

Totstandkomings- rapport GeoTOP - Regiodeal Groene Hart

TNO 2024 R11217 – 1 juni 2024

Totstandkomings-rapport GeoTOP - Regiodeal Groene Hart

Auteurs	Reinder Reindersma Chris Heerema Anuska Kaliar Romée Kars Kay Koster Bart Meijninger Jan Stafleu Tessa Witteman
Rubricering rapport	TNO Public
Aantal pagina's	44 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	0
Projectnaam	Regiodeal - P42 Bodemdaling Groene Hart
Projectnummer	060.42353

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	4
1 Inleiding.....	5
1.1 Doel van het rapport.....	5
1.2 Leeswijzer	6
1.3 Gerelateerde documenten.....	6
1.4 Relatie met GeoTOP.....	7
2 Algemene beschrijving van het model.....	8
2.1 Projectgebied en GeoTOP-modelgebieden.....	8
3 Uitgangspunten en randvoorwaarden, richtlijnen en standaarden.....	9
3.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden	9
4 Brongegevens.....	10
4.1 DINO geologische booronderzoeken.....	10
4.2 UU geologische booronderzoeken.....	11
4.3 BRO geotechnisch sondeonderzoek	11
4.4 Maaiveld- en waterbodemoogten.....	12
4.5 Bronbestanden voor Antropogene afzettingen (AAOP).....	12
4.6 Bronbestanden Hollandveen Laagpakket (NIHO).....	16
4.7 Paleografie van de Rijn-Maas Delta (2015).....	17
4.8 Top Pleistoceenkaart (2021).....	18
5 Procesbeschrijving algemeen	19
5.1 Datavoorbereiding.....	19
5.2 Interpretatie	21
5.3 Lagenmodellering.....	21
5.4 Parametrisatie.....	22
6 Conceptueel model Groene Hart	26
6.1 Modelgebied	26
6.2 Stratigrafisch relatiediagram.....	26
6.3 Modeleenheden	27
6.4 Geologische eenheden.....	27
7 Uitgeleverde bestanden.....	34
7.1 Basisgegevens.....	34
7.2 Lagenmodel.....	34
7.3 Voxelman35	35
8 Resultaten	36
8.1 Verbeteringen uit het projectplan.....	36
8.2 Overige verbeteringen.....	40
8.3 Openstaande punten.....	41
Referenties	42
Ondertekening.....	44

1 Inleiding

1.1 Doel van het rapport

Dit totstandkomingsrapport geeft een beschrijving van de realisatie van het ondergrondmodel van het Groene Hart: het beschrijft wat het model is, op welke brongegevens het is gebaseerd en hoe het gemaakt is.

Het model is speciaal vervaardigd voor de Regio Deal Bodemdaling Groene Hart. In deze Regiodeal werken rijk, regio en kennisinstututen samen aan de aanpak voor het omgaan met bodemdaling. Deltares is verantwoordelijk voor kennisontwikkelingsproject #42 – *Voorspelling bodemdaling en ondergrondmodel Groene Hart*, waarvoor dit model is gemaakt.

De totstandkoming van het Regiodeal-model lijkt heel sterk op de algemene wijze waarop de laatst opgeleverde GeoTOP-gebieden zijn gemaakt, die onderdeel zijn van de Basis Registratie Ondergrond (BRO). Voor de meeste beschrijvingen kan daarom worden volstaan met een verwijzing naar een eerder geschreven totstandkomingsrapport, namelijk *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP met nieuwe methodiek lagenmodellering (Stafleu et al., 2020)*. Dit rapport gaat uit van het modelgebied Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg, waarin voor het eerst een nieuwe, met het ondergrondmodel DGM geïntegreerde methodiek voor de lagenmodellering is gebruikt (DGM+). Deze nieuwe methodiek werd nog niet toegepast in de eerdere GeoTOP-modelgebieden Zuid-Holland en Rivierengebied die beide overlappen met het Regiodeal-projectgebied.

Een belangrijk verschil tussen de oude en nieuwe methodiek is de manier waarop de lithoklassen (grondsoorten) in het voxelmodel worden gesimuleerd. Deze nieuwe werkwijze is uitgebreid beschreven in het aanvullende rapport *R12127 Totstandkomingsrapport GeoTOP aanvullingen bij versie v1.5 (Stafleu et al., 2022b)*. Belangrijke aanvullende en nieuwe onderdelen binnen dit project zijn de toepassing van sonderingen en de parametrisatie van de veenvoxels van het model.

Tabel 1.1 geeft een overzicht van eerder gemodelleerde gebieden en de bijbehorende documentatie.

Tabel 1.1: Modelgebieden en documentatie

Rapport	Modelgebied
Dit rapport	Regiodeal Groene Hart
R10758 2020 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering	Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg
R12127 2022 Totstandkomingsrapport GeoTOP - aanvullingen bij versie v1.5	Zeeland en Goeree-Overflakkee
R11636 2023 Totstandkomingsrapport GeoTOP - aanvullingen bij versie v1.6	Almere en zuidelijk Flevoland

1.2 Leeswijzer

Dit rapport gebruikt grotendeels dezelfde hoofdstukindeling als rapport *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering (Stafleu et al., 2020)*. Per hoofdstuk is aangegeven welke delen ten opzichte van het genoemde rapport ongewijzigd zijn gebleven. Die delen zullen in dit rapport niet worden herhaald.

Het rapport start na deze inleiding met een algemene beschrijving van het model gevolgd door een beschrijving van de verschillende onderdelen ervan: geïnterpreteerde boringen en sonderingen, het lagenmodel met toppen en basissen van geologische eenheden en het voxelmodel met geologische en lithologische kenmerken (hoofdstuk 2). Dit hoofdstuk beschrijft ook het doel, gebruik en beperkingen van het model.

Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de belangrijkste uitgangspunten en randvoorwaarden die bij de modellering gehanteerd worden. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 een overzicht gegeven van de gebruikte brongegevens.

Hoofdstuk 5 geeft een algemene beschrijving van het proces waarmee het Regiodeal-model is gemaakt. Dit proces bestaat uit 5 werkprocessen: 1) Datavoorbereiding; 2) Interpretatie; 3) Lagenmodellering; 4) Voxelmodellering en 5) Parametrisatie.

Hoofdstuk 6 bevat een samenvatting van het conceptueel model van het Regiodeal-projectgebied en beschrijft de geologische modeleenheden en hun onderlinge stratigrafische relaties.

Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de opgeleverde bestanden en in hoofdstuk 8 worden de resultaten besproken. Het rapport wordt afgesloten met een referentielijst en de ondertekening.

1.3 Gerelateerde documenten

Een wetenschappelijke publicatie over GeoTOP Zeeland gaat uitvoerig in op de gebruikte stochastische interpolatietechnieken (Stafleu et al., 2011). Het artikel behandelt echter een eerdere versie van het modelgebied en is op een aantal punten verouderd. Een recente wetenschappelijke publicatie met up-to-date informatie over het maakproces van GeoTOP inclusief voorbeelden van toepassingen is te vinden in *Totstandkomingsrapport GeoTOP – aanvullingen bij versie v1.5 (2022)* en *Totstandkomingsrapport GeoTOP – aanvullingen bij versie v1.6 (2023)*.

Andere, met GeoTOP verwante ondergrondmodellen van TNO Geologische Dienst Nederland zijn *DGM (Hummelman et al., 2019a; Gunnink et al., 2013)*, *REGIS II (Hummelman et al., 2019b; Vernes & van Doorn, 2005)*, *NL3D (<https://www.grondwatertools.nl/>)* en *Delfstoffen Online (Van der Meulen et al., 2005)*. Een vergelijking tussen GeoTOP en Delfstoffen Online is te vinden in *Maljers et al. (2015)*.

De gebruikte methodiek voor de parametrisatie van het model wordt uitvoerig besproken in het artikel *Three-dimensional distribution of organic matter in coastal-deltaic peat: Implications for subsidence and carbon dioxide emissions by human-induced peat oxidation* (Koster et al., 2018) en *3D characterization of Holocene peat in the Netherlands – Implications for coastal-deltaic subsidence* (Koster, 2017).

1.4 Relatie met GeoTOP

In het kader van de Regiodeal Bodemdaling Groene Hart is het Holocene deel van GeoTOP vernieuwd als een op zichzelf staand model. Het Regiodeal-model is geen onderdeel van het landelijke BRO GeoTOP-model, maar in de komende jaren zal er gewerkt worden aan de integratie van beide modellen. Het Regiodeal-model zal daarom niet beschikbaar zijn via BRO- en DINOket.

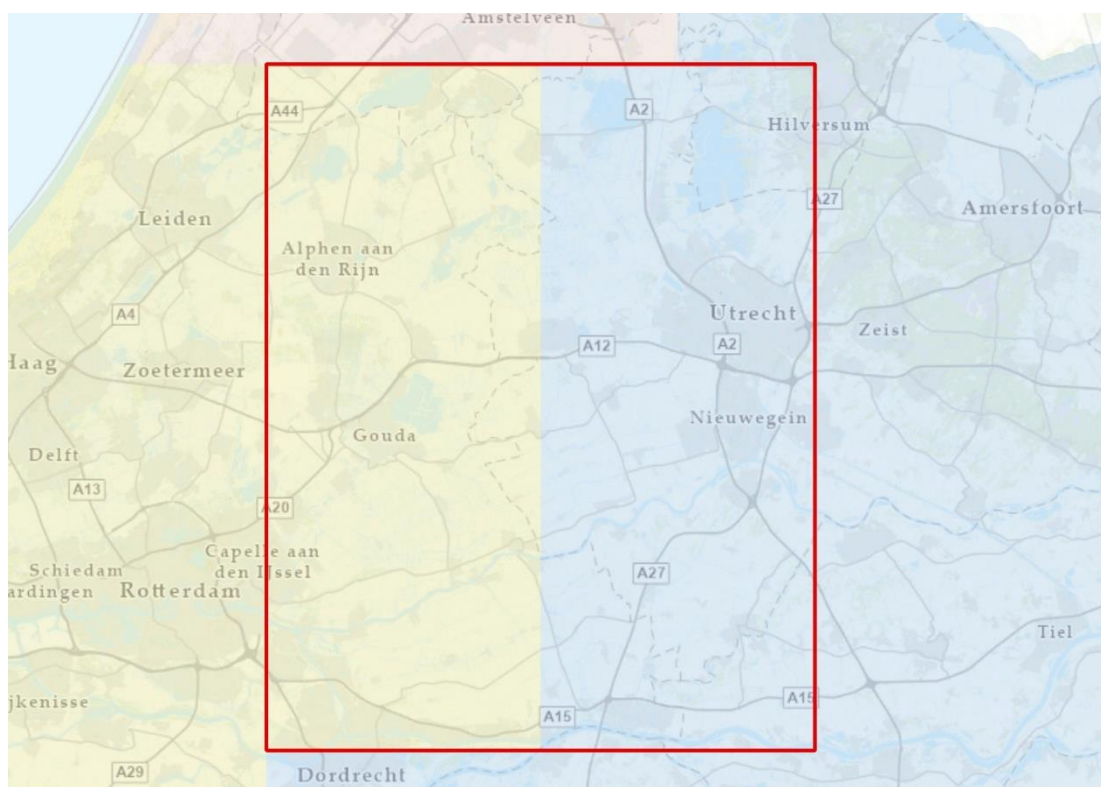
De totstandkoming van het Regiodeal-model lijkt heel sterk op de algemene wijze waarop de laatst opgeleverde GeoTOP-gebieden zijn gemaakt, die onderdeel zijn van de Basis Registratie Ondergrond (BRO). De kwaliteitscontrole (QC) voor het Regiodeal-model is daarom op dezelfde wijze uitgevoerd als voor de BRO-modellen.

2 Algemene beschrijving van het model

Voor de algemene beschrijving van het model GeoTOP wordt verwezen naar hoofdstuk 2 in het rapport *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering*.

2.1 Projectgebied en GeoTOP-modelgebieden

Het projectgebied is eerder gemodelleerd als onderdeel van twee verschillende GeoTOP-modelgebieden (Figuur 2.1). Het westelijk deel als onderdeel van het modelgebied Zuid-Holland (geel) en het oostelijk deel als onderdeel van modelgebied Rivierengebied (blauw). In het noorden grenst het aan GeoTOP modelgebied Noord-Holland (rood).



Figuur 2.1: Regionaal Groene hart projectgebied en GeoTOP modelgebieden

3 Uitgangspunten en randvoorwaarden, richtlijnen en standaarden

Voor de algemene GeoTOP uitgangspunten en randvoorwaarden, richtlijnen en standaarden wordt verwezen naar hoofdstuk 3 in het rapport *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering*. Waar dit afwijkt voor dit model volgt de omschrijving hieronder.

3.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden

In het kader van de Regiodeal Bodemdaling Groene Hart is het Holocene deel van GeoTOP vernieuwd als een op zichzelf staand model binnen het vastgestelde projectgebied, zoals beschreven in hoofdstuk 2. Het model is gemaakt in opdracht van Deltares voor Regiodeal. Het model zal in eerste instantie alleen aan Deltares worden opgeleverd en niet zonder toestemming worden verstrekt aan derde partijen.

Voorafgaand aan de start van het project zijn een aantal doelstellingen vastgelegd, die worden beschreven in tabel 3.1. De codes in de tabel verwijzen naar de codes die worden gebruikt in het Regiodeal-projectplan.

Tabel 3.1: Doelstellingen van Regiodeal # 42 die betrekking hebben op het ondergrondmodel

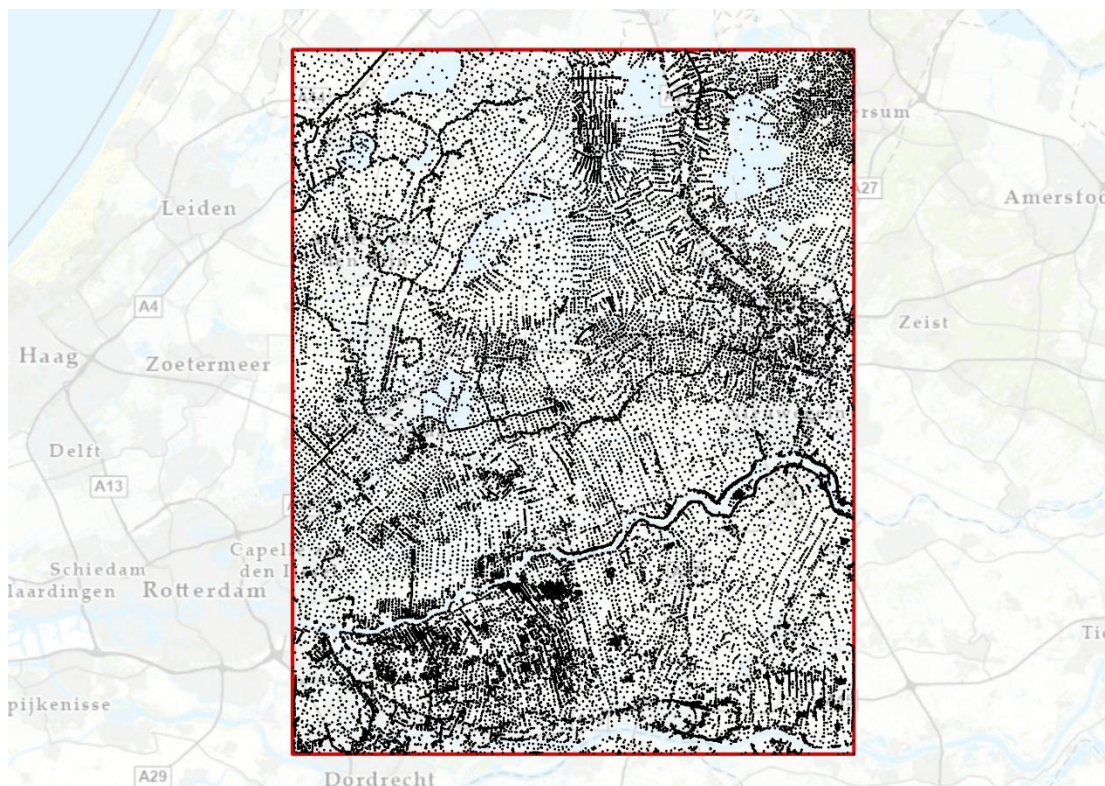
Onderdeel	Omschrijving
D1A.1	Verbeterde kartering van de veenverbreiding (Hollandveen Laagpakket en Basisveen Laag) op basis van de nieuwste geologische inzichten en nieuwe data in de vorm van sonderingen en nieuwe beschikbaar gekomen boorbeschrijvingen in DINO.
D1A.2	Herziene stratigrafische en lithoklasse-interpretatie van de Holocene afzettingen in boorbeschrijvingen van DINO.
D1A.3	Stratigrafische en lithoklasse-interpretatie van sonderingen in de BRO in aanvulling op de boorbeschrijvingen.
D1A.4	Nieuw lagenmodel van de Holocene afzettingen, inclusief de veenlagen binnen het Hollandveen Laagpakket en de Basisveen Laag.
D1A.5	Nieuw voxelmodel van de lithoklassen van de Holocene eenheden.
D1A.6	Verbeterd maaiveldbestand gebaseerd op AHN2 en waar mogelijk op AHN3.
D1B.1	Voxelmodel waarvan de veenvoxels zijn voorzien van de aanvullende parameters: organisch stofgehalte, klastische bijmenging en porositeit, uitgedrukt als volumepercentages; cf. het proefschrift van Koster (2017).

