



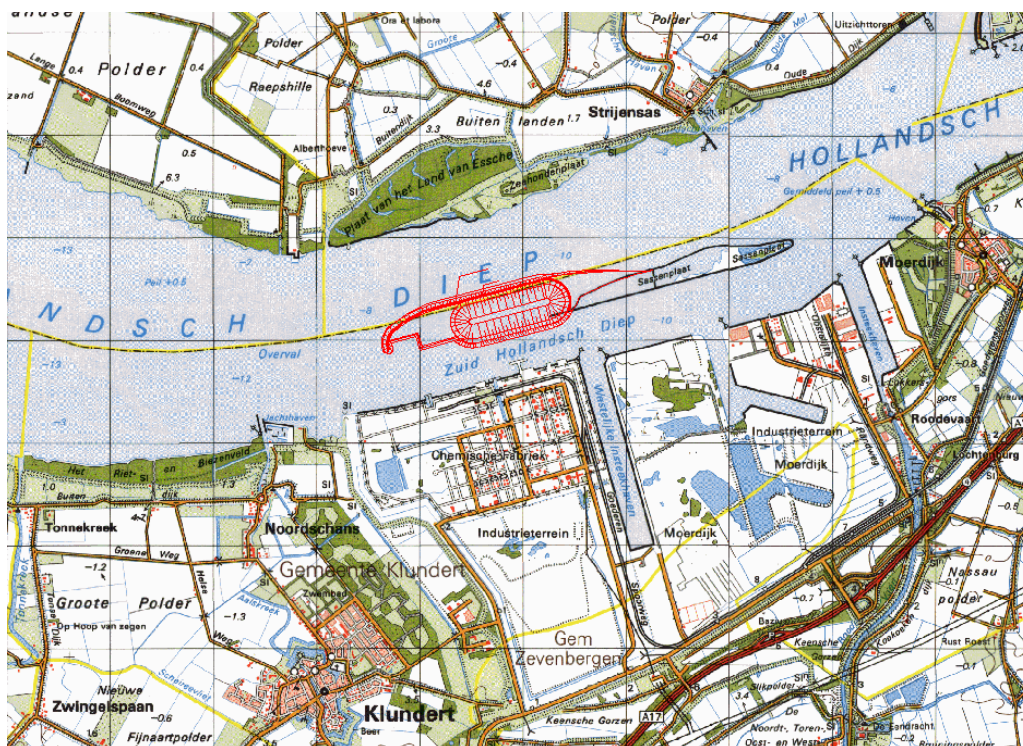
Opbouw verontreinigde waterbodem onder depot Hollandsch Diep

RIZA werkdokument 2002.067X
WAU.HD4-2-02087

Project nr 6100.013.27

Auteur: A. Fiole

Dordrecht, november 2002
(RIZA-WST)



Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 2

Samenvatting 3

1 Inleiding 4

- 1.1 Achtergrond 4
- 1.2 Probleemstelling 4
- 1.3 Doelstelling 4
- 1.4 Onderzoeksvragen 4
- 1.5 Leeswijzer 4

2 Analyse waterbodembodem Hollandsch Diep 6

- 2.1 Geografische ligging depot Hollandsch Diep 6
- 2.2 Beschikbare gegevens Hollandsch Diep 6
- 2.3 Verwerking lodinggegevens Hollandsch Diep 6
 - 2.3.1 Ontwikkeling van de bodemhoogte 7
 - 2.3.2 Conclusies ontwikkeling bodemhoogte 9
- 2.4 Verwerking waterbodembemonsteringen in het Hollandsch Diep 9
 - 2.4.1 Uitgevoerde boringen en analyses 9
 - 2.4.2 Vaststellen dikte sliblaag 10
 - 2.4.3 Vaststellen nauwkeurigheid dikte sliblaag 11
- 2.5 Berekenen gebiedsdekkende dikte sliblaag 12
 - 2.5.1 DIK1 12
 - 2.5.2 DIK2 13
- 2.6 Berekenen gebiedsdekkende diepteligging sliblaag 18
 - 2.6.1 DIEP1 18
 - 2.6.2 DIEP2 19
 - 2.6.3 DIEP3 20
 - 2.6.4 DIEP4 24
- 2.7 Vergelijken nauwkeurigheid berekende sliblaag 25
 - 2.7.1 Nauwkeurigheid diepteligging sliblaag 25
- 2.8 Berekenen gebiedsdekkende diepte ligging verontreinigde laag 27
 - 2.8.1 Vaststellen diepteligging verontreinigde laag 27
 - 2.8.2 Vaststellen nauwkeurigheid diepteligging verontreinigde laag 28
 - 2.8.3 Verwijderingspercentage 32

