

**Energy**

Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

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

T +31 88 866 42 56

**TNO-rapport****TNO 2019 R11653****Totstandkomingsrapport Digitaal Geologisch  
Model (DGM)**

Datum	3 december 2019
Auteur(s)	Jan Hummelman Denise Maljers Armin Menkovic Reinder Reindersma Jan Stafleu Ronald Vernes
Aantal pagina's	70
Aantal bijlagen	-
Opdrachtgever	De directeur Geologische Dienst Nederland
Projectnaam	GIP Ondiepe Modelling 2019
Projectnummer	060.38609

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2019 TNO

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
1.1	Doel van het rapport .....	3
1.2	Leeswijzer .....	3
1.3	Gerelateerde documenten .....	3
1.4	Modellen in de Basis Registratie Ondergrond (BRO).....	3
<b>2</b>	<b>Algemene beschrijving van het model .....</b>	<b>5</b>
2.1	Het model DGM .....	5
2.2	Modelgebieden .....	7
2.3	Modelonzekerheden .....	8
2.4	Doel, gebruik en beperkingen.....	10
<b>3</b>	<b>Uitgangspunten, randvoorwaarden en afbakening en standaarden .....</b>	<b>12</b>
3.1	Uitgangspunten, randvoorwaarden en afbakening.....	12
3.2	Richtlijnen en standaarden .....	13
3.3	Software.....	14
<b>4</b>	<b>Brongegevens .....</b>	<b>15</b>
4.1	Algemeen.....	15
4.2	Boringen .....	15
4.3	Breuken .....	17
4.4	Maaiveld- en waterbodemhoogtebestand .....	18
4.5	Topografische kaart.....	19
4.6	Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond .....	20
<b>5</b>	<b>Procesbeschrijving algemeen .....</b>	<b>22</b>
5.1	Inleiding .....	22
5.2	Datavoorbereiding .....	23
5.3	(Her)interpretatie.....	28
5.4	Modellering .....	48
5.5	Controle .....	64
5.6	Publicatie .....	65
<b>6</b>	<b>Literatuuropgave .....</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>70</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Doel van het rapport

Dit rapport geeft een gedetailleerde beschrijving van de totstandkoming van het Digitaal Geologisch Model (DGM): het raamwerk waarbinnen het model wordt gemaakt, de gegevensbronnen die zijn gebruikt voor het construeren van de modellen, alsmede de onzekerheden in de ligging daarvan.

## 1.2 Leeswijzer

Na de inleiding wordt in hoofdstuk 2 een algemene beschrijving van het DGM lagenmodel gegeven. Hierin wordt in het kort geschetst welke geologische kaarten en geologische karteringen vooraf gingen aan de ontwikkeling van DGM, hoe er gewerkt wordt in modelgebieden, met onzekerheden en waarvoor het model gebruikt kan worden. Uiteraard komen hier ook de beperkingen van het model aan de orde. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de uitgangspunten en randvoorwaarden. In hoofdstuk 4 wordt aandacht besteed aan de brongegevens. Zaken als welk kaartmateriaal wordt gebruikt, hoe vindt de selectie van gebruikte boringen plaats, welke overige gegevens worden bij de kartering gebruikt, komen hierin aan de orde. Het laatste hoofdstuk, hoofdstuk 5, bevat een uitgebreide gedetailleerde beschrijving van het modelleringsproces waarin zaken als datavoorbereiding en (her)interpretatie, modellering, controle en publicatie beschreven worden.

## 1.3 Gerelateerde documenten

De modelgegevens die door de werkprocessen worden geconstrueerd en door werkproces Publicatie worden uitgeleverd zijn gedefinieerd in de *Gegevenscatalogus BRO DGM model*.

Een wetenschappelijke publicatie over DGM gaat o.a. uitvoerig in op de gebruikte interpolatietechnieken (Gunnink et al. 2013). Deze publicatie is verkrijgbaar via DINOLoket.

DGM is een model in ontwikkeling dat voortdurend wordt aangevuld met nieuwe gegevens, nieuwe inzichten, nieuwe technologische ontwikkelingen. Dit rapport geeft daarom alleen een beschrijving van het totstandkomingsproces en niet van de belangrijke veranderingen en verbeteringen tussen de verschillende DGM versies. Uiteraard is deze informatie van belang bij het gebruik van DGM daarom zal dit in een apart document per versie beschreven worden.

## 1.4 Modellen in de Basis Registratie Ondergrond (BRO)

Het Digitaal Geologisch Model (DGM) is een van de vijf registratieobjecten in het domein *modellen*. Het gaat in dit domein om schematische weergaven van de werkelijkheid in twee of drie dimensies. Deze schematische weergaven geven een schatting of voorspelling van de opbouw en eigenschappen van de bodem of ondergrond.

Naast DGM omvat het domein *modellen* nog vier registratieobjecten, die elk behoren tot een van de in de wet onderkende typen:

Tabel 1.1 Overzicht modellen in de Basis Registratie Ondergrond.

Model	Type	Dimensies
Geomorfologische Kaart van Nederland (GKN)	Geomorfologische modellen	2D
Bodemkaart van Nederland (BKN)	Bodemkundige modellen	2D
Digitaal Geologisch Model (DGM)	Geologische modellen	3D
REGIS II	Hydrogeologische modellen	3D
GeoTOP	Geologische modellen	3D

De Geomorfologische Kaart van Nederland (GKN) is een tweedimensionaal vectormodel met informatie over reliëf, ontstaanswijze en ouderdom van landschapsvormen in Nederland. Daarnaast geeft de kaart aanvullende informatie over afwijkende geologische afzettingen in de bovengrond, eventuele bijzonderheden in het reliëf en beschrijft of de landvorm onder invloed staat van actieve geomorfologische processen zoals stuivende kust- en landduinen en sedimentatie en erosie in en langs de grote rivieren en op slikken en schorren.

De Bodemkaart van Nederland (BKN) is een tweedimensionaal vectormodel van de in Nederland voorkomende bodems. Aan elke bodemeenheid zijn eigenschappen gekoppeld. Dit zijn het textuur, het organisch stofgehalte en een aantal andere attributen die tezamen het bodemtype bepalen.

REGIS II is een driedimensionaal model van de goed doorlatende en slecht doorlatende lagen in de ondergrond, tot een gemiddelde diepte van ca. 500 m onder NAP, met lokaal uitschieters tot 1200 m. Goed doorlatende en slecht doorlatende lagen worden in REGIS II hydrogeologische eenheden genoemd; dit zijn lagen met min of meer uniforme hydraulische eigenschappen. De hydrogeologische eenheden vallen samen met, of zijn onderdeel van, de in DGM onderscheiden lithostratigrafische eenheden. De diepteligging van de onder- en bovenkant en de dikte van de eenheden worden vastgelegd in gridbestanden (rasters) met een celgrootte van 100 bij 100 m. Naast de geometrische gegevens bevat het model voor elke eenheid ook gegevens over de doorlatendheid. Tot slot bevat REGIS II ook de geïnterpreteerde boormonsterprofielen die bij het maken van het model gebruikt zijn.

GeoTOP is een driedimensionaal model van de laagopbouw en grondsoort (klei, zand, grind en veen) van de ondiepe ondergrond van Nederland tot een diepte van maximaal 50 m onder NAP. In GeoTOP is de ondergrond onderverdeeld in een regelmatig driedimensionaal grid (raster) van aaneengesloten voxels (volumecellen) van 100 bij 100 m in de horizontale richting en 0,5 m in de verticaal. Aan elke voxel zijn eigenschappen gekoppeld. Dit zijn de lithostratigrafische c.q. geologische eenheid (laag) waartoe een voxel behoort, de lithoklasse (grondsoort) die representatief is voor de voxel en een aantal attributen die tezamen een maat van modelonzekerheid vormen. Behalve voxels bevat GeoTOP ook een gedetailleerd lagenmodel en de geïnterpreteerde boormonsterprofielen die bij het maken van het model gebruikt zijn.

## 2 Algemene beschrijving van het model

### 2.1 Het model DGM

Het Digitaal Geologisch Model (DGM) is een driedimensionaal lagenmodel van de Nederlandse ondergrond tot een diepte van ongeveer 500 m onder NAP, met lokaal uitschieters tot 1200 m. De ondergrondlagen in dit deel van de ondergrond bestaan hoofdzakelijk uit onverharde sedimenten, waarin de grondsoorten klei, zand, grind en veen voorkomen. De lagen worden op basis van verschillen in lithologie en andere eigenschappen ingedeeld in lithostratigrafische eenheden. DGM is een model van de opbouw en de samenhang (geometrie) van deze lithostratigrafische eenheden. De diepteligging van de onder- en bovenkant en de dikte van de eenheden worden vastgelegd in gridbestanden (rasters) met een celgrootte van 100 bij 100 m. Behalve de laaginformatie bevat DGM ook de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen die bij het maken van het model gebruikt zijn.

De basisbouwstenen van DGM zijn lithostratigrafische c.q. geologische eenheden. Deze termen worden hieronder toegelicht:

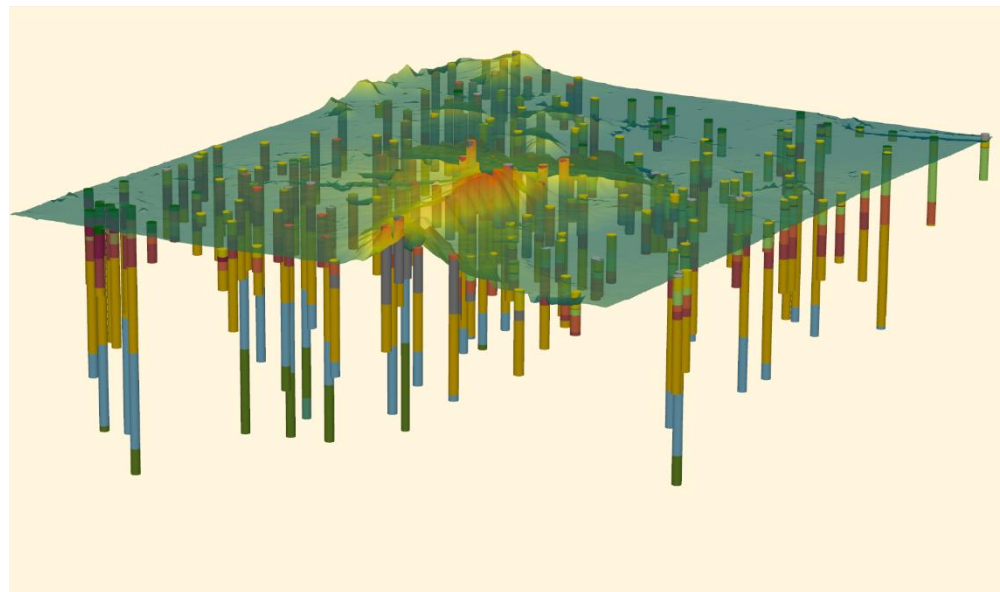
- **Lithostratigrafie** is de indeling van de ondergrond in formaties (de fundamentele lithostratigrafische eenheid), die op hun beurt kunnen worden onderverdeeld in laagpakketten en lagen. Opeenvolgende formaties kunnen worden ingedeeld in groepen en opeenvolgende groepen in supergroepen. Formaties, laagpakketten en lagen worden gedefinieerd op basis van onderscheidende lithologische kenmerken (uit welke materialen bestaat de eenheid en hoe onderscheidt de eenheid zich in dat opzicht van onder- en bovenliggende eenheden?). Verder is de ruimtelijke relatie met andere eenheden onderdeel van de definitie: meerdere formaties kunnen vergelijkbare of gelijke kenmerken hebben, maar als ze gescheiden zijn toch individueel benoemd worden. Formaties en onderdelen daarvan moeten karteerbaar zijn, wat wil zeggen (1) dat de basis en top moeten kunnen worden herkend (bijvoorbeeld in een boring of ontsluiting), en (2) dat ze kunnen worden gerepresenteerd op de kaart of in het model naar keuze. Dit laatste hangt voornamelijk samen met schaal. Groepen en supergroepen zijn als samenstellingen van formaties zijn uiteraard per definitie karteerbaar. Een geologische kaart model of een geologisch model is de ruimtelijke uitwerking van deze criteria, het schaalt lithostratigrafisch geïnterpreteerde gegevens op naar het voorkomen van de eenheid in respectievelijk twee- of driedimensies. Nederlandse Lithostratigrafische eenheden worden formeel gedefinieerd in de [Stratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond van Nederland](#). In het geval van formeel gedefinieerde eenheden wordt Formatie, Laagpakket, Laag, Groep of Supergroep met een hoofdletter geschreven.
- In DGM wordt de term **geologische eenheid** gebruikt in plaats van lithostratigrafische eenheid omdat niet elke modeleenheid in het model één-op-één overeenkomt met een lithostratigrafische eenheid volgens de Nomenclator. Het kan namelijk voor de modellering, in verband met de karteerbaarheid, nodig zijn om twee of meer lithostratigrafische eenheden samen te nemen tot één geologische eenheid. De tegenovergestelde situatie, waar een

lithostratigrafische eenheid wordt gesplitst in een of meerdere geologische eenheden, komt ook voor.

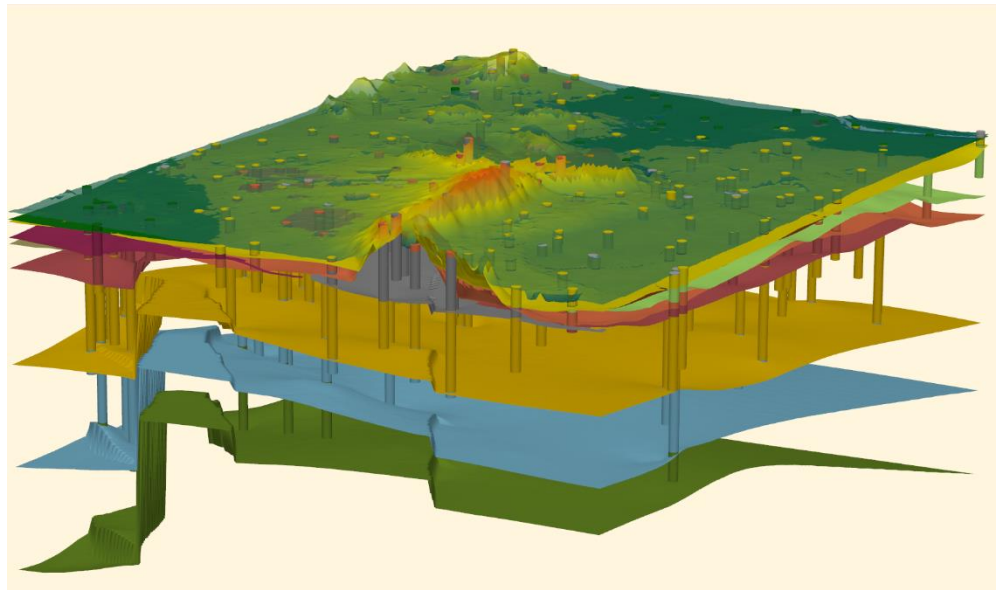
DGM bestaat uit de volgende in de BRO opgenomen producten die ontstaan uit een gestandaardiseerd werkproces:

- De interpretaties van de geselecteerde boorbeschrijvingen in **geologische eenheden**. Elke boorbeschrijving is onderverdeeld in dieptetrajecten behorende bij een geologische eenheid.
- **Breuken**. Per breuksegment is aangegeven in welke basis van een modeleenheid dit breuksegment nog invloed heeft.
- Een **lagenmodel** waarbij de ondergrond is weergegeven als een stapeling van modeleenheden die begrensd zijn door een top- en een basisvlak. Beide vlakken zijn weergegeven als een **raster** met cellen van 100 x 100 meter, waarbij elke rastercel de hoogteligging van top en basis in meters ten opzichte van NAP geeft en daarvan afgeleid de dikte in meters. Zowel voor de top, dikte als basis zijn rasters beschikbaar die de modelonzekerheid van het lagenmodel weergeven. Ook is er waarschijnlijkheid op voorkomen per geologische eenheid beschikbaar.

De onderlinge samenhang van de in de BRO opgenomen, geïnterpreteerde boorbeschrijvingen en het lagenmodel zijn geïllustreerd in Figuur 2.1 en Figuur 2.2.



Figuur 2.1 3D weergave van geïnterpreteerde boorbeschrijvingen in een deelgebiedje van het DGM waarbij de kleuren verschillende geologische eenheden weergeven. Het weergegeven vlak is het maaiveld.



Figuur 2.2 3D weergave van een lagenmodel gebaseerd op de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen van Figuur 2.1. Van het lagenmodel zijn alleen de basisvlakken weergegeven. Elk basisvlak is het resultaat van een ruimtelijke interpolatie van de in de boorbeschrijvingen aangetroffen basissen van de betreffende geologische eenheid.

## 2.2 Modelgebieden

DGM kan zowel landelijk als per regio (in modelgebieden) onderhouden worden. DGM wordt wel altijd als een landelijk model uitgeleverd.

Het landelijke modelgebied is gedefinieerd als een gebied welke in het oosten en zuiden begrensd wordt door de landsgrens met Duitsland en België. De Belgische enclaves bij Baarle maken om praktische redenen onderdeel uit van het modelgebied. De gemiddelde laagwaterlijn langs de kustlijn vormt de westelijke en noordelijke grens van het modelgebied. Ook de Waddeneilanden en de Waddenzee behoren tot het landelijke modelgebied. Hier worden de noordelijke gemiddelde laagwaterlijnen van de Waddeneilanden als grens genomen. Tussen deze gemiddelde laagwaterlijnen is op basis van beschikbare waterbodemoogten een logische onderlinge verbinding als grens aangenomen. Voor het landelijke modelgebied is een maaiveld- en waterbodemoogte kaart samengesteld als grid met een resolutie van 100 x 100 meter. De buitenste randen van de 100 x 100 meter rastercellen langs de modelgrenslijn dienen als landelijk modelgebiedsbegrenzing.



Figuur 2.3 Weergave van het landelijk modelgebied met een vergroting langs de landgrens waardoor zichtbaar is dat de modelgrens de rechte horizontale en verticale rastercel randen volgt.

## 2.3 Modelonzekerheden

### 2.3.1 Onzekerheid

De belangrijkste gegevensbron voor DGM zijn boorbeschrijvingen. Elk van deze boorbeschrijvingen geeft vaak gedetailleerde informatie over de opbouw van de ondergrond op één specifieke locatie. Voor het overgrote deel van de rastercellen geldt echter dat ze niet doorboord zijn. Dit betekent dat voor de niet doorboorde rastercellen een schatting gedaan moeten worden op basis van de in de omgeving van de rastercel aanwezige boorbeschrijvingen. Hoe goed het model hiertoe in staat is, is onder andere afhankelijk van:

- de geologische complexiteit (de basis van een eenheid die weinig variatie vertoont is beter te schatten dan de basis van een eenheid die sterk varieert);



- de hoeveelheid en de kwaliteit van de boormonsterprofielen die het diepteniveau van de eenheid hebben bereikt in de omgeving van de rastercel;
- de aan het model opgelegde randvoorwaarden zoals verbreidingsgrenzen van modeleenheden;
- het gebruikte algoritme voor interpolatie met de bijbehorende parameters zoals de gehanteerde ruimtelijke correlatiefunctie.

Alle maatstaven van onzekerheid in DGM zijn gebaseerd op de in het model gebruikte interpolatietechnieken. Het is belangrijk om te beseffen dat deze technieken niet expliciet rekening houden met de onzekerheidsmarges in de gebruikte brongegevens (waaronder de boorbeschrijvingen). In DGM spreken we daarom van *modelonzekerheid* in plaats van *onzekerheid*.

### 2.3.2 *Kans op voorkomen geologische eenheid*

Van elke geologische eenheid wordt op basis van aan-/afwezigheid van deze geologische eenheid in het boormonsterprofielen een kans op voorkomen berekend. Deze kans wordt weergegeven in een rasterbestand.

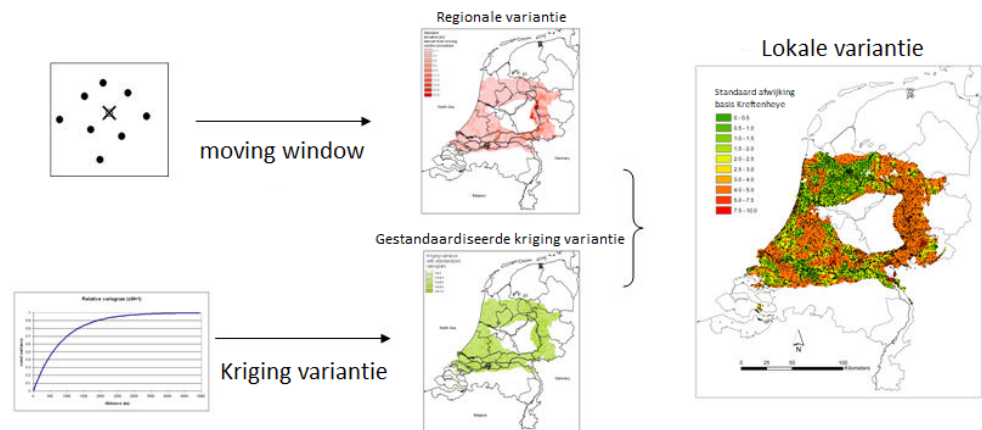
### 2.3.3 *Standaarddeviaties in het lagenmodel*

Van elke gemodelleerde geologische eenheid in het lagenmodel is van top, dikte en basis een standaarddeviatieraster berekend. Deze rasters geven voor elke rastercel de modelonzekerheid weer, uitgedrukt in de standaarddeviatie (in m) van de door het model geschatte, meest waarschijnlijke diepteligging van de gemodelleerde top, dikte en basis van de geologische eenheid. Met de standaarddeviatie is het mogelijk om de kans te bepalen dat de top, dikte of basis een bepaalde afwijking vertoont van de door het model geschatte meest waarschijnlijke waarde.

Aangezien bij het modelleren van de geologische eenheden niet alleen gebruikt gemaakt wordt van informatie uit boringen, maar er ook aanvullende geologische kennis wordt toegevoegd in de vorm van stuurvlakken, steunpunten, wigpunten en breuksteunpunten (zie paragraaf 5.3), levert de standaard afwijking welke berekend kan worden middels de gebruikte interpolatiemethode (de kriging variantie) geen bruikbare maat voor onzekerheid. Binnen DGM is daarom een methode van onzekerheidsbepaling ontwikkeld op basis van een cross validatie. Bij deze methode worden de datapunten uit de set gelaten en worden op basis van de omliggende datapunten op de locaties van de weggelaten datapunten een waarde geschat. Hiermee kan een verschil tussen de werkelijke en de geschatte waarde en de daarbij behorende standaard afwijking berekend worden. In Gunnink et al. (2010) wordt deze, op cross validatie gebaseerde methode van onzekerheidsbepaling, gedetailleerd beschreven.

In het kort bestaat de methode uit:

- 1 Met de op cross-validatie gebaseerde methode wordt een regionale onzekerheid berekend: de onzekerheid van het model 'ver weg' van boorlocaties.
- 2 Gebaseerd op het semi-variogram (zie Figuur 5.29) wordt een factor voor data nabijheid bepaald. Dit resulteert in waardes tussen 0 (dicht bij data) en 1 (ver van data).
- 3 De lokale onzekerheid is vervolgens het product van de regionale onzekerheid en de factor voor data nabijheid.

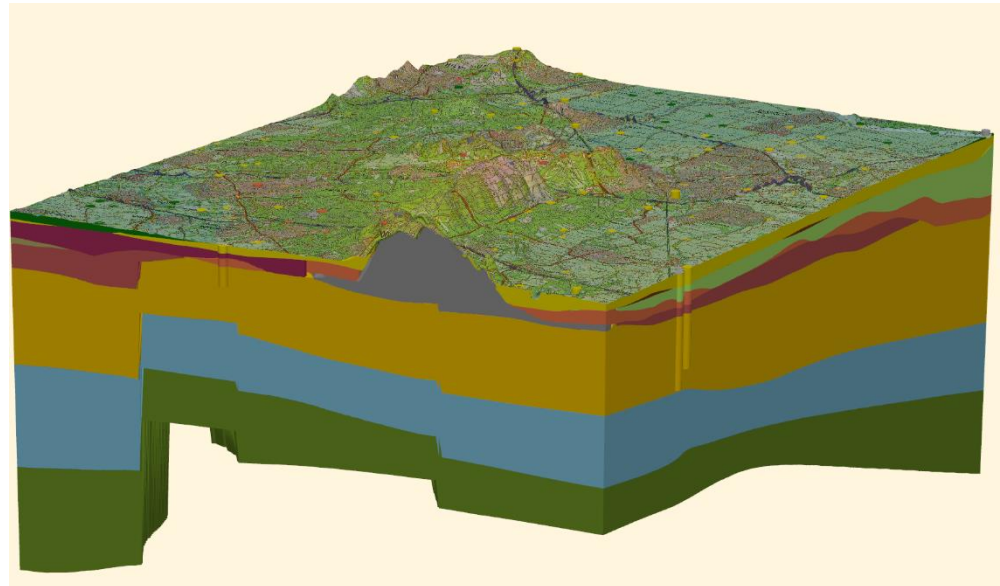


Figuur 2.4 Stroomschema voor de berekening van de onzekerheid.

## 2.4 Doel, gebruik en beperkingen

### 2.4.1 Doel en gebruik

DGM is een regionaal ondergrondmodel met een gebruiksschaal die past bij toepassingen op provinciale- of gemeentelijke schaal. Deze gebruiksschaal is vergelijkbaar met een schaal van 1:100.000. Bij ondergrondvraagstukken op een grotere schaal (wijkniveau, straatniveau of individuele gebouwen) kan DGM wel dienen als raamwerk voor het construeren van een gedetailleerd, lokaal geologisch model waarbij aanvullende gegevens van boorbeschrijvingen of sonderingen betrokken worden.