4 Brongegevens

Voor een uitgebreide beschrijving van de bij het maken van GeoTOP gebruikte brongegevens wordt verwezen naar hoofdstuk 4 in het rapport *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering*. Hieronder worden bijzonderheden met betrekking tot de brongegevens van Regiodeal vermeld.

4.1 DINO geologische booronderzoeken

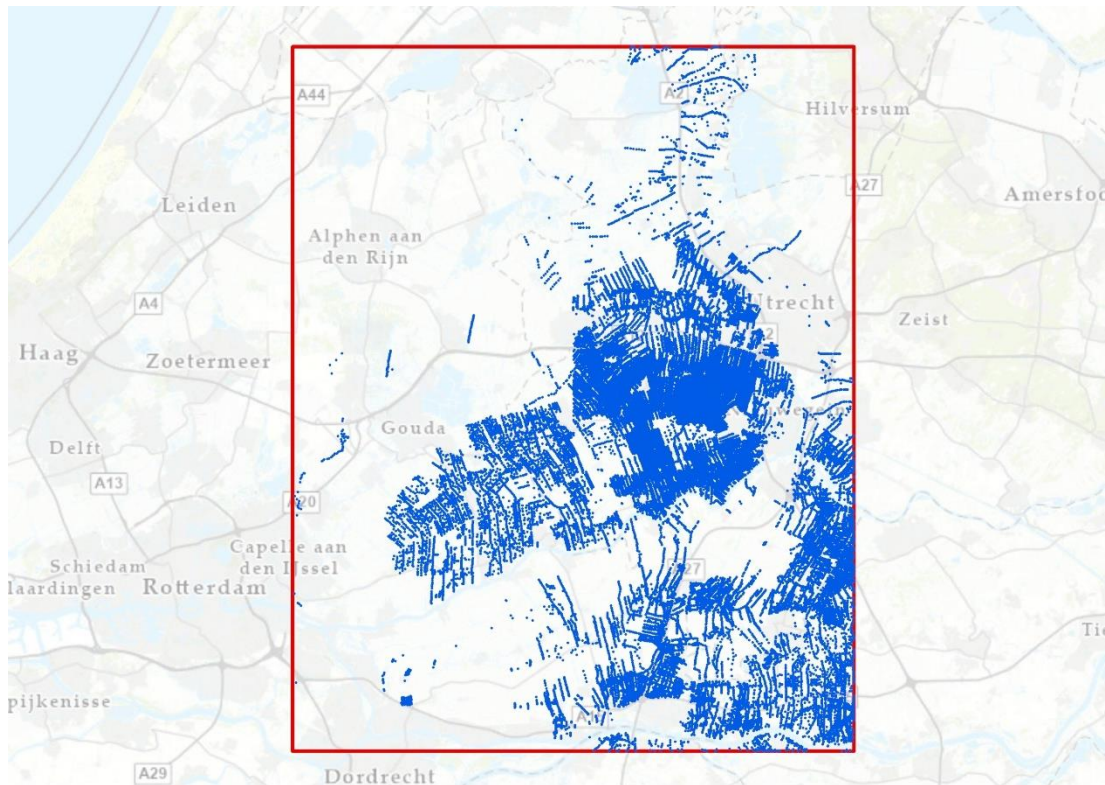
Verreweg de belangrijkste gegevensbron voor het model zijn de geologische booronderzoeken (boorbeschrijvingen) met bijbehorende lithostratigrafische interpretaties in de DINO database. DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond en is de landelijke centrale opslag voor geowetenschappelijke gegevens over de diepe en ondiepe ondergrond. Omdat de boorbeschrijvingen in DINO een gestandaardiseerde coderingsmethode volgen (*Standaard Boor Beschrijvingsmethode; Bosch, 2000*), is het mogelijk om op geautomatiseerde wijze grote hoeveelheden boorbeschrijvingen te analyseren en interpreteren. De dataset omvat zowel handboringen (5 - 10 m diep) als mechanisch uitgevoerde boringen (meestal 20 m of dieper). In het projectgebied waren bij aanvang van de modellering circa 39.500 boorbeschrijvingen in DINO aanwezig.



Figuur 4.1: Locatie van gebruikte BRO geologische booronderzoeken

4.2 UU geologische booronderzoeken

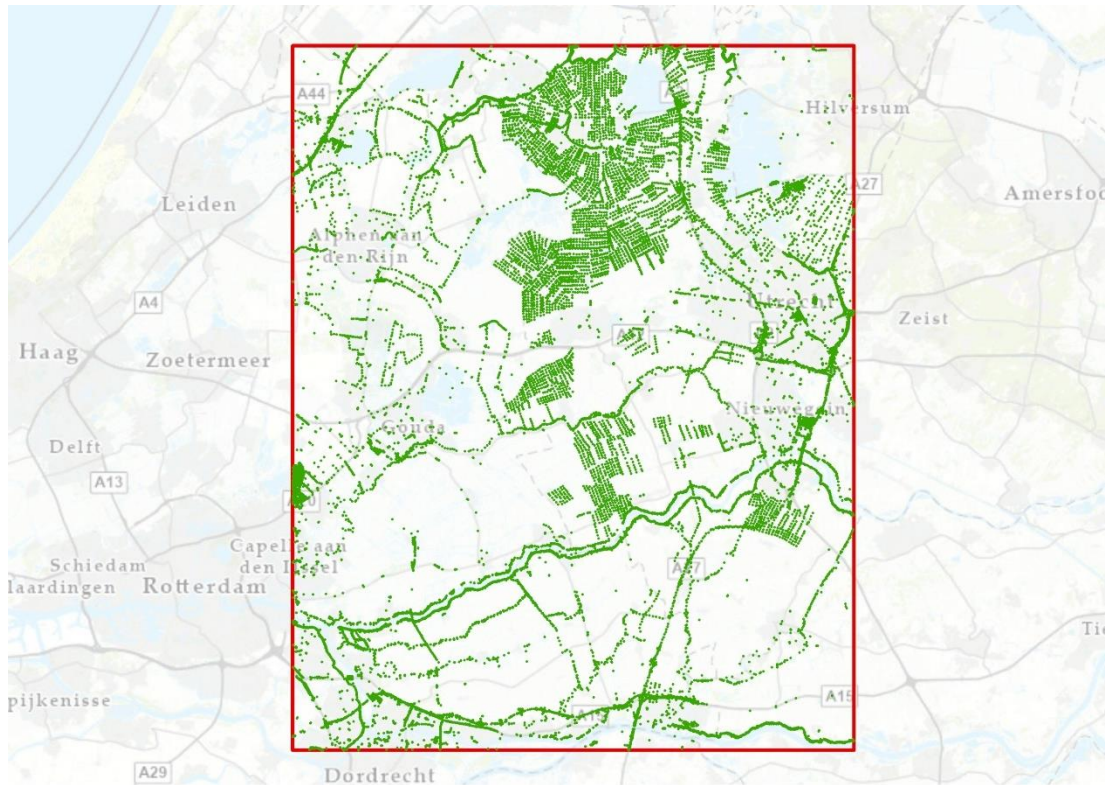
Naast de gegevens uit de DINO databank, is er ook gebruik gemaakt van de uitgebreide Laaglandgenese databank van de Universiteit Utrecht (UU), waarin boorbeschrijvingen staan die in de loop der jaren zijn verzameld. Deze boringen zijn veelal met de hand gedaan en hebben daardoor een beperkt dieptebereik, maar leveren desalniettemin waardevolle ondergrondinformatie op, omdat zij in groot detail beschreven zijn. Het betreft de meest recente publiekelijk beschikbare databank (Cohen, 2017), aangevuld met actuele UU-boringen die nog niet zijn gepubliceerd. Deze nieuwste versie van de database is meegenomen in de modellering. Voor dit project zijn ongeveer 48.500 boringen van de UU gebruikt.



Figuur 4.2: Locatie van gebruikte boringen uit de UU Laaglandgenese databank

4.3 BRO geotechnisch sondeonderzoek

In het Regiodeal gebied zijn als aanvullende dataset ruim 25.500 geotechnische sondeonderzoeken (sonderingen) uit de BRO gebruikt, die nog niet eerder zijn ingezet om dit gebied te modelleren. Sonderingen leveren primair informatie over eigenschappen die interessant zijn vanuit geotechnisch oogpunt, zoals de sterkte van de ondergrond. Wat meer verscholen in de sondecurves ligt ook informatie over lithologische kenmerken, een potentieel zeer waardevolle bron van informatie voor de geologische modellering.



Figuur 4.3: Locatie van gebruikte BRO sonderingen. Over het algemeen worden sonderingen gebruikt voor bouw- en infrastructurele projecten, wat goed terug te zien is in hun ruimtelijke spreiding, langs bijvoorbeeld dijken en wegen.

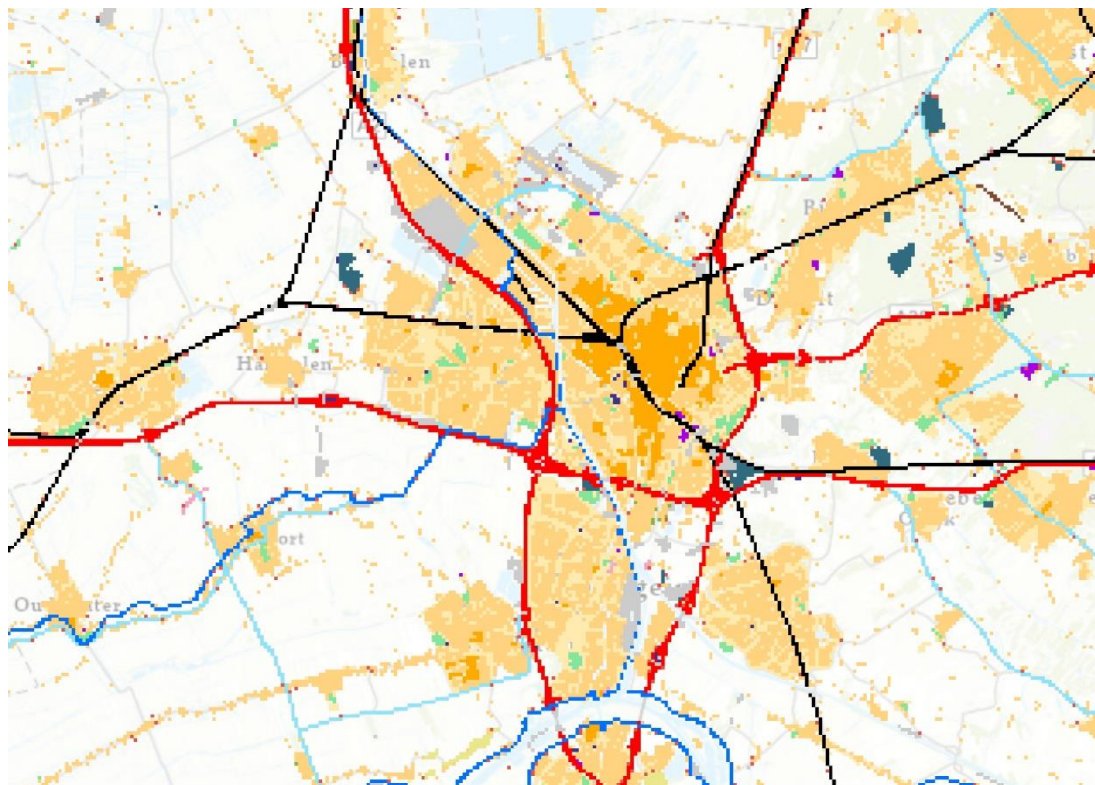
4.4 Maaiveld- en waterbodemoogten

De bovenkant van de het model wordt gevormd door een combinatie van maaiveld (op het land) en waterbodem (waaronder de bodems van de grote rivieren). Het maaiveld wordt grotendeels afgeleid uit het AHN (Algemeen Hoogtemodel Nederland). Het AHN geeft echter geen informatie over de waterbodems, maar deze kunnen worden afgeleid uit bathymetrische metingen (de zogenaamde “vaklodgingen”) van Rijkswaterstaat en diverse provincies, waterschappen en havenbedrijven. Voor Regiodeal is gebruik gemaakt van dezelfde versie van het maaiveld- en waterbodemoogtebestand dat ook voor de GeoTOP modellen Zeeland & Goeree-Overflakkee en Almere is gebruikt, dat wil zeggen dat gebruik gemaakt is van AHN3. Eerdere modellen binnen het Regiodeal projectgebied gebruikten een hoogtemodel gebaseerd op AHN1. Meer informatie is te vinden in het rapport *R12127 Totstandkomingsrapport GeoTOP aanvullingen bij versie v1.5*.

4.5 Bronbestanden voor Antropogene afzettingen (AAOP)

De verbreiding van de Antropogene afzettingen (modeleenheid AAOP) is op een nieuwe manier tot stand gekomen. De verbreiding wordt gebaseerd op een combinatie van Top10NL, de BRO Geomorfolologische Kaart, de BRO Bodemkaart en de Dijkenkaart. In eerdere modelgebieden werd de AAOP-verbreiding afgeleid uit het Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN5), aangevuld met datasets van autosnelwegen en de dijkenkaart. Door de nieuwe

methode kan er meer onderscheid worden gemaakt in Antropogene afzettingen, waardoor elke categorie op een unieke wijze kan worden gemodelleerd.



Figuur 4.4: Het voorkomen van verschillende soorten AAOP. in de omgeving van Utrecht. De hoeveelheid kleuren geeft een indruk van het aantal klassen dat onderscheiden kan worden met de nieuwe methode. Onder andere verschillende soorten bebouwing (oranje tinten), wegen (rood), spoorlijnen (zwart) en dijken (blauw).

4.5.1 Topografische basiskaart – Top10NL (2021)

Top10NL is de topografische basiskaart van Nederland en onderdeel van de Basis Registratie Topografie (BRT). De kaart wordt gemaakt en beheerd door het Kadaster. Het is een gedetailleerd digitaal topografisch bestand dat een groot aantal geografische kenmerken weergeeft, waaronder wegen, waterwegen, gebouwen, terreinen en andere topografische elementen. Top10NL wordt regelmatig bijgewerkt om veranderingen weer te geven, zoals nieuwe wijken, wegen, en spoorlijnen. Voor Regiodeal is de versie van Top10NL gebruikt die bij de start van de modellering actueel was (versie november 2021).

Top10NL is opgebouwd uit verschillende thematische lagen, zoals spoorbanen, wegen en terreinen. Binnen deze lagen kunnen op basis van attributen selecties worden gemaakt, die in de modellering worden gebruikt voor het samenstellen van de verbreiding van de antropogene afzettingen (modeleenheid AAOP). Tabel 4.1 geeft de voor AAOP gebruikte lagen weer.

Tabel 4.1: Selecties uit Top10NL, toegevoegd aan de AAOP-verbreiding

Laag	Attribuut	Waarde
SPOORBAANDEEL_LIJN	TYPESPOORBAAN	Trein
WEGDEEL_HARTLIJN	TYPEWEG_1	Autosnelweg Hoofdweg Startbaan; landingsbaan Rolbaan; platform
WEGDEEL_VLAK	TYPEWEG_1	Parkeerplaats P+R Carpool
FUNCTIONEELGEBIED_VLAK	TYPEFUNCTIONEELGEBIED	Stortplaats Verzorgingsplaats Golfterrein Sportterrein; sportcomplex
TERREIN_VLAK	TYPELANDGEBRUIK	Dodenakker Bebouwd gebied Overig
PLAATS_VLAK	TYPEGEBIED	Industriekern Woonkern

Een aantal objecten binnen deze selectie, bijvoorbeeld bruggen over water en afgezonken tunnels, moet vervolgens alsnog worden uitgesloten. Voor eventuele kassen is de aanname dat er op het originele maaiveld geen dikke antropogene laag aanwezig is (Tabel 4.2).