3 Conclusies en aanbevelingen 36

Referenties 37

Verklaring van de variabelen 38

Verklaring statistische termen 39

Appendix (kaarten) 41

Samenvatting

Voor het te bouwen speciedepot in het oostelijk deel van het Hollandsch Diep ("depot Hollandsch Diep") is het nodig om de opbouw van de verontreinigde bodem ter plaatse te weten. Bij het bouwen (graven) van het depot moet er materiaal verwijderd worden. Belangrijk is het om te weten wat voor soort materiaal dit is (zand/slib) en of dit al dan niet verontreinigd is en op welke diepte dit materiaal zich bevindt.

Ten behoeve van dit onderzoek zijn bij een verkennend waterbodemonderzoek [1] in totaal 34 boringen verricht. Van deze boringen zijn boorbeschrijvingen gemaakt en zijn er in totaal 99 sedimentmonsters geanalyseerd. De analysere-sultaten van deze boringen en bemonsteringen (boorbeschrijvingen, analysere-sultaten en classificaties) zijn gebruikt om de ligging van de onderkant van de sliblaag en van de overgang klasse 0/1/2-3/4 voor de boorlocaties vast te stel-len.

In voorliggend werkdocument is voor 4 verschillende methoden onderzocht hoe de ligging van de onderkant van de sliblaag (puntwaarnemingen) gebieds-dekkend gemaakt kan worden en welke nauwkeurigheden daarbij horen. De onderzochte methoden zijn:

1. Direct interpoleren van de vastgestelde sliblaag diktes zoals vermeld bij de boorbeschrijvingen en deze vervolgens aftrekken van de huidige (geïnterpoleerde) bodemligging.
2. Via een relatie tussen de sliblaagdikte volgens de boorbeschrijvingen en de (gebiedsdekkende) netto afzetting in de periode 7204-0101 berekenen van een gebiedsdekkende dikte van de sliblaag. De (gebiedsdekkende) diepteligging is vervolgens bepaald door de dikte af te trekken van de huidige diepteligging.
3. Via een relatie tussen de vastgestelde diepteligging van de sliblaag volgens de boorbeschrijvingen en de (gebiedsdekkende) grootste diepte in de perio-de 7204-0101 berekenen van een gebiedsdekkende diepteligging van de sliblaag.
4. Direct interpoleren van de diepteligging van de sliblaag volgens de boorbe-schrijvingen tot een gebiedsdekkende diepteligging.

De methoden waarmee de onderkant van de sliblaag met de grootste nauw-keurigheids gebiedsdekkend kon worden gemaakt, bleken de methoden 2 en 3 te zijn. De totale toevallige fout voor een willekeurige waarneming (voorspel-fout) die bij deze methoden gevonden werd, lag (bij een betrouwbaarheid van 95%) tussen de 42 en 48 cm.

Met methode 3 is ook de diepteligging van de overgang klasse 0/1/2-3/4, ge-biedsdekkend gemaakt. De voorspelfout van deze diepteligging lag in de mees-te gevallen (bij een betrouwbaarheid van 95%) tussen de 124 en 128 cm.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Uit het Nader Onderzoek is gebleken dat in het hele Zuidrandgebied sprake is van ernstige waterbodemonverontreiniging [2]. Ten behoeve van latere saneringen wordt er een speciedepot aangelegd in het Hollandsch Diep om verontreinigd slib in te bergen.

