

Notitie TNO PUBLIEK

Aan

T. Vermaas Tommer.Vermaas@deltares.nl

Van

J.C. Stam, S. van Heteren

Kopie aan

D. Maljers, M.J. van der Meulen

Onderwerp

Notitie DIS 3.0 Voxelmotellering offshore Zeeland

Geologische Dienst Nederland
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75

Datum

16 oktober 2020

Onze referentie

060.43868-03iv

E-mail

jelte.stam@tno.nl

Inleiding

Deze notitie beschrijft de totstandkoming en resultaten van het voxelmodel dat is gemaakt voor het Delfstoffen Informatie Systeem 3.0 (DIS 3.0) van de regio offshore Zeeland. Het model bestaat uit voxels met een resolutie van 200 x 200 x 0,5 m (xyz). Het model dekt het volume tussen de doorgaande NAP -20 m dieptelijn en de zeewaartse begrenzing van de 12-mijlszone tot een diepte van 12 m onder de zeebodem en bevat de parameters: modeleenheid, lithoklasse, slibklasse schelpenklasse. De voxelmodellering maakt gebruik van de lagenmodellering die TNO/Deltares in 2020 hebben afgerond en beschreven is in TNO Notitie 060.39381-02iv 100329120 (Stam 2020). De vergelijking tussen DIS 2.1 en DIS 3.0 voor offshore Zeeland wordt in een aanvullende notitie beschreven.

Methode

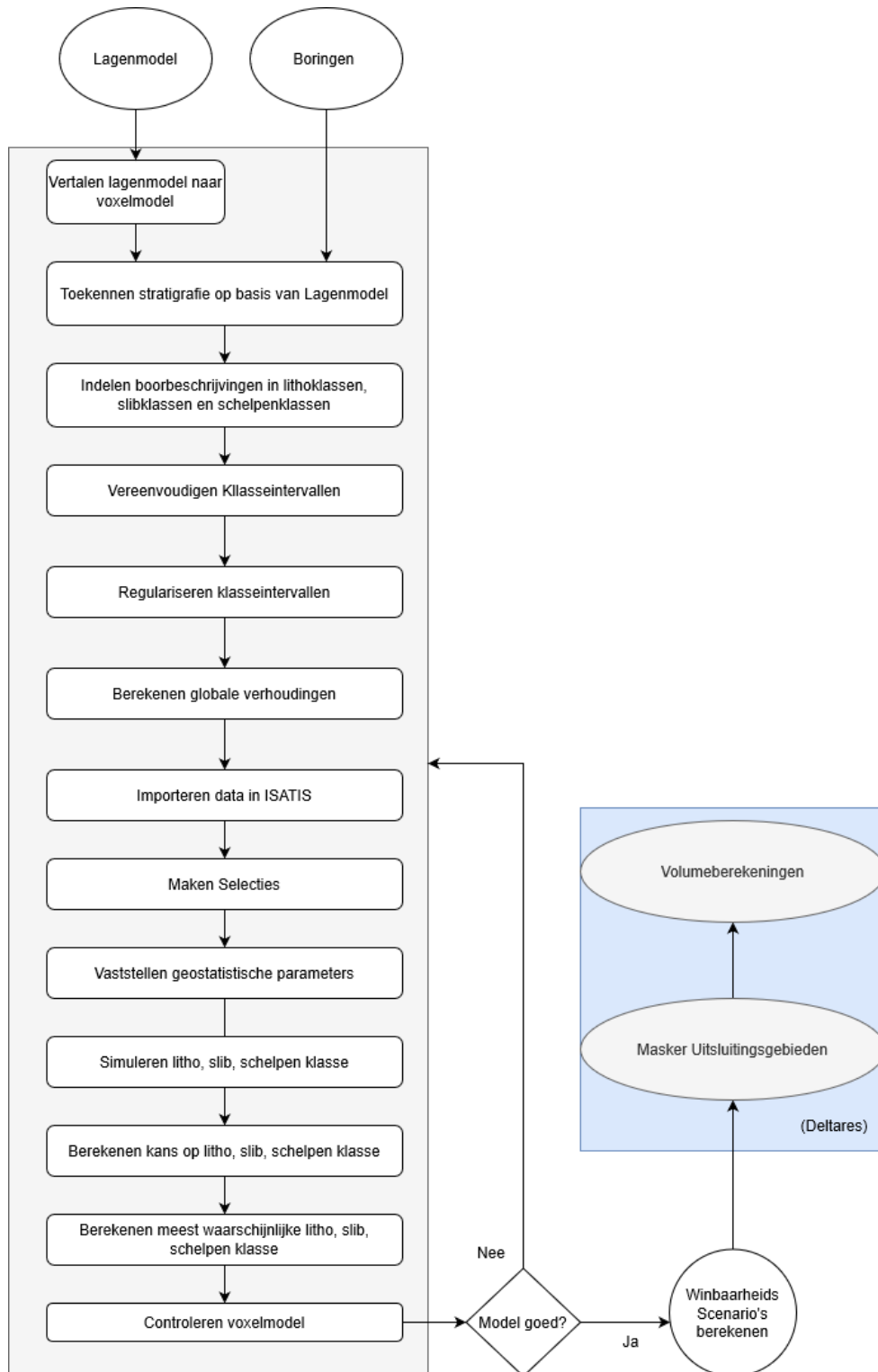
De methode die gebruikt is voor het maken van het voxelmodel lijkt sterk op de methode zoals ontwikkeld voor GeoTOP. en wordt hier beknopt beschreven, een gedetailleerde beschrijving staat in paragraaf 5.5 van TNO rapport 10758 (Stafleu et al. 2020). Het DIS 3.0 onderscheidt klei, veen, fijn zand (63-105 µm), matig fijn zand (105-210 µm), matig grof zand (210-420 µm), grof zand (420-2000 µm) en schelpen. Deze lithoklassen verschillen van die gehanteerd in GeoTOP (antropogeen, organisch materiaal (veen); klei; kleilig zand, zandige klei en leem; fijn zand (63-150 µm); midden zand (150-300 µm); grof zand (300-2000 µm); grind; schelpen; zand met onbekende korrelgrootte. Daarnaast zijn slib en schelpenklassen gemodelleerd. In figuur 1 staat een overzicht van de stappen die gevolgd zijn om van het lagenmodel en de boringen van een gebied tot een voxelmodel te komen. Voor de berekening van het voxelmodel zijn de volgende gegevens als input gebruikt:

1. het opgeleverde DIS 3.0 lagenmodel Offshore Zeeland;
2. boorgegevens uit de DINO database binnen het modelgebied.

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
2/18



Figuur 1 Workflow DIS 3.0 Voxellmodelling (gewijzigd naar Staffeu et al. 2020 figuur 5.5.1).