Tabel 4.2: Selecties uit Top10NL, verwijderd uit de AAOP-verbreiding

Laag	Attribuut	Waarde
SPOORBAANDEEL_LIJN	FYSIEKVOORKOMEN_1	Op vast deel van een brug Op beweegbaar deel van brug
WEGDEEL_HARTLIJN	FYSIEKVOORKOMEN_1	Op vast deel van een brug Op beweegbaar deel van brug Westerscheldetunnel
TEREIN_VLAK	FYSIEKVOORKOMEN_1	Op vast deel van een brug Op beweegbaar deel van brug
GEBOUW-VLAK	TYPEGEBOUW_1	Kas; warenhuis

De overige objecten van Top10NL worden beschouwd als landelijk gebied en daarom niet in de AAOP-verbreiding opgenomen.

4.5.2 BRO Geomorfologische kaart (2019)

De Geomorfologische Kaart (versie 2019) is een onderdeel van de BRO en wordt gemaakt door Wageningen Environmental Research (Alterra). De kaart geeft informatie over de verschillende landschapsvormen in Nederland, bijvoorbeeld de ouderdom, het reliëf en de ontstaanswijze. De stedelijke gebieden zijn niet opgenomen in de kaart, maar in de landelijke gebieden worden verschillende soorten kunstmatige landschapsvormen onderscheiden. Voor de verbreiding van AAOP zijn alle kunstmatige ophogingen geselecteerd (Tabel 4.3).

Tabel 4.3: Selecties uit de Geomorfologische kaart, toegevoegd aan de AAOP-verbreiding

Laag	Attribuut	Waarde
Geomorfologische kaart	Landvorm subgroep omschrijving	Plateau-achtige storthoop, opgehoogd, opgespoten terrein of kunstmatig eiland. Terp (wierd) of hoogwatervluchtplaats.

4.5.3 BRO bodemkaart (2018)

De Bodemkaart van Nederland (versie 2018) is evenals de Geomorfologische kaart een onderdeel van de BRO en wordt ook gemaakt door Wageningen Environmental Research (Alterra). De Bodemkaart geeft inzicht in de verschillende bodemtypen en hun eigenschappen tot ongeveer een meter diepte onder het maaiveld. Buiten de bebouwde gebieden worden enkele kunstmatig opgehoogde en opgespoten terreinen onderscheiden, die zijn geselecteerd voor de verbreiding van AAOP (Tabel 4.4).

Tabel 4.4: Selecties uit de Bodemkaart, toegevoegd aan de AAOP-verbreiding

Laag	Attribuut	Waarde
Bodemkaart	Eerste bodemeenheid	Opgehoogd of opgespoten

4.5.4 Dijkenkaart (2014)

De primaire waterkeringen in Nederland zijn vaak dermate groot, dat deze als onderdeel van de eenheid AAOP kunnen worden meegenomen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de kaart "Dijken van Nederland", uitgave 2014 (<http://dutchdikes.net/>). Uit deze kaart wordt een selectie gemaakt van alle primaire waterkeringen en dammen (Tabel 4.5).

Tabel 4.5: Selecties uit de Dijkenkaart, toegevoegd aan de AAOP-verbreiding

Laag	Attribuut	Waarde
Dijkenkaart 2014	TYPE	Primaire dammen en stormvloedkeringen Primaire waterkerende dijken

4.5.5 Handmatige aanpassingen

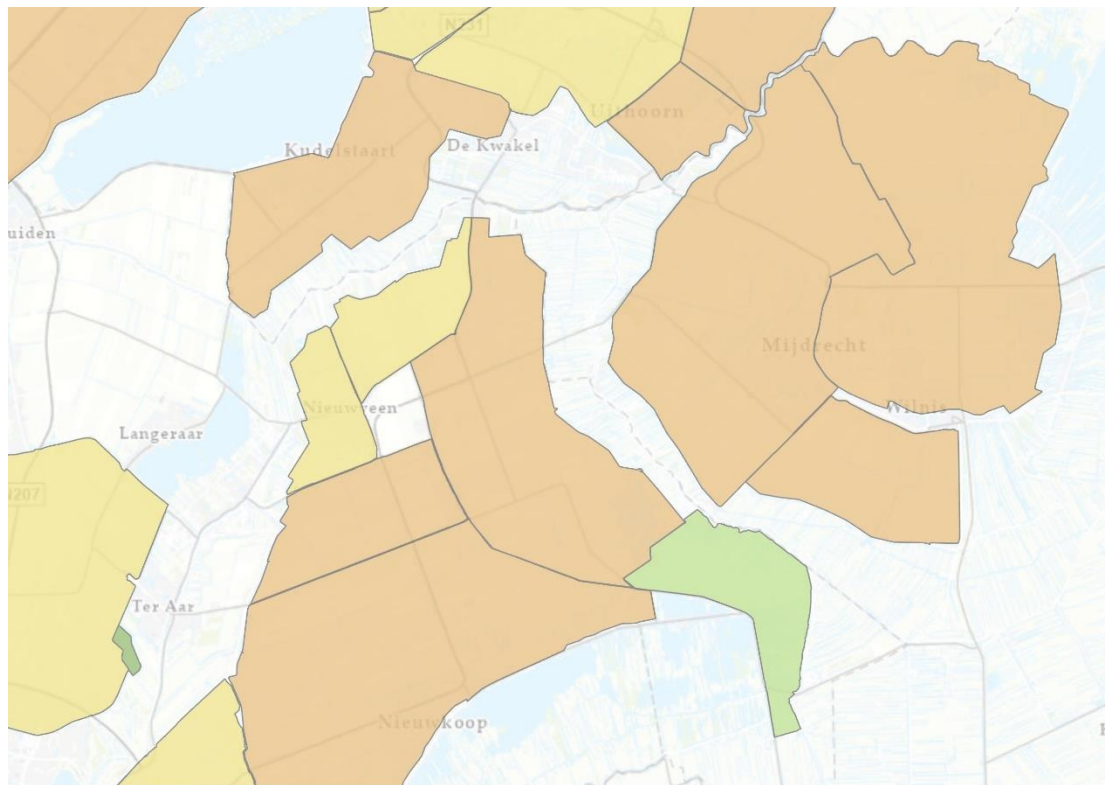
Voor het samenstellen van het maaiveldbestand (paragraaf 4.4) wordt o.a. gebruik gemaakt van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN3). De bronbestanden die gebruikt worden voor het samenstellen van de verbreiding van AAOP zijn in enkele gevallen niet consistent met de informatie uit het AHN. Zo kunnen recente ophogingen zijn opgenomen in het AHN, terwijl deze nog niet zijn verwerkt in één van de andere bronbestanden. Ook kunnen kunstmatige ophogingen recentelijk juist zijn afgegraven. Waar dit bekend is zijn deze gebieden handmatig toegevoegd en verwijderd uit de selectie.

4.6 Bronbestanden Hollandveen Laagpakket (NIHO)

De verbeiding van de Hollandveen Laagpakket, behorende tot de Formatie van Nieuwkoop is voor Regiodeal herzien. Het belangrijkste punt was dat in het oorspronkelijke GeoTOP model geen veen werd gekarteerd in droogmakerijen. In de praktijk is er echter vaak nog restveen te vinden, wat opnieuw handmatig gekarteerd is.

4.6.1 Droogmakerijenkaart (2017)

De droogmakerijenkaart is een bestand van de Rijksdienst voor het Cultureel erfgoed (RCE) gepubliceerd in 2017. Het bevat de landelijke kartering van droogmakerijen zoals die als type zijn gedefinieerd in de NAI Polderatlas, met hun ontstaansperiode en huidige polderpeil. Binnen deze polygonen is gezocht naar restveen.



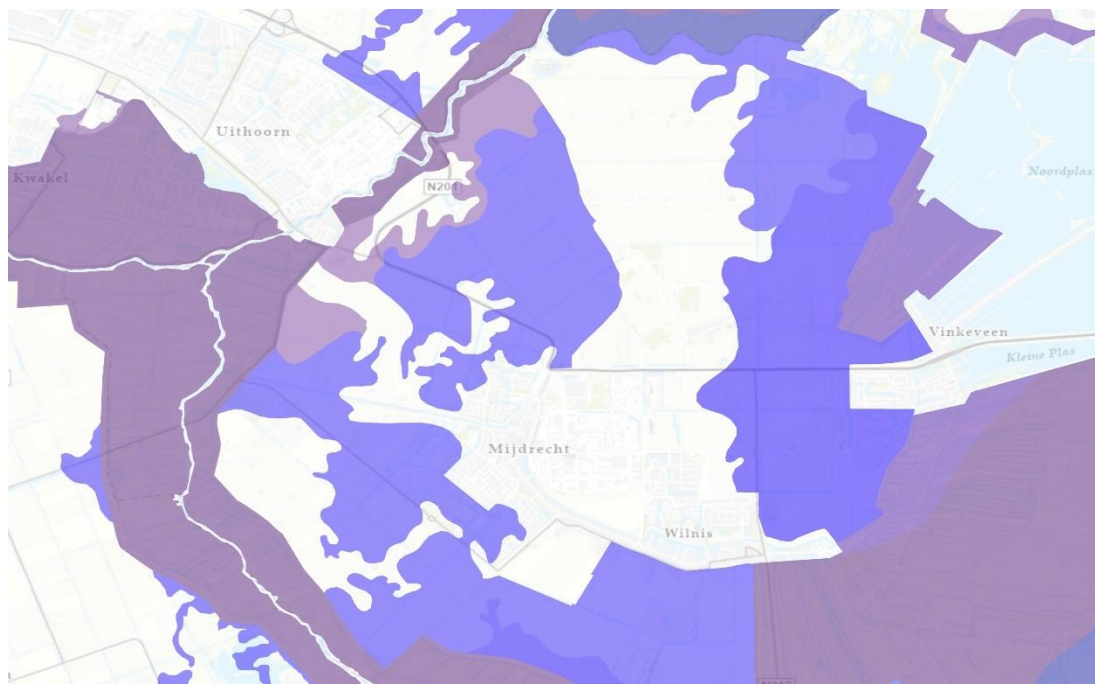
Figuur 4.5: Droogmakerijenkaart in de omgeving van Mijdrecht

4.6.2 BRO Bodemkaart (2018)

Binnen de droogmakerijen is met behulp van de BRO bodemkaart gezocht naar veengronden. Deze polygonen zijn gebruikt als basis en zijn daarna handmatig aangepast op basis van DINO geologische booronderzoeken.

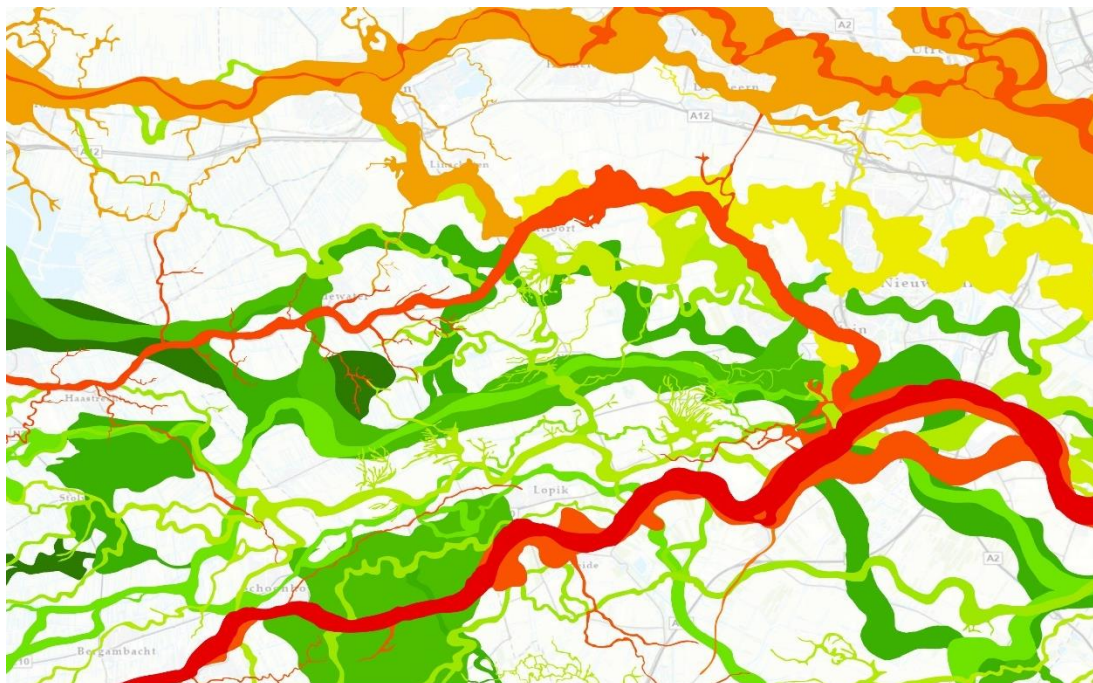
Tabel 4.6: Selecties uit de Bodemkaart, gebruikt voor het karteren van de Hollandveen-verbreiding

Laag	Attribuut	Waarde
Bodemkaart	Groep1	Veengronden

**Figuur 4.6:** Bodemkaart – Veengronden in de buurt van Mijdrecht

4.7 Paleografie van de Rijn-Maas Delta (2015)

Deze dataset bevat de reconstructie van de ontwikkeling van het netwerk van stroomgordels in de Rijn-Maas delta in het Holoceen. De zandbanen zijn belangrijke elementen in de bovenste meters van de ondergrond. Het zijn zandige grondwatervoerende zandbanen die pakketten klei en veen kunnen versnijden. Op de Universiteit Utrecht wordt sinds 1999 een GIS bijgehouden waarin de reconstructie van het rivierennetwerk door de tijd wordt bijgehouden (*K.M. Cohen, UU; Berendsen & Stouthamer, 2001; Berendsen, Cohen & Stouthamer, 2001; 2007*). De gebruikte versie is van 2015.



Figuur 4.7: Paleografie van de Rijn-Maas Delta

4.8 Top Pleistoceenkaart (2021)

De top Pleistoceenkaart uit 2011 is vervangen door een nieuwe versie. De kaart is hoofdzakelijk gebaseerd op oude en nieuwe boordata uit DINO en in beperkte mate op sonderingen. De opvallende zandkoppen op de kaart zijn veelal rivierduinen (donken) waar geen Hollandveen is afgezet. Deze kaart is nog niet publiekelijk vrijgegeven.



Figuur 4.8: Nieuwe top Pleistoceenkaart in de omgeving van Schoonhoven.

5 Procesbeschrijving algemeen

De procesbeschrijving van het model bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Datavoorbereiding
2. Interpretatie
3. Lagenmodellering
4. Voxelmodellering
5. Parametrisatie

In onderdeel (1) wordt voor het Regiodeal-model naast boorbeschrijvingen ook gebruik gemaakt van sonderingen. Het verwerken van deze dataset wordt hieronder beschreven (paragraaf 5.1).

In onderdeel (3) worden nieuwe manieren beschreven om verbreidingen, toppen en basissen van enkele Holocene modeleenheden te modelleren.

In onderdeel (4) is voor het GeoTOP modelgebied Zeeland en Goeree-Overflakkee voor het eerst een nieuwe methodiek voor het simuleren van lithoklassen (grondsoorten) toegepast. Deze methodiek is ook in het Regiodeal-modelRegiodeal-model gebruikt en beschreven in *R12127 Totstandkomingsrapport GeoTOP aanvullingen bij versie v1.5*.

In onderdeel (5) wordt de methodiek beschreven van het parametriseren van het voxelmodel.

Voor de overige onderdelen wordt verwezen naar hoofdstuk 5 in het rapport *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering*.

5.1 Datavoorbereiding

5.1.1 Sonderingen

In het Regiodeal-model zijn sonderingen gebruikt als extra datapunten voor de modellering. Om sonderingen in te kunnen zetten moeten de sondecurves eerst worden vertaald naar GeoTOP-lithoklassen om stratigrafisch geïnterpreteerd te kunnen worden. Voor de vertaling van sondeerwaarden naar lithoklassen is gebruik gemaakt van een Artificieel Neuraal Netwerk (ANN).