Figuur 2.5 3D visualisatie Digitaal Geologisch Model op kaartblad 32 Oost.

DGM is breed toepasbaar in verschillende toepassingen waarbij de matig diepe ondergrond een rol speelt. Hieronder volgen een tweetal voorbeelden van gebruik.

#### *Voorbeeld 1: Algemeen gebruik als driedimensionale geologische model*

DGM kan gezien worden als een driedimensionale geologische kaart. Het algemene gebruik wordt ondersteund door diverse visualisaties op DINOLoket

waarmee de gebruiker zich een goed 3D-beeld van de opbouw van de matig diepe ondergrond kan vormen (Figuur 2.5). Bij een gedetailleerde kartering van de matig diepe ondergrond, kan DGM als raamwerk dienen. De bij een detailkartering benodigde onderdelen zijn in de BRO opgenomen.

*Voorbeeld 2: Grondwatermodellering*

Voor regionale grondwaterstromingsmodellen die gebaseerd zijn op het hydrogeologische lagenmodel REGIS II (Vernes & Van Doorn, 2005) is DGM onmisbaar. DGM fungeert hier als raamwerk. Binnen dit raamwerk wordt een hydrogeologische kartering uitgevoerd waarbij het model wordt aangevuld met de geometrie van verschillende hydrogeologische eenheden. Extra aanvulling binnen REGIS II is de parameterisering van deze hydrogeologische eenheden.

2.4.2 *Beperkingen*

DGM is niet geschikt voor gebruik op lokale schaal, zoals bijvoorbeeld straatniveau, bouwlocaties, huizenblokken en waterkeringen. Om een goede schatting van de geometrie van de matig diepe ondergrond op een lokale schaal te kunnen geven zullen vrijwel altijd aanvullende gegevens nodig zijn. DGM kan wel als basis gebruikt worden om deze extra aanvullende gegevens aan toe te voegen.

De met DGM meegeleverde boorbeschrijvingen en interpretaties hebben alleen betrekking op openbaar beschikbare gegevens in de DINO databank.

## 3 Uitgangspunten, randvoorwaarden en afbakening en standaarden

### 3.1 Uitgangspunten, randvoorwaarden en afbakening

De Geologische Dienst Nederland, onderdeel van TNO, voorziet in opdracht van de Rijksoverheid in informatie over de Nederlandse ondergrond. Het gaat hierbij om de verstrekking van de door TNO beheerde ondergrondgegevens en een viertal door TNO systematisch vervaardigde c.q. onderhouden ondergrondmodellen (GeoTOP, DGM, REGIS II en DGMdiep). Het beheer van de informatievoorziening is taak gefinancierd, waarbij de ministeries van EZK en BZK namens de Rijksoverheid toezicht houden vanuit hun verantwoordelijkheid voor, respectievelijk, de Mijnbouwwet en de Wet Basisregistratie Ondergrond.

Gegeven deze taakstelling beperkt DGM zich tot delen van het Nederlandse territorium. Alhoewel er vanuit diverse toepassingen behoefte is aan vergelijkbare informatie van de aangrenzende Belgische en Duitse gebieden, vallen deze gebieden buiten het projectgebied.

DGM beperkt zich tot het vasteland van Nederland. Hieronder wordt het gebied verstaan dat gelegen is tussen de landsgrens met België en Duitsland en de gemiddelde laagwaterlijn cf. de Topografische Kaart van Nederland 1:25:000 (uitgave 196), inclusief de (voormalige) Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden en zeearmen, het IJsselmeer, de Waddenzee, de Waddeneilanden en de Belgische enclave Baarle Hertog.

DGM geeft inzicht in de geologische opbouw van de ondergrond tot een diepte van gemiddeld 500 m beneden NAP. Van het Kenozoïcum zijn de Formatie van Breda en de stratigrafisch ondieper gelegen eenheden landsdekkend gemodelleerd. Voor wat betreft de dieper gelegen kenozoïsche en mesozoïsche eenheden beperkt DGM zich tot Zuid-West-Nederland, Oost-Nederland en Zuid-Limburg waar deze eenheden ondiep en aan of nabij maaiveld voorkomen. Paleozoïsche eenheden worden niet in het kader van DGM gemodelleerd.

Zoals de naam al zegt wordt DGM samengesteld in een digitale werkomgeving. De basisgegevens waarop het model gebaseerd is dienen om die reden in digitale vorm beschikbaar te zijn. Boorgegevens, die de belangrijkste basisgegevens vormen voor DGM, zijn tot nu toe ontleend aan de DINO databank (Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) van TNO. Van alle voor het model gebruikte boringen dienen de laagbeschrijvingen in gecodeerde vorm in deze databank opgenomen te zijn.

De DINO databank van TNO bevat een grote set boorgegevens. Deze set is over een periode van meer dan een eeuw verzameld door de Geologische Dienst Nederland van TNO en haar voorgangers. De verzamelde boringen zijn uitgevoerd door of in opdracht van een groot aantal partijen, zoals overheden, bedrijven, onderzoeksinstituten (waaronder TNO) en particulieren ten behoeve van verschillende doeleinden. De boringen hebben daardoor verschillende einddiepten, variërend van ondiepe handboringen tot diepe exploratieboringen naar olie en gas. De methode van boren, van het bemonsteren van het opgeboorde materiaal en van

het beschrijven en eventueel coderen van de boormonsters verschillen onderling eveneens. Ook zijn er al dan niet geofysische metingen in het boorgat uitgevoerd of is het monstermateriaal nader geologische onderzocht. De kwaliteit en de representativiteit van de boorgegevens hangen hier mee samen. Ook het formaat van de boorbeschrijvingen kan verschillen, in de vorm van een digitale, cf. de Standaard Boorbeschrijving (Bosch, 2000) gecodeerde boorbeschrijving of een scan (PDF, JPEG, TIFF, ...) van de papieren beschrijving. De set boorgegevens in DINO is daardoor heterogeen van aard. Ook varieert de ruimtelijke spreiding van de boorgegevens over Nederland.

Een deel van de boringen in de DINO databank is vertrouwelijk. Het betreft boringen die door de eigenaar aan DINO ter beschikking zijn gesteld, maar waarvan de locatie en/of de boorbeschrijving niet openbaar gemaakt mag worden. Deze boringen worden, met toestemming van de eigenaar, wel in de modellering gebruikt, maar niet als modelresultaat gepubliceerd. De informatie van de vertrouwelijke boringen in de selectieset van DGM wordt niet met de modelresultaten uitgeleverd. In een aantal gevallen heeft de eigenaar een einddatum gesteld aan de vertrouwelijkheid. Om te bepalen of een boring wel of niet uitgeleverd mag worden wordt de einddatum vergeleken met een peildatum. Boringen die gelegen zijn in het buitenland, vnl. in het grensgebied met België en Duitsland, zijn vertrouwelijk.

De gecodeerde boringen in de databank DINO vormen het uitgangspunt voor DGM. Geen andere, buiten deze databank aanwezige digitale boorgegevens, zoals bijv. de BIS-databank (Bodenkundig Informatie Systeem), databanken van waterleidingbedrijven e.d., worden in DGM meegenomen.

DGM is gebaseerd op een selectieset van boringen uit DINO. De reden hiervoor is enerzijds de regionale schaal van DGM, waarvoor het niet noodzakelijk is om alle boringen te gebruiken, anderzijds de beperkte kwaliteit en representativiteit en de geclusterde ligging van een deel van de boringen die daardoor weinig of geen toegevoegde waarde of zelfs een negatief effect, in de vorm van een vertekend geologische beeld, op het model hebben. De mate waarin een boring een betrouwbaar inzicht verschaft in de geologische opbouw van de ondergrond en de toegevoegde waarde van een boring ten opzichte van de omliggende boringen zijn bepalend of een boring wel of niet in de selectieset wordt opgenomen. Of een boring openbaar dan wel vertrouwelijk is speelt daarbij geen rol.

Als onderdeel van DGM (en REGIS II en GeoTOP) wordt er geen inventarisatie uitgevoerd van data en informatie die beschikbaar zijn bij organisaties in de buurlanden. Harmonisatie van interpretaties en van de modellen in de grensstreek vindt plaats in het kader van bilaterale projecten.

### 3.2 Richtlijnen en standaarden

De lithostratigrafische indeling die binnen DGM is aangehouden, is beschreven in:

- Voor de eenheden uit het Kenozoïcum: TNO (2013). *Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond, versie 2013*. Te raadplegen op <https://www.dinoloket.nl/nomenclator-ondiep>.

- Voor de eenheden uit het Mesozoïcum: Felder, W.M. & Bosch, P.W. (2000). *Krijt van Zuid-Limburg: deel 5, Geologie van Nederland*. Utrecht: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.

Bij het samenstellen van DGM worden het cartesisch coördinatensysteem van de Rijksdriehoekmeting (RD) en het referentieniveau Normaal Amsterdams Peil (NAP) aangehouden om de geografische positie van een locatie aan te geven. Basisgegevens die binnen DGM worden gebruikt dienen in dit coördinatensysteem en referentieniveau beschikbaar te zijn; de producten van het model worden uitsluitend en alleen in dit coördinatensysteem en referentieniveau opgeleverd. Zowel de locatie als de hoogte worden uitgedrukt in meters (m).

De gegevensstructuur van opgeleverde producten van het model komen overeen met de gegevenscatalogus.

### 3.3 Software

Bij de ontwikkeling van het DGM wordt gebruik gemaakt van de volgende software:

Tabel 3.1 Overzicht gebruikte software.

Software	Versie	O.a. gebruikt voor
Isatis®	2012	Geostatistische berekeningen voor het samenstellen van het lagenmodel.
MS Excel	2010	In Excel zijn <i>workflow managers</i> ontwikkeld waarin de rekenregels voor de aansturing van Isatis® opgenomen zijn en waaruit een Isatis® 'stuurfile' uit gegenereerd kan worden .
Python	2.5	Programmeertaal voor het ontwikkelen van scripts voor dataextractie, dataconversie, datavisualisatie, etc.
ArcGIS Desktop	8.3.1	GIS pakket voor visualisatie in 2D en uitvoeren van GIS operaties. Het lagenmodel van DGM wordt opgeslagen als ArcGIS rasters; verbredingspolygonen, breuklijnen en boorpunten worden opgeslagen als ArcGIS shapefiles
DINO Hydrogeologie	1.1.14	Door TNO ontwikkelde databank omgeving waarin verschillende DINO-data bronnen gecombineerd worden en waarin versiebeheer op de basis data plaatsvind.
iMOD	v2.7.134	Visualisatie applicatie dat wordt gebruikt bij het controleren van modelresultaten.

## 4 Brongegevens

### 4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de brongegevens die bij het maken van DGM gebruikt worden. Het betreffen brongegevens die een landelijke of regionale schaal hebben.

### 4.2 Boringen

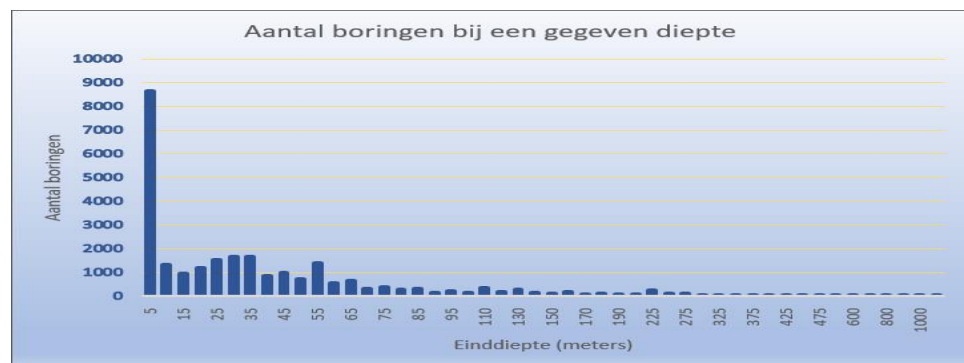
#### 4.2.1 Samenstellen selectieset

De belangrijkste gegevensbron voor DGM zijn de boorbeschrijvingen uit de DINO-databank. DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond en is de landelijke centrale opslag voor geowetenschappelijke gegevens over de ondergrond ([www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl)).

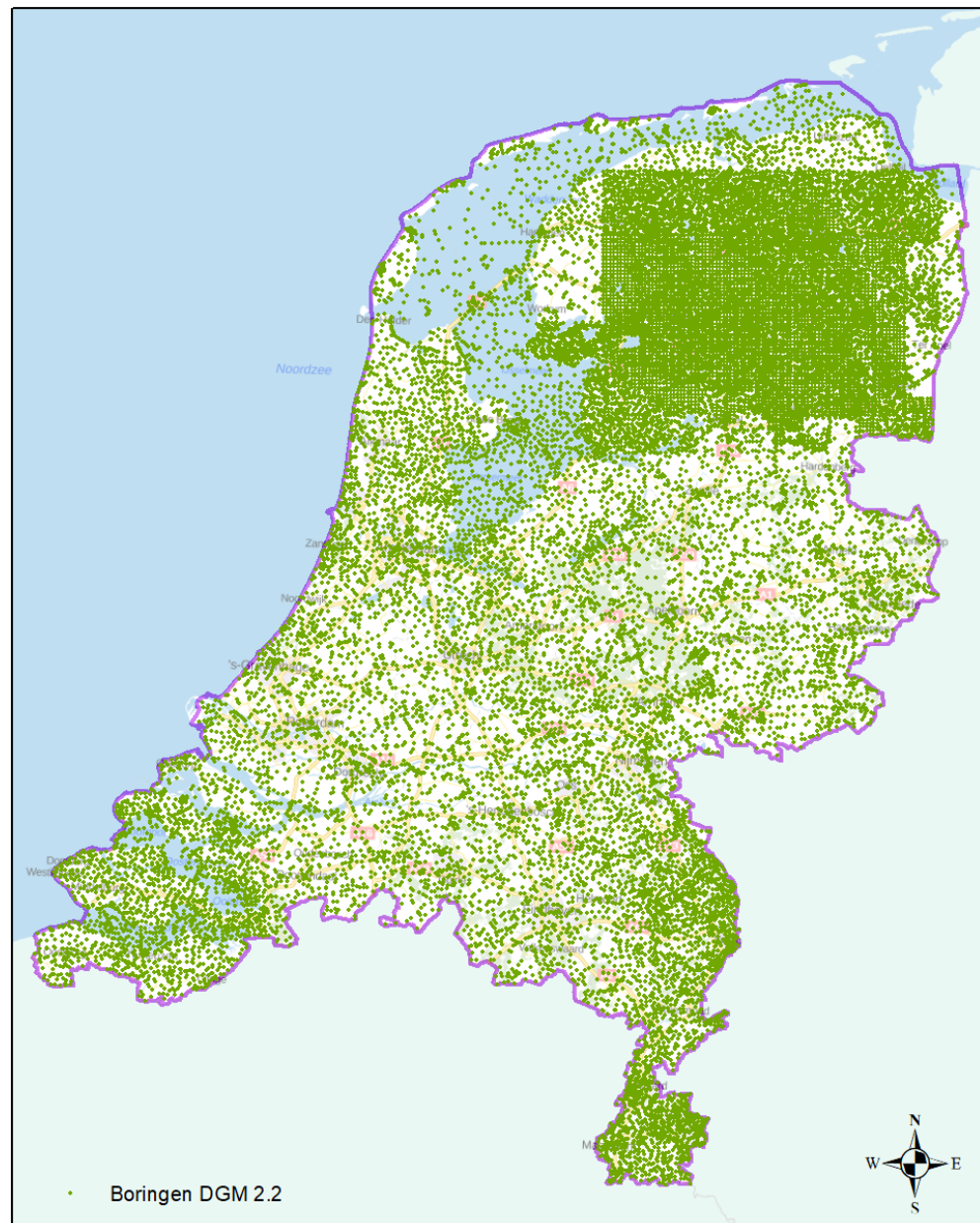
Voor DGM worden niet alle ca. 500.000 boorbeschrijvingen uit de DINO- en BRO databank gebruikt, echter een selectie. Uitgangspunt voor deze selectie zijn de einddieptes van de boring en de kwaliteit van de boorbeschrijvingen (klassen A, B en C; zie de indeling in Bosch, 2000) waarbij een evenwichtige geografische spreiding, in relatie tot de geologische complexiteit van een bepaald gebied, is nagestreefd. Ook de aanwezigheid van een boorgatmeting bij een boring is een criterium geweest bij de selectie van de boringen. Gemiddeld komt dit neer op ca. 35 boringen per 125 km<sup>2</sup>. (1:25.000 kaartblad). Aangezien dit nog niet voldoende was voor sommige complexe gebieden zijn er nog een redelijk aantal aanvullende boringen aan de set toegevoegd. Zo is, specifiek voor de modellering van de modeleenheid Formatie van Drente, een set van ruim 10.000 handboringen toegevoegd. Met het gekozen aantal matig diepe boringen wordt een datadichtheid van amper 1 boring per 3,5 km<sup>2</sup> gehaald. Door het geringe aantal boringen dat tot grotere diepte reikt - op een diepte van 50 meter bedraagt het aantal nog slechts 1 boring per 7 km<sup>2</sup> - neemt de informatie met de diepte snel af.

Omdat DGM ook als raamwerk voor het hydrogeologische model REGIS II wordt gebruikt zijn ook boringen geselecteerd die liggen op hydrologisch relevante locaties, zoals landelijke- en provinciale grondwatermeetnetten en nabij pompstations voor drinkwatervoorziening.

Uit eindelijk levert dit een boringen set op van 26.376 boringen.



Figuur 4.1 Histogram van het aantal boringen bij een gegeven einddiepte onder maaiveld.



Figuur 4.2 Overzicht selectieset van boringen. In totaal bevat de DINO databank circa 450.000 boringen.

#### 4.2.2 Boorbeschrijvingen

De dataset omvat een relatief kleine hoeveelheid handboringen (5 – 10 m diep). Het merendeel van de selectieset van boringen zijn mechanisch uitgevoerde boringen (meestal 10 m of dieper). Alle boringen zijn beschikbaar in de DINO databank.

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

De belangrijkste attributen van de boorbeschrijvingen zijn top en basis van de intervalbeschrijvingen, grondsoort, bijmengingen van zand, silt, klei, grind en humus, zandmediaan, schelpengehalte en sedimentaire structuren zoals scheve



gelaagdheid. Deze informatie is noodzakelijk voor het maken van een juiste lithostratigrafische interpretatie.

### 4.3 Breuken

Als onderdeel van de modellering van DGM wordt het breukenmodel van Nederland gebruikt waarin alle bekende grote breukensystemen in het ondiepe bereik van de Nederlandse ondergrond zijn opgenomen (Figuur 4.3). Het model is het resultaat van een herziening van breukpatronen uit eerdere publicaties en/of eerdere modelversies. Het breukenmodel is een geëvalueerd model welke is gebaseerd op maaiveldinfo, boorgegevens en door de olie-industrie uitgevoerde seismische profielen. Ook hoge-resolutie seismiek in de Roerdaalslenk, het belangrijkste tektonische fenomeen in de Nederlandse ondiepe ondergrond, is in deze breukenkartering gebruikt.



Figuur 4.3 Overzichtskartaal met de ligging van de breuken (breukenmodel versie 2.2 (2014)) in de ondiepe ondergrond van Nederland.

Op basis van vernieuwde data en inzichten kunnen er in het werkproces **(Her)interpretatie** (paragraaf 5.3.5) aanpassingen in het breukenmodel doorgevoerd worden.

Van het breukenmodel komt periodiek een nieuwe versie uit.

#### 4.4 Maaiveld- en waterbodembestand

De bovenkant van het ondergrondmodel wordt gevormd door een combinatie van maaiveld (op het land) en waterbodembodem (waaronder het IJsselmeer, de Waddenzee, de Zeeuwse wateren en de bodems van de grote rivieren). Het maaiveld wordt grotendeels afgeleid uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN2, [www.ahn.nl](http://www.ahn.nl)) van Rijkswaterstaat. Het AHN2 geeft echter geen informatie over de waterbodems. Deze worden daarom afgeleid uit bathymetrische metingen (de zogenaamde “lodingen”) afkomstig van Rijkswaterstaat en diverse provincies en waterschappen.

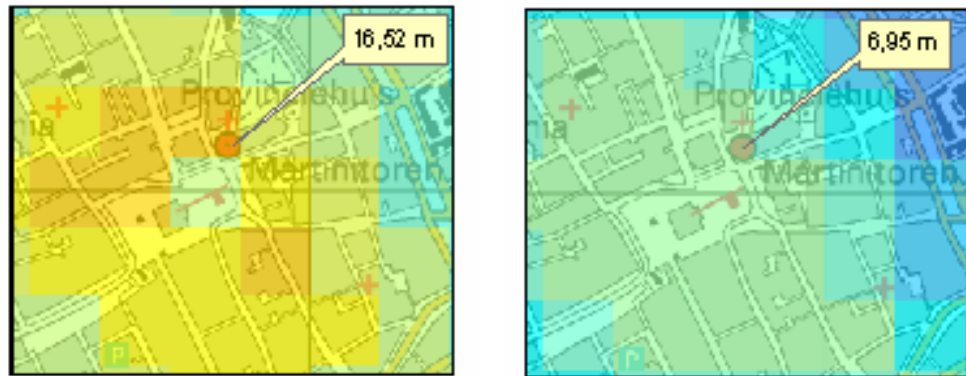
Het AHN2 geeft een zeer gedetailleerd beeld van de hoogte van het Nederlandse maaiveld. Het detailniveau is zo hoog dat individuele gebouwen te onderscheiden zijn van hun omgeving. Verder kan hoge vegetatie (bv. bomen) ook een effect hebben op de hoogtemeting. Voor geologische toepassingen is het noodzakelijk 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.



Figuur 4.4 Topografie (links) en AHN2 (rechts) van de binnenstad van Groningen.

Links in Figuur 4.4 is een luchtfoto van de binnenstad van Groningen te zien, met de Grote Markt en de Martinitoren. Rechts is het oorspronkelijke AHN2 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 4.5 Opgeschaalde hoogte (100 bij 100 m) zonder filter (links) en met filter (rechts).

Links in Figuur 4.5 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.

Het resulterende maaiveldbestand is gecombineerd met de bathymetrische gegevens tot één landsdekkend maaiveld- en waterbodemoogtebestand met een celgrootte van 100 m. Daarnaast zijn hulpbestanden vervaardigd waarin de verdeling van land en water en de gegevensherkomst 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 rastercel met een code aangeeft of het een maaiveldhoogte (rastercel waarde 1) of waterbodemoogte betreft (rastercel waarde 2).
- Bron (mvbron), waarbij elke cel met een code aangeeft wat de herkomst van de maaiveld- of waterbodemoogte is.

#### 4.5 Topografische kaart

Als algemene topografische ondergrond en referentie wordt binnen het werkproces gebruik gemaakt van de Topografische kaart 1:50.000 van het Kadaster, de TOP50raster ([www.kadaster.nl](http://www.kadaster.nl)), en PDOK-achtergrondkaart van de Basisregistratie Topografie (BRT).

In de ArcGIS uitlevering wordt een link naar de PDOK-achtergrondkaart van de Basisregistratie Topografie (BRT) meegeleverd. Tevens is in deze uitlevering ook de kaartbladindeling van Nederland (kaartbladindeling van Nederland van de Topografische Kaart 1:25.000, versie 1961) toegevoegd; dit is de kaartbladindeling die gebruikt wordt bij het nummeren van de boringen in de DINO databank.





toegevoegd en zijn dus aan wijzigingen onderhevig. De nomenclator wordt daarom periodiek geactualiseerd.

Chrono- stratigrafie		Lithostratigrafische eenheden op formatieniveau							
		Marien	Fluviaal				Glaciaal	Overig	
			Oostelijke rivieren	Rijn	Maas	Belgische rivieren			
Kwartair	Holocene	Formatie van Naaldwijk		Formatie van Echeld	Formatie van Beegden	Kreekrak Formatie		Formatie van Nieuwkoop	
		Eem Formatie		Formatie van Kreftenheye		Formatie van Koewacht	Formatie van Drente	Woudenberg	
	Pleistocene	"Midden"		Formatie van Urk				Formatie van Peelo	Formatie van Drachten
				Formatie van Appelscha		Formatie van Sterksel			
				Formatie van Peize		Formatie van Waalre			
	"Vroeg"		Formatie van Maassluis				Formatie van Stramproy		Formatie van Holslet
									Formatie van Heijerath
	Neogeen	Pliocene	Formatie van Oosterhout			Kiezeloliet Formatie			
		Miocene	Formatie van Breda			Formatie van Inden			Formatie van Velle
	Paleogeen	Oligocene	Fm. v. Veldhoven						
Eocene		Rupel Formatie							
Paleoceen		Fm. v. Tongeren							
		Formatie van Dongen							
		Formatie van Londen							

Figuur 4.7 Lithostratigrafische eenheden op formatieniveau.

