

Aan

T. Vermaas (Deltares) Tommer.vermaas@deltares.nl

Van

J.C. Stam

Kopie aan

M.J. van der Meulen, D. Maljers, W. van Kesteren, S. van Heteren, B. Meijninger

Onderwerp

DIS Zeeland Lagenmodellering

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum

8 mei 2020

Onze referentie060.39381-02iv
100329120**E-mail**

jelte.stam@tno.nl

Inhoud

Inleiding	1
Brongegevens	2
Data voorbereiding	3
Berekening en resultaten.....	9
Discussie	15
Referenties	16
Appendix A	17
Appendix B	18

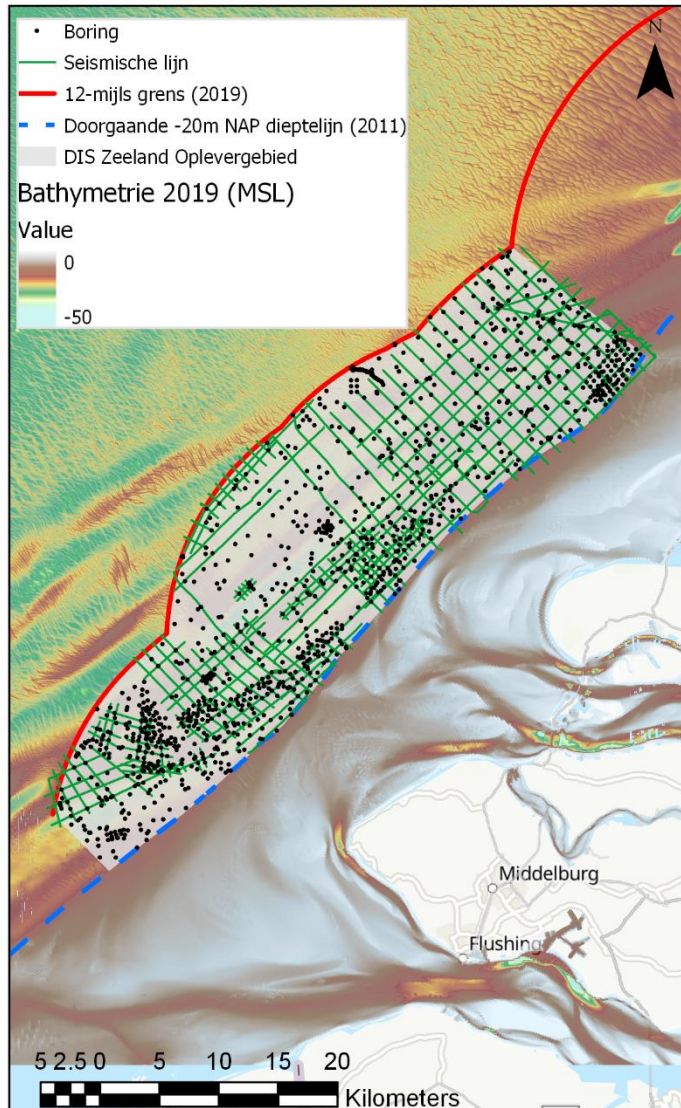
Inleiding

Deze notitie beschrijft hoe het lagenmodel dat is gemaakt voor het Delfstoffen Informatie Systeem (DIS) van de regio offshore Zeeland tot stand is gekomen. Het lagenmodel heeft een horizontale resolutie van 200 x 200 m en dekt het gebied tussen de doorgaande -20 m dieptelijns en de zeevaartse begrenzing van de 12-mijlszone (Figuur 1). Naast informatie over gebruikte bronnen wordt in de notitie vooral aandacht besteed aan de indeling van de ondergrond in modeleenheden, en aan de onderbouwing daarvan. De lithostratigrafische eenheden zoals standaard gebruikt voor de suite van ondergrondmodellen ontwikkeld door de Geologische Dienst Nederland wordt ook voor het DIS gebruikt. Daarnaast wordt de Formatie van Naaldwijk, de belangrijkste potentiële stoorlaag bij zandwinning, onderverdeeld in sublagen met verschillende klei- en siltgehalten. Deze sublagen zijn vooral gedefinieerd om sturing te geven aan de voxelmodellering die in 2020 volgt op de hier gerapporteerde lagenmodellering. De sublagen zijn door de beperkte datadichtheid slechts ten dele geologisch te verklaren, en dienen niet te worden gekoppeld aan strak omliggende verspreidingsgrenzen of eenduidige afzettingmilieus.

Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
2/18



Figuur 1. Begrenzing van het DIS modelgebied offshore Zeeland Model weergegeven op de bathymetrische kaart met de voor de modellering gebruikte boringen en seismische lijnen.

Brongegevens

De ondergrondmodellering van de zeebodem bevat gebieds-specifieke uitdagingen die bij de landkartering geen rol spelen. De belangrijkste hiervan heeft te maken met de relatief geringe datadichtheid op zee. Veel geologische eenheden in de ondergrond, zoals geulopvullingen en fragmentarische restanten van plaatafzettingen, hebben een laterale schaal van 100 - 500 m en kunnen alleen worden gekarteerd aan de hand van seismische grids van dezelfde orde van grootte en/of tientallen voldoende diepe boringen per km². In de praktijk zijn er maar weinig gebieden die aan deze voorwaarden voldoen. Daarnaast geeft de combinatie van gedetailleerde lijndata uit seismiek met onevenredig verdeelde puntdata uit

boringen problemen bij de interpolatie naar een dicht, vlakdekkend grid zoals gegenereerd als onderdeel van het DIS. Hierdoor is het model erg gevoelig voor zelfs kleine wijzigingen in geologische sturing. Ook ontbreekt de luxe om kwalitatief mindere gegevens standaard te vermijden.

Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Voor de constructie van het DIS lagenmodel offshore zijn onderstaande databronnen gebruikt:

Blad
3/18

- 1) Het bathymetrisch grid van 2019, opgeleverd door Deltares (resolutie 25 x 25m; Figuur 1);
- 2) Seismische interpretaties volgend uit de kartering voor het DIS in 2019 (Figuur 1). Bij de seismische interpretatie zijn de volgende laagvlakken en holocene lagen onderscheiden, gevormd en deels geërodeerd tijdens de laatste 12.000 jaar en niet noodzakelijkerwijs gebiedsdekkend:
 - a. Zeebodem
 - b. Actieve laag (deel van de zeebodem dat op een tijdschaal van decennia mobiel is)
 - c. Southern Bight Formatie, Bligh Bank Laagpakket
 - d. Southern Bight Formatie, Buitenbanken Laagpakket
 - e. Formatie van Naaldwijk, zandige facies (Naaldwijk 1)
 - f. Formatie van Naaldwijk, kleiige facies (Naaldwijk 2)
 - g. Formatie van Naaldwijk, ongedifferentieerd (Naaldwijk 3)
 - h. Formatie van Naaldwijk, Laag van Velsen / Formatie van Nieuwkoop, Basisveen Laag (seismisch niet van elkaar te onderscheiden)
 - i. Top van het Pleistoceen (afzettingen gevormd tijdens of voor de laatste IJstijd)
 - j. Winbaar zand (zeebodem tot bovenste stoorlaag);
- 3) Beschrijvingen van steekboringen, spoelboringen en hapmonsters uit *DINOloket*, voorzien van een lithostratigrafische interpretatie (1457 boringen in totaal, waarvan 1014 boringen met een lithostratigrafische interpretatie, Tabel 1);
- 4) Gekarteerde laterale verbreidingen van de gemodelleerde lagen;
- 5) Kaartbladen Ostend, Rabsbank, Buitenbanken;
- 6) TILES model (Van Lancker et al. 2019) en Southern Permian Basin Atlas; (Knox et al. 2010).