Een ANN kan worden ingezet om patronen te herkennen in een grote dataset, maar daarvoor moet het Neurale Netwerk eerst worden getraind. Training van een ANN wordt uitgevoerd door gebruik te maken van dicht bij elkaar gelegen boringen en sonderingen. Daarbij wordt verondersteld dat de gemeten sondeerwaarde hoort bij de lithoklasse in de boring op dezelfde diepte, waardoor het ANN na training in staat is om voor de overige sonderingen een vertaling te maken van sondeerwaarden naar lithoklassen. Om het beste

resultaat te krijgen is het ANN alleen getraind met boor-sondeerparen uit het Regiodeal-projectgebied zelf, waarbij als input is gekeken naar de volgende sondeer-parameters:

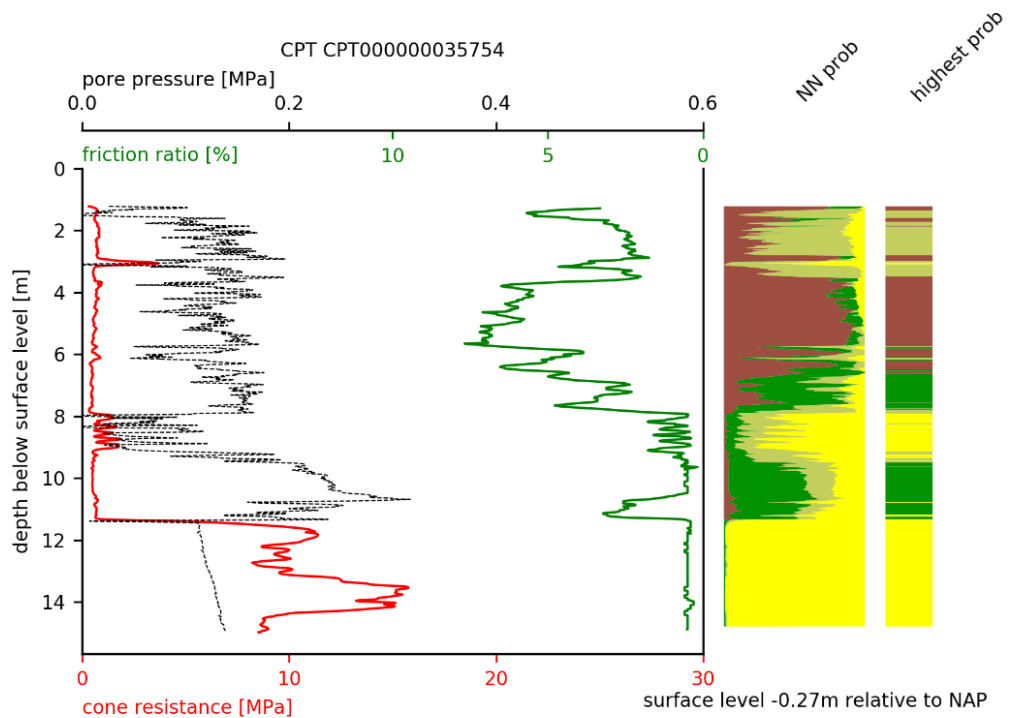
- › Conusweerstand
- › Wrijvingsgetal
- › Waterspanning (indien aanwezig)
- › Diepte t.o.v. oppervlak en NAP

Door het trainen van het ANN kunnen op basis van deze parameters de volgende lithoklassen worden herkend in de overige sonderingen:

- › Veen
- › Klei
- › Kleilig zand/zandige klei
- › Zand*

*In een sondering is de korrelgrootte van zand slecht te herkennen. Daarom zijn de GeoTOP-lithoklassen *fijn zand*, *matig fijn zand*, *grof zand* en *grind* in sonderingen samengebracht tot de gecombineerde lithoklasse *zand*.

Comparison CPT NN interpretation



Figuur 5.1: Voorbeeld van de interpretatie van een sondering naar lithoklasse met het ANN (Dabekaussen et al., 2021)

Nadat de sonderingen zijn ingedeeld in intervallen van verschillende lithoklassen, worden zij als ‘pseudoboringen’ behandeld en samengevoegd met de echte boringen.

5.2 Interpretatie

De gehele dataset aan boringen en sonderingen wordt automatisch stratigrafisch geïnterpreteerd met behulp van de serie scripts. Voor de beschrijving van dit proces wordt verwezen naar *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP met nieuwe methodiek lagenmodellering (Stafleu et al., 2020)*.

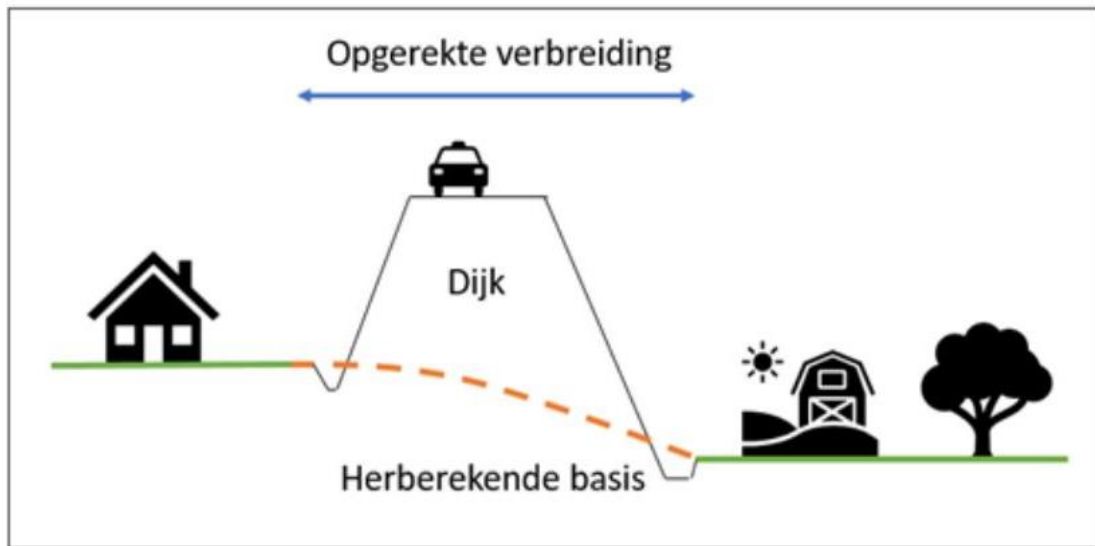
5.3 Lagenmodellering

Hieronder worden alleen de eenheden besproken waarvan de berekeningswijze is aangepast ten opzichte van eerdere modellen.

5.3.1 Antropogene afzettingen

Om de diepteligging van de basis van de antropogene afzettingen (AAOP) te modelleren wordt een grote hoeveelheid geïnterpreteerde boorbeschrijvingen gebruikt. Daarnaast worden ook primaire dijken, storten, autosnelwegen en andere antropogene objecten rechtstreeks in de modellering meegenomen. Er wordt eerst een stuurvlak samengesteld, waarna in combinatie met de boordata het definitieve vlak wordt berekend. Hiervoor worden de volgende stappen genomen:

-) Er wordt een kopie van het maaiveldraster gemaakt. Waar AAOP voor zou moeten komen worden de waarden uit het gekopieerde maaiveldraster verwijderd. Door de lege rastercellen op basis van omliggende rastercellen opnieuw te berekenen, wordt een nieuw vlak gecreëerd dat onder de antropogene objecten doorloopt. (Figuur 5.3). Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen antropogene objecten op land (o.a. wegen, storten, terpen) en objecten die (deels) op de waterbodem kunnen liggen, zoals dijken. Bij de laatste categorie wordt ook de waterbodemhoogte gebruikt voor het herberekenen van de basis van het AAOP.
-) Er wordt aangenomen dat onder bepaalde antropogene objecten altijd een ingegraven fundering aanwezig is (o.a. wegen, spoorlijnen). Het raster met de berekende basis uit stap 2 wordt afhankelijk van het soort object verlaagd met minstens een halve meter.
-) Boringen binnen de antropogene verbreiding waarin geen AAOP is geïnterpreteerd worden vergeleken met het maaiveld. Is de top van de boring lager dan het maaiveldraster ter plaatse, dan wordt de top van de boring als basis voor het AAOP meegenomen. Het verschil tussen top boring en maaiveld is de dikte van het antropogeen. Hiermee worden oudere boringen van voor het aanbrengen van een lokale ophoging, toch in het bepalen van de basis van het AAOP meegenomen.
-) Vervolgens wordt conform de werkwijze bij de overige lagen de basis voor het AAOP berekend op basis van de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen en sonderingen.
-) Er is extra aandacht besteed aan het AAOP in historische binnensteden. Na analyse bleek dat er relatief veel boringen en sonderingen vlak naast of in het water (voornamelijk grachten) zijn gezet. Deze bevatten meestal maar een dun laagje AAOP in vergelijking met de rest van de binnensteden. Deze punten hadden door hun hoeveelheid relatief veel invloed, waardoor het AAOP in de rest van binnesteden te dun werd gemodelleerd. Een deel van deze boringen en sonderingen zijn handmatig uit de selectie verwijderd.



Figuur 5.2: Berekening van de basis AAOP onder o.a. dijken, storten, snelwegen, spoorlijnen en historische binnensteden.

5.3.2 Basisveen Laag

De Formatie van Nieuwkoop, Basisveen Laag (NIBA) is een relatief dunne veenlaag aan de basis van de Holocene eenheden, die over het algemeen niet meer dan een halve meter dik is. In de standaard GeoTOP-methode werd de top van de NIBA afgeleid uit de basissen van de bovenliggende eenheden. Als de basis van deze bovenliggende eenheden te hoog wordt geschat, dan kan dit lokaal zorgen voor een onrealistisch dikke Basisveen Laag. Vanwege de relatief constante dikte van de veenlaag is er in het Regiodeal-model voor gekozen om de top van NIBA te berekenen en de bovenliggende eenheden daarop aan te passen. Dit zorgt ervoor dat de Basisveen Laag geen extreme diktes heeft. Ook wordt op deze wijze de veenlaag minder vaak onterecht weggesneden door bovenliggende eenheden.

5.4 Parametrisatie

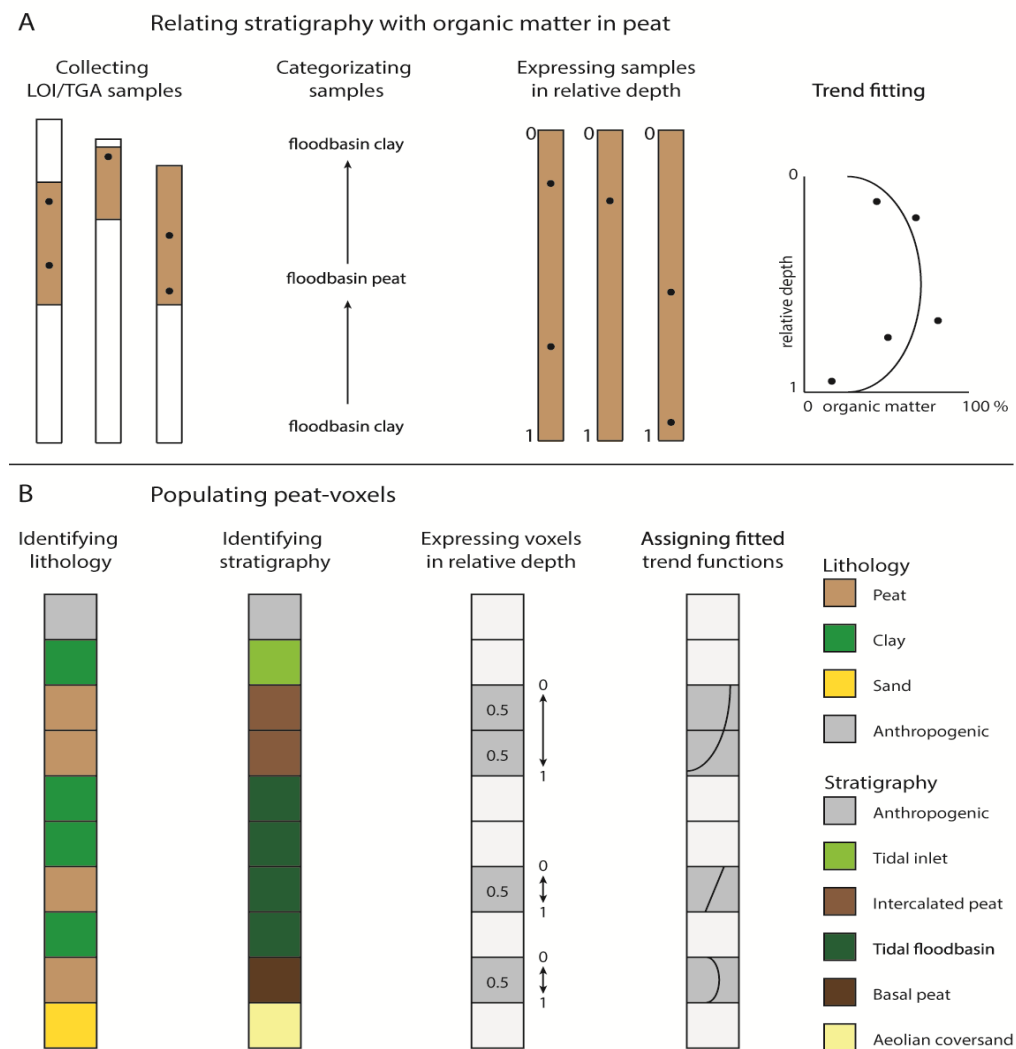
De voxels met lithoklasse ‘veen’ van het model zijn geparametriseerd door hier extra attributen aan toe te kennen. Dit zijn de voxels die lithoklasse ‘veen’ toegekend hebben gekregen voor het attribuut ‘meest waarschijnlijke lithoklasse’. Hierin is de werkwijze van *Koster (2017)* en *Koster et al., (2018)* gevolgd, met enkele uitbreidingen, welke in de volgende sub-paragrafen beschreven worden. De extra voxel attributen hebben betrekking op het organisch stofgehalte en de volumeverhouding organisch en niet-organische stof binnen veenlagen. Dit zijn belangrijke veeneigenschappen die bepalend zijn voor de mate van veen compactie en oxidatie. De toegekende attributen zijn:

- › Organisch stofgehalte aan de top van de voxel.
- › Organisch stofgehalte tussen top en midden van de voxel.
- › Organisch stofgehalte in het midden van de voxel.
- › Organisch stofgehalte tussen midden en basis van de voxel.
- › Organisch stofgehalte aan de basis van de voxel.
- › Volumeverhouding klastisch materiaal binnen de voxel.
- › Volumeverhouding organisch materiaal binnen de voxel.
- › Volumeverhouding niet-vast materiaal binnen de voxel.

5.4.1 Organisch stofgehalte

Het gehalte aan organische stof in een veenlaag is afhankelijk van het afzettingsmilieu waarin de veenlaag is gevormd, alsmede de afzettingsmilieus die de onder- en bovengrenzen van de veenlaag vormen. Verder bepaalt binnen een veenlaag zelf de relatieve diepte het organisch stofgehalte.

De werkwijze van Koster (2017) en Koster et al., (2018) bepaalt van elke veenlaag (verticaal aaneengesloten voxels met lithoklasse ‘veen’) de onder- en boven aangrenzende lithostratigrafische eenheden. Om de dikte van de veenlaag te bepalen worden verticaal aaneengrenzende veenvoxels samengenomen tot één veensequentie. Binnen elke voxel van deze veensequentie wordt op vijf punten de relatieve afstand tot de top van de veensequentie bepaald. Deze afstand dient als input voor een trendfunctie waarmee voor elk van de posities binnen de voxel het gehalte aan organische stof kan worden bepaald.



Figuur 5.3: Schematische weergave van de methode van Koster (2017)

Welke trendfunctie er moet worden gebruikt is afhankelijk van de samenstelling van boven- en onderliggende lagen. Tien klassen zijn uitgebreid beschreven in *Koster et al. (2018)*.