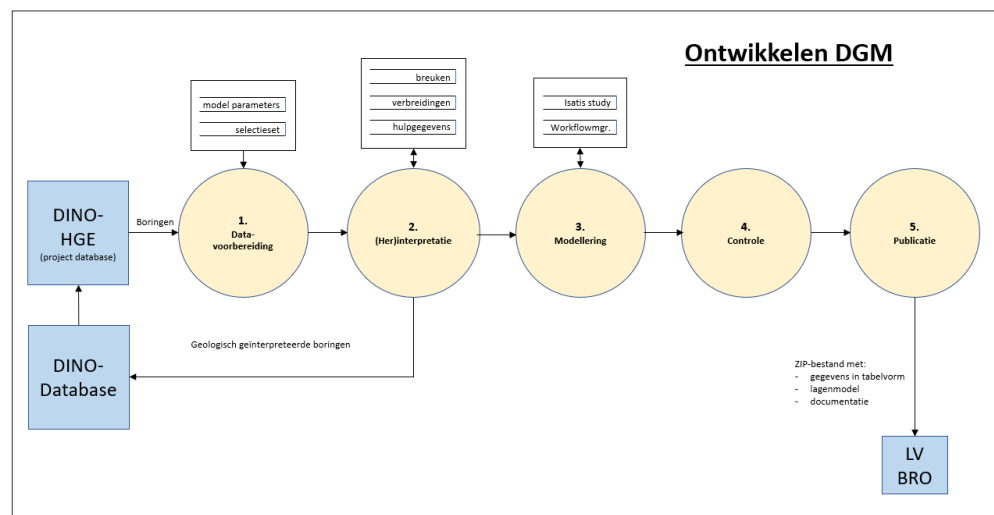
De uitgangspunten van de lithostratigrafische indeling staan beschreven in het rapport 'De lithostratigrafische indeling van Nederland – Formaties uit het Tertiair en Kwartair' (Weerts et al., 2000). Het boek 'De ondergrond van Nederland' (De Mulder et al., 2003) vormt een goede inleiding op de geologie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

De lithostratigrafische eenheden vormen de basis van het ondergrondmodel DGM. De in het model gebruikte geologische eenheden (modeleenheden) komen voor een belangrijk deel overeen met lithostratigrafische eenheden. Dat betekent echter niet dat alle eenheden in het model één-op-één overeen komen met een lithostratigrafische eenheden volgens de Nomenclator. Het kan namelijk nodig zijn om twee of meerdere lithostratigrafische eenheden samen te nemen tot één modeleenheid. Zo worden bijvoorbeeld de Formatie van Peize en de Formatie van Waalre gecombineerd in één modeleenheid omdat deze met elkander interfereren (vertandingen). Een andere voorbeeld betreffen de lithostratigrafische eenheden van holocene ouderdom. Deze worden binnen het GeoTOP model gedetailleerd uit gekarteerd maar worden binnen DGM als één modeleenheid beschouwd.

## 5 Procesbeschrijving algemeen

### 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het proces voor het maken van een DGM-versie beschreven. Het proces bestaat uit vijf werkprocessen (**Datavoorbereiding**, **(Her)interpretatie**, **Modelleren**, **Controle** en **Publicatie**) zoals weergegeven in Figuur 5.1. Het proces is landelijk uitgevoerd, maar kan ook per modelgebied uitgevoerd worden. Het uitvoeren van de verschillende werkprocessen is een iteratief proces wat wil zeggen dat het totale proces meerdere malen geheel of gedeeltelijk doorlopen kan worden totdat het eindresultaat aan de vereiste kwaliteit voldoet. In deze inleiding worden de werkprocessen kort beschreven. In de navolgende paragrafen 5.2 – 5.6 wordt elk van de vijf werkprocessen verder onderverdeeld in processtappen.



Figuur 5.1 Processchema voor het ontwikkelen van DGM. 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 of gegevensontvangers buiten DGM. De witte rechthoeken zijn dataverzamelingen die door DGM gemaakt, opgeslagen en onderhouden worden.

In het eerste werkproces **Datavoorbereiding** worden alle algemene uitgangspunten, de definities, de basisdata en de hulpdata voorbereid en gecontroleerd die nodig zijn voor de modellering.

In het werkproces **(Her)interpretatie** vindt de handmatige lithostratigrafische (her)interpretatie van de selectieset boringen plaats. Tevens worden binnen dit werkproces de potentiële verbredingen samengesteld, noodzakelijke aanpassingen in ligging van breuken en toekenning van breuken aan geologische eenheden doorgevoerd en wordt de in de modellering gebruikte hulpdata op basis van de ge(her)geïnterpreteerde selectieset boringen gecontroleerd en indien nodig aangepast.

De eigenlijke modellering van DGM vindt plaats in het werkproces **Modelleren**. Binnen dit werkproces wordt gebruik gemaakt van het geostatistische softwarepakket Isatis® en de hiervoor in eigen beheer ontwikkelde *workflow*

*managers*. Binnen dit werkproces worden de vlakken van het lagenmodel berekend waarbij gerekend wordt met de in de Datavoorbereiding en (her)interpretatie geïnterpreteerde boringen en samengestelde hulpdata. Behalve de hoogteligging van de vlakken zelf, wordt ook de bijbehorende onzekerheid van ieder vlak berekend.

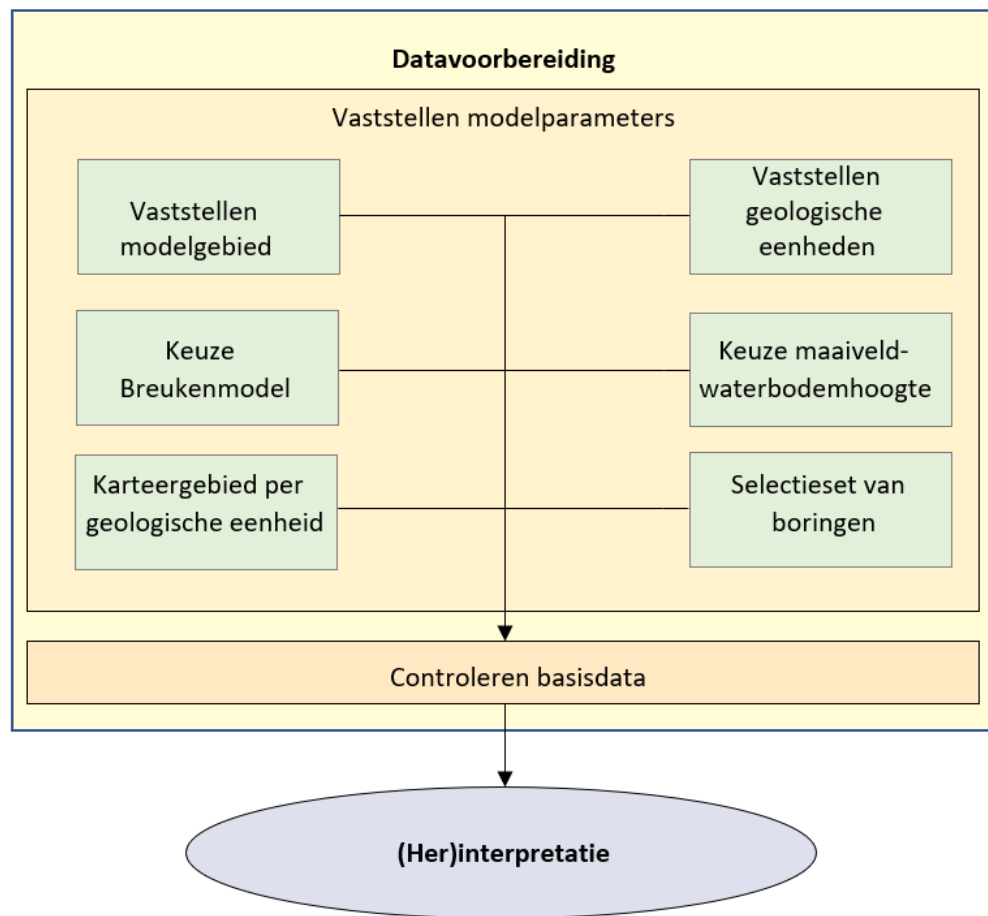
Het resultaat uit het modelleringsproces wordt in het werkproces **Controle** zowel aan een aantal standaard geautomatiseerde plausibiliteitstesten, als aan een inhoudelijk visuele controle onderworpen. De inhoudelijke visuele controle wordt uitgevoerd door regiodeskundigen die ook de interpretatie van de basisdata hebben gedaan.

De laatste controle (de uiteindelijke Quality Check - QC) wordt uitgevoerd door regiodeskundigen die niet bij het project zijn betrokken. De bevindingen uit deze QC, welke in een bevindingenlijst zijn gerapporteerd, zullen in eerste instantie door het projectteam verbeterd moeten worden. De bevindingen die niet verbeterd kunnen worden of zijn, worden tijdens een vrijgavesprek besproken en beoordeeld. In het geval van een positieve beoordeling wordt het model vrijgegeven en kan het model inclusief de resterende bevindingen gereed gemaakt worden voor **Publicatie**. Mocht het vrijgavesprek negatief uitvallen, dan zullen de bevindingen die aanleiding waren tot het negatieve besluit, toch opgelost moeten worden. Hiervoor zal terug gegrepen worden naar het werkproces **Modelleren** of misschien zelfs weer terug naar het werkproces **(Her)interpretatie** of zelfs de **Datavoorbereiding**. De daarop volgende werkprocessen zullen opnieuw doorlopen worden totdat er een positief besluit tot vrijgave is.

In het werkproces **Publicatie**, wordt het lagenmodel geschikt gemaakt voor publicatie in de BRO. Het model wordt voorzien van de benodigde metadata (set administratieve gegevens behorende bij de uit te leveren data), wordt gereed gemaakt voor publicatie in GIS formaat en de benodigde documentatie wordt samengesteld. Het model wordt daarna via de Landelijke Voorzieningen naar de BRO gebracht waar het via het DINOLoket en de PDOK gepubliceerd wordt.

## 5.2 Datavoorbereiding

Het werkproces **Datavoorbereiding** bestaat uit een aantal processtappen (Figuur 5.2). Als eerste worden er een aantal keuzes gemaakt waaraan deze DGM versie zal moeten voldoen. Als eenmaal de keuzes gemaakt zijn worden deze vastgelegd en zullen deze in het verdere werkproces niet meer gewijzigd worden. Uitzondering hierop betreft het breukenmodel (zie paragraaf 5.3.5). Daarna wordt de vastgestelde selectieset van boringen onderworpen aan een eerste geautomatiseerde controle.



Figuur 5.2 Processtappen in het werkproces **Datavoorbereiding**.

### 5.2.1 *Vaststellen modelgebied*

Het modelgebied heeft een horizontale begrenzing (land- / kustgrens) en een verticale begrenzing (boven- en onderkant).

Het modelgebied wordt 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 begrenzingen van het modelgebied wordt behalve in een raster ook in een shapefile vastgelegd.

De begrenzing aan de bovenkant wordt bepaald door het maaiveld- en waterbodemhoogtebestand (zie paragraaf 4.4). 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 begrenzing aan de onderkant wordt bepaald door de hoogteligging van de basis van de diepste te modelleren geologische eenheden binnen het daarvoor gedefinieerde karteergebied.

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



### 5.2.2 Vaststellen te karteren geologische eenheden

De geologische eenheden worden bij aanvang van het project vastgelegd. Uitgangspunt is de indeling zoals deze beschreven wordt in de Stratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond van Nederland. Hier kan in sommige gevallen van afgeweken worden. Zo worden de holocene eenheden binnen DGM als één geologische eenheid beschouwd en worden sommige gevallen geologische eenheden samengenomen of om model technische redenen gesplitst.

Iedere geologische eenheid heeft zijn eigen code, legendakleur en sequentienummer. De code is een afkorting van de geologische eenheid en volgt voor zover mogelijk de codering van de Nomenclator. De legendakleur wordt zowel in het werkproces als in de uitgeleverde bestanden gebruikt. Het sequentienummer bepaalt de stratigrafische laagvolgorde: lage nummers liggen op een stratigrafisch hogere positie dan hoge nummers. Het sequentienummer wordt in technische zin ook gebruikt bij het extraheren van data uit de DINO-databank, bij geautomatiseerde controles en het consistent maken van het model.

Code	Omschrijving	Sequentie nr.	Kleur (R,G,B)	Code	Omschrijving	Sequentie nr.	Kleur (R,G,B)
MV	Maaiaveld-/Waterbodemoogte	0	000,000,000	PZWA	Formatie van Peize en Formatie van Waalre	2800	255,204,000
HL	Holocene Afzettingen	1100	110,110,110	MS	Formatie van Maassluis	2900	135,206,235
BX	Formatie van Boxtel	1200	255,235,000	KI	Kiezeloïlet Formatie	3000	188,143,143
KR	Formatie van Kreftenheye	1300	176,048,096	OO	Formatie van Oosterhout	3100	118,157,039
BE	Formatie van Beegden	1400	200,200,255	IE	Formatie van Inden	3200	236,121,193
KW	Formatie van Koewacht	1500	172,169,043	BR	Formatie van Breda en Formatie van Ville	3300	108,188,150
WB	Formatie van Woudenberg	1600	137,067,030	VE	Formatie van Veldhoven	3400	102,100,016
EE	Eem Formatie	1700	165,255,115	RU	Rupel Formatie	3500	184,123,238
KROE	Formatie van Kreftenheye onder Eem Formatie	1800	186,063,121	TO	Formatie van Tongeren	3600	090,159,219
DR	Formatie van Drente	1900	255,127,080	DO	Formatie van Dongen	3700	216,191,216
DT	Gestuwde Afzettingen	2000	156,156,156	LA	Formatie van Landen	3800	208,032,144
DN	Formatie van Drachten	2100	250,250,210	HT	Formatie van Heijenrath	3900	178,034,034
URTY	Formatie van Urk, Laagpakket van Tynje	2200	169,163,087	HO	Formatie van Houthem	4000	210,105,030
PE	Formatie van Peel	2300	238,130,238	MT	Formatie van Maastricht	4100	255,160,102
UR	Formatie van Urk	2400	189,183,107	GU	Formatie van Gulpen	4200	245,222,179
ST	Formatie van Sterksel	2500	205,092,092	VA	Formatie van Vaals	4300	021,153,079
AP	Formatie van Appelscha	2600	218,165,032	AK	Formatie van Aken	4400	152,231,205
SY	Formatie van Stramproy	2700	255,228,181				

Figuur 5.3 Overzicht geologische eenheden DGM.

### 5.2.3 Keuze breukenmodelversie

Bij de modellering van DGM wordt het breukenmodel van Nederland gebruikt waarin alle bekende grote breukensystemen in het ondiepe bereik van de Nederlandse ondergrond zijn opgenomen. Bij de modellering van een nieuw model dient een keuze gemaakt te worden welke basisversie van het breukenmodel gebruikt gaat worden. Deze wordt in de documentatie vastgelegd. Meestal is dit de laatst opgeleverde versie.

Door gewijzigde inzichten tijdens het (her)interpreteren van de selectieset van boringen (paragraaf 5.3.1) kunnen kleine nog enkele wijzigingen in zowel positionering als werking van verschillende breuklijnen in het breukenmodel doorgevoerd worden. Hierdoor ontstaat er een nieuwe versie van het landelijke breukenmodel. Deze wordt na het (her)interpreteren van de selectieset van boringen als nieuwe basisversie breukenmodel vastgelegd.

Voor het hier beschreven DGM model (versie 2.2) is het landelijke breukenmodel versie 3.0 gebruikt.

Binnen de DGM modellering wordt er van uit gegaan dat de breuken een loodrecht naar beneden gerichte werking hebben. In werkelijkheid staan de breukvlakken schuin; in het ondiepe bereik van DGM is de hellingshoek echter zodanig groot (d.w.z. vrijwel loodrecht) zodat de hellingshoek weinig tot geen invloed heeft.

#### 5.2.4 *Keuze maaiveld- en waterbodemoogtebestand*

De bovenkant van het ondergrondmodel wordt gevormd door een combinatie van maaiveld en waterbodem. Deze is vastgelegd in het maaiveld- en waterbodemhoogte bestand (paragraaf 4.4). Door actuele hoogtemetingen (AHN, AHN2, ...) en verbeterde opschalingstechnieken worden nieuwe versies van dit bestand ontwikkeld. Vastgelegd wordt welke versie van het maaiveld- en waterbodemhoogte bestand voor het DGM model gebruikt wordt. Binnen deze versie van het model is versie v02r2 van het maaiveld- en waterbodemhoogte gebruikt.

#### 5.2.5 *Het karteergebied per geologische eenheid*

In paragraaf 5.2.2 zijn de geologische eenheden gedefinieerd die gemodelleerd worden. De geologische opbouw is in de verschillende delen van Nederland niet overal hetzelfde. Eenheden welke in Zuid-Limburg op enkele meters onder maaiveld voorkomen kunnen in Friesland op enkele kilometers diepte liggen. Aangezien DGM een geologisch model is tot gemiddeld 500 m – NAP (met enkele extremen tot 1200 m – NAP), is het noodzakelijk per geologische eenheid karteergebieden te definiëren waarin deze eenheden geïnterpreteerd en gemodelleerd worden. Dit betekent dus dat de eenheid buiten deze karteergebieden wel voor kan komen, maar niet binnen dit deel van het model gekarteerd en gemodelleerd wordt. Hieronder een voorbeeld van het karteergebied voor de Rupel Formatie.



Figuur 5.4 Voorbeeld van het vastleggen van een karteergebied (Rupel Formatie).

### 5.2.6 *Selectieset van boringen*

Zoals in paragraaf 4.2.1 beschreven is, is er een selectieset van boringen samengesteld. Deze selectieset bestaat uit de reeds in voorgaande versies gebruikte boringen aangevuld met nieuwe boringen. In enkele gevallen worden boringen uit de selectieset verwijderd. Dit kan het geval zijn als de kwaliteit van de boring matig is, waardoor de interpretaties van de boring de betrouwbaarheid van het model verslechteren en dus een belangrijk deel van de boring niet bij de modellering kan worden gebruikt. Daarnaast wordt getracht de set langzamerhand te verdichten. Vooral in geologisch complexe gebieden worden, indien mogelijk, extra boringen aan de set toegevoegd.

Binnen dit werkproces wordt de uiteindelijk keuze gemaakt welke boringen er definitief in de set meegenomen worden. Na afronding van de (her)interpretatie worden er geen nieuwe boringen meer voor deze versie aan de set toegevoegd.

#### 5.2.7 *Controleren basisdata*

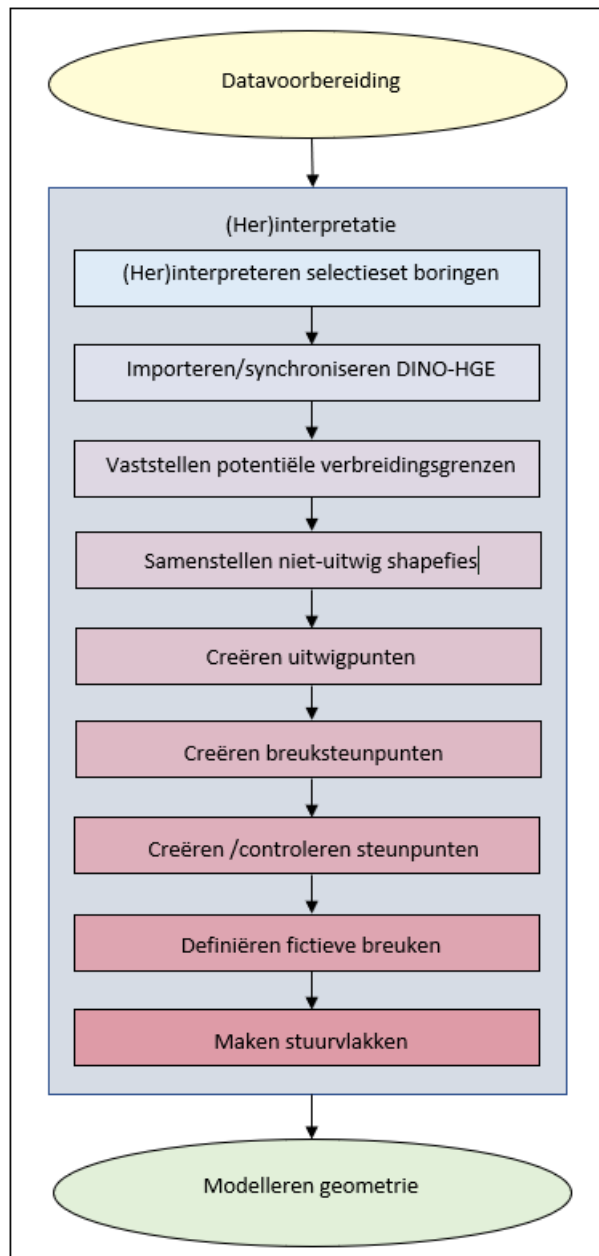
Nu de selectieset van boringen is vastgesteld, wordt deze aan de eerste controle onderworpen. De controles die geautomatiseerd uitgevoerd worden zijn:

- Is de boring van coördinaten voorzien?
- Klopt de relatie tussen de coördinaten en het kaartblad van het boornummer ?
- Is de boring van een maaiveld- of waterbodemoogte voorzien?
- Komt de maaiveld- of waterbodemoogte van de boring redelijkerwijs overeen met het maaiveld- of waterbodemoogte bestand?
- Is er dubbele data aanwezig?
- Waar bevinden zich clusteringen (meerdere boringen binnen een straal van 200 meter)?
- Zijn er boringen zonder lithologische beschrijvingen?

Gevonden afwijkingen worden weggeschreven naar controlebestanden. De bestanden worden nagelopen en gevonden afwijkingen worden onderzocht. Pas nadat alle afwijkingen doorlopen en verholpen zijn kan met de vervolgstap (Her)interpretatie gestart worden.

### 5.3 **(Her)interpretatie**

De eigenlijke handmatige lithostratigrafische (her)interpretatie van de selectieset boringen wordt in het werkproces **(Her)interpretatie** uitgevoerd. Naast deze (her)interpretatie worden binnen dit werkproces nog een aantal processtappen uitgevoerd. Het is van belang dat de processtappen in de juiste volgorde uitgevoerd worden vanwege het feit dat de meeste een onderlinge relatie met elkaar hebben. De verschillende processtappen zijn weergegeven in Figuur 5.5.



Figuur 5.5 Processtappen in het werkproces **(Her)interpretatie**.

### 5.3.1 *(Her)interpreteren selectieset van boringen*

Eén van de bewerkelijkste onderdelen binnen het totale werkproces betreft het (her)interpreteren van de selectieset van boringen. Deze werkzaamheden, het karteren van de lithostratigrafische eenheden, worden uitgevoerd door gebiedsdeskundige geologen. Alle boringen in de selectieset van DGM worden handmatig voorzien van een lithostratigrafische interpretatie in de DINO databank. Met deze interpretatie worden de top en basis vastgesteld van de diverse lithostratigrafische eenheden en hun opeenvolging in een boring.

Bij de start van een nieuw model worden alle boringen uit de selectieset handmatig lithostratigrafisch geïnterpreteerd. Bij een update van het model worden de bestaande interpretaties van de selectieset boringen nagelopen en daar waar

fouten zijn geconstateerd, waar terugmeldingen op zijn gekomen en/of waar twijfel over bestaat, worden de selectieset boringen opnieuw geïnterpreteerd.

Om te komen tot een consistente interpretatie worden allereerst de boringen geïnterpreteerd /nagelopen die zijn opgenomen in de zogenoemde kapstokprofielen, profielen die min of meer noord-zuid of west-oost georiënteerd liggen. Vervolgens worden de boringen liggend tussen de kapstokprofielen geïnterpreteerd/nagelopen. In geologisch complexe gebieden worden extra profielen gedefinieerd om de complexiteit zo goed mogelijk, passend bij de schaal van het model, te begrijpen.

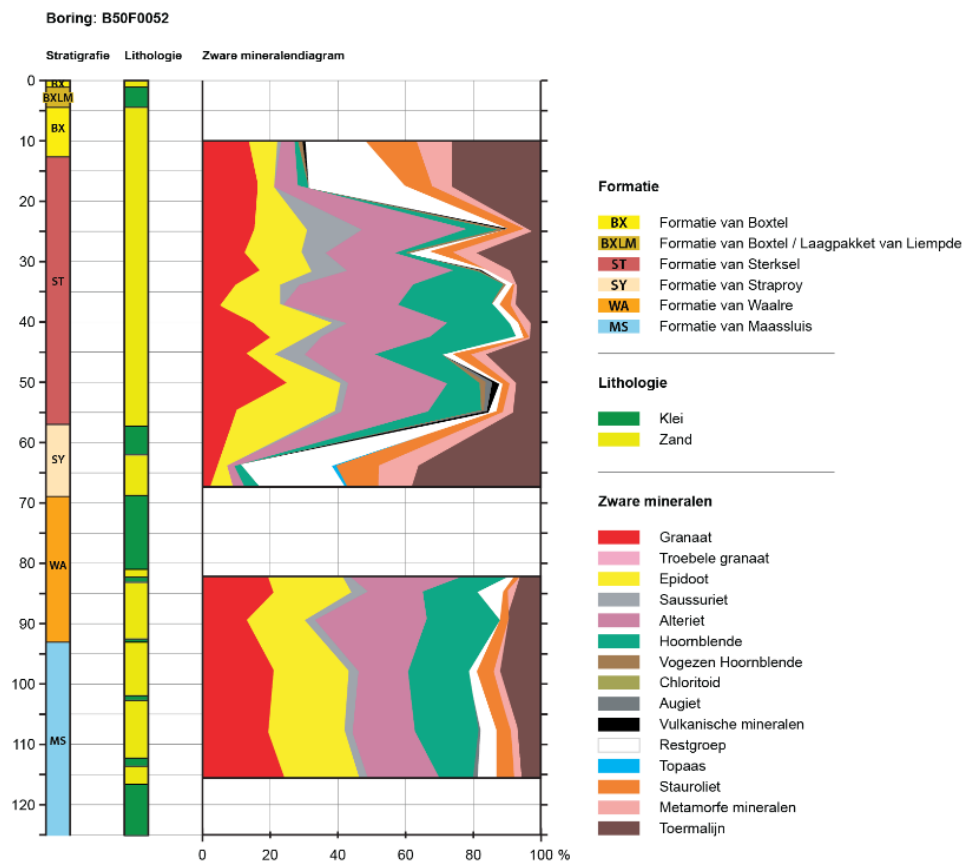


Figuur 5.6 Overzicht kapstokprofielen.

