

Totstandkomings- rapport GeoTOP – aanvullingen bij versie v1.6

TNO 2023 R11636 – 1 augustus 2023

Totstandkomingsrapport GeoTOP – aanvullingen bij versie v1.6

Auteurs

Jan Stafleu
Reinder Reindersma
Renée de Bruijn
Romée Kars
Jeroen Schokker
Armin Menkovic
Tamara van de Ven
Chris Heerema
Kay Koster

Rubricering rapport

TNO Publiek

Managementuittreksel

TNO Publiek

Opdrachtgever

De directeur Geologische Dienst Nederland

Programmanaam

Informatie Ondergrond

Programmanummer

P303

Projectnaam

GIP Ondiepe Kartering 2023

Projectnummer

060.55855/01

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.

© 2023 TNO

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
1 Inleiding	4
1.1 Doel van het rapport	4
1.2 Leeswijzer	5
1.3 Gerelateerde documenten	6
2 Algemene beschrijving van het model	7
2.1 Dekkingsgebied en modelgebieden	7
3 Uitgangspunten en randvoorwaarden, richtlijnen en standaarden	9
4 Brongegevens	10
4.1 DINO geologische booronderzoeken	10
4.2 BRO bodemkundige booronderzoeken	10
4.3 BRO geotechnisch sondeeronderzoek	11
4.4 Aanvullende sondeergegevens	11
4.5 Maaiveld- en waterbodemoogten	12
4.6 Bronbestanden voor de antropogene afzettingen (AAOP)	12
4.6.1 Topografische basiskaart – Top10NL	12
4.6.2 BRO Geomorfologische kaart	14
4.6.3 BRO Bodemkaart	15
4.6.4 Dijkenkaart	16
4.6.5 Handmatige aanpassingen	17
5 Procesbeschrijving algemeen	18
5.1 Datavoorbereiding – Bodemdalingscorrectie boorbeschrijvingen	19
5.2 Lagenmodellering – antropogene afzettingen	21
6 Conceptueel model Almere	23
6.1 Modelgebied	23
6.2 Conceptueel profiel	24
6.3 Modeleenheden	24
6.4 Geologische eenheden	26
6.4.1 Formaties van Breda en Oosterhout	26
6.4.2 Formaties van Maassluis, Peize en Waalre	26
6.4.3 Formatie van Appelscha	27
6.4.4 Formaties van Sterksel en Urk	27
6.4.5 Formaties van Drente en Gestuwde Eenheden	28
6.4.6 Eem Formatie, Formatie van Woudenberg, Formatie van Kreftenheye en Formatie van Bostel	29
6.4.7 Formaties van Naaldwijk en Nieuwkoop	29
6.4.8 Antropogene afzettingen	32
7 Gewijzigde bestanden	33
7.1 Basisgegevens	33
7.1.1 Model, modelgebied en modelsamenstelling	33
7.1.2 Boringen, boorbeschrijvingen en interpretaties	33
7.1.3 Referentielijsten	33
7.2 Lagenmodel	34
7.3 Voxelman	34

7.3.1	CSV-bestanden (3D)	34
7.3.2	Doorsnedekaarten (2D)	34
	Referenties	35
	Ondertekening.....	37

1 Inleiding

1.1 Doel van het rapport

Een totstandkomingsrapport geeft een gedetailleerde beschrijving van de realisatie van het GeoTOP-model: het beschrijft wat het model is, op welke brongegevens het is gebaseerd en hoe het gemaakt wordt. Dit totstandkomingsrapport is geschreven naar aanleiding van de uitbreiding van het model met een nieuw modelgebied Almere. Met de uitbreiding is een nieuwe versie van GeoTOP (v1.6) ontstaan. Omdat Almere een gedeeltelijke overlap heeft met de modelgebieden Noord-Holland en Rivierengebied, betreft GeoTOP v1.6 ook een gedeeltelijke update van die twee modelgebieden: de delen die met Almere overlappen zijn uit Noord-Holland en Rivierengebied verwijderd. Daarmee zijn Noord-Holland en Rivierengebied kleiner geworden. De overige modelgebieden die al in de vorige versie (GeoTOP v1.5) aanwezig waren zijn niet gewijzigd.

De totstandkoming van de acht modelgebieden waaruit GeoTOP is opgebouwd lijkt sterk op elkaar. Voor de meeste beschrijvingen kan daarom worden volstaan met een verwijzing naar een eerder 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 is ook toegepast in het later ontwikkelde modelgebied Zeeland en Goeree-Overflakkee en nu ook in Almere.

Een belangrijk verschil tussen Zeeland en Goeree-Overflakkee en Almere en de zes eerder ontwikkelde modelgebieden is de manier waarop de lithoklassen (grondsoorten) in het voxelmodel worden gesimuleerd. Deze nieuwe werkwijze in de voxelmodellering is in het aanvullende rapport *R12127 Totstandkomingsrapport GeoTOP – aanvullingen bij versie v1.5* (Stafleu et al., 2022b) uitgebreid beschreven.

Voor de totstandkoming van de vijf modelgebieden die nog vóór Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg zijn gemaakt wordt verwezen naar *TNO-rapport R11655 Totstandkomingsrapport GeoTOP* (Stafleu et al., 2019). Hierin worden twee modelgebieden (Westelijke Wadden en Oostelijke Wadden) beschreven die het voor de BRO ontwikkelde kwaliteitstoetsingsproces hebben doorlopen. Op hoofdlijnen is de totstandkoming van de drie overige modelgebieden, die dit kwaliteitstoetsingsproces niet hebben doorlopen, gelijk aan die van Westelijke Wadden en Oostelijke Wadden.

Tot slot is begin 2022 een zogeheten kleine release van modelgebied Zuid-Holland uitgebracht. De totstandkoming van deze kleine release is beschreven in rapport *R10287 Totstandkomingsrapport Kleine Release GeoTOP Zuid-Holland* (Stafleu, 2022a).

Tabel 1.1 geeft een overzicht van de modelgebieden en de bijbehorende documentatie.

Tabel 1.1: Totstandkomingsrapporten en GeoTOP modelgebieden.

Rapport	Betreft modelgebied	BRO kwaliteits regime
Dit rapport	Almere	Ja
R12127 2022 Totstandkomingsrapport GeoTOP – aanvullingen bij versie v1.5	Zeeland en Goeree-Overflakkee	Ja
R10287 2022 Totstandkomingsrapport Kleine Release GeoTOP Zuid-Holland	Zuid-Holland	Nee
R10758 2020 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering	Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg	Ja
R11655 2019 Totstandkomingsrapport GeoTOP	Westelijke Wadden	Ja
	Oostelijke Wadden	Ja
	Zuid-Holland	Nee
	Noord-Holland	Nee
	Rivierengebied	Nee

1.2 Leeswijzer

Dit rapport gebruikt dezelfde hoofdstukindeling als rapport *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering*. Per hoofdstuk is aangegeven welke delen ten opzichte van het genoemde rapport ongewijzigd zijn gebleven. Die delen worden hier niet 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, het lagenmodel met toppen en basissen van geologische eenheden en het voxelmodel met geologische en lithologische kenmerken (hoofdstuk 2). In dit hoofdstuk staat ook versie-informatie en informatie over het actuele dekkingsgebied van GeoTOP. Verder worden in hoofdstuk 2 de modelonzekerheden in GeoTOP behandeld en 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 bij GeoTOP betrokken brongegevens.

Hoofdstuk 5 geeft een gedetailleerde beschrijving van het proces waarmee GeoTOP wordt gemaakt. Dit proces bestaat uit 5 werkprocessen: 1) Datavoorbereiding; 2) Interpretatie; 3) Lagenmodellering; 4) Voxelmodellering en 5) Publicatie.

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

Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de ten opzichte van de vorige GeoTOP-versie gewijzigde bestanden. Het rapport wordt afgesloten met een referentielijst en de ondertekening.

1.3 Gerelateerde documenten

De modelgegevens die worden uitgeleverd zijn gedefinieerd in de *Gegevenscatalogus BRO GeoTOP model* (Geonovum, 2019). De Gegevenscatalogus heeft betrekking op alle modelgebieden van GeoTOP.

Een voorloper van dit document is het *R10991 Rapport GeoTOP modellering* (Stafleu et al., 2012) dat net als de totstandkomingsrapporten GeoTOP gedetailleerd beschrijft en daarnaast een overzicht geeft van de uit GeoTOP afgeleide producten die (vrijwel) direct toepasbaar zijn bij het analyseren en oplossen van ondergrondvraagstukken. Het rapport is verkrijgbaar via DINOloket. Zie verder Tabel 1.1 in paragraaf 1.1 voor een overzicht van de eerder gepubliceerde totstandkomingsrapporten van GeoTOP.

Een wetenschappelijke publicatie over GeoTOP behandelt het modelgebied Zeeland en gaat o.a. uitvoerig in op de gebruikte stochastische interpolatietechnieken (Stafleu et al., 2011). Ook deze publicatie is verkrijgbaar via DINOloket. Het artikel behandelt echter een eerdere versie van modelgebied Zeeland 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 Stafleu et al. (2021).

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).

Bij elk in de BRO opgenomen model horen een of meerdere kwaliteitstoetsingsdocumenten. Deze zijn te vinden op BROloket: <https://www.broloket.nl/toelichting/geotop>.

Van Almere is het conceptueel model, waarin de modeleenheden en hun onderlinge stratigrafische relaties worden beschreven, gepubliceerd als rapport *R12081 Conceptueel model DGM+/GeoTOP Noord-Holland en Zuidelijk-Flevoland* (Koster et al., 2022). Het deel dat betrekking heeft op Almere (Zuidelijk Flevoland) is opgenomen als hoofdstuk 6 van dit rapport; het deel over Noord-Holland betreft een nog niet gerealiseerde update van het modelgebied en is voor GeoTOP v1.6 niet van belang.