Tabel 5.1: Klassen voor het toekennen van trendfuncties voor het organisch stofgehalte

Klasse	Facies boven	Lithologie boven	Facies onder	Lithologie onder
A	Getijden / fluviatiel	Klei	Eolisch (Pleistoceen)	Zand
B	-	-	Eolisch (Pleistoceen)	Zand
C	Getijden	Klei	Getijden / fluviatiel	Klei
D	Antropogeen	Mix	Getijden	Klei
E	-	-	Fluviatiel	Klei
F	Fluviatiel	Klei	Fluviatiel	Klei
G	Getijden / fluviatiel	Klei	Pleistoceen	Klei
H	Fluviatiel	Zand	Fluviatiel	Klei
I	Eolisch	Zand	Getijden	Zand
J	Getijden	Klei	Fluviatiel	Klei

In het gebied bleken opeenvolgingen voor te komen die niet binnen één van de bovenstaande klassen vielen. Voor deze uitzonderingssituaties is gekeken binnen welke klasse (cf. Tabel 5.1) deze het best zouden kunnen worden opgenomen en zijn de selectiecriteria daarop aangepast. In Tabel 5.2 is per klasse te zien welke extra criteria zijn toegevoegd. De uitbreiding van de klassen is gedaan op basis van expert judgement. De regels in Tabel 5.2 waarvan de klassen gemarkeerd zijn met een * komen overeen met de klassen in Tabel 5.1; het verschil ligt dan in de lithostratigrafische eenheid waarbinnen de ingesloten veenvoxel valt.

Tabel 5.2: Nieuw toegevoegde mogelijkheden voor facies en lithologie per klasse.

Klasse	Facies boven	Lithologie boven	Facies onder	Lithologie onder
C*	Getijden	Klei	Getijden	Klei
C	Getijden	Klei	Getijden	Kleilig zand
D	Antropogeen	Mix	Fluviatiel	Kleilig zand
D	Antropogeen	Mix	Fluviatiel	Zand
D	Antropogeen	Mix	Eolisch (Pleistoceen)	Zand
F	Fluviatiel	Kleilig zand	Fluviatiel	Kleilig zand
F	Fluviatiel	Kleilig zand	Fluviatiel	Klei
F	Fluviatiel	Klei	Fluviatiel	Kleilig zand
F*	Fluviatiel	Klei	Fluviatiel	Klei
F	Getijden	Klei	Fluviatiel	Klei
H	Fluviatiel	Kleilig zand	Fluviatiel	Zand
H	Fluviatiel	Klei	Fluviatiel	Zand
H	Fluviatiel	Zand	Fluviatiel	Zand
H	Fluviatiel	Zand	Moeras	Kleilig zand

Klasse	Facies boven	Lithologie boven	Facies onder	Lithologie onder
J	Fluviatiel	Klei	Getijden	Klei

5.4.2 Volumeverhoudingen

Om bodemdaling en CO₂ uitstoot te kunnen kwantificeren moet het organisch stofgehalte worden omgezet naar volumes. Dit wordt gedaan door voor elke voxel te bepalen wat de verhouding is tussen het volume aan organisch materiaal, klastisch sediment en niet-vast materiaal.

De eerste stap is het bepalen van het poriëngetal van de voxel, de verhouding tussen vast en niet-vast materiaal. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een empirische relatie (Eq. 5.3.1) tussen het poriëngetal en de effectieve spanning (*Den Haan, 1992*).

Eq. 5.4.1
$$e = (2.27 + 27.55 N) \sigma'_v^{-(0.12+0.34 N)}$$

e = poriëngetal (-)

N = droge massa organische stof

σ'_v = effectieve spanning (kPa)

De effectieve spanning is het verschil tussen de totaalspanning van het bovenliggende materiaal en de opwaartse waterspanning van het grondwater. De waarden voor totaalspanning volgen uit *Kruiver et al. (2017)*: veen 11 kPa, klei 14 kPa, zandige klei 16 kPa, zand 20 kPa en gemixt antropogeen materiaal 18 kPa. Voor het bepalen van de waterspanning is gebruik gemaakt van de grondwaterspiegelmodel van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (*NHI, 2016*).

In de tweede stap wordt het vaste materiaal verder opgedeeld in organisch materiaal en klastisch sediment. Hiervoor worden standaard waarden gebruikt voor de dichtheid, namelijk $\rho = 1470$ kg/m³ voor organisch materiaal en $\rho = 2675$ kg/m³ voor klastisch materiaal.

De verhouding tussen organisch materiaal, klastisch sediment en niet-vast materiaal is samen altijd 100%. Deze methode is uitgebreider beschreven in *Koster et al. (2018)*.

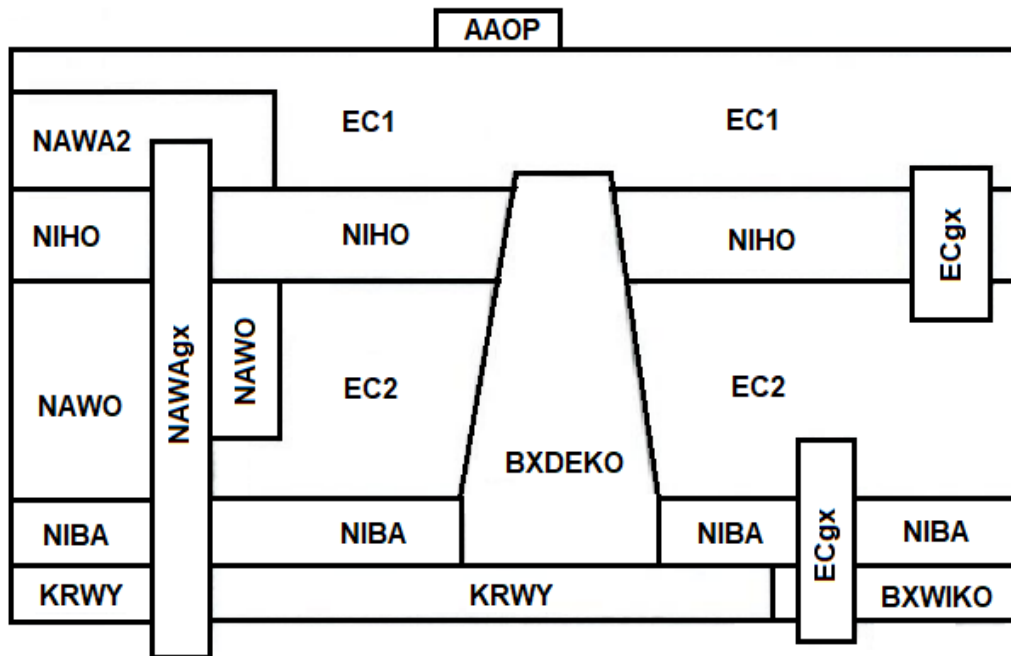
6 Conceptueel model Groene Hart

6.1 Modelgebied

Het Groene hart is het open gebied tussen de grote steden Rotterdam, Den Haag, Amsterdam en Utrecht. Binnen het Groene Hart liggen enkele middelgrote steden, zoals Alphen aan den Rijn, Gouda en Woerden. Het meest karakteristiek voor dit gebied zijn de laagliggende veenweidegebieden met hun kenmerkende verkavelingspatronen. Het gebied wordt doorkruist door rivieren als de Hollandse IJssel, de Oude Rijn en de Lek. Daarnaast vindt men er oeverwallen, rivierduinen, dijken, droogmakerijen en veenplassen zoals de Reeuwijkse en de Loosdrechtse Plassen.

6.2 Stratigrafisch relatiediagram

In onderstaand diagram wordt de relatie en aard van het contact tussen de te modelleren eenheden weergegeven. De getoonde relaties betreffen de relaties zoals ze in het model worden opgenomen.



Figuur 6.1: Stratigrafisch relatiediagram Regiodeal

6.3 Modeleenheden

Tabel 6.1 toont de modeleenheden die in modelgebied voorkomen. De volgorde is conform de stratigrafische laagvolgorde van de eenheden, waarbij opgemerkt moet worden dat enkele eenheden binnen andere eenheden kunnen voorkomen en er enkele gecombineerde eenheden zijn.

Tabel 6.1: Modeleenheden

Einheid	Omschrijving	Opmerking
AAOP	Antropogene afzettingen, Opgebrachte grond	
EC1	Formatie van Echteld, bovenste pakket	
ECga	Formatie van Echteld, geulgeneratie a	Komt binnen EC1 en EC2 voor
ECgb	Formatie van Echteld, geulgeneratie b	Komt binnen EC1 en EC2 voor
NAWA2	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren	
NAWAga	Fm. van Naaldwijk, Lp. van Walcheren, geulgeneratie a	Komt binnen NAWA2 voor
NAWAgb	Fm. van Naaldwijk, Lp. van Walcheren, geulgeneratie b	Komt binnen NAWA2 voor
NIHO	Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket	
EC2	Formatie van Echteld, onderste pakket	
ECgc	Formatie van Echteld, geulgeneratie c	Komt binnen EC2 voor
ECgd	Formatie van Echteld, geulgeneratie d	Komt binnen EC2 voor
ECge	Formatie van Echteld, geulgeneratie e	Komt binnen EC2 voor
NAWO	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer	
NAWOgd	Fm. Van Naaldwijk, Lp. van Wormer, geulgeneratie d	Komt binnen NAWO voor
NIBA	Fm. Van Nieuwkoop, Basisveen Laag	
BXDEKO	Fm. Van Boxtel, Lp. van Delwijnen en Lp. van Kootwijk	Gecombineerde eenheid
BXWIKO	Fm. Van Boxtel, Lp. van Wierden en Lp. van Kootwijk	Gecombineerde eenheid
KRWY	Formatie van Kreftenheye, Laag van Wijchen	

6.4 Geologische eenheden

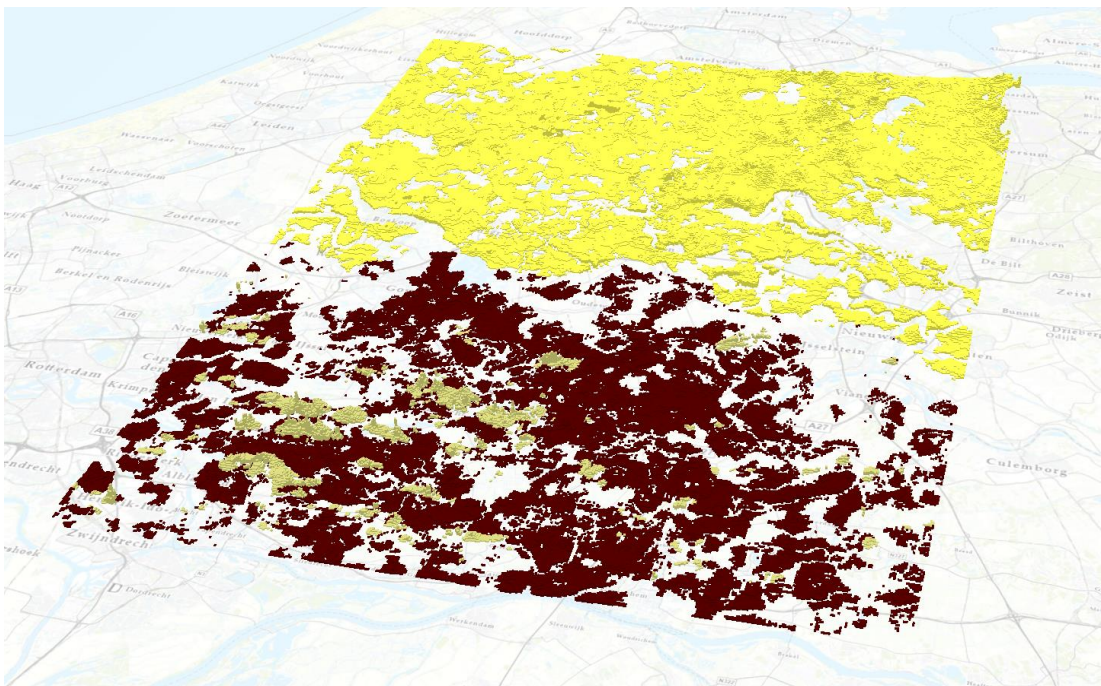
Alle beschreven eenheden behoren tot de Boven-Noordzee Groep (NU). De eenheidscode begint daarom formeel met de letters NU, die voor de leesbaarheid echter worden weggelaten: bijvoorbeeld NUNAWO wordt hieronder weergegeven als NAWO.

6.4.1 Formatie van Kreftenheye (KR) en Boxtel (BX)

De onderste geologische eenheid die in het model is opgenomen is de Laag van Wijchen (KRWY), die behoort tot de Formatie van Kreftenheye. De laag komt voor in een strook in het zuidelijke deel van het modelgebied en bestaat veelal uit stugge, licht- tot donkergrijze siltige klei, die lokaal ook fijn-zandig kan zijn. De Laag van Wijchen is afgezet tijdens periodieke overstromingen en markeert een fase waarin de Rijn en Maas zich aanpasten aan het veranderde afvoerregime aan het einde van de laatste ijstijd waarbij de rivieren van een vlechtend naar een meanderend geulpatroon waren overgegaan. De dikte varieert, maar is

over het algemeen niet meer dan 2 meter. Hoewel het oudste deel van Laat-Pleistocene ouderdom is, is er vanwege de lithologische samenstelling (en de daarmee samenhangende relevantie voor bodemdaling) voor gekozen om deze eenheid onderdeel te maken van het model.

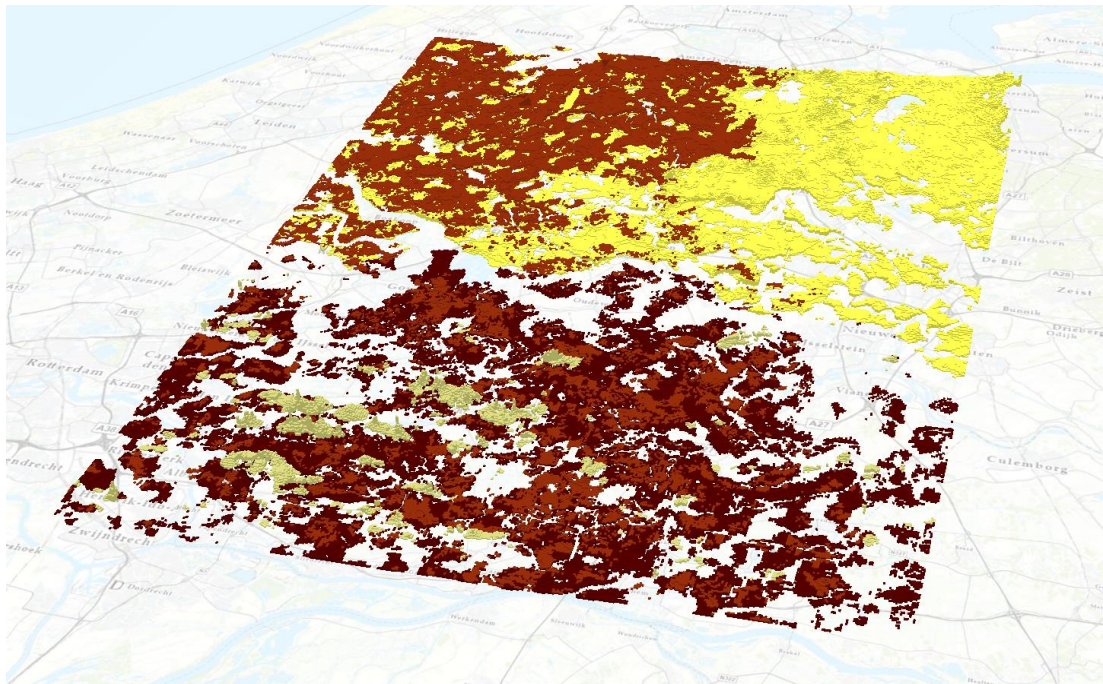
In het noordoostelijke deel van het modelgebied komen lokaal Holocene stuifzanden voor van het Laagpakket van Kootwijk (BXKO), onderdeel van de Formatie van Boxtel. In de praktijk is dit laagpakket zeer moeilijk te onderscheiden en wordt daarom in het model gecombineerd met de direct onderliggende zandlagen. Dit zijn de rivierduinen van het Laagpakket van Delwijnen (BXDE) en het dekzand van het Laagpakket van Wierden (BXWI). Hoewel deze twee laagpakketten dus niet van Holocene ouderdom zijn, zijn deze om model-technische redenen toch onderdeel van het model.