De lithostratigrafische interpretatie gebeurt op basis van de lithologische informatie uit de beschreven boorintervallen in de boorbeschrijving. Daarnaast worden, waar aanwezig, geofysische boorgatmetingen, zware mineralentellingen en eventueel

ander beschikbaar onderzoeksmateriaal gebruikt om tot een juiste interpretatie te komen.

Geofysische boorgatmetingen worden o.a. gebruikt om Formaties van elkaar te kunnen scheiden, bv. de Formatie van Stramproy en de Formatie van Waalre. Beide formaties hebben namelijk een duidelijke signatuur in een boorgatmeting (Stramproy zand heeft een relatief lage gamma uitslag terwijl de Waalre zanden een relatief hoge gamma uitslag hebben). Zware mineralentellingen (Figuur 5.7) worden, waar beschikbaar, o.a. gebruikt om instabiele mineraalassociaties, zoals die van de Formaties van Sterksel en Waalre, te onderscheiden van stabiele mineraalassociaties, zoals die van de Formatie van Stramproy.



Figuur 5.7 Weergave van een deel van een zware mineralentelling. In dit diagram is voor de verschillende bemonsteringsdieptes de samenstelling van de zware mineralen weergegeven waarbij steeds is uitgegaan van 100 korrels. Het aantal korrels aan instabiele mineralen is daarbij per mineraal van links naar rechts uitgezet, die van de stabiele mineralen van rechts naar links.

In het geval van vertandingen is om model-technische redenen de interpretatie van de boringen aangepast. In deze boringen worden de lagen met een afwijkende lithologie en lithostratigrafische interpretatie tussen eenzelfde eenheid als een alternatieve interpretatie geïnterpreteerd. De hoofdeenheid is gelijk aan de eenheid die boven en onder deze eenheid voorkomt, echter door de toegevoegde alternatieve interpretatie blijft de vertanding altijd herkenbaar. Figuur 5.8 geeft een voorbeeld hoe een vertanding van de Formatie van Maassluis binnen de Formatie van Waalre wordt geïnterpreteerd.



	Officiële interpretatie	Model interpretatie
70	Formatie van Stramproy	Formatie van Stramproy
80	Formatie van Waalre	Formatie van Waalre
90	Formatie van Maassluis	Formatie van Waalre / alternatief Formatie van Maassluis
100	Formatie van Waalre	Formatie van Waalre
110	Formatie van Waalre	Formatie van Waalre / altern. Formatie van Maassluis
120	Kiezeloooliet Formatie	Kiezeloooliet Formatie

Figuur 5.8 Illustratie van de interpretatie van een vertanding.

Alle interpretaties en alternatieve interpretaties worden opgeslagen in de DINO databank. De door de geoloog handmatig ge(her)interpreteerde boring krijgt automatisch het label 'preferent' toegekend.

Aan het eind van dit werkproces worden een aantal geautomatiseerde controles en testen uitgevoerd zoals:

- Zijn er boringen zonder stratigrafische interpretatie?
- Zijn er boringen met een onvolledige stratigrafische interpretatie?
- Test op aanwezigheid van vertandingen ( bv. komt een stratigrafische interpretatie zowel boven als onder een andere stratigrafische interpretatie voor).
- Test op stratigrafische sequentie (bv. komen er geen jongere afzettingen onder oudere afzettingen voor).

Pas nadat alle afwijkingen doorlopen en verholpen zijn kan met de vervolgstap gestart wordt.

### 5.3.2 Importeren en synchroniseren van de projectdatabank DINO-HGE

Omdat de standaard DINO-databank dagelijks onderhevig is aan vele mutaties (upload nieuwe boorlocaties, upload boorgegevens, beheer boorgegevens, toevoegen interpretaties, wijzigen interpretaties, etc.) is er een speciale projectdatabank (DINO-HGE) ontwikkeld om de gebruikte modelparameters, de selectieset van boringen, lithologische beschrijvingen en alle interpretaties behorende bij de modelversie te kunnen bevroren. Oudere versies van modellen



blijven op deze wijze altijd voor her-analyse beschikbaar. Op deze projectdatabank is een Java applicatie ontwikkeld ook genaamd DINO-HGE waarmee deze data gevisualiseerd en beheerd kan worden.

Voor zowel het DGM als het REGIS II model wordt dezelfde selectieset van boringen gebruikt. Het REGIS II model is een hydrogeologische verfijning van DGM. De DINO-HGE applicatie wordt daarom voor het beheer van zowel DGM- als de REGIS-data gebruikt.

Binnen dit deel van het werkproces worden een aantal processtappen uitgevoerd om de benodigde projectdata te uploaden en te synchroniseren met de landelijke DINO-databank.

- Aanmaken model
- Importeren selectieset
- Importeren coördinaten en gebiedscodes
- Importeren maaiveldhoogtes
- Synchroniseren met DINO
- Importeren skip stratigrafie interval
- Ranking beheer

#### 5.3.2.1 Aanmaken model

Bij het aanmaken van het model worden basisgegevens als modelnaam, model versie nummer en gebruikte versie van het breukenmodel in de databank vastgelegd.

Figuur 5.9 Het startscherm voor het aanmaken van een nieuw model binnen de applicatie DINO-HGE.

#### 5.3.2.2 Importeren selectieset

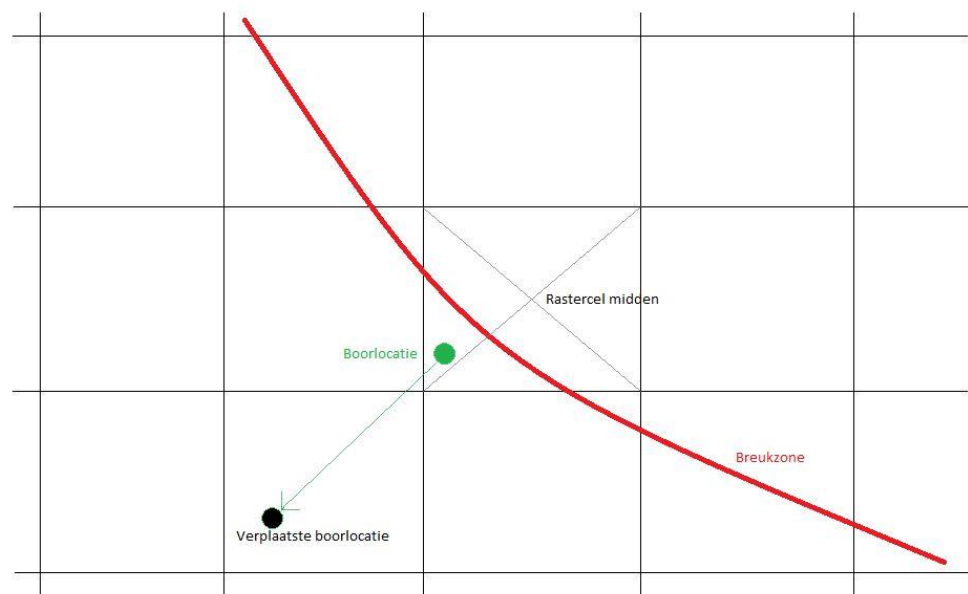
De in paragraaf 4.2.1 vastgestelde selectieset van boringen wordt middels de invoermodule 'Importeer selectieset' in de databank geïmporteerd. Het betreft hier een zgn. .csv bestand (comma-separated-values) met alleen de NITG nummers (8 posities) van de geselecteerde boringen, zie Figuur 5.10.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	B01C0008								
2	B01C0009								
3	B01C0010								
4	B01C0053								
5	B01C0165								
6	B01C0166								
7	B01D0009								
8	B01D0018								
9	B01D0021								
10	B01D0022								
11	B01D0023								
12	B01D0024								

Figuur 5.10 Voorbeeld van een deel van een .csv bestand met NITG-nummers van de boringen van de selectieset.

### 5.3.2.3 Importeren coördinaten en gebiedscodes

Van alle boringen zijn de coördinaten van de locatie op een meter nauwkeurig in de landelijk DINO databank opgenomen. Echter het te modelleren geologisch model bestaat uit een stapeling van verschillende rasterbestanden met een rasterdimensie van 100 x 100 m. Nu is het mogelijk dat een boring die aan de lage kant van een breuk ligt zich in een rastercel bevindt waarvan het midden van de cel aan de hoge kant van de breukzone ligt (Figuur 5.11). Hierdoor kunnen er ongewenste afwijkingen tussen het model en de boring ontstaan. Door de betreffende boring 150 meter loodrecht op de breuk naar de juiste kant te verplaatsen, wordt dit probleem verholpen. Er wordt gebruik gemaakt van een procedure die ervoor zorgt dat boringen die binnen een afstand van 100 meter van een breuk liggen 150 meter loodrecht van de breuk af worden opgeschoven. Indien een boring niet binnen deze afstand ligt, behoudt de boring haar originele coördinaten. Het resultaat van deze procedure wordt in deze fase middels de module 'importeer coördinaten en gebiedscodes' aan de DINO-HGE project databank toegevoegd. De originele, niet verschoven coördinaten blijven in de project databank behouden en zichtbaar.



Figuur 5.11 Schematische voorstellen van de verschuiving van een boorlocatie direct naast een breukzone.

Naast de mogelijk verschoven coördinaten is ook bepaald in welk 'topstelsel' de boorlocatie gelegen is. Hoewel deze informatie momenteel niet binnen de DGM-modellering gebruikt wordt, is het systeem er wel op voorbereid en worden deze gegevens ingelezen.

Het in te lezen bestand is een eenvoudig .csv bestand zoals hieronder in Figuur 5.12 is afgebeeld.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	NITG_NR	X_NEW	Y_NEW	GEBIED					
2	B01C0008	145980	601476	1c					
3	B01C0009	145959	601157	1c					
4	B01C0010	146005	600532	1c					
5	B01C0053	149616	602197	1c					
6	B01C0165	149028	600409	5b2					
7	B01C0166	149942	600085	5b2					
8	B01D0009	154050	604940	none					
9	B01D0018	159890	600800	5b2_w					
10	B01D0021	155023	601399	5b2_w					
11	B01D0022	154919	600932	5b2_w					
12	B01D0023	154410	601023	5b2_w					

Figuur 5.12 Csv bestand met verschoven coördinaten en topintegraal gebieden.

Het topstelsel omvat het bovenste deel van de ondergrond dat zich bevindt vanaf maaiveld tot 15-30 m diep. De ondergrens verschilt per gebied en is afhankelijk van de geologische en de hydrogeologische opbouw en de geochemie van een gebied.

#### 5.3.2.4 Importeren maaiveldhoogten

Binnen de gehele modellering wordt rekening gehouden met mogelijk maaivelddaling en/of opheffing. In sommige gebieden in Nederland is het maaiveld sterk gedaald zoals bijvoorbeeld in Zuid-Limburg. In die gebieden wordt op basis van boordatum en maaivelddaling een correctie op de maaiveldhoogte van de boring uitgevoerd. Op deze wijze wordt het tijdsaspect welke voor afwijkingen in het model kunnen zorgen, tegengegaan. De oude maaiveldhoogten, ingemeten ten tijden van de boring, worden gecorrigeerd naar de huidige stand van zaken. De gecorrigeerde maaiveld hoogte wordt samen met het boornummer via een .csv bestand in de DINO-HGE project databank ingelezen. Naast de gecorrigeerde maaiveld hoogte blijft uiteraard ook de niet gecorrigeerde maaiveldhoogte in de projectdatabank behouden en zichtbaar.

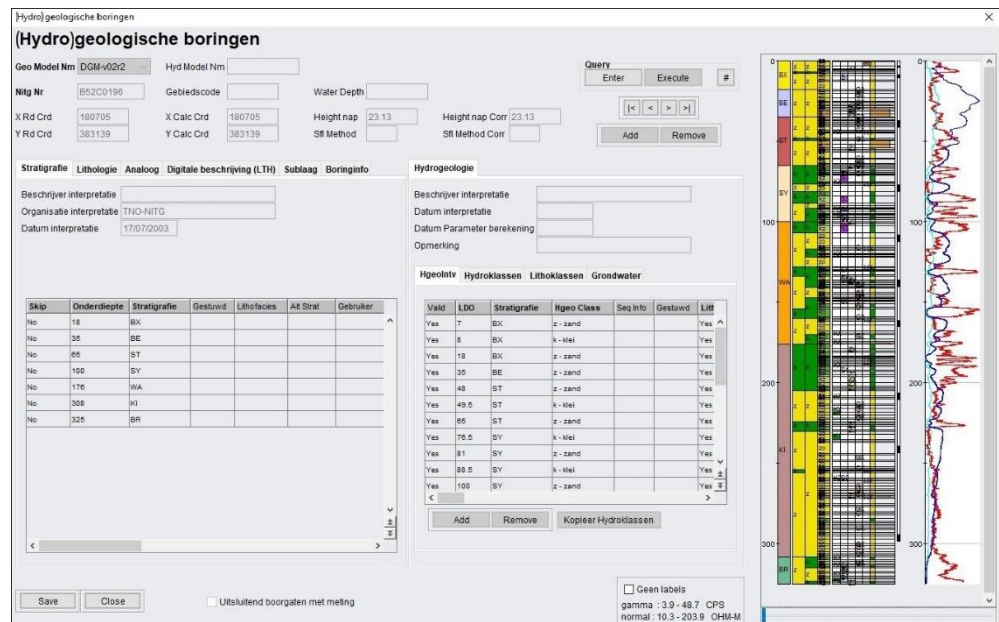
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	NITG_NR	MV_CORR							
2	B01C0008	6.12							
3	B01C0009	7.35							
4	B01C0010	5.35							
5	B01C0053	3.7							
6	B01C0165	1.7							
7	B01C0166	1							
8	B01D0009	2.5							
9	B01D0018	-0.3							
10	B01D0021	0.14							
11	B01D0022	-0.15							
12	B01D0023	0.04							

Figuur 5.13 Csv bestand met gecorrigeerde maaiveldhoogten.

### 5.3.2.5 Synchroniseren met DINO

Nu de selectieset, de verschoven coördinaten en de maaiveldhoogten ingelezen zijn, kunnen de boorintervallen, de boorbeschrijvingen en de lithostratigrafische interpretaties vanuit de DINO-databank met de DINO-HGE project databank gesynchroniseerd worden. Hiermee is alle basisinformatie voor het modelleren van deze versie veilig gesteld. Mutaties welke hierna in de DINO-databank plaatsvinden hebben geen effect meer op de modellering van deze DGM-versie.

De geoloog en modelleur hebben de beschikking over een DINO-HGE viewer tool waarmee alle gegevens op een overzichtelijke wijze getoond kunnen worden. Worden hier echter afwijkingen, fouten of tekortkomingen in vastgesteld, dan zullen deze niet in de DINO-HGE project databank maar in de DINO-databank gewijzigd worden en zal er opnieuw gesynchroniseerd worden.



Figuur 5.14 DINO-HGE Boorkolom viewer waarin de stratigrafie, lithologie, analoge (tekstuele) en digitale (gecodeerde) boorbeschrijving, de sub-lagen en de boorinfo geraadpleegd kunnen worden. Aan de rechterzijde van het scherm wordt de boring grafisch weergegeven met indien aanwezig de filterstellingen van het grondwatermeetpunt en de geofysische boorgatmetingen.

### 5.3.2.6 Importeren skip stratigrafie interval

Hoewel alle basisdata bij het samenstellen van de selectieset al aan een eerste kwaliteitscontrole onderworpen zijn, kunnen er nog delen van beschrijvingen zijn die niet aan de verwachte kwaliteit voldoen. Hierdoor kan het voorkomen dat een top of een basis van een model eenheid niet op een juiste diepte geïnterpreteerd kan worden. Hoewel het grootste deel van de boring bruikbare informatie geeft over de hoogteligging van de verschillende geologische eenheden dienen die geologische eenheden waar dit niet het geval is niet in de modellering meegenomen te worden. Deze zouden voor ongewenste afwijkingen in het lagenmodel kunnen zorgen. Deze intervallen worden voor de modellering uitgesloten. Dit wordt 'skippen' genoemd. Zoals zichtbaar in de boorkolom viewer kan binnen de DINO-HGE projectdatabank per geologische eenheid aangegeven worden of deze wel of niet geskipt moet worden.

In het geval het een update van het DGM model betreft, kunnen de skippunten van de vorige modelversie geïmporteerd worden in de DINO-HGE project databank. Hier wordt weer gebruik gemaakt van een .csv bestand welke binnen de 'Import skip stratigrafie interval' geïmporteerd wordt.

Naast het boornummer, het interval (top en basis), de skip boolean, de geologische eenheid worden ook de gebruikersnamen (diegene die de skip heeft toegekend) en de reden in het bestand verwerkt. Hierdoor is het mogelijk om tijdens de datavoorbereiding al te skippen boortrajecten vast te leggen.

	A	B	C	D	E	F	G
1	NITG_NR	TOP_DEPTH	BOTTOM_DEPTH	BOTTOM_SKIP_BLN	UNIT_CD	USER_NM	DESCRIPTION
25	B37E3433	29.69	32.36	J	KR	gecensureerd	Omgeving moet nog aangepast worden op deze Topintegraal boring
26	B37E3433	23.87	29.69	J	EE	gecensureerd	Omgeving moet nog aangepast worden op deze Topintegraal boring
27	B33H0077	53	74	J	OOLI	gecensureerd	Basis ligt dieper, maar niet te leggen door dik BR interval.
28	B30F0095	30.26	36.19	J	UR	gecensureerd	Boven dik interval, basis is niet goed o.b.v. omgeving.
29	B10F0037	16.27	19.5	J	BX	gecensureerd	BX onder EE dus geskipt
30	B34C0079	19.3	20	J	PZBA	gecensureerd	Dik interval hieronder, dus grens niet betrouwbaar.
31	B34C0079	20	45	J	PZBA	gecensureerd	Dik interval, is deels OOLI.
32	B31H0317	40.8	58	J	ST	gecensureerd	Dik interval, mengtraject ST-WA, verstoord top-WA.
33	B34A0025	19.5	36	J	PZ	gecensureerd	Dik interval, onderste deel is OOLI.
34	B25A1407	32	65.5	J	EE	gecensureerd	Dik interval, onderste deel ws. DRUI/DRGI dus geskipt.
35	B38A0164	31.7	54.5	J	ST	gecensureerd	Dik interval, verstoord basis-ST.
36	B25B0060	40.6	82.4	J	UR	gecensureerd	Dik interval, verstoord basis-UR en top-WA.
37	B30F0095	36.19	59.09	J	ST	gecensureerd	Dik interval, verstoord boven en onderliggende eenheden.
38	B25G0940	69	80	J	ST	gecensureerd	Dik interval, verstoord top-AP.
39	B30E0037	12.3	31	J	NAWO	gecensureerd	Dik interval, verstoord top-KR.
40	B25G0922	21.7	28.15	J	BX	gecensureerd	Dik interval, verstoord top-KR.
41	B25A1407	29	32	J	EE	gecensureerd	Onderliggend dik EE-interval dus ook geskipt.
42	B30F0134	23	32	J	KR	gecensureerd	Onderliggend dik interval, dus basis ligt te hoog.

Figuur 5.15 Csv bestand met skip stratigrafie intervallen. Om privacy redenen zijn namen van gebruikers weggelaten.

### 5.3.2.7 Ranking beheer

Tijdens de datavoorbereiding en (her)interpretatie worden boornummers toegevoegd aan de set, worden boornummers uit de set verwijderd, zijn boorgegevens in de loop der tijd verbeterd, gemuteerd, etc. Waarom zou een boring uit de set gehaald worden? Waarom wordt een boring aan de set toegevoegd? Wordt misschien niet een boring aan de set toegevoegd die in het verleden uit de set verwijderd is? Allemaal zaken waar goed op gelet moet worden. Hiervoor is het 'Ranking beheer' in het leven geroepen. Binnen dit ranking beheer wordt continu bijgehouden welke boringen voor welke versie van het model aan de set wordt toegevoegd, verwijderd, in de plaats van komt en waarom. Op deze wijze kan voorkomen worden dat slechte beschrijvingen die het model in het verleden negatief beïnvloeden opnieuw in de selectieset worden opgenomen.

### 5.3.3 *Vaststellen potentiële verspreidingsgrenzen*

Voor elke te modelleren eenheid wordt een potentiële verspreidingsgrens (in de vorm van een shapefile, zie Figuur 5.16) geïnterpreteerd. Deze grenzen vormen bij de modellering de maximale of potentiële verspreiding van de eenheid: buiten de verspreiding komt de eenheid niet voor, binnen de verspreiding kan de eenheid voorkomen.

Het maken van de potentiële verspreidingsgrens gebeurt door een gebiedskundige geoloog aan de hand van het kaartmateriaal, de literatuur en natuurlijk de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

- 1 Boringen waar de eenheid aanwezig is, en de basis van deze eenheid hebben bereikt, m.a.w. een stratigrafisch dieper liggende eenheid is aangetroffen in de boring.
- 2 Boringen waar de eenheid aanwezig is, maar de basis van deze eenheid is nog niet bereikt, m.a.w. de basis van de eenheid ligt dieper dan de einddiepte van de boring.
- 3 Boringen waar de eenheid mogelijk aanwezig is, m.a.w. de boring is niet diep genoeg en de top van de eenheid is daarom mogelijk nog niet aangetroffen.
- 4 Boringen waar de eenheid niet aanwezig is, terwijl een stratigrafisch diepere eenheid wel is aangetroffen.

Bij het vaststellen van de verspreidingsgrenzen wordt, indien aanwezig, uitgegaan van verspreidingsgrenzen die in eerdere karteringen zijn vastgesteld. Vervolgens worden de boringen waar met zekerheid van vastgesteld kan worden of een eenheid aan- dan wel afwezig is, gebruikt om de potentiële verspreidingsgrens waar nodig aan te passen. Boringen waar de eenheid aanwezig is, moeten binnen de potentiële verspreidingsgrens liggen. Boringen waar de eenheid afwezig is, kunnen zowel binnen als buiten de potentiële verspreidingsgrens liggen. Daar waar de potentiële verspreidingsgrenzen van eenheden samenhangen met het voorkomen van breuken, m.a.w. de eenheden zijn breukbegrensd, worden de verspreidingsgrenzen aangepast aan de gekarteerde breuken. Daarnaast zijn de landsgrenzen voor DGM te beschouwen als de buitenste verspreidingsgrenzen daar waar eenheden tot de landsgrens lopen.



Figuur 5.16 Potentiële verbreiding van de Formatie van Kreftenheye.

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

Omdat de geologische eenheden onderlinge relaties hebben, zoals deze elkaar kunnen uitsluiten, elkaar kunnen overlappen, samen kunnen vallen met breukzones, etc., is de volgende stap het onderling controleren van de potentiële verbreidingsgrenzen. De eerste controle wordt grotendeel handmatig uitgevoerd m.b.v. (ArcGIS).

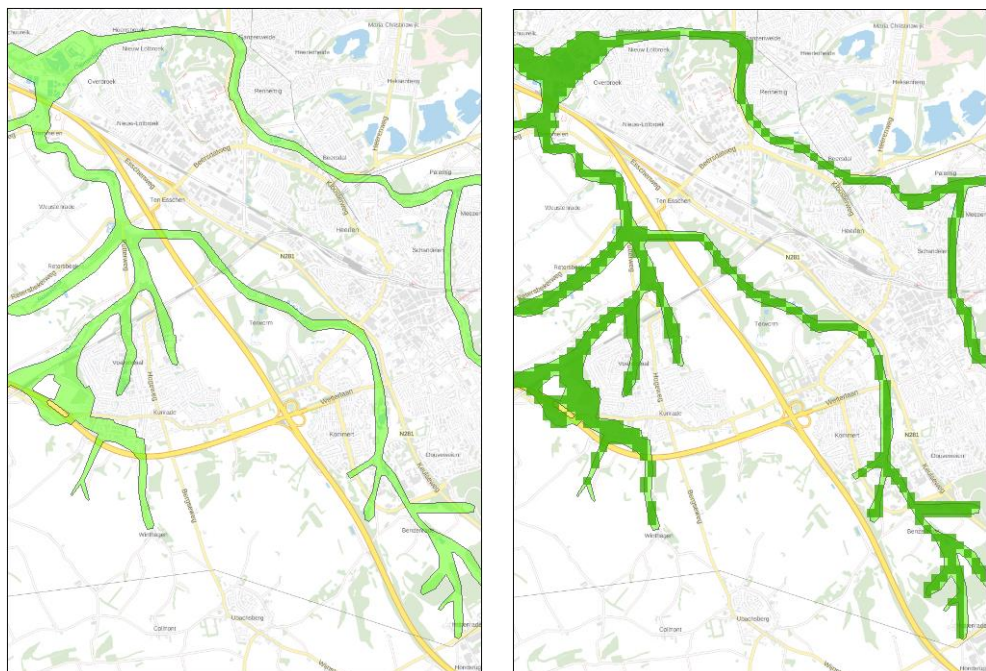
Voor de controle van de verbreiding langs breukzones is een geautomatiseerde controletool binnen Python ontwikkeld die ervoor zorgt dat de verbreiding binnen een van te voren op te geven range (veelal 10 meter) automatisch gelijk aan de breuklijn gesteld wordt. Voor de modellering is het noodzakelijk dat, als de



potentiële verbreiding tot aan een breuklijn loopt, deze ook exact met deze breuklijn overeenkomt.