1.2 Probleemstelling

Voor het te bouwen speciedepot in het Hollandsch Diep is het nodig om de opbouw van de verontreinigde bodem ter plaatse te weten. Bij het bouwen (graven) van het depot moet er materiaal verwijderd worden. Belangrijk is het om te weten wat voor soort materiaal dit is (zand/slib) en of dit al dan niet verontreinigd is en op welke diepte dit materiaal zich bevindt.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze studie is het vaststellen van een gebiedsdekkende ligging van de onderkant van de sliblaag en van de grenslaag klasse 0/1/2-3/4 ter plaatse van het te bouwen depot. Het tweede doel is onderzoeken hoe nauwkeurig de gevonden lagen vastgesteld kunnen worden.

1.4 Onderzoeksvragen

Hoe kan het beste een ruimtedekkende onderkant van de sliblaag en de grenslaag klasse 0/1/2-3/4 vastgesteld worden?

- Wat is de ontwikkeling van de diepte van de waterbodemonverontreiniging 1972-2001?
- Hoe nauwkeurig kan de onderkant van de sliblaag vastgesteld worden uit boringen?
- Hoe nauwkeurig kan de onderkant van de verontreinigde laag (overgang klasse 0/1/2-3/4) vastgesteld worden uit boringen?
- Hoe kan het beste (met de grootste nauwkeurigheid) een gebiedsdekkende onderkant van de sliblaag bepaald worden?

1.5 Leeswijzer

In het tweede hoofdstuk worden de gebruikte gegevens, de resultaten van de bemonsteringen en de methode waarmee deze gegevens verwerkt zijn beschreven. Daarnaast wordt er een analyse gegeven van het voorkomen van zand en slib in het Hollandsch Diep, de sedimentatie en erosie ter plaatse van de bouwlocatie in de periode 1972-2001, de ligging en de (on)nauwkeurigheden van de gebiedsdekkende lagen die bestaan uit slib en verontreinigd materiaal.

In hoofdstuk 3 zijn de conclusies uit het tweede hoofdstuk gegeven. Als laatste zijn lijsten toegevoegd met daarin een verklaring van de gebruikte variabelen en statistische termen.

De getoonde kaarten in dit werkdocument waarnaar verwezen wordt, zijn tevens op A4-formaat opgenomen in de appendix. De kaarten die als toevoeging aan het nummer een "a" hebben, hebben betrekking op een diepte of dikte. De kaarten met een "b" als toevoeging zijn kaarten met voorspelfouten die horen bij de kaarten met een "a". Omdat niet alle kaarten met voorspelfouten gebruikt worden bij dit onderzoek, zijn sommige kaarten alleen in de appendix te zien. Als bij het genereren van de kaarten gebruikgemaakt is van het interpolatieprogramma SURFIS [3], dan zijn bij deze kaarten in de appendix tevens het bijbehorende invoerbestand voor SURFIS en de analyse van de fouten gegeven.