Figuur 6.2: Voxelmodel met KRWY (donker-bruin), BXDEKO (donker-geel) en BXWIKO (geel)

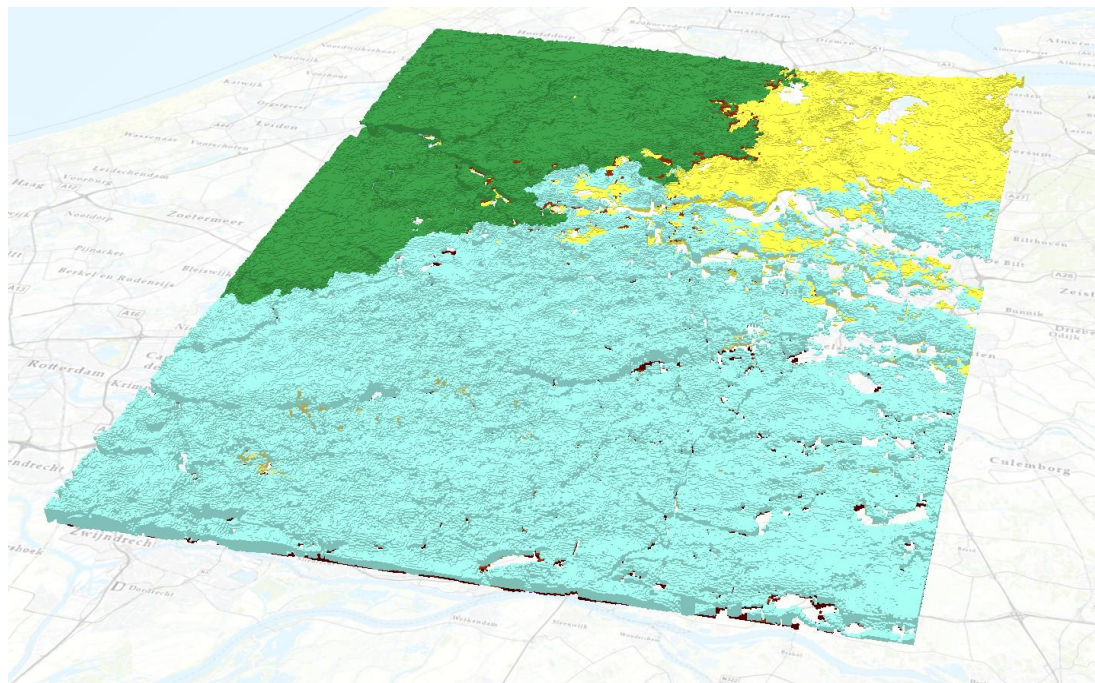
6.4.2 Formaties van Naaldwijk (NA), Echteld (EC) en Nieuwkoop (NI)

In het grootste deel van het gebied ligt aan de basis van de Holocene afzettingen de Formatie van Nieuwkoop, Basisveen Laag (NIBA). Aan het begin van het Holoceen werd het warmer, smolten de ijskappen en steeg de zeespiegel, waardoor het grondwater ook steeg en er uitgestrekte moerassen ontstonden. Het veen dat in deze moerassen werd gevormd is nu een 0,1 tot 0,5 m dikke NIBA veenlaag die, hetzij fragmentarisch, in het grootste deel van het modelgebied nog voorkomt.



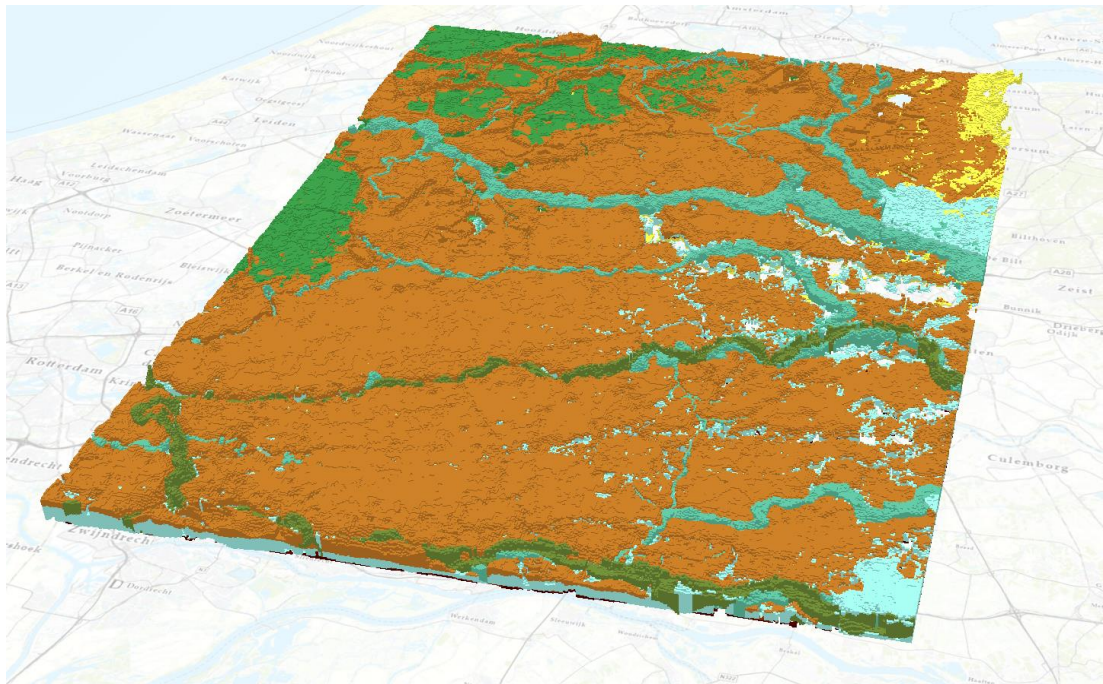
Figuur 6.3: Voxelmodel met NIBA (bruin) op onderliggende eenheden.

Aan de oostkant van het modelgebied wordt de NIBA bedekt door de oudere fluviatiele afzettingen van de Rijn en Maas van de Formatie van Echteld (EC2), die bestaan uit humeuze klei met discontinue veenlagen (estuariene en komafzettingen) en veelal matig grof tot uiterst grof zand (geulafzettingen). In het westelijke deel van het gebied zijn de NIBA en EC2 afgedekt door de getijdenbekkenafzettingen van de Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer (NAWO), hoofdzakelijk bestaande uit grijs, schelphoudend en kalkrijk fijn zand.



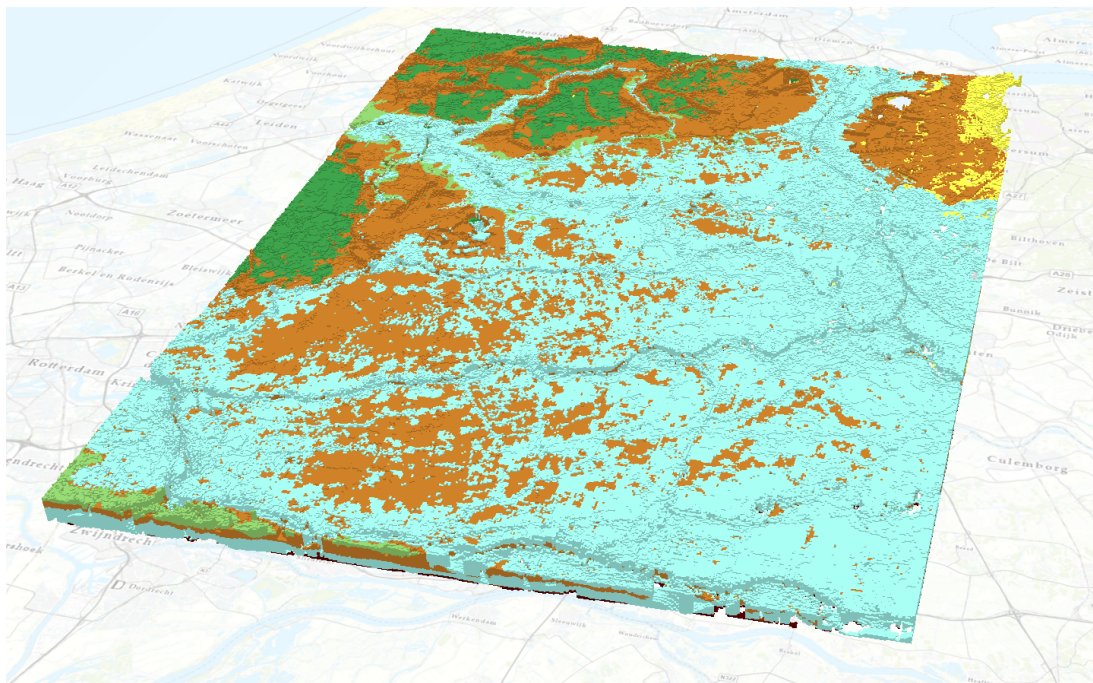
Figuur 6.4: Voxelmodel met EC2 (licht-blauw) en NAWO (groen) op onderliggende eenheden.

Als gevolg van het sluiten van de kust door de vorming van een aaneengesloten strandwallen- en duinenrij in het Midden Holoceen, worden bovengenoemde fluviaatiele en getijdenafzettingen grotendeels bedekt door een veenpakket behorende tot het Hollandveen Laagpakket van de Formatie van Nieuwkoop (NIHO). Dit veen vormde zich als gevolg van verzoeting van milieu en beperkte sedimentaanvoer vanuit de rivieren. Het Hollandveen Laagpakket bestaat uit een 1 tot 5 m dik veenpakket en komt in vrijwel het hele modelgebied voor. De continuering van dit veenpakket op pleistocene afzettingen wordt in het model ook tot het Hollandveen Laagpakket gerekend (cf. GeoTOP).



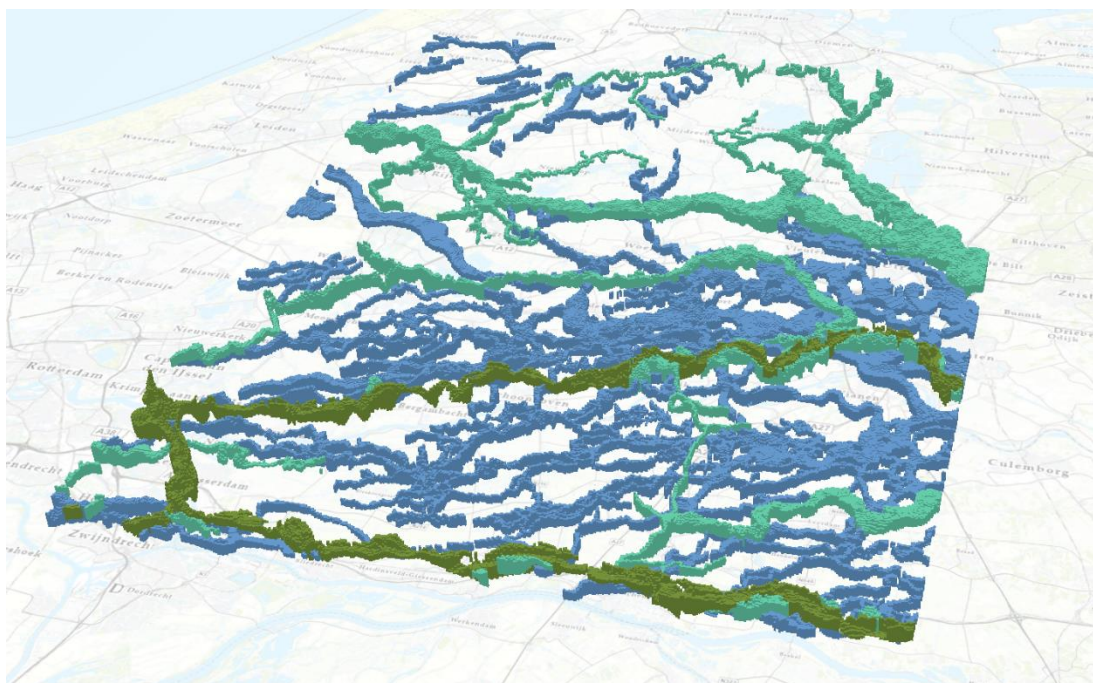
Figuur 6.5: Voxelmodel met NIHO (licht-bruin) op onderliggende eenheden en doorsneden door geulen

In het gebied rond de rivieren de Lek/Nieuwe Maas en de Oude Rijn liggen bovenop NIHO de jongere fluviale afzettingen van de Formatie van Echteld (EC1). Deze werden voornamelijk afgezet als gevolg van menselijke ingrepen in het landschap: ontbossing bovenstrooms en (later) veenontwatering benedenstrooms. Verder naar het westen is NIHO bedekt met getijdenafzettingen van het Laagpakket van Walcheren (NAWA2). Dit betreft de geul- en plaatafzettingen die werden gevormd doordat veenontwatering tot bodemdaling leidde en de kustvlakte ontvankelijk werd voor overstromingen.



Figuur 6.6: Voxelmodel met EC1 (licht-blauw) en NAWA (licht-groen) op onderliggende eenheden.

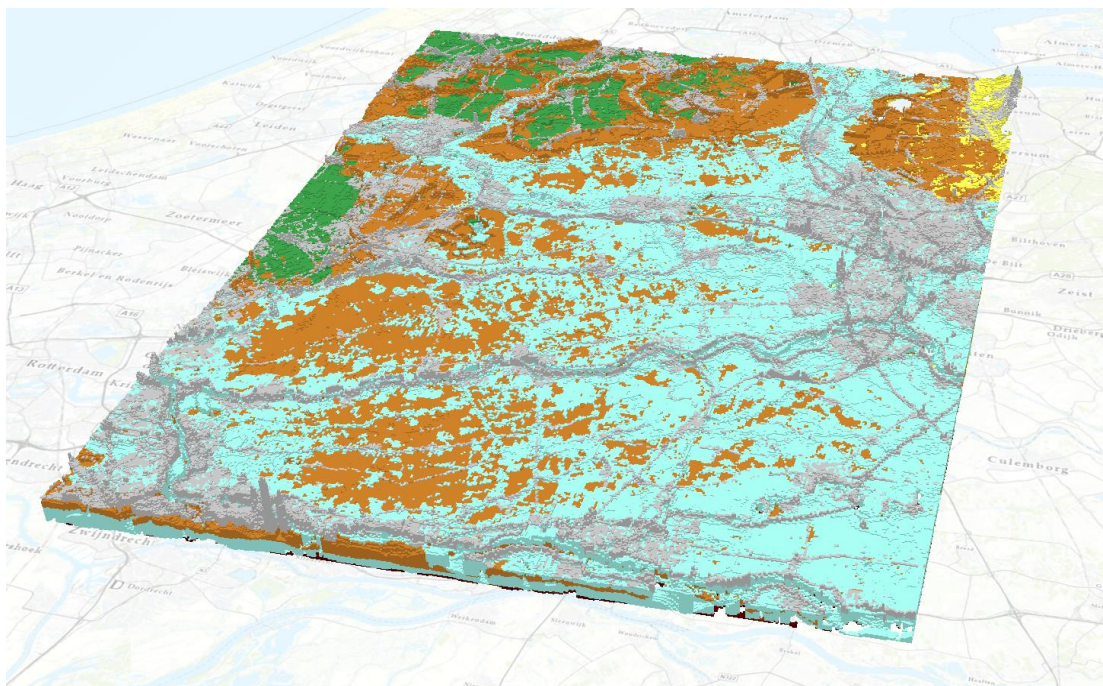
In vrijwel het hele gebied komen zandige geulinvullingen voor, die tot diep in de onderliggende oudere eenheden zijn ingesneden. De geulen worden op basis van het voorkomen van de geologische moedereenheid en ouderdom ingedeeld binnen de Formatie van Echteld (EC1 en EC2) en de Laagpakketten van Wormer en Walcheren 2.



Figuur 6.7: Voxelmodel met geulen

6.4.3 Antropogene afzettingen (AAOP)

Verspreid over het gehele modelgebied is door de mens grond opgebracht ten behoeve van bedijking, bebouwing en infrastructuur (AAOP). De samenstelling van de antropogene afzettingen is zeer divers (bijvoorbeeld ophoogzand, puin, huisafval, hoogovenslakken). Er zijn vaak weinig gegevens over de samenstelling beschikbaar. Bovendien is de ruimtelijke variatie moeilijk te voorspellen doordat er geen natuurlijke patronen in te herkennen zijn. In het GeoTOP-model worden daarom binnen de antropogene afzettingen geen lithoklassen gemodelleerd zoals bij de andere eenheden wel het geval is.



Figuur 6.8: Voxelmodel met AAOP (licht-grijs) op onderliggende eenheden

7 Uitgeleverde bestanden

7.1 Basisgegevens

7.1.1 Referentielijsten

Er worden twee referentielijsten meegeleverd met het model. De eerste beschrijft de geologische eenheden van het model en de tweede de lithoklassen.