Als eenmaal de potentiële verbreiding onderling en met het breukenmodel in overeenstemming is, worden de verbeidingsgrenzen (shapefiles) omgezet naar een rasterbestand met een rastercel grootte van 100\*100 meter.

De standaardmethode van ArcGIS om polygonen (veelhoeken) 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 verbreiding, anders niet. Voor eenheden met gedetailleerde grenzen, zoals de Holocene geulsystemen kan deze methode helaas tot een mogelijk verlies aan detailinformatie (Figuur 5.17) leiden.



Figuur 5.17 Links een potentiële verbreiding van een holocene beekdalopvulling, rechts de met standaard GIS-functionaliteit naar een rasterbestand met celgrootte 100 x 100 m omgezette potentiële verbreiding. Zichtbaar is het verlies aan informatie in de uiteinden van de beekdalopvullingen.

Tot slot worden de voor het modelgebied gemaakte verbeidingsgrenzen toegevoegd aan een set landelijke verbeidingsgrenzen van alle in DGM gemodelleerde geologische eenheden. Dit waarborgt de aansluiting van verbeidingen tussen de modelgebieden.

#### 5.3.4 *Uitwiggig*

Vele stratigrafische eenheden wiggig naar de randen van de verbeidingen uit. Om dit te kunnen modelleren, worden er zogenaamde wigpunten aan de modellering toegevoegd.

Een wigpunt is niets anders dan een coördinatenpaar op een aan te geven vaste afstand tot de rand van de potentiële verbeiding. Het wigpunt krijgt geen diepte mee. Een diepte krijgt het wigpunt in het modelleringsproces toegekend (zie paragraaf 5.4.5). Het genereren van de coördinatenparen is middels een pythonscript geautomatiseerd. Dit script genereert op basis van een, door de

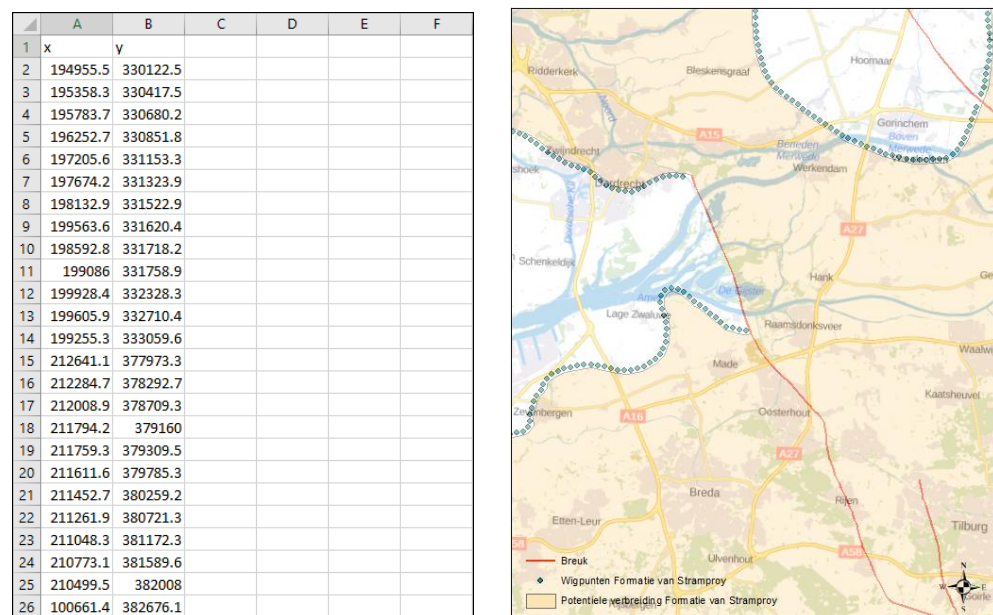


modelleur op te geven vaste onderlinge afstand en vaste afstand tot de rand van de potentiële verbreiding, de coördinaten paren. Voor iedere modelleenheid worden wigpunten gegenereerd en voor iedere modelleenheid kunnen de afstanden gevarieerd worden. Wigpunten kunnen zowel buiten (positieve afstand), op (afstand 0) of binnen (negatieve afstand) de potentiële verbreiding gegenereerd worden. Dit wordt bepaald door soort afzettingen en/of wijze van modellering.

Uiteraard dient langs breukzones en projectgrenzen geen uitwigging plaats te vinden. Door in het script het te gebruiken breukenmodel en de projectgrens mee te nemen, worden op deze locaties geen uitwigpunten gegenereerd.

Daarnaast zijn er gebieden waar de geologische eenheid zich heeft ingesneden in onderliggende eenhe(i)d(en). Deze gebieden worden vastgelegd in de zogenaamde niet-uitwig shapes. De geoloog geeft middels polygonen in een shapefile de niet uit te wiggen gebieden per geologische eenheid aan. Deze niet-uitwig shapes worden in het script op dezelfde wijze verwerkt als de breukzones en de projectgrens, m.a.w. in deze gebieden worden er geen wigpunten op of langs de rand van de potentiële verbreiding gecreëerd.

Het resultaat is een .csv bestand (voor de modellering) en een .shp bestand (voor de controle) met wiglocaties buiten, binnen of op de rand van de potentiële verbreidingen.



Figuur 5.18 Links een voorbeeld van een deel van de wigpunten in .csv-bestand en rechts als shapefile langs de potentiële verbreiding van de Formatie van Stramproy. Oranje is de potentiële verbreiding, rood zijn de in de basis van de Stramproy werkzame breuken. De wigpunten zijn de blauwe punten op de grens van de potentiële verbreiding.

### 5.3.5 Breuken en fictieve breuken

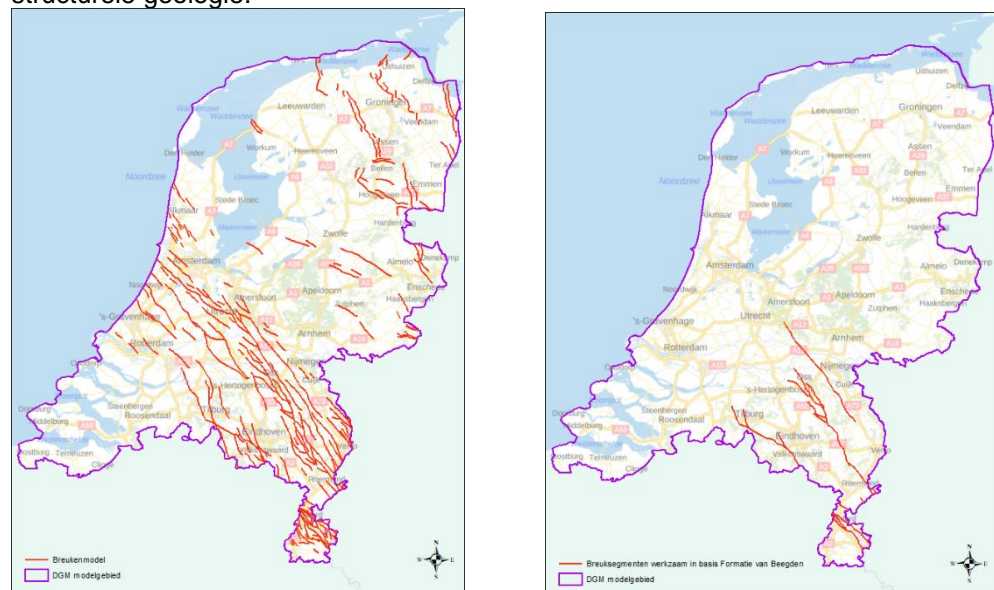
In paragraaf 5.2.3 is vastgelegd welk breukenmodel voor het te modelleren geologische model gebruikt wordt. Dit breukenmodel is een op zich staand model welke door de GDN gemaakt wordt en waar een eigen versiebeheer op plaats vindt.

Het breukenmodel is een vereenvoudiging van de werkelijkheid die uit een complexe aaneenschakeling van 3D breukvlakken bestaat. Voor de modellering van DGM wordt verondersteld dat de breukvlakken van de breuken uit het breukenmodel altijd verticaal verlopen. Gezien de schaal waarop DGM gemodelleerd wordt (rastercellen 100 x 100 meter), de nauwkeurigheid waarmee de positie van de breuken bekend is (die afhangt van de beschikbare gegevens maar veelal minimaal enkele honderden meters bedraagt) en de maximale diepte van het model (gemiddelde diepte van ongeveer 500 m onder NAP, met een maximum diepte tot 1200 m onder NAP), is dit te rechtvaardigen.

Het gekozen breukenmodel wordt vanuit de breuken-omgeving gekopieerd naar de projectomgeving.

Tijdens het (her)interpreteren van de selectieset boringen (zie paragraaf 5.3.1) kunnen inzichten in de ligging van de breuken bijgesteld zijn. Het naar de projectomgeving gekopieerde breukenmodel wordt hierop aangepast. Het aangepaste breukenmodel wordt uiteraard weer als nieuwe versie in de productomgeving opgeslagen.

Nadat alle aanpassingen verwerkt zijn worden een aantal bewerkingen op het breukenmodel uitgevoerd waaronder het selecteren van de in het matig diepe bereik invloed hebbende breuksegmenten: een aantal breuksegmenten heeft namelijk alleen invloed op niet in DGM gemodelleerde, dieper gelegen eenheden. Verder wordt onderzocht in welke basis van geologische eenheid een segment werkzaam is. Ieder segment wordt op deze wijze aan een modeleenheid toegekend tot waar dit segment invloed heeft. Alle segmenten worden op deze wijze voorzien van een codering waarmee duidelijk is in welke basissen van welke geologische eenheden deze breuksegmenten invloed hebben. Het resultaat is een breukenshapefile met attribuu informatie. Deze werkzaamheden zijn veelal handmatige acties die uitgevoerd worden door een geoloog met veel kennis van de structurele geologie.



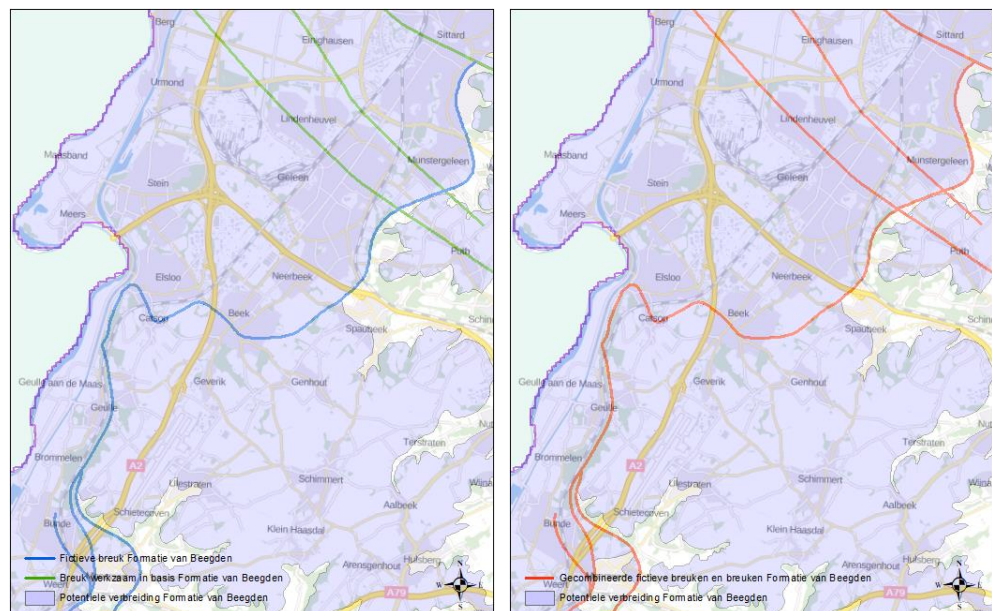
Figuur 5.19 Links een overzicht van de breuken uit het breukenmodel (versie 2.2) met alle segmenten die invloed hebben op één of meerdere basissen van de te modelleren geologische eenheden van het DGM-model en rechts breukensegmenten die alleen nog maar invloed kunnen hebben op de basis van de Formatie van Beegden (BE).

FID	Shape *	NAAM	DGM	FICTIEF	HL	BX	KR	BE	KW	WB	EE	KROE	DR	DT	DN	URTY	PE	UR	ST	AP	SY	WA	PZ	PZWA	MS	KI	OC	IE	BR	V
92	Polyline		BE	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
93	Polyline		WA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
94	Polyline		WA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
95	Polyline		KI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
96	Polyline		BE	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
97	Polyline		SY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
98	Polyline		BE	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
99	Polyline		WA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100	Polyline		WA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
101	Polyline		BX	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
102	Polyline		WA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
103	Polyline		BX	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
104	Polyline		WA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figuur 5.20 Overzicht van een deel van de attributen bestand behorende bij de shapefile van het breukenmodel. Een segment (nr.) is niet (0) of wel (1) werkzaam de basis van de betreffende eenheid.

Middels een pythonscript wordt vanuit de breukenshapefile per geologische eenheid selecties gemaakt en deze worden weggeschreven als aparte breukenshapefiles. Voor iedere modeleenheid waarin een breuksegment invloed heeft op de basis is een breukenshapefile beschikbaar (zie Figuur 5.19 rechts).

Naast breuken wordt er bij de modellering ook gebruik gemaakt van zogenaamde fictieve breuken. In fictieve breuken worden bepaalde fenomenen zoals terrasranden vastgelegd. De terrasranden en mogelijk andere geologische fenomenen worden per modeleenheid m.b.v. een GIS (ArcGIS) handmatig verwerkt als lijnstukken (polyline) in een shapefile. Middels een pythonscript worden per geologische eenheid de fictieve breuken gecombineerd met het breukenbestand zodat deze op eenduidige wijze binnen de modellering gebruikt kunnen worden.



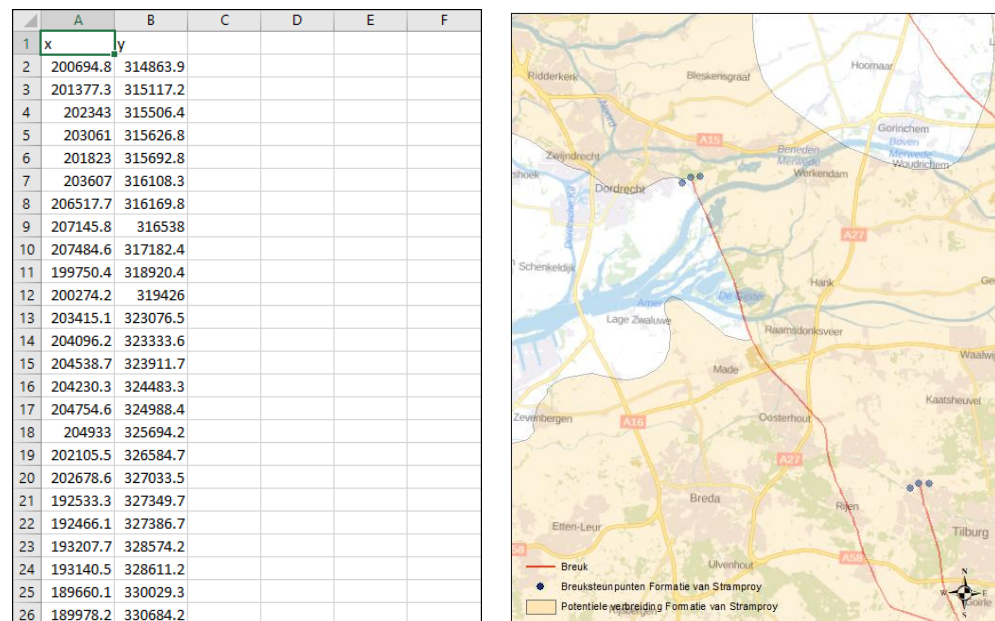
Figuur 5.21 Voorbeeld fictieve (ter plaatse van terrasranden) breuken en tektonische breuken samengevoegd in een gecombineerd breukenbestand voor de Formatie van Beegden.

### 5.3.6 Creëren breuksteunpunten

De breukzones worden in de modellering meegenomen als een harde barrières. Bij het interpolatieproces kan niet over een breuklijn “gekeken worden”. Een datapunt oostelijk van een breuk kan geen effect hebben op de interpolatie van een rastercel aan de westkant van de breuk. Een boring in de nabijheid van het einde van een breukzone kan wel effect hebben op de interpolatie aan zowel de oost- als de westzijde. Dit effect veroorzaakt artefacten (onbedoelde afwijkingen veroorzaakt door gebruikte modelleringsmethode) binnen het model. Om deze effecten te voorkomen, wordt er gebruik gemaakt van breuksteunpunten.

Breuksteunpunten zijn niets anders dan een verzameling van coördinaatparen die rond het breukuiteinde worden gegenereerd en die tijdens de modellering (paragraaf 5.4.5) een diepte krijgen. Het genereren van deze coördinaatparen geschiedt weer met een pythonscript. Door het ingeven van een afstand tot het breukuiteinde worden bij ieder breukuiteinde 3 breuksteunpunten gegenereerd. Het eerste breuksteunpunt op de gedefinieerde afstand in het verlengde ( $180^{\circ}$ ) van de breuk, het tweede haaks ( $90^{\circ}$ ) en het derde ook haaks ( $270^{\circ}$ ).

Het resultaat is een .csv bestand (voor de modellering) en een punten shape (voor de controle) met breuksteunpunten.



Figuur 5.22 Links een voorbeeld van een deel van de breuksteunpunten in .csv bestand en rechts als puntenshapefile zoals deze gebruikt worden bij de modellering van de Formatie van Stramproy. De groepjes drie blauwe punten aan het uiteinde van breuken zijn de breuksteunpunten.

### 5.3.7 Creëren/controleren steunpunten

Steunpunten zijn fictieve boringen welke door een geoloog worden gedefinieerd om tijdens de modellering van een geologische eenheid het interpolatieproces bij te sturen.

Steunpunten kunnen gebruikt worden als vervanging van slechte boorbeschrijvingen, als fictieve boring indien een interpretatie gemaakt is op basis van een geofysische boorgatmeting, als extra sturing in gebieden met weinig data



of als verdichting om geologische complexiteit beter te kunnen sturen. Een steunpunt wordt weloverwogen toegekend. De geoloog vertaalt hiermee zijn geologische inzichten en kennis naar een in het model te gebruiken gegeven.

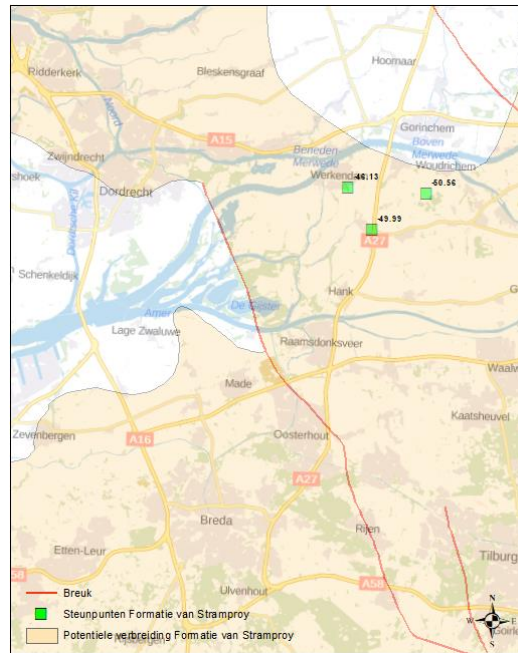
De steunpunten worden allen gezamenlijk in één steunpunten bestand opgeslagen. Omdat er meerdere versies van een model gemaakt worden en andere (gedetailleerde) modellen uit het geologische model afgeleid worden, worden hierin niet alleen de steunpunten voor het huidige model maar ook de voorgaande versie en afgeleide modellen beheerd.

Bij de start van een nieuw model zijn er geen steunpunten uit vorige versie aanwezig en wordt met een schone lei begonnen. In het geval het een update van een vorige versie betreft, worden de steunpunten van de vorige versie standaard meegenomen. Van belang is dat deze voor aanvang van de modellering op juistheid van ligging (x, y) en diepte (z) gecontroleerd worden. Omdat er nieuwe boorgegevens aan de set zijn toegevoegd, omdat er nieuwe verbeterde inzichten zijn, omdat er wijzigingen in het breukenmodel kunnen hebben plaats gevonden, kunnen oudere steunpunten het modelleringsproces negatief beïnvloeden. Deze mogelijke negatieve invloeden worden zoveel mogelijk voor het modelleringsproces ondervangen.

Na controle worden middels een pythonscript op basis van modelnaam en steunpuntbestanden en steunpunten shapes aangemaakt welke geschikt zijn voor verwerking in het modelleringsproces en voor de controle van de modelresultaten.

UNIT	X	Y	TOP	BASIS	GEOLOOG	DATUM	OPMERKING	MODEL
BRVI	164224	359104		-477	JD	19/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
KI	164224	359104		-112	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
ST	164224	359104		16	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
SY	164224	359104		-17	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
MS	164353	426838		-72	RH	14/02/2011	Vervanging van B39G0292 met WA-MS interventiering	DGM v2r2
PZWA	164353	426838		-57	AM	14/02/2011	vervanging van B39G0292	DGM v2r2
BR	164369	355528		-441	JD	19/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
KI	164369	355528		-88	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
ST	164369	355528		26	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
SY	164369	355528		-4	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
OO	164441	409815		-300	TvdV	18/10/2011	Om breuk ten w van Veghel goed te krijgen	DGM v2r2
BX	164500	537100		-10	EDH	13/09/2013	KR loopt te hoog op bij Mirdumer Klif (Gaasterland)	DGM v2r2
BR	164530	351365		-289	JD	19/09/2013	W-breukblok	DGM v2r2
BR	164539	356784		-454	JD	19/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
KI	164539	356784		-94	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
ST	164539	356784		25	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
SY	164539	356784		-5	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
BR	164563	363767		-690	JD	19/09/2013	Breukzone tussen Hamond en Elen	DGM v2r2
KI	164563	363767		-226	JD	01/09/2013	Breukzone tussen Hamond en Elen	DGM v2r2
ST	164563	363767		-10	JD	01/09/2013	Breukzone tussen Hamond en Elen	DGM v2r2
SY	164563	363767		-72.5	JD	01/09/2013	Breukzone tussen Hamond en Elen	DGM v2r2
BR	164659	358041		-466	JD	19/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
KI	164659	358041		-100	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
ST	164659	358041		22	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2
SY	164659	358041		-8	JD	01/09/2013	Derde breukblok van W af	DGM v2r2

Figuur 5.23 Een voorbeeld van een deel van het steunpuntenbestand zoals deze gebruikt worden bij de modellering van de Formatie van Stramproy.



Figuur 5.24 Het steunpuntenbestand als puntenshapefile zoals deze gebruikt worden bij de modellering van de Formatie van Stramproy. Steunpunten zijn op de kaart weergegeven als groen ingekleurde blokjes.

### 5.3.8 *Maken stuurvlakken*

Stuurvlakken zijn rasters die gebruikt worden om een specifieke verloop te kunnen modelleren zoals bijvoorbeeld het verloop van de basis van de Formatie van Kreftenheye in het glaciale bekken in het IJsseldal en de diep ingesneden tunneldalen van de Formatie van Peelo. Deze geologische fenomenen kunnen met de beschikbare boringen alleen niet goed gemodelleerd worden. De stuurvlakken geven de diepteligging van het betreffende geologisch grensvlak bij benadering weer.

Stuurvlakken worden vervaardigd bij aanvang van het modelleerproces met behulp van alle beschikbare gegevens. Een belangrijk gegeven is uiteraard de in de DINO-HGE projectdatabank aanwezige stratigrafische interpretaties van de boringen. Echter ook andere informatie, die niet eenvoudig in het modelleerproces in te brengen is, wordt gebruikt om deze stuurvlakken te creëren. Het betreft hier met name 2D – en 3D seismische interpretaties, geologische kennis vastgelegd in (contour)kaarten, sondeerinformatie, geïnterpreteerde profielen.

Het maken van de stuurvlakken is een interpolatie die met de topo to raster-tool van ESRI's ArcGIS wordt uitgevoerd. Middels deze methode kunnen zowel puntlocaties (dieptes uit boringen en sonderingen, steunpunten) als lijnen (contourlijnen, strekkingslijnen, interpretaties van seismische profielen) worden meegenomen in het maken van deze vlakken.

Een stuurvlak wordt eenmalig in de **(her)interpretatie** proces aangemaakt en wordt tijdens het verdere modelleringsproces niet meer gewijzigd.



Figuur 5.25 Voorbeeld van een deel van het stuurvlak in het glaciële bekken in het IJsseldal welke gebruikt wordt bij de modellering van de basis van de Formatie van Kreftenheye.

### 5.3.9 Workflow management (her)interpretatie

De in de voorgaande paragrafen beschreven werkzaamheden worden deels handmatig en deels geautomatiseerd uitgevoerd. Voor de geautomatiseerde uitvoering is een scriptserie ontwikkeld. Deze dient opeenvolgend uitgevoerd te worden. De scripts waarborgen de consistentie in de voortgang.

De scripting is uitgevoerd in de scripttaal Python en deze scripts dienen in een bepaalde volgorde uitgevoerd te worden.