Datavoorbereiding

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

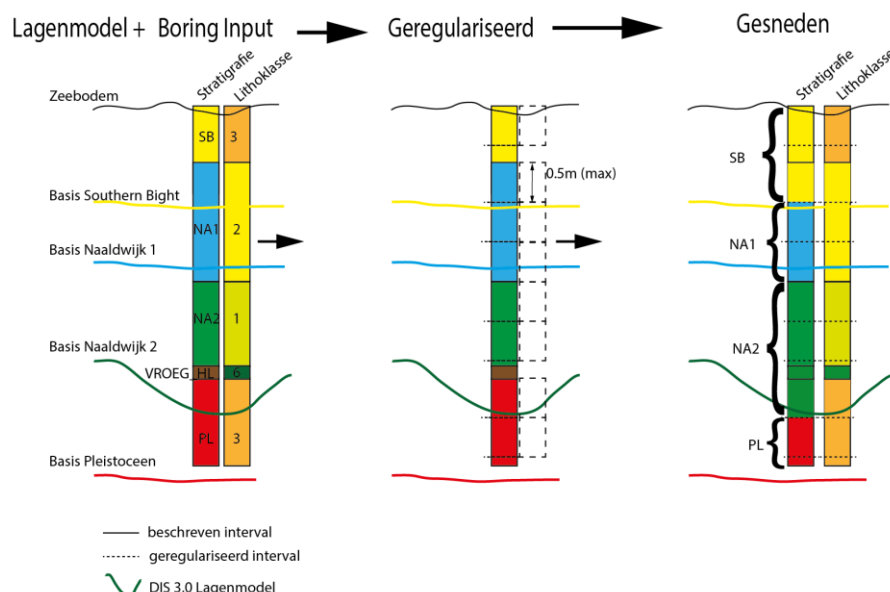
Blad
3/18

Met de grids van het stratigrafisch lagenmodel is een gevoxeliseerd 3D volume geconstrueerd met een resolutie van 200 x 200 x 0.5m (xyz). Daarbij is aan iedere voxel op basis van het lagenmodel (Stam 2020; tabel 1) een modeleenheid toegekend, uitgaande van het voxelmidden.

Tabel 1. Modeleenheden vertegenwoordigd in het DIS Offshore Zeeland lagenmodel. De vroeg-holocene eenheid omvat veen (Basisveen Laag, Formatie van Nieuwkoop), verdrinkingsklei (Laag van Velsen, Formatie van Naaldwijk) en kleirijke geulopvullingen (oudste deel van Laagpakket van Wormer, Formatie van Naaldwijk).

Modeleenheid	Opeenvolgingsnummer	Afkorting
Southern Bight	0	SB
Naaldwijk 1	1	NA1
Naaldwijk 2	2	NA2
Naaldwijk 3	3	NA3
Vroeg Holoceen	4	VROEG_HL
Pleistoceen	5	PL
Paleogeen	6	PAL

Om in DIS 3.0 de litho- slib- en schelpenklasse per stratigrafische eenheid te berekenen, moesten alle beschreven boorintervallen op voorhand voorzien worden van een stratigrafisch label. Voor het Offshore Zeeland model is ervoor gekozen om de boringen, na het regulariseren (waarbij intervallen dikker dan 0,5 m opgedeeld worden), te snijden met het lagenmodel. Hierbij is per geregulariseerd boorinterval gekeken binnen welke stratigrafische eenheid van het offshore Zeeland lagenmodel het interval valt (zie figuur 2). In bepaalde gevallen zijn (vooral dunne) eenheden in de originele stratigrafie weggesneden. De lithoklasse is ongewijzigd gebleven.



Figuur 2. Voorbeeld van het stratigrafische labelen van de boringen d.m.v. “snijden met het lagenmodel”. Links: de originele boring met gelabelde stratigrafie en lithoklasse (zoals opgeslagen in de DINO database en hier weergegeven in gekleurde kolommen) ten opzichte van het lagenmodel (hier aangegeven met gekleurde lijnen). Midden: de geregulariseerde

boring, met intervalldiktes van maximaal 0,5 m. Rechts: de boring met toegekende modelstratigrafie en onveranderde lithoklasse na het “snijden” met het lagenmodel.

Datum

16 oktober 2020

Onze referentie

060.43686-03iv

Blad

4/18

De boorgegevens uit DINO bestaan uit boorintervallen met beschrijvingen en/of korrelgrootteverdelingen. Omdat in het voxelmodel lithoklasse, slibklasse en schelpenklasse gebruikt worden, zijn alle boorintervallen omgezet naar één van de klassen uit tabel 2 en 3. Deze omzetting is uitgevoerd met behulp van een serie Python algoritmes.

Tabel 2. Klasse-indeling van de boorintervallen. Het korrelgroottebereik van de bijbehorende zandmediaan (D_{z50}) is weergegeven tussen haakjes.

Lithoklasse
1. zand fijn (63-105 μm)
2. zand matig fijn (105-210 μm)
3. zand matig grof (210-420 μm)
4. zand grof (420-2000 μm)
5. zand (korrelgrootte onbekend; in analyse buiten beschouwing gelaten)
6. klei (klei, leem, gyttja, bagger, slurrie)
7. veen (veen, bruinkool, detritus, dy)
8. schelpen ($\geq 30\%$ schelpen)

Tabel 3. Slib- en schelpenklasseindeling.

Slibklasse	Schelpenklasse
1. (0-2% slib)	1. geen schelpen (0%)
2. (2-4% slib)	2. spoor schelpen (0-1%)
3. (4-10% slib)	3. weinig schelpen (1-10%)
4. (>10% slib)	4. veel schelpen (10-30%)
	5. schelpen onbekend (%)

Nadat alle boorintervallen voorzien zijn van litho-, slib-, schelpenklasse en stratigrafie is per modeleenheid de globale statische verdeling van de klassen berekend. Deze berekening is gebruikt om de proporties van de klassen en de verhouding zand/niet-zand binnen het voxelmodel vast te stellen.

Een uitzondering hierop geldt voor de eenheid Naaldwijk 2. Omdat de klei in deze eenheid vooral aan de basis van het pakket ligt, is in dit geval gebruik gemaakt van een *vertical proportion curve*. Deze (diepte-)curve maakte het mogelijk om voor elk voxelniveau binnen de Naaldwijk 2 de lokale verhoudingen te bepalen. Een gedetailleerde beschrijving van de methodiek is te vinden in Stafleu *et al.* (2020).

Na het importeren van de data in het ISATIS softwarepakket zijn per modeleenheid geostatistische parameters (Variogram en Neighborhood) vastgesteld waarmee vervolgens de simulaties (Sequential Indicator Simulation) zijn aangestuurd. Voor zowel litho-, slib- als schelpenklasse is uitgegaan van horizontale afzetting en continuïteit. Keuze in de parameters bepaalt de mate van continuïteit.

Lithoklasse berekening

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
5/18

Voor de simulatie van lithoklasse zijn, overeenkomstig de GeoTOP methodiek (Stafleu *et al.* 2020), eerst 10 simulaties uitgevoerd waarbij onderscheid gemaakt is tussen zand (lithoklasse 1-5) en niet-zand(lithoklasse 6-8). Vervolgens zijn alle zandvoxels uit deze realisaties geselecteerd en is aan de hand van opnieuw 10 simulaties de zandklasse bepaald, waarbij lithoklasse 5 buiten beschouwing wordt gelaten omdat deze geen informatie over de zandklasse geeft (Blauw 2019). Eenzelfde procedure is voor de niet-zandvoxels gevolgd. In het eindresultaat zijn derhalve $10 \times 10 = 100$ realisaties van lithoklasse beschikbaar, waarbij elke realisatie statistisch gezien even waarschijnlijk is (Stafleu *et al.* 2020). Voor het berekenen van de meest waarschijnlijke lithoklasse uit de simulaties is het Soares algoritme gebruikt (Stafleu *et al.* 2020).

Berekening van slib- en schelpenklasse

Naast lithoklasse is voor elke voxel ook een slib- en schelpenklasse berekend. Aan de hand van 10 realisaties per modeleenheid is ook hiervoor het Soares algoritme gebruikt.

Winbaarheid

Na afronding van de voxelmodellering worden een aantal winbaarheidsgrids berekend waarbij verschillende winbaarheidsscenario's gebruikt worden. Deze staan uitgebreid beschreven in de Blauw (2019). Voor DIS 3.0 zijn 5 stoorlaagscenario's (tabel 4) berekend, ten opzichte van DIS 2.1 is er een scenario toegevoegd waarbij het Paleogeen tot stoorlaag wordt gerekend. Omdat er voor DIS 3.0 een nieuwe lagenmodellering gedaan is, worden er geen scenario's meer uitgerekend die gebruik maken van de stoorlagen afkomstig uit het ONL onderzoek (de zogenoemde "met geologie" scenario's). De voor ONL gebruikte seismiek is uiteraard ook gebruikt voor het nieuwe lagenmodel.

Tabel 4. Stoorlaagscenario's zoals vastgesteld voor DIS 3.0.

scenario	Stoorlaagdefinitie
1	Klei, leem, veenlagen
2	Klei, leem, veenlagen, Slibklasse 2,3,4
3	Klei, leem, veenlagen, Slibklasse 3,4
4	Klei, leem, veenlagen, Slibklasse 4
5	Klei, leem, veenlagen, Paleogeen

Naast de voor ieder van de 5 stoorlaagscenario's uit tabel 4 berekende winbaarheidsscenario's is voor DIS 3.0 is een extra onderverdeling gemaakt in Zand fijn t/m matig grof (63 t/m 420 μm) en Zand grof (420-2000 μm en korrels >2000 μm). Voor elke combinatie van de scenario's uit tabel 4 en de winbaarheidspercentages uit tabel 5 zijn winbaarheidsgrids voor de dieptebereiken tot 2, 5, 6 en 12 m onder de zeebodem berekend. Het voxelmodel is geschikt om ook voor andere windieptes bevraagd te worden.

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
6/18

Tabel 5. Winbaarheidspercentages van de lithoklassen in het 3D model. Lithoklasse 5 (zand, korrelgrootte onbekend) is tijdens de modellering omgezet in lithoklasse 1, 2, 3 of 4. Nota bene: 0% winbaar betekent niet dat er geen zand aanwezig is. Het aanwezige zand voldoet echter niet aan de gestelde norm. De percentages voor Zand 0-1 en Zand 0-4 zijn hier nog vermeld voor de vergelijking van DIS 2.1 met DIS 3.0, maar zijn in DIS 3.0 niet langer onderdeel van de analyse.

Lithologie	Klasse zoals beschreven	Klasse zoals gedefinieerd in DIS 3.0				
		Zand 0-1	Zand 0-4	Zand, geen norm	Zand fijn t/m matig grof	Zand grof
Zand (lithoklasse 1, 2, 3,4)	1. zand fijn	0% winbaar	0% winbaar	100% winbaar	100% winbaar	0% winbaar
	2. zand matig fijn	50% winbaar	0% winbaar	100% winbaar	100% winbaar	0% winbaar
	3. zand matig grof	100% winbaar	50% winbaar	100% winbaar	100% winbaar	0% winbaar
	4. zand grof	100% winbaar	100% winbaar	100% winbaar	0% winbaar	100% winbaar
Niet-zand (lithoklasse 6, 7)	Klei, veen	stoor	stoor	stoor	stoor	stoor
Schelpen (lithoklasse 8)	Schelpen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

DIS 3.0 is bevraagd voor een vijftal combinaties van stoorlaagdikte en stoorlaagscenario's, weergegeven in tabel 6. In het uiteindelijke resultaat (de maximale winddiepte) is niet zichtbaar welke stoorlaag waar van invloed is.

Tabel 6. Gedefinieerde subscenari'o's voor DIS3.0. In de middelste kolom staan de lithoklassen die voor het subscenari'o als stoorlaag beschouwd worden. De rechterkolom geeft aan vanaf welke dikte een stoorlaag als storend beschouwd wordt.

Subscenari'o	Stoorlaagscenario	stoorlaagdikte
A	n.v.t.	Geen stoorlaag
B1	1) Klei, leem, veen	1.0 m
B2	1) Klei, leem, veen	0.5 m
B3	5) Klei, leem, veen, Paleogeen	0.5 m
C	3) Klei, leem, veenlagen, Slibklasse 3-4	1.0 m

Resultaten

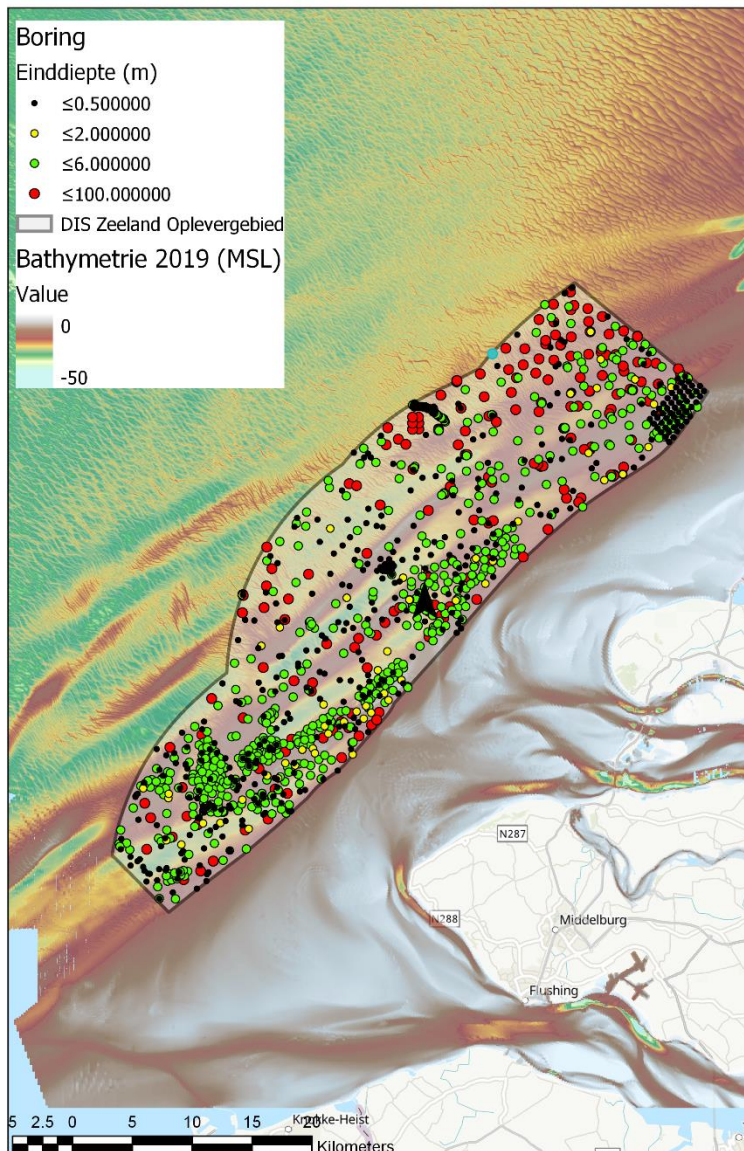
Datadichtheid

Voor het voxelmodel van DIS Offshore Zeeland is in totaal 5824 meter aan beschreven boorintervallen gebruikt als inputdata. De spreiding en einddiepte van de beschikbare boorbeschrijvingen is weergegeven in figuur 3.

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
7/18



Figuur 3. In DINOloket beschikbare boorbeschrijvingen, gekleurd aan de hand van de einddiepte van de boringen (Stam 2020).

Per formatie zijn de verschillen in de beschikbare boorinformatie groot (tabel 7). De statistische betrouwbaarheid van de berekeningen neemt over het algemeen toe bij hogere datadichtheid. De informatiedichtheid voor de Southern Bight Formatie (SB) is bijna 10 keer zo hoog als die voor het Paleogeen (PAL). Voor het oplevergebied tot -12 m onder de zeebodem is per miljoen kubieke meter ongeveer een halve strekkende meter aan boorinformatie beschikbaar. Uiteraard neemt de informatiedichtheid af met de diepte omdat er minder diepe boringen zijn dan matige

diepe en ondiepe boringen. Op basis van de in tabel 4 weergegeven beschikbare lengte aan beschreven intervallen zijn de globale verhoudingen berekend die als belangrijke input voor de voxelmodellering gelden.

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
8/18

Tabel 7. Beschikbare boorlengte per modeleenheid voor DIS 3.0 Offshore Zeeland .

Modeleenheid	Boorlengte (m)	Volume Modeleenheid (Mm3)	Percentage van modelvolume	Strekende m boorkern per Mm3
Southern Bight	2285	2141	20%	1,07
Naaldwijk 1	615	856	8%	0,72
Naaldwijk 2	644	856	8%	0,75
Naaldwijk 3	145	214	2%	0,68
Vroeg Holoceen	43	107	1%	0,40
Pleistoceen	1973	5674	53%	0,35
Paleoegen	119	856	8%	0,14
Totaal	5824	10.705	100%	0,54

Globale verhoudingen

DIS 3.0 is de eerste versie van het DIS model waarbij de voxelmodellering per modeleenheid plaatsvindt. In de globale verhoudingen (tabel 8) is goed terug te zien dat de verhouding zand/niet-zand sterk verschilt per eenheid. Binnen de Naaldwijk 2 (NA2) komt bijvoorbeeld bijna 3 keer zoveel klei voor als binnen de Naaldwijk 1 (NA1).

Tabel 8. Globale lithoklasseverhoudingen per modeleenheid.

Modeleenheid	Fijn zand	Matig fijn zand	Matig grof zand	Grof zand	Totaal zand	Klei	Veen	Schelpen	Totaal Niet-Zand
Southern Bight	0,1%	8,6%	81,2%	6,9%	96,8%	1,6%	0,2%	1,4%	3,2%
Naaldwijk 1	0,7%	30,7%	58,4%	5,0%	94,7%	3,8%	0,5%	1,0%	5,3%
Naaldwijk 2	1,0%	29,4%	55,1%	2,9%	88,4%	9,8%	1,3%	0,5%	11,6%
Naaldwijk 3	0,3%	25,9%	58,0%	4,0%	88,1%	6,6%	0,0%	5,3%	11,9%
Vroeg Holoceen	0,0%	17,9%	46,4%	0,0%	64,3%	33,0%	2,7%	0,0%	35,7%
Pleistoceen	0,2%	13,1%	60,0%	24,5%	97,8%	1,5%	0,1%	0,7%	2,2%
Paleoegen	0,0%	29,1%	46,9%	4,4%	80,4%	17,2%	0,0%	2,4%	19,6%

De zandigste eenheden (Southern Bight , Naaldwijk 1 en Pleistoceen) bevatten over het algemeen ook minder slib dan de minder zandige eenheden (Naaldwijk 2, Naaldwijk 3, Vroeg Holoceen end Paleoegen), zoals is weergegeven in tabel 9.

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
9/18

Tabel 9. Globale verhoudingen van de slibklasse per modeleenheid.

Modeleenheid	Slibklasse 1	Slibklasse 2	Slibklasse 3	Slibklasse 4
Southern Bight	87,5%	7,5%	3,9%	1,2%
Naaldwijk 1	75,8%	18,0%	5,1%	1,0%
Naaldwijk 2	74,4%	12,2%	9,7%	3,8%
Naaldwijk 3	81,2%	13,5%	4,4%	1,0%
Vroeg Holoceen	55,1%	32,7%	8,2%	4,1%
Pleistoceen	88,7%	7,1%	3,2%	1,1%
Paleoegen	71,1%	11,4%	5,3%	12,3%

Wat betreft schelpenklasse is er een minder groot verschil tussen de zandige en niet zandige eenheden. Wel is het percentage schelprijk sediment binnen het Paleoegen opvallend hoog (tabel 10).

Tabel 10 Globale verhoudingen van de schelpenklasse per modeleenheid.

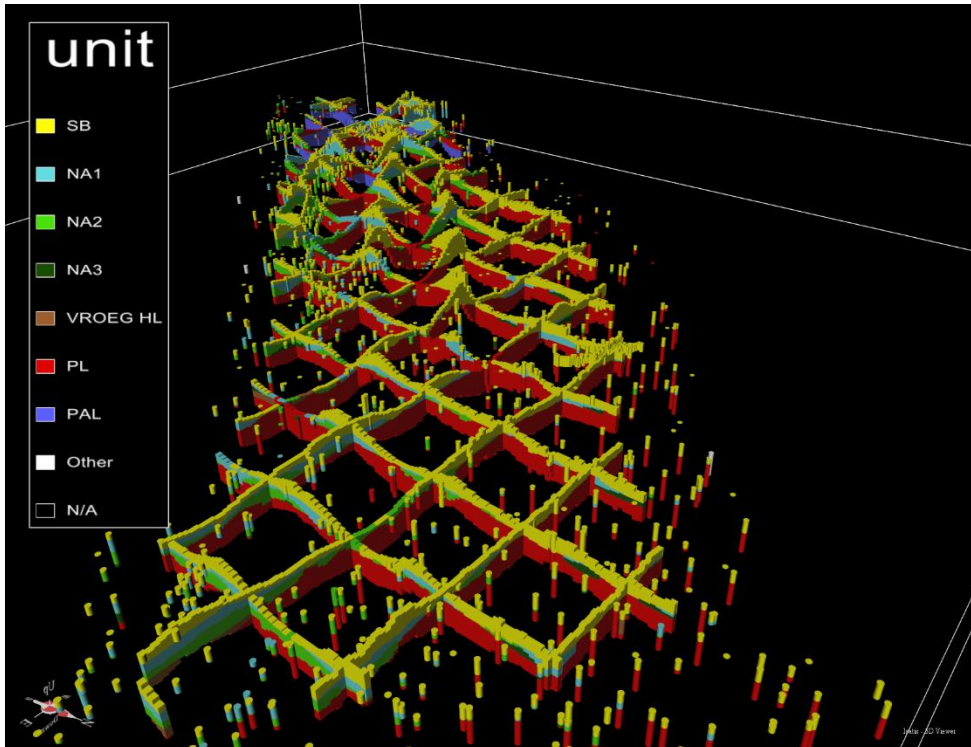
Modeleenheid	1 Geen schelpen	2 spoor schelpen	3 weinig schelpen	4 veel schelpen	5 schelpen onbekend
Southern Bight	0,2%	32,4%	52,2%	12,5%	2,7%
Naaldwijk 1	1,1%	43,2%	39,3%	11,1%	5,3%
Naaldwijk 2	1,3%	41,9%	38,9%	15,6%	2,3%
Naaldwijk 3	0,7%	37,8%	40,5%	13,5%	7,6%
Vroeg Holoceen	0,0%	43,1%	34,7%	19,4%	2,8%
Pleistoceen	0,5%	43,1%	45,0%	9,0%	2,5%
Paleoegen	0,5%	21,6%	41,4%	33,3%	3,2%

De variatie in de globale verhoudingen is terug te zien in het voxelmodel (figuur 4 en 5), waarbij de kleiige voxels vooral voorkomen in de modeleenheden Naaldwijk 2, Naaldwijk 3, Vroeg Holoceen en Paleoegen.

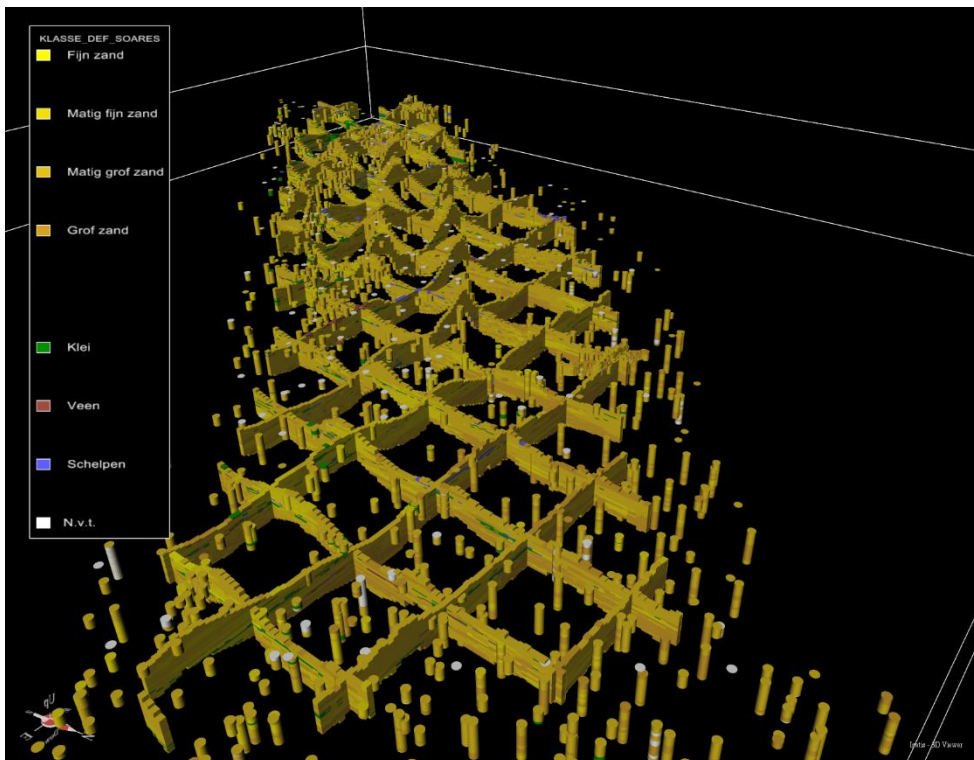
Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
10/18



Figuur 4. Geovoxeliseerd lagenmodel (kijkrichting zuidwest), weergegeven in dwarsprofielen (om de 2 km). De boorstaafjes zijn gekleurd volgens de toegekende modelstratigrafie.



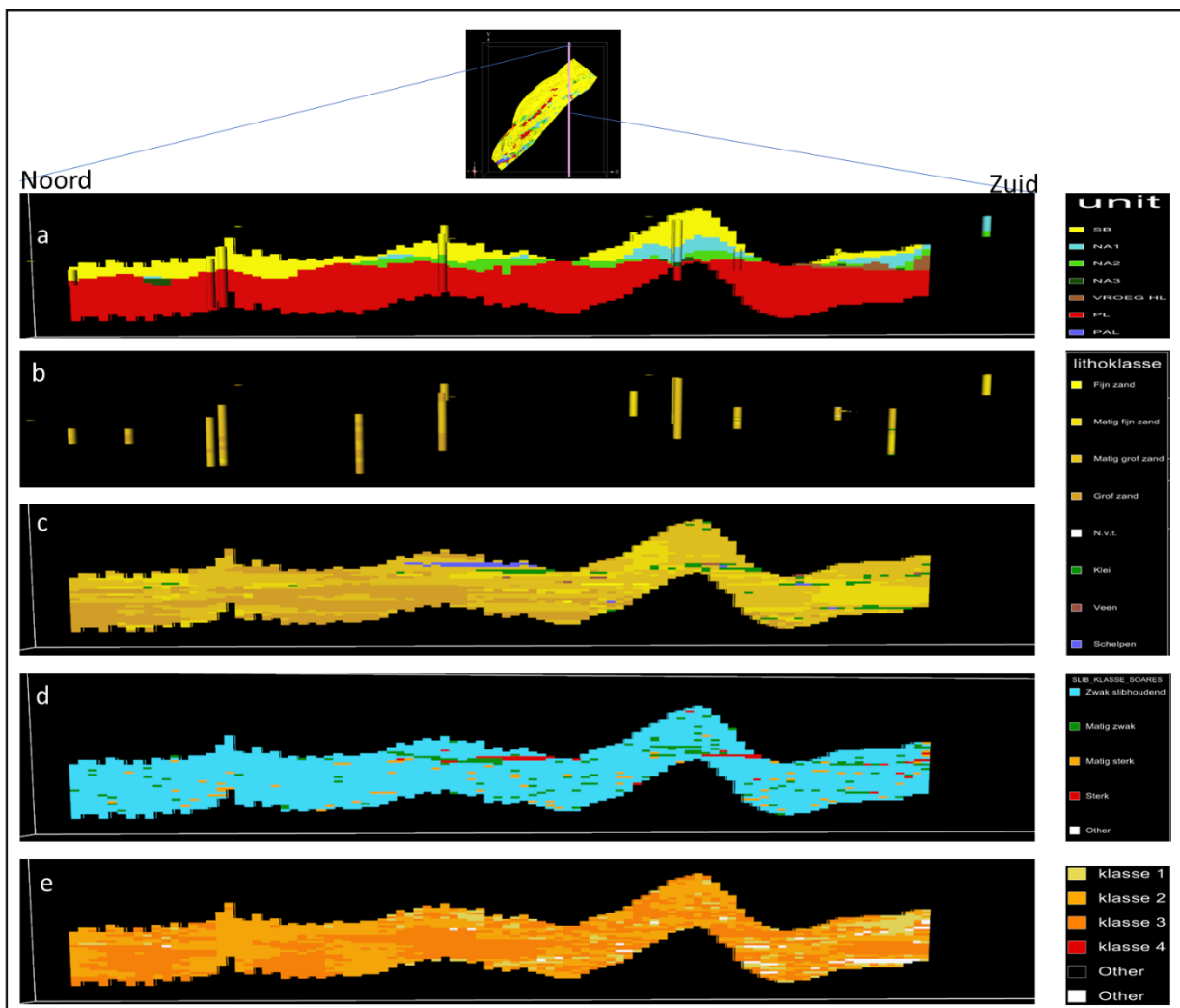
Figuur 5. Voxelmodel (kijkrichting zuidwest) met de meest waarschijnlijke lithoklasse. De boorstaafjes zijn ook gekleurd volgens de lithoklasseindeling. De in wit aangegeven intervallen zijn niet beschreven of bemonsterd.

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
11/18

Figuur 6 en 7 geven meer detail. In de getoonde dwarsprofielen is duidelijk zichtbaar hoe de voxelmodellering samenhangt met de lagenmodellering. Zo komen de aaneengesloten klei- en veenlagen in figuur 6 alleen voor binnen de eenheden Naaldwijk 2, Naaldwijk 3, Vroeg Holoceen en Paleogeen. De kleivoxels binnen de Southern Bight en Pleistoceen zijn veel fragmentarischer. Ook is te zien dat de voxels met verhoogde slibpercentages over het algemeen binnen de minder zandige eenheden vallen en wat dat betreft de globale slibverhoudingen reflecteren (tabel 8). Dat er weinig verschil in de schelpenklasseverdeling binnen het Holoceen en Pleistoceen zit, wordt nogmaals geïllustreerd in figuur 6e.



Figuur 6. Noord-zuid sectie door het voxelmodel: (a) lagenmodel, (b) boringen binnen 1000m van de sectielijn, (c) meest waarschijnlijke lithoklasse, (d) meest waarschijnlijke slibklasse, (e) meest waarschijnlijke schelpenklasse.

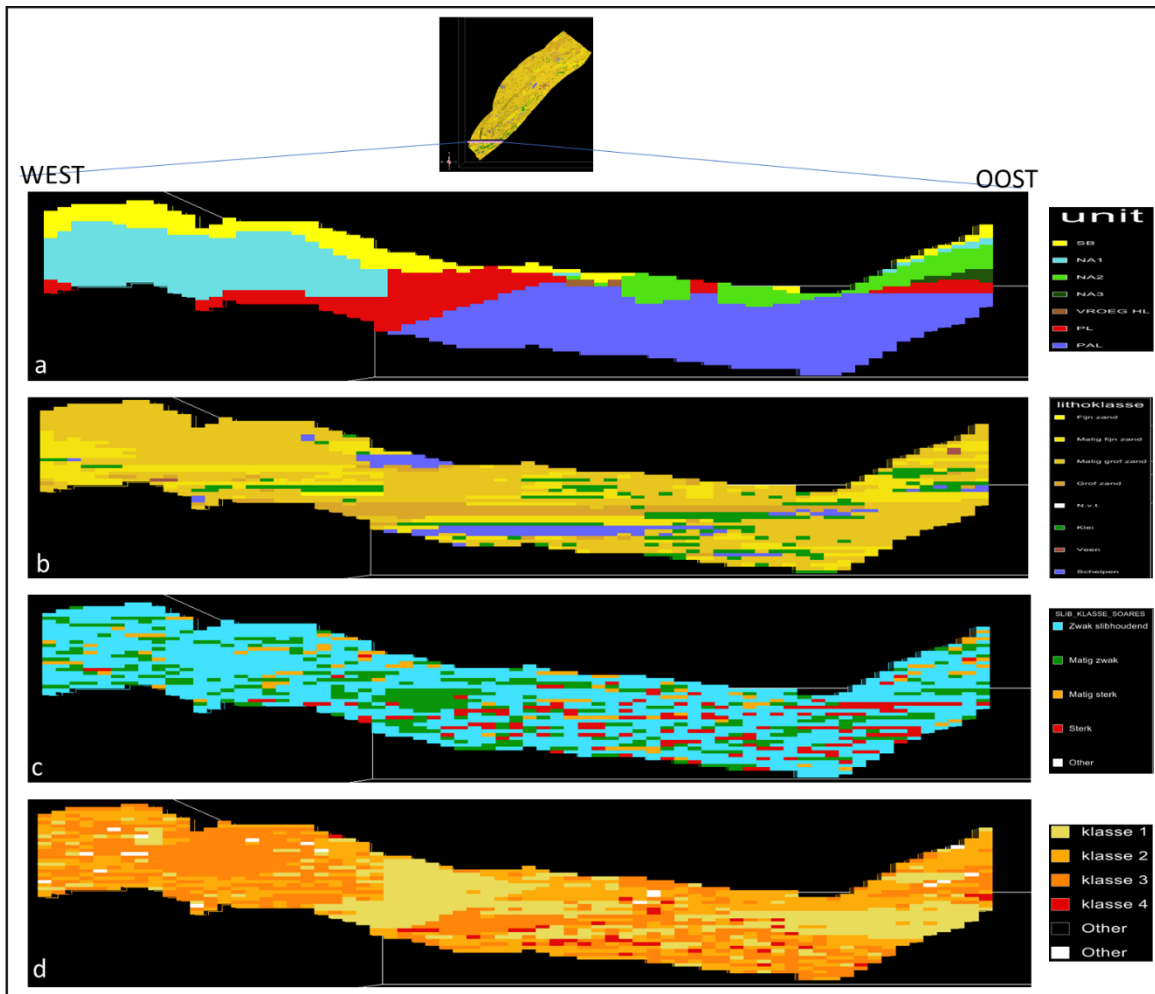
Paleogeen

Het Paleogeen heeft volgens de globale verhoudingen (tabel 8-10) relatief veel niet-zand, een hoog slibgehalte en veel schelpen. In de sectie van figuur 7 is goed te zien dat deze globale verhoudingen zeer bepalend zijn voor het voxelmodel. In het Paleogeen zijn continue schelpen-, klei- en sliבלagen te zien. Het hoge percentage schelprijke voxels in het Paleogeen is opmerkelijk. De oorzaak ligt in een aantal verkeerd gelabelde boorintervallen die eigenlijk tot het Pleistoceen zou moeten behoren en niet tot het Paleogeen. Deze fout is niet van invloed op de winbaarheid.

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
12/18



Figuur 7 West-oost sectie door het zuidelijk deel van het voxelmodel: (a) lagenmodel, (b) meest waarschijnlijke lithoklasse, (c) meest waarschijnlijke sliבלasse, (d) meest waarschijnlijke schelpenklasse.

Winbaarheid

De hoeveelheid winbaar zand neemt af naarmate het stoorlaagscenario ruimer wordt (meer lithoklassen) en de stoorlaagdikte stringenter wordt (dunnere toegestane stoorlaagdikte). In figuur 8 is dit duidelijk zichtbaar. De scenario's waarbij een maximum stoorlaagdikte van 0.5 m gehanteerd wordt (B2, B3) resulteren in een relatief pokdalig beeld waarbij de berekende maximale winbare

TNO PUBLIEK

dikte over korte afstand sterk kan verschillen. Het effect van het Paleogeen als stoorlaag (B3) is alleen in het zuiden van het modelgebied merkbaar omdat alleen daar de top van het Paleogeen binnen 12 m onder de zeebodem ligt.

Datum

16 oktober 2020

Onze referentie

060.43686-03iv

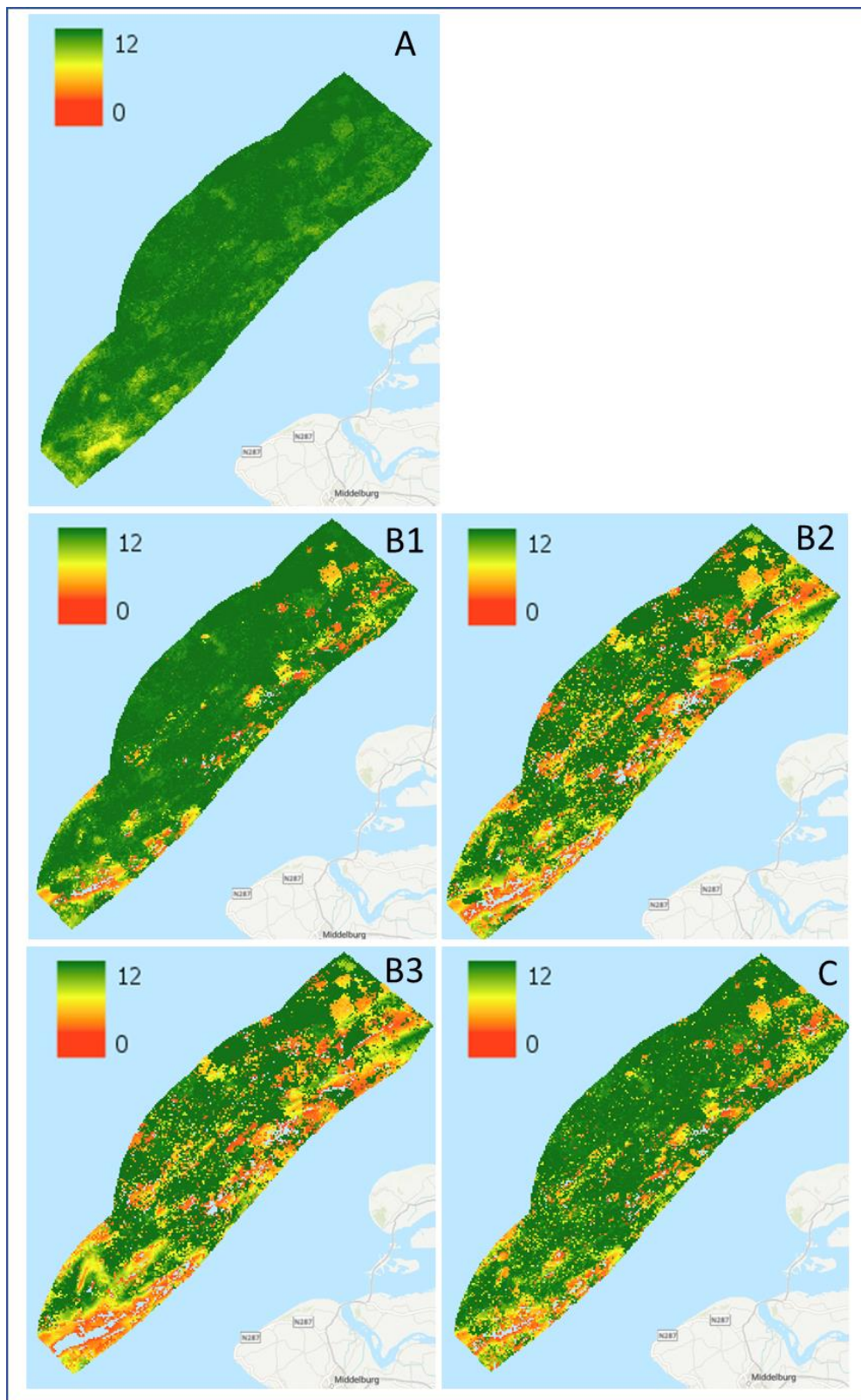
Blad

13/18

Datum
16 oktober 2020

Onze referentie
060.43686-03iv

Blad
14/18



Figuur 6. Grids (in meters) van winddikte voor de subscenario's uit tabel 6, hier weergegeven voor het bereik tot 12 m onder de zeebodem.

Discussie

Datum

16 oktober 2020

Onze referentie

060.43686-03iv

Blad

15/18

Voor het voxelmodel wordt de lithologische informatie alleen geleverd door de boordata, waardoor de datadichtheid nog lager is dan die van het lagenmodel waarbij ook seismische lijnen als input worden gebruikt. Om bij de voxelmodellering tot de beste resultaten te komen is het van essentieel belang dat de stratigrafische interpretatie van de boringen en van de seismiek zo goed mogelijk is afgestemd. Tegenstellingen in boor- en seismische stratigrafie leiden tot onnauwkeurigheden in het lagenmodel die doorwerken in de globale verhoudingen en dus in de resultaten van het voxelmodel. Visualisatie van lithostratigrafie in het voxelmodel helpt bij de herkenning van discrepanties, en vormt een belangrijke component van de kwaliteitscontrole. De grootste toegevoegde waarde van een sturend lagenmodel, preferente toewijzing van stoorlaagvoxels aan de hand van globale lithoklasseverhoudingen per modeleenheid, wordt door deze fouten niet teniet gedaan. Naarmate de datadichtheid hoger is, werken de discrepanties bovendien minder sterk door.

Voor het DIS Offshore Zeeland model hadden inconsistenties tussen boor- en seismische data een duidelijke invloed op de modellering van de dunne vroeg-holocene laag. In de seismiek was het vroeg Holoceen veelal moeilijk te onderscheiden en is het grotendeels als Naaldwijk 2 gekarteerd. Bij het maken van het lagenmodel kan de hoeveelheid seismische informatie de puntgegevens uit boringen domineren, vooral in gebieden met een lage boordichtheid. Daarbij kan de situatie uit figuur 2 ontstaan waarbij op de positie van een boring met vroeg Holoceen in het lagenmodel Naaldwijk 2 gemodelleerd is. Bij de verdere kartering en modellering van DIS is het belangrijk hier aandacht aan te besteden. Doordat kleine intervallen die volgens de boorbeschrijving bij het vroeg Holoceen horen in het voxelmodel bij de Naaldwijk 2 gerekend worden, zijn de globale verhoudingen (bijvoorbeeld van *zand* vs. *niet-zand*) op basis van het gesneden model iets anders dan op basis van de boorinterpretaties te verwachten is.

Onderzoek heeft uitgewezen dat voor offshore Zeeland de methodiek van het snijden van alle boringen met het lagenmodel de voorkeur verdiende boven alternatieven, waarbij boringen de gelabelde stratigrafie behouden. De gekozen methodiek voorziet erin dat alle boorintervallen meegenomen worden bij de voxelmodellering. Alternatieve methoden voor het stratigrafisch labelen van de boringen zouden hebben geleid tot aanzienlijke inconsistenties tussen de stratigrafische labelling van de boringen en het lagenmodel. Daar waar het stratigrafisch label van de boring verschilt met het lagenmodel kan de lithologie van dat interval niet worden meegenomen bij de voxelmodellering van de litho-, slib-, en schelpenklasse. Dit heeft een veel groter effect op bijvoorbeeld de gemodelleerde aanwezigheid van stoorlagen dan op onnauwkeurigheden in de globale verhoudingen per modeleenheid. Het lagenmodel aanpassen was om budgettaire redenen niet opportuun voor Zeeland offshore. De inzichten zullen wel worden meegenomen in de verdere kartering en modellering van DIS 3.0.

Datum
16 oktober 2020**Onze referentie**
060.43686-03iv**Blad**
16/18

Bij de voxelmodellering wordt uitgegaan van horizontale sedimentafzetting. Daarom is de continuïteit van de stoorlagen ook horizontaal. Er zijn echter modeleenheden waarvoor het principe van horizontale afzetting kan worden losgelaten, zoals het tektonisch scheefgestelde Paleogeen en de vroeg-holocene verdrinkingsveen en -klei die de paleomorfologie van het pleistocene landschap volgen. Voor de overige eenheden is dat vanwege de geringe datadichtheid niet mogelijk.

Het Paleogeen komt alleen in het zuidelijkste deel van het modelgebied in de bovenste 12 m van de zeebodem voor, en bevat daar zeer veel stoorlagen. Een ander kenmerk, het hoge schelpengehalte, is een weerspiegeling van de modelmethodiek, waarbij boringen gesneden worden met het lagenmodel, en de zeer geringe hoeveelheid boorinformatie die beschikbaar is voor het Paleogeen. Hierdoor hebben een aantal korte als Paleogeen geclassificeerde boorintervallen met veel schelpen een groot effect op de globale verhoudingen en daarmee op het voxelmodel van het Paleogeen. De zandfractie in het Paleogeen bevat veelal een hoog gehalte aan glauconiet, wat dit zand minder geschikt maakt voor diverse toepassingen. Daarom is er een extra winbaarheidsscenario opgesteld waarbij het Paleogeen als niet winbaar wordt beschouwd.

Voor de bijmenging van slib en schelpen is de te verwachten continuïteit laag in vergelijking met die van de kleilagen. De in het licht hiervan gekozen afwijkende geostatistische parameters hebben echter wel tot gevolg dat voor data-arme gebieden een “tv-ruis-achtige” verdeling kan ontstaan.

Het is belangrijk om te benadrukken dat vooral geïsoleerde stoorlaagvoxels een weerspiegeling van de statistische invulling van het lagenmodel zijn. Ze wijzen erop dat er binnen de eenheid een bepaald percentage stoorlagen aanwezig is. Geologisch gezien is het beeld van zeer geïsoleerde kleivoxels niet realistisch. Waarschijnlijker is de aanwezigheid van meer continue, al dan niet hellende kleilagen die laagtes invullen of op laaggrenzen doodlopen, zoals op hoogkwalitatieve seismische lijnen te zien is. Met de huidige datadichtheid kunnen de meeste stoorlagen niet beter in beeld worden gebracht.

Kwaliteitscontrole

De meeste in de discussie genoemde punten komen voort uit een geologisch-inhoudelijke kwaliteitscontrole die is uitgevoerd door ongeveer 20 west-oost profielen en ongeveer 10 zuid-noord profielen te bestuderen. De belangrijkste conclusies uit deze controle zijn:

- Het lagenmodel biedt meer geologisch houvast dan het voxelmodel, en legt duidelijk onderbouwde ruimtelijke beperkingen op aan de interpolatie. Het voxelmodel is door geringe datadichtheid zeker in het zuiden vooral geostatistisch van aard. Op land zorgt de veelheid aan data voor het benodigde detail en voor uitmiddeling van onzekerheden. In het nu opgeleverde mariene modelgebied is dat niet het geval, maar verder noordwaarts neemt de datadichtheid toe.

- Door lage datadichtheid hebben individuele boringen over kilometers invloed.
- Het verdient aanbeveling om het Pleistoceen voor toekomstige modelgebieden met een hogere datadichtheid onder te verdelen. Ze zijn gekenmerkt door verschillen in lithoklasse en slibgehalte, en opdeling kan daarom de voxelmodellering optimaliseren.
- Gemodelleerd veen en verdrinkingsklei volgen als lithoklasse vooralsnog niet de top van het onderliggende Pleistoceen, maar een horizontaal vlak binnen de stratigrafische modeleenheid vroeg Holoceen.
- Horizontaal correleren geeft bij lage datadichtheid een misleidend horizontaal beeld. Dat kan alleen worden gecorrigeerd als er voorspelbare of reeds gekarteerde systematiek (zoals scheefstelling) zit in de werkelijke eenheden. Dat is voor DIS Offshore Zeeland alleen bij het Paleogeen en vroeg Holoceen het geval. In meer noordelijke gebieden zal dit onder andere ook voor glaciële afzettingen kunnen gelden.
- Reflecties en amplitudes uit seismiek zijn nu nog niet meegegeven in de lithoklassemodellering. Op termijn is dat een manier om meer niet-horizontale structuur aan te brengen. Dit heeft echter alleen zin als het seismische lijnengrid voldoende dicht en van kwaliteit is.
- Geïsoleerde stoorlaagvoxels moeten niet als basis van de winbare zandlaag worden gebruikt. Dat geeft een onwerkbaar beeld. De vraag wat acceptabel is in termen van stoorlaagvoxels kan het beste in samenspraak met de eindgebruiker worden beantwoord. Vervolgens kan deze ruis worden weggefilterd volgens nadere specificaties.
- Het voxelmodel genereert inzicht in laterale korrelgrootteverschillen binnen het Pleistoceen. Naar het noorden is sprake van vergroving. Dit is een goed voorbeeld van kennis die door het model wordt toegevoegd.

Datum

16 oktober 2020

Onze referentie

060.43686-03iv

Blad

17/18

Conclusie

Het gebruik van een op expertkennis gebaseerd lagenmodel bij de berekening van een voxelmodel geeft door sturing een realistischer resultaat dan een versie waarin deze sturing niet is meegenomen. Hiermee verbetert de voorspellende waarde bij de inschatting van winbare hoeveelheden zand.

De datadichtheid is zeer laag waardoor het voxelmodel veeleer een statistische invulling is van eenheden binnen het lagenmodel dan een sterk geologisch gestuurde representatie van de werkelijkheid. De geologische sturing van het voxelmodel is dan ook beperkt tot de in het onderliggende lagenmodel onderscheiden eenheden. Voor de bouw van dit lagenmodel is geologische expertise gebruikt die gefragmenteerde ondergrondgegevens tot een aaneengesloten beeld smeedt. Vanwege de aanzienlijke lithologische variabiliteit binnen elke onderscheiden laag is dat op lithoklasseniveau onmogelijk.

Datum

16 oktober 2020

Onze referentie

060.43686-03iv

Blad

18/18

Aanbevelingen

Uit de eerste versie van het DIS 3.0 voxelmodel kunnen een aantal belangrijke lessen getrokken worden die voor volgende gebieden een verbetering kunnen opleveren:

- optimale afstemming tussen de interpretatie van boringen en seismiek in het karterstadium;
- optimalisatie van de methodiek van het modelleren van dunne lagen (vroeg Holoceen).

Om het voxelmodel geologisch realistischer te maken is het noodzakelijk om extra informatie uit bestaande data te halen. Hierbij kan gedacht worden aan:

- gebruik van seismische reflecties en hun amplitudes voor de lithoklassemodellering;
- gebruik van seismische structuren (groot- en kleinschalig) binnen modeleenheden, als extra geologische sturing bij de voxelmodellering;
- gebruik van soneergegevens indien beschikbaar;
- mogelijke verbetering van de huidige modelleertechnieken.

Referenties

Blauw M., 2019, Update Delfstoffen Informatie Systeem, Deltares rapport 11202051-002-BGS-0008.

Stam J.C., 2020, DIS Zeeland Lagenmodellering, TNO-notitie 060.39381-02iv 100329120.

Stafleu J., Hummelman J., De Bruijn R., Koster K., Stam J.C., Maljers D., Schokker J., 2020, Totstandkomingsrapport GeoTOP - met nieuwe methodiek lagenmodellering

(<https://www.broloket.nl/sites/default/files/docs/geotop/R10758%20Totstandkomingsrapport%20GeoTOP%20-%20met%20nieuwe%20methodiek%20lagenmodellering.pdf>)