Tabel 7.1: Referentielijsten

Onderdeel	Bestandsnaam	Toelichting
Geologische eenheid	REF_RGH_STR_UNIT.xlsx	Code Regiodeal, code GeoTOP, omschrijving, volgnummer, nummer in het voxelmodel en de RGB/HEX kleurcodering van de voorkomende geologische eenheden
Lithoklasse	REF_RGH_LITHO_CLASS.xlsx	Code, omschrijving, volgnummer, nummer in het voxelmodel en de RGB/HEX kleurcodering van de voorkomende lithoklassen

Een aantal codes voor geologische eenheden van GeoTOP zullen in de nabije toekomst worden aangepast. Vooruitlopend op deze aanpassing zijn voor dit model de nieuwe codes al geïmplementeerd. Welke dit zijn en de vertaling van oude naar nieuwe codes kan worden ingezien in de referentielijst van geologische eenheden.

7.2 Lagenmodel

Het eindproduct van het lagenmodel is een set van drie rasters (in ascii formaat) voor elke gemodelleerde geologische eenheid. In onderstaande tabel wordt geschreven welke dat zijn. De code XXXX in de typeaanduiding staat voor de code van de geologische eenheid (b.v. NIHO-t-c.asc). De kolom NoData geeft weer welke waarde er is gebruikt als de eenheid ergens niet voorkomt.

Tabel 7.2: Uitgeleverde bestanden

Typeaanduiding	Omschrijving	Eenheid	NoData
XXXX-t-c.asc	Hoogteligging van de top	Meters t.o.v. NAP	-9999
XXXX-d-c.asc	Dikte	Meters	-9999
XXXX-b-c.asc	Hoogteligging van de basis	Meters t.o.v. NAP	-9999

7.3 Voxelmanmodel

Bij de export van voxeldata uit de modellersoftware ontstaan CSV-bestanden per blok van het modelgebied met voor elke voxel een regel met de volgende attributen:

Tabel 7.3: Voxelattributionen

Kolom	Attribuut	Eenheid	NoData
1	X-locatie van het midden van de voxel	m t.o.v. NAP	-
2	Y-locatie van het midden van de voxel	m t.o.v. NAP	-
3	Z-locatie van het midden van de voxel	m t.o.v. NAP	-
4	Geologische eenheid waartoe de voxel behoort (afgeleid uit het lagenmodel)	Code	-
5	Meest waarschijnlijke lithoklasse die representatief is voor de voxel als geheel	Code	-
6	Kans op lithoklasse veen (1)	0-1	-
7	Kans op lithoklasse klei (2)	0-1	-
8	Kans op lithoklasse zandige klei (3)	0-1	-
9	Kans op lithoklasse kleilig zand (4)*	0-1	-
10	Kans op lithoklasse fijn zand (5)	0-1	-
11	Kans op lithoklasse matig fijn zand (6)	0-1	-
12	Kans op lithoklasse grof zand (7)	0-1	-
13	Kans op lithoklasse grind (8)	0-1	-
14	Kans op lithoklasse schelpen (9)	0-1	-
15	Organisch stofgehalte aan de top van de voxel	0-100	999
16	Organisch stofgehalte tussen top en midden van de voxel	0-100	999
17	Organisch stofgehalte in het midden van de voxel **	0-100	999
18	Organisch stofgehalte tussen midden en basis van de voxel	0-100	999
19	Organisch stofgehalte aan de basis van de voxel	0-100	999
20	Volumeverhouding klastisch materiaal van de voxel ***	0-1	999
21	Volumeverhouding veen van de voxel ***	0-1	999
22	Volumeverhouding niet-vast materiaal van de voxel of porositeit ***	0-1	999

* Lithoklasse kleilig zand (4) is in de praktijk niet te onderscheiden van lithoklasse zandige klei (3) en zijn daarom gecombineerd in lithoklasse zandige klei (3). Lithoklasse kleilig zand (4) is daarom altijd 0.

**Als de toepassing vereist dat er per voxel slechts één waarde kan worden opgegeven voor het gehalte aan organische stof, dan kan het best het organisch stofgehalte van het midden van de voxel worden gebruikt.

***De som van de volumeverhoudingen per voxel is samen altijd 1 (of 100%)

8 Resultaten

Aan de start van dit project is een gedetailleerde kwaliteitstoets (QC-nulmeting) uitgevoerd van de Holocene eenheden van de bestaande modellen. De bronnen die zijn gebruikt voor de QC-nulmeting zijn:

- › BRO terugmeldingen
- › Gebruikersvragen
- › Interne bevindingen op bestaande GeoTOP-modellen
- › Interne bevindingen op het ondergrondmodel Sterke Lekdijk
- › Interne bevindingen op lagenmodel DGMplus versie 1.2

Bij het prioriteren van de bevindingen lag de focus altijd op de toepassing van het model en de afspraken die daarover zijn gemaakt met Deltares. Bevindingen die een grotere invloed hebben op bodemdaling hebben daarom voorrang gekregen op de overige bevindingen. Hieronder zullen eerst de verbeteringen worden besproken die betrekking hebben op de onderdelen in het projectplan en daarna de overige verbeteringen in het model. Tot slot worden de bekende bevindingen die zijn opgelost kort besproken, en de reden waarom.

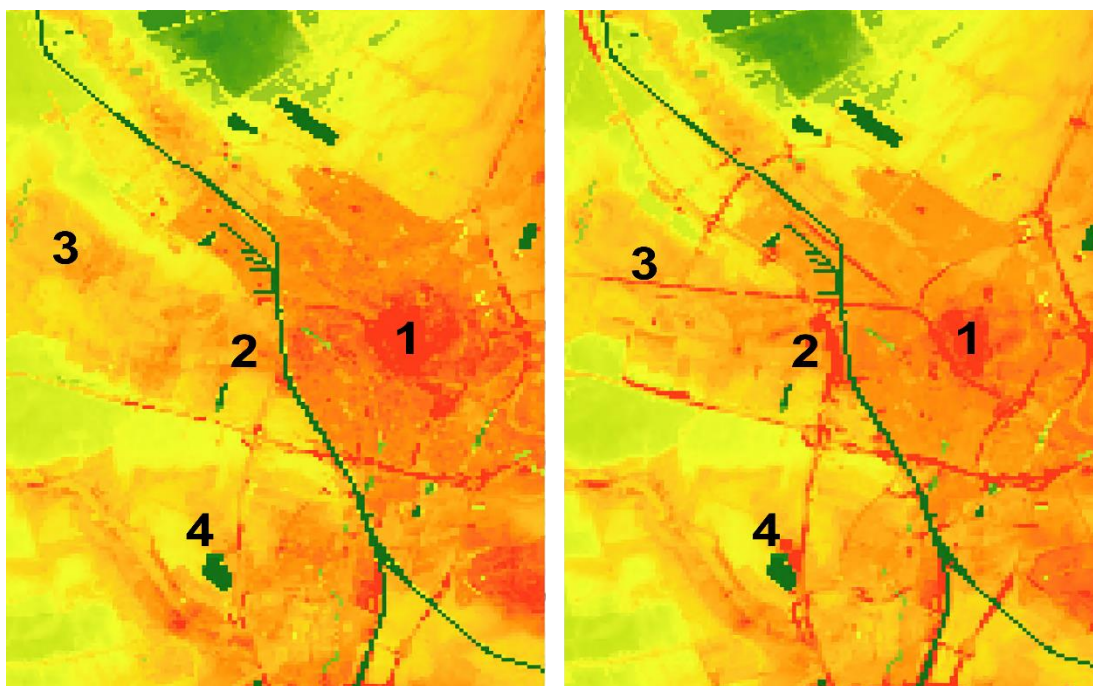
8.1 Verbeteringen uit het projectplan

De volgende inhoudelijke zaken worden genoemd in het projectplan:

- › Verbeterd terreinmodel gebaseerd op basis van AHN3
- › Verbeterde kartering Hollandveen Laag (NIHO)
- › Verbeterde kartering Basisveen Laag (NIBA)
- › Parametrisatie van veenvoxels

8.1.1 Verbeterd terreinmodel (AHN3)

Het terreinmodel of maaiveld- en waterbodemhoogtebestand vormt de top van het model en is o.a. gebaseerd op het AHN. Voor GeoTOP Zuid-Holland en Rivierengebied betrof dit AHN versie 1. Sindsdien zijn er meerdere nieuwe versies van AHN verschenen. Het huidige maaiveld- en waterbodemhoogtebestand dat wordt gebruikt is gebaseerd op AHN3. In onderstaande figuur zijn voorbeelden van verbeteringen in het bestand te zien, zoals binnensteden, snelwegen en nieuwe kunstmatige ophogingen.



Figuur 8.1: Enkele voorbeelden van verbeteringen in het terreinmodel rondom Utrecht. Links het bestand van GeoTOP (gebaseerd op AHN1) en rechts het huidige bestand van Regiodeal (gebaseerd op AHN3). 1=binnensteden, 2 = snelwegen, bruggen en tunnels, 3 = spoorlijnen en 4 = nieuwe ophogingen.

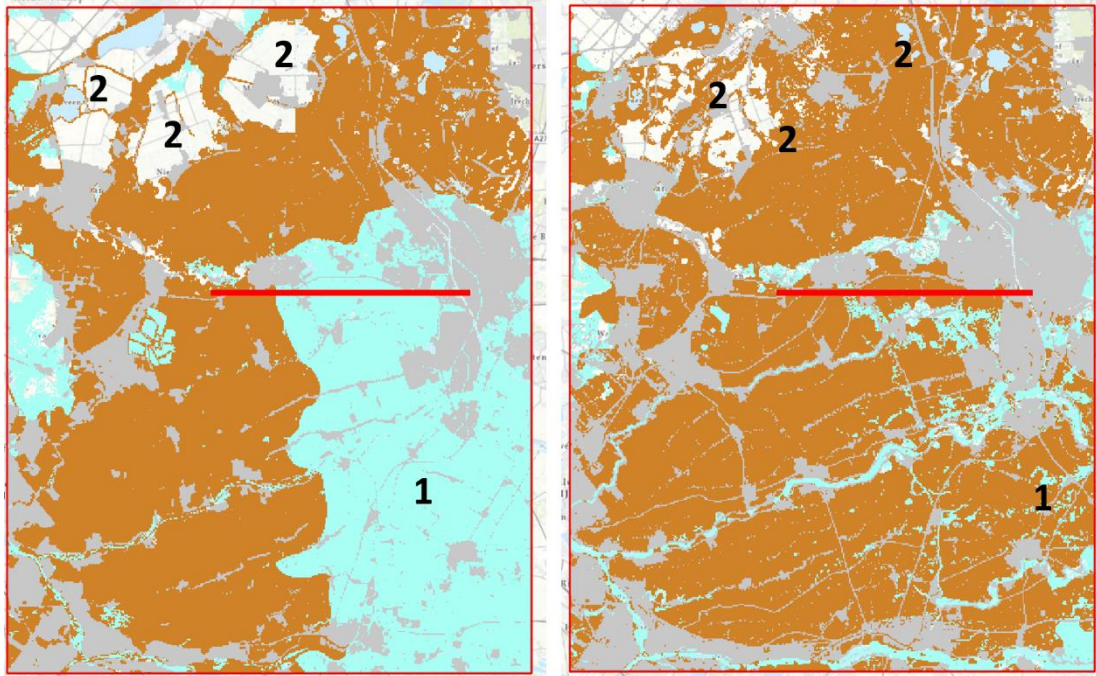
8.1.2 Verbeterde kartering Hollandveen Laagpakket (NIHO)

In de standaard GeoTOP werkwijze wordt eerst het lagenmodel definitief gemaakt en daarna pas het voxelmodel berekend. Het kan echter voorkomen dat de resultaten van het voxelmodel nieuwe inzichten geven of fouten in het lagenmodel aan het licht brengen. Deze kunnen met de standaard werkwijze niet meer verwerkt worden in het lagenmodel. Door in een vroeg stadium al een voorlopig voxelmodel te berekenen konden de uitkomsten daarvan worden gebruikt om het lagenmodel te verbeteren. Er kon op deze manier worden vastgesteld dat enkele dikke aaneengesloten veenpakketten binnen de Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket (NIHO) vrijwel naadloos doorlopen binnen de Formatie van Echteld. Het is voor het eindresultaat echter van groot belang dat deze veenlagen in de meest representatieve modeleenheid worden opgenomen.

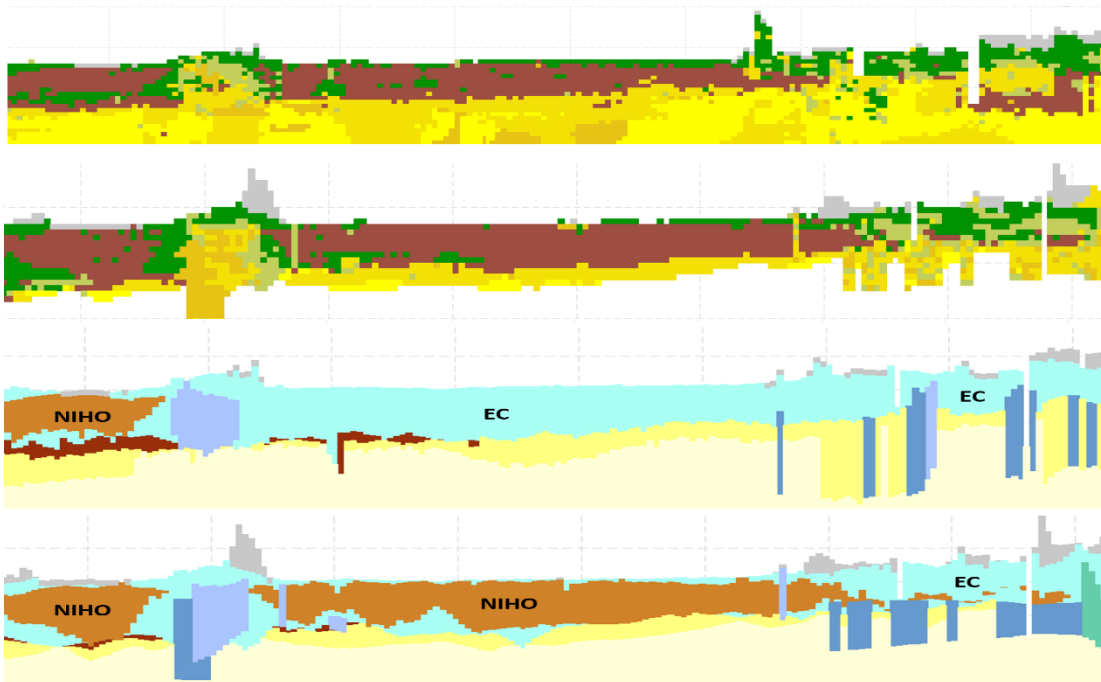
De voxelmodellering wordt voor elke modeleenheid afzonderlijk uitgevoerd, zodat de geostatistische karakteristieken van de afzonderlijke modeleenheden het beste kunnen worden gehonoreerd. Als de betreffende veenlagen worden opgenomen binnen de Formatie van Echteld (hoofdzakelijk zandig en kleiig materiaal), dan zal er een onderschatting ontstaan van de werkelijke hoeveelheid veen. Door deze veenpakketten onderdeel te maken van de Hollandveen Laagpakket (hoofdzakelijk venig materiaal) zal het aantal veenvoxels in het eindresultaat realistischer zijn.

Een andere verbetering betreft het Hollandveen in de droogmakerijen. In het oorspronkelijke GeoTOP model werd daar geen veen gekarteerd, omdat werd aangenomen dat dit veen volledig verdwenen zou zijn. In de praktijk blijkt er sprake te zijn van lokale voorkomens van

dunne lagen restveen in de droogmakerijen. In het Regiodeal-model zijn deze restvenen voor het eerst meegenomen in de modellering van de Hollandveen Laag.