Name	Type	Size
00_settings.ini	Configuration setti...	21 KB
01_alg_copy_bestanden_ARC10.py	Python File	22 KB
02_alg_boringen_verplaatsten_ARC10.py	Python File	23 KB
03_alg_maak_breuksteunpunten_ARC10.py	Python File	17 KB
04_alg_verbreiding_check.py	Python File	7 KB
05_alg_maak_maskerfiles_ARC10.py	Python File	24 KB
06_alg_maak_wigpunten_ARC10.py	Python File	19 KB
07_alg_maak_imod_file_ARC10.py	Python File	14 KB
08_alg_maak_validatie_shapes_ARC10.py	Python File	15 KB
09_alg_convert_ascii_to_raster_ARC10.py	Python File	9 KB
12_alg_clip_model_op_projectgrens.py	Python File	7 KB
13_alg_actuele verbreiding.py	Python File	6 KB
101_alg_copy_bestanden_ARC10_copyjrh.py	Python File	22 KB
102_dgm_hge_extractie_ARC10.py	Python File	30 KB
103_dgm_bek1_wordt_hl.py	Python File	4 KB
124_dgm_controle_clusters_ARC10.py	Python File	5 KB
125_dgm_controle_interveninging_ARC10.py	Python File	7 KB
126_dgm_controle_strat_boven_onder_ARC10.py	Python File	6 KB
127_dgm_controle_alternatieve_strat_ARC10.py	Python File	5 KB
128_dgm_controle_skippunten_ARC10.py	Python File	5 KB
129_dgm_direct_op_stuwing_ARC10.py	Python File	8 KB
140_dgm_datagenerator_ARC10.py	Python File	30 KB
141_dgm_maak_stuurgrids_ARC10.py	Python File	16 KB
142_dgm_check_pathnames_workflow.py	Python File	2 KB
143_dgm_controle_dubbele_invoer.py	Python File	6 KB
151_dgm_maak_verschil_grid_boring_shapes_ARC10.py	Python File	7 KB
154_dgm_verander_nodata_value_hl.py	Python File	7 KB

Figuur 5.26 Overzicht van een deel van de pythonscripts die op noodzakelijk zijn voor verwerking, consistentie en controle van de data binnen het werkproces (Her)interpretatie.

Gezien het feit dat de bouw van een geologische model een iteratief proces is worden sommige processen na verbetering herhaald. Hierdoor is er een redelijk kans op het ontstaan van inconsistenties in de datavoorbereiding en (her)interpretatie. Daarom zijn er hulpmiddelen ontwikkeld die de dataconsistentie in dit werkproces zichtbaar te maken. Op deze wijze worden fouten ontdekt en verbeterd voordat de modellering van start gaat.

#### 5.4 Modelling

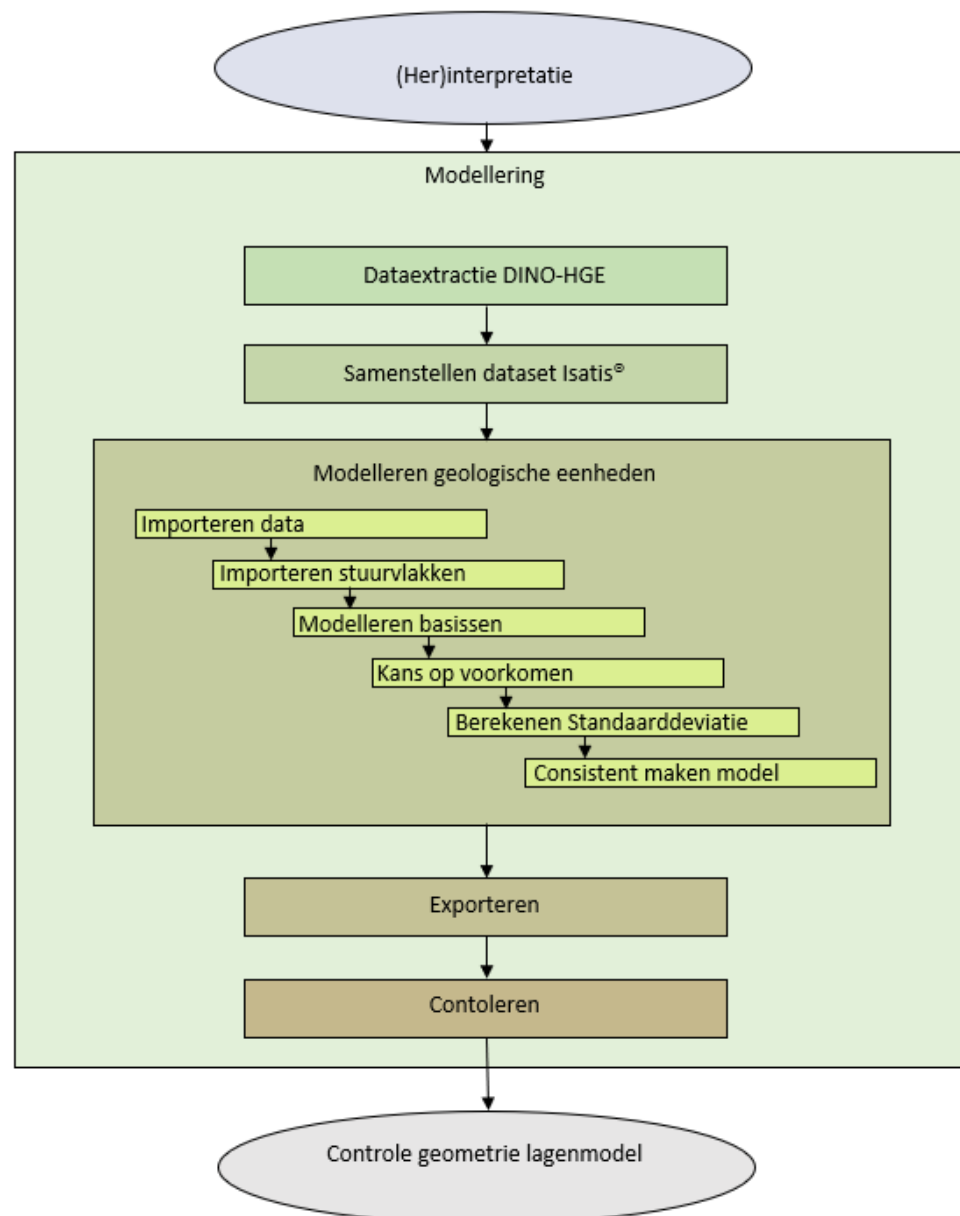
De eigenlijke modellering van DGM wordt uitgevoerd in het werkproces **Modelleren**. Binnen dit werkproces wordt gebruik gemaakt van het geostatistische analyse- en modelleringspakket Isatis® en een bijbehorende in eigen beheer ontwikkelde *workflow manager* waarin alle rekenregels voor het modelleren van de verschillende geologische eenheden en het onderling consistent maken van deze eenheden in opgenomen zijn. Tijdens dit werkproces wordt het consistente lagenmodel gecreëerd. Behalve de diepteligging (top en basis van geologische eenheden) wordt ook de onzekerheid in de diepteligging (de standaarddeviatie) en onzekerheid in de verbreiding (kans op voorkomen) berekend. In het werkproces wordt een kwaliteitscontrole door geologische experts uitgevoerd.

Het werkproces **Modelleren** bestaat uit de volgende processtappen:

- Dataextractie uit de DINO-HGE project databank;
- Prepareren inputbestanden voor Isatis® en ArcGIS;
- Binnen Isatis®, met per te modelleren eenheid:
  - Importeren data;
  - Importeren stuurvlak of berekenen basis trendvlak;
  - Interpoleren basis;
  - Berekenen kans op voorkomen;
  - Berekenen standaarddeviatie;
  - Consistent maken grensvlakken.
- Exporteren grensvlakken;
- Controleren grensvlakken.

Het belangrijkste deel van het werkproces, het berekenen van de grensvlakken, de onzekerheden en het consistent maken van de grensvlakken, wordt met behulp van het softwarepakket Isatis® uitgevoerd. Isatis® is een geostatistisch analyse- en modelleringspakket dat zowel interactief (met menselijk tussenkomst) als batchgewijs (zonder menselijke tussenkomst) aangestuurd wordt. De batchgewijze aansturing vindt plaats door middel van een *workflow manager*, die in paragraaf 5.4.11 wordt beschreven.





Figuur 5.27 Processtappen in het werkproces **Modellering**.

#### 5.4.1 *Dataextractie uit de DINO-HGE projectdatabank*

De gedetailleerde boorbeschrijvingen die in het voorgaande werkproces handmatig zijn voorzien van een stratigrafische interpretatie worden sterk vereenvoudigd geëxtraheerd uit de DINO-HGE project databank tot een bestand met de voor de lagenmodellering relevante boorgegevens. Dit bestand bevat de volgende gegevens:

- Modelnaam
- Model versie nummer
- Boornummer
- Locatie (in meters)
  - X-coördinaat
  - Y-coördinaat
  - Gecorrigeerde X-coördinaat op basis van ligging t.o.v. breuk
  - Gecorrigeerde Y-coördinaat op basis van ligging t.o.v. breuk

(Indien een boring binnen een afstand van 100 meter van een breuklijn ligt, wordt de coördinaat van deze boring 150 meter loodrecht op de breuk verplaatst)

- Maaiveldhoogte (in meters ten opzichte van NAP)
- Einddiepte boring
- Top interval (in m ten opzichte van maaiveld)
- Basis interval (in m ten opzichte van maaiveld)
- Geologische eenheid
- Formatie code
- Alternatieve Formatie code
- Push by ice (of eenheid wel of niet gestuwd is)
- Skip (J/N)
- Vertrouwelijkheid (OPB/VER)
- Einddatum vertrouwelijkheid
- Handboring (J, N).

Het selecteren en ophalen van deze relevante data uit de DINO-HGE project databank is een geautomatiseerd proces dat altijd plaats moet vinden als er wijzigingen in de projectdatabank hebben plaatsgevonden. Na extractie wordt de data opnieuw onderworpen aan een aantal geautomatiseerde plausibiliteitscontroles zoals bijvoorbeeld de stratigrafische sequentie binnen een boring. Afwijkingen dienen in de DINO-HGE projectdatabank verbeterd te worden en de extractie wordt daarna opnieuw gestart. Dit proces herhaalt zich tot er geen afwijkingen meer gevonden worden.

Vanuit het extractiebestand vinden daarna alle noodzakelijk acties plaats om data om te zetten naar bestanden en formaten welke noodzakelijk zijn voor het inlezen in Isatis®, de gebruikte modelleringssoftware.

#### 5.4.2 *Prepareren inputbestanden voor Isatis® en ArcGIS*

In deze processtap wordt met behulp van een pythonscript vanuit het data-extractiebestand per geologische eenheid de input bestanden voor Isatis® samengesteld. Hierin zijn de volgende gegevens opgenomen:

- Locatie
  - X-coördinaat gecorrigeerd
  - Y-coördinaat gecorrigeerd
- Boornummer
- 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)
- Dikte interval (in m)
- Minimale dikte van het interval (in m).

Voor elke boring wordt voor elke geologische eenheid nagegaan of de eenheid (a) aanwezig en volledig doorboord is, (b) aanwezig maar niet volledig doorboord is, (c) afwezig is terwijl de boring diep genoeg reikt, of (d) aan- of afwezigheid niet kan worden vastgesteld. De vier mogelijkheden worden hieronder nader toe gelicht.

- (a) 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.
- (b) 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”). Het zelfde principe geldt voor het dikte interval

- en minimale dikte interval. In de boorkolom in Figuur 5.14 (paragraaf 5.3.2) geldt bijvoorbeeld dat eenheid 'BR' alleen een minimale basis heeft; de overige eenheden worden volledig doorboord en hebben een basis.
- (c) Op basis van de in een boring diepst geïnterpreteerde stratigrafische eenheid, kan vastgesteld worden of een bepaalde eenheid wel of niet in de boring aanwezig is. In het voorbeeld van Figuur 5.14 is de diepst geïnterpreteerde stratigrafische eenheid de Formatie van Breda. In de boring is echter geen Formatie van Inden geïnterpreteerd terwijl de boring wel de diepte heeft bereikt waar deze zou kunnen voorkomen. Er kan daarom vastgesteld worden dat de Formatie van Inden hier afwezig is. Mocht de Formatie van Inden in het verleden wel op deze locatie aanwezig zijn geweest, maar vervolgens door bijvoorbeeld erosie zijn verwijderd, dan zou deze op een diepte tussen de jongere Kiezeloolliet Formatie en de oudere Formatie van Breda hebben gelegen. Voor de top, basis en minimale basis wordt de diepteligging ondergrens van de jongere Kiezeloolliet Formatie (gelijk aan de bovengrens van de oudere Formatie van Breda) meegenomen. Top, basis en minimale basis krijgen dus alle drie dezelfde waarde. De dikte en minimale dikte krijgen als waarde 0.
- (d) Dezelfde boring is niet diep genoeg om een eventueel aanwezige Formatie van Veldhoven (oudere dan de Formatie van Breda) aan te treffen. Er kan dus niet vastgesteld worden of deze hier aan- of afwezig is. Voor de Formatie van Veldhoven (en alle andere oudere formaties) wordt deze boring niet meer meegenomen.

Voor de berekeningen binnen Isatis® wordt gebruik gemaakt van een totaalbestand waarin alle aan- en afwezigheidsdata per geologische eenheid zijn opgenomen. Voor het interne werkproces worden naast dit totaal bestand ook nog aparte aan- en afwezig bestanden aangemaakt in zowel .csv bestands formaat als in shapefile formaat voor o.a. de visualisatie en controle binnen ArcGIS.

Behalve de data uit het extractie-bestand worden aan de input bestanden voor Isatis® de per geologische eenheid toegekende steunpunten (paragraaf 5.3.7) toegevoegd.

Voordat de datasets ingelezen wordt in de modeleringssoftware wordt de data door de modelleur visueel gecontroleerd. De datasets worden ingelezen in ArcGIS en vergeleken met de potentiële verbreidingen. Alle aanwezigheidsdata en toegekende steunpunten dienen binnen de potentiële verbreiding voor te komen. Afwijkingen dienen eerst opgelost te worden. Aanwezigheid en/of toegekende steunpunten mogen niet buiten een potentiële verbreiding liggen, terwijl afwezigheid wel binnen een potentiële verbreiding voor kan komen.

Deze processtappen zijn deels geautomatiseerd.

#### 5.4.3 Importeren data

Voor elke eenheid worden de volgende data in Isatis® geïmporteerd:

- De geïnterpreteerde boorgegevens;
- De wigpunten;
- De potentiële verbreidingsgrens van de modeleenheid (raster).

Afhankelijk van de diepteligging van de geologische eenheid, de geologische complexiteit en het karteringsgebied zijn de volgende aanvullende databestanden van toepassing:

- Breuken shapefile waarin de breuksegmenten zijn opgenomen die tot in de basis van de modeleenheid doorwerken (lijnen).
- Breuksteunpunten die in de vorige processtap zijn gemaakt (punten).
- Stuurvlakken (raster).
- Karteergebied (polygoon).

Verder wordt de volgende algemene informatie geïmporteerd:

- Het maaiveld- en waterbodemhoogtebestand van het modelgebied (raster).
- De begrenzing van het modelgebied (raster).

Deze processtap is geautomatiseerd; de instructies voor het inlezen in Isatis® liggen vast in de *workflow manager*.

#### 5.4.4 *Importeren stuurvlak of berekenen basis trendvlak*

Om de regionale trend van de top en de basis vast te stellen worden trendvlakken berekend. Dit gebeurt met de *Linear Kriging* methode waarbij de top en de werkelijke bereikte basissen van de betreffende eenheid in de boringen worden geïnterpoleerd tot vlakken met een grove rastercelgrootte, bijvoorbeeld 500 x 500 of 1000 x 1000 m.

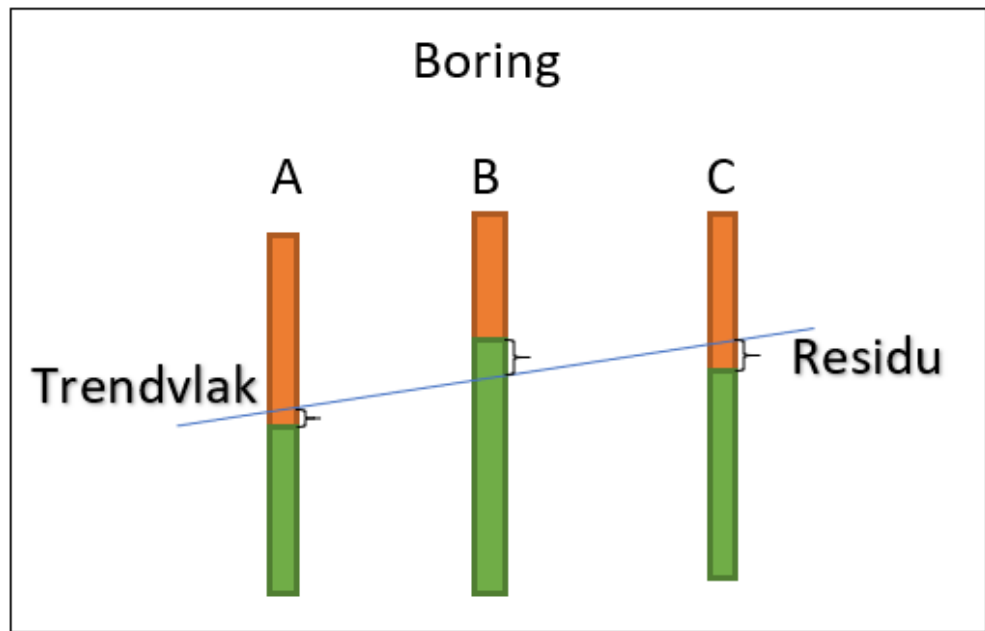
Voor eenheden met complexe structuren zoals de tunneldalen van de Formatie van Peelo geldt dat er al een trendvlak is: hiervoor worden de in paragraaf 5.3.8 beschreven stuurvlakken gebruikt.

Deze processtap is geautomatiseerd; de instructies voor het inlezen in Isatis® liggen vast in de *workflow manager*.

#### 5.4.5 *Modelleren basissen*

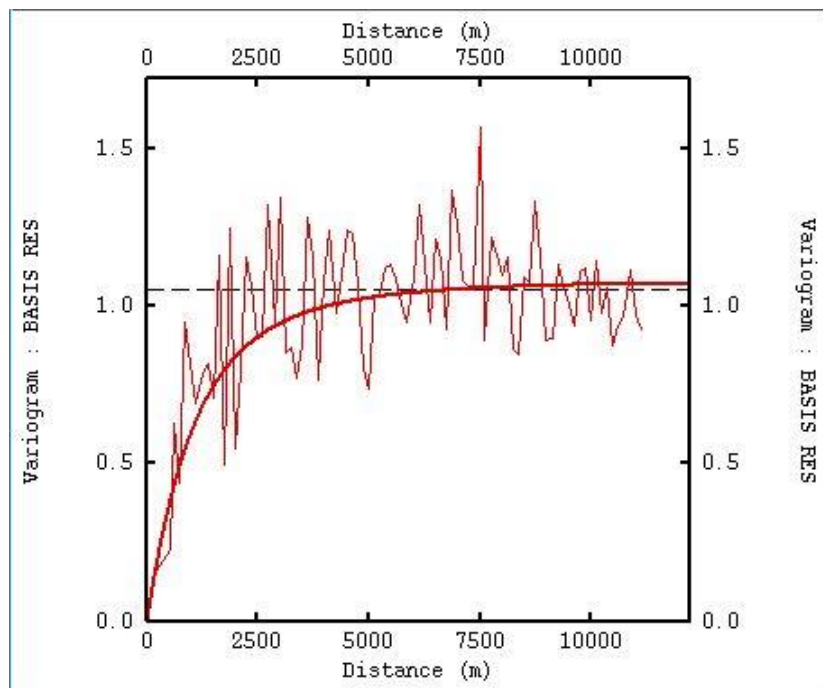
Voor het berekenen van de geometrie van de geologische eenheden wordt een bepaalde systematiek gevolgd. Deze systematiek wordt hieronder beschreven. Per modeleenheid kan hier van afgeweken worden.

Voor elke eenheid worden de boringen die de basis van de eenheid bereikt hebben en de steunpunten 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 trendvlak overeenkomt met de data. Door het bepalen en modelleren van het residu worden eventuele grootschalige trends uit de data gehaald, waardoor de resterende ruimtelijke correlatie beter bepaald kan worden.



Figuur 5.28 Afleiding residuen uit trendvlak.

Van de residuen wordt de ruimtelijke correlatie bepaald en met behulp van een semi-variogram beschreven (Chilès & Delfiner, 2012; Figuur 5.29). Het bepalen van dit semi-variogram is een noodzakelijke, handmatige stap uitgevoerd door de modelleur in een verder geautomatiseerde procedure. De resultaten van de semi-variogram analyse worden vastgelegd in de *workflow manager*.



Figuur 5.29 Voorbeeld van een semi-variogram van de Formatie van Urk laagpakket van Tynje. De dunne, rode lijn die sterk fluctueert, is het experimentele semi-variogram dat uit een statistische analyse van de data volgt. De dikke, rode lijn is het semi-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.

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

Het berekenen van de basis met behulp van *Block Kriging* wordt in meerdere stappen uitgevoerd. In eerste instantie wordt alleen met de datapunten gerekend waarin de basis ook werkelijk is aangetroffen. Hiermee is een eerste schatting van de basis gemaakt. Bij iedere stap wordt opnieuw het residu t.o.v. een nieuwe berekend trendvlak bepaald. Na interpolatie van het residu wordt deze weer van het trendvlak afgetrokken om zo de nieuwe basis te verkrijgen.

In de tweede stap worden de wig- en de breuksteunpunten aan de selectie van aanwezig boringen toegevoegd. Deze wig- en de breuksteunpunten hebben nog geen waarde. Op basis van het in paragraaf 5.4.4 berekende trendvlak van de top wordt een waarde aan de wigpunten toegekend door op de coördinaat van het wigpunt door het trendvlak te prikken en de bijbehorende waarde uit te lezen. Als blijkt dat de uitgelezen waarde kleiner is dan de berekende basis in de eerste stap, dan wordt het betreffende wigpunt verwijderd. De basis heeft in dit geval de top al voor de rand van de potentiële verbreiding gesneden en de eenheid zal derhalve hier niet meer voorkomen. Indien de toegekende waarde groter is dan de in de eerste stap berekende basis, dan wordt dit wigpunt aan de set toegevoegd. De basis ligt op de rand van de verbreiding en krijgt hier dezelfde waarde als de top (uitwigen) (zie Figuur 5.30). De breuksteunpunten krijgen middels dezelfde functie als de wigpunten een waarde uit het eerst berekend basisraster toegekend.

Met behulp van de nieuwe dataset wordt het nieuwe trendvlak en hier van afgeleid residu berekend. Vervolgens vindt de interpolatie middels *Block Kriging* plaats en wordt het geïnterpoleerde residu weer van het trendvlak afgetrokken zodat er een verbeterde interpolatie van de basis ontstaat.

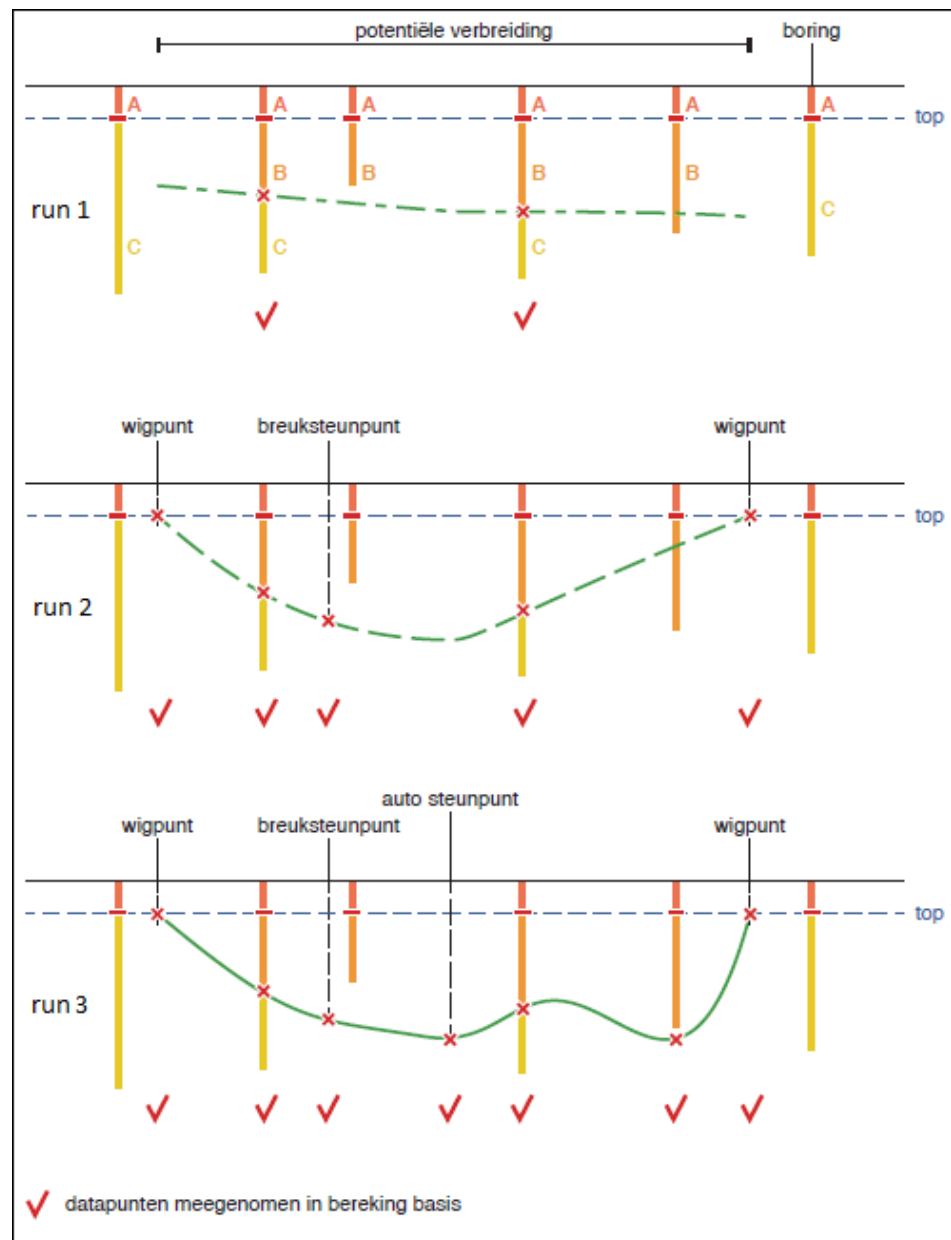
Boringen waar de eenheid niet in aangetroffen is worden in de volgende stap meegenomen. Het niet aanwezig zijn van een eenheid geeft namelijk informatie op welke diepte de eenheid mogelijk zou hebben kunnen voorkomen. Dit is op een diepte tussen de lithostratigrafisch bovenliggende en onderliggende modeleenheid. Deze data wordt in deze stap aan de set toegevoegd.