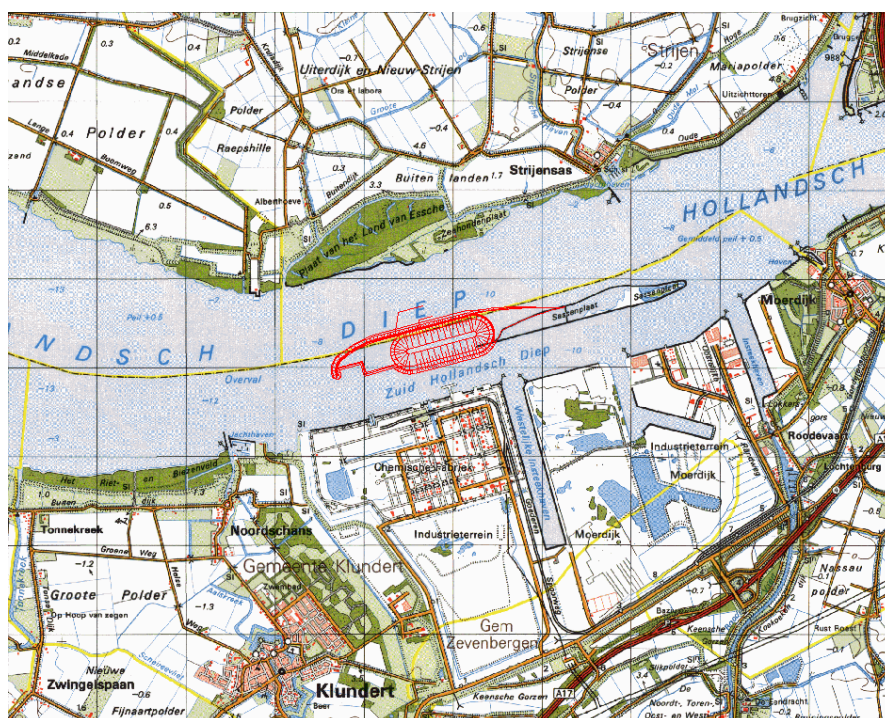
Een verklaring van de in dit werkdocument genoemde variabelen en statistische termen is opgenomen aan het eind van dit werkdocument.

2 Analyse waterbodembodem Hollandsch Diep

2.1 Geografische ligging depot Hollandsch Diep

Het te bouwen depot Hollandsch Diep is gesitueerd ten westen van de Sassenplaat in het Hollandsch Diep. In **kaart 1** is een overzicht gegeven van de ligging en de vorm van het te bouwen depot op basis van de MER [4]. De vorm van het depot kan in de ontwerpfase van het project nog enigszins wijzigen.

Kaart 1 Ligging depot.



2.2 Beschikbare gegevens Hollandsch Diep

Voor de beschrijving van de waterbodembodem van het Hollandsch Diep onder het te bouwen depot, is gebruikgemaakt van de volgende informatie:

- Lodingen (1972, 1976, 1979, 1981, 1983, 1985 en 2001).
- Waterbodembemonstering [ref. 1]; 34 boringen waarvan boorbeschrijvingen zijn gemaakt, 99 sedimentmonsters die geanalyseerd zijn volgens het standaardpakket.

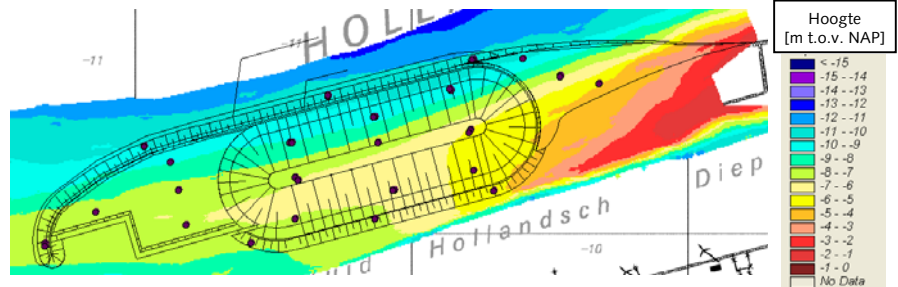
2.3 Verwerking lodinggegevens Hollandsch Diep

In de volgende paragrafen is beschreven hoe de lodinggegevens verwerkt zijn tot kaarten waarin te zien is wat de ontwikkeling van de bodemhoogte is, welke lagen er afgezet zijn en wat de nauwkeurigheid van deze dieptegegevens en lagen is.