Datavoorbereiding

Controle

Om tot een coherent model te komen zijn alle brongegevens eerst gecontroleerd op kwaliteit en compleetheid, en vervolgens geharmoniseerd. Het bathymetrisch grid met een fijne resolutie van 25 x 25 m is omgezet in een grover grid met een resolutie van 200 x 200 m, corresponderend met de resolutie van het gebouwde lagenmodel. Aan de hand van de geïnterpreteerde seismiek en de boorbeschrijvingen zijn voor het DIS offshore Zeeland een aantal modellagen gedefinieerd die grotendeels corresponderen met de in de seismiek onderscheiden eenheden (Tabel 1). Fragmentarisch voorkomende lagen die niet karteerbaar bleken, zijn niet als aparte

laag opgenomen in het lagenmodel. Het Buitenbanken Laagpakket van de Southern Bight Formatie, bijvoorbeeld, is gerekend bij het Pleistoceen. Deze mariene omwerkingslaag is in open zee gevormd door de impact van golven en getij op het verdrinkende pleistocene landschap, en lijkt op de onderliggende ongestoorde pleistocene lagen. De pleistocene laagopeenvolging zelf, deels gevormd door IJstijd rivieren en deels door een zee van voor de IJstijd, is in het model niet opgesplitst. Lokaal lijken ze namelijk veel op elkaar. Ook de basis van “winbaar zand” is niet als eenheid opgenomen in het stratigrafisch lagenmodel.

Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
4/18

Tabel 1. Modeleenheden van het DIS offshore Zeeland lagenmodel, met de brondata waarop de laagdefinities gebaseerd zijn, de stratigrafische eenheden waaruit de modeleenheid bestaat, en de bijbehorende afzettingsmilieus. Voor beschrijving van de stratigrafische eenheden zie: TNO (2013) en Rijdsijk et al. (2005).

Nr	Modeleenheid	Brondata	Bijbehorende stratigrafische interpretaties en afzettingsmilieus
1	Zeebodem	Bathymetrie Deltares (2019)	
2	Southern Bight Formatie	Boorbeschrijvingen + Seismiek	Southern Bight Formatie, Bligh Bank Laagpakket (gevormd door golven en stroming in open zee)
3	Naaldwijk 1	Boorbeschrijvingen + Seismiek	Formatie van Naaldwijk (gevormd in of net zeewaarts van een getijbekken of estuarium door relatief sterke stroming)
4	Naaldwijk 2	Boorbeschrijvingen + Seismiek	Formatie van Naaldwijk, gevormd in een getijbekken of estuarium door relatief zwakke stroming, Formatie van Nieuwkoop- Basisveen Laag
5	Naaldwijk 3	Boorbeschrijvingen + Seismiek	Formatie van Naaldwijk, gevormd in of net zeewaarts van een getijbekken of estuarium
6	Vroeg Holoceen	Boorbeschrijvingen + Seismiek	Formatie van Naaldwijk- Laagpakket van Velsen (gevormd in een lagune of achterin een getijbekken), Formatie van Nieuwkoop- Basisveen Laag (gevormd in een kwelder of zoetwatermoeras), Formatie van Kreftenheye, Laag van Wijchen (gevormd in de overstromingsvlakte van een rivier)
7	Pleistoceen	Boorbeschrijvingen + Seismiek + Southern Permian Basin Atlas (Knox et al. 2010) + TILES (Van Lancker et al. 2019)	Southern Bight Formatie - Buitenbanken Laagpakket (gevormd door erosie van pleistoceen sediment op de ondiepe zeebodem en vooroever), Alle eenheden van pleistocene ouderdom

8	Paleogeen / Neogeen	Southern Permian Basin Atlas (Knox et al. 2010)	Alle eenheden ouder dan Pleistoceen
---	---------------------	---	-------------------------------------

Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
5/18

Bij de datacontrole is onder andere gekeken naar de positionering van de boringen en naar de lithostratigrafische interpretatie vermeld in de boorbeschrijvingen.

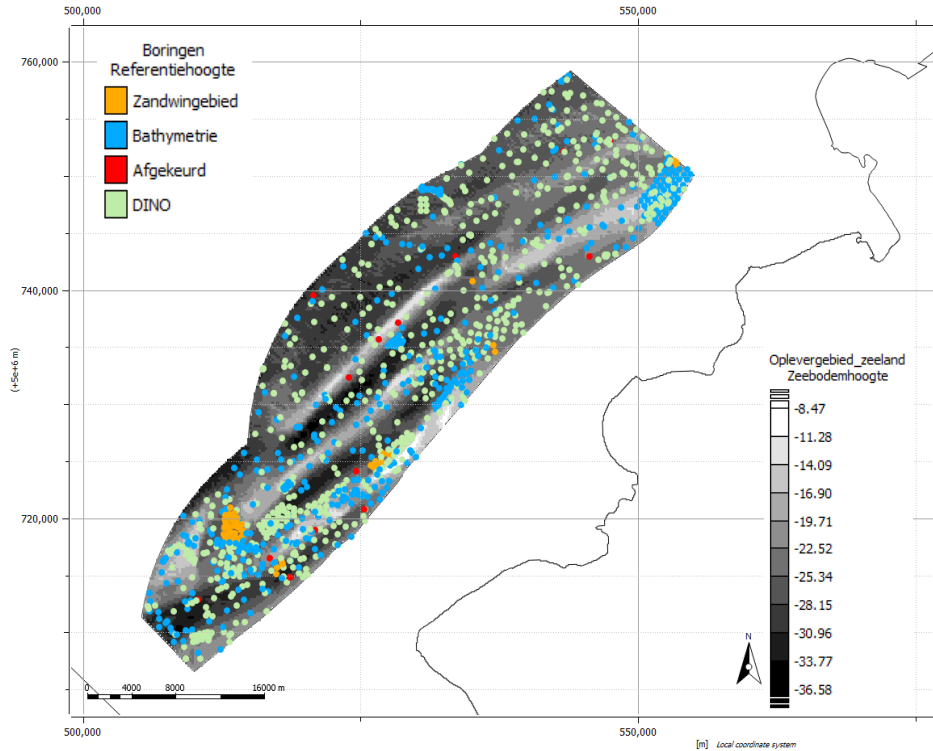
Het vaststellen van de verticale positie ten opzichte van een vaste referentiehoogte is zelfs met moderne instrumenten niet eenvoudig voor boringen op zee. De invloed van het getij, scheepsbewegingen, onnauwkeurigheid in de precieze locatie van het boorapparaat op de zeebodem, en de onzekerheid van indirecte waterdieptemetingen met geluidsgolven (een echolood) leiden tot fouten. Voor oudere boringen zijn bovendien de metadata over het gehanteerde referentievlak (wateroppervlak ten tijde van de boring, laagwaterindicatoren LLWS en LAT, gemiddeld zeeniveau MSL, ca. NAP) veelal incompleet. In 2018 heeft Deltares met een getijdenmodel (TPXO) een groot aantal waterdieptemetingen aan de hand van het tijdstip van boren omgerekend naar MSL. Deze belangrijke kwaliteitsslag, inmiddels verwerkt in DINO, reduceert de fouten en onzekerheden, maar elimineert ze niet.

In het gemodelleerde gebied zijn in totaal 1457 boringen gezet en hapmonsters genomen, waarvan 39% met alleen maar een waterdieptemeting en zonder tijdstip van boren waardoor omzetting met TPXO niet mogelijk was (Figuur 2 en Tabel 2). Deze datapunten zijn als onderdeel van het project voorzien van een verticale positie ten opzichte van een referentiehoogte afgeleid uit het gebruikte 25 x 25 m bathymetrische grid 2018 (referentievlak MSL). Het overige deel van de datapunten is in DINO al voorzien van een verticale positie ten opzichte van MSL, afgeleid uit waterdieptemetingen ten tijde van het boren. Deze laatste in DINO opgeslagen MSL-waarden kunnen verschillen van de bathymetrische waarden op de gedocumenteerde boorlocaties. De waargenomen verschillen zijn deels veroorzaakt door mobiliteit van grootschalige bodemvormen zoals zandgolven of door bodemverlaging als gevolg van zandwinning, maar kunnen ook te maken hebben met foutief gemeten of onjuist ingevoerde gegevens. Voor het DIS model zijn boorbeschrijvingen waarbij het verschil tussen de DINO hoogte en de waarde berekend uit het bathymetrisch grid groter is dan 5 m niet meegenomen. Deze 5 m is gebaseerd op de waargenomen hoogte van zandgolven in het modelgebied, en geldt niet voor boringen die in een voormalig zandwingebied liggen.

Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
6/18



Figuur 2. Boringen gekleurd volgens bron van bepaalde verticale positie ten opzichte van het referentievlak MSL, weergegeven op het 2019 bathymetrisch grid.

Tabel 2. Statistieken van de gebruikte bronnen voor het referentieniveau.

Categorie	Aantal boringen (1457 totaal)	Percentage
DINO	810	55,59 %
Afgekeurd	16	1,10 %
Bathymetrie	572	39,26 %
Boring binnen zandwingebied	59	4,05 %

Van de 1457 boringen en hapmonsters zijn er 1193 beschreven, waarvan 1014 met toekenning van lithostratigrafie. Het gaat om visuele beschrijvingen volgens de Standaard Boor Beschrijvingsmethode (SBB) van:

- 1) steekboringen waarin gelaagdheid en lithologische variatie minimaal verstoord zijn bemonsterd (op een enkele uitzondering na tot maximaal 6 m onder de zeebodem);
- 2) spoelboringen waarmee mengmonsters zijn verkregen per interval van 0,5 of 1 m (in het DIS gebied tot maximaal 45.5m onder de zeebodem); en
- 3) hapmonsters van de bovenste paar decimeter van de zeebodem, verkregen met een grijper.

Voor het lagenmodel van offshore Zeeland zijn alle boorbeschrijvingen die niet op grond van een onbetrouwbare verticale positie zijn afgekeurd gebruikt als input, ook

als beschrijvingen summier zijn qua aantal beschreven lagen en kenmerken. Vooral meng- en hapmonsters geven een incompleet beeld van de ondergrond. De in de beschrijving hiervan genoemde slibgehalten zijn bijvoorbeeld minimale waarden omdat een deel van het slib met het spoelwater is afgevoerd. Kleibrokken, indien beschreven, zullen veelal afkomstig zijn uit intacte kleilagen. Toch vormen deze monsters een belangrijke aanvulling op de hoogkwalitatieve steekboringen. Ze vergroten het aantal datapunten aanzienlijk, en geven informatie over een dieptebereik dat met steekboringen niet of nauwelijks wordt gedekt.

Met het huidige inzicht blijkt in bepaalde gevallen dat het oorspronkelijk toegekende lithostratigrafische label van een beschreven laag, deels om bovenstaande redenen, niet correct is. Betreffende labels zijn waar mogelijk aangepast. Idealiter wordt aanpassing van lithostratigrafie voorafgegaan door studie van het bijbehorende fysieke monster, opgeslagen in het kernhuis van de Geologische Dienst. Dit zeer arbeidsintensieve werk past niet binnen het tijdsplan van het DIS project. Daarom zijn alleen aanpassingen gedaan waar laagbeschrijvingen er overduidelijk reden toe gaven. Om te voorkomen dat onbetrouwbaar geachte maar niet aangepaste lithostratigrafische labels het modelresultaat negatief beïnvloeden, is er in een aantal gevallen voor gekozen om betreffende boorbeschrijvingen en labels niet mee te nemen in de modelberekeningen.

De bovengenoemde uitsluitingen en aanpassingen van boordata die niet rechtstreeks in de DINO database kon worden gedaan zijn gedaan met behulp van Python scripts. De scripting zorgt ervoor dat de strategie van aanpassingen ook voor volgende versies van het DIS bruikbaar is. Uitgevoerde en in de scripting verwerkte controles betreffen bijvoorbeeld maximaal toegestaan verticaal bereik van vroeg-holocene lagen. De lijst van uitgevoerde aanpassingen is terug te vinden in Appendix A

Conceptueel model

Op basis van de seismische interpretaties, boorbeschrijvingen en literatuur is een conceptueel lithostratigrafisch model (Figuur 3) opgesteld dat dient als leidraad voor de lagenmodellering. Het model geeft onze huidige geologische gebiedskennis weer die voortbouwt op de gepubliceerde kaartbladen Ostend (1:250.000), Rabsbank (1:100.000) en Buitenbanken (1:100.000). In individuele boringen herkende maar aantoonbaar gefragmenteerd voorkomende stoorlagen in de Formatie van Naaldwijk en in het Pleistoceen zijn niet vertegenwoordigd in het lagenmodel. Ze sturen uiteraard wel de voxelmodellering in de volgende projectfase.

Het paleogene/neogene substraat komt lokaal aan het zeebodemoppervlak voor in de diepste troggen tussen zuidelijke getijdenbanken. De pleistocene zanden die het Paleogeen/Neogeen in het grootste deel van het gebied bedekken, nemen van zuid naar noord in dikte en continuïteit toe, en reiken zelfs in het noorden op diverse locaties tot de zeebodem. Op het pleistocene vlak kan concordant (zonder erosie, en dus met het pleistocene oppervlak intact) een vroeg-holocene klei voorkomen die onderdeel is van de Formatie van Naaldwijk. Echter op enkele plaatsen is de top van het pleistoceen wel versneden door geulen, welke in het model ook tot de

Datum

8 mei 2020

Onze referentie060.39381-02iv
100329120**Blad**

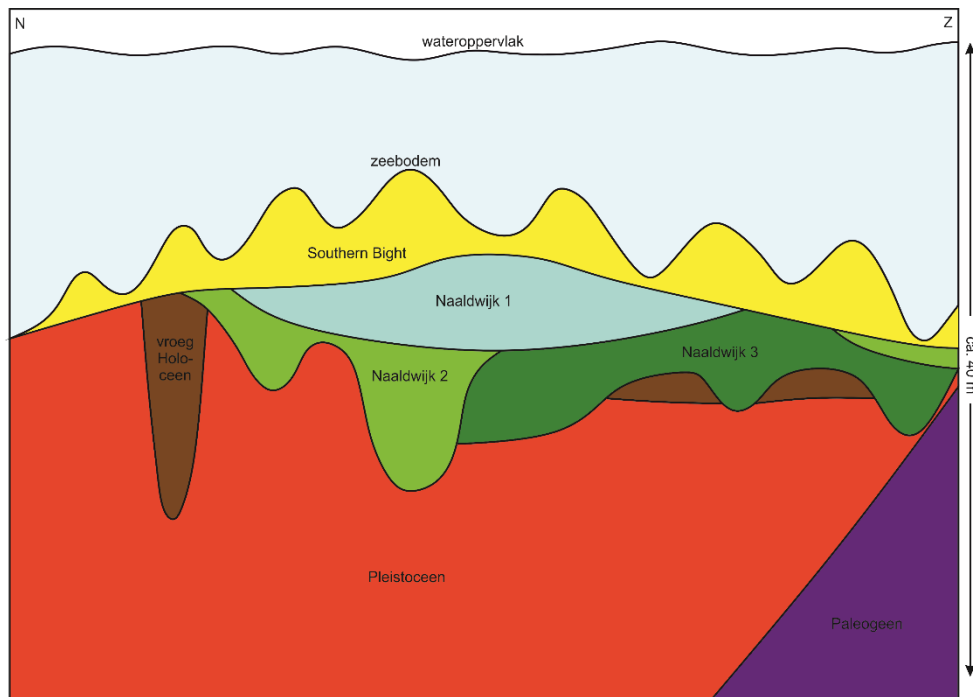
7/18

vroeg-holocene eenheid zijn gerekend. Op deze klei liggen bijna overal jongere facies uit de Formatie van Naaldwijk. De Southern Bight Formatie vormt in vrijwel het hele gebied de toplaag.

Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
8/18



Figuur 3. Conceptueel stratigrafisch model voor het DIS modelgebied in N-Z oriëntatie.

Formatie van Naaldwijk

De Formatie van Naaldwijk is wijdverbreid binnen het DIS Zeeland gebied, en vormt de belangrijkste potentiële stoorlaag bij zandwinning. Onder deze eenheid vallen alle klastische holocene getijdenafzettingen (klei, silt, zand en grind) die langs de Noordzeekust en in getijdenbekkens zijn gevormd, veelal geul- en plaatafzettingen maar ook vooroeversediment en lagunaire klei. De Formatie van Naaldwijk wordt gekenmerkt door een sterke variatie in de lithologische samenstelling die in het modelgebied varieert van zeer grof zand (300 - 420 μm) tot zwak siltige klei (TNO, 2013). Kleilagen binnen de Formatie van Naaldwijk zijn dusdanig discontinu dat het niet mogelijk is om ze met de op dit moment beschikbare gegevens als aparte stoorlagen te modelleren, met uitzondering van de makkelijk herkenbare vroeg-holocene klei. Om toch sturing te geven aan de voxelmodellering is de rest van de eenheid aan de hand van seismiek en boorbeschrijvingen grofschalig in contrasterende sedimenttypen (facies) opgedeeld. Deze onderverdeling zal in de voxelmodellering zorgen voor een optimalere verdeling van kleiige voxels binnen de Formatie van Naaldwijk dan zonder sturing en geeft daarmee invulling aan de laterale en verticale lithologische variabiliteit binnen de Formatie van Naaldwijk.

Bij de seismische interpretatie van de Formatie van Naaldwijk is in het noordelijke deel van het modelgebied onderscheid gemaakt tussen een zandige (Naaldwijk 1) en een kleiige (Naaldwijk 2) facies op basis van het seismisch karakter van de eenheid. Voor dit noordelijke gebied heeft het bovenste gedeelte van de Formatie

van Naaldwijk veelal een transparante configuratie, kenmerkend voor een zandig karakter. Het onderste deel heeft een gelaagde seismische configuratie van gestapelde reflectoren (donkere lijnen op seismische profielen) die wijst op afwisseling van kleiige en zandige lagen. Er zijn voldoende seismische lijnen om de laterale begrenzing van de facies redelijk goed in beeld te brengen.

In het zuidelijke deel van het modelgebied was dit onderscheid in de seismiek niet te maken. Daar zijn boorbeschrijvingen gebruikt om de kleiige van de zandige Naaldwijk te onderscheiden. Waar zandige facies onder kleiige facies voorkomen, zijn deze toegewezen aan Naaldwijk 3. De laterale begrenzing van de Naaldwijk facies is er een functie van boordichtheid en dus onzekerder dan in het noorden.

Samengevat is de opdeling van de Formatie van Naaldwijk als volgt:

- 1) Naaldwijk 1: zandig karakter in het bovenste deel van de formatie;
- 2) Naaldwijk 2: kleiiger karakter van de formatie;
- 3) Naaldwijk 3: zandig karakter in het onderste deel van de formatie; en
- 4) Vroeg-Holocene Naaldwijk en vroeg holocene geulopvullingen, Formatie van Nieuwkoop, Basisveen Laag.

De criteria voor deze indeling in lithofacies staan beschreven in Appendix B.

Berekening en resultaten

Modelleermethodiek

De lagen van de modeleenheden 2 t/m 7 (Tabel 1) zijn berekend met behulp van de ISATIS software van het Franse Geovariances. Deze geostatistische software kan goed overweg met grote datasets en biedt de flexibiliteit om geologische expertise mee te nemen in de vorm van stuurvlakken. De workflow van de modellering is deels gebaseerd op de methodiek zoals ontwikkeld voor het bestaande onshore lagenmodel GeoTOP (TNO, 2012). Voor iedere modeleenheid is de ruimtelijke correlatie van de brongegevens gekwantificeerd in een variogram dat het verband tussen puntgegevens aangeeft. Aan de hand van deze correlatie is voor iedere eenheid de basis (onderkant) berekend met behulp van de ordinary kriging with residuals interpolatietechniek, waarbij de diepteligging voor gridcellen zonder datapunt worden bepaald op basis van datapunten uit de omgeving.

Er is gekozen om bij het krigen de brondata (boringen en seismiek) zoveel mogelijk te combineren. Hierdoor is een zo goed mogelijke ruimtelijke dekking van inputdata over het modelgebied verkregen. Daarbij is aangenomen dat er geen significante verschillen zijn tussen de vastgestelde laaggrenzen in de seismische data en boorbeschrijvingen.

Er zit een grens aan het laterale voorkomen van elke eenheid. Om hier in de modellering rekening mee te houden, wordt gebruik gemaakt van gekarteerde verbreidingen. De verbreiding van een laag wordt bepaald aan de hand van boordata (grens gelegd tussen punten met en zonder de betreffende laag) en seismische data (Figuur). Bij de modellering wordt verondersteld dat een eenheid niet buiten de gekarteerde verbreiding kan voorkomen. Verspreide niet karteerbare

Datum

8 mei 2020

Onze referentie

060.39381-02iv
100329120

Blad

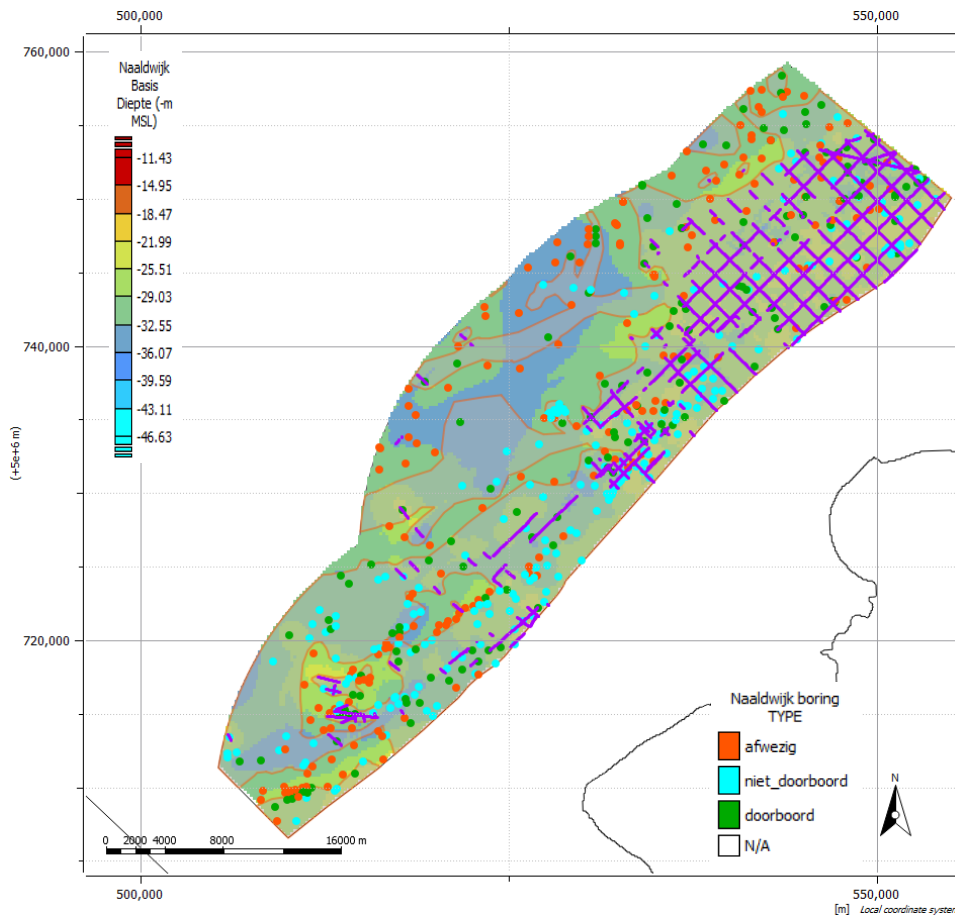
9/18

en modelleerbare restanten buiten deze begrenzing worden weggefilterd. Het gaat daarbij veelal om uitbijters uit geïsoleerde boorbeschrijvingen.

Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
10/18

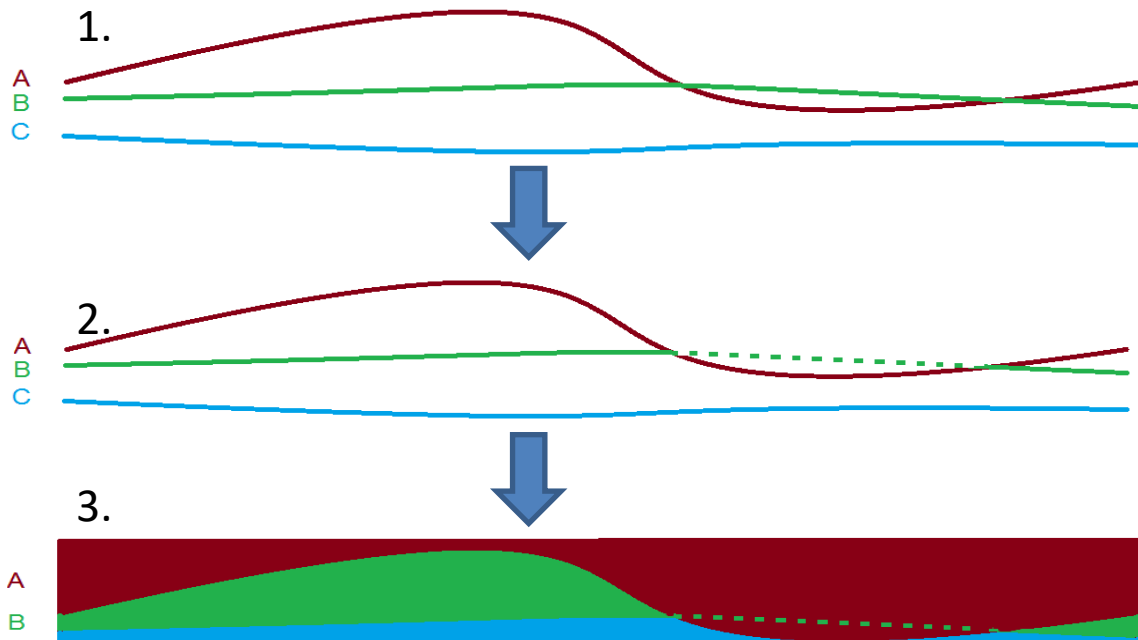


Figuur 4. Aan- of afwezigheid in boorbeschrijvingen, de geïnterpreteerde seismische verbreiding (paars) en de op boorgegevens gebaseerde laterale verbreiding (oranje omlijning) van de Formatie van Naaldwijk, weergegeven op de berekende basis van de Formatie. Er is sprake van toenemende fragmentatie in zeevaartse en zuidwestelijke richting.

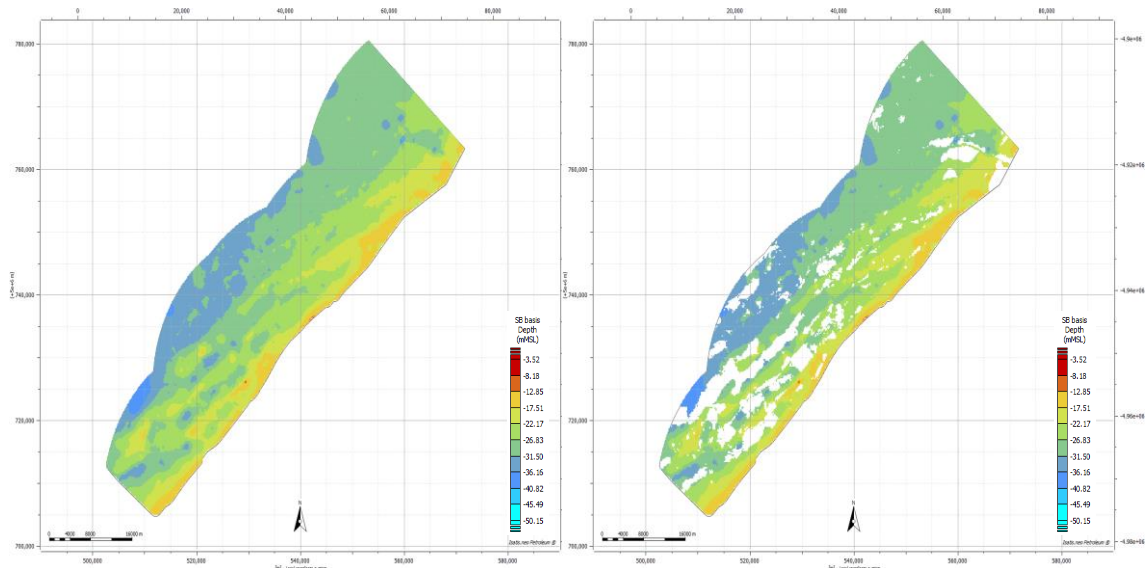
Omdat de modellagen onafhankelijk van elkaar berekend zijn, kan het voorkomen dat bij het modelleren een basis van een eenheid boven de basis van de bovenliggende eenheid is komen te liggen. Om hiervoor in het eindresultaat te corrigeren, zijn alle berekende basissen in het model onderling consistent gemaakt. Kruisende lagen zijn geëlimineerd, alle eenheden sluiten naadloos op elkaar aan, en de op basis van ouderdom opgelegde modelvolgorde blijft gehandhaafd (Figuur 5). Ten gevolge van deze consistentieslag kan de uiteindelijke laterale omvang van een gemodelleerde eenheid kleiner zijn dan oorspronkelijk gekarteerd (Figuur 6).

Datum
8 mei 2020

entiteit
02iv



Figuur 5. Stappen in het consistent maken van een lagenmodel. 1) gemodelleerde lagen met een inconsistente basis 2) de stippellijn geeft aan waar de onderliggende laag hoger ligt dan de basis van de jongere laag. 3) het resulterende model met ingekleurde lagen.



Figuur 6. De Basis Southern Bight Formatie voor (l) en na (r) het consistent maken met de zeebodembodem. De witte gebieden wijzen op afwezigheid van de Southern Bight Formatie, vooral in diepe troggen tussen langgerekte getijbanken.

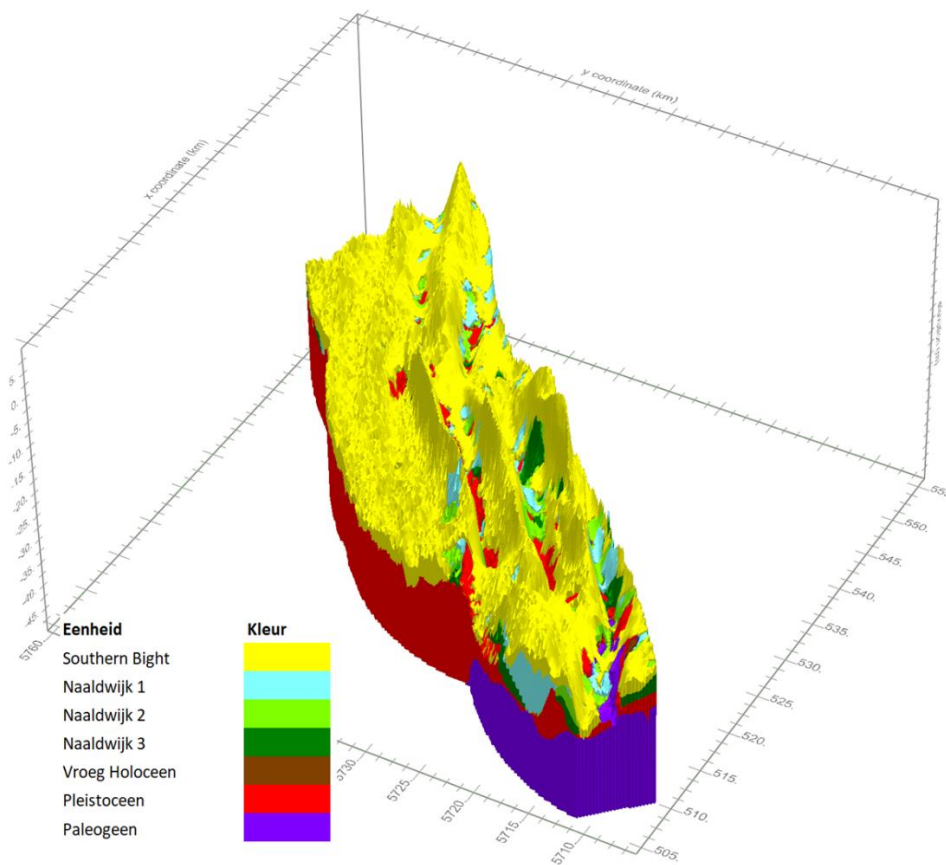
Uitgeleverde grids

Per eenheid zijn de consistent gemaakte top-, basis- en diktegrids uitgeleverd. Ter voorkoming van randartefacten zijn deze berekend met inachtneming van een ruime bufferzone rondom het doelgebied, en vervolgens afgesneden op de doorgaande - 20 m lijn en 12 mijlsgrens. De grids voor Paleogeen/Neogeen, Pleistoceen, vroeg Holoceen, drie additionele Naaldwijk facies en de Southern Bight Formatie kunnen in een GIS-programma gevisualiseerd worden, maar ook als 3D model in iMOD (Figuur 7). In iMOD kunnen ook eenvoudig dwarsdoorsneden door het model gemaakt worden (Figuur); deze zijn onder andere gebruikt bij de QC van het model.

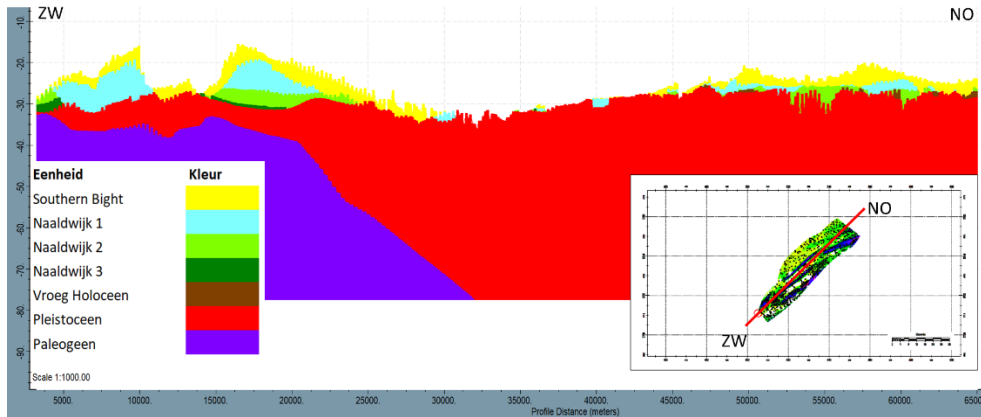
Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
12/18



Figuur 3. 3D model DIS offshore Zeeland in iMOD, (verticale schaal in m -MSL, kijkrichting is NW, verticale overdrijving 500). Te zien zijn: het noordwestwaarts wegduikende Paleogene/Neogene oppervlak, lokaal aan de zeebodem; het noordwestwaarts dikker wordende Pleistoceen, op meerdere locaties aan de zeebodem; elkaar aansnijdende en onderliggende lagen eroderende Naaldwijk facies; en de wijdverbreide Southern Bight Formatie.



Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

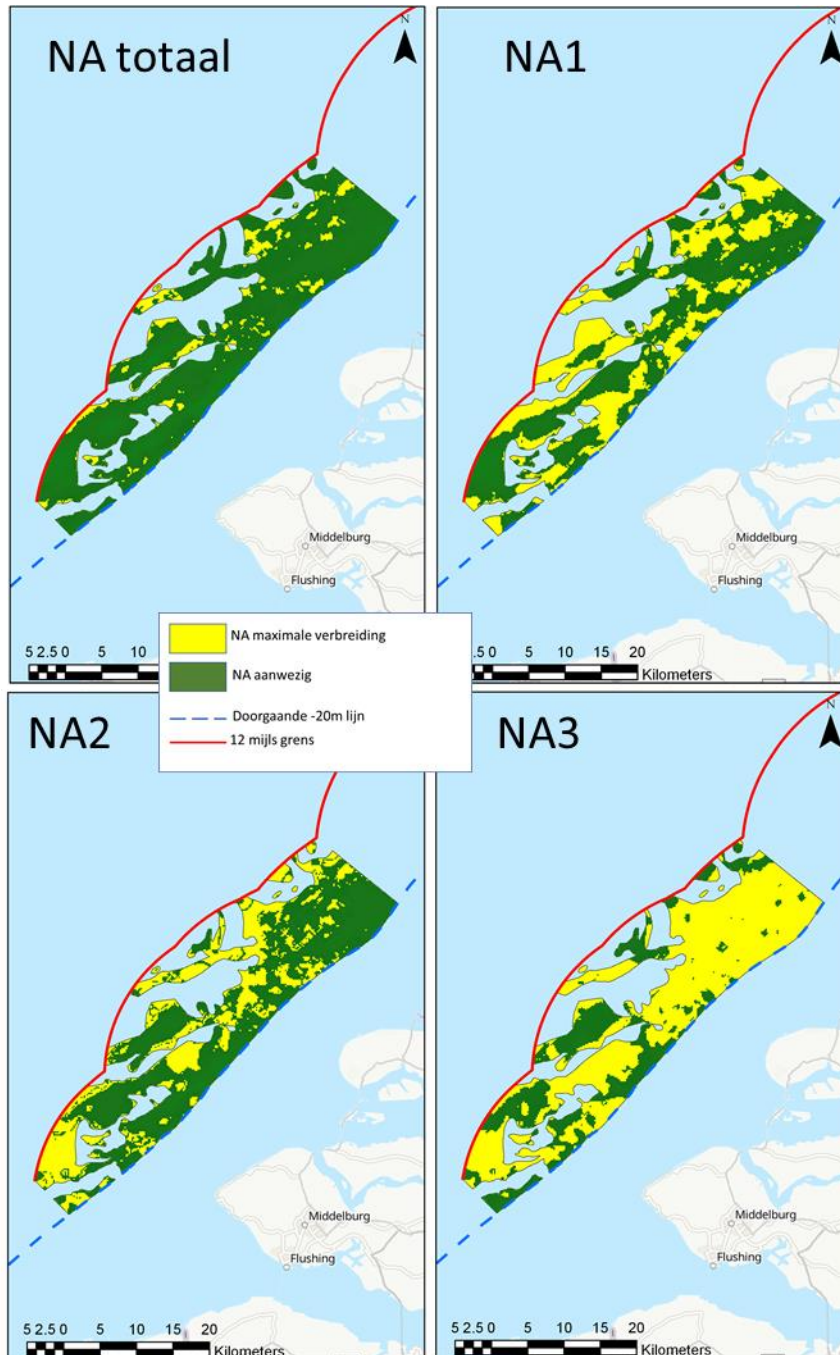
Blad
13/18

Figuur 8. Geologische dwarsdoorsnede van ZW naar NO (volgens rode lijn in kaartje rechtsonder, schaal in m, verticale overdrijving 1:1000) door het DIS model. Opvallend zijn de elkaar aansnijdende Naaldwijk facies en het feit dat de kern van de getijbanken deels niet uit de Southern Bight Formatie bestaan, conform de bevinding van Laban en Schüttenhelm (1981).

Verbreiding van de Formatie van Naaldwijk

De drie facies binnen de Formatie van Naaldwijk die niet tot het vroeg Holoceen behoren, hebben verschillende laterale voorkomens die elkaar deels overlappen (Figuur 9). In het zuidelijke deel komt de Naaldwijk 3 veel meer voor dan in het noordelijke deel. Deze sublaag is in het zuiden ook veel dikker (Figuur). De Naaldwijk 1 komt juist in het noorden meer voor, nabij de Rijn-Maasmonding.

Deze en andere verschillen tussen noord en zuid zijn deels een weerspiegeling van het verschil in datadichtheid. Het patroon in het noorden (veel data) is veel meer data-gestuurd en aan ontstaansgeschiedenis te koppelen dan het patroon in het data-arme zuiden. Hoewel beide patronen en dat van de Naaldwijk 2 geologisch plausibel zijn, moet de sublaagverdeling in het zuiden vooral worden gezien als sturing bij de voxelmodellering. De gehanteerde onderverdeling zal leiden tot een meer realistische verdeling van klei- en slibhoudende lagen binnen de Formatie van Naaldwijk.



Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
14/18

Figuur 4. Laterale voorkomen van de Formatie van Naaldwijk als geheel (exclusief de vroeg-Holocene eenheid) en van de sublagen Naaldwijk 1, Naaldwijk 2 en Naaldwijk 3. In het geel is de karteergrens (of maximale verbreiding) van de Formatie van Naaldwijk weergegeven.

Discussie

Elk model is een versimpelde weergave van de werkelijkheid. Dat is voor het DIS niet anders. De werkelijke resolutie van het opgeleverde DIS model is niet alleen een functie van de gekozen gridcelgrootte (200 x 200 m) maar ook van de lateraal sterk variërende datadichtheid. Deze is in het zuiden aanzienlijk lager dan in het noorden, waardoor aanpassingen van lithostratigrafische interpretaties of andere incorporatie van geologische expertise kunnen leiden tot sterke veranderingen in de modeluitkomst. Ook de variabele datakwaliteit heeft zijn weerslag in de eindresultaten. Door middel van een interne kwaliteitscontrole (QC) is vastgesteld dat de kwaliteit van het eindresultaat ruim voldoende is voor het DIS, maar dat de drie midden- en laat-holocene Naaldwijk facies vooral in het zuiden alleen maar mogen worden beschouwd als stuurvlakken in de geplande voxelmodellering.

Om de kwaliteit van toekomstige lagenmodellen voor DIS gebieden te kunnen verhogen is met name een goede en tijdige harmonisatie tussen de stratigrafische interpretatie uit boringen en seismiek van belang. Belangrijke geconstateerde discrepanties kunnen direct worden gecontroleerd aan de hand van fysieke boormonsters die in het kernhuis van de Geologische Dienst liggen opgeslagen. Daarnaast zou voor gebieden met weinig data tijd moeten worden gereserveerd voor aanvulling van ontbrekende boorbeschrijvingen. Omdat dit een tijdrovende activiteit is, kan worden gewerkt met een prioriteitenlijst, waarbij diepe en kwalitatief goede boringen op belangrijke locaties voorrang krijgen. Ook het gebruik van seismiek van derden is een optie.

De uiteindelijke invloed van wijzigingen in het lagenmodel op het aan de hand ervan te bouwen voxelmodel is nog niet bekend. Het verdient aanbeveling om in de volgende projectfase specifiek te kijken naar de gevoeligheid van het voxelmodel voor variabele input uit het lagenmodel.

Datum

8 mei 2020

Onze referentie060.39381-02iv
100329120**Blad**

15/18

Referenties

Datum

8 mei 2020

Onze referentie

060.39381-02iv

100329120

Blad

16/18

Knox, R.W.O.B., Bosch, J.H.A., Rasmussen, E.S., Heilmann-Clausen, C., Hiss, M., De Lugt, I.R., Kasiński, J., King, C., Köthe, A., Słodkowska, B., Standke, G., Vandenberghe, N., 2010. Cenozoic. In: J.C. Doornenbal, A.G. Stevenson, (Eds.), Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area. EAGE Publications, 211-223.

Laban, C. & Schüttenhelm, R.T.E., 1981, Some new evidence on the origin of the Zeeland ridges. Special Publication IAS 5, 239-245.

Rijsdijk, Kenneth & Passchier, Sandra & Weerts, H.J.T. & Laban, Cees & Leeuwen, R.J.W. & Ebbing, Jan. (2005). Revised Upper Cenozoic stratigraphy of the Dutch sector of the North Sea Basin: towards an integrated lithostratigraphic, seismostratigraphic and allostratigraphic approach. Netherlands Journal of Geosciences. 84. 10.1017/S0016774600023015.

Bosch, J.H.A. 2000. Standaard Boor Beschrijvingsmethode versie 5,1, TNO Rapport NITG 00-141-A.

(<https://www.grondwatertools.nl/cmisis/browser?id=workspace%3A//SpacesStore/65b5f2e9-4d3d-406f-9f51-657f5ed60471>)

TNO, 2012. GeoTOP modellering, TNO R10991

TNO, 2013. Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond, versie 2013. Geraadpleegd op 04-12-2019 van <https://www.dinoloket.nl/en/nomenclator-ondiep>

Van Lancker et al., 2019: http://www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/FinalReports/TILES_FinRep_AD.pdf

Vermeulen, P.T.M, F.J. Roelofsen, B. Minnema, L.M.T. Burgering, J. Verkaik and A.D. Rakotonirina, 2018. *iMOD User Manual*. Version 4.3, December 19, 2018. Deltares, The Netherlands. (<http://oss.deltares.nl/web/iMOD>).

Appendix A

Tabel 1 aangepaste stratigrafische labels (SB, Southern Bight Fm., SBIG=Southern Bight Fm., Indefatigable Grounds Laagpakket, SBBU=Southern Bight Fm., Buitenbanken Laagpakket, SBBL=Southern Bight Fm., Bligh Bank Laagpakket, NA = Fm. van Naaldwijk, NAVE = Fm. van Naaldwijk, Laagpakket van Velsen, KR=Fm. van Kreftenheye, zie voor beschrijving Tabel 1).

Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
17/18

NITG_NR	Originele Stratigrafie	Interval Top (mm onder start van de boring)	Nieuwe Stratigrafie
BP180502	SBIG		KR
BS070575	SBBU		KR
BS020397	SBBL	5000	KR
BS020518	SBBL	3000	KR
BS020518	SBBL	4000	KR
BS020518	SBBL	5000	KR
BS020518	SBBL	6000	KR
BS020387	SBBL	4000	KR
BS020387	SBBL	5000	KR
BS020387	SBBL	6000	KR
BS020387	SBBL	7000	KR
BS020057	SB	4000	NA
BS020057	SB	6000	NA
BS050096	SBBL	5000	KR
BS050161	SB	3000	NA
BS031288	SBBL	6000	SBBU
BS031288	SBBL	8000	SBBU
BS070630	SB	3300	NA
BS070630	SB	4520	NA
BS070389	NAVE	2000	NA
BS070630	NAVE	2700	NA

Tabel 2. Uitgesloten boringen en boorintervallen

NITG_NR	Stratigrafie	reden
BP180511	alle	5m beschrijfintervallen
BP180534	alle	5m beschrijfintervallen
BS031296	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, counterflush (CFL) boring
BP180515	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, CFL boring
BS020516	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, CFL boring
BS031322	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, CFL boring
BS031308	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, CFL boring
BS050095	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, CFL boring
BS070009	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, CFL boring
BS070010	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, CFL boring
BS070011	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, CFL boring
BS070117	SB	Te dikke SB, slecht beschreven, CFL boring

Datum
8 mei 2020

Onze referentie
060.39381-02iv
100329120

Blad
18/18

Appendix B

NA2 classificatie criteria, gebruik makend van de definities volgens de Standaard Boor Beschrijvingsmethode (SBB) (Bosch, 2000)

Lithologie	= Klei, Leem, Veen, Gyttja
Bijmengsel silt	= matig siltig, sterk siltig, uiterst siltig, siltig (2,3,4,X)
Bijmengsel klei	= matig kleiig, sterk kleiig, uiterst kleiig, kleiig (2,3,4,X)
Mud percentage	>= 4%
Silt + Lutum percentage	>= 4%
Klastische bijmenging	= Kleibrokjes, Leembrokjes (2,3,4,X)
Insluitsels	= Insluitsels klei, insluitels leem (2,3,4,X)
Sedimentaire structuren	= kleilagen, leemlagen, veenlagen, kleilenzen, leemlenzen (2,3,4,X)
Sublaag Lithologie	= sublaag Klei, sublaag silt, sublaag veen (2,3,4,X)

De getallen 2,3,4 en de toekenning X geven de relatieve aanwezigheid van de lithologie weer. Waarbij hogere getallen een hogere mate van aanwezigheid weergeven.

Voor bijmengsel silt is dit als volgt gedefinieerd:

- 1= zwak
- 2=matig
- 3= sterk
- 4= uiterst
- X= ongedefinieerd