2 Algemene beschrijving van het model

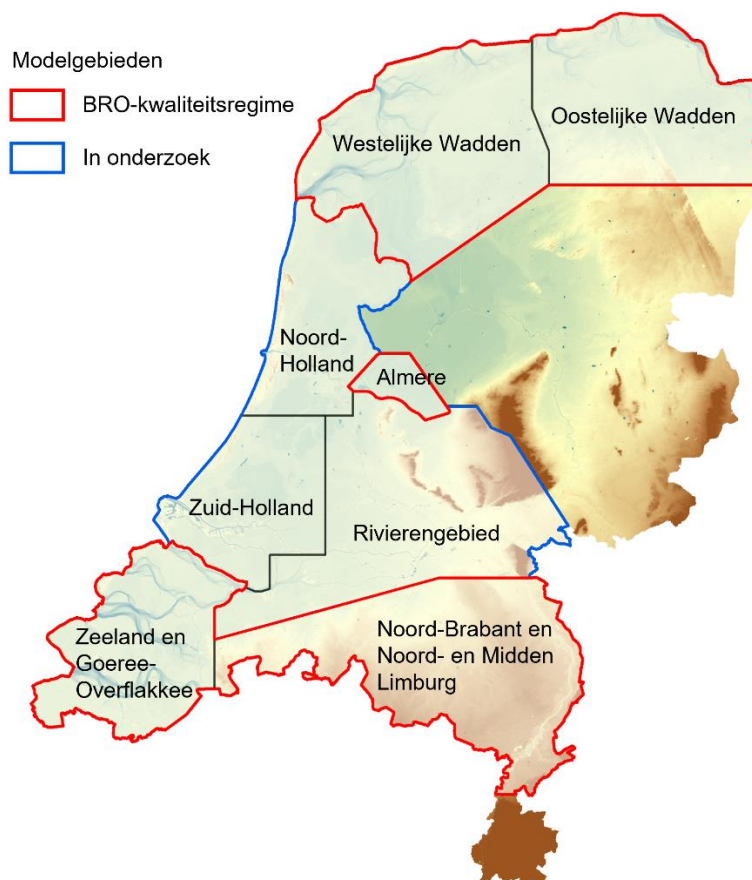
Voor de algemene beschrijving van het model GeoTOP wordt verwezen naar hoofdstuk 2 in het rapport *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering*. De daarin opgenomen versie-informatie en informatie over het actuele dekkinggebied van GeoTOP wordt hieronder geactualiseerd.

2.1 Dekkinggebied en modelgebieden

Een belangrijk aspect van GeoTOP is dat het is opgedeeld in **modelgebieden**. GeoTOP wordt niet in één keer landelijk samengesteld maar regio-gewijs ontwikkeld. GeoTOP bestrijkt momenteel (stand 2023) circa 71% van het vasteland van Nederland verdeeld over acht modelgebieden (Figuur 2.1). Van deze modelgebieden hebben er vijf het voor de BRO ontwikkelde kwaliteitstoetsingsproces doorlopen. Dit zijn in het noorden de modelgebieden Westelijke Wadden en Oostelijke Wadden, in het zuiden Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg, in het zuidwesten Zeeland en Goeree-Overflakkee en in het midden Almere. Deze vijf gebieden beslaan samen circa 45% van Nederland. Voor bestuursorganen geldt voor deze modelgebieden verplicht gebruik en een terugmeldingsplicht. De overige drie modelgebieden hebben het voor de BRO ontwikkelde kwaliteitstoetsingsproces niet doorlopen, waardoor de kwaliteit van deze “historische” modelgebieden minder goed bekend is. Het betreft de modelgebieden Zuid-Holland, Rivierengebied en Noord-Holland. Deze modelgebieden zijn in hun geheel “in onderzoek” geplaatst waardoor het verplicht gebruik en de terugmeldingsplicht vervallen.

Op GeoTOP is **versiebeheer** van toepassing. Het versiebeheer geldt zowel voor individuele modelgebieden als voor GeoTOP als geheel. De in de BRO uitgeleverde actuele versie van GeoTOP omvat alle op dat moment actuele modelgebieden.

Het nieuwe modelgebied Almere heeft als versienummer 1.0. Omdat Almere een gedeeltelijke overlap heeft met de bestaande modelgebieden Noord-Holland en Rivierengebied, is van deze twee modelgebieden een nieuwe versie ontstaan. De delen die met Almere overlappen zijn daarbij uit Noord-Holland en Rivierengebied verwijderd. Daarmee zijn Noord-Holland en Rivierengebied kleiner geworden. Voor zowel Noord-Holland als Rivierengebied wordt versie 1.0 vervangen door versie 1.1. Daarnaast ontstaat er een nieuwe versie van GeoTOP, namelijk versie 1.6. Deze versie vervangt GeoTOP versie 1.5.



Figuur 2.1: De acht modelgebieden van GeoTOP v1.6 waarvan er vijf, namelijk Westelijke Wadden, Oostelijke Wadden, Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg, Zeeland en Goeree-Overflakkee, en Almere, het voor de BRO ontwikkelde kwaliteitstoetsing-proces hebben doorlopen. De overige drie modelgebieden, Zuid-Holland, Rivierengebied en Noord-Holland, zijn “in onderzoek”. De kleuren geven de hoogteligging van maaiveld en waterbodem weer.

Tabel 2.1 geeft de samenstelling van de huidige versie van het GeoTOP model weer.

Tabel 2.1: De samenstelling van GeoTOP v1.6 in acht modelgebieden.

Model	Versie	Modelgebied	Versie	Jaar van oplevering	BRO kwaliteitsregime
GeoTOP	v1.6	Westelijke Wadden	v1.0	2014	Ja
		Oostelijke Wadden	v1.0	2016	Ja
		Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg	v1.0	2020	Ja
		Zeeland en Goeree-Overflakkee	v2.0	2022	Ja
		Almere	v1.0	2023	Ja
		Zuid-Holland	v1.2	2021	Nee
		Noord-Holland	v1.1	2023	Nee
		Rivierengebied	v1.1	2023	Nee

3 Uitgangspunten en randvoorwaarden, richtlijnen en standaarden

Voor de uitgangspunten en randvoorwaarden, richtlijnen en standaarden wordt verwezen naar hoofdstuk 3 in het rapport *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering*.

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 Almere vermeld.

4.1 DINO geologische booronderzoeken

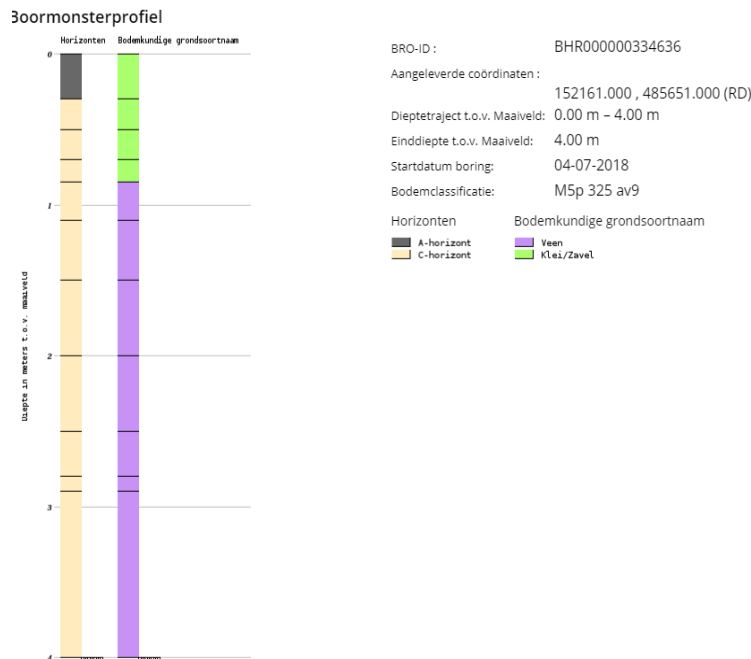
Verreweg de belangrijkste gegevensbron voor GeoTOP zijn de geologische booronderzoeken (boorbeschrijvingen) met bijbehorende lithostratigrafische interpretaties in de DINO database. DINO staat voor Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond en is de landelijke centrale opslag voor geowetenschappelijke gegevens over de diepe en ondiepe ondergrond. De boorbeschrijvingen van DINO zijn momenteel nog niet in de Basisregistratie ondergrond (BRO) opgenomen.

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 modelgebied waren bij aanvang van de modellering circa 8000 boorbeschrijvingen in DINO aanwezig. Hier zijn circa 5500 handboringen uit het archief van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) aan toe gevoegd. Daarnaast heeft gemeente Almere 3800 ondiepe boringen uit haar eigen archief aangeleverd. In totaal kwamen daarmee circa 17.300 DINO boorbeschrijvingen beschikbaar voor GeoTOP Almere. In het ondiepe bereik (het bereik van de handboringen) is de datadichtheid vergeleken met andere modelgebieden daarmee zeer hoog.

4.2 BRO bodemkundige booronderzoeken

Almere is het eerste modelgebied waarin bodemkundige booronderzoeken uit de BRO gebruikt zijn. Het gaat om 402 handboringen tot maximaal 5 m diep die gezet zijn in het kader van de actualisatie van de BRO Bodemkaart (Brouwer et al., 2018; Figuur 4.1).



Figuur 4.1: Boormonsterprofiel van een bodemkundig booronderzoek in modelgebied Almere.

De lithologische boorbeschrijvingen zijn gecodeerd in het BRO-standaardformaat. Deze codering is vertaald naar het bestandsformaat dat in de DINO database gebruikt wordt (SBB; Bosch, 2000). Na deze conversie kunnen de boorbeschrijvingen samen met de DINO boorbeschrijvingen in de modellering gebruikt worden.

4.3 BRO geotechnisch sondeonderzoek

In Almere zijn ruim 12.000 geotechnische sondeonderzoeken (sonderingen) uit de BRO gebruikt als extra datapunten voor het Top-Pleistoceen stuurvlak. Dit stuurvlak speelt een belangrijke rol in de geautomatiseerde toekenning van stratigrafie aan de boorbeschrijvingen. In elke sondering is de diepteligging van het pleistocene oppervlak (top zand, of basis Basisveen Laag) vastgesteld volgens de ‘eerste methode’ zoals beschreven in het rapport *R10991 GeoTOP modellering* (Stafleu et al., 2012). In deze methode worden de in de sondering gemeten wrijvingsgetallen geanalyseerd en gebruikt om een scherpe overgang van veen (hoog wrijvingsgetal) naar zand (laag wrijvingsgetal) te vinden. Als zo’n overgang gevonden wordt in een bufferzone rond de diepte waarin de top van het pleistocene zand verwacht wordt, dan interpreteren we die als een overgang van de holocene Basisveen Laag naar het pleistocene zand.

4.4 Aanvullende sondegegevens

Gemeente Almere heeft in ruim 13.000 papieren sondecurves de overgang van slappe holocene grond naar het pleistocene zand geïnterpreteerd. Deze top zandhoogtes zijn toegevoegd aan de in de vorige paragraaf beschreven dataset en gebruikt als extra datapunten voor het Top-Pleistoceen stuurvlak.

4.5 Maaiveld- en waterbodemoogten

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

In Almere is gebruik gemaakt van dezelfde versie van het maaiveld- en waterbodemoogtenbestand dat ook in Zeeland en Goeree-Overflakkee is gebruikt, dat wil zeggen dat gebruik gemaakt is van AHN3. Meer informatie is te vinden in het rapport *R12127 Totstandkomingsrapport GeoTOP – aanvullingen bij versie v1.5*.

4.6 Bronbestanden voor de antropogene afzettingen (AAOP)

In GeoTOP Almere is de verbreiding van de Antropogene afzettingen (modeleenheid AAOP) op een nieuwe manier tot stand gekomen. De verbreiding wordt gebaseerd op een combinatie van Top10NL, de BRO Geomorfologische Kaart, de BRO Bodemkaart en de Dijkenkaart. In eerdere modelgebieden werd de AAOP-verbreiding afgeleid uit het Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN), aangevuld met datasets van autosnelwegen en de Dijkenkaart. Alleen de laatste dataset wordt vanaf GeoTOP Almere nog gebruikt.

4.6.1 Topografische basiskaart – Top10NL

Top10NL is de topografische basiskaart van Nederland en onderdeel van de Basis Registratie Topografie (BRT). De kaart wordt gemaakt en beheerd door 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 GeoTOP Almere 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

Laag	Attribuut	Waarde
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 en afgezonken tunnels, moet vervolgens alsnog worden uitgesloten. Voor 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-verbrediging.

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
TERREIN_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-verbrediging opgenomen.

Figuur 4.2 toont een voorbeeld van een Top10NL laag.



Figuur 4.2: Top10NL laag WEGDEEL_HARTLIJN (rood) rondom Almere, waarbij de autosnelwegen en hoofdwegen in lichtblauw zijn geaccentueerd.

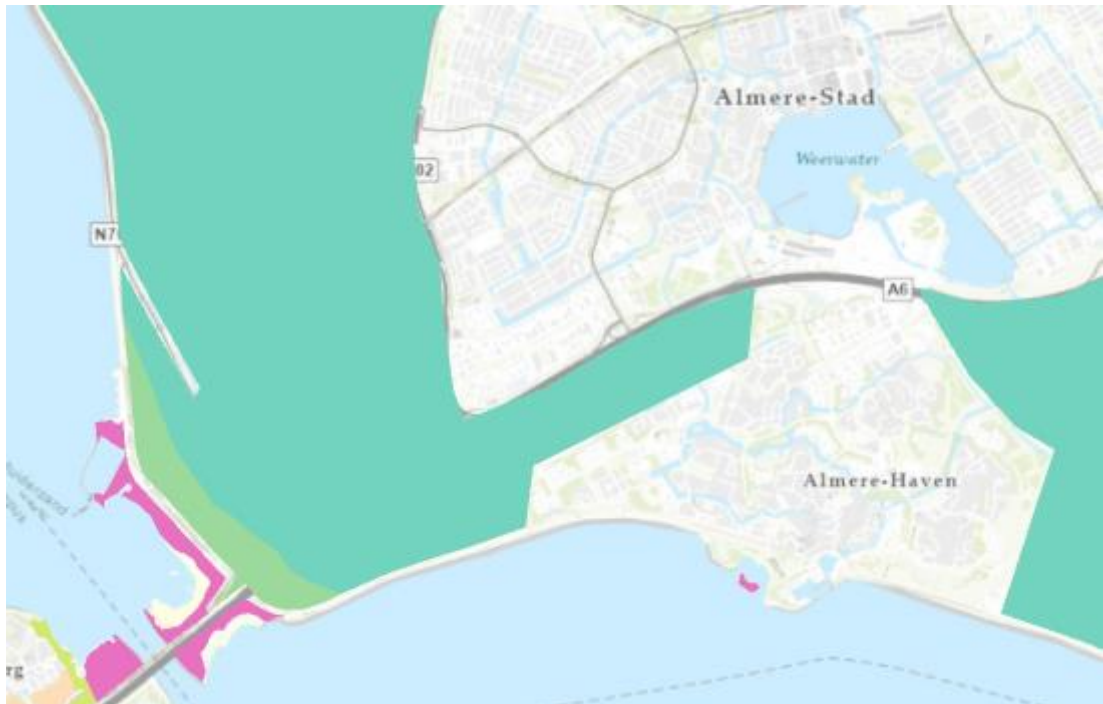
4.6.2 BRO Geomorfologische kaart

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: Selectie 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

Figuur 4.3 toont een voorbeeld van kunstmatige ophogingen.



Figuur 4.3: Geomorfologische kaart met kunstmatige ophogingen (roze) nabij Almere.

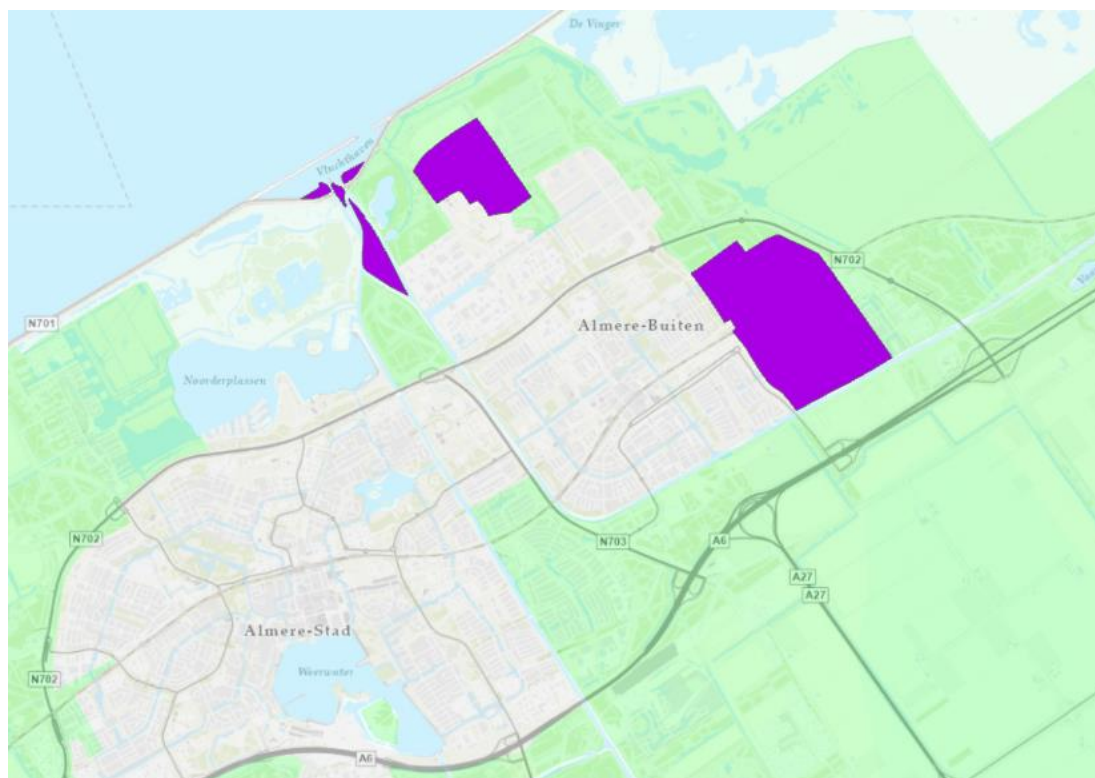
4.6.3 BRO Bodemkaart

De Bodemkaart van Nederland (versie 2018) is evenals de Geomorfologische kaart een onderdeel van de BRO en wordt 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: Selectie uit de BRO Bodemkaart, toegevoegd aan de AAOP-verbreiding.

Laag	Attribuut	Waarde
Bodemkaart	Eerste bodemeenheid	Opgehoogd of opgespoten

Figuur 4.4 toont een voorbeeld van opgespoten grond.



Figuur 4.4: Bodemkaart met opgespoten grond (paars) rondom Almere.

4.6.4 Dijkenkaart

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: Selectie uit de Dijkenkaart, toegevoegd aan de AAOP-verbreiding.

Laag	Attribuut	Waarde
Dijkenkaart 2014	Dijk type	Primaire waterkende dijken Primaire dammen en keringen

Figuur 4.5 toont de primaire waterkeringen en dammen in midden Nederland.



Figuur 4.5: Primaire waterkeringen en dammen in midden Nederland.

4.6.5 Handmatige aanpassingen

Voor het samenstellen van het maaiveldbestand (paragraaf 4.4) wordt gebruik gemaakt van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN). 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 (bijvoorbeeld de wijk Zeeburg in Amsterdam). Ook kunnen kunstmatige ophogingen recentelijk juist zijn afgegraven. Waar dit bekend is zijn deze gebieden handmatig toegevoegd en verwijderd uit de selectie.

5 Procesbeschrijving algemeen

De procesbeschrijving van GeoTOP bestaat uit de volgende onderdelen:

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

In onderdeel (1) wordt o.a. het opstellen van het conceptueel model beschreven. In het conceptueel model worden de te modelleren eenheden en hun onderlinge stratigrafische relaties vastgelegd in een of meerdere conceptuele profielen (verticale dwarsdoorsneden) door het modelgebied inclusief een toelichting. Het conceptueel model van Almere is gepubliceerd in rapport *R12081 Conceptueel model DGM+/GeoTOP Noord-Holland en Zuidelijk-Flevoland* (Koster et al., 2022). Een samenvatting van het deel dat betrekking heeft op Almere is opgenomen in hoofdstuk 6 van dit rapport; het deel over Noord-Holland betreft een nog niet gerealiseerde update van het modelgebied en is voor GeoTOP v1.6 niet van belang.

In onderdeel (1) wordt in Almere een bodemdalingscorrectie toegepast op boringen waarvan het maaiveld hoger ligt dan het huidige landoppervlak. Deze correctie wordt hieronder beschreven (paragraaf 5.1).

In onderdeel (3) is in Almere een nieuwe manier om verbreding en dikte van de antropogene afzettingen te modelleren toegepast. Deze wordt hieronder beschreven (paragraaf 5.2).

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

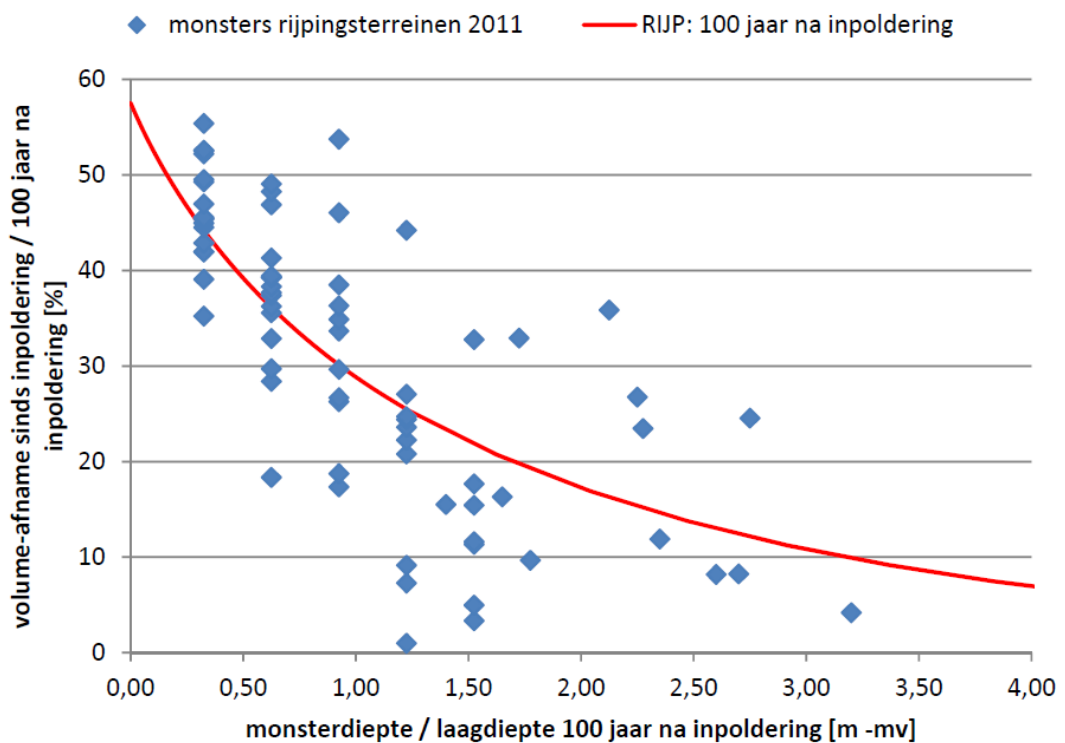
Voor de overige onderdelen wordt verwezen naar hoofdstuk 5 in het rapport *R10758 Totstandkomingsrapport GeoTOP – met nieuwe methodiek lagenmodellering*. De vijf onderdelen hebben in dat rapport de hierboven aangegeven paragraaftitels.

5.1 Datavoorbereiding – Bodemdalingscorrectie boorbeschrijvingen

Zuidelijk Flevoland is in 1968 ingepolderd waarbij de IJsselmeerbodem is drooggevallen (Van Dooremolen et al., 1996). De kleiige en venige lagen die de meerbodem vormden waren direct na het droogvallen nog geheel met water verzadigd en zeer slap. Vervolgens heeft het sediment veel water verloren waardoor krimp is opgetreden die resulteerde in maaiveld daling en scheurvorming. Het bodemdalingsproces is in het begin heel snel gegaan, en gaat, 55 jaar na de inpoldering, nog steeds door (De Lange et al., 2012).

De Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) heeft in de eerste periode na de inpoldering een groot aantal handboringen gezet. Deze RIJP-boringen (opgenomen in de DINO database) vormen een belangrijk deel van de voor de modellering van de ondiepe ondergrond beschikbare boorbeschrijvingen. Bij het zetten van de boring is de hoogte van het toenmalige maaiveld gemeten en vastgelegd. Doordat de dikte van de bovenste kleiige en venige lagen door oxidatie, krimp en compactie is afgenomen ligt het maaiveld inmiddels echter 1 tot 1,5 m lager. De boorbeschrijvingen geven daarmee historische informatie over de opbouw van de ondiepe ondergrond die nu niet meer actueel is. Om de boorbeschrijvingen toch te kunnen gebruiken zijn maaiveldhoogte en laagdikte gecorrigeerd voor de sinds de inpoldering opgetreden bodemdaling.

Voor de correctie is gebruik gemaakt van de volumeafname-curve van Van Dooremolen et al. (1996) zoals weergegeven in De Lange et al. (2012; Figuur 5.1).



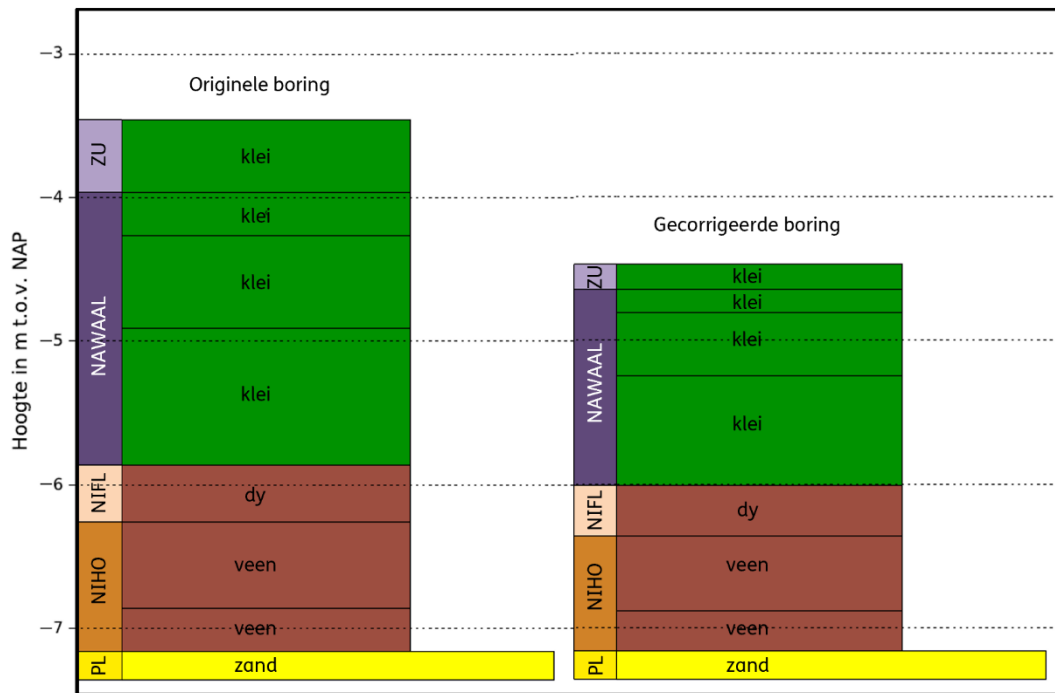
Figuur 5.1: Volumeafname van de ondergrond in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland afhankelijk van de laagdiepte in m beneden het maaiveld. Dalingscurve op basis van Van Dooremolen et al. (1996); waarnemingen van rijpingsterreinen uit De Lange et al. (2012). Figuur is overgenomen uit De Lange et al. (2012).

Figuur 5.1. toont de door Van Dooremolen et al. (1996) voorspelde bodemdaling door volumeafname voor de situatie 100 jaar na inpoldering (rode lijn). In blauw zijn de veldwaarnemingen van De Lange et al. (2012) aan monsters op verschillende diepte weergegeven. Ondanks de grote mate van spreiding in de waarnemingen is te zien dat de grootste volumeafname plaatsvindt in de minst diep gelegen lagen (op 30, 60 en 90 cm onder maaiveld). Monsters op 120 en 150 cm diepte laten een veel geringere bodemdaling zien. Tevens is te zien dat een groot deel van de voorspelde bodemdaling al is gerealiseerd: in het ondiepe bereik liggen veel van de monsters boven de dalingscurve. Alleen in de diepere lagen (100 – 150 cm) zijn er nog veel monsters onder de dalingscurve. Deze lagen, met een diepte rond de gemiddelde laagste grondwaterstand, kunnen nog in volume afnemen en verdere bodemdaling veroorzaken (De Lange et al., 2012).

Om de boorbeschrijvingen voor de bodemdaling te corrigeren is een Python-procedure ontwikkeld. Deze procedure bepaalt eerst welke boringen in het binnendijkse gebied van de polder liggen. Hieruit worden vervolgens de boringen geselecteerd waarvan het maaiveld in de boorbeschrijving meer dan 0,25 m boven het actuele maaiveld volgens AHN3 ligt. Het verschil in maaiveld is de geobserveerde bodemdaling waarvoor gecorrigeerd moet worden.

Van de geselecteerde boringen worden de boorbeschrijvingsintervallen opgedeeld in kleine, geregulariseerde intervallen van maximaal 10 cm dikte. Als voorbeeld wordt een boorbeschrijvingsinterval van 35 cm dikte opgedeeld in drie intervallen van 10 cm en één van 5 cm dikte. Voor elk van deze intervallen wordt aan de hand van de diepteligging de bijbehorende volumeafname uit de dalingscurve afgelezen (Figuur 5.1). Uit de volumeafname volgt een nieuwe intervaldikte. Idealiter zal de som van de volumeafname van alle intervallen van de boring overeenkomen met de geobserveerde bodemdaling. In de praktijk is de totale volumeafname echter te groot of te klein. Uit het verschil wordt een correctiefactor berekend ($\text{correctiefactor} = \text{geobserveerde bodemdaling} / \text{berekende volumeafname}$). Voor elk interval wordt nu nogmaals de dalingscurve afgelezen waarna de afgelezen volumeafname wordt vermenigvuldigd met de correctiefactor.

Uit de nieuwe diktes van de geregulariseerde intervallen wordt de nieuwe top, basis en dikte van elk boorbeschrijvingsinterval bepaald en opgeslagen in het bestand met de boorbeschrijvingsgegevens. Hierin wordt tevens de maaiveldhoogte aangepast naar de actuele maaiveldhoogte volgens AHN3 (Figuur 5.2). In totaal zijn ruim 6500 boringen in modelgebied Almere gecorrigeerd.



Figuur 5.2: Bodemdalingscorrectie in een boring in modelgebied Almere. Links de originele boorbeschrijving met de laagdiktes en maaiveldhoogte zoals in het veld waargenomen; rechts de gecorrigeerde boorbeschrijving met aangepaste laagdiktes en een maaiveld conform AHN3. Links van de boorbeschrijvingen is de stratigrafische interpretatie weergegeven (PL = Pleistoceen; NIHO = Hollandveen Laagpakket; NIFL = Flevomeer Laag; NAWAAL = Almere Laag; ZU = Zuiderzee Laag). Merk op dat de bovenste lagen meer gecorrigeerd zijn dan de dieper gelegen lagen.

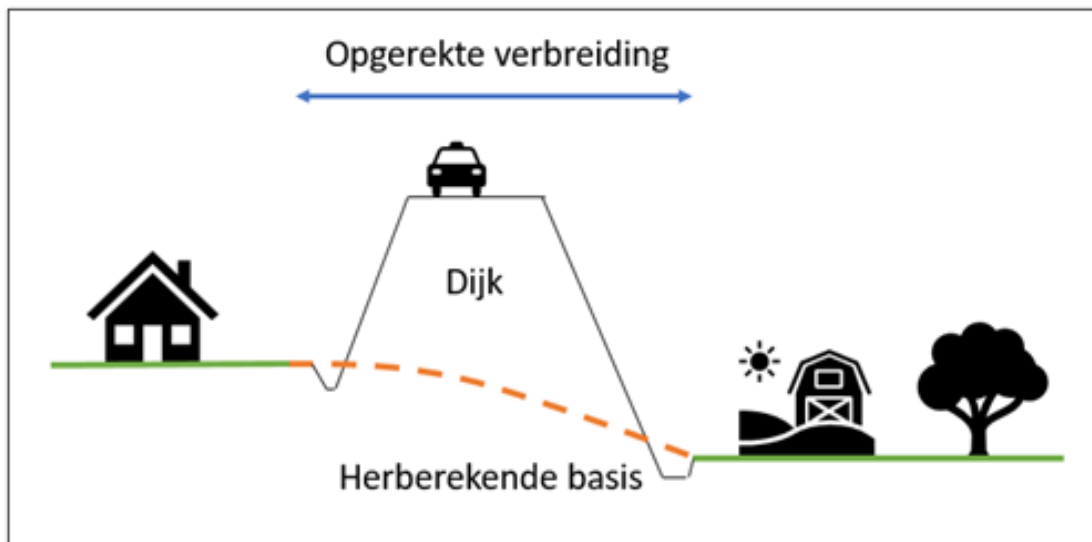
Op bovenstaande procedure is een aantal uitzonderingsgevallen:

- › Volumeafname vindt plaats in kleiige en venige lagen. In zandige intervallen is de volumeafname altijd 0;
- › Boringen die in bebouwd gebied liggen en gezet zijn *nadat* er ophoogzand is aangebracht worden niet voor bodemdaling gecorrigeerd;
- › Boringen die in bebouwd gebied liggen en gezet zijn *voordat* er ophoogzand is aangebracht worden niet gecorrigeerd naar het actuele maaiveld volgens AHN3, maar naar een maaiveld dat verlaagd is met de dikte van het ophoogzand (maaiveldhoogte voor ophoging).

5.2 Lagenmodellering – antropogene afzettingen

In de lagenmodellering wordt de diepteligging van de basis van de antropogene afzettingen (AAOP) gemodelleerd. Naast een grote hoeveelheid geïnterpreteerde boorbeschrijvingen waarin de eenheid AAOP is aangetroffen worden ook primaire dijken, storten, autosnelwegen en andere antropogene objecten rechtstreeks in de modellering meegenomen. Om een zo goed mogelijke basis van de antropogene afzettingen te modelleren wordt eerst een stuurvlak samengesteld, waarna in combinatie met de boordata het definitieve vlak wordt berekend. Hiervoor worden de volgende stappen genomen:

1. Er wordt een kopie van het maaiveldraster (paragraaf 4.4) 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). Als standaarddeviatie wordt hier de standaarddeviatie van het maaiveldraster overgenomen. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen antropogene objecten op land (o.a. wegen, storten, terpen) en objecten die op de waterbodem kunnen liggen (dijken). Bij de laatste categorie wordt ook de waterbodemoogte gebruikt voor het herberekenen van de basis van het AAOP.
2. 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. De standaarddeviatie wordt overgenomen van het maaiveldraster.
3. 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.
4. Vervolgens wordt conform de werkwijze bij de overige lagen de basis en de standaard deviatie voor het AAOP berekend op basis van de geïnterpreteerde boorbeschrijvingen.
5. Van de dijken rondom de Flevopolders is bekend dat ze zijn ingegraven tot vlak boven de top van het pleistocene zand. In eerste instantie wordt voor deze dijken een basis berekend volgens de standaard methode in stap 1; de definitieve basis wordt pas bepaald tijdens het consistent maken van het lagenmodel. De top van het pleistocene zand is gelijk aan de gecombineerde basissen van de bovenliggende holocene eenheden. Nadat dit gecombineerde vlak is bepaald wordt de basis van de dijken rondom de Flevopolders daar een halve meter boven gelegd.



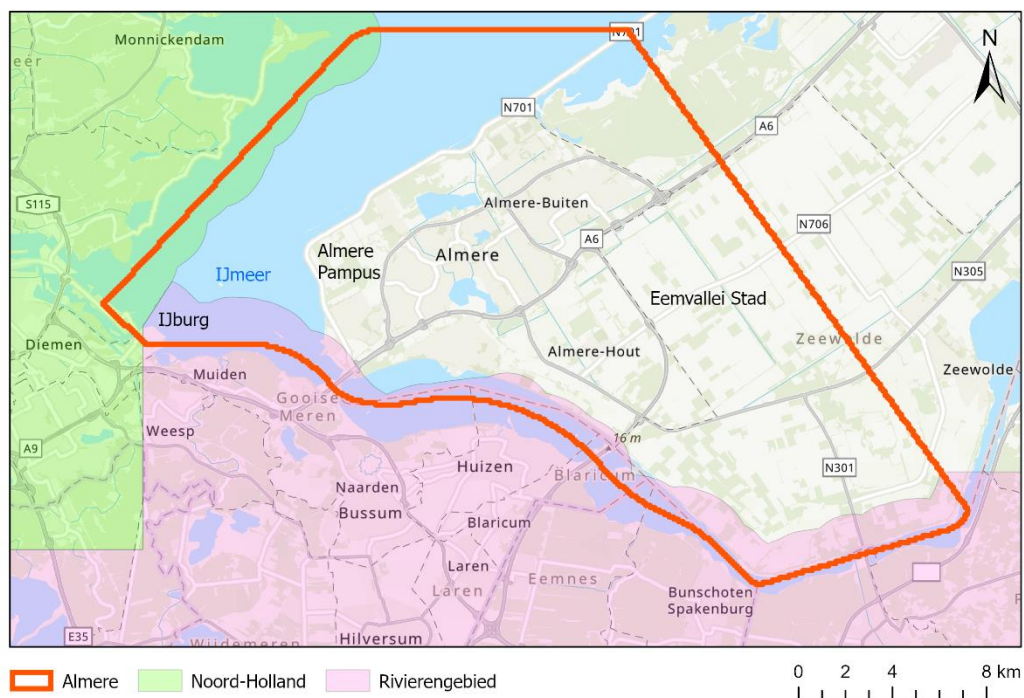
Figuur 5.3: Berekening van de basis AAOP onder dijken, waterkeringen en storten door maaiveldhoogte ter plaatse van de ‘opgerekte’ verbreiding te verwijderen en middels omliggende rasterdata de ontstane leemten op te vullen.

6 Conceptueel model Almere

Het conceptueel model van Almere is gepubliceerd in rapport R12081 *Conceptueel model DGM+/GeoTOP Noord-Holland en Zuidelijk-Flevoland* (Koster et al., 2022). Een samenvatting van het deel dat betrekking heeft op Almere is hieronder opgenomen; het deel over Noord-Holland betreft een nog niet gerealiseerde update van het modelgebied en is voor GeoTOP v1.6 niet van belang.

6.1 Modelgebied

Het GeoTOP modelgebied Almere omvat de zuidwestelijke Flevopolder en delen van de omringende wateren: Markermeer, IJmeer en de randmeren Gooimeer, Eemmeer, Nijkerkernauw en Nuldernauw (Figuur 6.1). In de polder omvat het modelgebied de stad Almere en de gebieden waar nieuwbouw gepland is, waaronder Almere Pampus en Eemvallei Stad. Ook het tracé van de mogelijke vaste oeververbinding tussen Almere Pampus en IJburg ligt in het modelgebied, met IJburg in het westen.

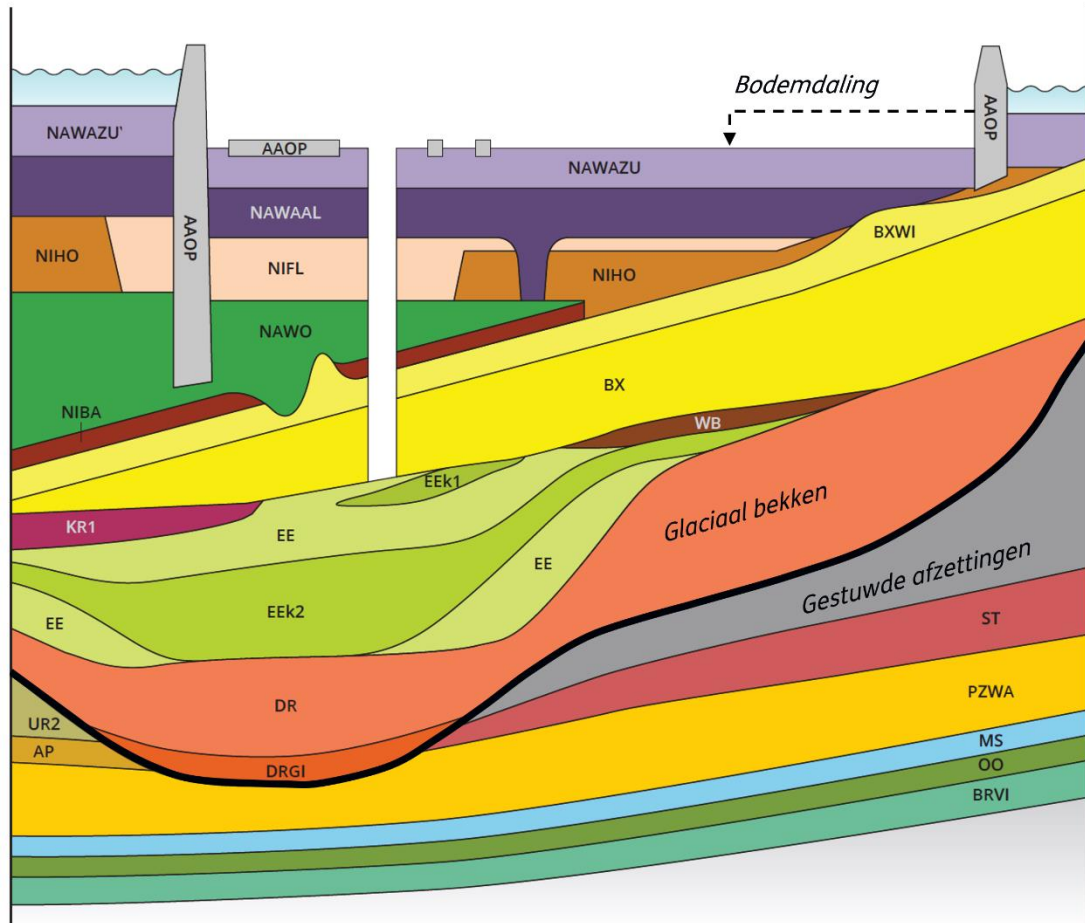


Figuur 6.1: Modelgebied Almere.

In het westen sluit modelgebied Almere aan op Noord-Holland, in het zuiden op Rivierengebied. De delen van Noord-Holland en Rivierengebied die met Almere overlappen zijn uit deze modelgebieden verwijderd.

6.2 Conceptueel profiel

Figuur 6.2 is een schematisch profiel door het modelgebied. Het geeft de te modelleren eenheden en hun onderlinge stratigrafische relaties weer. Het figuur is uitdrukkelijk niet op schaal: de ondiepe eenheden zijn relatief veel dikker weergegeven dan de diepere eenheden.



Figuur 6.1: Conceptueel profiel van GeoTOP Almere met de te modelleren eenheden en hun onderlinge stratigrafische relaties. Het figuur is uitdrukkelijk niet op schaal: de ondiepe eenheden zijn relatief veel dikker weergegeven dan de diepere eenheden. Voor een verklaring van de afkortingen zie Tabel 6.1. De dikke zwarte lijn geeft de bodem van het glaciaal bekken weer. In de Flevopolder is de bodemdaling schematisch weergegeven.

6.3 Modeleenheden

Tabel 6.1 toont de modeleenheden die in modelgebied Almere voorkomen. De volgorde is conform de stratigrafische laagvolgorde van de eenheden, waarbij opgemerkt moet worden dat de kleilagen (EEK1, EEK2) in hun geheel binnen de moedereenheid (EE) vallen. Ook de eenheid DRGI valt geheel binnen de moedereenheid (DR). De kolom “nieuw” geeft aan dat de eenheid in Almere voor het eerst is gemodelleerd en daarmee nieuw is in GeoTOP.

Tabel 6.1: Modeleenheden in GeoTOP Almere.

Eenheid	Omschrijving	Opmerking	Nieuw
AAOP	Antropogene afzettingen, Opgebrachte grond		
NAWAZU	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, Zuiderzee Laag	Eenheid omvat tevens Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, IJsselmeer Laag	X
NAWAAL	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, Laag van Almere		X
NIFL	Formatie van Nieuwkoop, Flevomeer Laag		X
NIHO	Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket		
NAWO	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer		
NAWOVE	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer, Laag van Velsen		
NIBA	Formatie van Nieuwkoop, Basisveen Laag		
BXWIKO	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Wierden en Laagpakket van Kootwijk		
BX	Formatie van Boxtel		
KR1	Formatie van Kreftenheye 1	Huidige codering op BROloket en in de uitgeleverde bestanden is KRBXDE	
WB	Formatie van Woudenberg		
EEK1	Eem Formatie, 1 ^e kleilaag	Deze kleilaag binnen de Eem Formatie is alleen gemodelleerd om de lithoklasseinvulling van de Eem Formatie beter te kunnen modelleren. De eenheid is echter niet als zodanig in het lagenmodel en voxelmodel opgenomen.	X
EEK2	Eem Formatie, 2 ^e kleilaag	Als EEK1	X
EE	Eem Formatie		
DR	Formatie van Drente		
DRGI	Formatie van Drente, Laagpakket van Gieten	DRGI komt binnen de moedereenheid DR voor	
GE	Gestuwde eenheden		
UR2	Formatie van Urk	Huidige codering op BROloket en in de uitgeleverde bestanden is UR	
ST	Formatie van Sterksel		

Eenheid	Omschrijving	Opmerking	Nieuw
AP	Formatie van Appelscha	Komt alleen in het lagenmodel voor, de top van de eenheid ligt in het modelgebied dieper dan -50 m NAP en daarmee buiten het bereik van het voxelmodel.	
PZWA	Formatie van Peize en Formatie van Waalre	Als AP	
MS	Formatie van Maassluis	Als AP	
OO	Formatie van Oosterhout	Als AP	
BRVI	Formatie van Breda en Formatie van Ville	Als AP; huidige codering op BROloket en in de uitgeleverde bestanden is BR	

6.4 Geologische eenheden

In de volgende paragrafen worden ook geologische eenheden behandeld die niet in het modelgebied voorkomen. Deze zijn voor het begrip van de regionale context echter wel van belang en worden daarom toch beschreven. Indien de eenheden niet in het modelgebied voorkomen is dit in de tekst aangegeven. Verder behoren alle beschreven eenheden tot de Boven-Noordzee Groep (NU). De eenheidscode begint daarom formeel met de letters NU, die voor de leesbaarheid echter worden weggelaten: NUNAWO wordt hieronder bijvoorbeeld weergegeven als NAWO.

6.4.1 Formaties van Breda en Oosterhout

De stratigrafische basis van de modelgebieden wordt gevormd door de Formatie van Breda (BR¹). Afzettingen van deze eenheid zijn in maar enkele boringen in het gebied beschreven, vanwege hun relatief grote diepte vanaf ca. 400 m -NAP.

De ondiepe mariene afzettingen van de eerste kleiige eenheid van de Formatie van Breda bestaan uit klei tot siltige klei met ingeschakelde glauconiet- en kalkhoudende zandlaagjes. De hierboven gelegen kustnabije ondiep mariene afzettingen van de Formatie van Oosterhout (OO) worden gedomineerd door glauconiet houdende matig fijne zanden met plaatselijk schelpenbanken en kleilagen. Aan de top van de formatie komt in het gebied een kleilig pakket voor (OOK1 in REGIS II).

6.4.2 Formaties van Maassluis, Peize en Waalre

De ondiep mariene Formatie van Maassluis (MS) bevat vaak minder glauconiet dan de Formatie van Oosterhout, en bevat tevens minder en ook andere (veelal dikwandige) schelpen. De formatie bevat twee kleilagen (MSk1, MSk2 in REGIS II) en een klei-zand complex (MSc in REGIS II), waarvan alleen MSk1 in Almere voorkomt. Deze lagen worden niet gemodelleerd, omdat ze niet binnen het GeoTOP-bereik voorkomen.

Op de Formatie van Maassluis liggen vroeg-pleistocene rivier- en estuariene afzettingen van de formaties van Peize en Waalre (PZ en WA). In het model wordt de noordelijk gelegen Formatie van Peize gezamenlijk gemodelleerd met de zuidelijker voorkomende Formatie van

¹ In het model wordt de Formatie van Breda gezamenlijk gemodelleerd met de in Limburg voorkomende Ville Formatie. De modeleenheid heet daarom BRVI.

Waalre omdat deze in een overgangsgebied intercaleren en daardoor niet goed te onderscheiden en afzonderlijk te modelleren zijn. De modeleenheid heet daarom PZWA (Formatie van Peize en Formatie van Waalre).

In Zuidelijk Flevoland wordt deze modeleenheid gedomineerd door fluviatiele afzettingen bestaande uit matig grof tot zeer grof, veelal glimmerrijke zand- en grindlagen, afgewisseld met kleilagen. De glimmer-, kalk- en melkkwartshoudende sedimenten zijn afgezet door de Rijn terwijl de grotendeels glimmerloze, kalkloze en transparante-kwartshoudende sedimenten zijn afgezet door het Eridanos (Baltische) riviersysteem. Binnen de modeleenheid zijn drie kleiniveaus zichtbaar (WAK1, WAK2 en WAK3 in REGIS II) waarvan alleen WAK1 in Almere voorkomt.

Aan de basis van de modeleenheid PZWA komt het (kleilige) Laagpakket van Balk voor (PZBA; PZc in REGIS II). Dit laagpakket wordt echter niet gemodelleerd, omdat het niet binnen het GeoTOP-bereik voorkomt en geen deel uitmaakt van de eenheden in DGM v2.2.

6.4.3 Formatie van Appelscha

De modeleenheid PZWA wordt bedekt door midden-pleistocene fluviatiele afzettingen van de Formatie van Appelscha (AP). De Formatie van Appelscha is afgezet door oostelijke rivieren, waaronder voorlopers van de Elbe en Weser. In het modelgebied bestaan deze uit matig tot uiterst grof zand met grindinschakelingen. Plaatselijk komt er een kleilig niveau voor aan de top van de formatie. De formatie komt in het westen en langs de noordrand van het modelgebied voor en is tot enkele tientallen meters dik. In het zuiden van Flevoland is de formatie deels door het landijs opgestuwd en dan gekarteerd als onderdeel van modeleenheid Gestuwde Eenheden (GE).

6.4.4 Formaties van Sterksel en Urk

De Formatie van Appelscha wordt bedekt door midden pleistocene afzettingen van de formaties van Sterksel (ST) en Urk (UR). Beide formaties zijn afgezet door de Rijn. De Formatie van Sterksel is in het modelgebied alleen in het zuidwesten aanwezig. Lokaal komt er een kleilaag in de top voor (STk1 in REGIS II). Afzettingen van de Formatie van Sterksel bestaan uit grijsbruin zeer fijn tot uiterst grof zand, al dan niet grindhoudend. De afzettingen onderscheiden zich voornamelijk van onderliggende eenheden op basis van kleur; de formaties van Appelscha, Waalre en Peize zijn doorgaans bleker. De Formatie van Sterksel kent in het modelgebied een geringe dikte van ongeveer 10 m.

Direct op de Formatie van Sterksel ligt de Formatie van Urk. Deze onderscheidt zich van de Formatie van Sterksel doordat deze grover is van samenstelling en vaak een bruinere kleur heeft. In tegenstelling tot de Formatie van Sterksel is de Formatie van Urk veelal augiethoudend. De Formatie van Urk komt overal op regionale schaal voor. In het zuiden van Flevoland is de formatie deels door het landijs opgestuwd en dan gekarteerd als onderdeel van modeleenheid Gestuwde Eenheden (GE).

De afzettingen van de Formatie van Urk zijn ingedeeld in twee modeleenheden; de UR1 en UR2. De afzettingen van de Formatie van Urk die een hogere stratigrafische positie innemen dan de in Noord-Nederland voorkomende Formatie van Peelo zijn ingedeeld in modeleenheid UR1 (lithostratigrafisch gezien zijn dit afzettingen van het Laagpakket van Tijnje). Deze afzettingen kennen een grijs tot bruinigrijze kleur en bestaan uit matig fijn tot uiterst grof zand. De modeleenheid UR2 omvat alle sedimenten van de Formatie van Urk die op een stratigrafisch lagere positie liggen dan de in Noord-Nederland voorkomende

Formatie van Peelo en omvat de ongedifferentieerde afzettingen van de formatie, het Laagpakket van Veenhuizen en het hier niet aanwezige Laagpakket van Lingsfort (Noord-Limburg). De UR2 bestaat voornamelijk uit grijs tot bruingrijs matig fijn tot uiterst grof zand, met afwisselingen van grindrijke lagen. In het modelgebied komen alleen afzettingen van UR2 voor.

Binnen zowel de UR1 als UR2 kunnen kleiige (en soms venige) intervallen voorkomen die gerekend worden tot URk1, URk2 of URk3, conform REGIS II. Deze eenheden komen niet in het modelgebied voor.

6.4.5 Formaties van Drente en Gestuwde Eenheden

Glaciale afzettingen uit het laat Saalien worden gerekend tot de Formatie van Drente (DR) en komen in het modelgebied voor. Gestuwde afzettingen worden niet tot de Formatie van Drente gerekend, maar tot de aparte modeleenheid Gestuwde Eenheden (GE). Gestuwde Eenheden komen in het zuidwesten van het modelgebied voor. De gestuwde afzettingen bestaan uit glacio-tektonisch gedeformeerd sediment, waaronder een deel van de afzettingen van de formaties van Urk, Sterksel en Appelscha.

Ten westen en ten oosten van de gestuwde eenheden bevinden zich twee glaciale bekkens: het Bekken van Amsterdam in het westen en het Bekken van Amersfoort in het oosten. In de bekkens komen tientallen meters dikke glacio-lacustriene- en hellingafzettingen voor, die worden gerekend tot de Formatie van Drente, Laagpakket van Uitdam (DRUI). De zeer fijne tot uiterst grof zandige hellingafzettingen komen veelal aan de randen van de bekkens voor, terwijl de centrale invulling vaak bestaat uit glacio-lacustriene klei (Laag van Oosterdok, DRUI00), die aan de basis door een warven (d.w.z. meerafzettingen bestaande uit lagen, waarvan elk individueel laagje in één enkel jaar gevormd is) gelaagdheid wordt gekarakteriseerd.

Buiten de glaciale bekkens bestaan de glaciale afzettingen uit het laat Saalien voornamelijk uit smeltwaterafzettingen van het Laagpakket van Schaarsbergen (DRSC). Deze bestaan uit maximaal enkele tientallen meters dikke pakketten matig fijn tot uiterst grof zand.

Daarnaast komt keileem behorende tot het Laagpakket van Gieten (DRGI) in het modelgebied voor: o.a. ingeschakeld in het Laagpakket van Schaarsbergen, op het contactvlak tussen gestuwde eenheden en bovenliggende afzettingen, maar ook direct op afzettingen van vóór de Saalien glaciatie, zoals de Formatie van Urk. Het Laagpakket van Gieten bestaat uit klei en leem, kan sterk zandig en grindig zijn en kan stenen, keien en blokken bevatten. Het is sterk heterogeen en wordt gekenmerkt door de afwezigheid van sedimentaire structuren.

De laagpakketten van Uitdam en Schaarsbergen en de Laag van Oosterdok worden niet apart gemodelleerd, omdat ze buiten het GeoTOP-bereik liggen en geen deel uitmaken van de eenheden in DGM v2.2. In het model zijn ze opgenomen in de Formatie van Drente. Het Laagpakket van Gieten is wel een aparte modeleenheid, die in het modelgebied deels direct onder de Formatie van Drente ligt, en deels door de Formatie van Drente wordt omvat.

6.4.6 Eem Formatie, Formatie van Woudenberg, Formatie van Kreftenheye en Formatie van Boxtel

De Eem Formatie (EE) is een schelprijk, grijs, matig fijn tot zeer grof zandig pakket. Plaatselijk is de afzetting kleiig. De Eem Formatie komt in vrijwel het gehele modelgebied voor en kent een dikte variërend van enkele tot tientallen meters. Deze maximale dikte wordt bereikt in de glaciële bekken, waar de afzettingen direct gelegen zijn op afzettingen van de Formatie van Drente. In het glaciële bekken komen twee kleiige niveaus voor, die conform de naamgeving van REGIS II respectievelijk EEK1 (aan de top van de bekkeninvulling) en EEK2 (aan de basis van de bekkeninvulling) worden genoemd.

Lokaal komt in het modelgebied een veen- of gyttjalaag voor op de Eem Formatie. Deze organisch rijke laag wordt gerekend tot de Formatie van Woudenberg (WB), en kan naast directe ligging op de Eem Formatie, ook oudere sedimenten bedekken van de Formatie van Drente.

De Formatie van Kreftenheye (KR) komt langs de noord- en westrand van het modelgebied voor. Deze formatie bestaat uit grijsbruine, zeer grove en matig grove fluviatiele Rijnzanden. De zanden zijn vaak kalkrijk en worden vaak als bont omschreven, een eigenschap die kan worden gerelateerd aan de aanwezigheid van bonte zandkorrels en/of grind met een bron in de Duitse Middelgebergtes. Sedimenten van de Formatie van Kreftenheye die voorkomen onder de Eem Formatie en Formatie van Woudenberg worden gerekend tot modeleenheid KR2. Sedimenten van de Formatie van Kreftenheye die op en buiten de Eem Formatie en Formatie van Woudenberg liggen worden gerekend tot modeleenheid KR1. In het modelgebied komt alleen KR1 voor.

De Formatie van Boxtel (BX), hoofdzakelijk bestaande uit wind-, beek- en meerafzettingen is in het hele gebied aanwezig. In het overwegend zandige, ongedifferentieerde deel van de Formatie van de Boxtel komen lokaal leem- en veenlagen voor. Deze worden niet als aparte eenheden in de DGM+/GeoTOP lagenmodellering meegenomen, maar komen wel tot uiting in het lithoklassemodel van GeoTOP. De top van de Formatie van Boxtel wordt in het algemeen gevormd door dekzand (Laagpakket van Wierden, BXWI). Deze zanden zijn tijdens het Holoceen op de stuwwallen van Het Gooi soms verstoven (Laagpakket van Kootwijk, BXKO). De overige, dikwijls begraven beekafzettingen worden gerekend tot de Formatie van Boxtel (BX). Rivierduintjes die voorkomen langs het oer-Eemdal worden in het model gerekend tot het Laagpakket van Wierden. Het Laagpakket van Kootwijk wordt in het modelgebied samengenomen met daaronder gelegen Laagpakket van Wierden (BXWIKO).

6.4.7 Formaties van Naaldwijk en Nieuwkoop

De formaties van pleistocene ouderdom bedekt door een 5 tot 15 m dikke holocene kust- en getijdensequentie. Op plaatsen van diepe geulinsnijdingen kan de dikte 20 tot 30 m bedragen, maar die situatie komt in het modelgebied niet voor. Aan de basis van de holocene sequentie ligt de Formatie van Nieuwkoop, Basisveen Laag (NIBA). De Basisveen Laag bestaat uit een 0,1 tot 0,5 m dikke veenlaag die, hetzij fragmentarisch, in grote delen van het modelgebied voorkomt.

De Basisveen Laag kan onder ca. -10 m NAP direct bedekt zijn door de Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer, Laag van Velsen (NAWOVE). De Laag van Velsen is een vroeg-holocene humeuze verdrinkingsklei, welke in de modelgebieden gevormd is als onderdeel van een kweldersysteem. Door het periodiek droogvallen van deze afzettingen door getijwerking, kan de Laag van Velsen zeer stijf zijn. De Laag van Velsen wordt stratigrafisch bedekt door de Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Wormer (NAWO).

Het Laagpakket van Wormer bestaat uit geul- en plaatafzettingen. Grote geulsystemen bestaan uit schelphoudende, matig fijne en matig grove zanden (op diepte zelfs grove zanden) met kleilaagjes en kunnen lokaal diep insnijden in oudere afzettingen. Deze geulsystemen komen in het modelgebied niet voor. Buiten de geulsystemen komen vaak kalkrijke kleien of zeer fijne zanden voor (plaat- of kleinere geulafzettingen). In het modelgebied komen in het Laagpakket van Wormer ingeschakelde veenlagen voor. Deze veenlagen zijn doorgaans enkele decimeters dik, zijn gevormd op kwelderafzettingen en kennen een lokale verbreiding.

Het Laagpakket van Wormer wordt in bedekt door de Formatie van Nieuwkoop, Hollandveen Laagpakket (NIHO). Dit veenpakket reflecteert de fase van volledige kustsluiting. Het Hollandveen Laagpakket bestaat typisch uit een 1 tot 3 m dik veenpakket en komt in vrijwel het hele modelgebied voor. De continuering van dit veenpakket op pleistocene afzettingen buiten het Laagpakket van Wormer, wordt in het model ook tot het Hollandveen Laagpakket gerekend. Binnen het Hollandveen Laagpakket kunnen tot decimeters dikke kleilagen aanwezig zijn, daar waar het veenpakket lateraal overgaat in getijdenafzettingen. Dit speelt voornamelijk rondom het Hauwert Complex en in de buiten het modelgebied gelegen afzettingen van het Oer-IJ en rond het voormalige Zeegat van Bergen. Alle drie behoren ze tot het Laagpakket van Walcheren (zie onder).

Op het Hollandveen Laagpakket komt de Flevomeer Laag voor (NIFL) (Menke et al., 1998). Het uitgestrekte veenmoerasgebied van Zuidelijk Flevoland ging lateraal over in het veenmoerasgebied van Noord-Holland. Echter, waar het in Noord-Holland voornamelijk bestond uit een serie hoogveenkoepels met lagere watervoerende delen, bestond het in Flevoland uit een aaneenschakeling van grotere meren en relatief laagliggende veengebieden. De Flevomeer Laag is gevormd in het open water van de verschillende meren en bestaat uit afwisselingen van gyttja en detritus. De afzettingen bevinden zich tussen ongeveer 5 en 8 m -NAP en kennen een dikte van 1 tot 3 m. De Flevomeer Laag is doorgaans minder organisch dan het veen van het Hollandveen Laagpakket, waarmee het inschakelingen vertoont. De afzettingen van de Flevomeer Laag komen net als het Hollandveen Laagpakket ingeschakeld voor met getijdenafzettingen van het Laagpakket van Walcheren.

Het Hollandveen Laagpakket wordt buiten de Noord-Hollandse droogmakerijen grotendeels bedekt door de Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren (NAWA). Dit betreft de geul- en plaatafzettingen die werden gevormd tijdens het sluiten van de kust en tijdens verschillende inbraken na de sluiting. In het modelgebied komt het Laagpakket van Walcheren niet voor, behoudens in de vorm van de twee tot het laagpakket behorende lagen (Almere Laag, Zuiderzee Laag en IJsselmeer Laag). De twee voornaamste geulsystemen ten westen van het modelgebied zijn het Zeegat van Bergen en het Oer-IJ. Uitlopers van deze geulsystemen hebben in verbinding gestaan met het Hauwert Complex, een geulensysteem in Zuidelijk Flevoland (De Mulder & Bosch, 1982; De Moor, 2013; Vos, 2015). De geulen van het Hauwert Complex hebben in Zuidelijk Flevoland slechts enkele eeuwen bestaan en zijn daar gelijktijdig met het Hollandveen Laagpakket en de Flevomeer Laag gevormd. In het Hauwert Complex zijn sedimentaire structuren zichtbaar die

getijdenwerking impliceren en de schelpeninhoud duidt op een brak- tot zoetwatermilieu. Hoogstwaarschijnlijk werd het zoetwater via (veen)riviertjes zoals de holocene Eem aangevoerd. De getijwerking kwam gezien de geografische ligging vrijwel hoofdzakelijk vanuit het Oer-IJ, al kan een connectie met het veel grotere noordoostelijk gelegen getijdensysteem van het Zeegat van Bergen niet worden uitgesloten.

De top van het Hauwert Complex ligt rond 5 à 6 meter -NAP en kent een maximale dikte van ongeveer 4 m. Ondanks dat het complex uit geulen en platen bestaat, kent het een voornamelijk fijnkorrelige of organische invulling, afgewisseld met zandlaagjes. Het Hauwert Complex ligt in Zuidelijk Flevoland erosief op de Flevomeer Laag, het Laagpakket van Wormer, de Basisveen Laag, of onderliggende zandige eenheden van pleistocene ouderdom. Daar waar het holocene Hauwert Complex contact maakt met eenheden van pleistocene ouderdom, kan de geulinvulling voornamelijk zandig zijn. Afzettingen van het Hauwert Complex worden niet als aparte eenheid gemodelleerd, maar worden in het model ondergebracht bij de Almere Laag (NAWAAL, zie onder).

Door erosie van het meren- en veencomplex van Zuidelijk Flevoland veranderde het gebied geleidelijk aan in één grote lagune met uiteindelijk een connectie tot de Waddenzee in het noorden. Afzettingen die gevormd zijn in dit milieu worden gerekend tot de Almere Laag (NAWAAL) en zijn ongeveer 1 tot 2 m dik. De lithologische overgang van de Flevomeer Laag naar de Almere Laag is gradueel en wordt gekenmerkt door een toename van klei. In de praktijk is het lastig deze grens goed te duiden, maar voor de modellering is dit een belangrijke overgang, omdat het een lithostratigrafische grens betreft tussen de formaties van Nieuwkoop en Naaldwijk. De top van de afzettingen van de Almere Laag laten de toenemende getijdenwerking in de lagune zien. Deze top bestaat voornamelijk uit humeuze klei-zandgelaagdheid al dan niet afgewisseld met detritus.

De overgang van de Almere lagune naar de Zuiderzee wordt in Zuidelijk Flevoland gekenmerkt door de fijnzandige, schelphoudende afzettingen behorende tot de Zuiderzee Laag (NAWAZU). Verder bestaan de afzettingen van de Zuiderzee Laag uit (schelphoudende) klei en zand. Het zand is doorgaans afgezet rondom de kustlijn van de voormalige Zuiderzee. Deze zanden zijn lokale herwerkingen van oudere zandige afzettingen van pleistocene ouderdom en hebben een grijswitte kleur. Over het algemeen is de Zuiderzee Laag dunner dan 1 m. Afzettingen rondom de zuid- en oostzijden van de voormalige Zuiderzee worden ondergebracht in de IJe Laag (NAWAYE). De IJe Laag is een ongeveer 0,5 m dikke stijve siltige klei met lokaal zandlaagjes. De laag wordt gezien de geringe dikte en het beperkte voorkomen niet gemodelleerd.

Lokaal kunnen er in Zuidelijk Flevoland op de Zuiderzee Laag afzettingen aanwezig zijn van na de aanleg van de Afsluitdijk. Deze afzettingen vallen onder de IJsselmeer Laag (NAWAYS) en bestaan doorgaans uit humeuze klei, al dan niet met detritus laagjes erin. In de polders komen deze afzettingen gefragmenteerd voor, maar in het huidige IJsselmeer en Markermeer kunnen ze een grotere verbreiding hebben met een dikte van enkele meters (zoals in voormalige zandwinputten). De IJsselmeer Laag is in het modelgebied opgenomen in de Zuiderzee Laag (NAWAZU).

6.4.8 Antropogene afzettingen

Verspreid over het gehele modelgebied is door de mens grond opgebracht ten behoeve van bedijking, bebouwing en infrastructuur (AAOP). De grote polderdijken zijn ingegraven waarbij de basis van de dijk net boven de Basisveen Laag is komen te liggen (Figuur 6.1). 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.

7 Gewijzigde bestanden

Dit hoofdstuk geeft een kort overzicht van de bestanden die in de ZIP-file van het BRO model GeoTOP versie 1.6 zijn opgenomen. Bij elk bestand is aangegeven of het ten opzichte van de voorgaande versie 1.5 gewijzigd is.

De ZIP-file kent de volgende hoofdcomponenten:

- › Basisgegevens;
- › Lagenmodel;
- › Voxelmodel.

7.1 Basisgegevens

7.1.1 Model, modelgebied en modelsamenstelling

De actuele versie van het BRO-model GeoTOP is gewijzigd van 1.5 naar 1.6. Modelgebied Almere is toegevoegd, met versienummer 1.0. Modelgebieden Noord-Holland en Rivierengebied zijn aangepast. Ze hebben beide versienummer 1.1 gekregen die in beide gevallen versie 1.0 vervangt. De delen van Noord-Holland en Rivierengebied die met Almere overlappen zijn verwijderd, voor het overige blijven de modelgebieden ongewijzigd. GeoTOP versie 1.6 is samengesteld uit de acht modelgebieden zoals aangegeven in Figuur 2.1 en Tabel 2.1.

7.1.2 Boringen, boorbeschrijvingen en interpretaties

Er zijn nieuwe Excel-sheets toegevoegd met de boringen, boorbeschrijvingen en interpretaties van Almere. De suffix in de bestandsnaam voor het nieuwe modelgebied is AL. De Excel-sheets van de modelgebieden Noord-Holland en Rivierengebied, met suffix NH resp. RIV zijn aangepast. Boringen die in het gebied liggen dat met Almere overlapt zijn uit de Excel-sheets verwijderd.

7.1.3 Referentielijsten

In de referentielijst met de geologische eenheden is een drietal wijzigingen aangebracht (Tabel 7.1).

Tabel 7.1: Wijzigingen in de referentielijst met de geologische eenheden.

Code	Omschrijving	Wijziging
NAWAZU	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, Zuiderzee Laag	Nieuwe eenheid
NAWAAL	Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren, Almere Laag	Nieuwe eenheid
NIFL	Formatie van Nieuwkoop, Flevomeer Laag	Nieuwe eenheid

7.2 Lagenmodel

Het lagenmodel binnen het bereik van modelgebied Almere is nieuw. Delen van het lagenmodel van Noord-Holland en Rivierengebied die overlappen met Almere zijn verwijderd. Buiten het modelgebied is het lagenmodel ten opzichte van de vorige versie ongewijzigd gebleven. De begrenzingen van de modelgebieden zijn als shapefile bij het lagenmodel opgenomen. Hierbij zijn de grenzen van Noord-Holland en Rivierengebied aangepast zodat ze op Almere aansluiten.

7.3 Voxelmanmodel

7.3.1 CSV-bestanden (3D)

In de set met CSV-bestanden is een nieuw bestand toegevoegd met de voxeldata van Almere:

- › almere.csv

In de CSV-bestanden van Noord-Holland en Rivierengebied die overlappen met Almere zijn de voxels die in het gebied van Almere liggen verwijderd. Het betreft de volgende CSV-bestanden:

- › noordholland_B09.csv
- › noordholland_B11.csv
- › noordholland_B12.csv
- › rivierengebied_B01.csv
- › rivierengebied_B02.csv
- › rivierengebied_B03.csv

7.3.2 Doorsnedekaarten (2D)

De horizontale doorsnedekaarten van de meest waarschijnlijke lithoklasse zijn gewijzigd: Almere is toegevoegd en de delen van Noord-Holland en Rivierengebied die overlappen met Almere zijn verwijderd. Voor het overige blijven kaarten ongewijzigd. De begrenzingen van de modelgebieden zijn als shapefile bij de doorsnedekaarten opgenomen. Hierbij zijn de grenzen van Noord-Holland en Rivierengebied aangepast zodat ze op Almere aansluiten.

Hetzelfde geldt voor de horizontale doorsnedekaarten van de geologische eenheid.

Referenties

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

Brouwer, F., De Vries, F. & Walvoort, D.J.J., 2018. Basisregistratie Ondergrond (BRO); Actualisatie bodemkaart: herkartering van de bodem in Flevoland. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WUR, WOt-technical report 143, 52 pp.

De Lange, G., Gunnink, J., Houthuessen, Y. & Muntjewerff, R., 2012. Bodemdalingskaart Flevoland. Grontmij, TNO en Deltares Rapport GM-0042778, revisie D2, 233 pp.

De Moor, J.J.W., 2013. Het Hauwert Complex in Zuidelijk Flevoland. EARTH Integrated Archaeology Rapporten 58, 45 pp.

De Mulder, E.F.J. & Bosch, J.H.A., 1982. Holocene stratigraphy, radiocarbon datings and paleogeography of central and northern North-Holland (The Netherlands). Med. RGD 36-3, 27 pp.

Geonovum, 2019. Basisregistratie Ondergrond Catalogus GeoTOP – Geonovum Informatiemodel, vastgestelde versie 21 juni 2019. Beschikbaar op BRO Productomgeving: <https://www.bro-productomgeving.nl/bpo/latest/modellen/geotop-gtm>

Gunnink, J.L., Maljers, D., Van Gessel, S., Menkovic, A., & Hummelman, H., 2013. Digital Geological Model (DGM): A 3D raster model of the subsurface of the Netherlands. Netherlands Journal of Geosciences, 92(1), 33-46. doi:10.1017/S0016774600000263

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/regis-ii>

Koster, K., Busschers, F.S. & De Bruijn, R., 2022. Conceptueel model DGM+/GeoTOP Noord-Holland en Zuidelijk Flevoland. TNO Rapport 2022 R12081, 36 pp. *Een samenvatting van het deel van dit rapport dat betrekking heeft op Almere is opgenomen in hoofdstuk 6 van het voorliggende rapport; het deel over Noord-Holland betreft een nog niet gerealiseerde update van het modelgebied en is voor GeoTOP v1.6 niet van belang.*

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

Menke, U., van de Laar, E. & Lenselink, G., 1998. De geologie en bodem van Zuidelijk Flevoland. Flevovericht 415, 85 pp.

Stafleu, J., Maljers, D., Busschers, F.S., Gunnink, J.L., Schokker, J., Dambrink, R.M., 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., Gunnink, J.L., Menkovic, A. & Busschers, F.S., 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., Maljers, D., Busschers, F., Gunnink, J., Schokker, J. & Hummelman, J., 2019. Totstandkomingsrapport GeoTOP. TNO Rapport 2019 R11655, 132 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.S., Schokker, J., Gunnink, J.L. & Dambrink, R.M., 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., 2022a. Totstandkomingsrapport Kleine Release GeoTOP Zuid-Holland. TNO Rapport 2022 R10287, 16 pp. Beschikbaar op BROloket: <https://www.broloket.nl/toelichting/geotop>

Stafleu, J., Stam, J.C., Menkovic, A., Koster, K., De Bruijn, R., Hummelman, H.J., Heerema, C., Van de Ven, T.J.M., 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>

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

Van Dooremolen, W.A., Van der Scheer, A. & Winkels, H.J., 1996. Waarnemingen en prognoses van maaiveld daling in Flevoland. Flevovericht 388, 113 pp.

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

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

Ondertekening

TNO) Energy & Materials Transition) Utrecht, 28 september 2023

Bij afwezigheid van Drs. J. Gunnink,
Tweede lezer
Drs. D. Maljers

Drs. D. Maljers
Research Manager

Dr. J. Stafleu
Auteur

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl

TNO innovation
for life