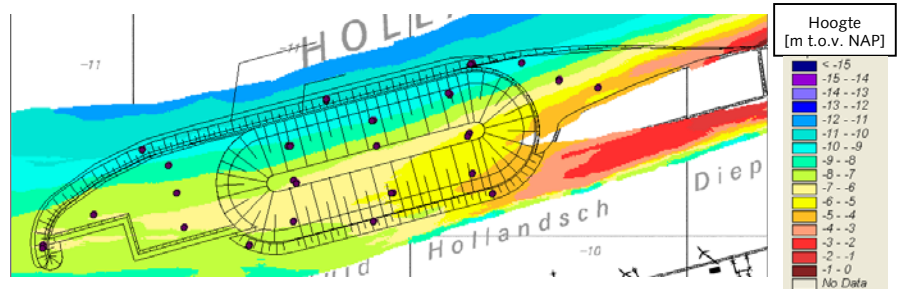
2.3.1 Ontwikkeling van de bodemhoogte

Om de ontwikkeling van de bodemhoogte te kunnen bepalen, zijn de ladinggegevens van verschillende jaren met het programma SURFIS ruimtelijk geïnterpoleerd tot DTM's (Digitale Terrein Modellen). In de kaarten 2a t/m 8a is de bodemligging van respectievelijk april 1972, september 1976, oktober 1979, augustus 1981, september 1983, september 1985 en januari 2001 te zien. In de kaarten staan tevens, ter oriëntatie, de boorlocaties weergegeven.

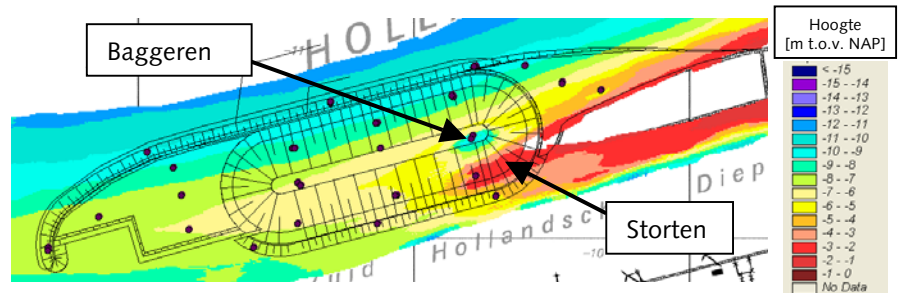
Kaart 2a Bodemligging 7204.



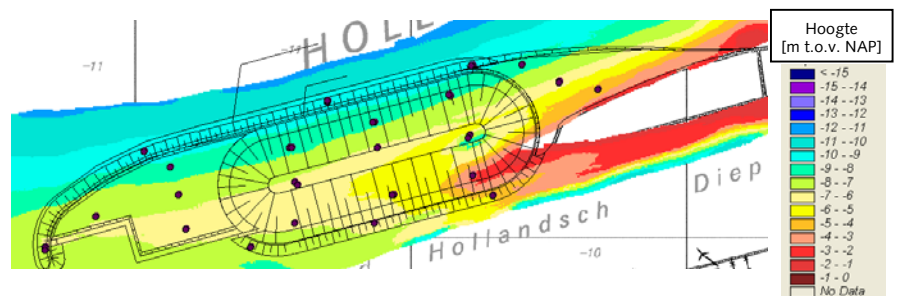
Kaart 3a Bodemligging 7609.



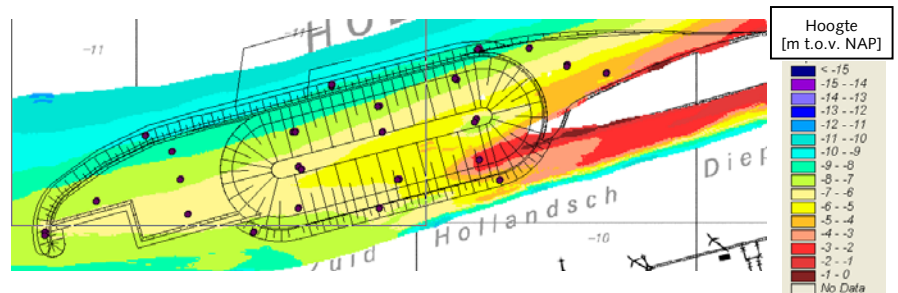
Kaart 4a Bodemligging 7910.



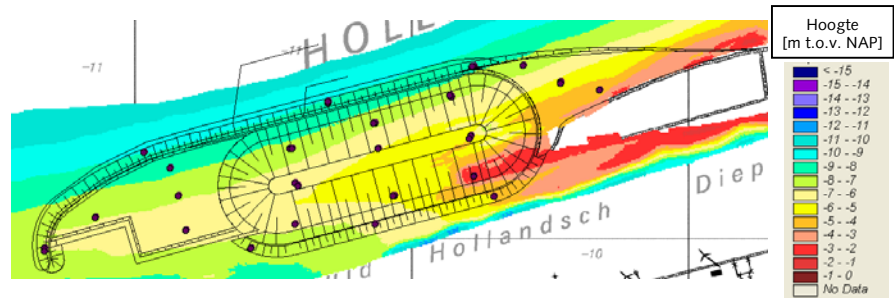
Kaart 5a Bodemligging 8108.



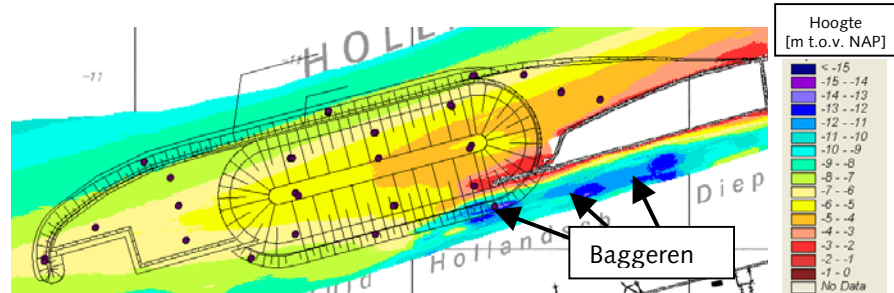
Kaart 6a Bodemligging 8309.



Kaart 7a Bodemligging 8509.



Kaart 8a Bodemligging 0101.

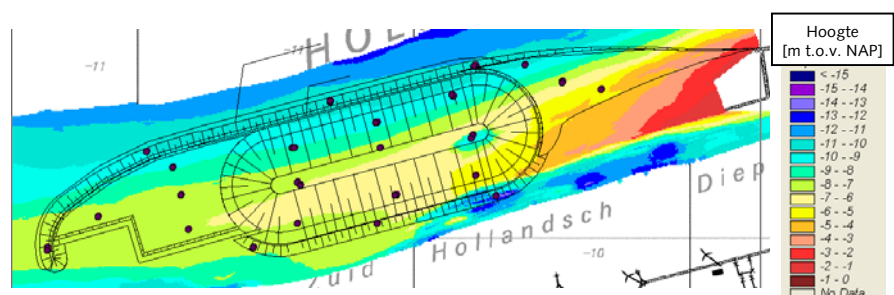


Als we de bodemligging van 1972 (**kaart 2a**) vergelijken met die van 2001 (**kaart 8a**), dan is er te zien dat er op sommige plaatsen (aan de noordzijde) zelfs meer dan 3 m materiaal is afgezet. De netto (positieve) verschillen tussen 1972 en 2001 kunnen alleen gebruikt worden als maat voor de sedimentatie als er in de tussenliggende jaren niet gebaggerd is tot onder het niveau van de bodemhoogte in 1972.

Om te onderzoeken of er bagger- en stortactiviteiten plaats hebben gevonden in de periode 1972–2001, zijn de geïnterpoleerde dieptegegevens van de tussenliggende (opeenvolgende) jaren in deze periode nader bekeken.