Omdat de basis langs de potentiële verbeidingsgrenzen naar de top uitwigt, bestaat de mogelijkheid dat de einddiepte van boringen, die niet de werkelijke basis hebben bereikt maar waarin de eenheid wel is aangetroffen, groter is dan het geïnterpoleerd raster. Deze boringen hebben dan wel geen werkelijke basis maar bezitten wel bruikbare informatie (minimale basis). In de vierde stap worden deze boringen met een minimale basis plus een halve meter (de basis van de eenheid wordt op een halve meter onder minimale basis gelegd) aan de set toegevoegd en wordt de interpolatieprocedure met de nieuwe set opnieuw herhaald. Op deze wijze wordt gewaarborgd dat de basis van de eenheid niet hoger komt te liggen dan de boringen met een minimale basis aangeven.

Om artefacten door datadichtheidsverschillen in de interpolatie te voorkomen, is een regelmatige verdeling van meetgegevens van belang. Helaas is er niet altijd sprake van een regelmatige ruimtelijke verdeling van meetgegevens. Daarom wordt

voor de laatste run onderzocht waar zich onregelmatigheden voordoen. Hierbij wordt gecheckt of de onderlinge afstand tussen locaties niet groter is dan een van te voren opgegeven minimale onderlinge afstand. In gebieden waar deze afstand wordt overschreden wordt middels een geautomatiseerde functie steunpunten toegevoegd die een waarde toegekend krijgen uit de voorlaatste run. De minimale onderlinge afstanden kunnen per modelleenheid verschillen en wordt in de *workflow manager* vastgelegd. Op deze wijze worden artefacten ontstaan door datadichtheidsverschillen ondervangen.

Afgezien van de semi-variogram analyse is de gehele processtap geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis® inclusief de semi-variogram modellen en de neighborhoods liggen vast in de *workflow manager*.



Figuur 5.30 De invloed van het meenemen van wigpunten, breuksteunpunten, auto steunpunten en minimale basis voor de berekening van de basis van de 'oranje' modelleenheid in drie achtereenvolgende modelruns.

#### 5.4.6 *Berekenen kans op voorkomen*

Vanuit de ingelezen boorgegevens wordt vastgesteld of een modeleenheid aanwezig (minimale dikte > 0) of afwezig (minimale dikte = 0) is. Indien de eenheid aanwezig is, krijgt het boorpunt de waarde 1, bij afwezigheid de waarde 0. Op basis van deze waarden wordt middels *Block Kriging* een raster geïnterpoleerd.

De aan-/afwezigheid wordt met behulp van een semi-variogram beschreven (Chilès & Delfiner, 2012; Figuur 5.29). Het bepalen van dit semi-variogram is een noodzakelijke, handmatige stap in een verder geautomatiseerde procedure. De resultaten van de semi-variogram analyse worden vastgelegd in de *workflow manager*.

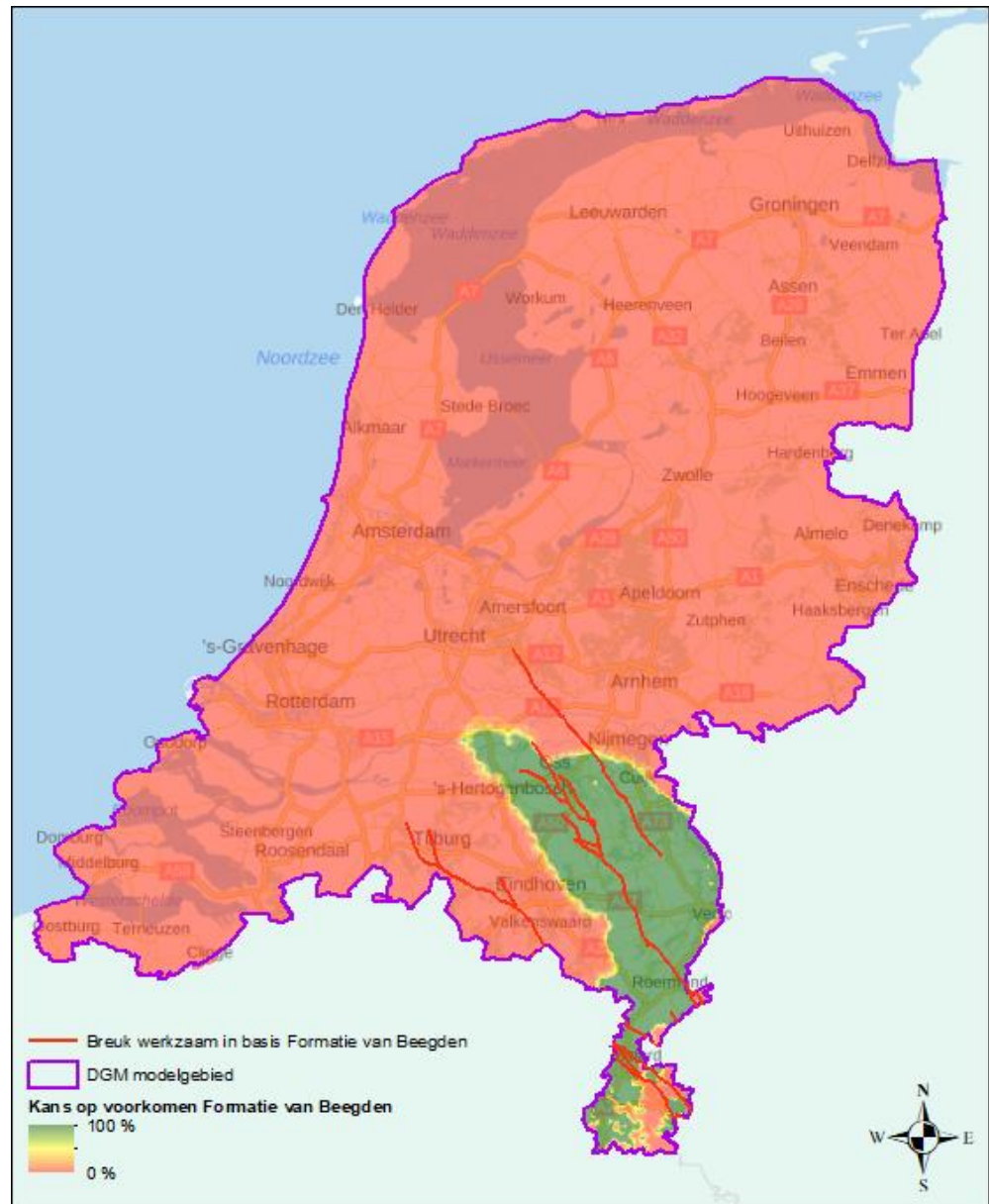
Middels *Block Kriging* wordt de aanwezigheid (1) en afwezigheid (0) binnen het gehele projectgebied geïnterpoleerd. In sommige gebieden kan er te weinig aan-/afwezigheidsdata voor handen zijn. Hier kan middels *Block Kriging* geen waarde geïnterpoleerd worden. Middels een *gridfillings* procedure, waarbij missende rastercel waarde worden afgeleid uit omliggende rastercel waarden, wordt het raster volledig gevuld. Geïnterpoleerde waarden groter dan 1 of kleiner dan 0 worden gelijk gesteld aan 1 (100% kans op voorkomen) resp. 0 (0% kans). Het resultaat is een grid met de kans op voorkomen van de modeleenheid op basis van de ingelezen boorgegevens.

Ter controle wordt het resultaat vergeleken met de handmatig door de geoloog samengestelde potentiële verbreiding. Het resultaat dient in grote mate overeen te komen met deze potentiële verbreiding. Indien zich een grote kans op voorkomen voordoet buiten een door de geoloog gedefinieerde potentiële verbreiding, zal er onderzocht moeten worden wat daar de oorzaak van is. Op basis hiervan zou de potentiële verbreiding aangepast en/of enkele boringen opnieuw geherinterpreteerd kunnen worden.

Het doorvoeren van wijzigingen in een potentiële verbreiding of in een interpretatie van een boring heeft als effect dat er terug gesprongen wordt in het werkproces naar vaststelling potentiële verbreidingen (paragraaf 5.3.3) of zelfs naar (Her)interpreteren selectieset boringen (paragraaf 5.3.1). Aansluitend dienen vanaf dit werkproces alle vervolgstappen opnieuw doorlopen te worden.

Deze processtap is geautomatiseerd; de batchinstructies voor Isatis® liggen vast in de *workflow manager* waardoor het gehele proces reproduceerbaar is.





Figuur 5.31 Voorbeeld van een raster met de berekende kans op voorkomen van de Formatie van Beegden.

#### 5.4.7 Berekenen standaarddeviatie

Er wordt een onzekerheid berekend bij de niet consistent gemaakt basis van iedere geologische eenheid. Na het onderling consistent maken van de geometrie (paragraaf 5.4.8) wordt de onzekerheden van de afgeleide top gelijk gesteld aan de onzekerheid van de bovenliggende berekende geologische basis. De onzekerheid van de dikte wordt daarna afgeleid uit de onzekerheid van de top, de onzekerheid van de basis en de correlatiecoëfficiënt daartussen welke wordt berekend uit de geometrie van de top en de basis.

##### 5.4.7.1 Algemene methodiek

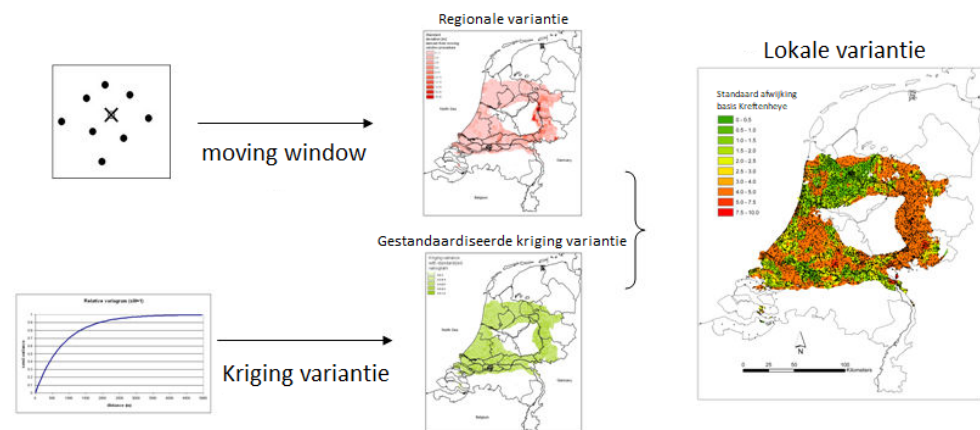
De geometrie van lithostratigrafische eenheden in DGM wordt gemodelleerd door apart de diepteligging van de basis van iedere eenheid te berekenen. Omdat bij het modelleren van eenheden niet alleen gebruik gemaakt wordt van informatie uit boringen, maar er ook aanvullende geologische kennis in de vorm van

stuurvlakken, steunpunten, wigpunten, breuklijnen en breuksteunpunten gebruikt worden, levert de kriging variantie helaas geen bruikbare maat op voor onzekerheid. In 'Quantifying uncertainty of geological 3D layer models, constructed with a-priori geological expertise' van Gunnink et al. (2010) wordt een op cross validatie gebaseerde methode van onzekerheidsbepaling beschreven, die voor de onzekerheidsbepaling gebruikt wordt.

Met de op cross validatie gebaseerde methode wordt een regionale standaardafwijking berekend: de onzekerheid van het model 'ver weg' van boorlocaties.

Gebaseerd op het semi-variogram wordt een factor voor datanabijheid bepaald. Hiervoor worden alle door de betreffende eenheid doorboorde boorlocaties gebruikt. Dit resulteert in een raster met waardes tussen 0 (dicht bij data) en 1 (ver van data).

De lokale standaardafwijking is vervolgens het product van de regionale standaardafwijking en de factor voor datanabijheid.



Figuur 5.32 Stroomschema voor de berekening van de lokale onzekerheid uit de regionale onzekerheid m.b.v. een moving window en de factor voor datanabijheid m.b.v. de kriging variantie weergegeven voor de Formatie van Kreftenheye.

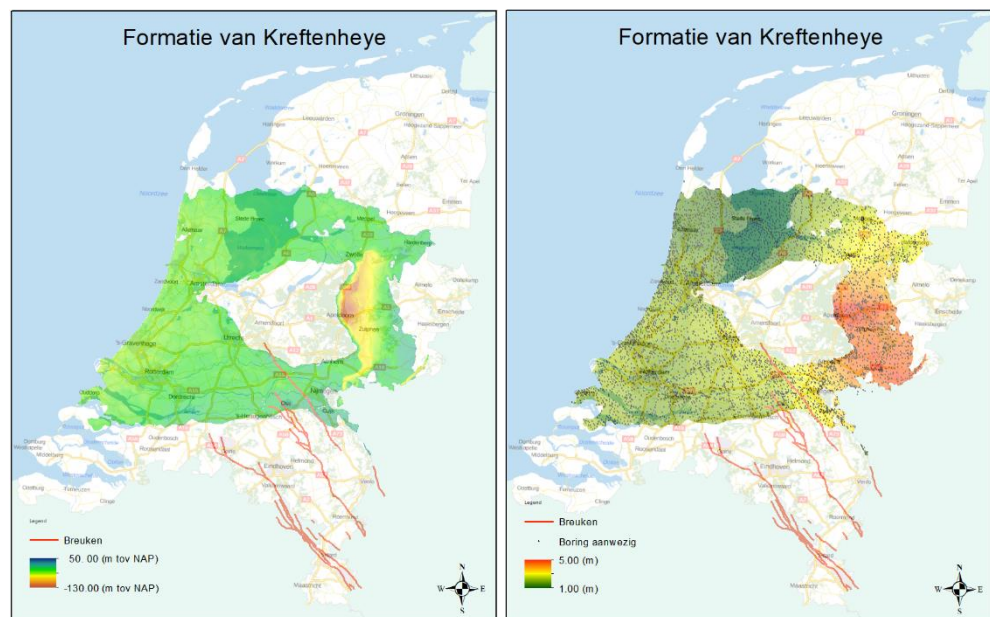
#### 5.4.7.2 Regionale standaardafwijking

De regionale onzekerheid wordt berekend op basis van cross validatie. Hierbij wordt de waarde berekend van het grensvlak op een boorlocatie, zoals die zou zijn berekend op basis van de omliggende boringen indien de betreffende boring er niet zou zijn geweest. Het verschil tussen de werkelijke waarde en de met cross validatie voorspelde waarde van het grensvlak is van belang voor de berekening van de regionale onzekerheid. Middels een moving window wordt per rastercel een gemiddelde standaardafwijking van de verschillen tussen werkelijke en geschatte waarden berekend. De grootte van het moving window is een belangrijke maat bij het uitvoeren van deze berekening. Door middel van het toetsen van verschillende moving window groottes en het vergelijken van de gemiddelde fout met bijbehorende standaardafwijking, wordt de optimale moving window grootte vastgesteld. De grootte van het moving window waarvan de gemiddelde fout het dichtst bij 0 ligt wordt uiteindelijk gekozen.

Met behulp van het moving window wordt per rastercel bepaald of er voldaan wordt aan het minimaal aantal aanwezige boringen binnen het moving window. Om een

redelijke schatting van het gemiddelde te kunnen maken is het minimum in het moving window aanwezige boringen op 15 gesteld. Indien niet aan dit aantal voldaan wordt, wordt aan de betreffende rastercel de standaardafwijking van de gehele set toegekend. Wordt wel voldaan aan dit minimum, dan wordt de gemiddelde standaardafwijking binnen het moving window berekend. Op de randen van de potentiële verbreiding van de eenheid wordt op basis van het percentage voorkomen van de verbreiding binnen het moving window het minimum aantal boringen verhoudingsgewijs naar beneden bijgesteld.

Of een rastercel de gemiddelde waarde van het moving window dan wel de gemiddelde waarde van de gehele dataset krijgt wordt bijgehouden in een raster 'herkomst betrouwbaarheid van de basis'.



Figuur 5.33 Voorbeeld van de berekende basis van de Formatie van Kreftenheye (links) en de berekende regionale standaardafwijking voor deze basis (rechts).

#### 5.4.7.3 Datanabijheid

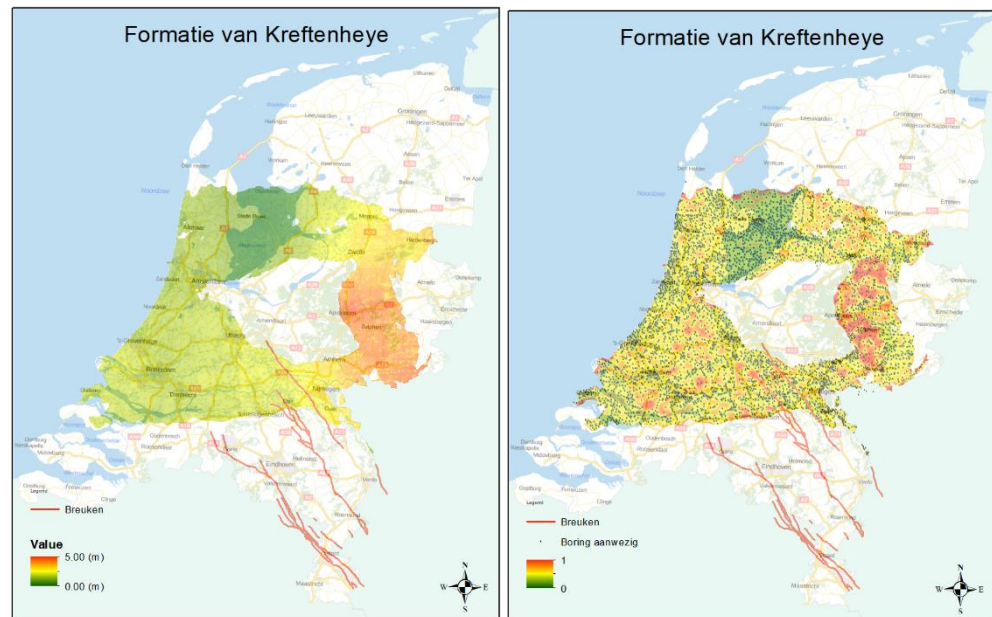
De ruimtelijke correlatie is vastgelegd in het semi-variogram. De kriging standaardafwijking die wordt berekend bij de interpolatie van het residu kan nu worden gebruikt als maat voor de datanabijheid, aangezien de grootte van deze kriging standaardafwijking afhankelijk is van de configuratie van de data rond de te schatten locatie. Een genormaliseerde kriging standaardafwijking met waarden tussen 0 (dicht bij data) en 1 (ver van data), kan nu worden berekend.

#### 5.4.7.4 Lokale standaardafwijking

De lokale standaardafwijking kan nu eenvoudig berekend worden door de regionale standaardafwijking (paragraaf 5.4.7.2) te vermenigvuldigen met de factor welke de datanabijheid beschrijft (paragraaf 5.4.7.3).

In het resultaat (Figuur 5.34 rechts) zijn duidelijk de locaties van de gebruikte boringen voor de berekening van de basis van de geologische eenheid herkenbaar. Op deze locaties zijn de onzekerheden dan vele malen kleiner dan op plaatsen waar geen boringen beschikbaar zijn. Buiten de correlatie afstand, die beschreven

is met behulp van het semi-variogram, wordt de onzekerheid volledig bepaald door de eerdere bepaalde regionale variantie.



Figuur 5.34 Voorbeeld van de berekende genormaliseerde kriging standaardafwijking (datanabijheid factor) (links) en het resultaat van het product van de regionale standaardafwijking met deze datanabijheid factor (de lokale standaardafwijking) (rechts).

Met uitzondering van het vaststellen van de moving window grootte is deze processtap geautomatiseerd; alle instructies voor Isatis® inclusief de vastgestelde moving window groottes en de genormaliseerde semi-variogrammen zijn vastgelegd in de *workflow manager*.

#### 5.4.8 Consistent maken grensvlakken

In deze processtap worden de basisvlakken gecombineerd tot een geïntegreerd, consistent lagenmodel, waarbij de stratigrafische positie en de onderlinge geologische afsnijdingsrelaties van de eenheden gehonoreerd worden.

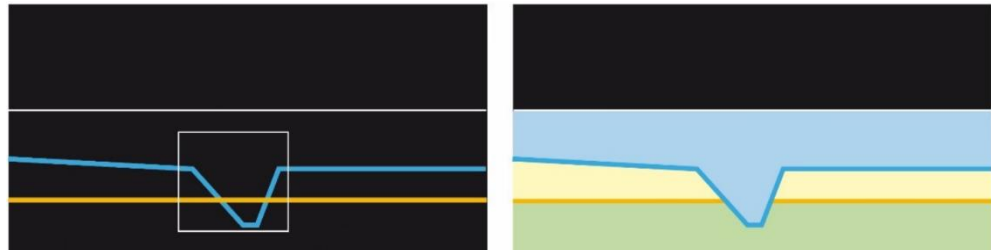
Het consistent maken van de vlakken bestaat uit het systematisch vergelijken van elk basisvlak met de basisvlakken van de stratigrafisch hoger gelegen eenheden. Uit deze vergelijking zal veelvuldig blijken dat de basis van een hoger gelegen eenheid de basis van een onderliggende eenheid doorsnijdt. In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

- I. De bovenliggende eenheid heeft de onderliggende eenheid geërodeerd. In dit geval wordt de onderliggende eenheid gecleipt 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 gecleipt door de onderliggende. Voorbeelden van onderliggende eenheden die een reliëf vormen zijn de stuwwallen.

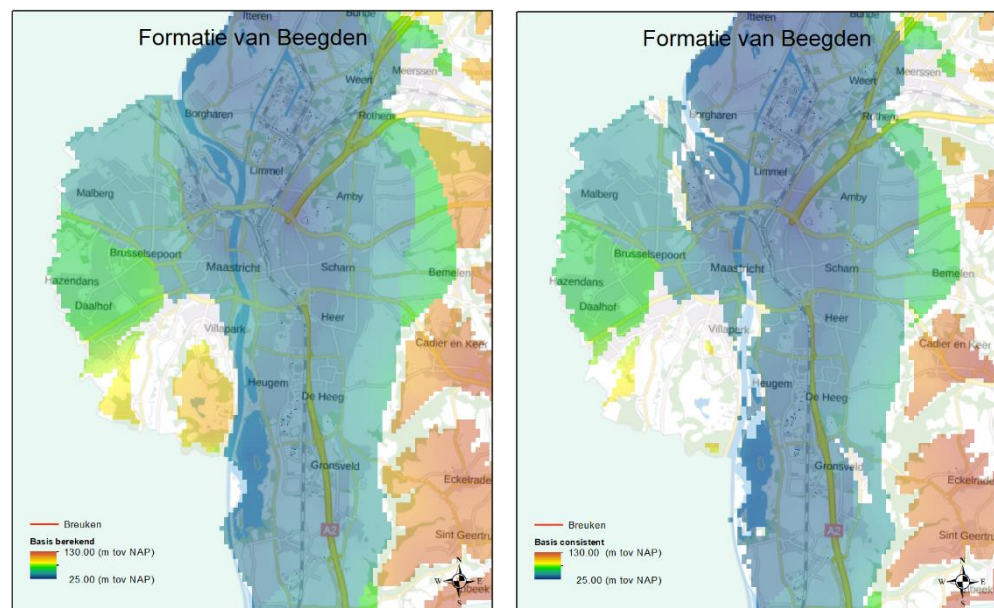


- III. De doorsnijding is een artefact van de interpolatie waarbij twee concordante eenheden betrokken zijn. Bijvoorbeeld als een basis van de dunne eenheid abusievelijk veelvuldig wordt weggесneden door de basis van bovenliggende eenheden, terwijl bekend is dat de eenheid binnen de verspreidingsgrenzen vrijwel overal voorkomt. In dit geval wordt de basis van de onderliggende eenheid verlaagd tot een vaste waarde onder de basis van de bovenliggende eenheid.

De hoogst gelegen eenheid waarmee alle andere eenheden worden geclipt is het maaiveld- en waterbodemoogte vlak.



Figuur 5.35 Het consistent maken van de berekende basis vlakken. Links de basisvlakken als uitkomst van de kriging interpolatie; rechts het consistente lagenmodel. In het vierkantje snijdt de bovenliggende eenheid de onderliggende eenheid af.



Figuur 5.36 Rasterkaart van de diepteligging (in m ten opzichte van NAP) van de basis van de Formatie van Beegden rond Maastricht zoals deze binnen de potentiële verspreiding is berekend (links) en nadat het grid met overige berekende basissen en het maaiveld- en waterbodemoogtevlak consistent is gemaakt (rechts).

Na het consistent maken van de basisvlakken wordt voor elke eenheid een top vlak afgeleid uit de bovenliggende basisvlakken. In de meerderheid van de gevallen zullen per geologische eenheid verschillende basissen van bovenliggende geologische eenheden als top gebruikt worden. De raster cel van de top van een eenheid krijgt dus de waarde van de basis van de direct hierboven liggende geologische eenheid toegekend. Binnen dit proces van afleiden is het tevens noodzakelijk per rastercel bij te houden van welke basis de waarde afkomstig is (herkomst van de top). Dit raster wordt daarna gebruikt om de juiste standaardafwijking voor de top (= standaardafwijking bovenliggende basis) toe te kennen.

Tot slot wordt voor elke eenheid de dikte berekend uit het verschil tussen top en basis. De onzekerheid van de dikte wordt afgeleid uit de onzekerheid van de top, de onzekerheid van de basis en de correlatie coëfficiënt daartussen welke wordt berekend uit de geometrie van de top en de basis.

Deze processtap is volledig geautomatiseerd; de instructies voor Isatis® liggen vast in de *workflow manager*.

#### 5.4.9 Exporteren grensvlakken

Vervolgens worden de vlakken geëxporteerd, waarbij het eindresultaat van de modellering per stratigrafische eenheid ("xxxx"), een groot aantal ArcAscii-grids op levert.

Tabel 5.1 Tabel met naamgeving bestanden.

Bestand	Toelichting
xxxx-b-c.asc	Consistente basis van de eenheid in m. t.o.v. NAP
xxxx-t-c.asc	Consistente top van de eenheid, afgeleid uit de basisvlakken en de onderlinge stratigrafische relaties van de geologische eenheden in m. t.o.v. NAP
xxxx-d-c.asc	Consistente dikte van de eenheid, verschil tussen top en basis in m.
xxxx-qv.asc	Kans op voorkomen van de eenheid
xxxx-t-ql.asc	Standaardafwijking in de basis van de eenheid in m.
xxxx-d-ql.asc	Standaardafwijking in de dikte van de eenheid, afgeleid uit de standaardafwijking van de top en basis in m.
xxxx-t-ql.asc	Standaardafwijking in de top van de eenheid, afgeleid uit de standaardafwijking van de bovenliggende basis in m.

Deze processtap is geautomatiseerd; de instructies voor de exports uit Isatis® liggen vast in de *workflow manager*.

#### 5.4.10 Controleren grensvlakken

De gebiedsdeskundig geoloog die verantwoordelijk is voor de interpretatie van de boorgegevens, potentiële verbreidingen en steunpunten controleert in eerste instantie samen met de verantwoordelijk modelleur.

De eerste iteraties van het model leveren altijd onvoorziene zaken op waardoor interpretaties, verbreidingen, steunpunten, rekenregels, etc. aangepast zullen moeten worden. In deze fase komen ook geselecteerde boringen van slechte kwaliteit sneller aan het licht en zullen geheel of gedeeltelijk uit de set verwijderd worden.

Deze grotendeels visuele controle van de grensvlakken wordt uitgevoerd m.b.v. ArcGIS en de applicatie iMOD. De geëxporteerde raster in ArcGIS ASCII formaat worden middels bestaande scripts automatisch omgezet naar de juiste formaten voor gebruik binnen deze applicaties. Deze wordt in de beide applicaties gecombineerd met de in de datavoorbereiding en (her)interpretatie samengestelde input data.

Met behulp van ArcGIS worden kaarten van de diepteligging van de eenheden, de diktes, de onzekerheden, de herkomst van, de onderlinge afsnijdingsrelaties, en de



werkelijke verbreidingen in vergelijking met de potentiële verbreiding beoordeeld en waar nodig verbeterd.

In de iMOD applicatie kunnen vergelijkingen tussen boorgegevens en de basisvlakken met behulp van een slicer (het maken van verticale doorsnedes welke op willekeurig wijze door het model verplaatst kan worden) snel en eenvoudig gevisualiseerd en gecontroleerd worden. Middels deze tool is het tevens mogelijk het model in 3D te visualiseren en te controleren.

Alle gevonden afwijkingen worden verbeterd zodat aansluitend een nieuwe iteratie van het model plaats kan vinden.

Deze stap wordt herhaald totdat het gehele projectteam het model als gereed beschouwd. Het model zou nu moeten voldoen aan de eisen om het te publiceren. Het model wordt ten slotte ter controle aan een onafhankelijke kwaliteitscontrole (QC) onderworpen, zie paragraaf 5.5.

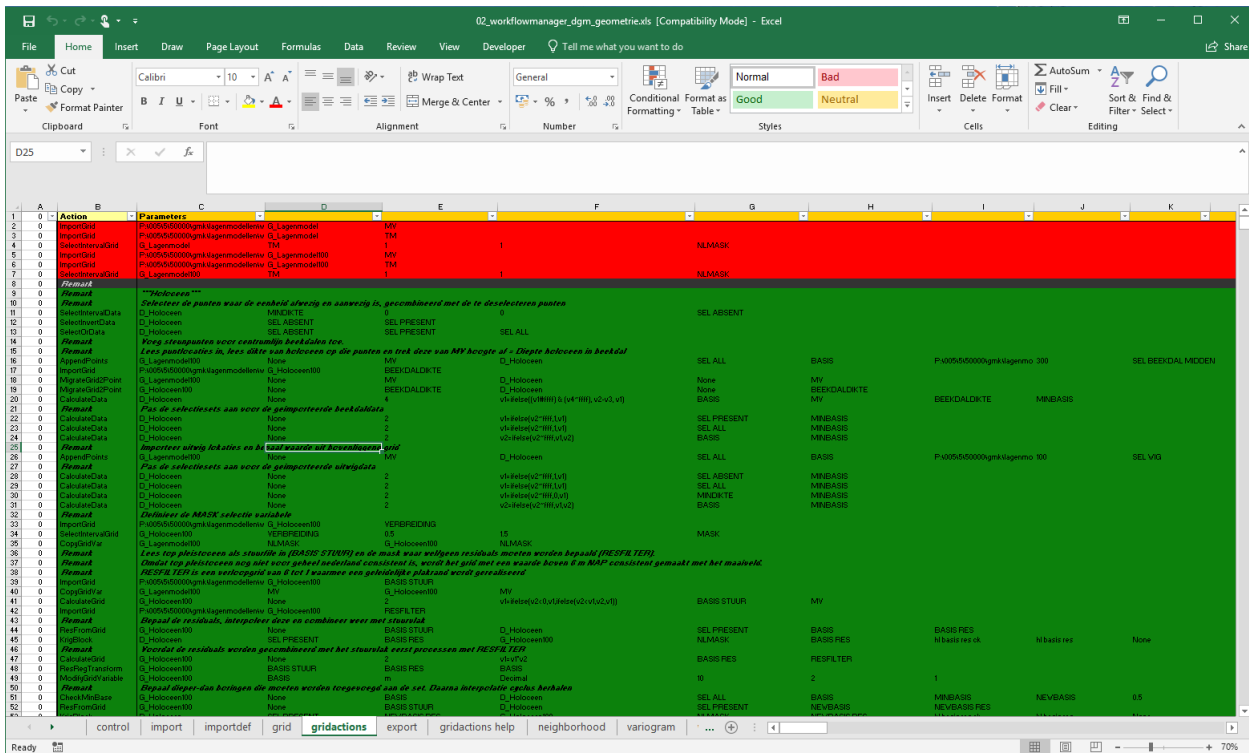
Deze processtap is deels geautomatiseerd en deels handmatig; het omzetten van de geëxporteerde rasters naar de juiste ArcGIS en iMOD formaten worden middels scripts uitgevoerd, sommige controlestappen worden eveneens middels scripts uitgevoerd, echter het visuele controleren van de modelresultaten is een niet geautomatiseerde activiteit. Hiervoor is de specifieke (gebieds)kennis en ervaring van zowel de geoloog als de modelleur vereist.

#### 5.4.11 *Workflow management modellering*

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 geautomatiseerd aangestuurd kan worden. In de geautomatiseerde werkwijze worden alle uit te voeren acties vastgelegd en zijn daarmee reproduceerbaar. Tevens biedt de geautomatiseerde werkwijze de mogelijkheid om de vaak langdurige berekeningen 's nachts of in het weekend uit te voeren.

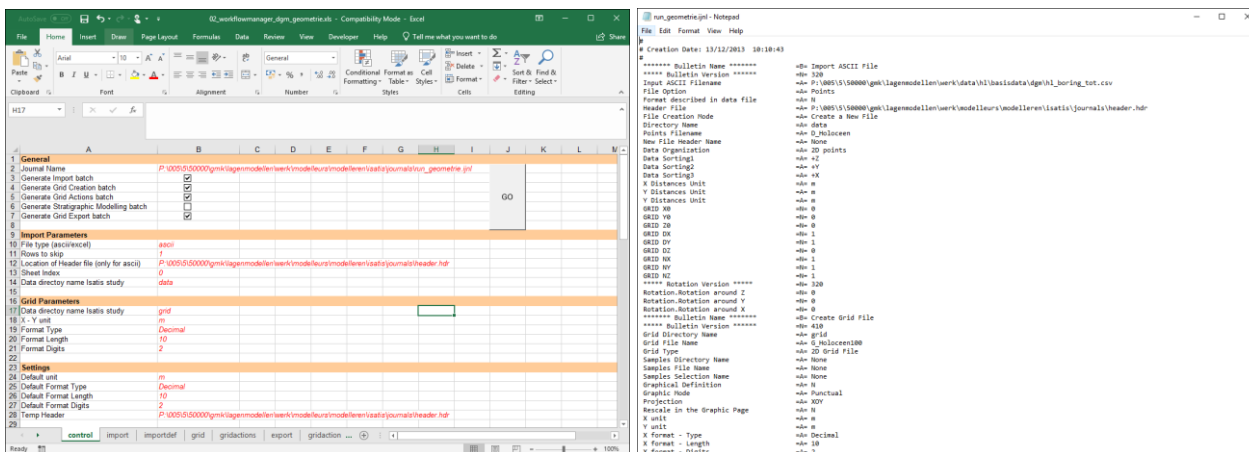
De geautomatiseerde aansturing van Isatis® gebeurt met zogenaamde *journal-files*, waarin instructies voor Isatis® zijn opgenomen. Deze instructies worden vervolgens door Isatis® sequentieel verwerkt. Het handmatig samenstellen van *journal-files* is niet eenvoudig. Daarom is in Microsoft Excel een zogenaamde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

Binnen de *workflow manager* zijn de verschillende onderdelen in verschillende tabbladen verwerkt. De import, export, neighborhoods, semi-variogrammen, etc. worden allemaal in dit Microsoft Excel bestand opgeslagen en beheerd. Centraal in de *workflow manager* is het tabblad "gridactions" waar Isatis® functies / acties worden opgenomen (Figuur 5.37).



Figuur 5.37 Workflow manager voor de lagenmodellering in Isatis®.

Per uit te voeren functie is er één regel met de naam van de actie en de invoerparameters. Tevens is er een kolom (Kolom A in Figuur 5.37) waarmee de regel aan of uit gezet kan worden. Met behulp van een VBA script (Visual Basic for Applications) 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.



Figuur 5.38 Controle sheet workflow manager (links) voor het genereren van een journal file (rechts) voor Isatis®.

### 5.5 Controle

In het gehele werkproces zijn controle momenten ingebouwd. Gevonden afwijkingen worden op die momenten opgelost. Als de gebiedsdeskundigen en de modelleers van mening zijn dat het model voldoet aan de verwachtingen worden er

nog een aantal laatste testen uitgevoerd. Het betreft hier een breuken controle en een consistentie controle. Gevonden afwijkingen dienen uiteraard verbeterd te worden. Als geen afwijkingen meer gevonden worden, wordt er een eenvoudige publicatie samengesteld. Het betreft hier een ArcGIS projectbestand waarin alle te publiceren data verwerkt zijn en er wordt een projectfile voor iMOD aangemaakt waarin ook alle relevante modelgegevens opgenomen worden. Deze eenvoudige publicatie wordt door het gehele projectteam gecontroleerd om er zeker van te zijn dat de resultaten aan het verwacht doel voldoen.

Na deze controle wordt het model naar de QC (Quality Control) gezonden voor een onafhankelijke beoordeling (Zie Kwaliteitstoetsingsrapport).

## 5.6 Publicatie

In het werkproces **Publicatie** wordt het geologisch lagenmodel klaar gemaakt om via de landelijke voorzieningen aan de buitenwereld openbaar te maken. Hiervoor wordt alle te publiceren data zowel rasters, breuken en geïnterpreteerde boorgegevens volgens de van tevoren in de BRO gegevenscatalogus gedefinieerde kleuren, symbolen en volgordes opgenomen in tabellen en rasterbestanden.

### 5.6.1 *Uitsluiten vertrouwelijke boringen*

De eerste stap binnen dit werkproces is het selecteren en uitsluiten van de vertrouwelijke boringen. In paragraaf 4.2.1 werd al benoemd dat een deel van de boringen in DINO vertrouwelijk is. Het betreft boringen die door de eigenaar aan DINO ter beschikking zijn gesteld, maar waarvan de locatie en/of de boorbeschrijving niet openbaar gemaakt mag worden. Deze boringen worden met toestemming van de eigenaar wel in de modellering gebruikt, maar niet als modelresultaat gepubliceerd.

In een aantal gevallen heeft de eigenaar een einddatum gesteld aan de vertrouwelijkheid. Om te bepalen of een boring wel of niet gepubliceerd mag worden wordt de einddatum vergeleken met een peildatum. Boorlocaties en boorbeschrijvingen waarvan de vertrouwelijkheidsdatum na deze peildatum ligt, worden niet in de publicatie opgenomen.

Deze processtap is geautomatiseerd met behulp van Python-scripts.

### 5.6.2 *Samenstellen Excel-bestanden met de gegevens in tabelvorm*

In de Gegevenscatalogus van het BRO DGM model is een aantal entiteiten en attributen gedefinieerd waarvan de gegevens in tabelvorm worden uitgeleverd. Het betreft gegevens over de versiehistorie van het model en de modelgebieden, boringen, boorbeschrijvingen en interpretaties, en referentielijsten. Voor een formele definitie van de gegevens wordt verwezen naar de Gegevenscatalogus van het BRO DGM model.

De gegevens in de Excel-sheets hebben betrekking op de actuele versie van het modelgebied.

Tabel 5.2 Bestanden met model, modelgebied en modelversie.

Naam in Gegevenscatalogus	Excel-sheet (.xlsx)	Toelichting
Model	DGM_MODEL	Naam, versienummer, datum ingang en datum einde van de actuele en historische versies van het BRO DGM model. De actuele versie heeft geen datum einde.
Modelgebied	DGM_MODEL_AREA	Naam, versienummer, datum ingang en datum einde van de actuele en historische versies van de BRO DGM modelgebieden. De actuele versie van een modelgebied heeft geen datum einde.
Modelsamenstelling	DGM_MODEL_COMPOSITION	Koppeling van modelgebieden en versies aan model en versies.

Deze tabellen worden met de hand samengesteld.

Tabel 5.3 Bestanden met boringen, boorbeschrijvingen en interpretaties.

Naam in Gegevenscatalogus	Excel-sheet (.xlsx)	Toelichting
Geïnterpreteerde boorbeschrijving	DGM_BOREHOLE	Boringen van modelgebied, met boornummer, (x,y)-coördinaten in RD, hoogte in mm t.o.v. NAP en einddiepte in mm gemeten langs de boring
Boorbeschrijvings-Interval	DGM_LTH_INTERVAL	Boornummer, top en basis van het interval in mm gemeten langs de boring, boorbeschrijving in gecodeerde vorm volgens SBB / NEN 5104
Geïnterpreteerd geologische eenheid interval	DGM_STR_INTERVAL	Boornummer, top en basis van het interval in mm gemeten langs de boring, code van de geïnterpreteerde geologische eenheid

Deze tabellen worden geautomatiseerd (Python-scripts) samengesteld.

Tabel 5.4 Referentielijsten.

Naam in Gegevenscatalogus	Excel-sheet (.xlsx)	Toelichting
Referentielijst geologische eenheid	REF_DGM_STR_UNIT	Code, omschrijving, volgnummer, nummer in het lagenmodel en RGB-kleurcodering van de in DGM voorkomende geologische eenheden

Deze deelprocesstap is volledig geautomatiseerd middels pythonscripts.

### 5.6.3 *Publicatie in ArcGIS formaat*

In deze stap worden alle 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 een beperking kent in de lengte van de bestandsnaam. De conversie is geautomatiseerd met een combinatie van Python en ArcGIS.

Uit de geologische interpretatie van de boorbeschrijvingen wordt een bestand samengesteld dat per boring, per eenheid aangeeft wat de top, dikte en basis van de eenheid in de boring is. Op basis van dit bestand worden per geologische eenheid twee aparte bestanden samengesteld. Het eerste bestand is een bestand met de boringen waarin de geologische eenheid is aangetroffen. Voor elke boring worden hier de volgende attributen weggeschreven:

- Boornummer;
- Locatie (x, y);
- Maaiveldhoogte;
- Einddiepte boring;
- Top van de eenheid;
- Dikte van de eenheid;
- Basis van de eenheid;
- Indicatie of de eenheid volledig doorboord is of niet.

In het tweede bestand, met boringen waarin de eenheid niet is aangetroffen, worden alleen het boornummer en locatie (x, y) weggeschreven.

Boven beschreven werkzaamheden zijn geautomatiseerd met behulp van Python. De gemaakte bestanden zijn csv-bestanden. Deze bestanden worden vervolgens middels Pythonscripts geconverteerd naar ESRI shapefiles.

Nadat alle voorbereiding voor de publicaties zijn uitgevoerd, wordt er één ArcMap document (mxd) aangemaakt waarin alle rasterkaarten en de shapefiles met de boorgegevens en breuken worden opgenomen. Om deze overzichtelijk te houden, wordt voor iedere geologische eenheid een aparte laag (layer) aangemaakt. De eerste layer in het ArcMap document geeft de volgende algemene, ondersteunende informatie:

- Overzicht gebruikte boringen;
- Kaartbladindeling (conform de boornummerindeling);
- Modelgebied;
- Maaiveld- en waterbodemoogtekaart.

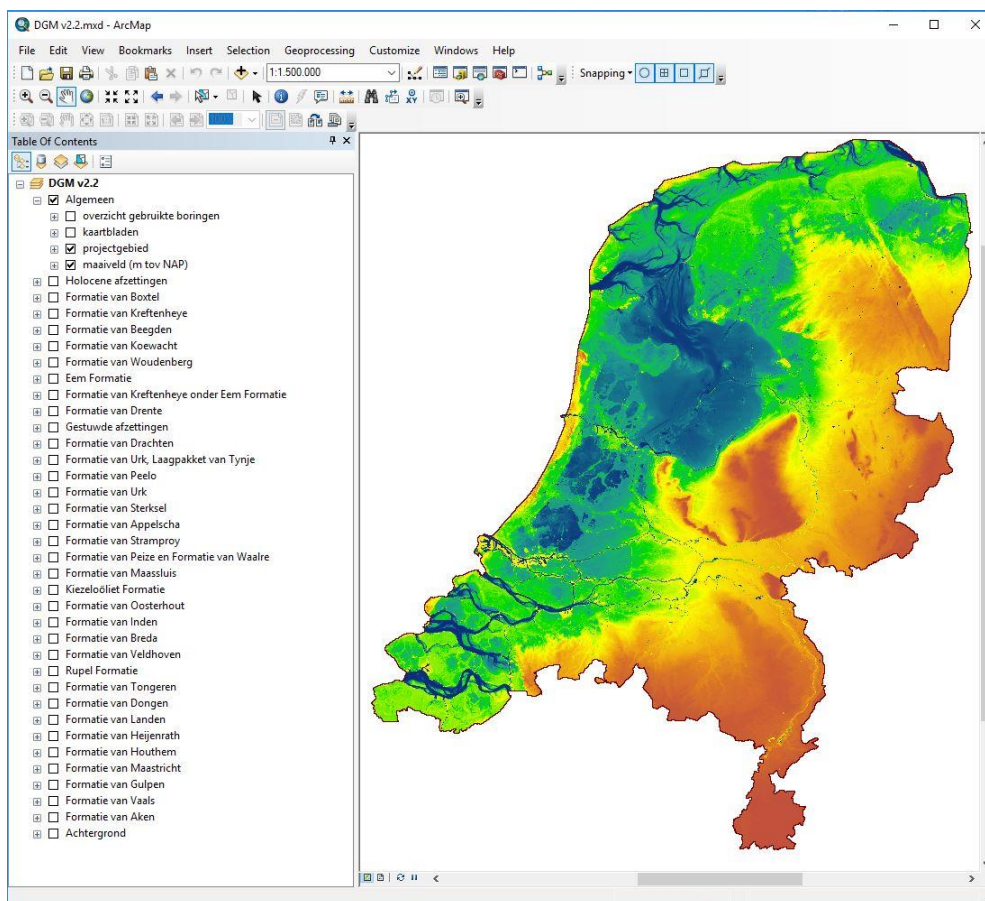
De daarop volgende layers bevatten op volgorde van ondiep naar diep, de data van de verschillende geologische eenheden. Iedere layer bezit de volgende data:

- Boringen aanwezig;
- Boringen afwezig;
- Breuken welke werkzaam zijn in de basis van de eenheid;
- Raster van de top van de geologische eenheid in meter t.o.v. NAP;
- Raster van de dikte van de geologische eenheid in meter;
- Raster van de basis van de geologische eenheid in meter t.o.v. NAP;
- Raster met de standaardafwijking van de top in meter;

- Raster met de standaardafwijking van de dikte in meter;
- Raster met de standaardafwijking van de basis in meter;
- Raster met de kans op voorkomen.

De rasters en de shapefiles binnen de layer worden voorzien van de juiste legenda (kleurenschalen en symbolen) en teksten.

Het maken van de ArcMap documenten is deels geautomatiseerd middels Python scripting, maar deels ook nog een handmatige processtap.



Figuur 5.39 Het ArcMap document zoals deze wordt uitgeleverd.

#### 5.6.4 Samenstellen ZIP-bestand

Alle in de voorgaande paragrafen beschreven Excel, ArcGIS en CSV-gegevens wordt opgenomen in één ZIP-bestand. Aan dit zipbestand wordt tevens nog een aantal documenten toegevoegd waaronder dit Totstandkomingsrapport.

In de naamgeving van het ZIP-bestand is het doel, de modelnaam en de versieaanduiding (LV\_BRO\_DGM\_v02r2.zip) verwerkt. Hierdoor is altijd te herkennen met welk model en welke versie gewerkt wordt.

De laatste stap is het aanbieden van het ZIP-bestand aan de *Landelijke Voorziening*. Deze is er voor verantwoordelijk dat het BRO DGM model in registratie wordt genomen waarna het model via DINOloket en PDOK voor de gebruiker beschikbaar komt.



## 6 Literatuuropgave

Bosch, J.H.A., 2000. Standaard Boor Beschrijvingsmethode, Versie 5.1. NITG-TNO Rapport 00-141-A, 106 p. Beschikbaar op: <https://www.grondwatertools.nl/boringen>

Chilès, J.-P. & Delfiner, P., 2012. Geostatistics – Modeling Spatial Uncertainty. Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 699 p.

Felder, W.M. & Bosch, P.W. (2000). *Krijt van Zuid-Limburg: deel 5, Geologie van Nederland*. Utrecht: Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.

Gunnink, J.L., Maljers, D. & Hummelman, H.J., 2010. *Quantifying uncertainty of geological 3D layer models, constructed with a-priori geological expertise*. Utrecht: Geological Survey of the Netherlands.

Gunnink, J.L., Maljers, D., Van Gessel, S.F., Menkovic, A. & Hummelman, H.J., 2013. Digital Geological Model (DGM): a 3D raster model of the subsurface of the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences* 92, p.33-46. Beschikbaar op DINOloket: <https://www.dinoloket.nl/meer-weten-over-dgm>

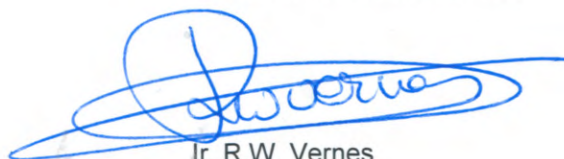
TNO, 2013. Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond, versie 2013. Beschikbaar op DINOloket: <https://www.dinoloket.nl/nomenclator-ondiep>.

## 7 Ondertekening

Utrecht, december 2019

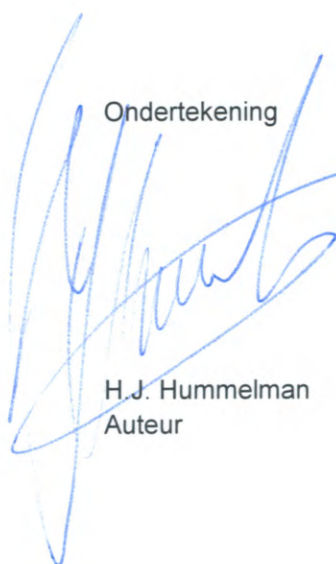
TNO

Naam en paraaf tweede lezer



Ir. R.W. Vernes

Ondertekening



H.J. Hummelman  
Auteur

Autorisatie vrijgave



Dr. M.J. van der Meulen  
Research manager