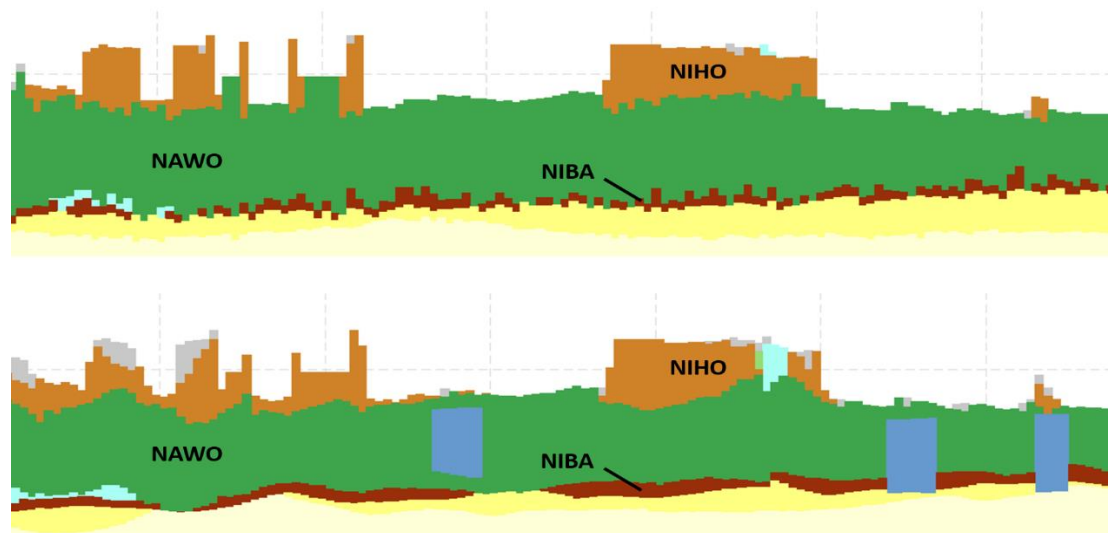
Figuur 8.2: Voorbeelden van verbeteringen in de verbreiding van de Hollandveen Laag. Links het GeoTOP-model, rechts het nieuwe Regiodeal-model. 1=Nieuwe oostgrens van de Hollandveen Laag. Het veen werd voorheen opgenomen in de Formatie van Echteld, wat zorgt voor een onderschatting van de hoeveelheid veen. 2=Restveen in de droogmakerijen. De rode lijn geeft de locatie aan van het profiel in Figuur 8.3.



Figuur 8.3: Helemaal boven een doorsnede door het GeoTOP-model, waaruit blijkt dat er een doorlopende dikke veenlaag (bruin) aanwezig is. Daaronder een doorsnede door het voxelmodel van regiodeal, waarin er iets meer veen is gemodelleerd. Dit komt omdat de veenlaag niet meer binnen de Formatie van Echteld valt (GeoTOP-derde van boven), maar binnen het Hollandveen Laagpakket (Regiodeal – onder).

8.1.3 Basisveen Laag (NIBA)

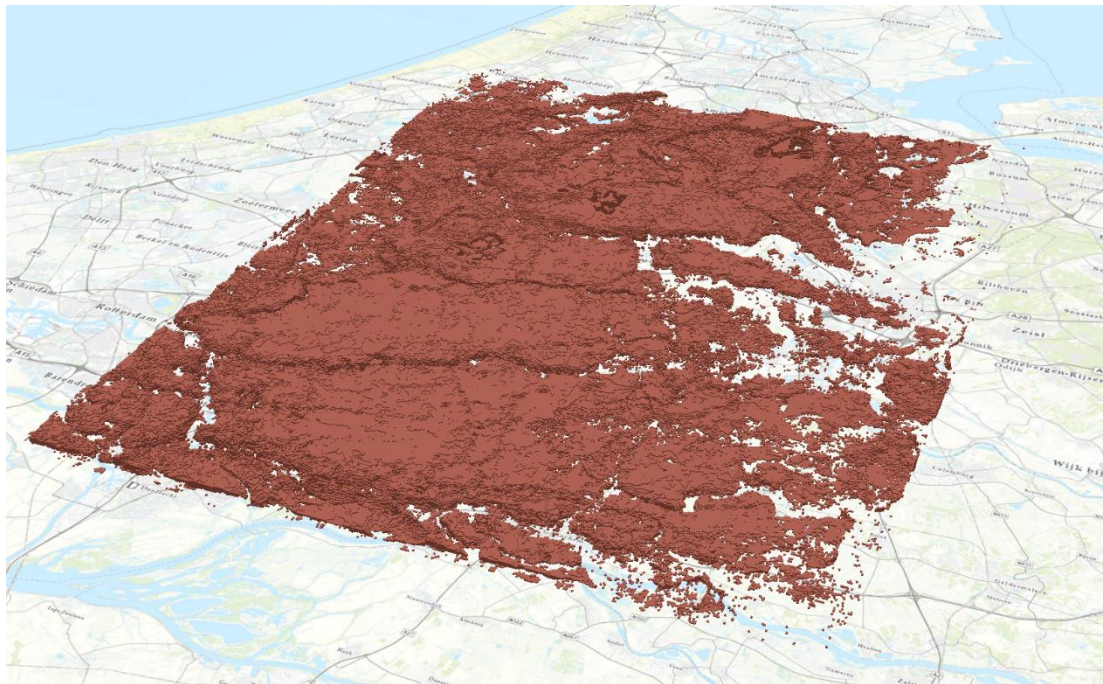
Voor dit model zijn zowel de top als de basis van de Basisveen Laag berekend, waardoor deze een minder grillig dikteverloop heeft en meer continue is. Door gebruik te maken van de meest recente versie van de geulenkarte van de Universiteit Utrecht en een betere kartering van de rivierduinen uit de top Pleistoceenkaart is ook het voorkomen van de Basisveen Laag aanzienlijk verbeterd.



Figuur 8.4: Doorsnede door het lagenmodel van GeoTOP (boven) en Regiodeal (onder). Hierin is te zien dat de Basisveen Laag een minder grillig verloop en een verbeterde verbreiding heeft door de verbeterde kartering van de geulen (blauw).

8.1.4 Parametrisatie veenvoxels

Voor dit model zijn alle veen voxels van holocene ouderdom geparametriseerd met hoeveelheid organische stof, bijgemengd sediment en porositeit. In onderstaand figuur is de ruimtelijke verbreiding van deze veen voxels te zien.

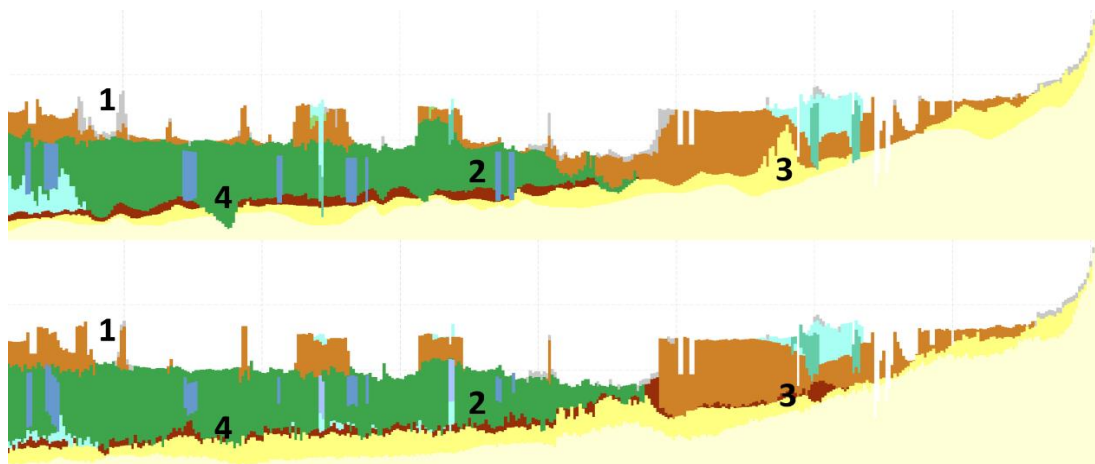


Figuur 8.5: 3D beeld van alleen de veenvoxels van het regiodeal-model

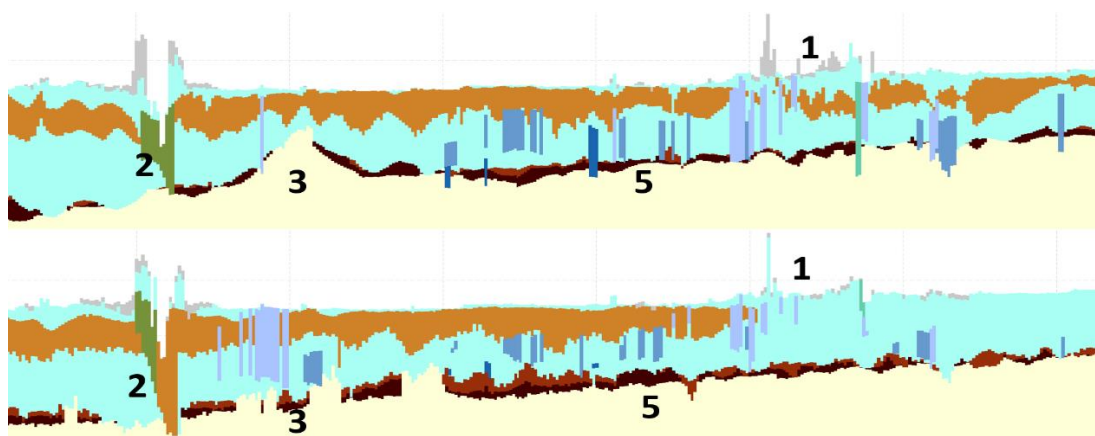
8.2 Overige verbeteringen

Uit de QC-nulmeting zijn een aantal bevindingen naar voren gekomen die niet specifiek worden genoemd in het projectplan, maar wel invloed hebben op de kartering van de veenlagen. Daarnaast zijn er in overleg met Deltares een aantal extra zaken aangepakt, zoals een verbeterde kartering van antropogene ophogingen. Tot slot zijn er verbeteringen als gevolg van de voortdurende ontwikkeling van het modelleringsproces na het opleveren van GeoTOP Zuid-Holland en Rivierengebied:

1. Verbeterde kartering van de Antropogene afzettingen (AAOP)
2. Verbeterde kartering en consistentie van geulen
3. Verbeterde kartering van Formatie van Boxtel, Laagpakket van Delwijnen (BXDE)
4. Verbeterde kartering van Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer (NAWO)
5. Verbeterde kartering van Formatie van Kreftenheye, Laag van Wijchen (KRWY)



Figuur 8.6: Verbeteringen in het Regiodeal-model (boven) ten opzichte van Geotop (onder) in het noordelijke deel van het projectgebied.



Figuur 8.7: Verbeteringen in het Regiodeal-model (boven) ten opzichte van Geotop (onder) in het zuidelijke deel van het projectgebied.

8.3 Openstaande punten

Een aantal bekende verbeterpunten zijn binnen dit project niet opgepakt, omdat ze niet binnen de scope van het project vallen of slechts een zeer beperkte invloed hebben op eventuele bodemdaling:

- › Verbeteren van het grensvlak tussen NA en EC
- › Onderscheid tussen BXKO, BXDE en BXWI

Referenties

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

Dabekaussen, W., De Bruijn, R., Heerma, C., Kars, R., Lourens, A., Schokker, J., Stafleu, J., 2021. Nieuwe hoge resolutie GeoTOP modellen en update - methodes voor een Sterkere Lekdijk. TNO Rapport 2021 R12300, 57 p.

Den Haan, E., 1992. The formulation of virgin compression of soils. *Géotechnique* 42 (3), 465-483.

Hummelman, J., Maljers, D., Menkovic, A., Reindersma, R., Stafleu, J. & Vernes, R., 2019a. Totstandkomingsrapport Digitaal Geologisch Model (DGM). TNO Rapport 2019 R11653, 70 pp. Beschikbaar op BROloket: <https://www.broloket.nl/toelichting/dgm>

Hummelman, J., Maljers, D., Menkovic, A., Reindersma, R., Stafleu, J. & Vernes, R., 2019b. Totstandkomingsrapport Hydrogeologisch Model (REGIS II). TNO Rapport 2019 R11654, 95 pp. Beschikbaar op BROloket: <https://www.broloket.nl/toelichting/regist-ii>

Koster, K., 2017. 3D characterization of Holocene peat in the Netherlands - Implications for coastal-deltaic subsidence. Universiteit Utrecht.

Koster, K., Stafleu, J., Cohen, K., Stouthamer, E., Busschers, F., Middelkoop, H., 2018. Three-dimensional distribution of organic matter in coastal-deltaic peat: Implications for subsidence and carbon dioxide emissions by human-induced peat oxidation. *Anthropocene* 22 (2018) 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.03.001>

Kruiver, P., Van Dedem, E., Romin, R., De Lange, G., Korff, M., Stafleu, J., Gunnink, J., Rodriguez-Marek, A., Bommer, J., Van Elk, J., Doornhof, D., 2017. An integrated shear-wave velocity model for the Groningen gas field, The Netherlands. *Bull. Earthquake Eng.* 9, 3555-3580. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10518-017-0105-y>.

Maljers, D., Stafleu, J., Van der Meulen, M.J. & Dambrink, R.M., 2015. Advances in constructing regional geological voxel models, illustrated by their application in aggregate resource assessments. *Netherlands Journal of Geosciences* 94, 257-270. doi:[10.1017/njg.2014.46](https://doi.org/10.1017/njg.2014.46)

NHI, 2016. Online Hydrological Data of The Netherlands. www.nhi.nu

Stafleu, J., 2022a. Totstandkomingsrapport Kleine Release GeoTOP Zuid-Holland. TNO Rapport 2022 R10287, 16 pp. Beschikbaar op BROloket: <https://www.broloket.nl/toelichting/geotop>

Stafleu, J., Hummelman, J., de Bruijn, R., Koster, K., Stam, J., Maljers, D. & Schokker, J., 2020. Totstandkomingsrapport GeoTOP met nieuwe methodiek lagenmodellering. TNO Rapport 2020 R10758, 157 pp. Beschikbaar op BROloket: <https://www.broloket.nl/toelichting/geotop>

Stafleu, J., Maljers, D., Busschers, F., Gunnink, J., Schokker, J., Dambrink, R., Hummelman, H.J., Schijf, M.L., 2012. GeoTOP modellering. TNO Rapport 2012 R10991, 216 p. Beschikbaar op DINOLOket: <https://www.dinoloket.nl/meer-weten>

Stafleu, J., Maljers, D., Busschers, F., Gunnink, J., Schokker, J. & Hummelman, J., 2019. Totstand-komingsrapport GeoTOP. TNO Rapport 2019 R11655, 132 pp. Beschikbaar op BROloket: <https://www.broloket.nl/toelichting/geotop>

Stafleu, J., Maljers, D., Busschers, F., Schokker, J., Gunnink, J. & Dambrink, R., 2021. Chapter 11: Models Created as 3-D Cellular Voxel Arrays. In: Turner, A.K., Kessler, H. & Van der Meulen, M.J. (eds.): Applied Multidimensional Geological Modeling. doi:10.1002/9781119163091.ch11

Stafleu, J., Maljers, D., Gunnink, J., Menkovic, A. & Busschers, F., 2011. 3D modeling of the shallow subsurface of Zeeland, the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences* 90, p.293-310. doi:10.1017/S0016774600000597. Beschikbaar op DINOLOket: <https://www.dinoloket.nl/meer-weten>

Stafleu, J., Reindersma, R., De Bruijn, R., Kars, R., Schokker, J., Menkovic, A., Van de Ven, T., Heerema, C. & Koster, K., 2023. Totstandkomingsrapport GeoTOP aanvullingen bij versie v1.6 TNO Rapport 2023 R11636, 40p. Beschikbaar op BROloket: <https://www.broloket.nl/toelichting/geotop>

Stafleu, J., Stam, J., Menkovic, A., Koster, K., De Bruijn, R., Hummelman, H., Heerema, C., Van de Ven, T., Dabekaussen, W., Kiden, P. & Busschers, F., 2022b. Totstandkomingsrapport GeoTOP aanvullingen bij versie v1.5. TNO Rapport 2022 R12127, 23 p. Beschikbaar op BROloket: <https://www.broloket.nl/toelichting/geotop>

Vernes, R. & Van Doorn, T., 2005. Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid. Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. Netherlands Institute of Applied Geosciences TNO, Report 05-038-B, 105 pp.

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

Vos, P.C., 2015. Origin of the Dutch coastal landscape. PhD Dissertation Utrecht University, 369 pp.

Ondertekening

Utrecht, 4 juli 2024

H.J. Hummelman
Tweede lezer

Drs. D. Maljers
Research Manager

Drs. ing. R. Reindersma
Auteur

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl