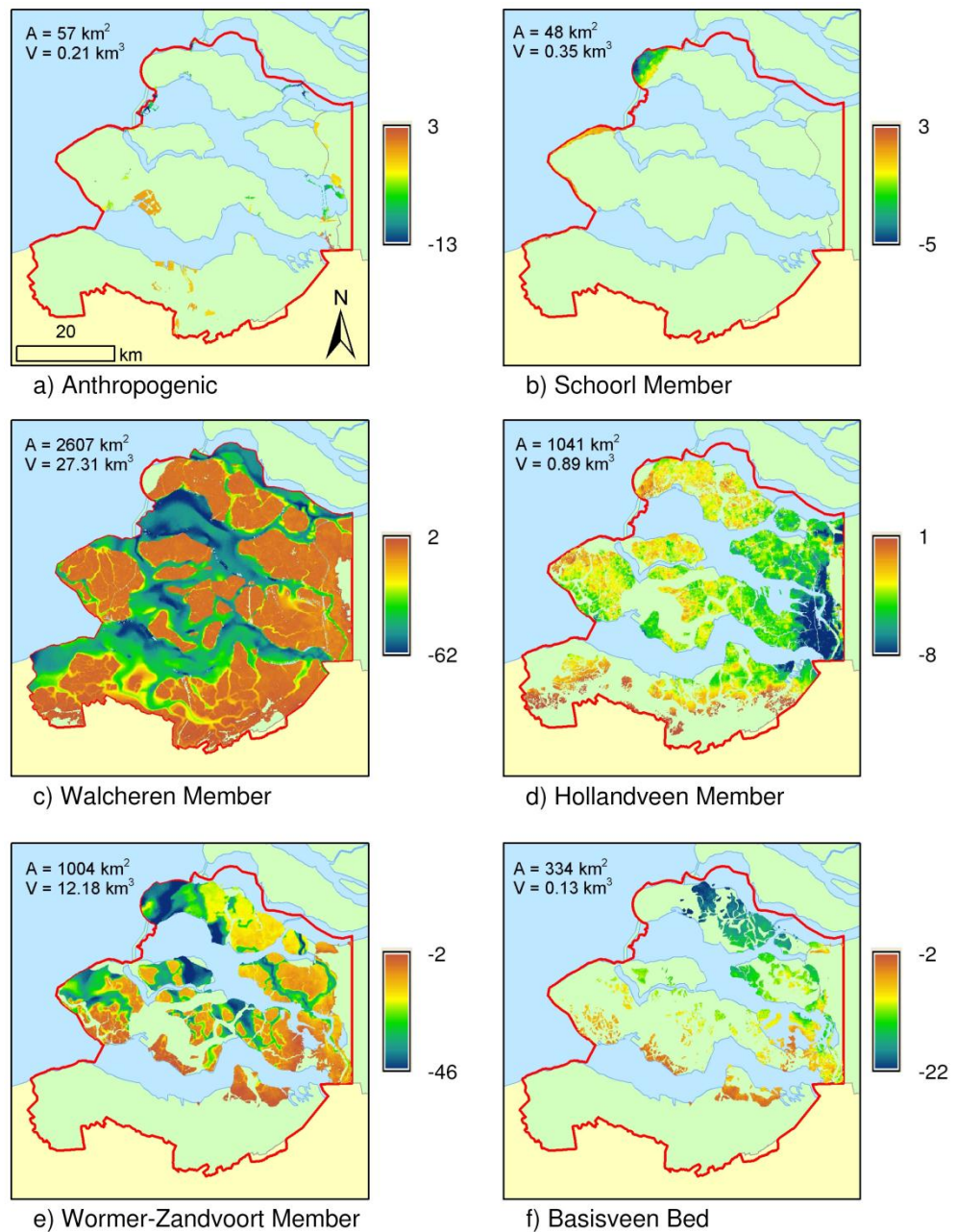
- I. De bovenliggende eenheid heeft de onderliggende eenheid geërodeerd. In dit geval wordt de onderliggende eenheid geclipt door de bovenliggende. Dit is de meest voorkomende relatie.
- II. De bovenliggende eenheid is afgezet tegen het reliëf van de onderliggende eenheid. In dit geval wordt de bovenliggende eenheid geclipt door de onderliggende. Voorbeelden van onderliggende eenheden die een reliëf vormen zijn de donken / rivierduinen en de stuwwallen.
- III. De doorsnijding is een artefact van de interpolatie waarbij twee concordante eenheden betrokken zijn. Een voorbeeld is de basis van de dunne Basisveen Laag in modelgebied Zeeland die abusievelijk veelvuldig wordt weggesneden door de basis van de bovenliggende eenheden, terwijl bekend is dat de Basisveen Laag binnen de verspreidingsgrenzen vrijwel overal voorkomt. In dit geval wordt de basis van de onderliggende eenheid verlaagd tot een vaste waarde (bijvoorbeeld 50 cm voor de Basisveen Laag) onder de basis van de bovenliggende eenheid.

De hoogst gelegen eenheid waarmee alle andere eenheden volgens relatie (I) worden geclipt is het maaiveld- en waterbodemoogte vlak.



Figuur 4.4.7: Het consistent maken van de berekende basis vlakken. Links de basisvlakken als uitkomst van de simulaties; rechts het consistente lagenmodel. Bij I snijdt de bovenliggende eenheid de onderliggende eenheid af. Dit is de meest voorkomende doorsnijdingsrelatie. Bij II wigt de bovenliggende eenheid uit tegen de onderliggende eenheid. Voorbeelden zijn de donken / rivierduinen en de stuwwallen. Bij III wordt het onderliggende vlak aangepast aan de ligging van de bovenliggende eenheid, zoals bijvoorbeeld gebeurt bij de Basisveen Laag.

Een voorbeeld van een set consistent gemaakte basisvlakken wordt weergegeven in Figuur 4.4.8.



Figuur 4.4.8: Rasterkaarten van de diepteligging (in m ten opzichte van NAP) van de basis van de Holocene eenheden die in modelgebied Zeeland worden onderscheiden. A = oppervlakte van de eenheid; V = volume van de eenheid. Overgenomen uit Staffeu et al. (2011b).

Na het consistent maken van de basis vlakken wordt voor elke eenheid een top vlak afgeleid van de bovenliggende basis vlakken. Ook de standaarddeviatie van de top wordt berekend uit de standaarddeviaties van de bovenliggende basissen. Tot slot wordt voor elke eenheid de dikte berekend uit het verschil tussen top en basis.

Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis (inclusief het variogram model) liggen vast in de *workflow manager*.

4.4.11 *Exporteren lagenmodel*

Vervolgens worden de vlakken geëxporteerd, waarbij het eindresultaat van de modellering per stratigrafische eenheid ("mmmm"), een vijftal ArcAscii-grids is:

Bestand	Toelichting
mmmm_bcc.asc	Basis van de eenheid, gemiddelde van 100 realisaties
mmmm_tcc.asc	Top van de eenheid, afgeleid uit de basisvlakken en de onderlinge stratigrafische relaties van de modeleenheden.
mmmm_dcc.asc	Dikte van de eenheid, verschil tussen top en basis
mmmm_std_bcc.asc	Standaard deviatie in de 100 realisaties van de basis van de eenheid
mmmm_std_tcc.asc	Standaard deviatie in de top van de eenheid, afgeleid uit de standaard deviaties van de basisvlakken en de onderlinge stratigrafische relaties van de modeleenheden.

Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis inclusief het variogram model liggen vast in de *workflow manager*.

4.4.12 *Controleren lagenmodel*

Het lagenmodel wordt door een gebiedsdeskundig geoloog gecontroleerd (*quality control*). Hij doet dit in samenhang met de stratigrafische indeling van de boorbeschrijvingen. Het resultaat van de stratigrafische indeling heeft immers een groot effect op het lagenmodel.

De controlerend geoloog beoordeeld het model aan de hand van sleutelprofielen waarin de verticale opeenvolging van het lagenmodel is afgebeeld, kaarten van top, basis en dikte van de verschillende eenheden en 3D beelden in de 3D visualisatieomgeving van Isatis. Aandachtspunten zijn onder meer de diepteligging van de eenheden, de diktes, de onderlinge afsnijdingsrelaties, en de werkelijke verbreidingen in vergelijking met de potentiële verbreiding. Ook wordt gekeken naar verschillen tussen boorgegevens en de basisvlakken: zijn er uitbijters die artefacten in de vlakken veroorzaken?

Net als bij de controle van de stratigrafische indeling legt de controlerend geoloog eventuele bevindingen vast in een bevindingenlijst, met per bevinding de volgende items:

- Volgnummer van de bevinding.
- Datum.
- Status ('Open', 'Opgelost', 'Niet oplossen'; initieel: 'Open').
- Nummer van profiel waarin bevinding is geconstateerd.
- Boornummer waarin bevinding is geconstateerd.
- Stratigrafische eenheid waarop bevinding betrekking heeft.
- Beschrijving van de bevinding.
- Eventuele bijlagen.

De bevindingen worden geanalyseerd door de modellers en met de controlerend geoloog besproken. Bij de analyse worden de volgende zaken vastgelegd:

- Prioriteit ('Laag', 'Midden', 'Hoog').
- Analyse: oorzaak en gewenste oplossing.
- Oplossing status ('Direct oplossen', 'Volgende release', 'Niet oplossen').

Prioriteit en oplossing status worden in gezamenlijk overleg met de controlerend geoloog vastgesteld. De bevindingen waarvoor besloten is ze op te lossen worden door de modellers in het model verwerkt. Bij de eerstvolgende iteratie van de modellering wordt opnieuw gecontroleerd en krijgen opgeloste bevindingen de status 'Opgelost'. Indien er, na een aantal iteraties, geen bevindingen meer zijn die opgelost moeten worden is het eindpunt van het werkproces Modelleren stratigrafie bereikt.

Bevindingen die eindigen met de status 'Volgende release' worden opgenomen in een algemene bevindingenlijst van GeoTOP. In deze algemene bevindingenlijst zijn dus bevindingen van meerdere modelgebieden opgenomen.

Afhankelijk van de bevindingen wordt een (deel van) het werkproces Modelleren stratigrafie opnieuw uitgevoerd. In de praktijk worden echter ook nu nog bevindingen gedaan die te maken hebben met het werkproces Indelen stratigrafie. Dit komt omdat deze eerdere controle zich beperkte tot een aantal controleprofielen, en het lagenmodel voor het eerst het ruimtelijke effect van de stratigrafische indeling zichtbaar maakt.

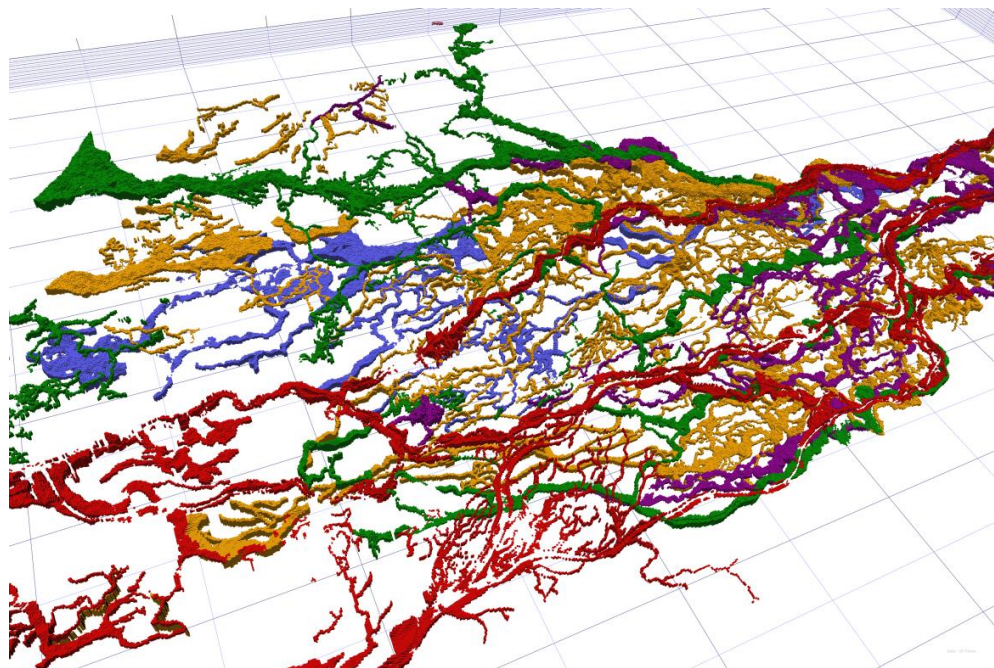
Afhankelijk van de aard van deze bevindingen kan daarom worden besloten ook (een deel van) het werkproces Indelen stratigrafie opnieuw uit te voeren.

Net als bij de controle van Indelen stratigrafie worden ook hier nog veel bevindingen veroorzaakt door boringen van lage kwaliteit, de zogenaamde 'uitbijters'. Deze boringen zijn zichtbaar doordat ze een afwijkende piek of put in de basis van een eenheid veroorzaken.

De boring wordt in voorkomende gevallen opgenomen in de **uitsluitlijst** die in processtap *Opsporen en uitsluiten duplicaten* voor het eerst is aangemaakt.

4.4.13 *Werkproces met Holocene geulsystemen*

De bovenstaande paragrafen beschrijven het werkproces voor de modelgebieden waar Holocene geulsystemen niet voorkomen of niet als aparte eenheden zijn gemodelleerd (het laatste geldt bijvoorbeeld voor Zeeland). In modelgebieden waarin de Holocene geulsystemen als aparte eenheden zijn gemodelleerd (bijvoorbeeld Zuid-Holland, Noord-Holland en Rivierengebied; Figuur 4.4.9) wordt het werkproces deels opgesplitst in een deel 'Holocene geulsystemen' en een deel 'Reguliere eenheden' (Figuur 4.4.2).



Figuur 4.4.9: Lagenmodel van de Holocene geulsystemen in midden en west Nederland. De kleuren geven de verschillende generaties of relatieve ouderdommen weer.

In Figuur 4.4.2 is te zien dat de Holocene geulsystemen een eigen werkproces hebben dat grotendeels parallel aan die van de 'reguliere eenheden' wordt uitgevoerd. Het werkproces is grotendeels gelijk aan dat van de 'reguliere eenheden', maar verschilt op de volgende punten:

- **Generaties** – De Holocene geulsystemen worden per generatie (relatieve ouderdom) gemodelleerd. Een voorbeeld is het geulsysteem van de Oude Rijn dat tot generatie 'B' behoort en de op één na jongste generatie is. De relatieve ouderdom geeft ook informatie over afsnijdingsrelaties: jongere geulen kunnen oudere doorsnijden. In het westen van het land geeft de relatieve ouderdom ook informatie over de relatieve diepteligging van de geulen in de ondergrond: hoe ouder hoe dieper.
 - **Stratigrafische indeling** – De geulen maken deel uit van drie Holocene stratigrafische eenheden die in de Nomenclator bekend zijn. Dit zijn de Formatie van Echteld ('EC') voor het fluviaale bereik en de Laagpakketten van Walcheren ('NAWA') en Wormer ('NAWO') van de Formatie van Naaldwijk voor het mariene bereik. De stratigrafische indeling speelt bij de modellering van de top en basisvlakken echter geen rol.
 - **Prepareren dataset voor Isatis** – Voor de geulen wordt per generatie één dataset met boorgegevens gemaakt. Naast de bij de reguliere eenheden genoemde attributen wordt ook de *top* van de geul in de dataset opgenomen.
 - **Importeren data** - Voor elke generatie wordt de volgende data in Isatis geïmporteerd:
 - De boorgegevens die in de vorige processtap zijn gemaakt.
 - Verbreidingsgrens (raster), zowel van de generatie als van de stratigrafische eenheden waaruit de generatie is opgebouwd.
- Verder wordt de volgende algemene informatie geïmporteerd:
- Maaiveld- en waterbodemoogtebestand van het modelgebied (raster).

- Horizontale begrenzing van het modelgebied (raster).
- **Maken trendvlakken top en basis** – Behalve een trendvlak voor de basis van de geul wordt ook een trendvlak voor de top gemaakt.
- **Simuleren met boringen zonder minimale basis** – Gelijk aan het simuleren van de reguliere eenheden.
- **Simuleren met minimale basis** – Gelijk aan het simuleren van de reguliere eenheden.
- **Simuleren top** – Gelijk aan *Simuleren met boringen zonder minimale basis* maar dan voor de top (NB: voor toppen wordt geen onderscheid gemaakt in 'doorboord' en 'minimale diepte'). Er worden 10 simulaties uitgevoerd.
- **Berekenen gemiddelde uitkomst en standaarddeviatie** – Deze berekening wordt zowel voor de top als voor de basis uitgevoerd.
- **Maken consistent lagenmodel** – De geul wordt eerst met het maaiveld, dan met zichzelf en tot slot met jongere generaties consistent gemaakt. Het eerste wil zeggen dat de top wordt verlaagd als de top hoger ligt dan het maaiveld. Het tweede wil zeggen dat de geul wordt verwijderd (geclipt) als de top onder de basis ligt. Het derde wil zeggen dat jongere geulen de oudere kunnen eroderen. Op basis van de verbreidingen van de stratigrafische eenheden 'EC', 'NAWA' en 'NAWO' worden de lagen opgedeeld in combinaties van generatie en stratigrafische eenheid.
- **Exporteren lagenmodel** – Van elke combinatie van generatie en stratigrafische eenheid worden vijf rasters geëxporteerd: top, basis, dikte, standaard deviatie top en standaard deviatie dikte.

Het deel 'Reguliere eenheden' is gelijk aan de processtappen die hierboven beschreven zijn met als eindpunt de export van het consistente lagenmodel. Dat consistente lagenmodel wordt in het Isatis project van de Holocene geulsystemen geïmporteerd – **processtap Importeren lagenmodel reguliere eenheden**.

Vervolgens worden de geulsystemen consistent gemaakt met de andere eenheden. Daarvoor geldt de regel dat een Holoceen geulsysteem altijd 'wint' van een reguliere eenheid, met als uitzondering de eenheid Antropogeen. Na het consistent maken wordt het volledige lagenmodel, reguliere eenheden en Holocene geulsystemen geëxporteerd – **processtap Exporteren lagenmodel**.

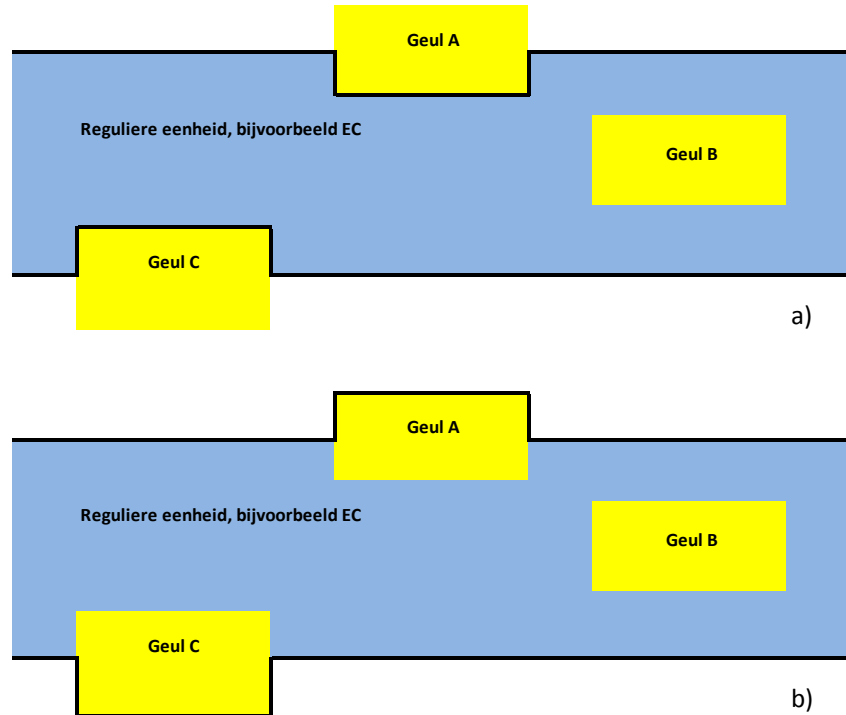
Er gelden twee bijzonderheden bij het consistent maken van geulen en reguliere eenheden in het lagenmodel.

Ten eerste komt de situatie voor waarbij een geul in zijn geheel wordt omsloten door één andere reguliere eenheid. In dat geval is het niet mogelijk om het lagenmodel volledig consistent te maken. Immers de basis van de geul ligt dan zowel onder de top als boven de basis van de reguliere eenheid ("Geul B" in Figuur 4.4.10).

Ten tweede zijn er twee manieren waarop de geulen in het lagenmodel gecombineerd worden met de reguliere eenheden:

- (1) De geul wordt gezien als zelfstandige modeleenheid. Dit is de hierboven beschreven werkwijze en is weergegeven in Figuur 4.4.10 a.
- (2) De geul wordt gezien als onderdeel van de corresponderende reguliere stratigrafische eenheid die de geul omvat. Deze werkwijze is weergegeven in Figuur 4.4.10 b.

Bij het uitleveren van het **lagenmodel** van GeoTOP aan de BRO of via DINO_Loket worden de reguliere eenheden uitgeleverd volgens methode (2). Bij het maken van een **voxelmodel** op basis van het lagenmodel geldt echter methode (1).



Figuur 4.4.10: Schematische weergave van de twee methoden waarmee Holocene geelsystemen (geel) en reguliere stratigrafische eenheden (blauw) worden gecombineerd tot één lagenmodel. De zwarte lijnen geven de top en basis van de reguliere eenheid weer. In a) loopt de top onder de basis van Geul A en loopt de basis over de top van Geul C. In b) omvat de reguliere eenheid zowel Geul A als Geul C.

4.4.14 Berekenen kans op stratigrafie

Berekenen kans op stratigrafie is een processtap die ontwikkeld en getest is voor modelgebied Zeeland, maar momenteel niet meer wordt uitgevoerd omdat de toepasbaarheid gering is. Voor de volledigheid wordt de processtap hier wel beschreven.

De standaarddeviaties die berekend zijn in Isatis worden gebruikt om voor de locatie (x,y,z) van elke voxel de kans te berekenen dat de cel deel uit maakt van een bepaalde lithostratigrafische eenheid. Deze processtap sorteert dus alvast voor op het voxelmodel dat in het volgende werkproces **Modelleren lithoklassen** gemaakt zal worden. De processtap kan echter direct na **Modelleren stratigrafie** al worden uitgevoerd.

Om de kansen te berekenen is een stochastische ("Monte Carlo") methode gebruikt, die geïmplementeerd is in een batchprogramma (Python).

De methode werkt als volgt:

Noem de verticale ligging (diepte) van de bovenkant van een geologische laag Z_1 , noem de ligging van de onderkant Z_2 (diepte wordt naar beneden toe positief gerekend). Beide zijn onzeker en worden gekarakteriseerd door een kansverdeling. We nemen aan dat Z_1 en Z_2 bivariaat normaal verdeeld zijn met gemiddelden μ_1 en μ_2 , varianties σ_1^2 en σ_2^2 , en correlatie ρ_{12} . In onderstaande formules horen bij de werkelijke waarden Z_1 en Z_2 uit de kansverdeling getrokken waarden z_1 en z_2 (geschreven met kleine letters).

We willen nu de kans berekenen dat een punt op diepte z zich in de geologische laag bevindt. Oftewel, we willen berekenen $P(z > Z_1 \text{ en } z < Z_2)$. Een analytische oplossing is niet voorhanden, daarom berekenen (benaderen) we hem numeriek als volgt:

1) Zet een **Teller** op nul. Met deze teller wordt bijgehouden hoe vaak in de simulatie $z > Z_1$ en $z < Z_2$.

2) Herhaal 500 keer:

Genereer een trekking z_1 uit:

$$N(\mu_1, \sigma_1^2)$$

(dit is de normale verdeling met gemiddelde μ_1 en variantie σ_1^2).

Genereer een trekking z_2 uit:

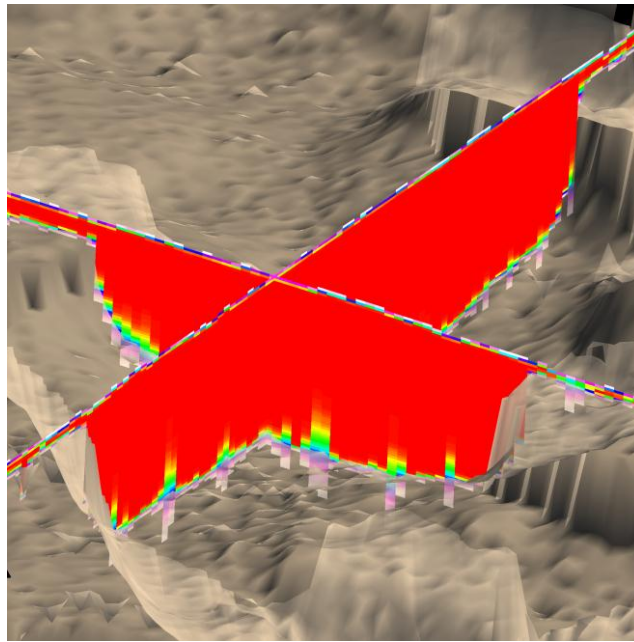
$$N\left(\mu_2 + \rho_{12} \cdot \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \cdot (z_1 - \mu_1), (1 - \rho_{12}^2) \cdot \sigma_2^2\right)$$

(dit is de conditionele kansverdeling van Z_2 gegeven $Z_1 = z_1$)

Hoog **Teller** op met 1 als $z > z_1$ en $z < z_2$

3) Bereken (schat) de gevraagde kans als Teller / 500.

Deze methode kan worden toegepast op alle gemodelleerde lithostratigrafische eenheden, inclusief de Holocene geulsystemen (Figuur 4.4.11). Een vereiste van de methode is de correlatiecoëfficiënt (ρ_{12}) tussen top en basis van elke eenheid. Deze correlatiecoëfficiënten geven aan in hoeverre het verloop van de diepteligging van de top samenhangt met die van de basis en zijn in Isatis berekend.



Figuur 4.4.11: Kans dat een voxel behoort tot het Laagpakket van Walcheren, weergegeven in een getijdegeul in Zeeland. De rode voxels liggen ruimschoots in het Laagpakket en hebben daarom een kans van 100% om tot het Laagpakket te horen. Dichter naar de top en basis toe geven de andere kleuren aan dat de kans afneemt.

Het resultaat van de berekening is per stratigrafische eenheid een 3D gridfile in Isatis-ASCII formaat.

Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis liggen vast in de *workflow manager*.

4.4.15 *Workflow management*

Het belangrijkste deel van het werkproces wordt met behulp van het softwarepakket Isatis van de Franse firma Geovariances uitgevoerd. Isatis is een geostatistisch analyse en modelleringspakket dat zowel handmatig als batchgewijs aangestuurd kan worden. In de batchgewijze werkwijze worden alle uit te voeren acties vastgelegd en zijn daarmee reproduceerbaar. Tevens biedt de batchgewijze werkwijze de mogelijkheid om de vaak langdurige berekeningen 's nachts of in het weekend uit te voeren.

De batchgewijze aansturing van Isatis gebeurt met zogenaamde *journal-files*, waarin instructies voor Isatis zijn opgenomen. Deze instructies worden vervolgens door Isatis sequentieel verwerkt. Het handmatig samenstellen van *journal-files* is niet eenvoudig. Daarom is in Microsoft Excel een zogenaamde *workflow manager* ontwikkeld waarmee *journal-files* aangemaakt kunnen worden.

Centraal in de *workflow manager* is het tabblad "gridactions" waar Isatis functies / acties worden opgenomen (Figuur 4.4.12).

Execu	Action	Parameters	
2	0	2	3
3	0	Action	4
4	0	Remark	5
5	0	Remark	6
6	0	Remark	7
7	0	Remark	8
8	0	Remark	9
9	0	Remark	10
10	0	Remark	11
11	0	Remark	12
12	0	Remark	13
13	0	Remark	14
14	0	Remark	15
15	0	Remark	16
16	0	Remark	17
17	0	Remark	18
18	0	Remark	19
19	0	Remark	20
20	0	Remark	21
21	0	Remark	22
22	0	Remark	23
23	0	Remark	24
24	0	Remark	25
25	0	Remark	26
26	0	Remark	27
27	0	Remark	28
28	0	Remark	29
29	0	Remark	30
30	0	Remark	31
31	0	Remark	32
32	0	Remark	33
33	0	Remark	34
34	0	Remark	35
35	0	Remark	36
36	0	Remark	37
37	0	Remark	38
38	0	Remark	39
39	0	Remark	40
40	0	Remark	41
41	0	Remark	42
42	0	Remark	43
43	0	Remark	44
44	0	Remark	45
45	0	Remark	46
46	0	Remark	47
47	0	Remark	48
48	0	Remark	49
49	0	Remark	50
50	0	Remark	51
51	0	Remark	52
52	0	Remark	53
53	0	Remark	54
54	0	Remark	55

Figuur 4.4.12: Workflow manager voor de lagenmodellering in Isatis.

Per uit te voeren functie is er 1 regel met de naam van de actie en de invoerparameters. Tevens is er een kolom waarmee de regel aan of uit gezet kan worden. Met behulp van een VBA script (macro) wordt een *journal-file* gecreëerd waarmee alle aangezette functies in Isatis kunnen worden uitgevoerd. De algemene functionaliteit van Excel maakt het mogelijk om snel functies te kopiëren of de volgorde aan te passen.

4.5 Modelleren lithoklasse (voxelmodel)

In **Modelleren lithoklasse** wordt allereerst de lagenmodel vertaald naar een voxelmodel. Elke voxel is dan gevuld met de juiste stratigrafische eenheid. Vervolgens wordt voor elke voxel binnen elke stratigrafische eenheid een lithoklasse inclusief een maat van modelonzekerheid berekend. In het werkproces wordt een kwaliteitscontrole door geologische experts uitgevoerd. Het voxelmodel wordt opgenomen in de BRO.

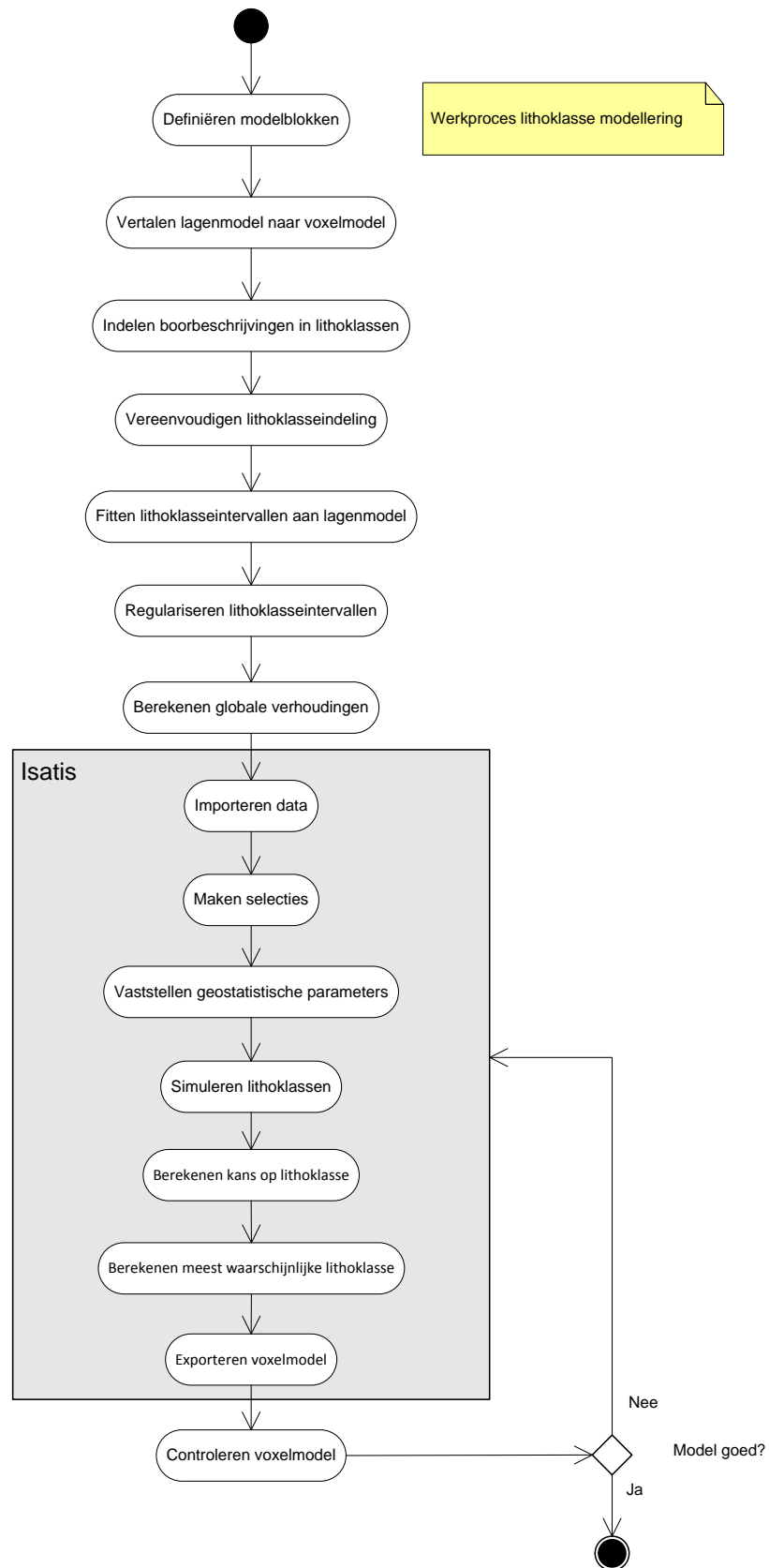
Modelleren lithoklasse (voxelmodel) bestaat uit de volgende processtappen (Figuur 4.5.1):

- Definiëren modelblokken.
- Vertalen lagenmodel naar voxelmodel.
- Indelen boorbeschrijvingen in lithoklassen.
- Vereenvoudigen lithoklasseintervallen.
- Fitten lithoklasseintervallen aan lagenmodel.
- Regulariseren lithoklasseintervallen.
- Berekenen globale verhoudingen.

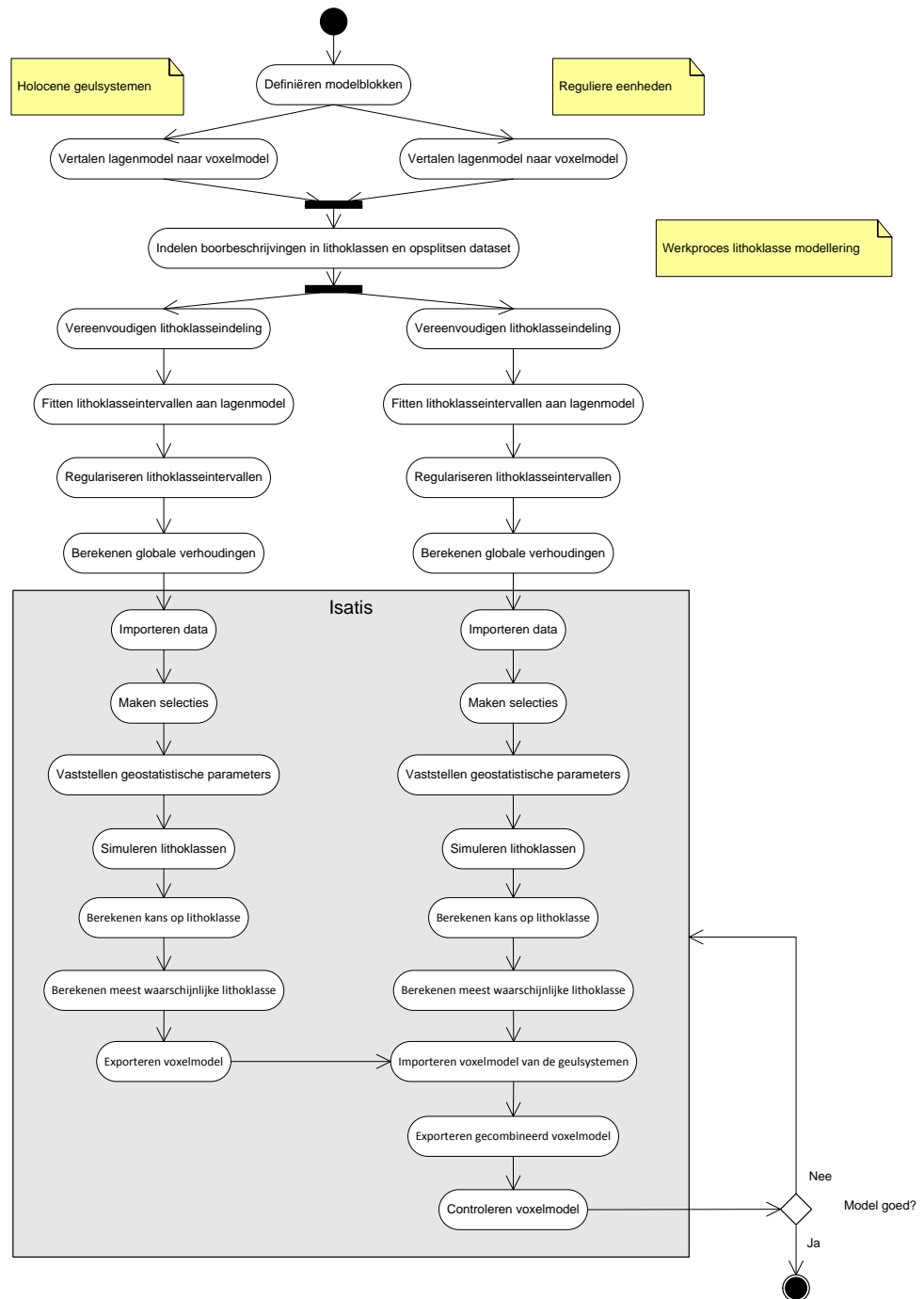
- Isatis:
 - Importeren data.
 - Maken selecties.
 - Vaststellen geostatistische parameters.
 - Simuleren lithoklassen.
 - Berekenen kans op lithoklasse.
 - Berekenen meest waarschijnlijke lithoklasse.
 - Exporteren voxelmodel met alle attributen.
- Controleren voxelmodel.

In modelgebieden waarin de Holocene geulsystemen als aparte eenheden zijn gemodelleerd (bijvoorbeeld Zuid-Holland, Noord-Holland en Rivierengebied) wordt het werkproces gedeeltelijk opgesplitst in een deel 'Holocene geulsystemen' en een deel 'Reguliere eenheden' (Figuur 4.5.2).

In onderstaande paragrafen wordt eerst beschreven hoe het werkproces verloopt voor de 'Reguliere eenheden'. Vervolgens wordt beschreven hoe de Holocene geulsystemen worden gemodelleerd en hoe deze worden gecombineerd met de andere eenheden tot één voxelmodel.



Figuur 4.5.1: Processtappen in het werkproces Modelleren lithoklasse voor modelgebieden waar Holocene geulsystemen niet voorkomen of niet als aparte eenheden zijn gemodelleerd.



Figuur 4.5.2: Processtappen in het werkproces Modelleren lithoklasse voor modelgebieden waar Holocene geulsystemen als aparte eenheden zijn gemodelleerd.

Het belangrijkste deel van het werkproces, weergegeven met een grijs blok in de Figuren 4.5.1 en 4.5.2, wordt met behulp van het softwarepakket Isatis van de Franse firma Geovariances uitgevoerd. Isatis is een geostatistisch analyse en modelleringspakket dat zowel interactief (met menselijk tussenkomst) als batchgewijs (zonder menselijke tussenkomst) aangestuurd kan worden.

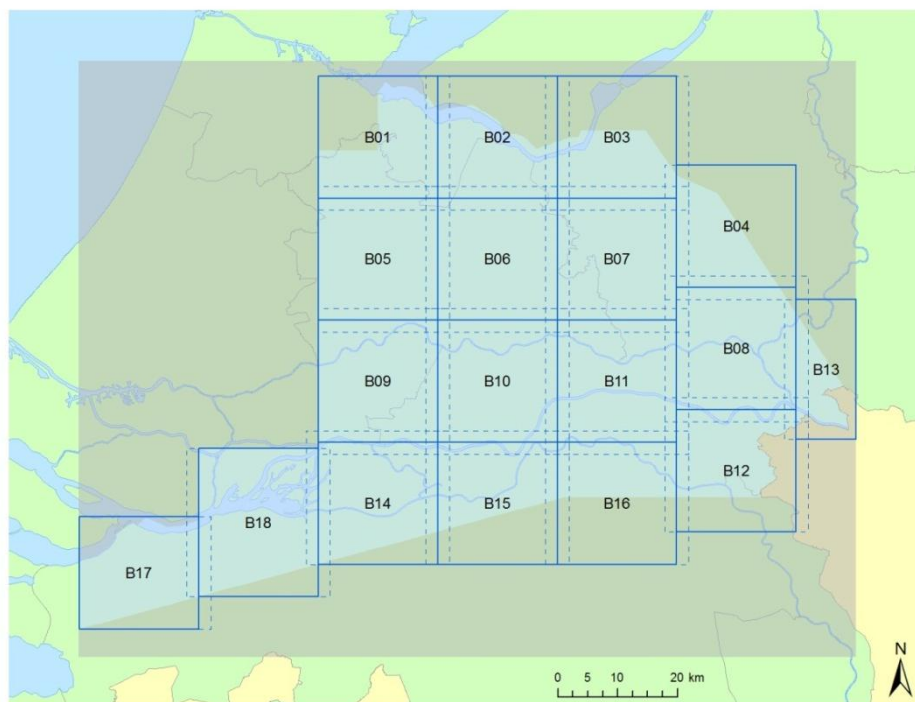
De batchgewijze aansturing wordt gefaciliteerd door een *workflow manager*, die in paragraaf 4.5.19 wordt beschreven.

NB: in werkproces Modelleren stratigrafie is sprake van een processtap *Opsporen en uitsluiten duplicaten*. Deze processtap hoeft hier niet toegepast te worden omdat bij *Modelleren lithoklasse* uitgaat van exact dezelfde set aan boringen en sonderingen waar de duplicaten al uit verwijderd zijn.

4.5.1 Definiëren modelblokken

De modelgebieden van GeoTOP bevatten grote aantallen voxels. Modelgebied Rivierengebied omvat bijvoorbeeld $1.300 \times 1.000 \times 320 = 416$ miljoen voxels in het blokvormige grid. Van deze voxels bevinden zich zo'n 65 miljoen voxels binnen de modelgebied grenzen. Alleen voor deze voxels moeten in dit werkproces lithoklassen voorspeld worden. De overige voxels bevinden zich in de lucht, in andere modelgebieden, in de Noordzee of buiten de landsgrenzen.

In de praktijk is gebleken dat de modelleringssoftware Isatis niet in één keer met dergelijke grote modelgebieden kan rekenen. Om deze reden worden de modelgebieden opgedeeld in blokken, genummerd B01 t/m Bxx, met xx het aantal benodigde blokken. Voor Rivierengebied zijn 18 blokken nodig (Figuur 4.5.3); voor het kleinere modelgebied Zeeland volstaan 9 blokken en modelgebied Goeree bestaat uit slechts 1 blok.



Figuur 4.5.3: Onderverdeling van modelgebied Rivierengebied (lichtblauw) in 18 blokken. De stippellijnen geven de overlapzones van 2 km rond aan elkaar grenzende blokken weer. Het grijze rechthoek is de horizontale begrenzing van het blokvormig grid met $1.300 \times 1.000 \times 320 = 416$ miljoen voxels.

De aan elkaar grenzende blokken overlappen elkaar in de horizontale richtingen met 20 voxels (dat wil zeggen een overlapzone van 2 km aan weerszijden van een blokgrens). De overlapzones zorgen er voor dat er tussen de blokken geen artificiële geologische overgangen ontstaan. In Isatis wordt in de blokken met overlapzones gerekend. Na afloop van de berekeningen worden de overlapzones weggesneden.

Voor modelgebieden Zeeland, Goeree, Zuid-Holland en Noord-Holland geldt dat het aantal voxels in de verticaal voor alle blokken gelijk is. In Rivierengebied hebben de oostelijk gelegen blokken in de verticaal meer voxels dan in het westen; dit is gedaan om de heuvels van de Veluwe en bij Nijmegen in het model op te kunnen nemen.

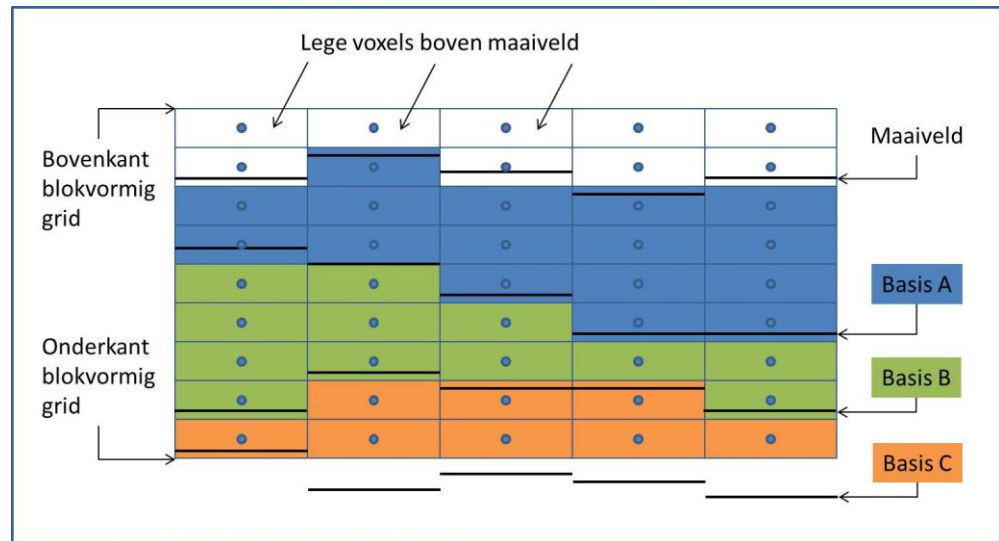
Het vaststellen van de blokgrenzen is een handmatige processtap, met ArcGIS en Excel als hulpmiddel. De definities van de blokken (nummer, (x,y,z)-locatie van de oorsprong, aantal voxels in (x,y,z)-richting) worden opgenomen in de *workflow manager*.

4.5.2 *Vertalen lagenmodel naar voxelmodel*

Het in het vorige werkproces gemaakte 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 ofwel samen met een of meerdere toppen van dieper gelegen eenheden, ofwel aan de onderkant van het model ligt.

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 voxel modeleenheid bevindt. Deze gevolgtrekking gebruiken we om van de middelpunten van voxels te bepalen tot welke stratigrafische eenheid ze behoren.

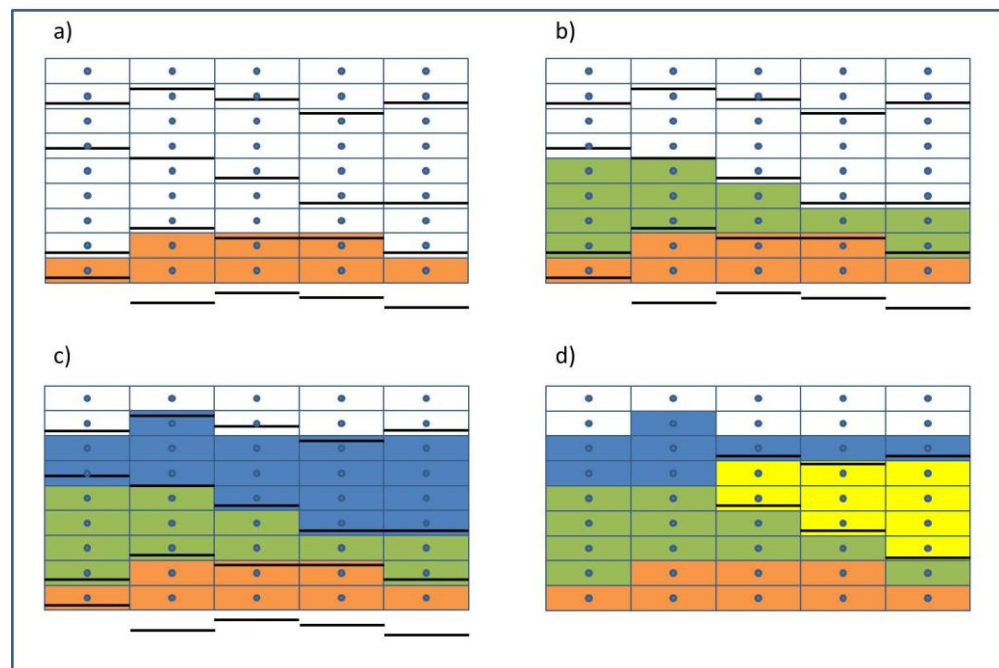
In Figuur 4.5.4 is de werkwijze schematisch weergegeven. De figuur toont een dwarsdoorsnede door een blokvormig grid van 5 x 9 voxels. Het lagenmodel bestaat uit drie stratigrafische eenheden: A, B en C waarvan de basis als zwarte lijnstukken wordt getoond. De basis van C ligt deels dieper dan de onderkant van het blokvormig grid. Aan de bovenkant wordt het lagenmodel afgesloten door het maaiveld- en waterbodemhoogte raster.



Figuur 4.5.4: Vertaling van stratigrafische eenheden in het lagenmodel naar het voxelmodel. De figuur geeft een verticale dwarsdoornede door het voxelmodel weer. Elk rechthoekje is een voxel met in het middelpunt een blauwe cirkeltje. De zwarte lijnstukjes geven de top en basis weer volgens het lagenmodel.

De volgende procedure wordt gevolgd (Figuur 4.5.5 a, b en c):

- (1) Bepaal voor elke voxel of het middelpunt (aangegeven met blauwe cirkeltjes) zich tussen de top en de basis van de diepste eenheid bevindt (eenheid C) en ken aan die voxels de diepste eenheid toe. Met 'tussen' wordt hier bedoeld: *op of boven* de basis en *onder* de top.
- (2) Herhaal stap (1) voor de overige eenheden, in stratigrafische volgorde van onder naar boven (eerst eenheid B, dan eenheid A).



Figuur 4.5.5: Stappen in de vertaling van stratigrafische eenheden in het lagenmodel naar het voxelmodel: (a) voxels met een middelpunt op of boven de basis en onder de top van eenheid C krijgen eenheid C toegekend; (b) idem voor

eenheid B; (c) idem voor eenheid A; (d) in modellen met separaat gemodelleerde Holocene geulsystemen worden de geulen als laatste toegevoegd (gele voxels). Ze overschrijven dan de eerdere toekenning. De voxels boven maaiveld blijven leeg.

Een voordeel van deze procedure is dat deze ook werkt voor (deels) inconsistente lagenmodellen. Dit voordeel gebruiken we om de Holocene geulsystemen in het voxelmodel onder te brengen. De Holocene geulsystemen worden ná de reguliere eenheden toegekend en overschrijven eerdere eenheden (Figuur 4.5.5 d).

De vertaling van lagen naar voxels gebeurt voor elk van de blokken in het modelgebied afzonderlijk en levert per blok een voxel dataset op in een ASCII-formaat dat in Isatis geïmporteerd kan worden. De voxels in de datasets hebben één attribuutwaarde, namelijk een getal dat aangeeft tot welke stratigrafische eenheid de voxel behoort. In een vertaaltabel ligt vast welk getal bij welke eenheid hoort. Voor de eenheid EC in het Rivierengebied geldt bijvoorbeeld dat alle voxels die tot de eenheid behoren de waarde 6 krijgen.

Deze processtap is volledig geautomatiseerd met behulp van Python scripts.

4.5.3 *Indelen boorbeschrijvingen in lithoklassen*

De lithologische boorbeschrijvingen en lithologisch geïnterpreteerde sonderingen worden vertaald naar *lithoklassen*. Hierbij wordt het classificatieschema van REGIS II (Vernes & Van Doorn, 2005) gehanteerd. Lithoklassen hebben een nummer en een afkorting. Het nummer wordt gebruikt om de voxels te voorzien van een lithoklasse: voxels hebben net als rasters namelijk altijd numerieke waarden als attribuut.

Lithoklasse	Nummer	Afkorting	Korrelgrootte (mediaan)
Organisch materiaal (veen)	1	o	-
Klei	2	k	-
Kleilig zand, zandige klei en leem	3	kz	-
Fijn zand	5	zf	≥ 63 µm en < 150 µm
Midden zand	6	zm	≥ 150 µm en < 300 µm
Grof zand	7	zg	≥ 300 µm en < 2 mm
Grind	8	g	≥ 2 mm
Schelpen	9	she	-
Zand met onbekende korrelgrootte	10	z	Onbekend

De indeling volgens REGIS II is erop gericht om lithologiën met vergelijkbare hydraulische eigenschappen te groeperen in categorieën die lithoklassen worden genoemd. Daarmee is de indeling bij uitstek geschikt voor hydrologische toepassingen. Voor veel andere toepassingen is de indeling echter ook geschikt. Een toepassing waarbij deze indeling minder geschikt is, is de winning van zand en grind. In het hoofdstuk over afgeleide producten wordt hier verder op in gegaan.

Bij het vertalen van de boorbeschrijvingsintervallen in lithoklasseintervallen wordt gebruik gemaakt van de volgende attributen uit DINO: hoofdlithologie, bijmengingen klei, zand en silt, lutumpercentage en de aanwezigheid van kleibrokjes. Voor het vertalen van de lithologisch geïnterpreteerde sonderingen kan op dit moment alleen gebruik gemaakt worden van de hoofdlithologie (veen, klei, leem en zand). Op basis van de sonderingen kunnen dus geen korrelgroottes worden onderscheiden.

De indelingsregels zijn als volgt (coderingen volgens SBB 5.1; Bosch, 2000):

Lithoklasse 1, organisch materiaal

- Hoofdlithologie is V (veen), GY (gyttja), DY (dy), DET (detritus) of HO (hout). In het overgrote deel van de boorbeschrijvingen gaat het hier om veen.

Lithoklasse 2, klei

- Hoofdlithologie is K (klei), met *eventuele* bijmenging silt in de categorieën:
 - S1 (zwak siltig).
 - S2 (matig siltig).

Lithoklasse 3, kleiig zand, zandige klei en leem

- Hoofdlithologie is K (klei), met *verplichte* bijmenging in een van de volgende categorieën:
 - S3 (sterk siltig).
 - S4 (uiterst siltig).
 - SX (siltig).
 - Z1 (zwak zandig).
 - Z2 (matig zandig).
 - Z3 (sterk zandig).
 - ZX (zandig).
- Hoofdlithologie is L (leem).
- Hoofdlithologie is fijn zand (zie Lithoklasse 5 voor de definitie), met als extra *verplichte* criteria een van de volgende:
 - Bijmenging K3² (sterk kleiig) of KX (kleiig).
 - Kleibrokjes aanwezig.
 - Lutumpercentage $\geq 5\%$.

Lithoklasse 4

- Deze lithoklasse is komen te vervallen. Oorspronkelijk was dit een aparte klasse voor leem. In boorbeschrijvingen wordt de hoofdlithologie leem echter vaak verkeerd beschreven als zandige klei of als kleiig zand. Een aparte lithoklasse leem zou daarom tot onbetrouwbare uitkomsten leiden. Daarnaast komt leem in de Nederlandse ondergrond relatief weinig voor. Voor hydrologische toepassingen is het onderbrengen van leem bij kleiig zand en zandige klei geen bezwaar.

Lithoklasse 5, fijn zand

- Hoofdlithologie is Z (zand) of GCZ (glauconietzand), met zandmediaan $\geq 63 \mu\text{m}$ en $< 150 \mu\text{m}$, of een van de volgende zandmediaan klassen:
 - ZFC (zand fijne categorie).
 - ZUF (zand uiterst fijn).
 - ZUFO (zand uiterst fijn).

² Volgens de SBB komt bijmenging K3 alleen bij hoofdlithologie veen voor. In de DINO databank komt K3 echter ook bij hoofdlithologie zand voor, met als betekenis sterk kleiig zand.

- ZZF (zand zeer fijn).
- ZZFO (zand zeer fijn).
- Indien er sprake is van bijmenging K3² of KX, kleibrokjes en/of een lutumpercentage $\geq 5\%$, dan is de lithoklasse echter *kleilig zand*, *zandige klei* en *leem*. Zie ook bij die lithoklasse.

Lithoklasse 6, midden zand

- Hoofdlithologie is Z (zand) of GCZ (glauconietzand), met zandmediaan $\geq 150 \mu\text{m}$ en $< 300 \mu\text{m}$, of een van de volgende zandmediaan klassen:
 - ZMC (zand midden categorie).
 - ZMF (zand matig fijn).
 - ZMFO (zand matig fijn).
 - ZMG (zand matig grof).
 - ZMGO (zand matig grof).

Lithoklasse 7, grof zand

- Hoofdlithologie is Z (zand) of GCZ (glauconietzand), met zandmediaan $\geq 300 \mu\text{m}$ en $< 2 \text{ mm}$, of een van de volgende zandmediaan klassen:
 - ZGC (zand grove categorie).
 - ZZG (zand zeer grof).
 - ZZGO (zand zeer grof).
 - ZUG (zand uiterst grof).
 - ZUGO (zand uiterst grof).

Lithoklasse 8, grind

- Hoofdlithologie is G (grind) of STN (stenen).
- Hoofdlithologie is Z (zand) met een zandmediaan $\geq 2 \text{ mm}$. Deze laatste classificatie is onjuist (sediment met een zandmediaan $\geq 2 \text{ mm}$ is grind, geen zand), maar komt in DINO boorbeschrijvingen wel voor.

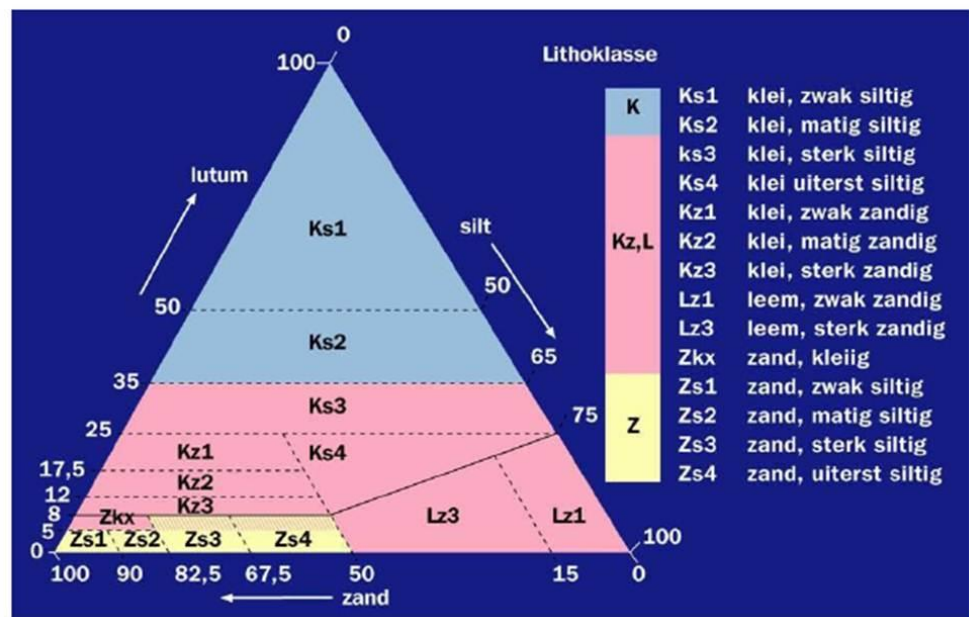
Lithoklasse 9, schelpen

- Hoofdlithologie is SHE (schelpen).

Lithoklasse 10, zand met onbekende korrelgrootte

- Hoofdlithologie is Z (zand) of GCZ (glauconietzand), zandmediaan is onbepaald en de zandmediaanklasse is onbepaald of wijkt af van een van de bij lithoklasse 5, 6 en 7 genoemde zandmediaanklassen.
- Lithoklasse 10 wordt wel toegekend aan de boorintervallen, maar komt in het uiteindelijke voxelmodel niet meer voor omdat alle voxels met lithologie zand in het voxelmodel een voorspelling van de korrelgrootte krijgen (lithoklasse 5, 6 of 7).

De criteria voor het onderscheid in klei, zand en kleilig zand, zandige klei en leem zijn schematisch weergegeven in Figuur 4.5.6.



Figuur 4.5.6: Belangrijkste criteria voor de indeling in lithoklassen klei (blauw), zand (geel) en kleilig zand, zandige klei en leem (roze). Uit: Vernes & Van Doorn (2005).

Boorintervallen die niet aan een van de criteria voldoen, bijvoorbeeld met een hoofdlithologie GM (geen meting) of NBE (niet beschreven), maar bijvoorbeeld ook zeldzame hoofdlithologieën als LEI (leisteen), MER (mergel), VUS (vuursteen), krijgen (vooralsnog) geen lithoklasse toegekend.

In een aantal modelgebieden komen lithoklassen grind en schelpen slechts sporadisch voor. In Zeeland, Zuid-Holland, Noord-Holland en Goeree zijn deze lithoklassen daarom samengevoegd met grof zand. Hetzelfde geldt voor lithoklasse schelpen in het Rivierengebied. In dit laatste modelgebied is de classificatie van grind echter afhankelijk gemaakt van het grindpercentage in de stratigrafische eenheid. In de Formaties van Beegden (15%), Drente (3%), Kreftenheye (4,5%), Sterksel (1,3%) en Urk (4,8%), en ook in de door landijs gestuwde afzettingen (4%) komt meer dan 1% grind voor en is grind wel als aparte klasse onderkend.

De indeling in lithoklassen is, vergeleken met de indeling in stratigrafie (paragraaf 4.3), relatief eenvoudig en eenduidig. In modelgebieden waar Holocene geulsystemen als aparte eenheden zijn gemodelleerd worden de boorbeschrijvingen in deze processtap ook gesplitst in twee datasets, een voor de reguliere eenheden en een voor de Holocene geulsystemen. In paragraaf 4.5.18 wordt hier verder op ingegaan.

Deze processtap is volledig geautomatiseerd met Python scripts.

4.5.4 Vereenvoudigen lithoklasseintervallen

De gedetailleerde boorbeschrijvingen en lithologisch geïnterpreteerde sonderingen die in werkproces *Indelen stratigrafie* zijn voorzien van stratigrafie en in de processtap *Indelen lithoklasse* in lithoklassen worden sterk vereenvoudigd tot een bestand met de voor de lithoklasse modellering relevante boorgegevens.

Dit bestand bevat per boring, per stratigrafische eenheid en per lithoklasseinterval, de volgende gegevens:

- Boornummer of sondeernummer.
- Locatie (x,y).
- Maaiveldhoogte.
- Top interval (in m ten opzichte van NAP).
- Basis interval.
- Stratigrafische eenheid code.
- Lithoklasse code.

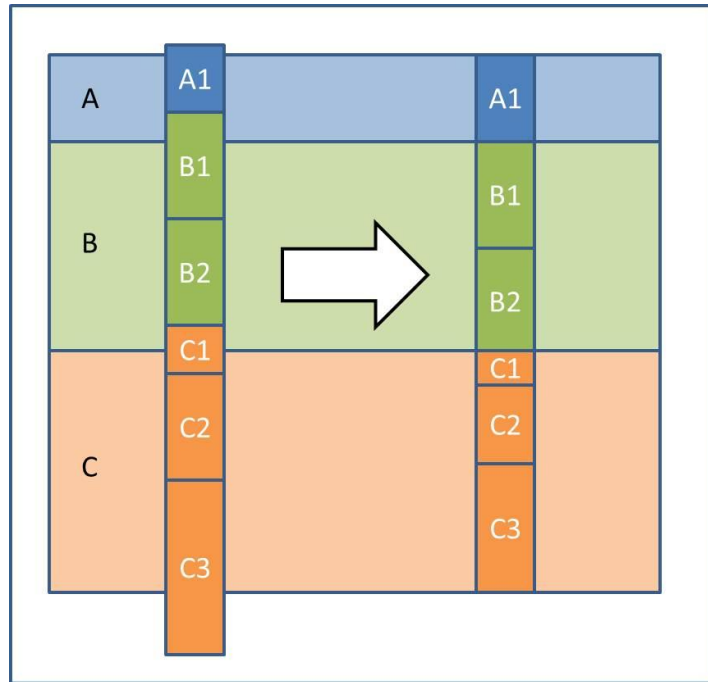
Aaneengesloten boorbeschrijvingsintervallen met dezelfde stratigrafie en dezelfde lithoklasse worden hierbij gecombineerd tot één interval. De gecombineerde intervaldiktes kunnen groter zijn dan de in de kwaliteitsfiltering (paragraaf 4.2.3) gebruikte maximale intervaldikte.

Het vereenvoudigen van de lithoklasseintervallen is geautomatiseerd.

4.5.5 *Fitten lithoklasseintervallen aan lagenmodel*

De top en basis van de stratigrafische eenheden in de boringen kan afwijken van de top en basis van de stratigrafische eenheden zoals het lagenmodel ze op de boorlocatie voorspelt. Het lagenmodel geeft immers een gemiddelde voorspelling, geldig voor een rastercel van 100 bij 100 m en is gebaseerd op een aantal boringen en gesimuleerde waarden in een zoekstraal rondom het middelpunt van de rastercel. Daartegenover is de boorbeschrijving een waarneming op 1 puntlocatie.

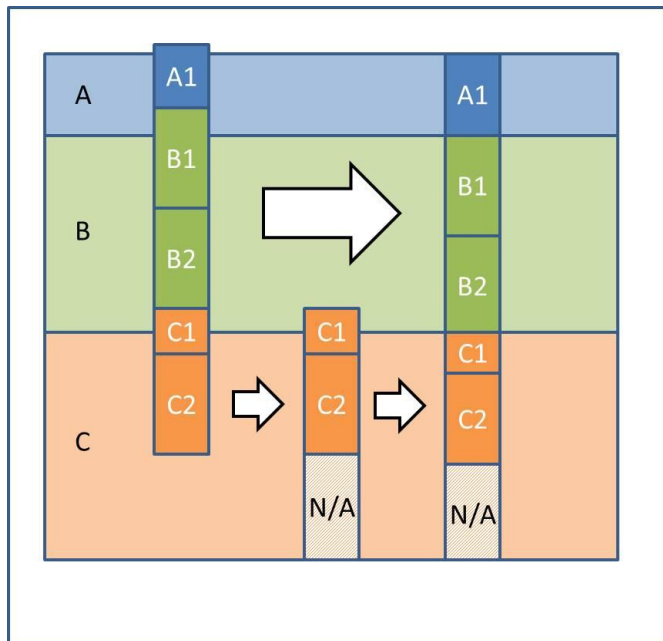
In de lithoklassemodellering willen we werken met de toppen en basissen van de stratigrafische eenheden zoals het lagenmodel ze voorspelt omdat we lithoklassen willen toekennen aan het lagenmodel. Dat betekent dat de (vereenvoudigde) boorbeschrijvingen zodanig worden aangepast dat de stratigrafische grenzen overeenkomen met die in het lagenmodel. Vervolgens worden de lithoklasse intervallen binnen elke stratigrafische eenheid naar rato “opgerekt” of “ingekrompen” (Figuur 4.5.7). Deze aanpassing wordt ook wel “rubber sheeting” genoemd, naar analogie van het aan elkaar passen van kaartgegevens in een GIS.



Figuur 4.5.7: Schematische weergave van “rubber sheeting”. Een boring met stratigrafische eenheden A, B en C past niet precies aan de vlakken A, B en C. De situatie vóór rubbersheeting is links weergegeven. Rechts is het resultaat ná rubbersheeting weergegeven: de boring past aan de vlakken en de lithoklassen in de intervallen A1, B1, B2 en C1, C2 en C3 zijn naar rato over de stratigrafische eenheden verdeeld.

Het “oprekken” is begrensd om te grote afwijkingen van de originele boorbeschrijving te voorkomen. De maximale waarde voor oprekken is een verlenging van 1 standaarddeviatie volgens het standaarddeviatie raster van de basis van de betreffende stratigrafische eenheid. Als er meer opgerekt moet worden, wordt onder het maximaal uitgerekte deel een boorinterval met lithoklasse onbekend (“N/A”, *not applicable*) toegevoegd voordat de rubber sheeting plaatsvindt. Dit is nodig om de juiste verhouding van het “oprekken” of “inkrimpen” te kunnen bepalen.

Voor “dieper dan” boringen geldt eveneens dat er een boorinterval met lithoklasse onbekend (“N/A”, *not applicable*) onderaan de boorbeschrijving wordt toegevoegd voordat de rubber sheeting plaatsvindt (Figuur 4.5.8). Intervallen met “N/A” spelen in de modellering verder geen rol.



Figuur 4.5.8: Voor “dieper dan” boringen geldt dat een interval met lithoklasse onbekend (“N/A”) onder in de boring wordt toegevoegd voordat de rubber sheeting wordt uitgevoerd. In de figuur geldt dit voor de basis van eenheid C.

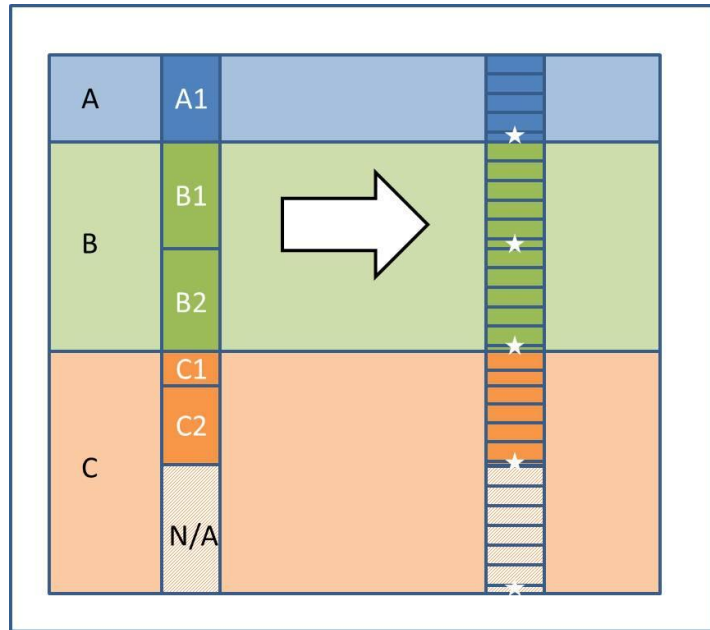
Het fitten van lithoklasseintervallen aan het lagenmodel is een geautomatiseerde processtap.

4.5.6 Regulariseren lithoklasseintervallen

De in lithoklassen ingedeelde boringen en sonderingen worden geregulariseerd in intervallen van maximaal 50 cm dikte (Figuur 4.5.9). De regularisatie gaat uit van de intervalgrenzen van de vereenvoudigde boorbeschrijving of sondering, na toepassen van de rubber sheeting zoals in de vorige processtap beschreven is.

Intervallen die dikker zijn dan 50 cm worden opgedeeld in geregulariseerde intervallen van 50 cm. Een eventueel restant wordt onderaan het oorspronkelijke boorinterval toegevoegd. Boorintervallen die dunner zijn dan 50 cm behouden hun oorspronkelijke intervalgrenzen. Er gaan bij de regularisatie dus geen gegevens verloren.

De regularisatie voorkomt dat kleine intervallen in de lithoklasse interpolatie een te grote wegingsfactor toegekend krijgen. Zonder regularisatie zou een interval van 200 cm zand namelijk dezelfde wegingsfactor hebben als een interval van 50 cm klei. Door te regulariseren ontstaan er 4 intervallen zand van 50 cm.



Figuur 4.5.9: Regulariseren van een boorbeschrijving in intervallen van maximaal 50 cm dikte. De intervallen met een asterisk zijn restintervallen dunner dan 50 cm.

De geregulariseerde lithoklasseintervallen worden verder voorzien van lithoklasse-indicatoren. Voor elke lithoklasse is er een indicator met de waarde 0 (lithoklasse niet aanwezig) of 1 (lithoklasse wel aanwezig). In totaal heeft elk interval 9 lithoklasse-indicatoren, waarvan er steeds 8 de waarde 0 hebben en één de waarde 1 heeft. De lithoklasse-indicatoren zijn in een volgende processtap nodig om variogrammen te kunnen berekenen.

Tot slot worden de geregulariseerde boorbeschrijvingen geconverteerd naar een dataformaat dat in Isatis kan worden ingelezen (een zogenaamd "line file"). Voor elk blok wordt één bestand gemaakt met de boorbeschrijvingen van alle in het betreffende blok gelegen boringen. Omdat de blokken overlapzones hebben, kan een boring in meerdere blokken voorkomen. De bestanden bevatten per boring de volgende attributen:

- Boornummer.
- Locatie (x,y).
- Maaiveldhoogte boring.
- Per geregulariseerd interval van de boring:
 - Top interval (in meters t.o.v. NAP).
 - Basis interval.
 - Stratigrafie (numerieke waarde aanduiding van de stratigrafische eenheid).
 - Lithoklasse (numerieke waarde aanduiding van de lithoklasse eenheid).
 - Voor 9 mogelijke lithoklassen van het interval:
 - Lithoklasse indicator (0 = afwezig, 1 = aanwezig).

Het regulariseren van de boorbeschrijvingen is een geautomatiseerde processtap.

4.5.7 *Berekenen globale verhoudingen*

Een van de parameters die nodig is voor de voorspelling van de lithoklassen in het voxelmodel is de *globale verhouding* van de lithoklassen in de boorgegevens. Per blok wordt per stratigrafische eenheid geteld hoeveel geregulariseerde intervallen er per lithoklasse voorkomen. Om tot een fractie (waarde vanaf 0 t/m 1) te komen worden de tellingen gedeeld door het totaal aantal geregulariseerde intervallen.

Voor de eenheid 'EC' (Formatie van Echteld, exclusief het deel in geulsystemen) in modelblok B10 van het Rivierengebied geldt bijvoorbeeld:

Lithoklasse ("categorie")	Nummer	Fractie
Organisch materiaal (veen)	1	0,1054
Klei	2	0,4274
Kleiig zand, zandige klei en leem	3	0,3519
Fijn zand	5	0,0144
Midden zand	6	0,0619
Grof zand	7	0,0390
Grind	8	0,0000
Schelpen	9	0,0000
Totaal		1,0000

Voor bovenstaande telling worden de intervallen met zand met een onbekende korrelgrootte-mediaan genegeerd. Ook intervallen zonder lithoklasse doen **niet** mee in deze telling.

Naast aantallen per lithoklasse worden ook aantallen *zand* en *niet-zand* geteld. De categorie *zand* omvat de lithoklassen *fijn zand*, *midden zand*, *grof zand*, *zand met een onbekende korrelgrootte-mediaan*, *grind*, *schelpen*. De categorie *niet-zand* omvat de lithoklassen *organisch materiaal*, *klei* en *kleiig zand en zandige klei en leem*. Elk van de twee categorieën wordt weer naar rato onderverdeeld in de samenstellende lithoklassen.

Voor het bepalen van de verhouding tussen de categorieën *zand* en *niet-zand* geldt dat de intervallen met zand met een onbekende korrelgrootte-mediaan nu **wel** meetellen voor categorie *zand*.

Bijvoorbeeld voor dezelfde eenheid 'EC' in modelblok B10 van Rivierengebied geldt voor de verdeling tussen de categorieën *zand* en *niet-zand*:

Categorie	Nummer	Fractie
Zand	1	0,1153
Niet-zand	2	0,8847
Totaal		1,0000

Binnen de categorie *niet-zand* geldt de verdeling:

Categorie	Nummer	Fractie
Organisch materiaal (veen)	1	0,1191
Klei	2	0,4831
Kleiig zand, zandige klei en leem	3	0,3978
Totaal		1,0000

Binnen de categorie *zand* geldt de verdeling:

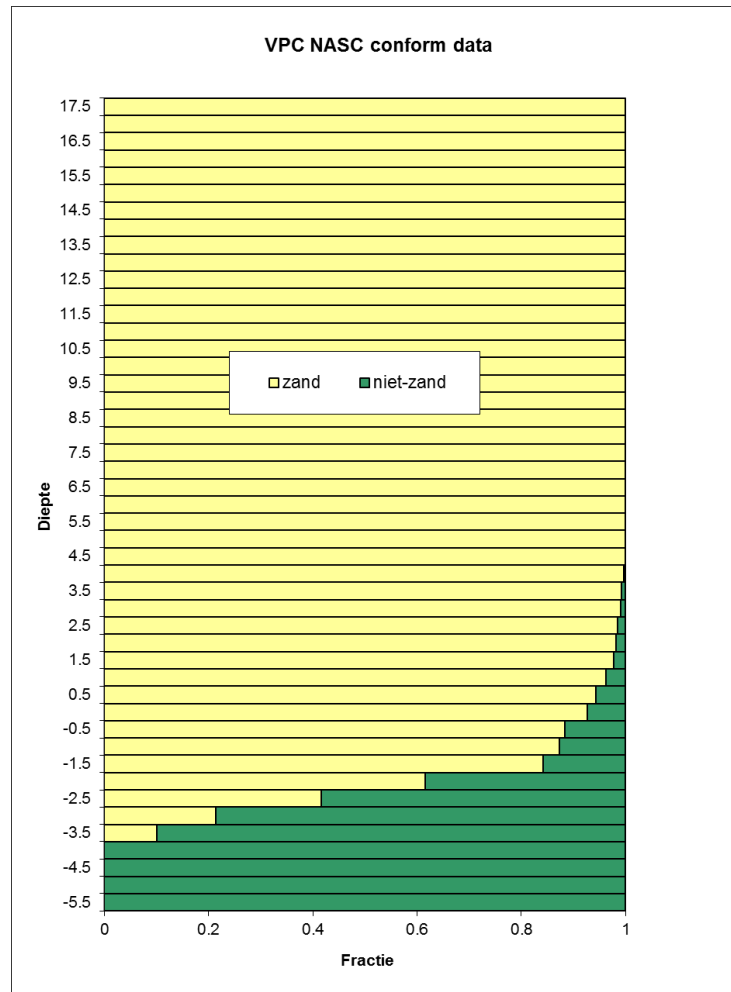
Categorie	Nummer	Fractie
Fijn zand	1	0,1252
Midden zand	2	0,5366
Grof zand	3	0,3382
Grind	4	0,0000
Totaal		1,0000

Bij de onderverdeling van de categorie *zand* wordt de fractie zand met onbekende korrelgrootte-mediaan weer genegeerd. In uitzonderingssituaties kan het echter voorkomen dat *alle* boorintervallen in de categorie *zand* een onbekende korrelgrootte-mediaan hebben. In dat geval wordt het zand in drie gelijke fracties over de drie zandklassen verdeeld.

Deze processtap is geautomatiseerd; de resultaten van de tellingen worden in de vorm van een lijst in de *workflow manager* vastgelegd.

Vertical Proportion Curve (VPC)

De in de vorige processtap berekende globale verhoudingen gaan ervanuit dat de verdeling van lithoklassen binnen een modeleenheid constant is. Als er bovenin de eenheid 30% klei voorkomt, komt er onderin de eenheid ook 30% klei voor. In situaties dat deze aanname niet geldig is, en er kennis is over de werkelijke verdeling, wordt er voor de desbetreffende modeleenheid een zogenaamde *Vertical Proportion Curve* (VPC) geconstrueerd. Een VPC geeft de verhoudingen van de lithoklassen als functie van de diepte (z) weer (Figuur 4.5.10). Op basis van de VPC kunnen voor elke voxel in het voxelmodel de lokale verhoudingen bepaald worden. Het zijn dan deze lokale verhoudingen in plaats van de globale die in de simulatie gebruikt worden.



Figuur 4.5.10: Voorbeeld van een Vertical Proportion Curve voor de eenheid 'NASC' (Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Schoorl; dit zijn de kustduinen) in modelgebied Zuid-Holland. De VPC is in dit geval toegepast bij het onderscheid in de categorieën 'zand' en 'niet-zand'. In plaats van een globale verhouding van deze twee categorieën die geldig is voor de hele eenheid, is een lokale verhouding vastgesteld afhankelijk van de diepte (in meters ten opzichte van NAP).

Het vaststellen van de VPC van een model eenheid is een handmatige stap. Resultaat is een lijst met lithoklasse fracties per diepte interval van 50 cm. De lijst wordt vastgelegd in de *workflow manager* en gebruikt bij de batchgewijze aansturing van Isatis.

4.5.8 Importeren data

Voor elk blok wordt de volgende data in Isatis geïmporteerd:

- De geregulariseerde boorgegevens die in de vorige processtap zijn gemaakt.
- De voxels die in processtap *Vertalen lagenmodel naar voxelmodel* zijn gemaakt.
- Voor referentie en controledoelinden wordt ook het lagenmodel geïmporteerd met voor elke te modelleren eenheid de top en de basis.

De boorgegevens worden in Isatis geïmporteerd in zogenaamde *line files* waarvan de middelpunten van de geregulariseerde intervallen (halverwege top en basis) fungeren als datapunten voor de interpolatie. Per blok ontstaat er één *line file*.

De voxels worden in Isatis geïmporteerd in *3D gridfiles* met één attribuutwaarde, namelijk een getal dat aangeeft tot welke stratigrafische eenheid de voxel behoort. Voor de eenheid EC in de vorige processtap geldt bijvoorbeeld dat alle voxels de waarde 6 hebben. Per blok ontstaat er één *3D gridfile*.

Optioneel worden nog de voxels met kans op stratigrafie geïmporteerd. Het betreft voxels die in de processtap *Berekenen kans op stratigrafie* in het werkproces *Modelleren stratigrafie* zijn berekend. Zoals eerder beschreven is processtap *Berekenen kans op stratigrafie* ontwikkeld en getest voor modelgebied Zeeland, maar wordt de processtap momenteel niet uitgevoerd.

De processtap *Importeren data* is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis liggen vast in de *workflow manager*.

4.5.9 *Maken selecties*

In Isatis wordt in elke *line file* per stratigrafische eenheid een selectievariabele aangemaakt waaraan in het vervolg gerefereerd kan worden. De selectievariabele geeft voor alle datapunten aan of het datapunt wel of niet tot de betreffende stratigrafische eenheid hoort.

Tevens wordt in elke 3D gridfile per stratigrafische eenheid een selectievariabele aangemaakt waaraan in het vervolg gerefereerd kan worden. De selectievariabele geeft voor alle voxels aan of de voxel wel of niet tot de betreffende stratigrafische eenheid hoort.

Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis liggen vast in de *workflow manager*.

4.5.10 *Vaststellen geostatistische parameters*

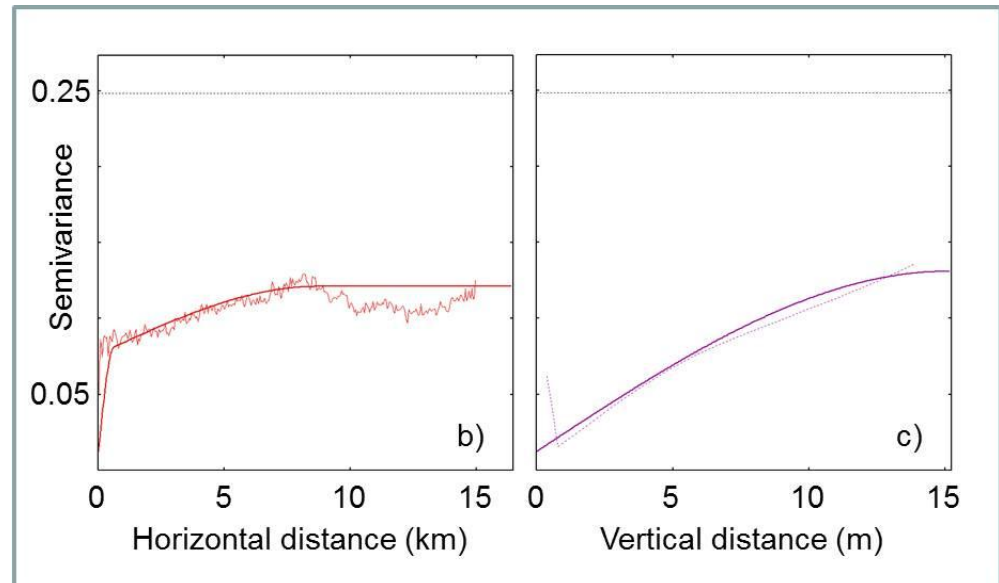
In deze processtap wordt de ruimtelijke correlatie van lithoklassen binnen elke modeleenheid bepaald en met behulp van een semi-variogram beschreven. Het maken van variogrammen is een noodzakelijke, handmatige stap die met behulp van Isatis wordt uitgevoerd. De resulterende geostatistische parameters worden vastgelegd in de *workflow manager* en worden gebruikt in het simuleren van de lithoklassen.

Voor elke te modelleren eenheid zijn variogrammen gemaakt op basis van de boorgegevens. Daarbij is steeds gebruik gemaakt van de boorgegevens van het gehele modelleergebied. Er zijn dus geen variogrammen per blok gemaakt.

Sequential indicator simulation (SIS), de simulatietechniek waarmee gerekend wordt, gebruikt indicatoren om aan te geven of een datapunt een bepaalde lithoklasse heeft of niet. Voor elke lithoklasse is er een indicator die de waarde 0 (lithoklasse afwezig) of 1 (lithoklasse aanwezig) kan hebben. In de variogrammen wordt daarom gekeken naar de ruimtelijke verdeling van de indicatoren van een bepaalde lithoklasse.

Verder vereist SIS dat er bij de simulatie van de lithoklassen binnen een modeleenheid één variogram wordt gebruikt. Dit moet het meest representatieve variogram zijn voor de lithoklasseverdeling binnen de betreffende eenheid. In de praktijk blijkt dat meestal het variogram van de meest voorkomende lithoklasse te zijn.

Een voorbeeld van variogrammen voor een lithoklasse in het Laagpakket van Walcheren van de Formatie van Naaldwijk in modelgebied Zeeland is gegeven in Figuur 4.5.11.



Figuur 4.5.11: Voorbeeld van een variogram de indicatorwaarde van een lithoklasse in het Laagpakket van Walcheren van de Formatie van Naaldwijk in modelgebied Zeeland. Links het variogram voor de horizontale richting (x en y); rechts het variogram voor de verticale richting (z). De dunne, kronkelige lijn is het experimentele variogram dat volgt uit de statistische analyse van de boorgegevens. De dikke, gladde lijn is het variogram model waarmee de modelleur de ruimtelijke correlatie beschrijft. In beide gevallen gaat het om de correlatie van de indicator van een van de lithoklassen in het Laagpakket.

4.5.11 Simuleren lithoklassen

De lithoklassen van de geregulariseerde intervallen van de boringen en sonderingen worden nu gebruikt om een 3D interpolatie uit te voeren. Deze interpolatie geeft een voorspelling van de lithoklasse voor elke voxel. De 3D interpolatie wordt uitgevoerd met de stochastische simulatietechniek *Sequential Indicator Simulation* (SIS; Goovaerts, 1997; Chilès & Delfiner, 2012). Deze simulatietechniek resulteert in meerdere, statistisch gezien even waarschijnlijke, lithoklasseverdelingen.

SIS wordt voor elke modeleenheid afzonderlijk uitgevoerd, zodat de geostatistische karakteristieken van de afzonderlijke modeleenheden gehonoreerd worden. Verder wordt de simulatie in elk blok (bijvoorbeeld elk van de 18 blokken van Rivierengebied) apart uitgevoerd.

In SIS worden de middelpunten van elk geregulariseerd interval eerst gemigreerd naar de dichtstbij gelegen voxel. Het middelpunt van deze gemigreerde intervallen worden beschouwd als harde datapunten ("D" in Figuur 4.5.12) en zullen door de simulatie niet meer gewijzigd worden.

De overige voxels worden tijdens een simulatie "bezocht" waarbij een *random* pad wordt gevolgd. Rondom elke te simuleren voxel ("?" in Figuur 4.5.12) wordt een zoekgebied vastgesteld. Het zoekgebied, de *neighbourhood* genaamd, wordt door de modelleur gedefinieerd als een afstand in de x-, y-en z-richting en ligt per te modelleren eenheid vast in de *workflow manager*. In het zoekgebied zoekt het algoritme naar de voxels met harde datapunten en naar de voxels die al eerder langs het *random* pad bezocht zijn en een gesimuleerde waarde gekregen hebben ("S" in Figuur 4.5.12). Het representatieve variogram model wordt gebruikt om voor alle datapunten een gewicht te bepalen, waarbij dichtbij gelegen punten een groter gewicht krijgen dan veraf gelegen punten.

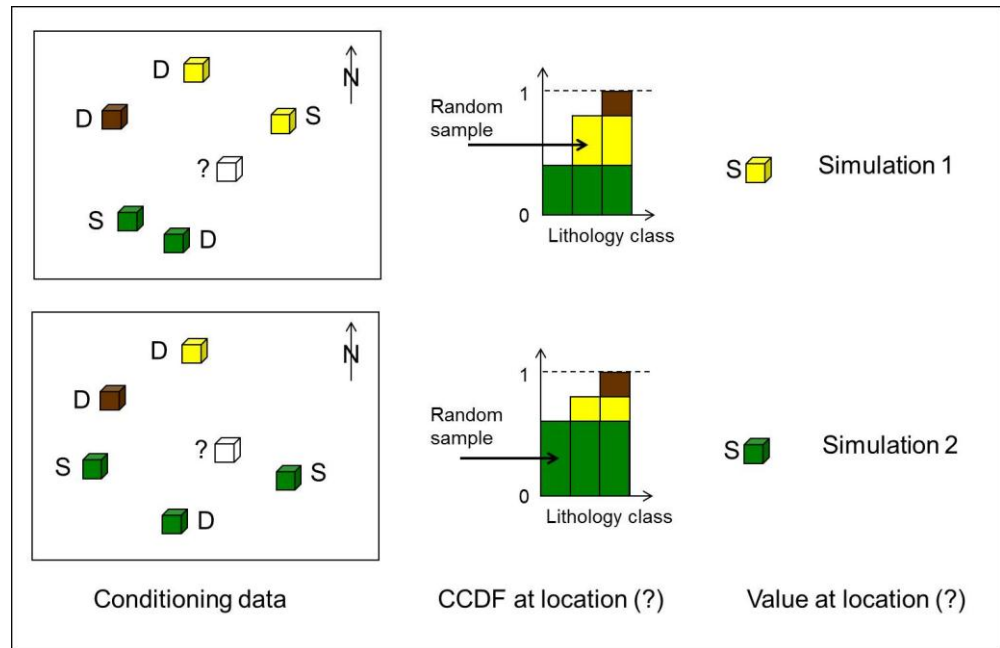
De gevonden datapunten worden vervolgens gecodeerd in een set indicatoren (vandaar de naam *Indicator Simulation*). Voor elke lithoklasse wordt voor elk datapunt met een indicator aangegeven of de lithoklasse wel (indicator = 1) of niet (indicator = 0) aanwezig is.

De volgende stap bestaat uit een kriging (block kriging) op basis van de verkregen informatie. In de kriging wordt het ene variogram gebruikt dat vastgesteld is voor de te simuleren eenheid (er is geen sprake van een variogram per lithoklasse).

De kriging resulteert in een waarde tussen 0 en 1 voor elke lithoklasse. Dit resultaat wordt geplot in een *conditionele cumulatieve data functie* (CCDF, Figuur 4.5.12). Vervolgens wordt een random getal uit een standaard normale verdeling getrokken met een waarde tussen 0 en 1. Deze waarde wordt vergeleken met de CCDF en levert een lithoklasse op. Dit wordt de gesimuleerde lithoklasse voor de voxel. Bij elke voxel wordt een nieuw CCDF gemaakt waarbij in de loop van het proces de hoeveelheid data toeneemt doordat het aantal al gevulde voxels in de zoekstraal toeneemt.

Bovenstaande SIS procedure kan als volgt worden samengevat (Figuur 4.5.12; Goovaerts, 1997; Chilès & Delfiner, 2012):

1. Bepaal een *random* pad waarmee elke voxel van de modeleenheid eenmaal wordt bezocht.
2. Bepaal voor elke voxel van de modeleenheid de statistische parameters van de CCDF voor die voxel. Doe dit met behulp van kriging op basis van de geconditioneerde data binnen het zoekgebied en het variogram model. De conditionerende data bestaat uit de indicatoren van de lithoklassen van de boorgegevens en van de voorspelde lithoklassen op de al eerder bezochte voxels binnen het zoekgebied.
3. Trek een willekeurige waarde uit de CCDF, en voeg de getrokken lithoklasse toe aan de set met eerder bezochte voxels.
4. Ga naar de volgende voxel langs het *random* pad, en herhaal stap 2) en 3).
5. Herhaal stap 1) t/m 4) voor elk van de 10 simulaties en kies telkens een ander *random* pad.

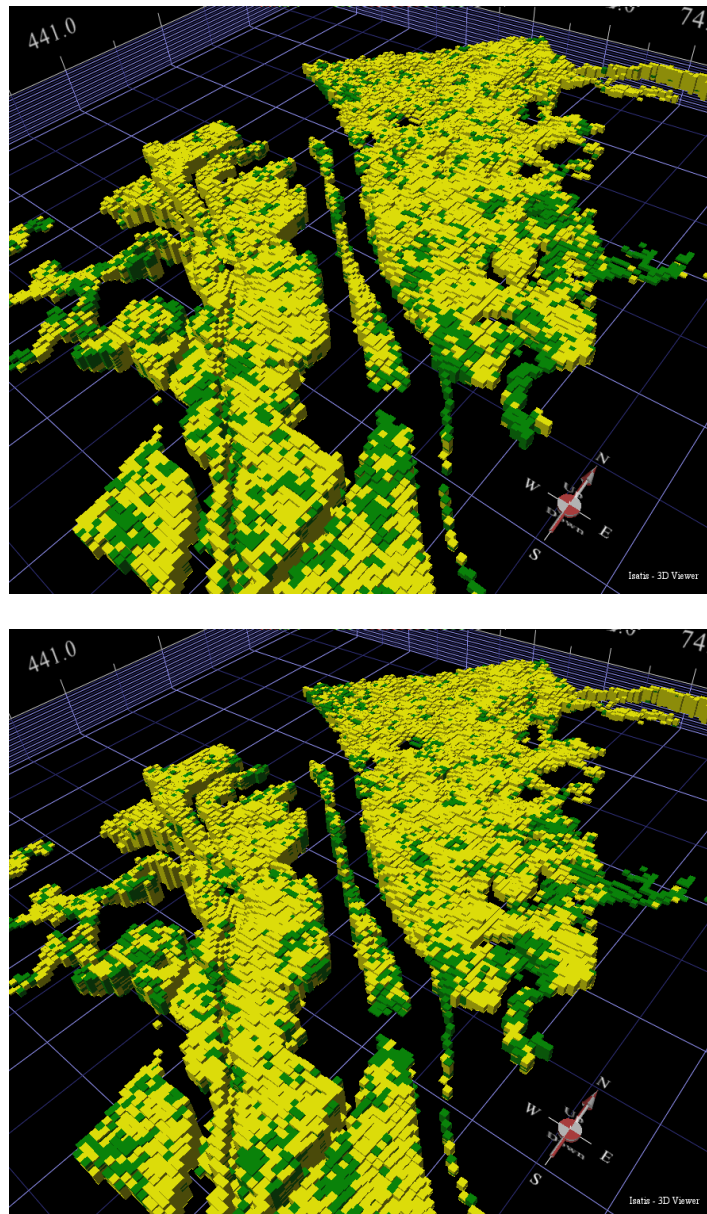


Figuur 4.5.12: Schematische weergave van twee verschillende simulaties van lithoklasse voor dezelfde voxel “?”. In simulatie (1) en simulatie (2) zijn de datapunten (“D”) in het zoekgebied gelijk, maar doordat gebruik gemaakt wordt van een random pad zijn de eerder voorspelde lithoklassen (“S”) verschillend. Daardoor wordt ook een verschillend CCDF geconstrueerd waaruit een random trekking wordt gedaan die de lithoklasse voor de voxel “?” oplevert.

Vooraf in de diepere delen van het model kan het voorkomen dat er in het zoekgebied niet voldoende datapunten (hard of reeds gesimuleerd) gevonden worden. Het algoritme valt dan terug op de *globale verhouding* zoals die in een eerdere processtap bepaald is. Er wordt dan een *random* waarde getrokken uit de globale verdeling. In de gevallen dat er een VPC is vastgesteld, wordt een *random* waarde getrokken uit de *lokale verdeling* zoals die volgens de VPC geldig is in de voxel.

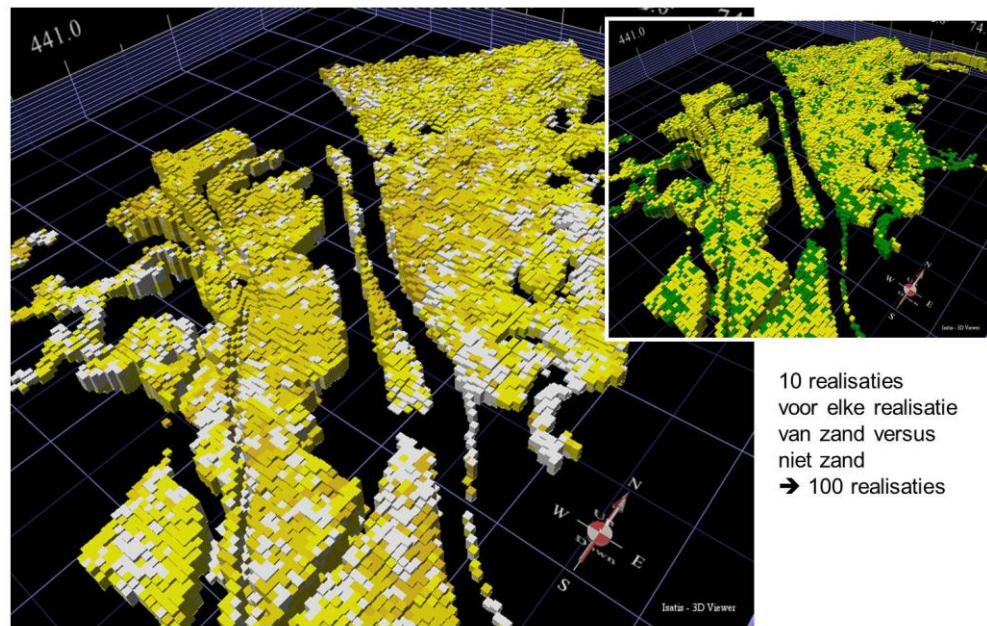
Met betrekking tot de korrelgroottes geldt dat een belangrijk deel van de zandige intervallen een onbekende korrelgrootte heeft. Dit geldt voor een groot deel van de boorbeschrijvingen, maar vooral ook voor *alle* sonderingen. Dit probleem is opgelost door de 3D interpolatie in twee stappen op te delen.

Eerst worden alle intervallen gebruikt om 10 simulaties uit te voeren waarin onderscheid gemaakt wordt tussen zand en niet-zand (Figuur 4.5.13).



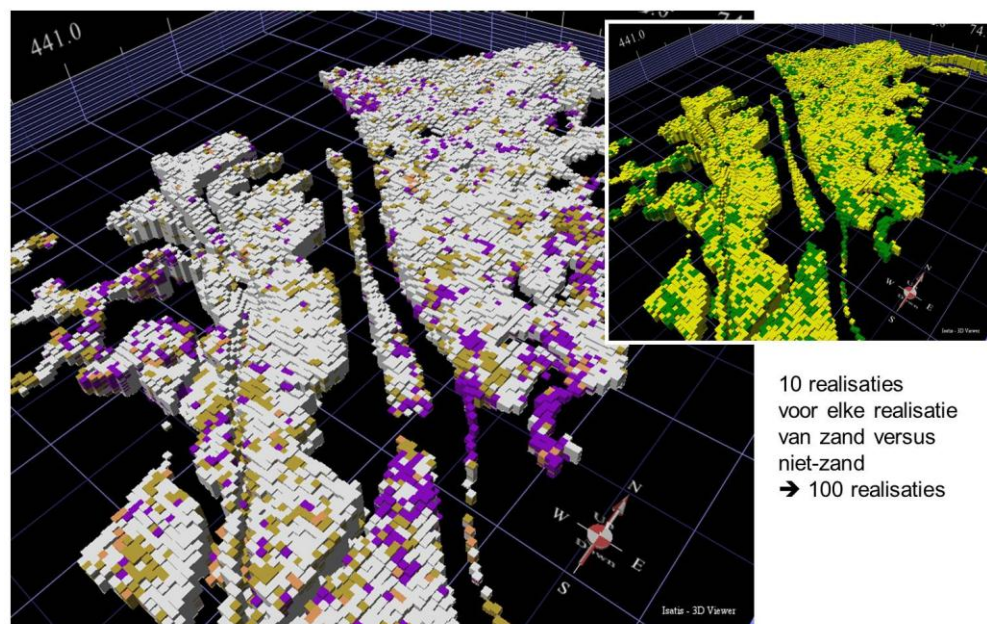
Figuur 4.5.13: Twee verschillende realisaties (een realisatie is de uitkomst van een simulatie) van een Holocene geul in het Rijnmondgebied. Gele voxels zijn gevuld met zand; groene met niet-zand

Vervolgens worden in elk van de 10 realisaties de voxels met zand geselecteerd. Voor deze geselecteerde voxels worden nogmaals 10 simulaties berekend waarin alleen de boorintervallen met bekende korrelgrootte gebruikt worden. In totaal zijn er dan $10 \times 10 = 100$ realisaties van korrelgrootte verdelingen (Figuur 4.5.14).



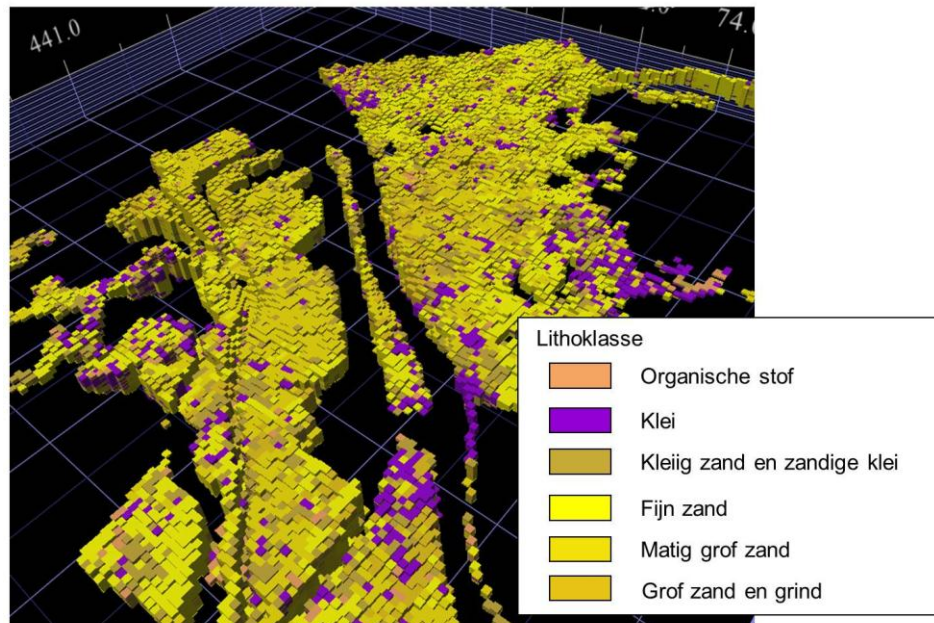
Figuur 4.5.14: In elk van de 10 realisaties met zand versus niet-zand worden de voxels met zand geselecteerd. Voor deze geselecteerde voxels worden nogmaals 10 simulaties uitgevoerd waarin alleen de boorintervallen met bekende korrelgrootte gebruikt worden. In totaal zijn er dan $10 \times 10 = 100$ realisaties van korrelgrootte verdelingen.

Dezelfde procedure wordt toegepast op de niet-zand voxels (Figuur 4.5.15).



Figuur 4.5.15: In elk van de 10 realisaties met zand versus niet-zand worden de voxels met niet-zand geselecteerd. Voor deze geselecteerde voxels worden nogmaals 10 simulaties uitgevoerd. In totaal zijn er dan $10 \times 10 = 100$ realisaties.

De resulterende 100 realisaties van niet-zand worden tot slot gecombineerd met de 100 realisaties van zand tot 1 lithoklassemodel (Figuur 4.5.16). Het resultaat is per blok en per modeleenheid 100 realisaties met een voorspelling van de lithoklasse waarbij elke realisatie statistisch gezien even waarschijnlijk is.



Figuur 4.5.16: Na het samenvoegen van de 100 realisaties van zand en de 100 realisaties van niet-zand ontstaan 100 realisaties van de lithoklasse.

Het simuleren van lithoklassen is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis inclusief het variogram-model liggen vast in de *workflow manager*.

- 4.5.12 *Uitzondering: hellende eenheden en door landijs gestuwde eenheden*
 Bij de simulaties wordt een variogram gebruikt met een grote horizontale afstand (honderden tot duizenden meters) en een kleine verticale afstand (enkele meters). De simulatie resulteert daardoor vaak in naast elkaar gelegen voxels van gelijke lithoklasse terwijl de verticale afwisseling in lithoklassen veel groter is. Met andere woorden: de simulatie reproduceert de horizontale gelaagdheid die kenmerkend is voor de meeste afzettingen in het GeoTOP bereik. In enkele gevallen komen in Nederland echter **hellende eenheden** voor. Het gaat hierbij onder andere om formaties die door de tektonische daling van het Noordzeebekken zijn scheef gesteld. Een voorbeeld zijn de Vroeg-Pleistocene en Tertiaire afzettingen in Zeeland (Formatie van Maassluis en dieper gelegen eenheden), die een noordwaartse helling hebben. De hellingshoek is over het algemeen gering, minder dan een halve graad, ofwel enkele meters daling per km, desondanks zou een simulatie met een horizontaal variogram in deze formaties tot een onrealistische horizontale gelaagdheid leiden.

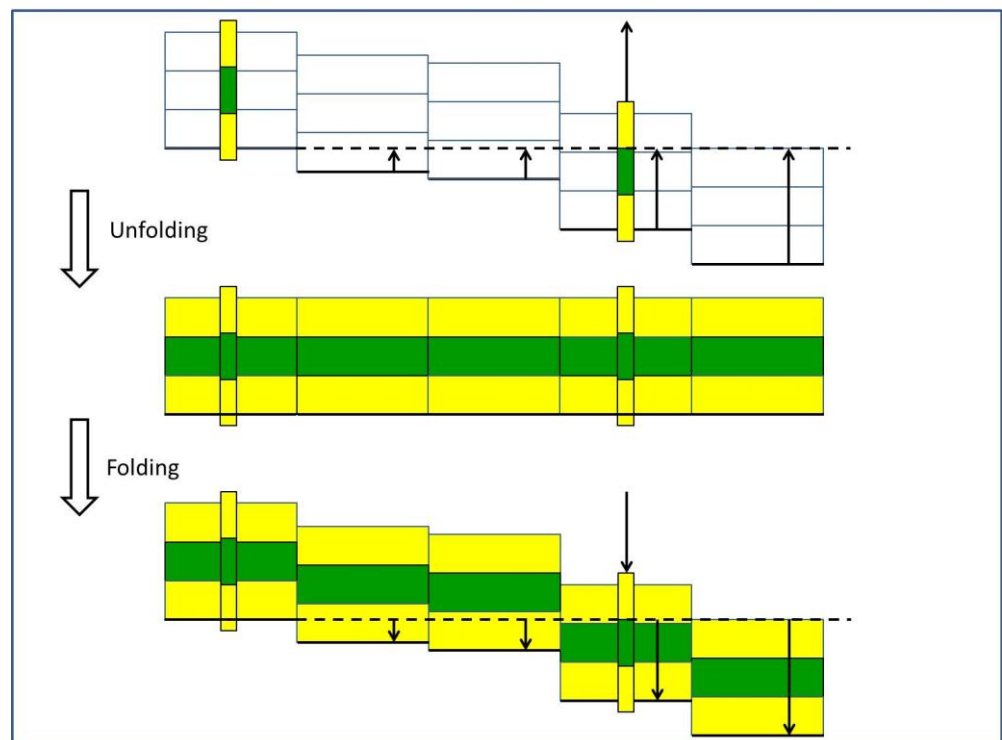
Een oplossing voor de hellende eenheden is gevonden in de *Unfolding / Folding* methode die in Isatis beschikbaar is. *Unfolding* maakt de structurele deformatie van een geologische eenheid ongedaan en herstelt de oorspronkelijke horizontale positie. In de herstelde geologische eenheid wordt de simulatie uitgevoerd en ontstaat de nu wel realistische horizontale gelaagdheid.

Vervolgens wordt met *Folding* de structurele deformatie weer toegepast en krijgt de geologische eenheid de huidige positie. De horizontale gelaagdheid van de voxels is nu scheef gesteld.

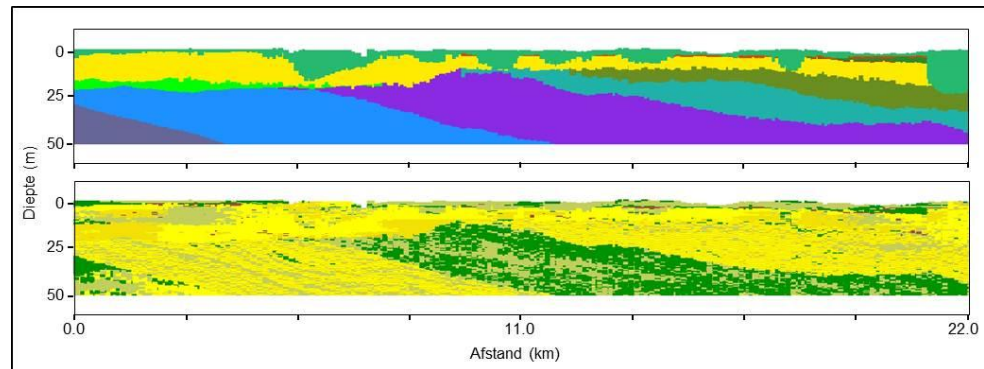
Bij de *Unfolding* wordt een referentievlak (een raster) dat de deformatie representeert vlak getrokken. In het geval van de hellende eenheden hebben we de *basis* van de eenheid als referentievlak gekozen. De aanname daarbij is dat de lagen oorspronkelijk zijn afgezet op een horizontale ondergrond (bijvoorbeeld de zeebodem).

De procedure is in Figuur 4.5.17 geïllustreerd met een hypothetische stratigrafische eenheid. De figuur toont het zijaanzicht van 5 x 3 voxels met daaronder de basis van de eenheid (dikke lijn). Voor elke rastercel van het basisvlak wordt bekeken hoeveel verticale verplaatsing er nodig is om een horizontaal vlak te maken. Alle voxels die in de rastercel liggen worden met dezelfde afstand verticaal verplaatst (pijlen). Hetzelfde geldt voor de boorgegevens die in de rastercel liggen.

Na *Unfolding* wordt de 3D simulatie uitgevoerd wat in Figuur 4.5.17 leidt tot een kleilaag (groen) tussen twee zandlagen (geel). Vervolgens wordt *Folding* toegepast waarbij de voxels over dezelfde verticale afstand maar in tegenovergestelde richting worden verplaatst.



Figuur 4.5.17: Unfolding en Folding van een stratigrafische eenheid. Zie tekst voor uitleg.

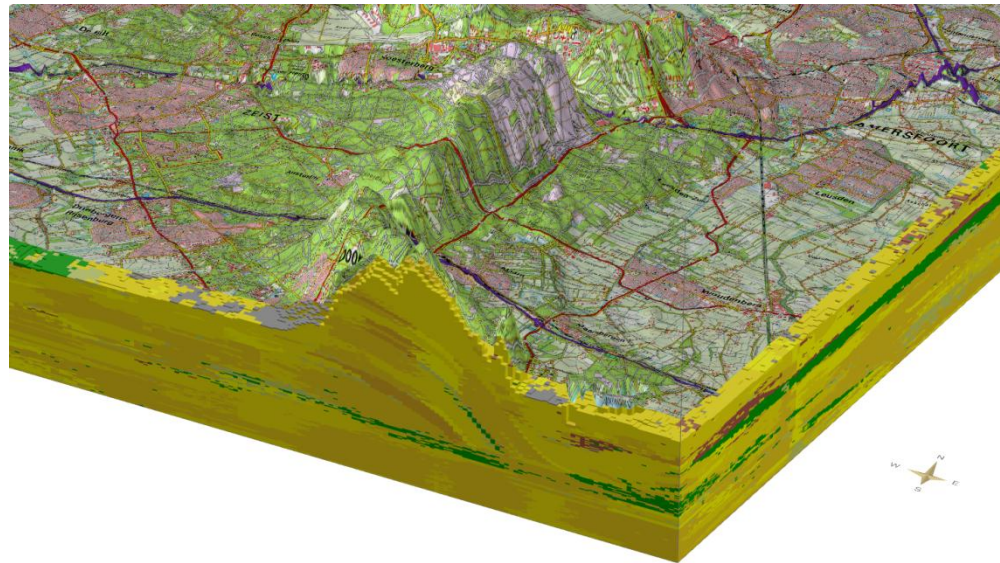


Figuur 4.5.18: Profiel door modelgebied Zeeland: van Zelzate (links) naar Kloosterzande (rechts; beide plaatsen liggen in Zeeuws-Vlaanderen) met bovenin stratigrafie en onderin lithoklasse. De helblauwe eenheid links is het zandige pakket Formatie van Tongeren met scheefstaande lagen van kleilig zand en zandige klei. De scheefstand is het resultaat van de Unfolding / Folding procedure.

Een voorbeeld van het resultaat van *Unfolding / Folding* in hellende Vroeg-Pleistocene en Tertiaire afzettingen in Zeeland is te zien in Figuur 4.5.18.

Dezelfde procedure wordt ook toegepast op de scheefstaande lagen in **door landijs gestuwde eenheden (stuwwallen)**. Als referentievlak wordt hier echter niet de basis van de stuwwallen gebruikt, maar een vlak dat een eerste orde benadering geeft van de hellingshoek en strekkingsrichting van de stuwing. Informatie over de interne opbouw van de Nederlandse stuwwallen is vooral verkregen uit Maarleveld (1981), Bakker & van der Meer (2003) en Bakker (2004). Maarleveld (1981) bevat een kartering van de strekkingen (en deels hellingen) van gestuwde lagen, zoals waargenomen in bouwputten en met de hand gegraven profielkuilen. Bakker & van der Meer (2003) en Bakker (2004) gaan in op de diepere structuur met behulp van GPR (*ground penetrating radar*) en seismiek. Naast genoemde publicaties zijn ook andere publicaties en ontsluitingsrapporten gebruikt. Gebieden welke niet of niet afdoende zijn meegenomen in deze studies zijn in 2011 ('t Gooi) en 2012 (Salland en Twente) door TNO – Geologische Dienst Nederland onderzocht met aanvullend GPR onderzoek.

Een voorbeeld van het resultaat van *Unfolding / Folding* in de stuwwallen is te zien in Figuur 4.5.19.



Figuur 4.5.19: Scheefgestelde lagen in de stuwwal van de Utrechtse Heuvelrug ter hoogte van Doorn.

4.5.13 Berekenen kans op lithoklasse

Uit de 100 simulaties die voor elke modeleenheid zijn berekend kan voor elke voxel per lithoklasse een kans worden uitgerekend. Dit wordt gedaan door per eenheid, per voxel en per lithoklasse te tellen hoe vaak de lithoklasse is gesimuleerd en dat aantal te delen door het aantal simulaties (100).

De procedure (vastgelegd in de *workflow manager*) is als volgt. Voer per modeleenheid, per lithoklasse voor elke voxel het volgende uit:

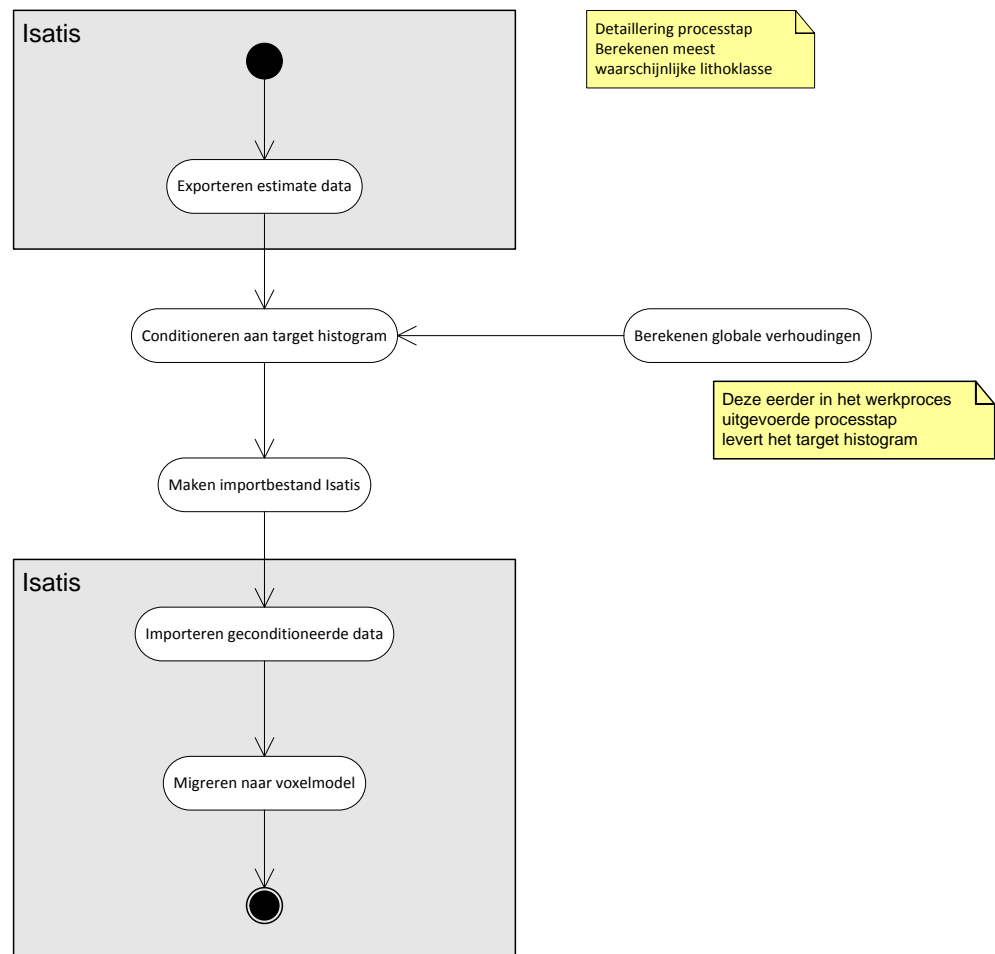
- Stel de kans op de lithoklasse initieel op 0.
- Tel hoe vaak de voxel de lithoklasse toegekend heeft gekregen.
- Deel het aantal toekenningen door het aantal simulaties (100).

4.5.14 Berekenen meest waarschijnlijke lithoklasse

Naast het berekenen van de kansen worden de simulaties ook gebruikt om voor elke voxel een *meest waarschijnlijke* uitkomst te berekenen. Voor lithoklassen is deze stap ingewikkelder dan voor het lagenmodel. De meest waarschijnlijke uitkomst van de diepteligging van een eenheid in het lagenmodel valt eenvoudig te berekenen als het gemiddelde van de dieptes uit alle 100 simulaties. Voor lithoklassen kunnen we echter geen gemiddelde berekenen: het gemiddelde van lithoklasse 1 en 2 is immers niet 1,5.

Een voor de hand liggende oplossing voor de meest waarschijnlijke lithoklasse is de lithoklasse met de hoogste kans. Deze oplossing leidt er echter toe dat de lithoklassen die veel voorkomen overschat worden.

Soares (1992) heeft een algoritme ontwikkeld om uit de kansen voor elke voxel een meest waarschijnlijke uitkomst te berekenen. Dit zogenaamde Soares-algoritme is helaas niet opgenomen in Isatis. Om het Soares-algoritme toe te passen worden de kansen daarom uit Isatis geëxporteerd waarna een Python script het algoritme uitvoert. Het resultaat wordt weer in Isatis geïmporteerd en opgenomen in het voxelmodel.



Figuur 4.5.20: Detaillering van de processtap Berekenen meest waarschijnlijke lithoklasse.

De invoer bestaat uit een uit Isatis geëxporteerd bestand met voor elke voxel van de modeleenheid de (x,y,z)-coördinaten en de kansen op de verschillende lithoklassen. Dit wordt door Soares (1992) de *estimate* genoemd. Daarnaast heeft het algoritme de globale verhoudingen van de lithoklassen nodig. Het gaat hier om de globale verhoudingen die in de eerder beschreven processtap *Berekenen globale verhoudingen* bepaald zijn, bijvoorbeeld voor eenheid 'EC' in blok B10 van het Rivierengebied:

Lithoklasse ("categorie")	Nummer	Fractie
Organisch materiaal (veen)	1	0,1054
Klei	2	0,4274
Kleilig zand, zandige klei en leem	3	0,3519
Fijn zand	5	0,0144
Midden zand	6	0,0619
Grof zand	7	0,0390

Grind	8	0,0000
Schelpen	9	0,0000
Totaal		1,0000

Deze globale verhoudingen worden door Soares (1992) het *target histogram* genoemd. Het algoritme zal nu de *estimate* conditioneren aan het *target histogram*. Dit wil zeggen dat aan alle voxels in de *estimate* een lithoklasse wordt toegekend, en dat het aantal voxels met een bepaalde lithoklasse overeenkomt met het aantal volgens het target histogram.

Het conditioneren werkt als volgt:

- Bepaal initieel per lithoklasse:
 - *Werkelijk aantal* voxels gevuld met de lithoklasse (initieel 0).
 - *Doel aantal* voxels gevuld met de lithoklasse (aantal voxels * waarde volgens het *target histogram*).
 - *Fractie* van de lithoklasse (*werkelijk aantal* / *doel aantal*).
- Zolang er nog voxels in de *estimate* zonder lithoklasse zijn:
 - Bepaal de lithoklasse die op dit moment de kleinste *fractie* heeft. Deze lithoklasse zal nu aan een voxel worden toegewezen. (NB: voor de allereerste voxel zijn alle fracties 0 en kiezen we arbitrair de kleinste lithoklasse).
 - Selecteer uit de voxels in de *estimate* waaraan nog geen lithoklasse is toegewezen de voxel met de hoogste kans op voorkomen van de lithoklasse.
 - Wijs aan deze voxel de lithoklasse toe.
 - Verhoog het *werkelijk aantal* toegewezen voxels van de lithoklasse met 1;
 - Herbereken de *fractie* van de lithoklasse (*werkelijk aantal* / *doel aantal*).

Hieronder volgt een theoretische voorbeelduitwerking voor een *estimate* van vijf voxels met twee lithoklassen.

Estimate data:

Voxel-nummer	Kans op lithoklasse 1	Kans op lithoklasse 2
1	0,75	0,25
2	0,60	0,40
3	0,80	0,20
4	0,65	0,35
5	0,90	0,10

Target histogram, gebaseerd op boorinformatie:

Lithoklasse 1	0,74
Lithoklasse 2	0,26

Initieel:

Voor lithoklasse 1 geldt dat er $5 * 0,74 = 3,7$ voxels gevuld moeten worden.

Voor lithoklasse 2 geldt dat er $5 * 0,26 = 1,3$ voxels gevuld moeten worden.

Voor beide lithoklassen is het werkelijk aantal gevulde voxels nog 0.

Stap 1:

We starten met lithoklasse 1. De voxel met de hoogste kans op lithoklasse 1 is voxel nummer 5 met een kans van 0,9. Deze voxel krijgt lithoklasse 1.

Lithoklasse 1 heeft nu 1 van de 3,7 voxels gevuld.

Stap 2:

Fractie van lithoklasse 1 is $1 / 3,7 = 0,27$.

Fractie van lithoklasse 2 is $0 / 1,3 = 0$.

Lithoklasse 2 heeft nu de kleinste fractie. De voxel met de hoogste kans op lithoklasse 2 is voxel nummer 2 met een kans van 0,4. Deze voxel krijgt lithoklasse 2. Lithoklasse 2 heeft nu 1 van de 1,3 voxels gevuld.

Stap 3:

Fractie van lithoklasse 1 is $1 / 3,7 = 0,27$.

Fractie van lithoklasse 2 is $1 / 1,3 = 0,77$.

Lithoklasse 1 heeft nu de kleinste fractie. De voxel met de hoogste kans op lithoklasse 1 is voxel nummer 3 met een kans van 0,8. Deze voxel krijgt lithoklasse 1. Lithoklasse 1 heeft nu 2 van de 3,7 voxels gevuld.

Stap 4:

Fractie van lithoklasse 1 is $2 / 3,7 = 0,54$.

Fractie van lithoklasse 2 is $1 / 1,3 = 0,77$.

Lithoklasse 1 heeft nu de kleinste fractie. De voxel met de hoogste kans op lithoklasse 1 is voxel nummer 1 met een kans van 0,75. Deze voxel krijgt lithoklasse 1. Lithoklasse 1 heeft nu 3 van de 3,7 voxels gevuld.

Stap 5:

Fractie van lithoklasse 1 is $2 / 3,7 = 0,81$.

Fractie van lithoklasse 2 is $2 / 1,3 = 0,77$.

Lithoklasse 2 heeft nu de kleinste fractie. De voxel met de hoogste kans op lithoklasse 2 is voxel nummer 4 met een kans van 0,35. Deze voxel krijgt lithoklasse 2. Lithoklasse 2 heeft nu 2 van de 1,3 voxels gevuld.

Resultaat:

Voxel-nummer	Kans op lithoklasse 1	Kans op lithoklasse 2	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4	Stap 5
1	0,75	0,25				1	
2	0,60	0,40		2			
3	0,80	0,20			1		
4	0,65	0,35					2
5	0,90	0,10	1				

Bovenstaande resultaatstabel toont in welke stap welke voxel welke lithoklasse toegekend krijgt. Deze toegekende lithoklasse wordt de *meest waarschijnlijke lithoklasse* genoemd. Merk op dat als we eenvoudigweg steeds de lithoklasse met de hoogste kans hadden gekozen, alle voxels de lithoklasse 1 toegekend hadden gekregen.

Het algoritme levert per blok, per modeleenheid een bestand op met per voxel de meest waarschijnlijke lithoklasse. Een tweede Python script voorziet dit bestand van een Isatis-header waarna het in Isatis geïmporteerd wordt als een puntendataset met per (x,y,z)-coördinaat de meest waarschijnlijke lithoklasse. Met behulp van een Isatis-functie wordt de puntdata gemigreerd naar het voxelmodel.

Deze processtap is geautomatiseerd. De berekening gebeurt met Python scripts; de export, import en migratie gebeurt met Isatis batchinstructies die vastliggen in de *workflow manager*.

4.5.15 *Uitzondering: Antropogeen*

Er geldt een uitzondering voor de eenheid Antropogeen. Voor deze eenheid geldt dat er geen lithoklassen worden gesimuleerd. Alle voxels van de eenheid krijgen als meest waarschijnlijke lithoklasse de waarde 0 = Antropogeen toegekend. De kansen van de lithoklassen binnen de eenheid krijgen allemaal de waarde 0.

Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis liggen vast in de *workflow manager*.

4.5.16 *Exporteren voxelmodel*

In Isatis beschikken we nu over een volledig voxelmodel met per blok de volgende attributen:

- (x,y,z)-coördinaten.
- Nummer van de modeleenheid waartoe de voxel behoort.
- Nummer van de meest waarschijnlijke lithoklasse.
- Voor elke lithoklasse:
 - Kans (van 0 t/m 1) dat de voxel gevuld is met de lithoklasse.

Om het voxelmodel voor andere toepassingen dan Isatis beschikbaar te maken wordt het geëxporteerd. Per blok wordt een csv-bestand gemaakt voorzien van een beschrijvende *header*. In de *header* is opgenomen wat de definitie is van het blokvormig grid: coördinaten van de oorsprong, het aantal voxels in de (x,y,z)-richting en de dimensies van de voxels (100 x 100 x 0,5 m). Daarnaast bevat de *header* informatie over de attributen. Na de *header* volgt voor elke voxel 1 regel met de waarden van de attributen. Het bestand bevat geen (x,y,z)-coördinaten van elke voxel, deze kunnen namelijk op basis van de header bepaald worden. Voxels zonder data (voxels in de lucht, of anderszins buiten het modelgebied) worden met een *nodata*-waarde voor elk attribuut in het bestand opgenomen.

Een exacte formaatbeschrijving, waarbij de Isatis-header is vervangen door een meer generieke header, is opgenomen in Bijlage 7.4.1.

4.5.17 *Controleren voxelmodel*

Het voxelmodel wordt door een gebiedsdeskundig geoloog gecontroleerd (*quality control*). Hij doet dit in samenhang met het lagenmodel en de stratigrafische en lithoklasse indeling van de boorbeschrijvingen.

Net als bij eerdere controles (stratigrafische indeling, lagenmodel) legt de controlerend geoloog eventuele bevindingen vast in een bevindingenlijst, met per bevinding de volgende items:

- Volgnummer van de bevinding.
- Datum.

- Status ('Open', 'Opgelost', 'Niet oplossen'; initieel: 'Open').
- Nummer van profiel waarin bevinding is geconstateerd.
- Boornummer waarin bevinding is geconstateerd.
- Stratigrafische eenheid waarop bevinding betrekking heeft.
- Beschrijving van de bevinding.
- Eventuele bijlagen.

De bevindingen worden geanalyseerd door de modellers en met de controlerend geoloog besproken. Bij de analyse worden de volgende zaken vastgelegd:

- Prioriteit ('Laag', 'Midden', 'Hoog').
- Analyse: oorzaak en gewenste oplossing.
- Oplossing status ('Direct oplossen', 'Volgende release', 'Niet oplossen').

Prioriteit en oplossing status worden in gezamenlijk overleg met de controlerend geoloog vastgesteld. De bevindingen waarvoor besloten is ze op te lossen worden door de modellers in het model verwerkt. Bij de eerstvolgende iteratie van de modellering wordt opnieuw gecontroleerd en krijgen opgeloste bevindingen de status 'Opgelost'. Indien er, na een aantal iteraties, geen bevindingen meer zijn die opgelost moeten worden is het eindpunt van het werkproces *Modelleren lithoklasse* bereikt.

Bevindingen die eindigen met de status 'Volgende release' worden opgenomen in een algemene bevindingenlijst van GeoTOP. In deze algemene bevindingenlijst zijn dus bevindingen van meerdere modelgebieden opgenomen.

Afhankelijk van de bevindingen wordt een (deel van) het werkproces *Modelleren lithoklasse* opnieuw uitgevoerd.

Net als bij eerdere controle van Indelen stratigrafie worden kunnen ook hier nog bevindingen veroorzaakt worden door boringen van lage kwaliteit, de zogenaamde 'uitbijters'. Deze boringen zijn zichtbaar doordat ze een afwijkende verticale opeenvolging van lithoklassen veroorzaken.

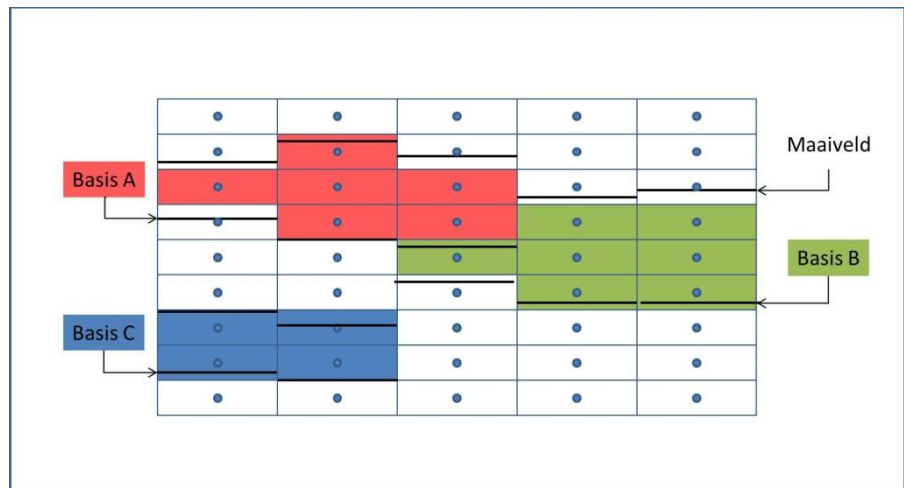
De boring wordt in voorkomende gevallen opgenomen in de **uitsluitlijst** die in processtap *Opsporen en uitsluiten duplicaten* voor het eerst is aangemaakt.

4.5.18 *Werkproces met Holocene geulsystemen*

De bovenstaande paragrafen beschrijven het werkproces voor de modelgebieden waar Holocene geulsystemen niet voorkomen of niet als aparte eenheden zijn gemodelleerd (het laatste geldt bijvoorbeeld voor Zeeland). In modelgebieden waarin de Holocene geulsystemen als aparte eenheden zijn gemodelleerd (bijvoorbeeld Zuid-Holland, Noord-Holland en Rivierengebied) wordt het werkproces deels opgesplitst in een deel 'Holocene geulsystemen' en een deel 'Reguliere eenheden' (Figuur 4.5.2).

In Figuur 4.5.2 is te zien dat de Holocene geulsystemen een eigen werkproces hebben dat grotendeels parallel aan die van de 'reguliere eenheden' wordt uitgevoerd. Het werkproces is grotendeels gelijk aan dat van de 'reguliere eenheden', maar verschilt op de volgende punten:

- **Generaties** – De Holocene geulsystemen worden per generatie (relatieve ouderdom) gemodelleerd. Een voorbeeld is het geulstelsel van de Oude Rijn dat tot generatie 'B' behoort en de op één na jongste generatie is.
- De relatieve ouderdom geeft ook informatie over de relatieve diepteligging van de geulen in de ondergrond: hoe ouder hoe dieper.
- **Stratigrafische indeling** – De geulen kennen ook een stratigrafische indeling in de Holocene eenheden 'EC' (Formatie van Echteld) en 'NAWA' en 'NAWO' (respectievelijk de Laagpakketten van Walcheren en Wormer van de Formatie van Naaldwijk). De stratigrafische indeling is echter altijd vast te stellen op basis van de geografische ligging (horizontale verbreiding) van de geulen en speelt bij de modellering van de lithoklassen daarom geen rol.
- **Vertalen lagenmodel naar voxelmodel** – Uitgangspunt is het lagenmodel met de top en basis van de generaties van de Holocene geulsystemen (Figuur 4.5.21). Voxels waarvan het middelpunt zich tussen de top en de basis van een generatie bevindt krijgen die generatie toegewezen. Met 'tussen' wordt hier bedoeld: *op of boven* de basis en *onder* de top.

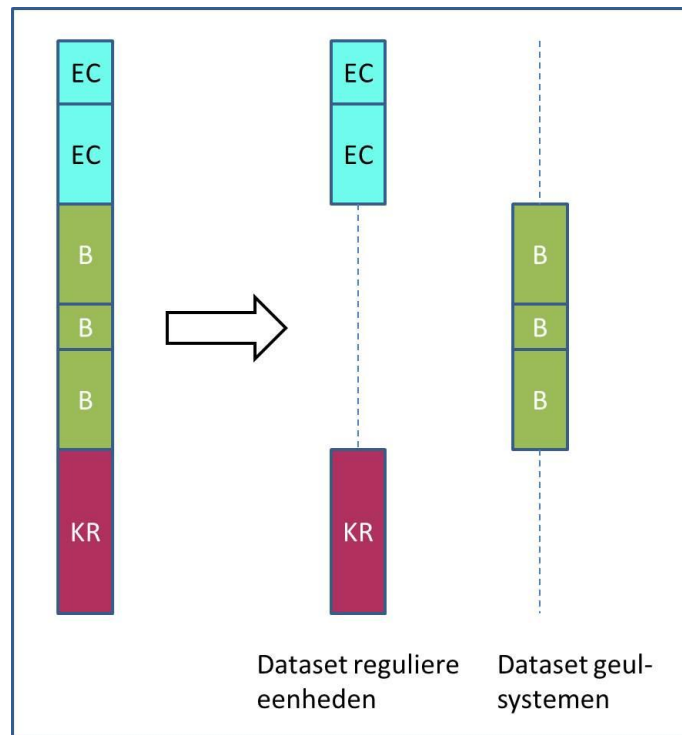


Figuur 4.5.21: Vertaling van generaties van Holocene geulsystemen naar het voxelmodel. De figuur geeft een dwarsdoornede door het voxelmodel weer. De blauwe cirkeltjes zijn de middelpunten van de voxels. De zwarte lijnstukjes geven de top en basis weer volgens het lagenmodel.

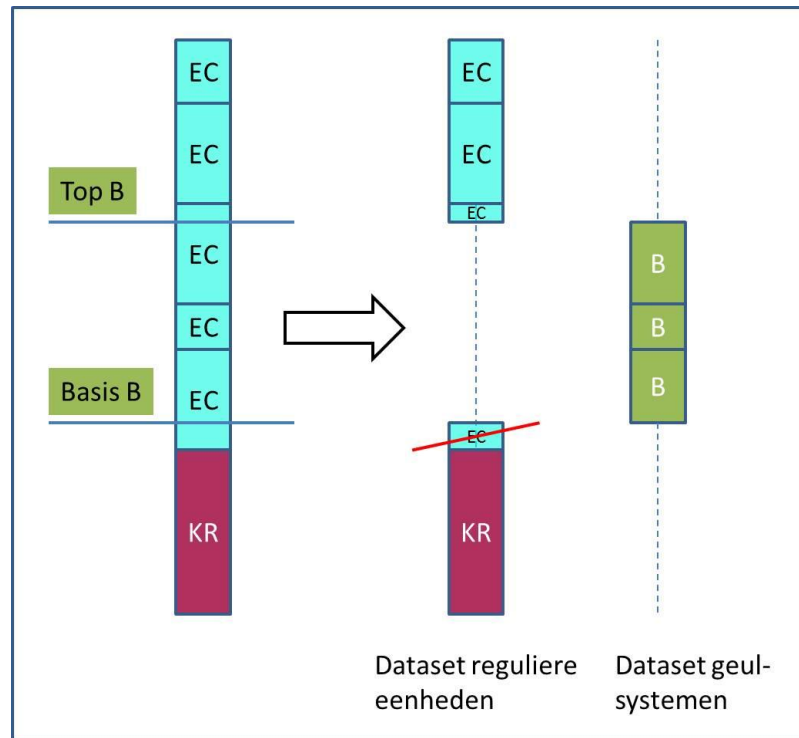
Bij de vertaling blijven de voxels waarin zich reguliere eenheden bevinden leeg.

- **Indelen boorbeschrijvingen in lithoklassen** – Voor de Holocene geulsystemen wordt dezelfde lithoklasseindeling gebruikt als voor de reguliere eenheden. De boorbeschrijvingen worden in deze processtap echter ook **gesplitst in twee afzonderlijke datasets**, een voor de reguliere eenheden en een voor de Holocene geulsystemen, waarbij 3 situaties kunnen voorkomen:
 - 1) De boring ligt buiten de verbreiding van de geulsystemen. De boringen worden in zijn geheel toegevoegd aan de dataset van de reguliere eenheden.
 - 2) De boring ligt binnen de verbreiding van een geulgeneratie (Figuur 4.5.22), en er is bij de toekenning van stratigrafie (paragraaf 4.3) een top en basis van een geul gevonden. De intervallen van de boorbeschrijving die tussen top en basis van de geul liggen worden

- toegevoegd aan de dataset van de geulsystemen, de overige intervallen worden toegevoegd aan de dataset van de reguliere eenheden.
- 3) De boring ligt binnen de verbreiding van een geulgeneratie (Figuur 4.5.23), maar er is bij de toekenning van stratigrafie (paragraaf 4.3) geen top en basis van een geul gevonden. Het gaat hier om een boring in klei of veen. De top en basis van de geul in de boring wordt dan overgenomen uit het lagenmodel van de geul. Dit gebeurt door de waarde van de top- en basisrasters van de geul op de (x,y)-locatie van de boring te bepalen. De intervallen tussen top en basis van de geul worden toegevoegd aan de dataset van de geulsystemen, de overige intervallen worden toegevoegd aan de dataset van de reguliere eenheden. Intervallen die deels in en deels onder of boven de geul liggen, worden opgesplitst.
- In uitzonderingsgevallen ligt een geulstelsel in zijn geheel binnen één reguliere modeleenheid (bijvoorbeeld geul "B" in Figuur 4.4.10 in de beschrijving van het lagenmodel in paragraaf 4.4.13). De intervallen van de reguliere formatie onder de geul worden dan verwijderd uit de dataset (rode streep in Figuur 4.5.23). Dergelijke intervallen zouden in vervolgstappen anders lastige technische consequenties hebben.



Figuur 4.5.22: Opsplitsen van een boorbeschrijving. De figuur betreft situatie 2): de boring ligt binnen de verbreiding van een geulgeneratie, en er is een top en basis van een geul gevonden. De intervallen van de boorbeschrijving die tussen top en basis van de geul liggen worden toegevoegd aan de dataset van de geulsystemen, de overige intervallen worden toegevoegd aan de dataset van de reguliere eenheden. EC = Formatie van Echteld; B = geulgeneratie B; KR = Formatie van Kreftenheye.



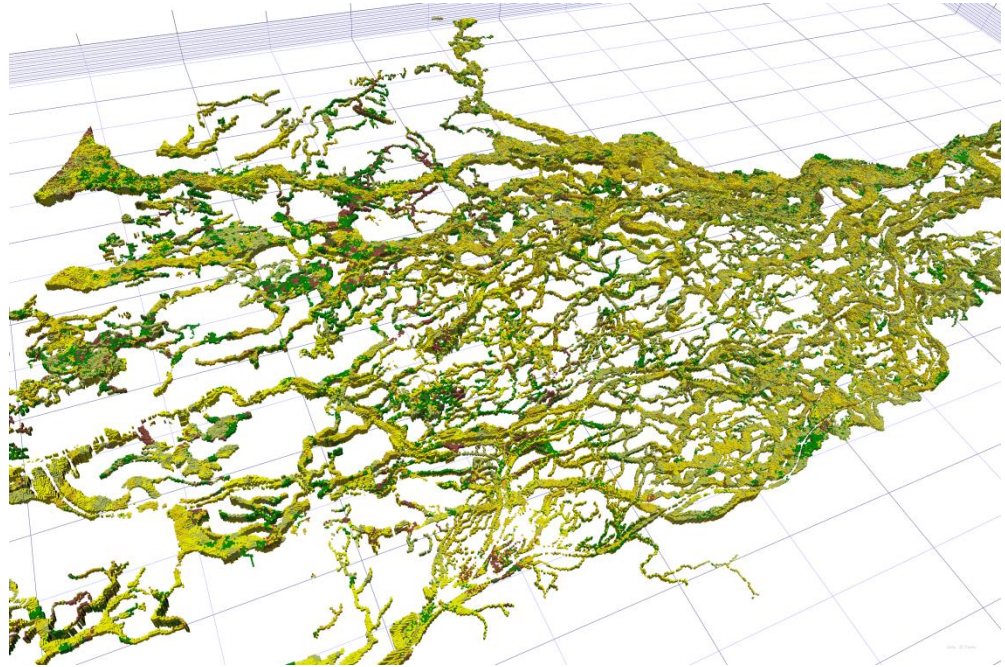
Figuur 4.5.23: Opsplitsen van een boorbeschrijving. De figuur betreft situatie 3): De boring ligt binnen de verbreiding van een geulgeneratie, maar er is geen top en basis van een geul gevonden. Het gaat hier om een boring in klei of veen. De top en basis van de geul in de boring wordt dan overgenomen uit het lagenmodel van de geul. Dit gebeurt door de waarde van de top- en basisrasters van de geul op de (x,y)-locatie van de boring te bepalen. De intervallen tussen top en basis van de geul worden toegevoegd aan de dataset van de geulsystemen, de overige intervallen worden toegevoegd aan de dataset van de reguliere eenheden. Intervallen die deels in en deels onder of boven de geul liggen, worden opgesplitst. EC = Formatie van Echteld; B = geulgeneratie B; KR = Formatie van Kreftenheye.

De overige processtappen zijn voor de geulsystemen gelijk aan die van de reguliere eenheden, waarbij een geulgeneratie als reguliere eenheid beschouwd kan worden:

- Vereenvoudigen boorbeschrijvingen.
- Fitten boorbeschrijvingen aan lagenmodel.
- Regulariseren boorbeschrijvingen.
- Berekenen globale verhoudingen.
- Importeren data.
- Maken selecties.
- Vaststellen geostatistische parameters.
- Simuleren lithoklassen.
- Berekenen kans op lithoklasse.
- Berekenen meest waarschijnlijke lithoklasse.
- Exporteren voxelmodel met alle attributen.

In de laatste processtap wordt het resulterende voxelmodel met meest waarschijnlijke lithoklasse (Figuur 4.5.24) en per lithoklasse een kans op voorkomen geëxporteerd. Per blok wordt een csv-bestand gemaakt voorzien van een beschrijvende *header*.

De exportbestanden worden vervolgens in de Isatis-study van de reguliere eenheden geïmporteerd en toegevoegd aan het voxelmodel van de reguliere eenheden. Het gecombineerde resultaat wordt vervolgens wederom geëxporteerd als csv-bestanden per blok.



Figuur 4.5.24: Holocene geulsystemen in midden en west Nederland. De kleuren geven de meest waarschijnlijke lithoklasse weer: groen is klei, bruin is veen, geel is zand (hoe donkerder hoe grofkorreliger).

4.5.19 *Workflow management*

Het belangrijkste deel van het werkproces wordt met behulp van het softwarepakket Isatis van de Franse firma Geovariances uitgevoerd. Isatis is een geostatistisch analyse en modelleringspakket dat zowel handmatig als batchgewijs aangestuurd kan worden. De batchgewijze werkwijze heeft als voordeel dat alle uit te voeren acties worden vastgelegd en daarmee reproduceerbaar zijn. Tevens biedt de batchgewijze werkwijze de mogelijkheid om de vaak langdurige berekeningen 's nachts of in het weekend uit te voeren.

De batchgewijze aansturing van Isatis gebeurt met zogenaamde *journal-files*, waarin instructies voor Isatis zijn opgenomen. Deze instructies worden vervolgens door Isatis sequentieel verwerkt. Het handmatig samenstellen van *journal-files* is niet eenvoudig. Daarom is in Microsoft Excel een zogenaamde *workflow manager* ontwikkeld waarmee op eenvoudige wijze *journal-files* aangemaakt kunnen worden.

Centraal in de *workflow manager* is het tabblad "gridactions" waar Isatis functies / acties worden opgenomen (Figuur 4.5.25).

Actie	Parameters	Variable type	Number of indices
230	None		
231	Intervalselecties Niet-zand-klasse: niet_zand_klasse01 heeft waarde 1 bij fijn organische stof, 0 bij alle andere klassen, etc.		
232	Data variabele	Lower bound (inclusive)	Upper bound (inclusive)
233	niet_zand_klasse	1	1
234	niet_zand_klasse	2	2
235	niet_zand_klasse	3	3
236	Acties alleen voor NAWA		
237	SISIM van zand		
238	New variable	Variable type	Number of indices
239	NAWA_SIS_ZAND[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10
240	SISIM Selection name data	Data variable	Category label
241	NAWA	zand	NAWA_cat_zand
242	Selecteer voor elk van de SISIM realisaties het zand (chewaarde 1)		
243	New variable	Variable type	Number of indices
244	sel_NAWA_SIS_ZAND[xxxxxx]	Macro Variable 1 bit	10
245	Grid variabele	Lower bound (inclusive)	Upper bound (inclusive)
246	NAWA_SIS_ZAND[00001]	1	1
247	NAWA_SIS_ZAND[00002]	1	1
248	NAWA_SIS_ZAND[00003]	1	1
249	NAWA_SIS_ZAND[00004]	1	1
250	NAWA_SIS_ZAND[00005]	1	1
251	NAWA_SIS_ZAND[00006]	1	1
252	NAWA_SIS_ZAND[00007]	1	1
253	NAWA_SIS_ZAND[00008]	1	1
254	NAWA_SIS_ZAND[00009]	1	1
255	NAWA_SIS_ZAND[00010]	1	1
256	Voer voor elke SISIM realisatie een nieuwe serie SISIM's uit binnen de selectie zand		
257	De cellen met zand krijgen daarmee een zand_klasse (fijn, matig grof en grof) toegekend		
258	New variable	Variable type	Number of indices
259	NAWA_SIS_ZAND_KLASSE1[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10
260	NAWA_SIS_ZAND_KLASSE2[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10
261	NAWA_SIS_ZAND_KLASSE3[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10
262	NAWA_SIS_ZAND_KLASSE4[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10
263	NAWA_SIS_ZAND_KLASSE5[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10
264	NAWA_SIS_ZAND_KLASSE6[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10
265	NAWA_SIS_ZAND_KLASSE7[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10
266	NAWA_SIS_ZAND_KLASSE8[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10
267	NAWA_SIS_ZAND_KLASSE9[xxxxxx]	Macro Variable 8 bits	10

Figuur 4.5.25: Workflow manager voor de modellering van lithoklassen in Isatis.

Per uit te voeren functie is er 1 regel met de naam van de actie en de invoerparameters. Tevens is er een kolom waarmee de regel aan of uit gezet kan worden. Met een druk op een knop wordt een *journal-file* gecreëerd waarmee alle aangezette functies in Isatis kunnen worden uitgevoerd. De algemene functionaliteit van Excel maakt het mogelijk om snel functies te kopiëren of de volgorde aan te passen.

Een bijzonderheid van de *workflow manager* van de lithoklassmodellering is dat de acties eenmalig hoeven worden ingevoerd, maar dat vervolgens voor alle gedefinieerde blokken *journal-instructies* worden aangemaakt.

4.6 Maken afgeleide producten (o.a. kaarten)

In het werkproces **Maken afgeleide producten** worden op basis van het lagenmodel en het voxelmodel kaarten gemaakt van bijvoorbeeld cumulatieve veendiktes, horizontale doorsneden door het model en kaarten voor Delfstoffen Online. Deze kaarten worden via de portal *DINO Loker* aan de buitenwereld beschikbaar gesteld.

De werkprocessen in de voorgaande hoofdstukken richtten zich steeds op één modelgebied. Bij de processtappen van het werkproces *Maken afgeleide producten* worden echter meerdere modelgebieden betrokken.

De belangrijkste afgeleide producten zijn:

- Een uit de afzonderlijke lagenmodellen van meerdere modelgebieden samengesteld **lagenmodel**, inclusief de onderliggende geïnterpreteerde boorbeschrijvingen.
- Upload bestanden om de **stratigrafische interpretaties** van de boorbeschrijvingen op te nemen in DINO.

- Rasterkaarten met **horizontale doorsneden** door de voxelmodellen die een eigenschap (lithoklasse, stratigrafie) op een bepaalde diepte ten opzichte van maaiveld of NAP aangeven.
- Rasterkaarten met **cumulatieven** die, bijvoorbeeld, de cumulatieve dikte van het zand in de eerste 20 m onder maaiveld aangeven.
- (Oppervlakte) **geologische kaarten**.
- Kaart van de ligging en aard van het **Top Pleistoceen**.
- **Grondslagkaart**, die inzicht geeft in de geschiktheid van de ondergrond voor rioleringen.
- Datasets voor de **SubsurfaceViewer**. De SubsurfaceViewer is een programma voor het visualiseren van zowel het lagenmodel als het voxelmodel van GeoTOP. De datasets voor de SubsurfaceViewer zijn afgeleide producten.
- Kaarten voor **Delfstoffen Online**, een online informatiesysteem dat inzicht biedt in het voorkomen van oppervlakedelfstoffen in de Nederlandse ondergrond.
- **XY-bestand** om snel de verticale opeenvolging van stratigrafie en lithoklasse op een puntlocatie te raadplegen (NB: dit afgeleide product is nog niet beschikbaar op *DINOLOket*).

Van bovengenoemde afgeleide producten wordt in de navolgende paragrafen beschreven hoe ze worden gemaakt.

De opzet van dit hoofdstuk wijkt iets af van de voorgaande. Het werkproces valt namelijk uiteen in een deelwerkproces voor elk soort afgeleid product. Elk deelwerkproces heeft vervolgens zijn eigen processtappen. De deelwerkprocessen kunnen grotendeels onafhankelijk van elkaar uitgevoerd worden.

4.6.1 *Maken samengesteld lagenmodel*

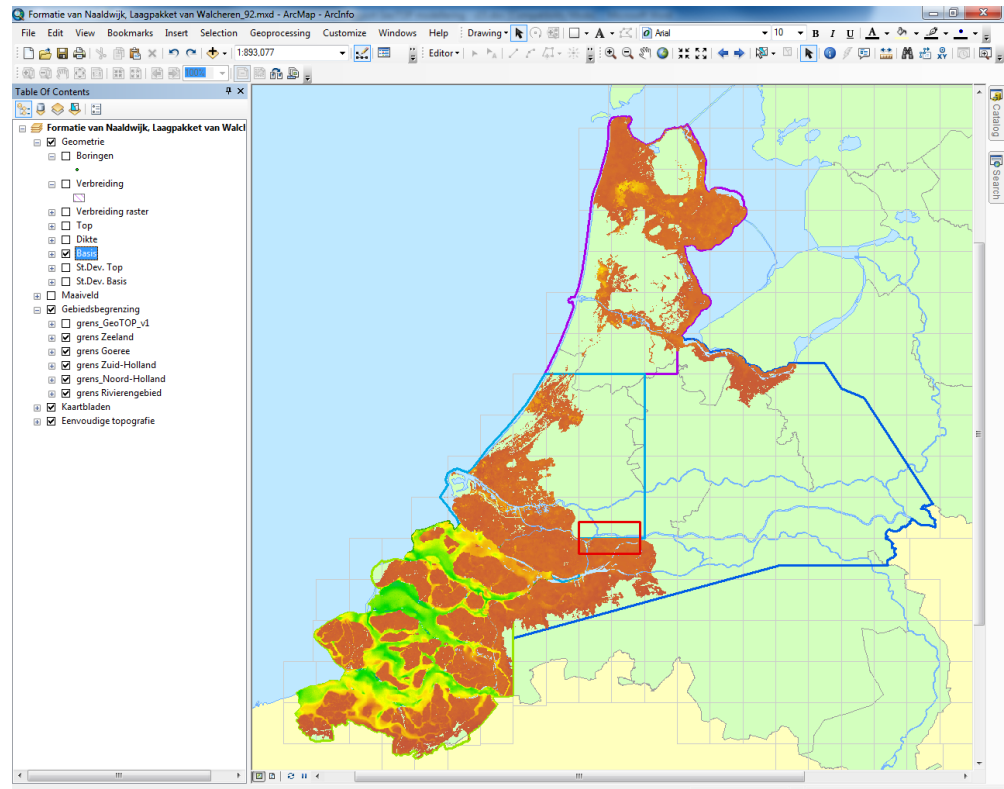
In paragraaf 4.4 is beschreven hoe het lagenmodel van een GeoTOP modelgebied tot stand komt. Het eindproduct is een set van 5 rasters (in ArcAscii formaat) voor elke in het modelgebied gemodelleerde stratigrafische eenheid. De 5 rasters zijn:

- Top van de eenheid, in m ten opzichte van NAP.
- Basis van de eenheid, in m ten opzichte van NAP.
- Dikte van de eenheid, in m.
- Standaard deviatie van de top, in m.
- Standaard deviatie van de basis, in m.

Bij het maken van de lagenmodellen is voor elk modelgebied afzonderlijk bekeken welke stratigrafische eenheden van belang waren om in het model op te nemen. Bij het maken van het samengestelde lagenmodel wordt eerst per eenheid bekeken in welke modelgebieden hij voorkomt. De rasterkaarten van de afzonderlijke modelgebieden worden vervolgens aan elkaar gepast. Een voorbeeld is het Laagpakket van Schoorl van de Formatie van Naaldwijk (eenheid 'NASC'), die in de modelgebieden Zeeland, Goeree-Overflakkee, Zuid-Holland en Noord-Holland voorkomt, maar niet in modelgebied Rivierengebied. De rasterkaarten van eenheid 'NASC' in de eerstgenoemde vier modelgebieden worden dan aan elkaar gepast.

In een gering aantal gevallen ontstaan er "lasnaden" tussen de modellen: plaatsen waar de lagenmodellen van de verschillende modelgebieden niet exact op elkaar aansluiten. Dit komt door 'voortschrijdend inzicht': bij het maken van een nieuw modelgebied kan bijvoorbeeld blijken dat een verbreidingsgrens in een eerder gemodelleerd, aangrenzend modelgebied onjuist is.

Een voorbeeld is het Laagpakket van Walcheren van de Formatie van Naaldwijk. Bij de modellering van het Rivierengebied bleek de verbreidingsgrens in het eerder gemodelleerde, aangrenzende modelgebied Zuid-Holland te ver naar het zuiden te liggen. Dit is in Rivierengebied gecorrigeerd, maar in het oudere modelgebied Zuid-Holland nog niet. Tussen de modelgebieden Zuid-Holland en Rivierengebied is daardoor een onnatuurlijk rechte grens ontstaan (Figuur 4.6.1). Dit soort “lasnaden” zal bij toekomstige updates van GeoTOP worden gecorrigeerd.

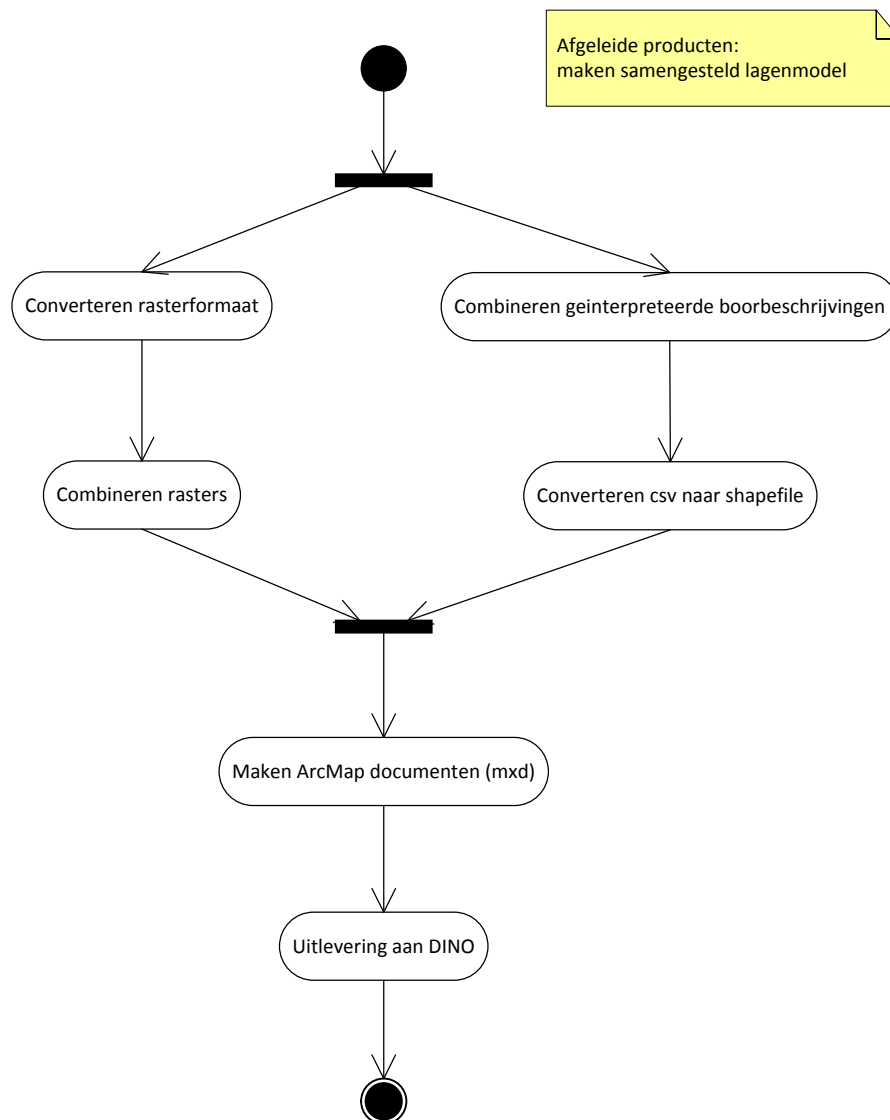


Figuur 4.6.1: ArcMap document (mxd) met een samengesteld raster van de basis van het Laagpakket van Walcheren. Let op de onnatuurlijk rechte grens tussen de modelgebieden Zuid-Holland en Rivierengebied, aangegeven door de rode rechthoek.

Een volledig overzicht van het samengestelde lagenmodel en de “lasnaden” is opgenomen in het document *Matrix Modelgebieden versus Eenheden*, dat te vinden is op DINOLoket op de downloadpagina van GeoTOP. In dit document wordt per lithostratigrafische eenheid en per modelgebied aangegeven of de eenheid in het model aanwezig is en welke bijzonderheden er van toepassing zijn.

Behalve de stratigrafische eenheden worden ook de rasters van maaiveld- en waterbodemhoogte van de modelgebieden aan elkaar gepast.

Figuur 4.6.2 geeft de processtappen van het deelwerkproces *Maken samengesteld lagenmodel* weer. De processtappen worden hieronder toegelicht.



Figuur 4.6.2: Processtappen in het deelwerkproces Maken samengesteld lagenmodel.

Converteren rasterformaat

In deze stap worden alle rasters van de betrokken modelgebieden geconverteerd naar het ERDAS Imagine formaat. Dit is een rasterformaat dat door veel GIS softwarepakketten, inclusief ArcGIS, gelezen kan worden. Er is gekozen voor ERDAS Imagine in plaats van het eigen rasterformaat van ESRI omdat de laatste hinderlijke beperkingen kent in de lengte van de bestandsnamen. De conversie is geautomatiseerd met een combinatie van Python en ArcGIS.

Combineren rasters

De rasters (top, basis, dikte, standaard deviatie top, standaard deviatie basis) van eenheden die in meer dan een modelgebied voorkomen worden aan elkaar gepast. Ook de maaiveld- en waterbodemoogtebestanden van de verschillende modelgebieden worden aan elkaar gepast. Het combineren is geautomatiseerd met een combinatie van Python en ArcGIS.

Combineren geïnterpreteerde boorbeschrijvingen

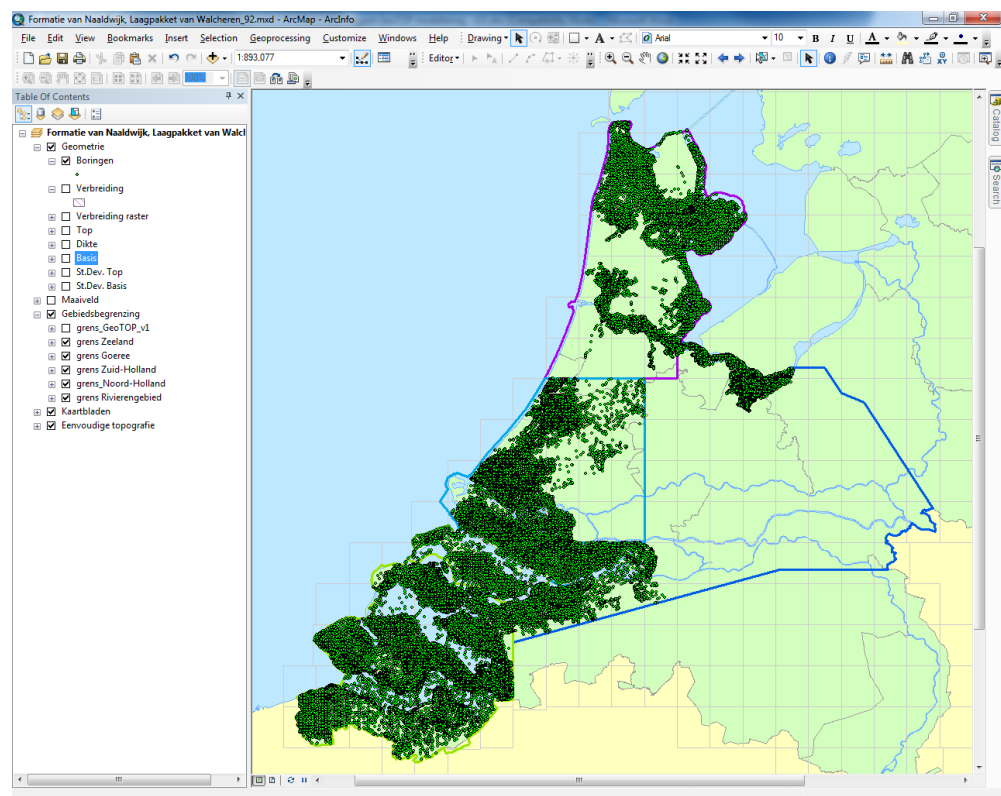
Uit de stratigrafische indeling van de boorbeschrijvingen van de verschillende modelgebieden wordt een bestand samengesteld dat per boring, per eenheid aangeeft wat de top en basis van de eenheid in de boring is. Op basis van dit bestand wordt per eenheid een apart bestand samengesteld met de boringen waarin de eenheid is aangetroffen. Voor elke boring worden de volgende attributen opgenomen:

- Boornummer.
- Locatie (x,y).
- Maaiveldhoogte.
- Einddiepte boring.
- Top van de eenheid.
- Basis van de eenheid.
- Dikte van de eenheid.
- Broncode (NH = Noord-Holland, RIV = Rivierengebied etc.).
- Indicatie of de eenheid volledig doorboord is of niet.

Het combineren is geautomatiseerd met behulp van Python.

Converteren csv naar shapefile

De in de voorgaande processtap gemaakte bestanden zijn csv-bestanden (comma separated values). Deze bestanden worden vervolgens geconverteerd naar ESRI shapefiles (Figuur 4.6.3, 4.6.4).



Figuur 4.6.3: ArcMap document (mxd) met samengestelde locaties van boringen waarin het Laagpakket van Walcheren is aangetroffen. In dit kaartbeeld is op de grens tussen Zuid-Holland en Noord-Holland het resultaat van voortschrijdend inzicht te zien: delen van de boorbeschrijving die in Zuid-Holland tot het laagpakket

van Walcheren worden gerekend, zijn in Noord-Holland bij een andere eenheid meegenomen.

FID	Shape	Id	Boornummer	Xcoörd	Ycoörd	MV_nap	BRON	TOP_nap	BASIS_nap	DIKTE	ENDD_nap	DOORBOORD
0	Point	0	B09D0003	110860	552850	0.8	NH	0.8	-4.2	5	-15.4	ja
1	Point	0	B09D0006	111620	553140	5	NH	1.2	-4.8	6	-15	ja
2	Point	0	B09D0007	113150	553180	7	NH	1	-4	5	-4	nee
3	Point	0	B09D0008	114035	553220	-2.2	NH	-2.2	-3.45	1.25	-21.1	ja
4	Point	0	B09D0010	114300	553250	-3.35	NH	-3.35	-4.65	1.3	-21	ja
5	Point	0	B09D0011	114150	553160	-2.35	NH	-2.35	-2.6	0.25	-20.049999	ja
6	Point	0	B09D0014	114230	553320	-3.1	NH	-3.1	-4.05	0.95	-23.1	ja
7	Point	0	B09D0015	110830	551370	3.63	NH	-0.4	-4	3.6	-4	nee
8	Point	0	B09D0016	110850	551290	3.4	NH	-0.25	-3.6	3.35	-10	ja
9	Point	0	B09D0017	110900	551220	3.4	NH	-0.3	-4.1	3.8	-21.6	ja
10	Point	0	B09D0021	112910	552660	1.6	NH	0.85	-2.05	2.9	-12.15	ja
11	Point	0	B09D0024	113450	552540	1.2	NH	1.2	-2.8	4	-17	ja
12	Point	0	B09D0026	114640	551960	3.3	NH	0.2	-6.45	6.65	-14.3	ja
13	Point	0	B09D0027	114630	551890	3.3	NH	0.3	-6.2	6.5	-11.7	ja
14	Point	0	B09D0028	114700	551900	3.3	NH	0.2	-1.4	1.6	-11.7	ja
15	Point	0	B09D0029	114650	551810	3.3	NH	0.1	-1.35	1.45	-11.7	ja
16	Point	0	B09D0030	114750	551820	3.3	NH	0.25	-1.35	1.6	-11.65	ja
17	Point	0	B09D0046	114850	551230	-0.55	NH	-0.55	-2.3	1.75	-13.05	ja
18	Point	0	B09D0047	115200	551230	-2.2	NH	-2.2	-3.1	0.9	-13.35	ja
19	Point	0	B09D0048	114870	551100	-2.5	NH	-2.5	-4.6	2.1	-15.3	ja
20	Point	0	B09D0049	115160	551130	-2.7	NH	-2.7	-5	2.3	-15	ja
21	Point	0	B09D0050	114970	551040	-2.8	NH	-2.8	-4.8	2	-15.2	ja
22	Point	0	B09D0051	114100	550830	-3.55	NH	-3.55	-4.55	1	-15.55	ja
23	Point	0	B09D0052	114885	550620	-2.9	NH	-2.9	-4.5	1.6	-15.55	ja
24	Point	0	B09D0055	115100	551230	-2.2	NH	-2.2	-4.5	2.3	-14.1	ja
25	Point	0	B09D0056	115100	551130	-2.7	NH	-2.7	-4.2	1.5	-13.7	ja
26	Point	0	B09D0057	114900	551020	-2.1	NH	-2.1	-7	4.9	-13.8	ja
27	Point	0	B09D0060	114920	550940	-1.8	NH	-1.8	-2.4	0.6	-15.8	ja
28	Point	0	B09D0061	115025	550950	-3.5	NH	-3.5	-5.3	1.8	-14.6	ja
29	Point	0	B09D0062	115100	550985	-2.6	NH	-2.6	-4.2	1.6	-14.6	ja

Figuur 4.6.4: Attribuentabel van de boringen in Figuur 4.6.3

Maken ArcMap documenten (mxd)

Per stratigrafische eenheid wordt een ArcMap document (mxd) gemaakt waarin de samengestelde rasterkaarten en het shapefile met de boorgegevens worden opgenomen. De kaarten en het shapefile worden voorzien van een legenda (kleurenschaal).

Aan elk ArcMap document wordt ondersteunende informatie toegevoegd:

- Eenvoudige topografie van Nederland.
- Kaartblad indeling (conform de boornummerindeling).
- Begrenzing van de GeoTOP modelgebieden.
- Maaiveld- en waterbodemoogtekaart.
- Korte toelichting op de inhoud.

Het maken van de ArcMap documenten is een handmatige en tijdrovende processtap.

Uitleveren aan DINO

De ArcMap documenten en de onderliggende rasters en shapefiles worden uitgeleverd aan de afdeling DINO voor publicatie op DINO_{Loket}.

4.6.2 Maken upload bestanden voor geïnterpreteerde boorbeschrijvingen

In het in hoofdstuk 4.3 beschreven werkproces zijn de boorbeschrijvingen van een modelgebied voorzien van een lithostratigrafische interpretatie. Deze interpretatie wordt aangeboden aan DINO om op te nemen in de DINO database. Daarbij gelden de volgende bijzonderheden:

- In DINO wordt in het veld "Interpreter Name" aangegeven dat het om een geautomatiseerde interpretatie gaat, bijvoorbeeld: "Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v01r0"

- De interpretatie wordt alleen de voorkeurs-interpretatie (“Preferred Boolean” krijgt de waarde “J”) als het de enige interpretatie is; als er al een andere, handmatige interpretatie bestaat gaan we ervan uit dat deze beter is (een geoloog heeft naar de boorbeschrijving gekeken en mogelijk bijvoorbeeld ook een bij het boorgat horende geofysische boorgatmeting geanalyseerd). In andere gevallen krijgt de “Preferred Boolean” krijgt de waarde “N”. NB: in technische zin wordt dit opgelost door alle interpretaties met de waarde “N” aan DINO aan te bieden.
- De geïnterpreteerde boringen van de Universiteit Utrecht komen niet in DINO voor en worden dus ook niet ge-upload.
- De aan te bieden stratigrafiecodes moeten overeenkomen met de codes van de Nomenclator Ondiepe Ondergrond, die als referentietabel in DINO is opgenomen. Dit betekent dat een aantal modeleenheden vertaald moet worden, bijvoorbeeld:
 - De modeleenheden van de Holocene geulsystemen, bijvoorbeeld ‘AEC’ voor generatie ‘A’ van de eenheid ‘EC’ worden ontdaan van de generatie-aanduiding. Dus ‘AEC’ wordt ‘EC’.
 - Onbekende stratigrafie (‘-’) en de aanduiding ‘PL’ voor diepe eenheden die niet gemodelleerd zijn wordt vertaald naar ‘NN’.

In technische zin wordt de upload aangeboden in een tweetal Excel-sheets. De eerste Excel-sheet (Figuur 4.6.5) bevat per boring een regel met algemene informatie over de stratigrafische interpretatie. De tweede Excel-sheet (Figuur 4.6.6) bevat per boring per stratigrafisch interval de top en basis van het interval en de stratigrafie code. Omdat Excel-sheets een beperkt aantal regels kunnen bevatten wordt de data opgesplitst in meerdere setjes van twee Excel sheets. De Excel-sheets worden vervolgens aan DINO aangeboden voor de upload.

DINO_NR	MODEL_CD	VALID_BLN	PREFERRED_BLN	INTERPRETATION_DATE	INTERPRETER_OR	INTERPRETER_NM	CONFIDENCE	CONFIDENT	REMARK
1	B3803299	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
2	B3803300	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
3	B3803301	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
4	B3803302	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
5	B3803303	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
6	B3803304	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
7	B3803305	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
8	B3803306	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
9	B3803307	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
10	B3803308	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
11	B3803309	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
12	B3803310	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
13	B3803311	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
14	B3803312	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
15	B3803313	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
16	B3803314	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
17	B3803315	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
18	B3803316	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
19	B3803317	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
20	B3803318	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
21	B3803319	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
22	B3803320	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
23	B3803321	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
24	B3803322	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
25	B3803323	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
26	B3803324	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
27	B3803325	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
28	B3803326	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
29	B3803327	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
30	B3803328	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
31	B3803329	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
32	B3803330	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
33	B3803331	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
34	B3803332	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
35	B3803333	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
36	B3803334	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
37	B3803335	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
38	B3803336	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
39	B3803337	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
40	B3803338	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
41	B3803339	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
42	B3803340	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
43	B3803341	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
44	B3803342	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
45	B3803343	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
46	B3803344	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee
47	B3803345	J	N	31-05-2010	TNO	Geautomatiseerde interpretatie door GeoTOP Zuid-Holland v1r0	VER	1-1-2099	Geautomatisee

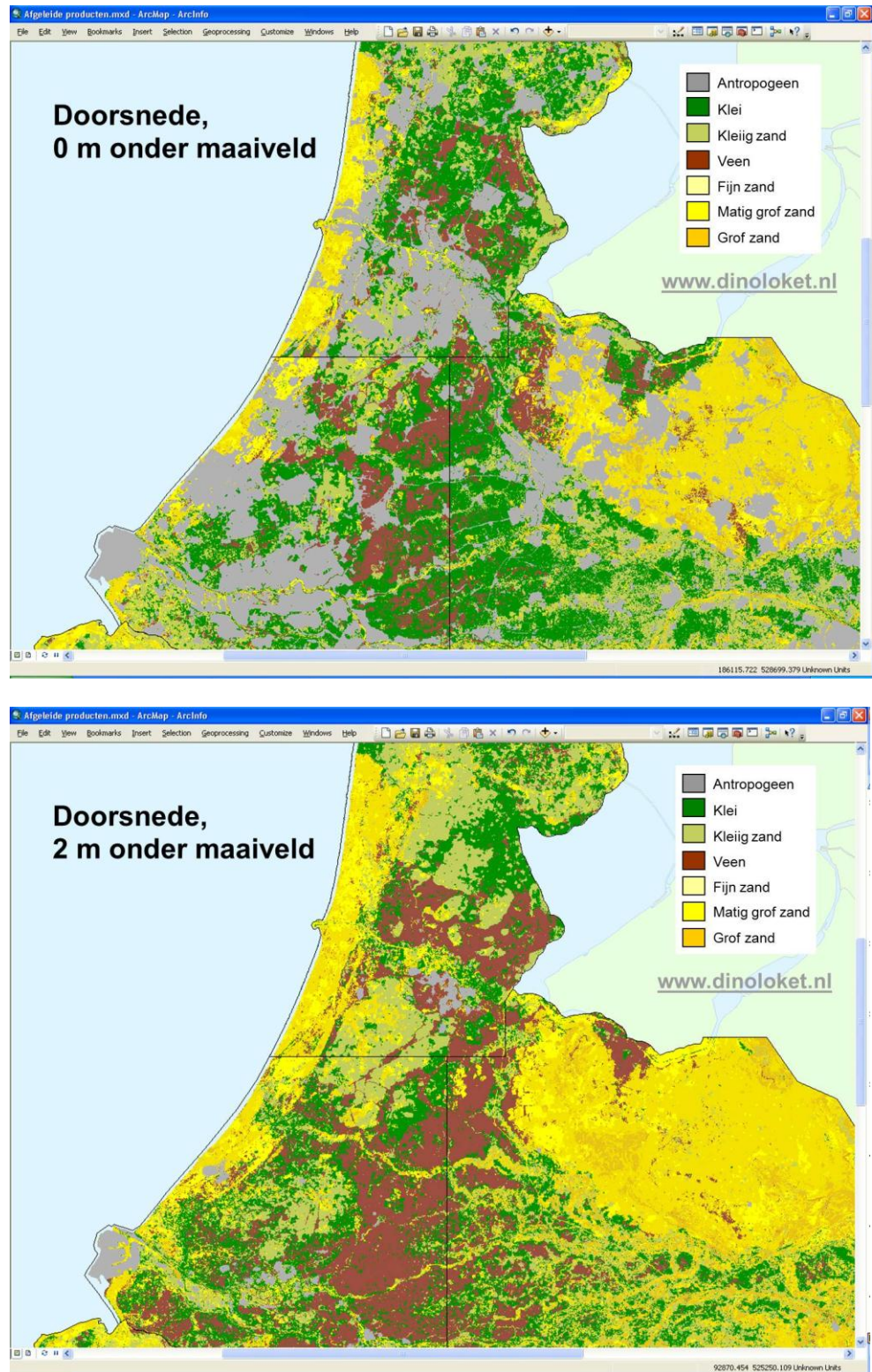
Figuur 4.6.5: Voorbeeld van een Excel-sheet voor de upload van algemene gegevens van de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen naar DINO.

DINO_NR	BOTTOM	TOP	DEF	UNIT_CD	UNIT_ALT	LITHOFAC	PUSHED	INTERNAL	EXTERNAL	REMARK
2	B38D3299	600								0 EC
3	B38D3299	6000	600							NHO
4	B38D3299	9000								6000 EC
5	B38D3299	9000								8000 NI
6	B38D3299	9700								9000 EC
7	B38D3299	10100								9700 NIBA
8	B38D3299	10600								10100 KRWWY
9	B38D3299	11400								10600 KR
10	B38D3300	600								0 EC
11	B38D3300	5000								600 NHO
12	B38D3300	10000								5000 EC
13	B38D3301	1800								0 EC
14	B38D3301	2800								1800 NHO
15	B38D3301	8000								2800 EC
16	B38D3302	2800								0 EC
17	B38D3302	3400								2800 NHO
18	B38D3303	8000								0 EC
19	B38D3304	700								0 EC
20	B38D3304	4400								700 NHO
21	B38D3305	800								0 EC
22	B38D3305	4200								800 NHO
23	B38D3305	5500								4200 EC
24	B38D3305	6200								5500 NI
25	B38D3305	6400								6200 EC
26	B38D3306	400								0 EC
27	B38D3306	6000								400 NHO
28	B38D3306	8200								6000 EC
29	B38D3306	9000								8200 NI
30	B38D3306	9800								9000 EC
31	B38D3306	10500								9800 NIBA
32	B38D3306	11100								10500 KR
33	B38D3307	4500								0 NHO
34	B38D3307	5000								4500 EC
35	B38D3307	9500								5000 EXDCE
36	B38D3308	500								0 EC
37	B38D3308	5400								500 NHO
38	B38D3308	8300								5400 EC
39	B38D3308	8600								8300 EXDCE
40	B38D3309	1300								0 EC
41	B38D3309	6700								1300 NHO
42	B38D3309	8000								6700 EC
43	B38D3309	9000								8000 NI
44	B38D3309	11000								9000 EC
45	B38D3309	11100								11000 NIBA
46	B38D3309	11700								11100 KRWWY
47	B38D3311	300								0 EC

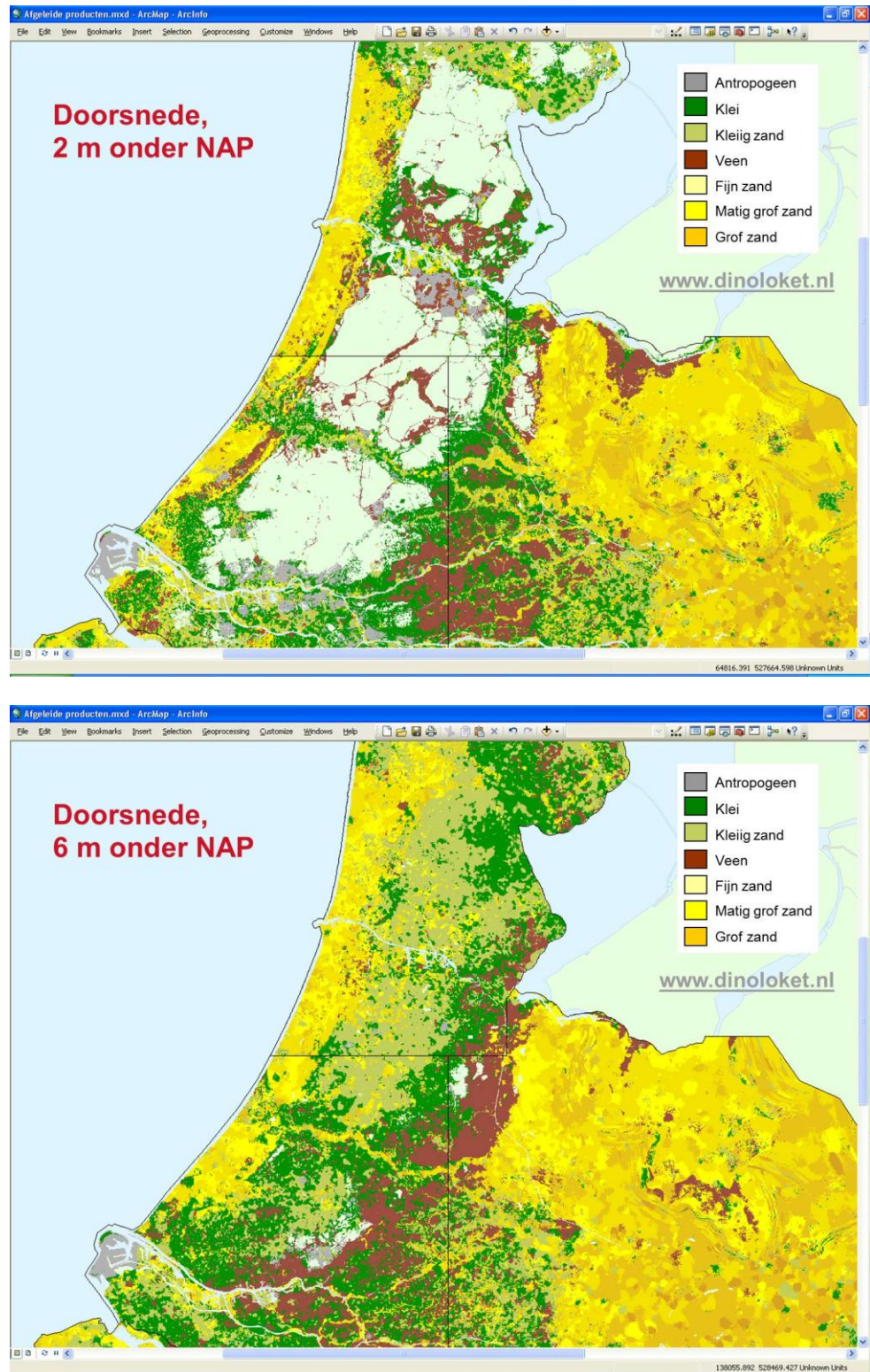
Figuur 4.6.6: Voorbeeld van een Excel-sheet voor de upload van de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen naar DINO.

4.6.3 Maken horizontale doorsneden

Horizontale doorsneden zijn rasterkaarten die een eigenschap van het voxelmodel (bijvoorbeeld lithoklasse) op een bepaalde diepte ten opzichte van maaiveld of NAP weergeven. Figuur 4.6.7 geeft als voorbeeld twee horizontale doorsneden van lithoklasse ten opzichte van maaiveld weer; Figuur 4.6.8 ten opzichte van NAP.

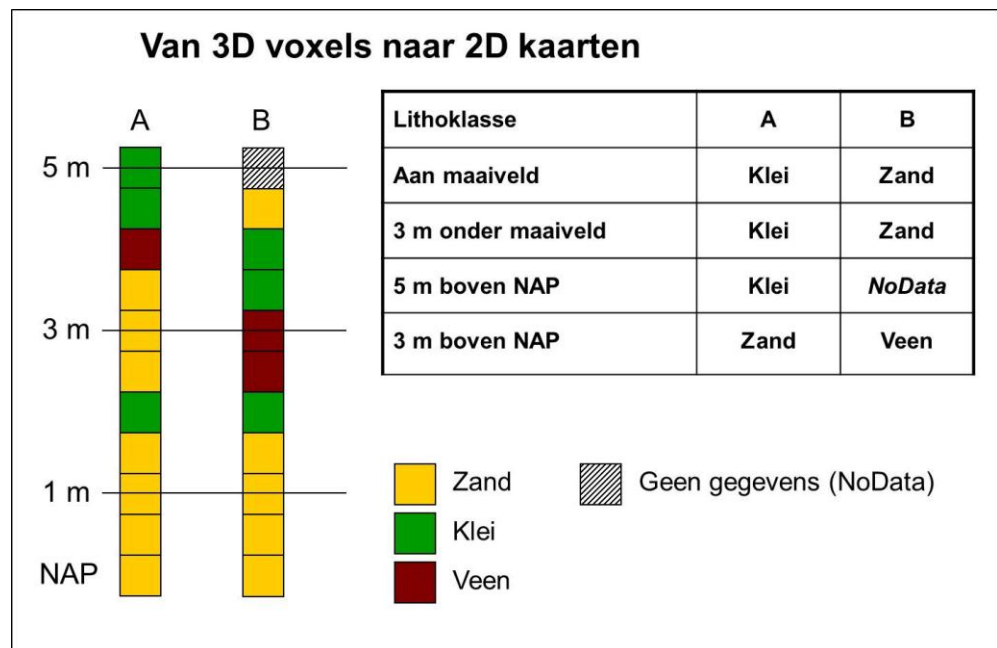


Figuur 4.6.7: Horizontale doorsneden met de lithoklassen op 0 m en 2 m onder maaiveld. De dunne zwarte lijnen geven de grenzen tussen de verschillende modelgebieden weer.



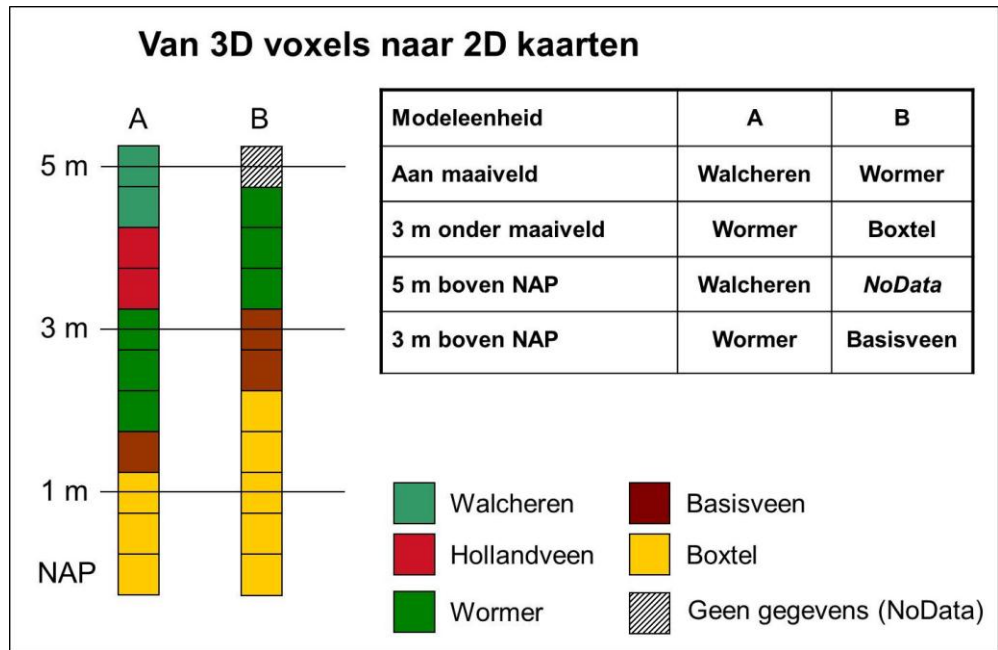
Figuur 4.6.8: Horizontale doorsneden met de lithoklassen op 2 m en 6 m onder NAP. De dunne zwarte lijnen geven de grenzen tussen de verschillende modelgebieden weer.

In hoofdstuk 4.5 is beschreven hoe het voxelmodel van een GeoTOP modelgebied tot stand komt. Het eindproduct is een csv-bestand per blok van het modelgebied. (zie Bijlage 7.3 voor een beschrijving van het dataformaat). Uit de bestanden kan voor elke combinatie van een x- en een y-coördinaat een *verticale voxel stack* geconstrueerd worden. Deze verticale voxel stack geeft voor een (x,y)-locatie de verticale opeenvolging van de eigenschappen van de voxels weer. Uit de voxel stack kan de waarde van een eigenschap (bijvoorbeeld lithoklasse) op een bepaalde diepte ten opzichte van maaiveld of NAP worden afgelezen. Deze waarde geldt dan voor de rastercel op de (x,y)-locatie in de rasterkaart. In Figuur 4.6.9 wordt deze werkwijze geïllustreerd voor de lithoklasse en in twee verschillende voxel stacks op locaties A en B.



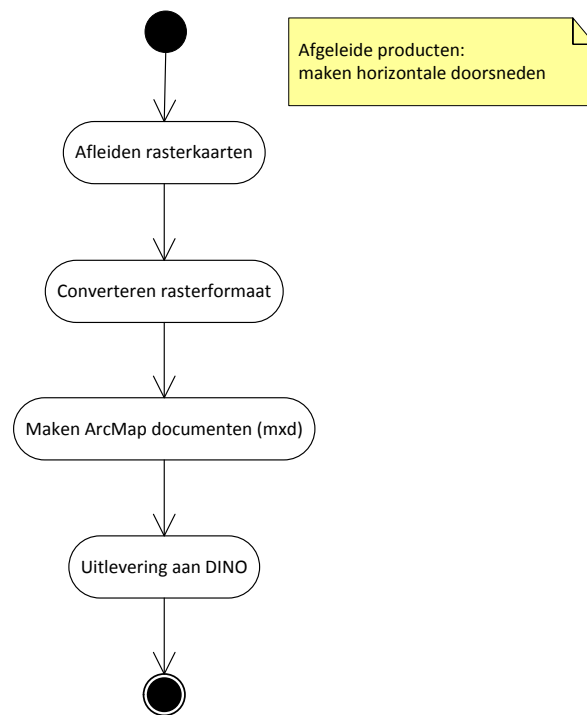
Figuur 4.6.9: Twee verticale voxel stacks met lithoklassen op locaties A en B. De tabel geeft de afgeleide waarden weer voor 4 verschillende doorsnedekaarten. De voxel in locatie B met "geen gegevens" is een niet gevulde voxel boven maaiveld.

In Figuur 4.6.10 wordt de werkwijze voor de eigenschap modeleenheid weergegeven



Figuur 4.6.10: Twee verticale voxel stacks met modeleenheden op locaties A en B. De tabel geeft de afgeleide waarden weer voor 4 verschillende doorsnedekaarten. De voxel in locatie B met “geen gegevens” is een niet gevulde voxel boven maaiveld.

Figuur 4.6.11 geeft de processtappen van het deelwerkproces *Maken horizontale doorsneden* weer. De processtappen worden hieronder toegelicht.



Figuur 4.6.11: Processtappen in het deelwerkproces *Maken horizontale doorsneden*.

Afleiden rasterkaarten

Voor elke horizontale doorsnede van een eigenschap op een bepaalde diepte ten opzichte van maaiveld of NAP wordt een rasterkaart gemaakt. Er is dus een rasterkaart voor lithoklasse op 0 m onder maaiveld, voor 1 m onder maaiveld, voor 5 m onder NAP etc. Voor elke rasterkaart wordt voor elke (x,y)-locatie in alle blokken van alle betrokken modelgebieden een verticale voxel stack geconstrueerd. In de voxel stack wordt de waarde van de eigenschap op de van toepassing zijnde diepte afgelezen. Deze waarde wordt de waarde van de rastercel op de (x,y)-locatie in de rasterkaart. Als de verticale voxel stack geen gegevens oplevert, zoals bijvoorbeeld bij 5 m boven NAP in Figuur 4.6.9 en 4.6.10 het geval is, dan heeft de rastercel op de (x,y)-locatie ook geen gegevens ("no data"). Het afleiden van de rasterkaarten is een in Python geïmplementeerde geautomatiseerde processtap en levert rasterkaarten in ArcAscii formaat op.

Converteren rasterformaat

In deze stap worden alle afgeleide rasters geconverteerd naar het ERDAS Imagine formaat. Dit is een rasterformaat dat door veel GIS softwarepakketten, inclusief ArcGIS, gelezen kan worden. Er is gekozen voor ERDAS Imagine in plaats van het eigen rasterformaat van ESRI omdat de laatste hinderlijke beperkingen kent in de lengte van de bestandsnamen. De conversie is geautomatiseerd met een combinatie van Python en ArcGIS.

Maken ArcMap documenten (mxd)

Per type horizontale doorsnede wordt een ArcMap document (mxd) gemaakt waarin de rasterkaarten zijn opgenomen. De kaarten worden voorzien van een legenda (kleurenschaal). Op dit moment worden de volgende typen horizontale doorsnedes gemaakt:

- Horizontale doorsnedes met dieptes ten opzichte van maaiveld:
 - Lithoklasse.
 - Stratigrafie (modeleenheid).
- Horizontale doorsnedes met dieptes ten opzichte van NAP:
 - Lithoklasse.
 - Stratigrafie (modeleenheid).

Aan elk ArcMap document wordt ondersteunende informatie toegevoegd:

- Eenvoudige topografie van Nederland.
- Kaartblad indeling (conform de boornummerindeling).
- Begrenzing van de GeoTOP modelgebieden.
- Maaiveld- en waterbodemhoogtekaart.
- Korte toelichting op de inhoud.

Het maken van de ArcMap documenten is een handmatige en tijdrovende processtap.

Uitleveren aan DINO

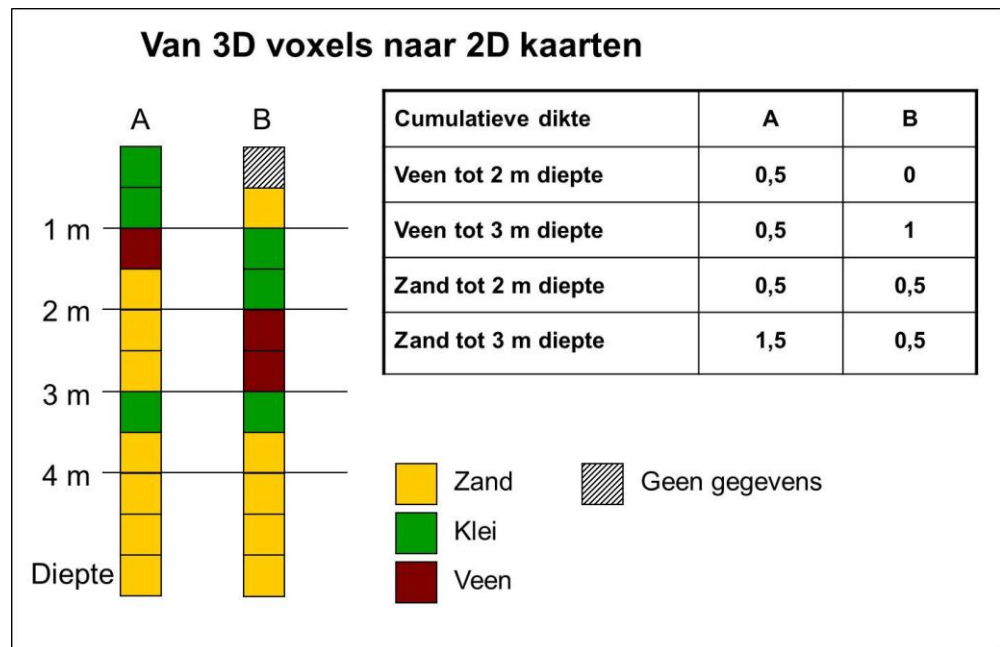
De ArcMap documenten en de onderliggende rasters en shapefiles worden uitgeleverd aan de afdeling DINO voor publicatie op *DINO Loket*.

4.6.4 *Maken cumulatieve kaarten*

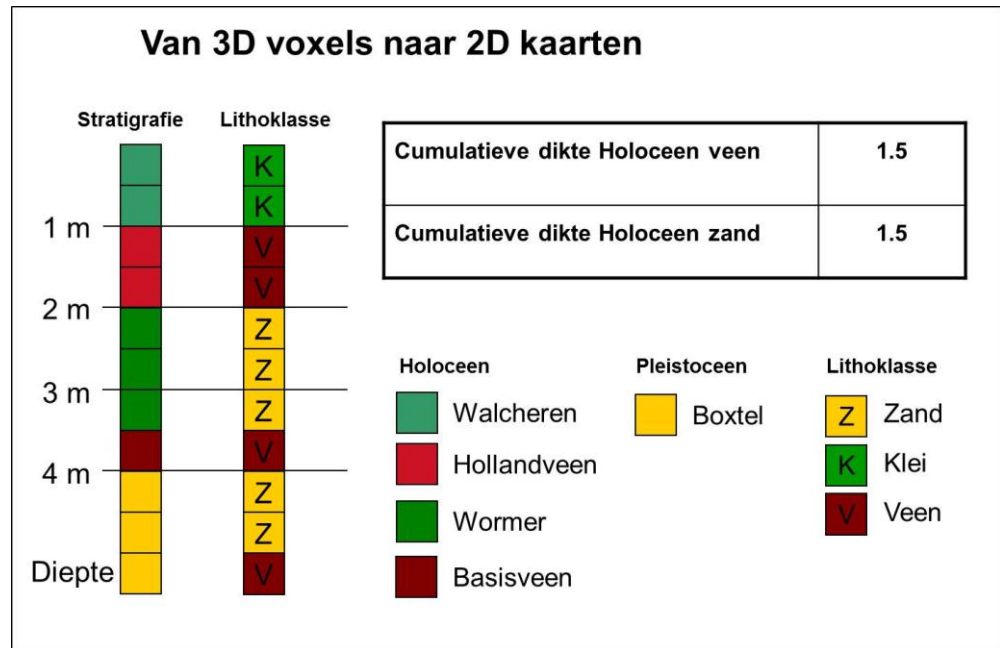
Cumulatieve kaarten zijn rasterkaarten die de dikte weergeven van een bepaalde lithoklasse in een bepaald dieptebereik. Bijvoorbeeld een kaart met de cumulatieve dikte van lithoklasse 'veen' in het dieptebereik van maaiveld tot 20 m onder maaiveld.

Als alternatief voor een dieptebereik kan ook een stratigrafisch bereik worden gekozen, bijvoorbeeld de cumulatieve dikte van lithoklasse 'veen' in het Holocene pakket. Combinaties van diepte en stratigrafie zijn uiteraard ook mogelijk, bijvoorbeeld de cumulatieve dikte van lithoklasse 'veen' in de eerste 10 m van het Holocene pakket.

De afleiding van cumulatieve kaarten uit het voxel model lijkt sterk op de afleiding van horizontale doorsneden en is gebaseerd op verticale voxel stacks (Figuren 4.6.12 en 4.6.13).



Figuur 4.6.12: Twee verticale voxel stacks met model eenheden op locaties A en B. De tabel geeft de afgeleide waarden weer voor 4 verschillende cumulatieve dikte kaarten. De voxel in locatie B met "geen gegevens" is een niet gevulde voxel boven maaiveld.



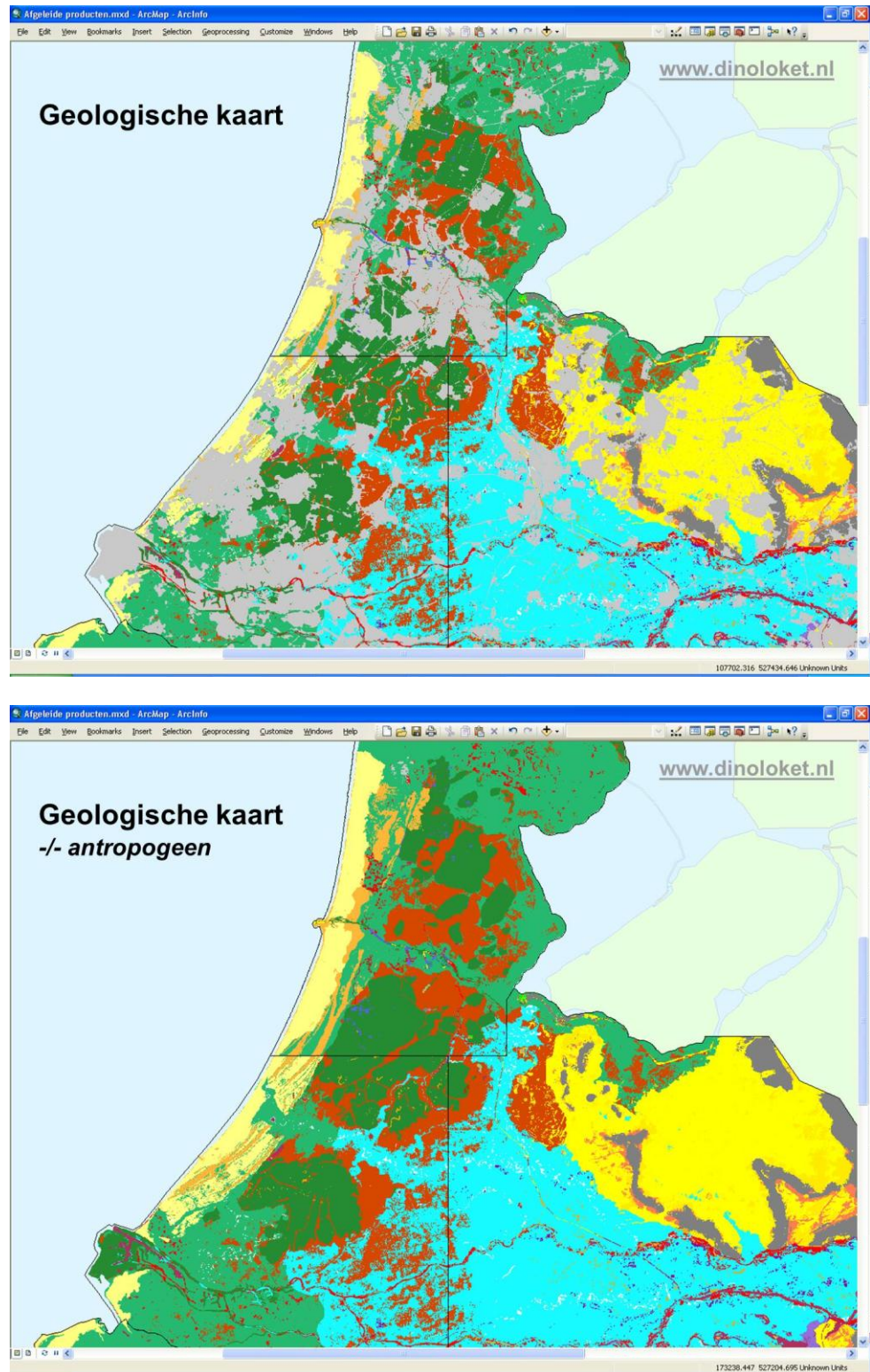
Figuur 4.6.13: Een verticale voxel stack met twee eigenschappen: stratigrafie en lithoklasse. Uit de combinatie van de twee eigenschappen kan de cumulatieve dikte van het Holocene pakket worden afgeleid. De voxel in locatie B met “geen gegevens” is een niet gevulde voxel boven maaiveld.

Op dit moment worden op DINOloket cumulatieve sedimentdiktekaarten aangeboden voor de gehele Holocene sequentie. Daarnaast worden horizontale doorsneden aangeboden waarin voor elke m in de bovenste 30 m ten opzichte van maaiveld een de cumulatieve dikte tot die diepte wordt getoond. Bijvoorbeeld de dikte van fijn zand in de eerste 5 m onder maaiveld.

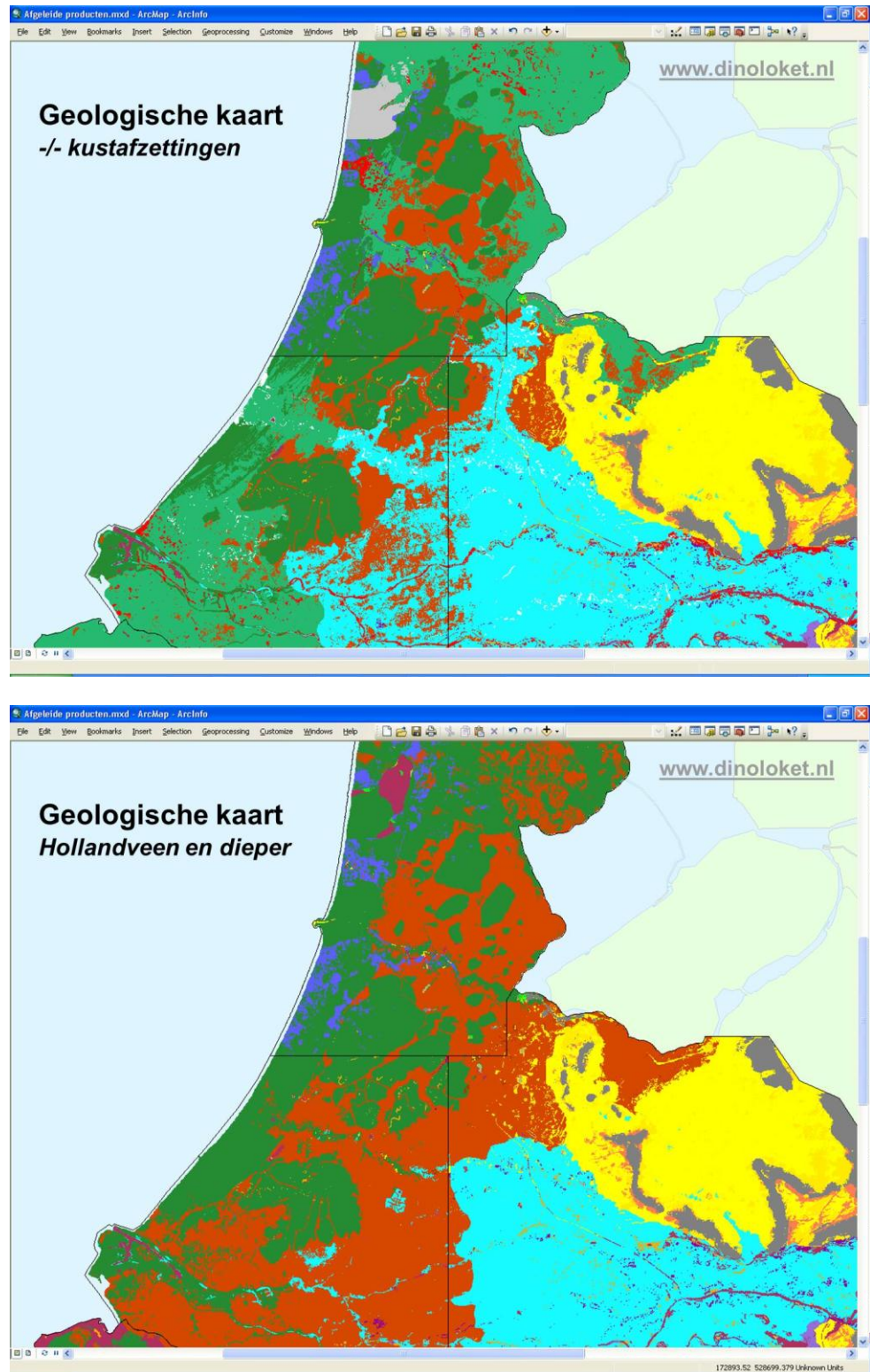
De processtappen van het deelwerkproces *Maken cumulatieve kaarten* zijn gelijk aan die van *Maken horizontale doorsneden* en worden hier niet herhaald.

4.6.5 *Maken geologische kaarten*

De oppervlakte geologische kaart geeft aan welke stratigrafische eenheden er aan maaiveld liggen. De oppervlakte geologische kaart is dus gelijk aan de eerder beschreven *horizontale doorsnede van stratigrafie op 0 m onder maaiveld*. In dit deelwerkproces gaan we echter een stap verder, en laten we in omgekeerde stratigrafische volgorde (dat wil zeggen van hoog naar laag in de stratigrafische positie) steeds één eenheid weg. Op deze manier ontstaat een afgedekte geologische kaart die laat zien welke eenheden er onder de weggelaten eenheid liggen. Figuur 4.6.14 en 4.6.15 geven in een aantal kaartbeelden weer wat het resultaat van deze exercitie is.

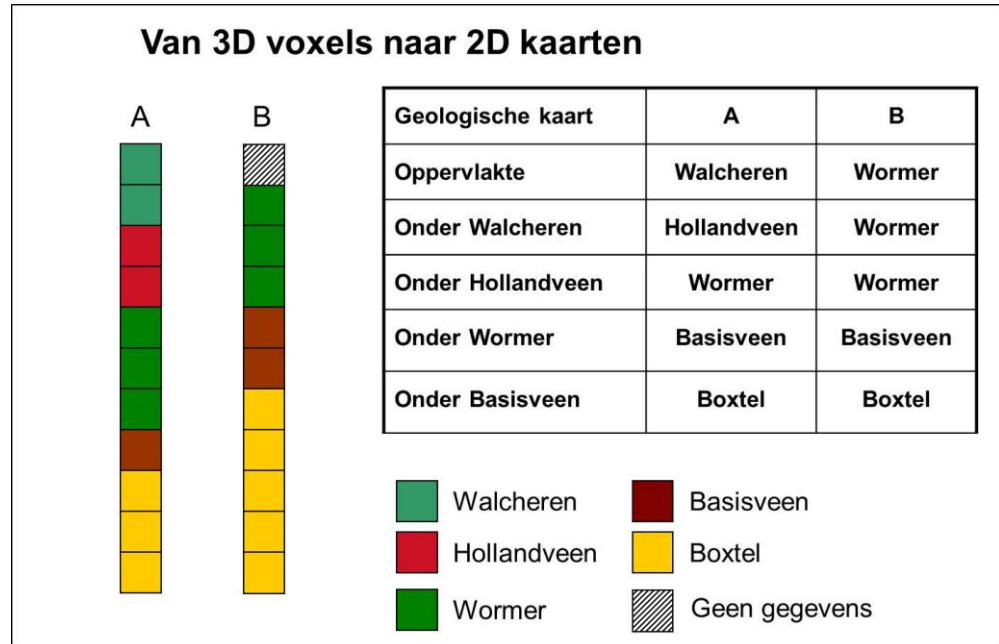


Figuur 4.6.14: Geologische oppervlaktekaart met de stratigrafische eenheden aan maaiveld (boven) en een geologische kaart waarbij de bovenste eenheid Antropogeen is weggelaten (onder).



Figuur 4.6.15: Geologische kaart waarbij de kustafzettingen zijn weggelaten (boven) en een geologische kaart waarbij alle eenheden boven het Hollandveen zijn weggelaten (onder).

De afleiding van de verschillende geologische kaarten uit het voxel model lijkt sterk op de afleiding van horizontale doorsneden en is eveneens gebaseerd op verticale voxel stacks (Figuur 4.6.16). Bij de analyse van de verticale voxel stack wordt gekeken welke eenheden er in de voxel stack voorkomen die stratigrafisch gezien onder de weggelaten eenheid liggen. De bovenste eenheid levert de waarde voor de rastercel.



Figuur 4.6.16: Twee verticale voxel stacks met modeleenheden op locaties A en B. De tabel geeft de afgeleide waarden weer voor 5 verschillende geologische kaarten. De voxel in locatie B met “geen gegevens” is een niet gevulde voxel boven maaiveld.

De processtappen van het deelwerkproces *Maken geologische kaarten* zijn gelijk aan die van *Maken horizontale doorsneden* en worden hier niet herhaald.

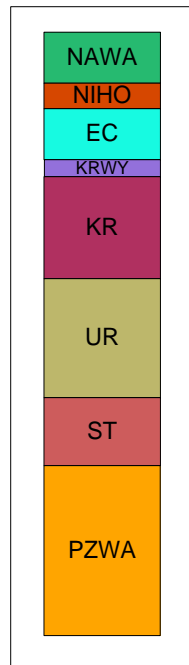
4.6.6 *Maken Top Pleistoceen kaart*

De diepteligging van de bovenkant van het Pleistoceen speelt een belangrijke rol in de Nederlandse geologie. Kaarten van “Top Pleistoceen” komen al in oude publicaties voor. In de context van afgeleide producten hebben we het hier **niet** over het *stuurvlak* Top Pleistoceen, zoals beschreven in paragraaf 4.2 onder *Maken stuurvlakken*, maar een uit het lagenmodel van GeoTOP afgeleide, gedetailleerde Top Pleistoceen rasterkaart. In tegenstelling tot de hiervoor beschreven kaarten wordt de kaart niet uit het voxelmodel maar uit het lagenmodel afgeleid. Dit wordt gedaan omdat de diepteligging in het lagenmodel nauwkeuriger is dan in het voxelmodel (dat gediscretiseerd is naar intervallen van 0,5 m).

In totaal worden er drie kaarten gemaakt: de diepteligging (in m ten opzichte van NAP), de daarbij behorende onzekerheid (in m) en de geologische herkomst (de modeleenheid aan de top van het Pleistoceen).

Startpunt voor de afleiding is het samengestelde lagenmodel (zie paragraaf 4.6.1). Hieruit worden voor elke Pleistocene eenheid het raster met de diepteligging van de top en het raster met de standaard deviatie van de top geselecteerd.

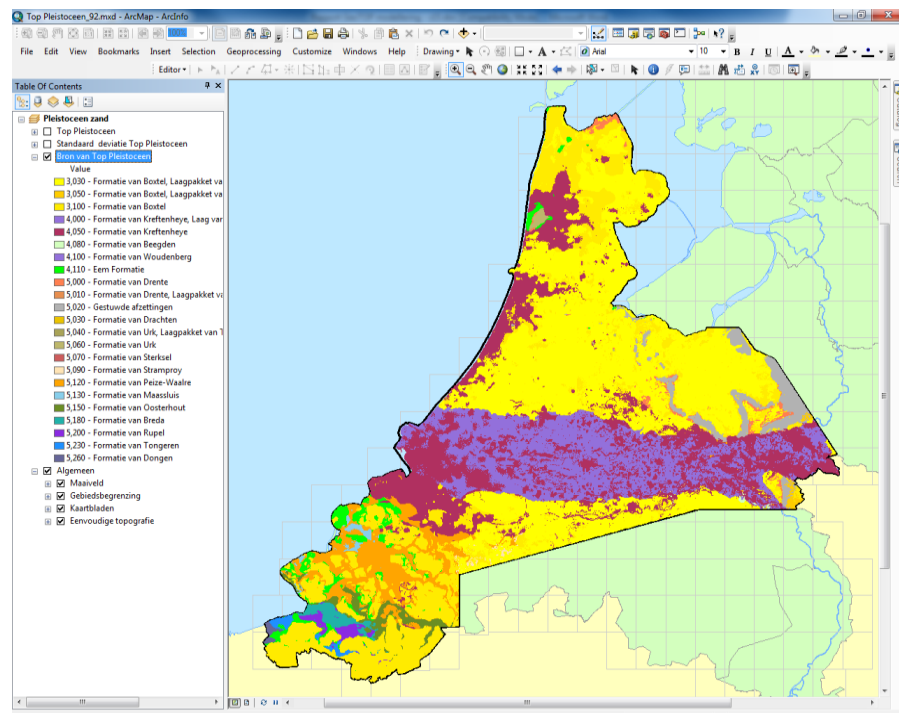
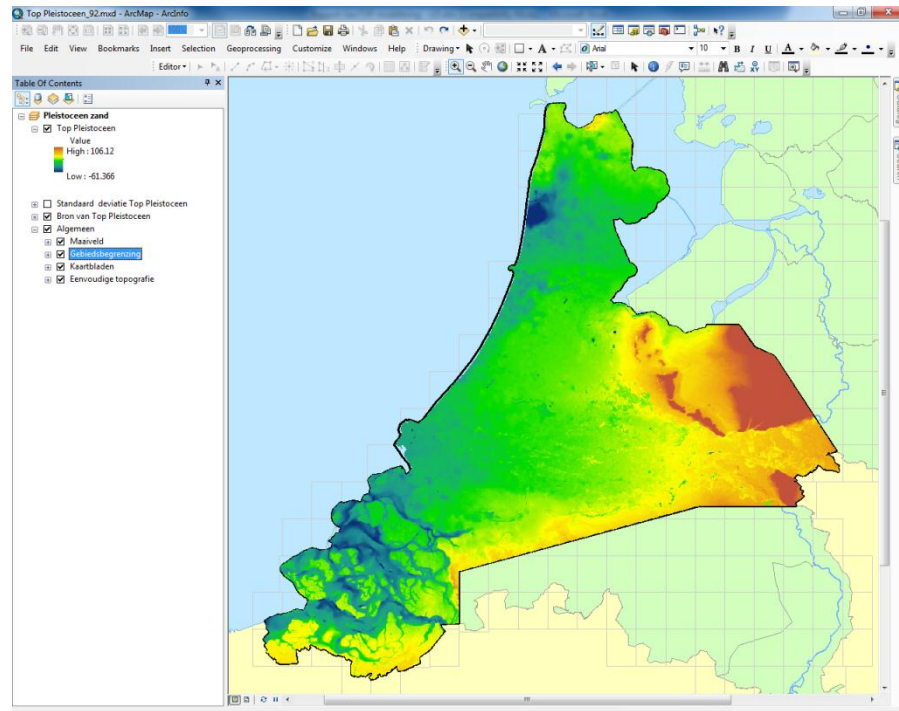
Voor elke (x,y)-locatie wordt de hoogte bepaald van de top van een Pleistocene eenheid in het lagenmodel (Figuur 4.6.17). De waarde van die top, de corresponderende standaard deviatie en de naam van de eenheid worden aan de (x,y)-locatie toegekend. Vervolgens wordt een andere Pleistocene eenheid geanalyseerd. Ligt de top van deze eenheid hoger (minder diep) dan de vorige eenheid, dan worden de eerdere waarden van de (x,y)-locatie vervangen, anders blijven ze behouden. Deze procedure wordt herhaald voor alle Pleistocene eenheden. De volgorde waarin de eenheden doorlopen worden is hierbij niet van belang. De procedure is geautomatiseerd met een combinatie van Python en ArcGIS.



Figuur 4.6.17: Verticale opeenvolging in het lagenmodel op één (x,y)-locatie. Top Pleistoceen is hier de diepteligging van de top van de eenheid KRWY (Formatie van Kreftenheye, Laag van Wijchen).

Na het afleiden van de drie rasterkaarten volgen nog de processtappen *Converteren ASCII naar raster*, *Maken ArcMap documenten (mxd)* en *Uitleveren aan DINO*. Deze processtappen zijn vrijwel gelijk aan die bij *Maken horizontale doorsneden* en worden hier niet herhaald.

De kaarten met de diepteligging (in m ten opzichte van NAP) en de geologische herkomst (de modelleenheid aan de top van het Pleistoceen) zijn weergegeven in Figuur 4.6.18.



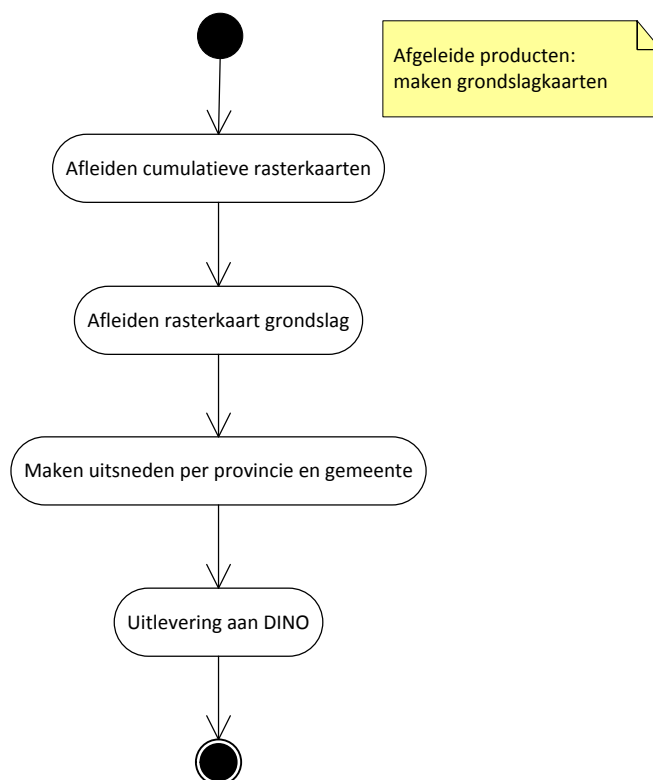
Figuur 4.6.18: ArcMap document (mxd) met samengestelde kaart van Top Pleistoceen (boven) en bron van Top Pleistoceen (onder). De west-oost verlopende paarse band in midden Nederland geeft aan dat hier het Laagpakket van Wijchen (eenheid 'KRWY') aan de top van het Pleistoceen ligt.

4.6.7 Maken grondslagkaarten

De grondslagkaart geeft onder andere inzicht in de geschiktheid van de ondergrond voor rioleringen en is afgeleid uit het voxelmodel van GeoTOP. De grondslagkaart

bestaat uit vier rasterkaarten die in gridcellen van 100 bij 100 m het gegeneraliseerde grondtype van de bovenste 8 m onder maaiveld weergeven. De vier kaarten omvatten de grondslagkaart, cumulatieve dikte kaart veen, cumulatieve dikte kaart klei en cumulatieve dikte kaart zand. De toegepaste criteria voor het generaliseren van de grondtypes en de diepte van 8 m zijn in overleg met een gemeente vastgesteld naar aanleiding van de *Benchmark Rioleringszorg* van de Stichting RioNED en VNG. (<http://www.benchmarkrioleringszorg.nl>).

Figuur 4.6.19 geeft de processtappen van het deelwerkproces *Maken grondslagkaarten* weer. Behoudens de uitlevering aan DINO zijn alle processtappen geautomatiseerd. De processtappen worden hieronder toegelicht.



Figuur 4.6.19: Processtappen in het deelwerkproces *Maken grondslagkaarten*.

Afleiden cumulatieve rasterkaarten

De afleiding van de grondslagkaart is gebaseerd op verticale voxel stacks. Bij de analyse van de verticale voxel stacks wordt gekeken welke lithoklassen er in de bovenste 8 m onder maaiveld voorkomen. Deze bovenste 8 m (in andere woorden: de bovenste 16 gevulde voxels, exclusief de voxels boven maaiveld) wordt geclassificeerd en de resulterende klasse levert de waarde van de rastercel op de (x,y)-locatie van de voxel stack.

Bij de afleiding worden eerst de lithoklassen bij elkaar opgeteld om de veen-, klei- en zanddikte kaarten te maken. GeoTOP onderscheidt de volgende lithoklassen: veen, klei, kleilig zand/zandige klei, fijn zand, matig grof zand, grof zand, grind, schelpen en antropogeen opgebrachte grond. Om de cumulatieve diktekaarten te berekenen zijn de volgende keuzes gemaakt:

- Kleiig zand/zandige klei wordt opgeteld bij kleidikte.
- Grind, schelpen en antropogeen opgebrachte grond worden opgeteld bij zanddikte.
- Er wordt niet gekeken naar de volgorde waarin grondsoorten voorkomen of in welke mate ze aaneengesloten voorkomen.

Afleiden rasterkaart grondslag

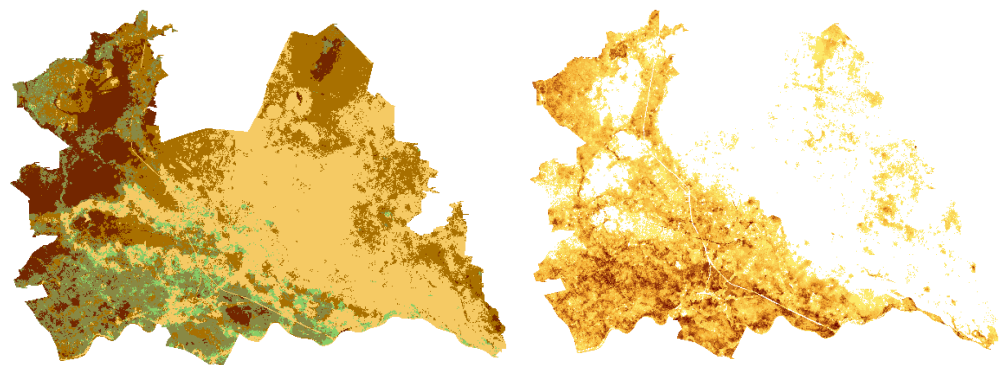
Vervolgens wordt de gehele 8 m onder maaiveld verdeeld in vijf categorieën. De criteria van deze categorieën zijn samengevat in onderstaande tabel. Deze categorieën vormen de zogenoemde grondslag.

Grondsoort	Criteria
Zand	in de bovenste 8 m is minder dan 50 cm veen gemodelleerd en het zandpakket is dikker dan het kleipakket.
Klei	in de bovenste 8 m is minder dan 50 cm veen gemodelleerd en het kleipakket is dikker dan het zandpakket.
Veen	in de bovenste 8 m is meer dan 4 m veen gemodelleerd.
Zand / veen	in de bovenste 8 m is tussen 0,5 en 4 m veen gemodelleerd, verder is het zandpakket dikker dan het kleipakket.
Klei / veen	in de bovenste 8 m is tussen 0,5 en 4 m veen gemodelleerd, verder is het kleipakket dikker dan het zandpakket

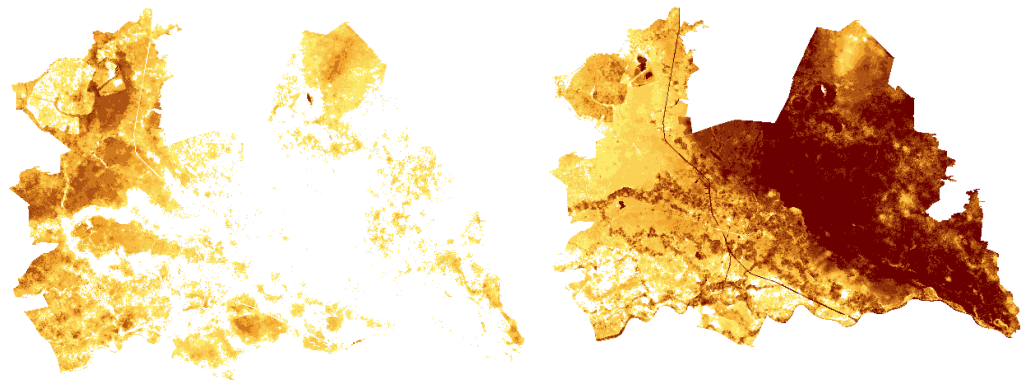
Maken uitsneden per provincie en gemeente

Tenslotte zijn de kaarten opgedeeld in bitmapbestanden aan de hand van de gemeentegrenzen (Kadasterdata 1-1-2011). Bij deze bmp bestanden zijn ook worldfiles beschikbaar waarmee het bestand op de juiste geografische locatie in ArcGIS geladen kan worden.

Figuur 4.6.20 geeft de grondslagkaarten in bmp-formaat weer voor de Provincie Utrecht.



Grondslag	Cumulatieve kleidikte
-----------	-----------------------



Cumulative veendikte	Cumulative zanddikte
----------------------	----------------------

Legenda

	zand
	klei
	veen
	zand/veen
	klei/veen

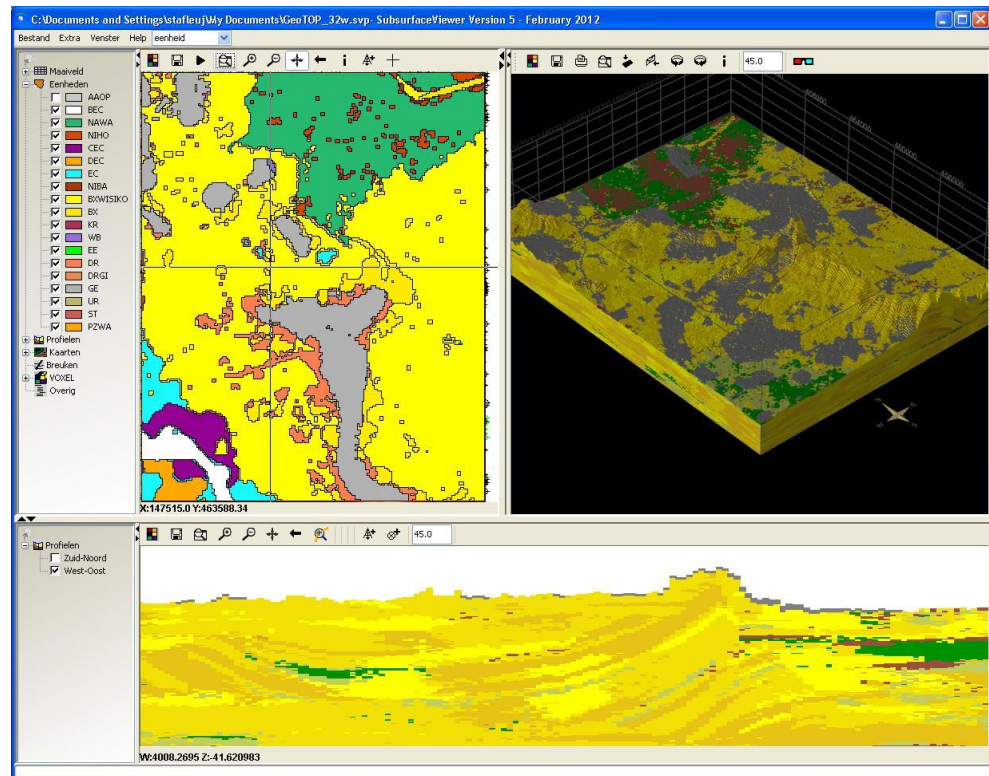
Figuur 4.6.20 Grondslagkaart en cumulatieve diktekaarten in bmp-formaat voor de Provincie Utrecht, met legenda voor de grondslagkaart.

Uitleveren aan DINO

De rasterkaarten (in ArcAscii formaat) en de uitsneden per provincie en per gemeente (in bmp formaat met worldfile) worden uitgeleverd aan de afdeling DINO voor publicatie op DINO^{Loket}.

4.6.8 *Maken datasets voor de SubsurfaceViewer*

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 DINO^{Loket}. De datasets die met de SubsurfaceViewer bekeken kunnen worden zijn afgeleid uit GeoTOP (Figuur 4.6.21). Verdere informatie over de werking van de software kan gevonden worden in de *Handleiding SubsurfaceViewer 3D* (TNO, 2012).



Figuur 4.6.21: GeoTOP kaartblad 32w in de SubsurfaceViewer.

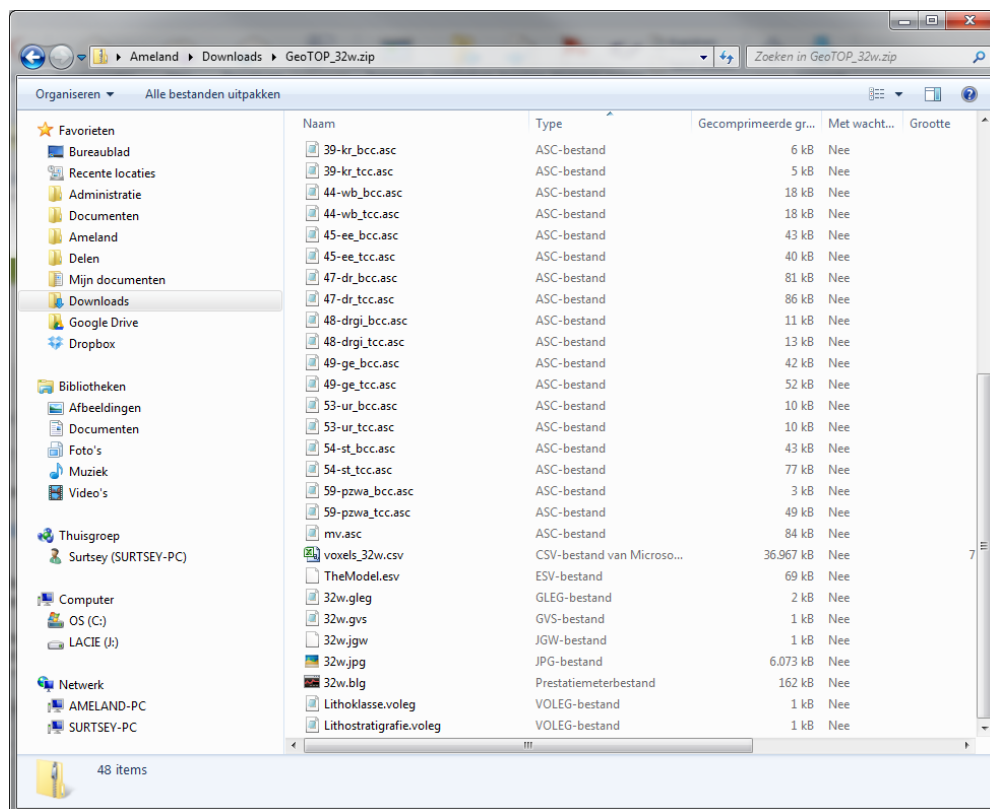
Om de datasets niet te groot te maken is GeoTOP opgedeeld in blokken van (meestal) 20 bij 25 km. De grenzen van de blokken komen overeen met die van de kaartbladen 1:50.000 van Top50raster van Kadaster.nl. Het zijn dus andere blokken dan die bij de voxelmodellering worden toegepast. De kaartbladindeling is in Figuur 4.6.22 weergegeven. Voor elk kaartblad is er een dataset die door de gebruiker gedownload kan worden naar zijn of haar PC.



Figuur 4.6.22: Kaartbladindeling van de SubsurfaceViewer, overeenkomstig de kaartbladen 1:50.000 van Top50raster van Kadaster.nl. GeoTOP is momenteel beschikbaar in de donkergroen gekleurde gebieden.

Een dataset van een kaartblad bevat het lagenmodel, het voxelmodel, de topografische kaart, de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen en diverse parameterbestanden. Kaartbladen van GeoTOP beginnen met "GeoTOP_" gevolgd door het nummer van het kaartblad en een aanduiding w(est) en/of o(ost). Bijvoorbeeld "GeoTOP_32w.svp" voor kaartblad 32 west van het GeoTOP model.

De extensie *.svp (Subsurface Viewer Project) wordt herkend door de viewer. Het bestand is echter een *.zip file. Door het bestand te kopiëren naar een bestand met de extensie *.zip kan de inhoud in de Windows Explorer bekeken worden (Figuur 4.6.23).



Figuur 4.6.23: Opbouw van het SubsurfaceViewer databestand van kaartblad 32w.

Elk kaartblad bevat de volgende onderdelen (vergelijk ook met Figuur 4.6.23):

Type	Voorbeeld	Gebruik
*.asc	39-kr-bcc.asc 39-kr-tcc.asc	ArcAscii-grids van basis (bcc) en top (tcc) van geologische eenheden in het lagenmodel; genummerd in stratigrafische volgorde. Deze grids kunnen behalve in de viewer ook in bijvoorbeeld ArcGIS worden ingelezen en geanalyseerd.
*.blg	32w.blg	Boorbeschrijvingen met de kolommen boornummer, einddiepte van het beschreven interval (langs de boring gemeten, de top van de boring is 0 m), lithostratigrafische eenheid en lithoklasse. Dit bestand kan in Kladblok of Excel geopend worden.
*.gleg	32w.gleg	Legenda. Bevat de RGB codes van de eenheden en lithoklassen in de boorbeschrijvingen en het lagenmodel Dit bestand kan in Kladblok of Excel geopend worden.
*.gvs	32w.gvs	Laagbeschrijving. Geeft een overzicht van de in het kaartblad aanwezige eenheden van het lagenmodel en de volgorde van boven naar beneden.

*.jgw *.jpg	32w.jgw 32w.jpg	Topografische kaart, gebaseerd op Top50raster van Kadaster.nl in JPG-formaat. Het *.jgw bestand is de bijbehorende 'world-file' waarmee de kaart in bijvoorbeeld ArcGIS gegeoreferereerd kan worden.
*.voleg	Lithoklasse.voleg Lithostratigrafie.voleg	Legenda. Bevat de RGB codes van de eenheden en lithoklassen in het voxelmodel voorzover die voorkomen in het kaartblad. Dit bestand kan in Kladblok of Excel geopend worden.
mv.asc	mv.asc	ArcAscii-grids van maaiveld- en waterbodemhoogtebestand. Dit grid kan bijvoorbeeld in ArcGIS worden ingelezen en geanalyseerd.
*.esv	TheModel.esv	Versleuteld bestand, nodig om het kaartblad in de viewer te openen. Dit bestand kan niet ergens anders voor worden gebruikt.
*.csv	voxels_32w.csv	Voxeldata. Dit bestand bevat voor elke voxel de lithostratigrafische eenheid, de meest waarschijnlijke lithoklasse en 9 kansen op mogelijke lithoklassen. Dit kommagescheiden bestand kan in andere programma's worden geopend, let er echter op dat het zeer groot is en miljoenen dataregels bevat.

Hieronder wordt beschreven hoe de datasets **per kaartblad** worden gemaakt.

Maken van voxeldata

Het bestand met de voxeldata bevat voor elke voxel in het kaartblad de lithostratigrafische eenheid, de meest waarschijnlijke lithoklasse en 9 kansen op mogelijke lithoklassen. Het bestand wordt gebaseerd op per modelgebied, per blok uit Isatis geëxporteerde voxelgegevens.

Omdat de kaartbladgrenzen van de viewer niet overeenkomen met de blokgrenzen van de modelgebieden komt het geregeld voor dat één kaartblad betrekking heeft op voxels van verschillende blokken uit verschillende modelgebieden. Om de voxels van de kaartbladen vanuit die verschillende blokken te vullen maken we eerst een nieuwe Isatis study waarin alle exportbestanden van de blokken van alle modelgebieden worden geïmporteerd. Omdat de exportbestanden voorzien zijn van een Isatis-header is deze import eenvoudig uit te voeren.

Vervolgens definiëren we in de Isatis-study voor elk kaartblad een nieuwe, nog lege, voxelgegevens. Op basis van de definities van de blokken en de kaartbladen (dat wil zeggen de ligging van de oorsprong en het aantal voxels in de x-, y- en z-richting) kunnen we vaststellen met welke blokken van de modelgebieden er overlap bestaat. Vervolgens worden de attribuutwaarden van de overlappende blokken gekopieerd naar het kaartblad.

De volgende stap is het exporteren van de kaartbladen naar csv-bestanden met Isatis-header. Qua bestandslay-out zijn deze bestanden gelijk aan die van de blokken van de modelgebieden. Tot slot wordt de Isatis-header vervangen door een meer generieke header die door de SubsurfaceViewer geïnterpreteerd kan worden (zie bijlage 7.4.1).

Deze processtap is geautomatiseerd met behulp van Python scripts en Isatis.

Maken van geïnterpreteerde boorbeschrijvingen

De geïnterpreteerde boorbeschrijvingen bevatten twee attributen: de lithostratigrafische eenheid en de lithoklasse. Voor de SubsurfaceViewer gaan we uit van de bestanden met de stratigrafische indeling uit het in hoofdstuk 4.3 beschreven werkproces **Indelen stratigrafie**. Per modelgebied is er een bestand met per boring, per boorbeschrijvingsinterval de lithologische beschrijving en de code van de geïnterpreteerde lithostratigrafische eenheid. Met behulp van de in hoofdstuk 4.5 beschreven regels wordt de lithologische beschrijving vervolgens vertaald naar een lithoklasseindeling. Deze lithoklasseindeling is al eerder gemaakt, maar bij die indeling is een splitsing aangebracht tussen delen van de boorbeschrijving binnen en buiten de Holocene geulsystemen. Deze splitsing is voor de SubsurfaceViewer niet relevant.

Het resultaat van de lithoklasseindeling per modelgebied wordt met behulp van MS Access en Python gecombineerd tot één bestand met per boring, per boorbeschrijvingsinterval de hoofdlithologie, de lithoklasse en de lithostratigrafie. Tevens wordt een bestand met boorlocaties gemaakt met per boring het NITG-nummer, de (x,y)-coördinaten en de maaiveldhoogte.

De processtap verloopt semi-automatisch met een combinatie van Python-scripts en MS Access. De programmatuur checkt of de boringen in DINO als vertrouwelijk zijn aangemerkt; de vertrouwelijke boringen worden niet in de bestanden voor de SubsurfaceViewer opgenomen. Ook de boringen van de Universiteit Utrecht worden niet in de SubsurfaceViewer opgenomen.

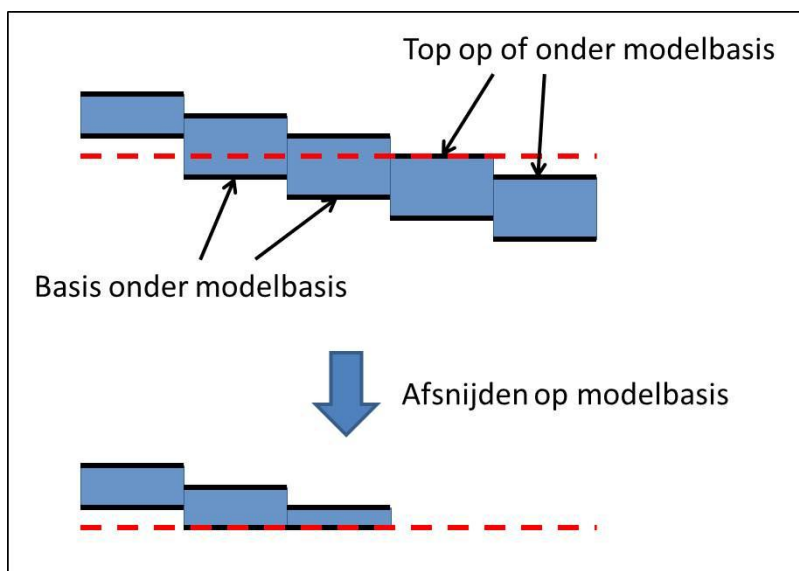
Maken van het lagenmodel

Het lagenmodel in de SubsurfaceViewer bestaat uit ArcAscii rasters van de top en van de basis van de stratigrafische eenheden. Alleen die eenheden die ook daadwerkelijk in het kaartblad voorkomen worden in de dataset van de SubsurfaceViewer opgenomen.

Uitgangspunt is het *samengestelde lagenmodel* (zie paragraaf 4.6.1) waarin de lagenmodellen van de verschillende modelgebieden zijn gecombineerd. De top- en basisrasters van dit lagenmodel worden gekopieerd en herbenaamd, waarbij de bestandsnaam van een volgnummer wordt voorzien. Dit volgnummer bepaalt in welke volgorde de lagen in de inhoudsopgave van de SubsurfaceViewer te zien zijn.

Vervolgens wordt per kaartblad van alle rasters een uitsnede gemaakt volgens de grenzen van het kaartblad. Dan wordt gekeken of de rasters onder of boven de modelbasis liggen. (NB: voor de modelgebieden die in 2012 op DINO LOKET zijn gepubliceerd geldt een algemene modelbasis van 50 m onder NAP.). Er kunnen zich nu drie situaties voordoen (Figuur 4.6.24):

- (1) Als op een (x,y)-locatie zowel top als basis op of boven de modelbasis liggen, blijven de waarden ongewijzigd.
- (2) Als de top boven de modelbasis ligt, maar de basis er onder, dan wordt de basis gelijk gesteld aan de modelbasis (50 m onder NAP).
- (3) Als de top op of onder de modelbasis ligt, dan worden zowel top als basis op “nodata” gesteld.



Figuur 4.6.24: Afsnijden van de rasters op de modelbasis (rode stippellijn). De figuur toont top en basis van 5 rastercellen van een stratigrafische eenheid in een verticale dwarsdoorsnede.

De volgende stap is controleren of de rasters waarden bevatten anders dan “nodata”. Als een raster van een eenheid binnen de kaartbladgrenzen alleen “nodata” waarden bevat, dan komt de eenheid in het kaartblad niet voor, of de top van de eenheid ligt in zijn geheel onder de modelbasis en is in de voorgaande stap op “nodata” gesteld.

De resterende rasters zijn nu herbenoemd, geclipt op de kaartbladgrenzen en afgesneden op de modelbasis. De processtap is geautomatiseerd met behulp van Python scripts.

Maken maaiveld- en waterbodemhoogte bestand

Het samengestelde maaiveld- en waterbodemhoogtebestand (zie paragraaf 4.6.1) waarin de maaivelden van de verschillende modelgebieden zijn gecombineerd wordt per kaartblad geclipt op de kaartbladgrenzen. Het clippen is geautomatiseerd met behulp van Python scripts.

Samenstellen en versleutelen projectbestand “TheModel.esv”

Bij elk kaartblad hoort ook een projectbestand. Dit projectbestand (extensie *.gsipr) bevat een in XML geformaliseerde beschrijving van alle bestanden die in het SubsurfaceViewer-bestand zijn opgenomen. De geformaliseerde beschrijving wordt door de SubsurfaceViewer-software gebruikt om de lagen, voxels en boorbeschrijvingen in de dataset te herkennen en op correcte wijze weer te geven. Het projectbestand bevat tevens de lijst met boorlocaties (NITG-nummer, de (x,y)-coördinaten en de maaiveldhoogte).

Van het projectbestand wordt een versleutelde versie gemaakt met de naam "TheModel.esv" en alleen deze versleutelde versie wordt in het SubsurfaceViewer-bestand opgenomen en uitgeleverd. De versleuteling zorgt ervoor dat de SubsurfaceViewer alleen gebruikt kan worden met door TNO vervaardigde datasets.

Het maken en versleutelen van het projectbestand is geautomatiseerd met behulp van Python scripts.

Vorbereiden topografische kaarten

In elk kaartbladbestand is een topografische kaart opgenomen. Deze kaart is afgeleid van de topografische kaart Top50raster van Kadaster.nl. De oorspronkelijke kaarten zijn in TIFF formaat (extensie *.tif) met een bijbehorend *worldfile* (extensie *.tfw). Met behulp van het programma FSResizer van de firma FastStone (www.faststone.org/FSResizerDetail.htm) zijn de kaarten batchgewijs geconverteerd naar JPEG formaat (*.jpg) met een compressiefactor van 50% en met behoud van RGB waarden. De bijbehorende *worldfiles* zijn herbenaemd van de extensie *.tfw naar *.jgw.

Maken parameterbestanden

Met behulp van Python-scripts worden voor elk kaartblad de overige parameterbestanden aangemaakt: een legendabestand met kleurcoderingen voor het lagenmodel en de boorbeschrijvingen; twee legendabestanden met kleurcoderingen voor resp. stratigrafie en lithoklasse van het voxelmodel; en tot slot de laagbeschrijving van het lagenmodel. De legenda van de stratigrafische eenheden bevat alleen de eenheden die op het kaartblad voorkomen. Het maken van deze parameterbestanden is geautomatiseerd met Python-scripts.

Zippen van een kaartblad

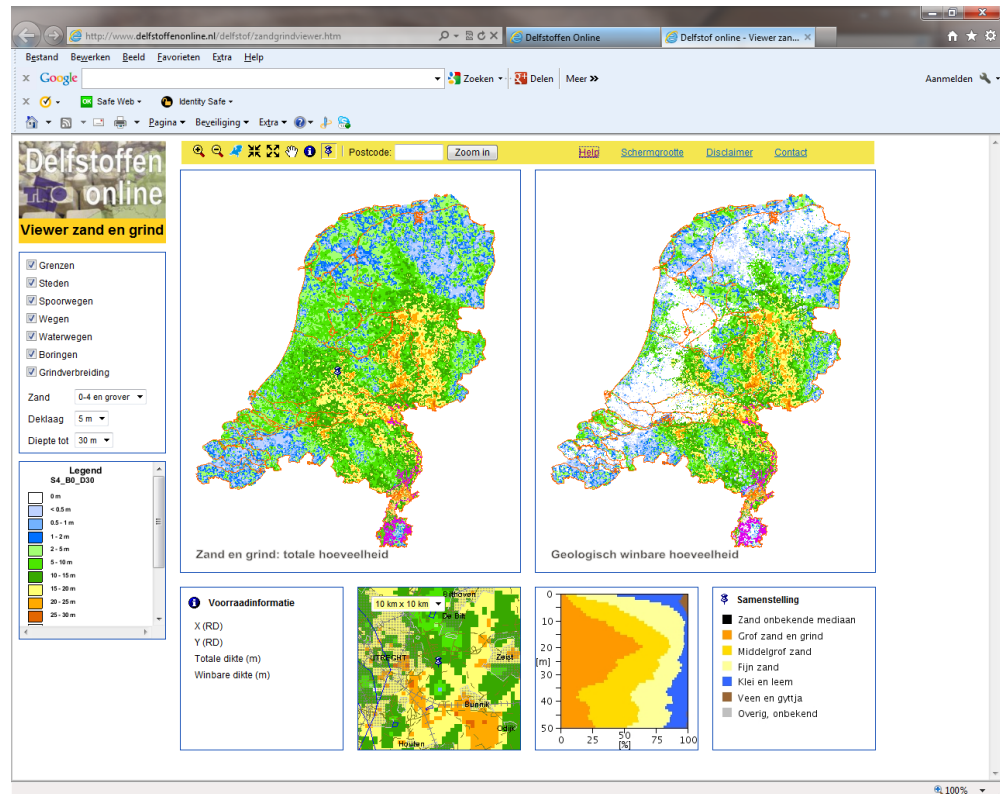
Alle bovengenoemde bestanden van een kaartblad worden gebundeld en gezippt in een zip-file. Het zip-file krijgt de extensie *.svp.

Uitleveren aan DINO

De gezippte kaartbladen worden uitgeleverd aan de afdeling DINO voor publicatie op DINO*Loket*.

4.6.9 *Maken datasets voor Delfstoffen Online*

Delfstoffen Online is een online informatiesysteem dat inzicht biedt in het voorkomen van oppervlaktedelfstoffen in de Nederlandse ondergrond (Figuur 4.6.25).



Figuur 4.6.25: Viewer zand en grind van Delfstoffen Online.

Voordat we ingaan op het maken van de datasets op basis van GeoTOP volgt hieronder een toelichting op het informatiesysteem. De toelichting is ontleend aan de instructies op www.delfstoffenonline.nl en het artikel van Van der Meulen et al. (2005).

Delfstoffen Online geeft voor de delfstof zand en grind de volgende informatie:

- Kaarten met totale hoeveelheid zand en grind.
- Kaarten met geologisch winbare hoeveelheid zand en grind.
- Voorraad informatie op een (x,y)-locatie.
- Bodemsamenstelling op een (x,y)-locatie.

De gebruiker kan een aantal parameters instellen waarna de informatie op basis van de parameters wordt bijgesteld:

- Zand (keuze uit 0-4 en grover, 0-1 en grover en "Alles", d.w.z. al het zand ongeacht de kwaliteit).
- Deklaag (keuze uit 1, 2, 3, 4 en 5 m dikte).
- Diepte (keuze uit 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 en 50 m diepte).
- Zone rondom de gekozen (x,y)-locatie (keuze uit 2 x 2, 5 x 5, 10 x 10 of 20 x 20 km).

Ad Zand

Voor het maken van delfstoffenkaarten worden opbrengsten aan zand en grind berekend op basis van grondsoort- en korrelgrootte-informatie. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van de zandmediaan.

Zand en grind zijn in de opbrengstkaarten samengenomen, omdat de geologische en industriële definities te ver uiteen lopen voor een statistisch verantwoorde

uitsplitsing op grond van onze boorinformatie. Er kan gekozen worden uit drie categorieën: Zand 0-4 (en grover), Zand 0-1 (en grover) en Alles (incl. grind):

- Zand 0-4 is een grof industriezand (betonzand), waarvan de korrelverdeling loopt van 0 tot 4 mm.
- Zand 0-1 is een fijn industriezand (drainagezand, asfaltzand, metselzand), met een verdeling tussen 0 en 1 mm.
- Onder "Alles" wordt niet gedifferentieerd op basis van korrelgrootte.

Industriezand is industrieel geproduceerd zand, waarbij gewonnen natuurlijk zand wordt gescheiden in verschillende fracties, waaruit vervolgens mengsels worden samengesteld die voldoen aan de eisen voor verschillende toepassingen. Meer informatie over de indeling kan gevonden worden in *Grondsoorten en delfstoffen bij naam* (Van der Meulen et al., 2003).

Rekening houdend met de korrelverdelingen van gangbare 0-1 en 0-4 zanden, maar ook met de sterk wisselende kwaliteit van de onderliggende gegevens, is een eenvoudige relatie tussen grondsoort en opbrengst gelegd:

Zandmediaan (μm)	Opbrengst zand 0-1 (%)	Opbrengst zand 0-4 (%)
<105	0	0
105-210	50	0
210-420	100	50
>420	100	100

Ad Deklaag

De deklaag is hier gedefinieerd als een pakket klei, leem of veen dat het te winnen zand of grind afdekt. Een deklaag moet worden verwijderd voordat met winning kan worden aangevangen; de deklaagdikte bepaalt in belangrijke mate de economische winbaarheid van het onderliggende materiaal. Bij een dikte hoger dan de hier opgegeven waarde, worden aanwezige voorraden niet meer als geologisch winbaar aangemerkt. De aanbevolen waarde voor land is 5 m, voor de grote wateren 2 m. Andere waarden zijn voornamelijk gegeven om inzicht te geven in de afhankelijkheid van dit belangrijke winbaarheids criterium. Er is een vergelijkbaar criterium voor zgn. stoorlagen (tussenlaag van klei, leem of veen); dit is gezet op 2 m en niet instelbaar.

Ad Diepte

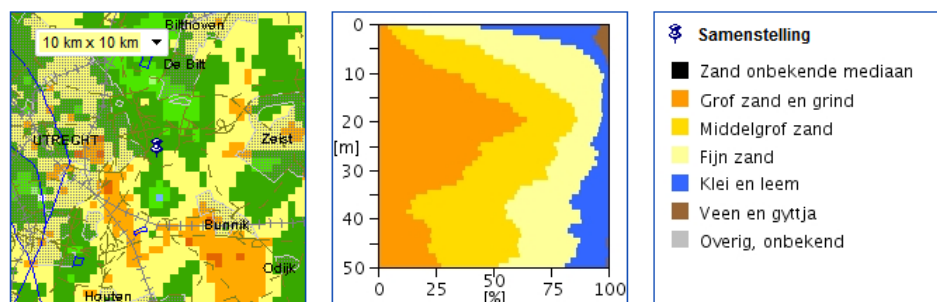
Er kan worden ingesteld tot welke diepte voorraden worden getoond. Het maximum hierbij is 50 m, waarmee het dieptebereik van de meeste zand- en grindwinningen bestreken wordt. Bovendien loopt hieronder de gegevensdichtheid zodanig terug dat onvoldoende betrouwbaarheid wordt geboden.

Ad voorraad informatie

Na het kiezen van een (x,y)-locatie op de kaart worden voor het geselecteerde punt de schattingen van totale en winbare voorraden gegeven (cumulatieve dikten in m).

Ad bodemsamenstelling

Na het kiezen van een (x,y)-locatie op de kaart wordt in een diagram de bodemsamenstelling gegeven in een gebied rond het gekozen punt (diagram in het midden van Figuur 4.6.26). De samenstelling wordt gegeven als functie van diepte en biedt een globale indruk van de bodemopbouw. In het kaartje links naast het diagram kan de gebruiker kiezen op welk gebied rondom de (x,y)-locatie de bodemsamenstelling betrekking heeft.

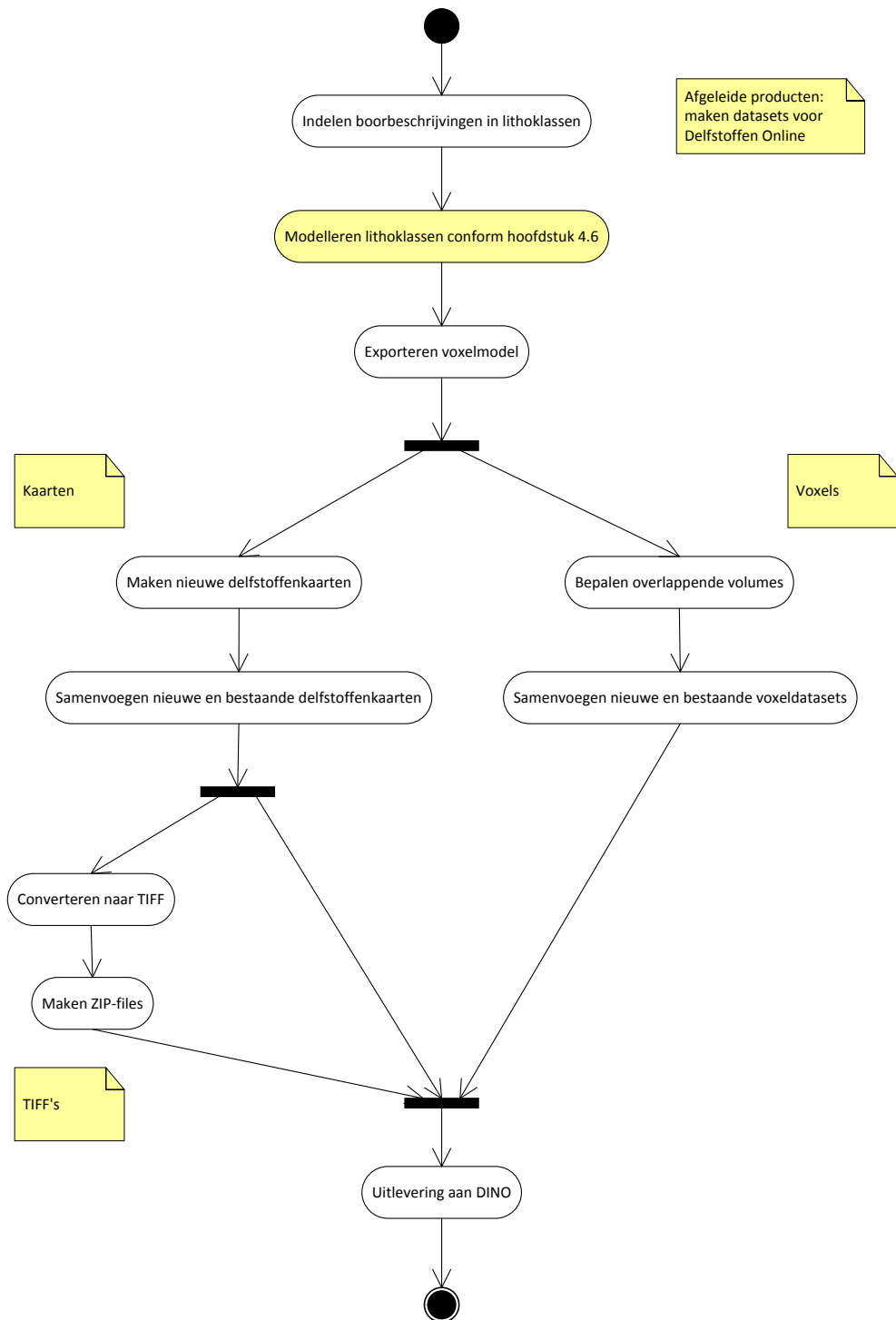


Figuur 4.6.26: Bodemsamenstellingsdiagram voor een blok van 10 x 10 km met de door de gebruiker gekozen (x,y)-locatie als middelpunt.

GeoTOP en Delfstoffen Online

Delfstoffen Online is op een voorloper van GeoTOP gebaseerd (Van der Meulen et al., 2005). Dit in 2005 - 2006 ontwikkelde voxelmodel heeft een resolutie van 250 x 250 x 1 m (gelijk aan de resolutie van NL3D). De hoeveelheid geologische informatie in Delfstoffen Online is geringer dan bij GeoTOP. Een belangrijk verschil is dat GeoTOP het Holocene pakket onderverdeelt in meerdere stratigrafische eenheden terwijl het Delfstoffen Online model het Holoceen als één eenheid beschouwd. Ook de interpolatietechniek verschilt: in het Delfstoffenmodel worden per voxel aandelen zand, klei en veen berekend terwijl GeoTOP per voxel één meest waarschijnlijke lithoklasse heeft en daarnaast kansen op lithoklasse. Tot slot verschilt de lithoklasseindeling van GeoTOP van die van het Delfstoffenmodel. GeoTOP kent bijvoorbeeld 3 zandklassen, Delfstoffen 4.

Omdat we denken dat GeoTOP, door het gebruik van meer geologische kennis gekoppeld aan de hogere resolutie, een betere voorspelling kan geven van de voorraden zand en grind worden de onderliggende gegevens van Delfstoffen Online stap voor stap vervangen door GeoTOP. In 2010 is Zuid-Holland vervangen, in 2013 zal Rivierengebied volgen. De processtappen die moeten worden doorlopen om van een modelgebied van GeoTOP een dataset voor Delfstoffen Online te maken zijn weergegeven in Figuur 4.6.27. De processtappen worden hieronder nader toegelicht.



Figuur 4.6.27: Processtappen in het deelwerkproces Maken datasets voor Delfstoffen Online..

Modelleren 3D lithoklassemodel Delfstoffen

Om van een modelgebied van GeoTOP een dataset voor Delfstoffen Online te maken moet eerst een nieuw 3D lithoklassemodel worden berekend. Het bestaande lithoklassemodel van GeoTOP is namelijk gebaseerd op de lithoklasseindeling van REGIS II die afwijkt van de indeling van Delfstoffen Online.

Er is helaas geen eenvoudige vertaling van de ene indeling naar de andere mogelijk. Het maken van een 3D lithoklassemodel voor Delfstoffen verloopt in principe op dezelfde manier als de in paragraaf 4.5 beschreven werkwijze. Het grootste verschil is de lithoklasseindeling van de boorbeschrijvingen. Ook worden er nieuwe variogrammen vastgesteld. Het hele werkproces wordt vastgelegd in een *workflow manager* voor Isatis.

Indeling boorbeschrijvingen in lithoklassen

De lithoklasseindeling die voor Delfstoffen wordt gebruikt is als volgt:

Lithoklasse	Nummer	Korrelgrootte (mediaan)
Fijn zand	1	$\geq 63 \mu\text{m}$ en $< 105 \mu\text{m}$
Matig fijn zand	2	$\geq 105 \mu\text{m}$ en $< 210 \mu\text{m}$
Matig grof zand	3	$\geq 210 \mu\text{m}$ en $< 420 \mu\text{m}$
Grof zand en grind	4	$\geq 420 \mu\text{m}$ en $< 2000 \mu\text{m}$
Zand met onbekende korrelgrootte	5	Onbekend
Klei	6	-
Veen	7	-
Schelpen	8	-
Schelprijk zand	9	-

De lithoklassen hebben een nummer dat gebruikt wordt om de voxels te voorzien van een lithoklasse: voxels hebben net als rasters namelijk altijd numerieke waarden als attribuut.

Bij het vertalen van de boorbeschrijvingen wordt gebruik gemaakt van de volgende attributen uit DINO: hoofdlithologie, bijmenging grind, schelpen percentage (in procenten) en schelpenfractie (in categorieën). Voor het vertalen van de lithologisch geïnterpreteerde sonderingen kan op dit moment alleen gebruik gemaakt worden van de hoofdlithologie (veen, klei, leem en zand). Op basis van de sonderingen kunnen dus geen korrelgroottes worden onderscheiden.

De indelingsregels zijn als volgt (coderingen volgens SBB 5.1; Bosch, 2000):

Lithoklasse 1, fijn zand

- Hoofdlithologie is Z (zand) of GCZ (glauconietzand) of GOZ (goethietzand), met zandmediaan $\geq 63 \mu\text{m}$ en $< 105 \mu\text{m}$, of een van de volgende zandmediaan klassen:
 - ZFC (zand fijne categorie).
 - ZUF (zand uiterst fijn).
 - ZUFO (zand uiterst fijn).

Lithoklasse 2, matig fijn zand

- Hoofdlithologie is Z (zand) of GCZ (glauconietzand) of GOZ (goethietzand), met zandmediaan $\geq 105 \mu\text{m}$ en $< 210 \mu\text{m}$, of een van de volgende zandmediaan klassen:
 - ZZF (zand zeer fijn).
 - ZZFO (zand zeer fijn).

- ZMF (zand matig fijn).
- ZMFO (zand matig fijn).
- ZMC (zand midden categorie).

Lithoklasse 3, matig grof zand

- Hoofdlithologie is Z (zand) of GCZ (glauconietzand) of GOZ (goethietzand), met zandmediaan $\geq 210 \mu\text{m}$ en $< 420 \mu\text{m}$, of een van de volgende zandmediaan klassen:
 - ZMG (zand matig grof).
 - ZMGO (zand matig grof).
 - ZZG (zand zeer grof).
 - ZZGO (zand zeer grof).

Lithoklasse 4, grof zand

- Hoofdlithologie is Z (zand) of GCZ (glauconietzand) of GOZ (goethietzand), met zandmediaan $\geq 420 \mu\text{m}$ en $< 2000 \mu\text{m}$, of een van de volgende zandmediaan klassen:
 - ZGC (zand grove categorie).
 - ZUG (zand uiterst grof).
 - ZUGO (zand uiterst grof).
- Hoofdlithologie is Z (zand) **zonder** zandmediaan klasse en **met** een grindbijmenging in de categorieën:
 - G3 (sterk grindig).
 - G4 (uiterst grindig).
- Hoofdlithologie is G (grind), BLK (blokken), KEI (keien) of STN (stenen).

Lithoklasse 5, zand met onbekende korrelgrootte:

- Hoofdlithologie is Z (zand) of GCZ (glauconietzand) of GOZ (goethietzand), zandmediaan is onbepaald en de zandmediaanklasse is onbepaald of wijkt af van een van de bij lithoklasse 1, 2, 3 en 4 genoemde zandmediaanklassen.
- Lithoklasse 5 wordt toegekend aan boorintervallen, maar komt in het uiteindelijke voxelmodel niet meer voor. Alle voxels met lithologie zand krijgen in het voxelmodel een voorspelling van de korrelgrootte (lithoklasse 1, 2, 3, 4 of 5).

Lithoklasse 6, klei

- Hoofdlithologie is K (klei), L (leem), BGR (bagger), GY (gyttja) of SLU (slurrie).

Lithoklasse 7, veen

- Hoofdlithologie is V (veen), BRK (bruinkool), DET (detritus) of DY (dy). In het overgrote deel van de boorbeschrijvingen gaat het hier om veen.

Lithoklasse 8, schelpen

- Hoofdlithologie is SHE (schelpen).

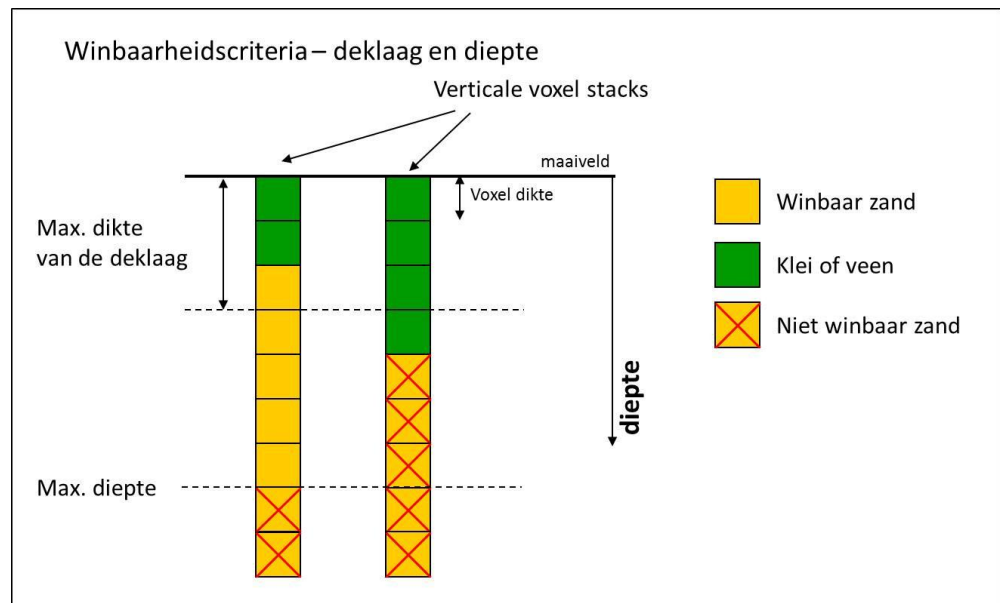
Lithoklasse 9, schelprijk zand

- Het schelpenpercentage is $\geq 20\%$.
- Hoofdlithologie is Z (zand), en de schelpenfractie is SCH3 (veel schelpmateriaal).
- Lithoklasse 9 overschrijft een eventueel eerder toegekende lithoklasse 1 t/m 5.

Maken nieuwe delfstoffenkaarten

Na de lithoklasseindeling volgt de verdere modellering van lithoklassen zoals beschreven in hoofdstuk 4.5. De modellering eindigt met de processtap *Exporteren voxelmodel* dat per blok van het modelgebied een csv-bestand met attribuutwaarden van de voxels oplevert. Deze bestanden gaan we gebruiken om delfstoffenkaarten te maken. Daarbij maken we gebruik van de eerder in dit hoofdstuk beschreven *verticale voxel stacks*.

De verticale voxel stack geeft voor een (x,y)-locatie de verticale opeenvolging van de eigenschappen van de voxels weer. In de voxel stack kunnen lithoklassen van de voxels worden afgelezen en kunnen winbaarheidscriteria worden toegepast (Figuur 4.6.28).



Figuur 4.6.28: Winbaarheidscriteria op basis van een maximum dikte van de af te graven deklaag en een maximum diepte tot waar het zand gewonnen wordt.

Voor elke combinatie van de volgende criteria wordt een afzonderlijke delfstoffenkaart gemaakt:

- Zand (4 varianten):
 - Winbaar 0-1 zand.
 - Winbaar 0-4 zand.
 - Winbare schelpen en schelprijk zand.
 - Winbare zand totaal.
- Max. deklaag (6 varianten):
 - Geen.
 - Dikte van 1, 2, 3, 4 en 5 m.
- Max. diepte (10 varianten):
 - Diepte van 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 en 50 m.

In totaal worden er dus $4 \times 6 \times 10 = 240$ kaarten gemaakt.

De hoeveelheid winbaar zand op een (x,y)-locatie wordt uitgedrukt in m zand (cumulatief op basis van de *verticale voxel stack*) waarbij bepaalde lithoklassen zwaarder meetellen dan andere lithoklassen. De gewichten zijn afhankelijk van het soort zand:

Lithoklasse	Nummer	Zand totaal	Zand 0-1	Zand 0-4	Schelpen
Fijn zand	1	100%	-	-	-
Matig fijn zand	2	100%	50%	-	-
Matig grof zand	3	100%	100%	50%	-
Grof zand en grind	4	100%	100%	100%	-
Klei	6	-	-	-	-
Veen	7	-	-	-	-
Schelpen	8	100%	-	-	100%
Schelprijk zand	9	100%	-	-	100%

De dikte van de deklaag wordt uit de *verticale voxel stack* bepaald door van boven naar onder de cumulatieve dikte van zand (lithoklasse 1, 2, 3, 4, 8 en 9) te bepalen. Zodra de cumulatieve dikte groter is dan 1 m (twee voxels) hebben we de top van het zand gevonden. De voxels met zand dienen aaneengesloten te zijn (dus twee voxels met zand direct op elkaar). De voxels die boven de gevonden top liggen vormen de deklaag.

Onder de deklaag worden de voxels zand geaccumuleerd totdat de maximum diepte bereikt is. De dikte van een voxel (0,5 m) wordt vermenigvuldigd met het gewicht in bovenstaande tabel om tot de winbare hoeveelheid te komen.

Bij de variant met een deklaag (1, 2, 3, 4 en 5 m) zijn nog twee extra parameters van belang: de *stoorlaagdikte* en de *tussenlaagdikte*. De *stoorlaagdikte* is vastgezet op 2 m (vier voxels) en de *tussenlaagdikte* op 1 m (twee voxels). Een *stoorlaagdikte* wil zeggen dat onder een laag klei of veen van minimaal 2 m dik het zand niet meer winbaar is. De ligging van de stoorlaag (d.w.z. de diepteligging van de top van de stoorlaag) wordt bepaald door in de *verticale voxel stack* van boven naar onder de cumulatieve dikte van klei en veen (lithoklasse 6 en 7) te bepalen. Als in een klei of veen laag toch weer zand wordt gevonden, dan spreken we van een *tussenlaag*. Is deze minimaal 1 m dik, dan wordt de tot dan toe geaccumuleerde stoorlaagdikte op 0 gesteld.

Bovenstaande processtap is geautomatiseerd met in Python geschreven programmatuur.

Samenvoegen nieuwe en bestaande Delfstoffenkaarten

De 240 rasterkaarten die in de vorige stap zijn gemaakt gelden voor een of meerdere modelgebieden van GeoTOP. De kaarten moeten gecombineerd worden met de bestaande Delfstoffenkaarten om tot een landelijk kaartbeeld te komen. Hiervoor worden de volgende GIS bewerkingen uitgevoerd (combinatie van Python en ArcGIS):

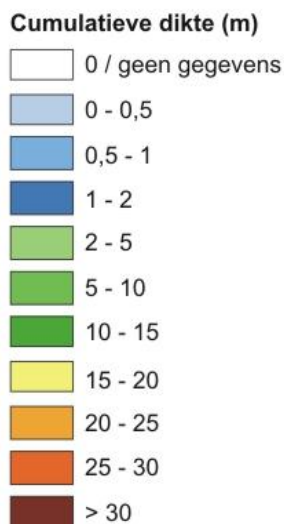
- Bepalen van de gebiedsbegrenzing. Elke (x,y)-locatie waar gevulde voxels aanwezig zijn ligt binnen het door GeoTOP gemodelleerde gebied; alle andere locaties liggen daarbuiten. Resultaat is een ArcAscii-bestand.

- Converteren van het ArcAscii-bestand met de gebiedsbegrenzing naar het ESRI-raster formaat.
- Resamplen van het ESRI-raster met de gebiedsbegrenzing van 100 m naar 250 m celgrootte.
- Converteren van de 240 ArcAscii-bestanden met winbaar zand naar het ESRI-raster-formaat.
- Resamplen van de 240 ESRI-rasters met winbaar zand van 100 m naar 250 m celgrootte.
- Samenvoegen van de 240 oorspronkelijke Delfstoffenkaarten met de 240 nieuwe. Daar waar de oorspronkelijke Delfstoffenkaart samenvalt met de gebiedsbegrenzing van de GeoTOP modelgebieden wordt de rasterwaarde van de Delfstoffenkaart vervangen door de nieuwe rasterwaarde.
- Converteren van de 240 samengevoegde ESRI-rasters naar het ArcAscii-formaat.

Het eindresultaat is een set van 240 kaarten in ArcAscii-formaat die uitgeleverd worden aan DINO en de basis vormen voor de kaartbeelden in de *Zand en grind viewer* van Delfstoffen Online.

Maken van ge-georefereerde TIFF bestanden

Op Delfstoffen online bestaat ook de mogelijkheid om de kaarten als ge-georefereerde TIFF te downloaden. De 240 ArcAscii kaarten worden daartoe geconverteerd naar TIFF en voor elke kaart wordt een zogenaamd worldfile gemaakt waarmee de TIFF in een GIS-pakket (van ESRI of een andere leverancier) bekeken en ge-georefererd kan worden. De TIFF bestanden kunnen overigens ook zonder GIS-software als plaatje bekeken worden. Bij de conversie worden de getalswaarden van de rastercellen (diktes winbaar zand) geconverteerd naar RGB-kleuren (Figuur 4.6.29).



Figuur 4.6.29: Legenda voor de cumulatieve kaarten; tevens de tabel voor de conversie van rasterwaarden naar TIFF-kleuren.

Alle TIFF-kaarten wordt opgenomen in een **ZIP-file** die wordt uitgeleverd aan DINO en opgenomen in Delfstoffen Online.

Bovenstaande processtap is geautomatiseerd met in Python geschreven programmatuur.

Maken voxel dataset voor het bodemsamenstellingsdiagram

Het bodemsamenstellingsdiagram wordt berekend op basis van een voxelmodel met per voxel de fracties van de verschillende bodemsamenstellingsklassen. Daarbij wordt voor de classificatie van het zand de 0-4 indeling gebruikt. Voor één voxel van 250 x 250 x 1 m kan bijvoorbeeld gelden:

Samenstelling	Nummer	Afkorting	Fractie
Fijn zand	0	Zf	0,4
Matig fijn zand	1	Zm	0,3
Grof zand en grind	2	Zg	0,0
Klei	4	K	0,2
Veen	5	V	0,1
Overig	6	O	0,0
Totaal	-	-	1,0

Een fractie van 0,4 voor *fijn zand* wil zeggen dat van het totale volume van de voxel ($250 \times 250 \times 1 = 62.500 \text{ m}^3$) er $0,4 \times 62.500 = 25.000 \text{ m}^3$ uit *fijn zand* bestaat. Dit is een belangrijk verschil met de kans op lithoklasse in GeoTOP, waar 0,4 wil zeggen dat de kans 40% is dat de *hele voxel* van $100 \times 100 \times 0,5 \text{ m}^3$ gevuld is met *fijn zand*. Voor de toepassing van GeoTOP in Delfstoffen maken we daarom gebruik van de *meest waarschijnlijke lithoklasse*, en niet van de *kansen op lithoklasse*.

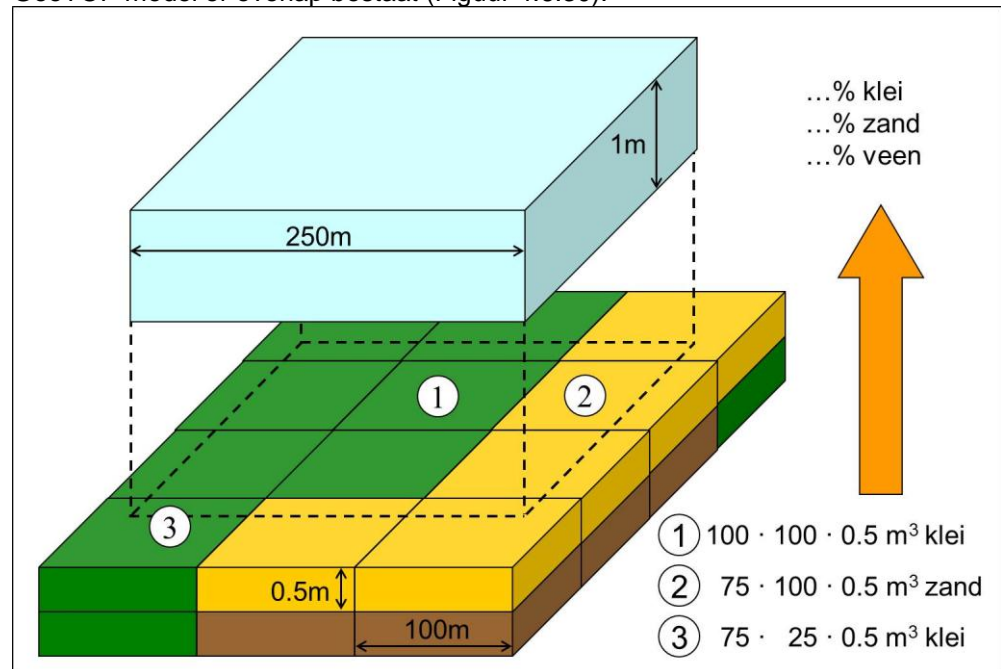
Om van de lithoklasseindeling van het GeoTOP delfstoffenmodel naar de bodemsamenstellingsklassen te komen wordt de volgende conversietabel gebruikt, waarbij voor de classificatie van het zand de 0-4 indeling gebruikt wordt:

Van:		Naar:		
Lithoklasse	Nummer	Samenstelling	Nummer	Afkorting
Antropogeen	0	Overig	6	O
Fijn zand	1	Fijn zand	0	Zf
Matig fijn zand	2	Fijn zand	0	Zf
Matig grof zand	3	Matig fijn zand	1	Zm
Grof zand en grind	4	Grof zand en grind	2	Zg
Klei	6	Klei	4	K
Veen	7	Veen	5	V
Schelpen	8	Overig	6	O
Schelprijk zand	9	Overig	6	O

Merk op dat de lithoklassen *fijn zand* en *matig fijn zand* worden samengevoegd tot één bodemsamenstellingsklasse. Hetzelfde geldt voor *antropogeen*, *schelpen* en *schelprijk zand*.

Het voxelmodel met de bodemsamenstellingsklassen heeft voxels van $250 \times 250 \times 1 \text{ m}$. Het lithoklassemodel van GeoTOP heeft voxels van $100 \times 100 \times 0,5 \text{ m}$.

Voor elke voxel in het Delfstoffen model wordt nu gekeken met welke voxels in het GeoTOP model er overlap bestaat (Figuur 4.6.30).



Figuur 4.6.30: Vertalen van de meest waarschijnlijke lithoklasse uit verschillende voxels van GeoTOP naar één voxel in het Delfstoffen model.

Voor elke overlappende voxel wordt vervolgens het volume van de overlap bepaald. Uit de geometrie van de beide voxelmodellen valt af te leiden dat de minimale overlap 312,5 m³ bedraagt (25 x 25 x 0,5 m) en de maximale overlap 5.000 m³ (d.w.z. de hele voxel van 100 x 100 x 0,5 m). Het totale volume van een voxel in het delfstoffenmodel is 250 x 250 x 1 m = 62.500 m³.

De fracties van de verschillende bodemsamenstellingsklassen worden nu bepaald door het volume van de overlap van een lithoklasse te delen door het totale volume. In Figuur 4.6.30 wordt dit toegelicht met een voorbeeld:

- Voxel (1) in GeoTOP bestaat uit klei en overlapt met een volume van 5.000 m³. De bijdrage aan de fractie van klei wordt dan $5.000 / 62.500 = 0,08$.
- Voxel (2) bestaat uit zand en overlapt met een volume van 3.750 m³. De bijdrage aan de fractie van zand wordt dan $3.750 / 62.500 = 0,06$.
- Voxel (3) in GeoTOP bestaat uit klei en overlapt met een volume van 937,5 m³. De bijdrage aan de fractie van klei wordt dan $937,5 / 62.500 = 0,015$. Deze bijdrage wordt opgeteld bij de fractie van Voxel (1), zodat de totale klei-bijdrage van de drie voxels op 0,095 komt.

De voxels in het Delfstoffen model die overlap hebben met één of meer voxels in het GeoTOP model krijgen een nieuwe waarde toegekend. De voxels die geen overlap hebben behouden hun oorspronkelijke waarde. Het samengevoegde voxelmodel wordt uitgeleverd aan DINO en opgenomen in Delfstoffen Online.

Bovenstaande processtap is geautomatiseerd met in Python geschreven programmatuur.

Uitleveren aan DINO

De rasterkaarten (in ArcAscii formaat), de gezipte TIFF-bestanden en de voxeldataset worden uitgeleverd aan de afdeling DINO voor publicatie op Delfstoffen Online.

4.6.10 *Maken (x,y)-bestand*

Met behulp van de eerder beschreven *verticale voxel stacks* is op eenvoudige wijze een bestand samen te stellen dat per (x,y) locatie de verticale opeenvolging van stratigrafie en lithoklasse weergeeft. Het bestand heeft per diepte interval van 0,5 m één attribuut met als waarde een concatenatie van stratigrafiecode en lithoklassecode.

Bijvoorbeeld voor een locatie in het Rivierengebied:

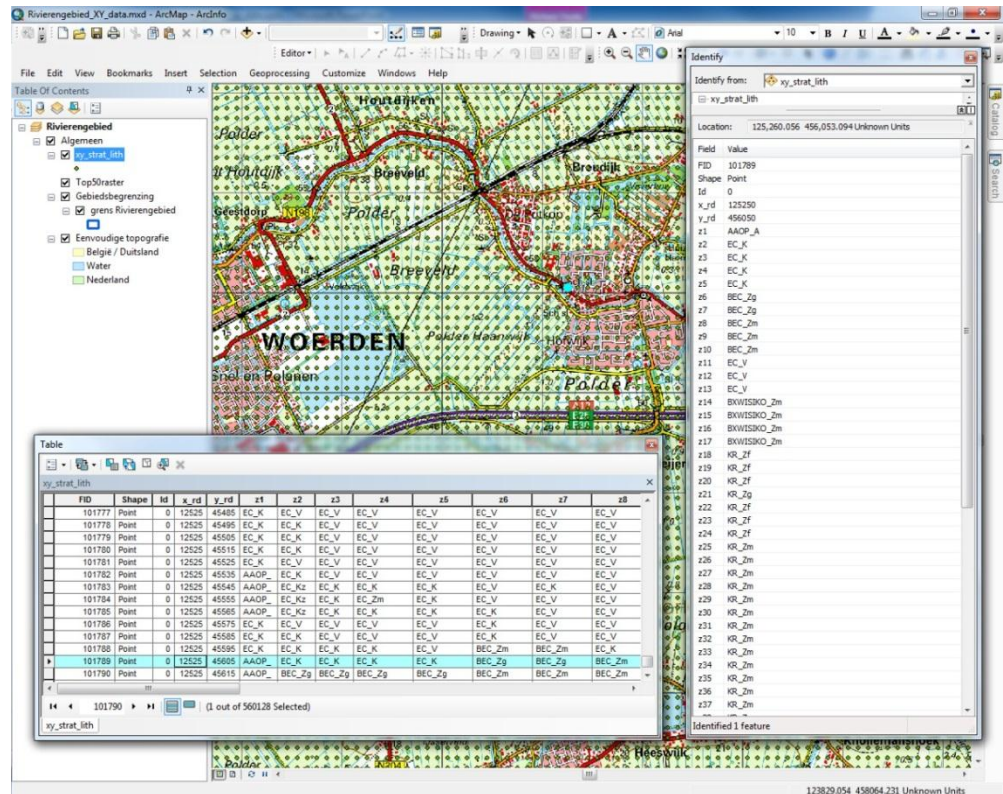
Attribuut	Waarde
x	125250
y	456050
z1	AAOP_A
z2	EC_K
z3	EC_K
z4	EC_K
z5	EC_K
z6	BEC_Zg
z7	BEC_Zg
z8	BEC_Zm
z9	BEC_Zm
z10	BEC_Zm
z11	EC_V
z12	EC_V
z13	EC_V
z14	BXWISIKO_Zm
z15	BXWISIKO_Zm
z16	BXWISIKO_Zm
z17	BXWISIKO_Zm
z18	KR_Zf
z19	KR_Zf
z20	KR_Zf
z21	KR_Zg
z22	KR_Zf
z23	KR_Zf
z24	KR_Zf
z25	KR_Zm
t/m	t/m
z60	KR_Zg

De intervallen zijn genummerd vanaf maaiveld: z1 is dus de hoogstgelegen voxel op 0 m onder maaiveld, z2 die op 0,5 m onder maaiveld etc. Per locatie worden 60 attributen (30 m) gevuld.

De letters vóór de *underscore* geven de stratigrafische eenheid aan waartoe de voxel behoort; de letters achter de *underscore* stellen de lithoklasse voor waarmee de voxel gevuld is. De lithoklassen hebben de volgende codering:

Lithoklasse	Nummer	Afkorting	Korrelgrootte (mediaan)
Antropogeen	0	A	-
Organisch materiaal (veen)	1	V	-
Klei	2	K	-
Kleiig zand, zandige klei en leem	3	Kz	-
Fijn zand	5	Zf	$\geq 63 \mu\text{m}$ en $< 150 \mu\text{m}$
Midden zand	6	Zm	$\geq 150 \mu\text{m}$ en $< 300 \mu\text{m}$
Grof zand	7	Zg	$\geq 300 \mu\text{m}$ en $< 2 \text{ mm}$
Grind	8	G	$\geq 2 \text{ mm}$
Schelpen	9	Sch	-

De tabel is een csv-bestand met per regel de attributen van 1 (x,y)-locatie. Dit bestand kan op eenvoudige wijze vertaald worden naar een ESRI shapefile (puntdata). Na openen van het shapefile in ArcMap zijn de (x,y)-locaties zichtbaar als punten in het midden van de voxels. Met behulp van de attributentabel of met de *Identifier*-tool kan de verticale opeenvolging van stratigrafie en lithoklasse op een locatie geraadpleegd worden (Figuur 4.6.31).



Figuur 4.6.31: ArcMap met (xy)-shapefile (groene puntjes). De attribuentabel (linksonder) toont voor een (x,y)-locatie op één regel de verticale opeenvolging van stratigrafie en lithoklasse vanaf maaiveld. Met behulp van de Identifier-tool (rechts) wordt dezelfde informatie als kolom weergegeven.

Bovenstaande processtap is geautomatiseerd met een combinatie van ArcGIS en in Python geschreven programmatuur. Het afgeleide product wordt momenteel niet uitgeleverd aan DINO. Op DINO_{Loket} komt een alternatief beschikbaar waarmee op een (x,y)-locatie een synthetische boorkolom ("appelboor") door het voxelmodel gemaakt kan worden.

5 Ondertekening

Utrecht, 17-12-2012

TNO, geologische Dienst Nederland

Michiel van der Meulen

Jan Stafleu

Afdelingshoofd Geomodellering

Auteur

6 Literatuur

Bakker, M.A.J. & Van der Meer, J.J.M., 2003. Structure of a Pleistocene push moraine revealed by ground-penetrating radar: the eastern Veluwe Ridge, the Netherlands. In: Bristow, C.S. & H.M. Jol (eds.): Ground-penetrating radar in sediments. Geological Society, London, Special Publications, 211, 143-151.

Bakker, M.A.J., 2004. The internal structure of Pleistocene push moraines. A multidisciplinary approach with emphasis on ground-penetrating radar. PhD thesis, Queen Mary, University of London, 177 pp.

Berendsen, H.J.A., 2005. The Rhine-Meuse delta at a glance. 8th International Conference on Fluvial Sedimentology, Delft, the Netherlands. Mid-conference excursion guide, August 10, 2005.

Berendsen, H.J.A. & E. Stouthamer, E., 2001. Palaeogeographic development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands, Van Gorcum, Assen, 268 p.

Berg, R.C., Mathers, S.J., Kessler, H. & Keefer, D.A. (eds.): Synopsis of Current Three-dimensional Geological Mapping and Modeling in Geological Survey Organizations, Illinois State Geological Survey Circular 578.

Bos, I.J., 2010. Distal delta-plain successions. Architecture and lithofacies of lake fills and organics in the Holocene Rhine-Meuse delta, The Netherlands. Ph.D. thesis Utrecht University, 208 p.

Bos, I.J., 2012. Kernkwaliteiten nationaal landschap Laag Holland, systematische nulmeting. Landschap Noord-Holland, rapport 12-004, 69 p.

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

Chilès, J.-P. & Delfiner, P., 2012. Geostatistics – Modeling Spatial Uncertainty. Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 699 p.

De Louw, P.G.B., Eeman, S., Siemon, B., Voortman, B.R., Gunnink, J.L., Van Baaren, E.S. & Oude Essink, G.H.P., 2011. Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 8, p.7657-7707.

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

De Mulder, E.F.J., Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E. & Wong, T.E. (2003) De Ondergrond van Nederland. Geologie van Nederland, deel 7. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Utrecht. 379 p.

Doppert, J.W.Chr., Ruegg, G.H.J., Van Staalduinen, C.J., Zagwijn, W.H. & Zandstra, J.G., 1975. Formaties van het Kwartair en Boven-Tertiair in Nederland. In: Zagwijn, W.H. & Van Staalduinen, C.J. (eds): Toelichting bij de Geologische Overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, Haarlem, p.11-56.

- Faneca Sánchez, M., Gunnink, J.L., Van Baaren, E.S., Oude Essink, G.H.P., Siemon, B., Auken, E., Elderhorst, W. & De Louw, P.G.B., 2012. Modelling climate change effects on a Dutch coastal groundwater system using airborne Electro Magnetic measurements. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9, p.6135-6184.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York, 483 p.
- Gunnink, J.L., Maljers, D., Van Gessel, S.F., Menkovic, A. & Hummelman, H.J. A 3D geological raster model of the Netherlands (subm.). Submitted to NJG.
- Hijma, M., 2009. From river valley to estuary. The early-mid Holocene transgression of the Rhine-Meuse valley, The Netherlands. Ph.D. thesis Utrecht University, 192 p.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 561 p.
- Klein, J., Faneca Sánchez, M. and Van Baaren, E., 2011. *Systeemkennis ondergrond Westland ten behoeve van gietwatervoorziening glastuinbouw*. Rapport Deltares no. 1205189-000-BGS-0005.
- Kurup, P.U. and Griffin, E.P., 2006. Prediction of Soil Composition from CPT Data Using General Regression Neural Network. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v.20, No.4, p.281-289.
- Maarleveld, G.C., 1981. The sequence of ice-pushing in the central Netherlands. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 34, 2-6.
- Russell, H.A.J., Berg, R.C. & Thorleifson, L.H. (eds.): *Three-Dimensional Geological Mapping, Workshop Extended Abstracts, 2011 Annual Meeting of the Geological Society of America, October 8 2011, Minneapolis, Minnesota, USA, 67-71*.
- Soares, A., 1992. Geostatistical estimation of multi-phase structure. *Mathematical Geology* 24 (2), p.149-160.
- Stafleu, J., Busschers, F.S., Maljers D. & Gunnink, J.L., 2009. Three-dimensional property modeling of a complex fluvio-deltaic environment: Rhine-Meuse Delta, The Netherlands. In: Berg, R.C., Russell, H.A.J. & Thorleifson, L.H. (eds.): *Workshop Extended Abstracts of the 2009 Annual Meeting, Geological Society of America, October 17 2009, Portland, Oregon, USA, p.47-50*.
- Stafleu, J., Maljers, D., Gunnink, J.L., Menkovic, A. & Busschers, F.S., 2010. 3D subsurface modelling of Zeeland. *First International Conference on Frontiers in Shallow Subsurface Technology, 20-22 January, 2010, Delft, The Netherlands*.
- Stafleu, J., Busschers, F.S., Maljers, D., Gunnink, J.L. & Van der Meulen, M.J., 2011a. Geomodeling at TNO – Geological Survey of the Netherlands. In: Russell, H.A.J., Berg, R.C. & Thorleifson, L.H. (eds.): *Three-Dimensional Geological*

Mapping, Workshop Extended Abstracts, 2011 Annual Meeting of the Geological Society of America, October 8, 2011, Minneapolis, Minnesota, USA, p. 67-71.

Stafleu, J., Maljers, D., Gunnink, J.L., Menkovic, A. & Busschers, F.S., 2011b. 3D modeling of the shallow subsurface of Zeeland, the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences* 90, p.293-310.

TNO, 2012. Handleiding SubsurfaceViewer 3D, 14p. Downloadbaar vanaf www.dinoloket.nl/nl/download/subsurfacegeotop.html.

Van Baaren, E. and Harezlak, V., 2011. Zoetwatervoorziening Schouwen-Duiveland. Quick scan huidige situatie, toekomst, mogelijke maatregelen en urgentiegevoel. *Climate Proof Areas, Deltares rapport 1202272-006-BGS-0003*, 75 p.

Van Baaren, E., De Louw, P., Faneca Sánchez, M., De Vries, B., Van der Vleuten, J., Massink, H., Heringa, J., 2012. Hydrologische studie Kustlaboratorium. *Deltares rapport 1204870-000*, 60 p.

Van der Meulen M.J., de Lang, F.D., Maljers, D., Dubelaar, C.W. & Westerhoff, W.E., 2003. Grondsoorten en Delfstoffen bij naam. *Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Utrecht*. 96 p.

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.

Van der Meulen, M.J., Maljers, D., Van Gessel, S.F. & Gruijters, S.H.L.L., 2007. Clay resources in the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences*, 86, p.117-130.

Van der Meulen, M.J., Van Geer, F.C., Gruijters, S.H.L.L., Van Leeuwen, R.J., Gunnink, J.L., Vernes, R.W., Stafleu, J., Westerhoff, W.E., Doornenbal, J.C., Van Gessel, S.F., Ten Veen, J.H., Broers, H.P., Griffioen, J., Schroot, B.M., 2011. Strategisch Kennisplan – expertisegroepen Geomodelling en DINO. *Intern TNO rapport*, 31 p.

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

Vernes, R.W. and 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.

Vos, P.C., Bazelmans, J., Weerts, H.J.T. & Van der Meulen (red.), 2011. *Atlas van Nederland in het Holocene*. Amsterdam, 94 p.

Weerts, H.J.T., Cleveringa, P., Ebbing, J.H.J., De Lang, F.D. & Westerhoff, W.E.

(2000) De lithostratigrafische indeling van Nederland – Formaties uit het Tertiair en Kwartair. TNO-rapport NITG-00-95-A, 38 p.

Zwerver, B., 2012. MapInfo Discover 3D en GeoTOP, een goede combinatie? TNO Report, 127 p.

7 Bijlagen

7.1 Modeleenheden

In het **voxelmodel** is de modeleenheid een attribuut van een voxel dat aangeeft tot welke geologische eenheid de voxel behoort. Zoals in hoofdstuk 2 is beschreven bevatten voxels in vrijwel alle technische implementaties (i.e. bestanden of databases) altijd numerieke waarden. Dit kunnen gehele getallen (integer waarden) of reële getallen (floating point waarden) zijn. Als we een voxel willen voorzien van een modeleenheid moeten we daarom een nummer gebruiken die de modeleenheid representeert. Hetzelfde geldt voor de rastercellen in de rasterkaarten die uit het voxelmodel zijn afgeleid, bijvoorbeeld de Geologische kaart en de horizontale doorsneden door het voxelmodel (hoofdstuk 4.6).

In het **lagenmodel** is de modeleenheid een geologische eenheid waarvan de geometrie beschreven wordt door rasters van de top, de basis en de dikte. In de naamgeving van de rasters komt de modeleenheid terug als een code.

Voor **geïnterpreteerde boorbeschrijvingen** wordt voor de geologische eenheden dezelfde codering gebruikt als in het lagenmodel.

In de SubsurfaceViewer wordt op dit moment nog een alternatieve nummering gebruikt voor de voxels. Deze alternatieve nummering verzorgt ook de stratigrafische volgorde van het lagenmodel in de viewer. In de *Handleiding SubsurfaceViewer 3D* (TNO, 2012) is een tabel met de nummering opgenomen.

Voor GeoTOP zijn de modeleenheden genummerd volgens onderstaande tabel. Er is ruimte in de nummering opengelaten, zodat er indien nodig in de toekomst eenheden tussengevoegd kunnen worden. Behalve de nummers zijn in de tabel ook de codes opgenomen die in de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen en in de naamgeving van het lagenmodel gebruikt worden. Voor een beschrijving van de verschillende lithostratigrafische eenheden wordt verwezen naar de *Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond*: <http://www.dinoloket.nl/nomenclatorShallow/start/start/introduction/index.html>.

Modeleenheden		
Nummer (voxelmodel)	Code (lagenmodel en boringen)	Naam
Holoceen		
1000	AAOP	Antropogene afzettingen
1010	NIGR	Formatie van Nieuwkoop, Laagpakket van Griendtsveen
1020	NASC	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Schoorl
1030	ONAWA	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, gelegen boven Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Zandvoort
1040	NAZA	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Zandvoort
1050	NAWA	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van

		Walcheren, gelegen onder Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Zandvoort
1060	BHEC	Formatie van Echteld, gelegen buiten de verbreiding van de Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket
1070	OEC	Formatie van Echteld, gelegen boven de Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket
1080	NAWOBE	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer, Laag van Bergen
1090	NIHO	Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket
1100	NAWO	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer
1110	NWNZ	Formatie van Naaldwijk, Laagpakketten van Wormer en Zandvoort (gecombineerde eenheid in modelgebied Zeeland)
1120	NAWOVE	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer, Laag van Velsen
1130	NIBA	Formatie van Nieuwkoop, Basisveen Laag
Holoceen, ongedifferentieerd		
2000	NA	Formatie van Naaldwijk
2010	EC	Formatie van Echteld
2020	NI	Formatie van Nieuwkoop
2030	KK	Kreekrak Formatie
Formatie van Boxtel		
3000	BXKO	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Kootwijk
3010	BXSI	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Singraven
3020	BXWI	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Wierden
3030	BXWISIKO	Formatie van Boxtel, Laagpakketten van Wierden, Singraven en Kootwijk
3040	BXDE	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Delwijnen
3050	BXSC	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Schimmert
3060	BXLM	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Liempde
3090	BXBS	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Best
3100	BX	Formatie van Boxtel
Formaties van Kreftenheye, Woudenberg, Beegden, Koewacht en de Eem Formatie		
4000	KRWY	Formatie van Kreftenheye, Laag van Wijchen
4010	KRBXDE	Formatie van Kreftenheye, inclusief Formatie van Boxtel, Laagpakket van Delwijnen
4020	KRZU	Formatie van Kreftenheye, Laagpakket van Zutphen
4030	KROE	Formatie van Kreftenheye, gelegen onder de Eem Formatie
4040	KRTW	Formatie van Kreftenheye, Laagpakket van Twello
4050	KR	Formatie van Kreftenheye
4060	BEWY	Formatie van Beegden, Laag van Wijchen
4070	BERO	Formatie van Beegden, Laag van Rosmalen
4080	BE	Formatie van Beegden
4090	KW	Formatie van Koewacht
4100	WB	Formatie van Woudenberg
4110	EE	Eem Formatie

4120	EEWB	Formatie van Woudenberg en Eem Formatie
Diepere eenheden		
5000	DR	Formatie van Drente
5010	DRGI	Formatie van Drente, Laagpakket van Gieten
5020	GE	Door landijs gestuwde eenheden
5030	DN	Formatie van Drachten
5040	URTY	Formatie van Urk, Laagpakket van Tijnje
5050	PE	Formatie van Peelo
5060	UR	Formatie van Urk
5070	ST	Formatie van Sterksel
5080	AP	Formatie van Appelscha
5090	SY	Formatie van Stramproy
5100	PZ	Formatie van Peize
5110	WA	Formatie van Waalre
5120	PZWA	Formatie van Peize en Formatie van Waalre
5130	MS	Formatie van Maassluis
5140	KI	Kiezeloöliet Formatie
5150	OO	Formatie van Oosterhout
5160	IE	Formatie van Inden
5170	VI	Formatie van Ville
5180	BR	Formatie van Breda
5190	RUBO	Rupel Formatie, Laagpakket van Boom
5200	RU	Rupel Formatie
5210	TOZEWA	Formatie van Tongeren, Laagpakket van Zelzate, Laag van Watervliet
5220	TOGO	Formatie van Tongeren, Laagpakket van Goudsberg
5230	TO	Formatie van Tongeren
5240	DOAS	Formatie van Dongen, Laagpakket van Asse
5250	DOIE	Formatie van Dongen, Laagpakket van Ieper
5260	DO	Formatie van Dongen
5270	LA	Formatie van Landen
5280	HT	Formatie van Heijenrath
5290	HO	Formatie van Holset
5300	MT	Formatie van Maastricht
5310	GU	Formatie van Gulpen
5320	VA	Formatie van Vaals
5330	AK	Formatie van Aken
Holocene geulsystemen		
6000	AEC	Stroombaan generatie A, Formatie van Echteld
6010	ANAWA	Stroombaan generatie A, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren
6020	ANAWO	Stroombaan generatie A, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer
6100	BEC	Stroombaan generatie B, Formatie van Echteld
6110	BNAWA	Stroombaan generatie B, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren
6120	BNAWO	Stroombaan generatie B, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer
6200	CEC	Stroombaan generatie C, Formatie van Echteld

6210	CNAWA	Stroombaan generatie C, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren
6220	CNAWO	Stroombaan generatie C, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer
6300	DEC	Stroombaan generatie D, Formatie van Echteld
6310	DNAWA	Stroombaan generatie D, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren
6320	DNAWO	Stroombaan generatie D, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer
6400	EEC	Stroombaan generatie E, Formatie van Echteld
6410	ENAWA	Stroombaan generatie E, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren
6420	ENAWO	Stroombaan generatie E, Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer

7.2 Lithoklassen

Er zijn twee lithoklasseindelingen. De eerste volgt de indeling van REGIS II en is o.a. geschikt voor hydrologische toepassingen. De tweede volgt een indeling die gericht is op delfstofwinning.

7.2.1 *Lithoklassen volgens de indeling van REGIS II*

In het **voxelmodel** is de lithoklasse een attribuut van een voxel dat aangeeft met welke lithoklasse de voxel gevuld is. Net als modelleenheden worden lithoklassen gerepresenteerd door een geheel getal (integer waarde). Voor GeoTOP geldt dat de classificatie van REGIS II wordt aangehouden, waaraan nog een lithoklasse 'antropogeen' is toegevoegd.

REGIS II indeling			
Lithoklassen voxelmodel	Nummer	Afkorting	Korrelgrootte (mediaan)
Antropogeen	0	a	-
Organisch materiaal (veen)	1	o	-
Klei	2	k	-
Kleilig zand, zandige klei en leem	3	kz	-
Fijn zand	5	zf	≥ 63 µm en < 150 µm
Midden zand	6	zm	≥ 150 µm en < 300 µm
Grof zand	7	zg	≥ 300 µm en < 2 mm
Grind	8	g	≥ 2 mm
Schelpen	9	sch	-

In het **lagenmodel** komen geen lithoklassen voor. In de **geïnterpreteerde boorbeschrijvingen** wordt dezelfde nummering gebruikt als in het voxelmodel, met dat verschil dat de lithoklasse 0 (antropogeen) daar ontbreekt en dat er een lithoklasse met nummer 10 is toegevoegd voor zand met een onbekende korrelgrootte:

REGIS II indeling			
Lithoklassen geïnterpreteerde boorbeschrijvingen	Nummer	Afkorting	Korrelgrootte (mediaan)
Organisch materiaal (veen)	1	o	-
Klei	2	k	-
Kleilig zand, zandige klei en leem	3	kz	-
Fijn zand	5	zf	≥ 63 µm en < 150 µm
Midden zand	6	zm	≥ 150 µm en < 300 µm
Grof zand	7	zg	≥ 300 µm en < 2 mm
Grind	8	g	≥ 2 mm
Schelpen	9	sch	-
Zand met onbekende korrelgrootte	10	z	Onbekend

De lithoklassen van de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen wordt op basis van een set regels afgeleid uit de boorbeschrijvingen zelf. Een gedetailleerde beschrijving van deze afleiding is opgenomen in hoofdstuk 4.5.

7.2.2 *Lithoklassen volgens de indeling van Delfstoffen*

Voor het **voxelmodel** dat voor het afgeleide product Delfstoffen wordt gemaakt geldt een alternatieve lithoklasseindeling:

Delfstoffen indeling		
Lithoklassen voxelmodel	Nummer	Korrelgrootte (mediaan)
Antropogeen	0	-
Fijn zand	1	≥ 63 µm en < 105 µm
Matig fijn zand	2	≥ 105 µm en < 210 µm
Matig grof zand	3	≥ 210 µm en < 420 µm
Grof zand en grind	4	≥ 420 µm en < 2000 µm
Klei	6	-
Veen	7	-
Schelpen	8	-
Schelprijk zand	9	-

In het **lagenmodel** komen geen lithoklassen voor. In de **geïnterpreteerde boorbeschrijvingen** wordt dezelfde nummering gebruikt als in het voxelmodel, met dat verschil dat de lithoklasse 0 (antropogeen) daar ontbreekt en dat er een lithoklasse met nummer 5 is toegevoegd voor zand met een onbekende korrelgrootte:

Delfstoffen indeling		
Lithoklassen geïnterpreteerde boorbeschrijvingen	Nummer	Korrelgrootte (mediaan)
Fijn zand	1	≥ 63 µm en < 105 µm
Matig fijn zand	2	≥ 105 µm en < 210 µm

Matig grof zand	3	≥ 210 µm en < 420 µm
Grof zand en grind	4	≥ 420 µm en < 2000 µm
Zand met onbekende korrelgrootte	5	Onbekend
Klei	6	-
Veen	7	-
Schelpen	8	-
Schelprijk zand	9	-

De lithoklassen van de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen wordt op basis van een set regels afgeleid uit de boorbeschrijvingen zelf. Een gedetailleerde beschrijving van deze afleiding is opgenomen in hoofdstuk 4.6.

7.3 Dataformaat lagenmodel

Het lagenmodel bestaat uit een set van 5 rasters per modeleenheid. Bijvoorbeeld voor modeleenheid 'NAWA' (Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren):

Bestand	Toelichting
nawa_bcc.asc	Basis van de eenheid, gemiddelde van 100 realisaties
nawa_tcc.asc	Top van de eenheid, gemiddelde van 100 realisaties
nawa_dcc.asc	Dikte van de eenheid, verschil tussen top en basis
nawa_std_bcc.asc	Standaard deviatie in de 100 realisaties van de basis van de eenheid
nawa_std_tcc.asc	Standaard deviatie in de 100 realisaties van de top van de eenheid

De rasters zijn fysiek opgeslagen in het *ArcInfo ASCII Grid-formaat* van ESRI (extensie *.asc), of kortweg *ArcAscii-formaat*. Dit formaat kan in de meeste GIS-pakketten al dan niet met een ingebouwde conversiefunctie geopend worden en heeft daarnaast als voordeel dat het door softwareontwikkelaars eenvoudig in een *array* is om te zetten.

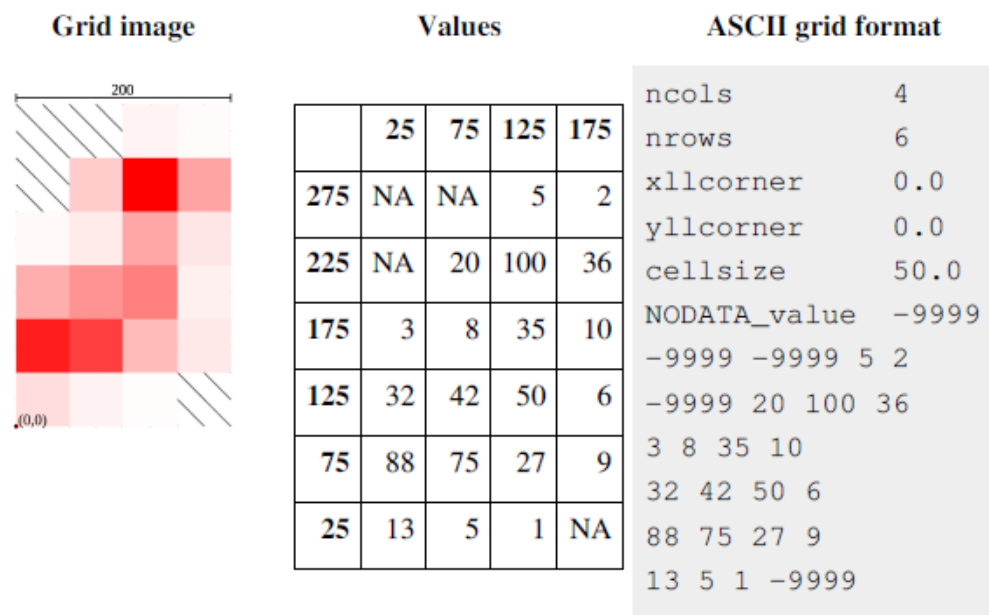
De ArcAscii-bestanden bestaan uit een header-deel en een data-deel.

7.3.1 Header-deel

De header bestaat uit 6 regels die het raster definiëren (Figuur 7.1). Elke regel bestaat uit de naam van de parameter (bijvoorbeeld *ncols*) gevolgd door een of meerdere spaties en de waarde van de parameter:

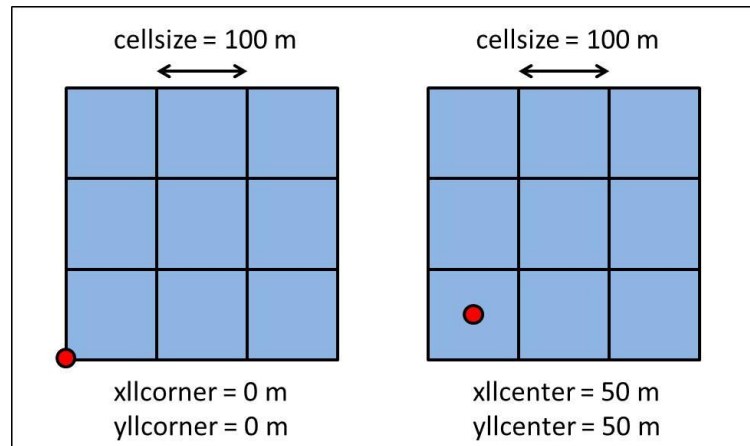
Nr	Naam	Toelichting
1	ncols	Aantal kolommen, ofwel het aantal rastercellen in de X (oostwaartse) richting. Dit is een geheel getal (integer waarde).
2	nrows	Aantal rijen, ofwel het aantal rastercellen in de Y (noordwaartse) richting. Dit is een geheel getal (integer waarde).
3	xllcorner xllcenter	X-coördinaat van de oorsprong. Voor GeoTOP, DGM en REGIS II geldt xllcenter: de

		oorsprong ligt in het midden (center) van de rastercel in de linker onderhoek (ll = lower left) van het grid. Voor veel andere rasterdata geldt xllcorner: de oorsprong ligt in de linker onderhoek (llc = lower left corner) van het grid. De X-coördinaat is een reëel getal (floating point waarde).
4	yllcorner yllcenter	Y-coördinaat van de oorsprong. Voor GeoTOP, DGM en REGIS II geldt yllcenter: de oorsprong ligt in het midden (center) van de rastercel in de linker onderhoek (ll = lower left) van het grid. Voor veel andere rasterdata geldt yllcorner: de oorsprong ligt in de linker onderhoek (llc = lower left corner) van het grid. De Y-coördinaat is een reëel getal (floating point waarde).
5	cellsize	Breedte van de rastercellen in X en in Y richtingen. De rastercellen zijn altijd vierkant. De cellsize is een reëel getal (floating point waarde).
6	nodata_value	Waarde die aangeeft dat het attribuut geen waarde heeft. Een veelgebruikte waarde is -9999. In rasters waarbij alle waarden groter dan 0 zijn, wordt vaak 0 als nodata_value gebruikt. De nodata_value kan een geheel getal (integer waarde) of een reëel getal (floating point waarde) zijn.



Figuur 7.1: ArcAscii grid met links een visualisatie met een kleurenschaal, in het midden de waarden in tabelvorm en rechts de codering in het ArcAscii formaat. De figuur is overgenomen uit Wikipedia (http://en.wikipedia.org/wiki/ESRI_grid).

Het ArcAscii-formaat staat twee definities van de oorsprong toe: een met *cell centers* en een met *cell corners*. GeoTOP gebruikt *cell centers*. Figuur 7.2 toont het verschil van de twee definities. Voor softwareontwikkelaars is het van belang in de header uit te lezen welke definitie er gehanteerd wordt.



Figuur 7.2: Twee mogelijke definities van de oorsprong in een ArcAscii-raster. In het linker raster ligt de oorsprong op het hoekpunt linksonder in de meest linksonder gelegen rastercel (cell corners). In het rechter raster ligt de oorsprong in het midden van de meest linksonder gelegen rastercel (cell centers). GeoTOP gaat uit van cell centers.

Voor de landsdekkende modellen van de Geologische Dienst Nederland van TNO met een resolutie van 100 m (i.e. DGM, REGIS II en GeoTOP) geldt in de meeste gevallen de volgende header:

Nr	Naam	Waarde
1	ncols	2800
2	nrows	3250
3	xllcenter	50
4	yllcenter	300050
5	cellsize	100
6	nodata_value	-9999

Hierbij wordt de oorsprong gemeten in m in het Rijksdriehoekstelsel en de cellsize in m.

7.3.2 Data-deel

Vanaf regel 7 tot aan het einde van het bestand volgen achter elkaar de waarden van de rastercellen (Figuur 6.1). Het aantal waarden is gelijk aan het aantal rijen maal het aantal kolommen ($ncols * nrows$). Elke rastercel heeft altijd 1 waarde; deze kan eventueel gelijk zijn aan de *nodata*-waarde. De waarden zijn door een spatie van elkaar gescheiden.

De volgorde van de rastercellen is als volgt: er wordt gestart in de meest *linksboven* gelegen rastercel (let op het verschil met de oorsprong die in de meest *linksonder* gelegen rastercel ligt). Van links naar rechts volgen eerst de waarden van de bovenste rij, daarna van links naar rechts de op een na bovenste rij etc. De sortering is dus in *aflopende* volgorde van de y-coördinaat en vervolgens in *oplopende* volgorde van de x-coördinaat.

7.3.3 *Andere dataformaten voor rasters*

Voor de afgeleide producten op DINO*Loket* geldt dat de rasters worden opgeslagen in het ERDAS rasterformaat (extensie *.img). Dit is een binair formaat dat door de meeste GIS software gelezen kan worden (inclusief ArcGIS). Een belangrijk voordeel ten opzichte van ESRI's eigen binaire rasterformaat is dat lange bestandsnamen toegestaan zijn. Het binaire rasterformaat van ESRI beperkt de bestandsnaam tot 9 karakters.

7.4 **Dataformaat voxelmodel**

In deze paragraaf worden twee dataformaten voor voxeldata beschreven: 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 beschreven ArcAscii-formaat voor rasters). Beide dataformaten zijn in ASCII.

7.4.1 *Dataformaat voxels zonder (x,y,z)-coördinaten per voxel*

Dit dataformaat is door de Geologische Dienst Nederland van TNO ontworpen en wordt onder andere gebruikt door de SubsurfaceViewer (zie hoofdstuk 4.6). Als bestandsformaat is gekozen voor een 3D uitbreiding van het 2D ArcAscii-formaat van ESRI. Een belangrijk verschil met de ArcAscii bestanden is echter dat in één bestand meerdere attribuutwaarden per voxel kunnen worden opgenomen.

De extensie van een voxelbestand is *.csv (*comma separated values*). Een voxelbestand bestaat uit een header-deel dat de voxelstructuur beschrijft (x,y,z van de oorsprong, dx,dy,dz van de voxel dimensies en nx,ny,nz van het aantal voxels) gevolgd door een data-deel dat de attribuutwaarden van de voxels bevat. Het voordeel van dit formaat is dat opslagruimte wordt bespaard doordat het niet nodig is om de (x,y,z)-coördinaten van elke voxel op te slaan. Een nadeel van het formaat is dat voxels met alleen *nodata*-waarden (bijvoorbeeld voxels in de lucht of in de Noordzee) niet weggelaten kunnen worden en dus schijfruimte innemen.

Header-deel

Een voxelbestand bevat 14 header regels. Met uitzondering van de laatste twee bevat elke header regel de naam van de parameter gevolgd door een spatie en de waarde van die parameter.

Nr	Naam	Toelichting
1	gridtype	Mogelijke waarden zijn "regular" en "variable". "regular" wil zeggen een regelmatig grid waarbij dx,dy,dz constanten zijn. "variable" wil zeggen een variabel grid waarbij dx,dy,dz per cel verschillend kunnen zijn. Op dit moment wordt alleen voorzien in een regelmatig "regular" grid.
2	sorting	Sorteervolgorde, op dit moment altijd: "+Z +Y +X" Hiermee wordt bedoeld: z verandert het snelst, en loopt van onder naar boven; x verandert het langzaamst, en loopt van links naar rechts

		Een minteken geeft aan dat de volgorde van groot naar klein is, bijvoorbeeld "-Z +Y +X" wil zeggen dat Z van boven naar beneden loopt.
3	nx	Aantal voxels in de X (oostelijke) richting.
4	ny	Aantal voxels in de Y (noordelijke) richting.
5	nz	Aantal voxels in de Z (bovenwaartse) richting.
6	xllcenter	X-coördinaat van de oorsprong. De oorsprong ligt in het midden (center) van de voxel in de linker onderhoek (ll=lower left) van het grid.
7	yllcenter	Y-coördinaat van de oorsprong.
8	zllcenter	Z-coördinaat van de oorsprong.
9	dx	Breedte van elke voxel in de x-richting.
10	dy	Breedte van elke voxel in de y-richting.
11	dz	Dikte van elke voxel in de z-richting.
12	nodata_value	Waarde die aangeeft dat het attribuut geen waarde heeft (NULL).
13	attribuutnamen	Lijst van attribuutnamen, gescheiden door komma's.
14	attribuuttypen	Lijst van attribuuttypen, gescheiden door komma's. Mogelijke waarden zijn "float" (floating point) en "int" (integer). Aantal attribuuttypen is gelijk aan het aantal attribuutnamen.

Data-deel

Er zijn $nx*ny*nz$ dataregels. Elke dataregel bestaat uit evenzoveel attribuutwaarden als er attribuutnamen in de headerregels beschreven zijn. De attribuutwaarden worden gescheiden door komma's.

De volgorde van de voxels is gegeven door de parameter *sorting*. Met de *sorting* "+Z +Y +X" wordt bedoeld dat de voxels gesorteerd zijn in *oplopende* volgorde (+) van de x-coördinaat, vervolgens in *oplopende* volgorde van de y-coördinaat en tot slot in oplopende volgorde van de z-coördinaat. De sortering impliceert dat de eerste voxel de meest linksonder gelegen voxel is (met voor alle coördinaten de laagste waarde) en dat vervolgens voor de (xy)-coördinaat van deze voxel alle z-waarden van beneden naar boven volgen. Sequentieel lezen van het bestand levert dus steeds een *verticale cell stack* op, een eigenschap die bij veel afgeleide producten van pas komt (hoofdstuk 4.6).

Let overigens op het verschil in sortering met de ArcAscii-rasters waarbij die in *aflopende* volgorde van de y-coördinaat en vervolgens in *oplopende* volgorde van de x-coördinaat is ("+X -Y").

Voorbeeld

Header-deel	<pre> gridtype regular sorting +Z +Y +X nx 200 ny 250 nz 320 xllcenter 180050.0 yllcenter 425050.0 zllcenter -49.75 dx 100.0 dy 100.0 dz 0.5 nodata_value 999.0 lithostrat,lithoklasse,kans_1_veen,kans_2_klei,kans_3_kleilig_zand,kans_5_ zand_fijn,kans_6_zand_matig_grof,kans_7_zand_grof,kans_8_grind int,int,float,float,float,float,float,float,float </pre>
Data-deel	<pre> 62,5,0.02,0,0.08,0.39,0.43,0.08,0 62,5,0,0,0.1,0.43,0.41,0.06,0 62,5,0,0,0.1,0.44,0.4,0.06,0 62,5,0,0,0,0.53,0.39,0.08,0 62,5,0,0,0,0.55,0.39,0.06,0 62,5,0,0,0,0.5,0.43,0.07,0 62,5,0,0.05,0.05,0.46,0.41,0.03,0 59,2,0.01,0.39,0.3,0.09,0.12,0.09,0 59,2,0.01,0.31,0.28,0.08,0.19,0.13,0 59,2,0.02,0.31,0.37,0.05,0.16,0.09,0 </pre>

7.4.2 Dataformaat voxels met (x,y,z)-coördinaten per voxel

Het dataformaat met (x,y,z)-coördinaten per voxel is een eenvoudig formaat dat door veel softwarepakketten die met voxeldata kunnen werken wordt ondersteund. Een voorbeeld is Discover3D van Mapinfo (Zwerver, 2012).

Het formaat bestaat uit een ASCII-bestand met extensie *.csv (comma separated values). De data bestaat uit een header van 1 regel gevolgd door een dataregel per voxel. Voor elke voxel zijn naast de (x,y,z)-coördinaten één of meerdere attributwaarden opgenomen. Omdat de coördinaten per voxel bekend zijn is de sorteervolgorde minder van belang, maar in principe wordt dezelfde volgorde aangehouden als bij het formaat zonder coördinaten.

Nadeel van dit formaat is dat metadata over de ligging van de oorsprong etc. ontbreekt en dat het opnemen van de coördinaten veel schijfruimte vergt. De bestanden zijn in het algemeen groter dan de bestanden zonder coördinaten. Een voordeel van het formaat is dat voxels met alleen *nodata*-waarden (bijvoorbeeld voxels in de lucht of in de Noordzee) weggelaten kunnen worden.

Voorbeeld

```
x,y,z,lithostrat,lithoklasse,kans_klasse_1,kans_klasse_2,kans_klasse_3,kans_klasse_4,kans_klasse_5,kans_klasse_6,kans_klasse_7,kans_klasse_8,kans_klasse_9
80050.0,450050.0,-49.75,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.03,0.34,0.63,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-49.25,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.08,0.29,0.63,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-48.75,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.07,0.27,0.66,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-48.25,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.05,0.24,0.71,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-47.75,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.06,0.26,0.68,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-47.25,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.07,0.33,0.6,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-46.75,13,7,0.01,0.07,0.02,0.0,0.07,0.31,0.52,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-46.25,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.07,0.34,0.59,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-45.75,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.09,0.35,0.56,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-45.25,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.09,0.35,0.56,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-44.75,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.1,0.34,0.56,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-44.25,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.11,0.29,0.6,0.0,0.0
80050.0,450050.0,-43.75,13,7,0.0,0.0,0.0,0.0,0.07,0.33,0.6,0.0,0.0
```