In **kaart 4a** is duidelijk te zien dat er gebaggerd is in het oostelijk deel van het te bouwen depot, en dat er materiaal gestort is (vermoedelijk het gebaggerde materiaal) in het verlengde van de zuidoever van de Sassenplaat. In de dieptekaart van 2001 (**kaart 8a**) is te zien dat het gebaggerde gat nagenoeg weer helemaal dichtgeslibd is. Ook is in deze kaart te zien dat er na 1985 weer grote baggerwerkzaamheden hebben plaatsgevonden. Uit de kaarten van de bodemligging blijkt dat er inderdaad bagger- en stortactiviteiten plaats hebben gevonden. Het is dan ook niet mogelijk de dieptekaart van 7204 (**kaart 2a**) als ondergrens voor de sedimentatie te gebruiken. Een betere ondergrens voor de sedimentatie zal dan ook de minimale bodemhoogte ($= Z_{\text{MIN}}$) in de periode 7204-0101 zijn. In plaats van minimale bodemhoogte zou ook gesproken kunnen worden van de maximale diepte of laagste bodemligging. In **kaart 9a** is het DTM van deze minimale bodemhoogte weergegeven.

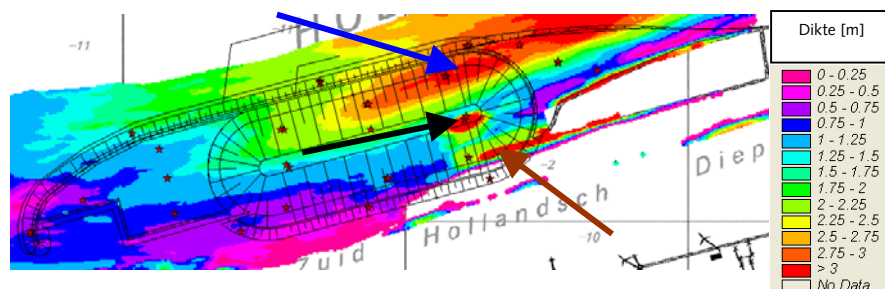
Kaart 9a Minimale bodemhoogte in de periode 7204-0101 ($= Z_{\text{MIN}}$).



Door de baggeractiviteiten kan de netto verschilkaart tussen de bodemhoogtes uit 1972 en 2001 eigenlijk niet gebruikt worden als maat voor de sedimentatie. Het beste kunnen als maat voor de dikte van de afgezette laag ($= D_{SED}$) de verschillen tussen de minimale bodemhoogte (**kaart 9a**) en de huidige bodemhoogte (**kaart 8a**) gebruikt worden. In **kaart 10a** zijn de (positieve) verschillen weergegeven.

Duidelijk is te zien dat de meeste (natuurlijke) sedimentatie plaats heeft gevonden ten noordwesten van de Sassenplaat (blauwe pijl). Ook is het gebaggerde gat te zien dat vol geslibd is (zwarte pijl) en de plaats waar de storting van het materiaal uit het gebaggerde gat (bruine pijl) heeft plaatsgevonden.

Kaart 10a DTM met de dikte van de afgezette laag in de periode 7204-0101 ($= D_{SED}$).



2.3.2 Conclusies ontwikkeling bodemhoogte

In het Hollandsch Diep heeft er, op de plaats van het te bouwen depot, na de afsluiting van het Haringvliet sterke sedimentatie plaatsgevonden. Als maat van deze sedimentatie kan niet zonder meer het verschil tussen de bodemhoogte in 0101 en 7204 genomen worden. Door baggeren en storten in de tussenliggende periode komt het gevonden verschil niet meer overeen met de werkelijke hoeveelheid afgezet materiaal. De beste maat voor de dikte van het afgezette materiaal is dan ook het verschil tussen de minimale bodemhoogte in de periode april 1972 - januari 2001 (Z_{MIN}) en de huidige diepte (Z_{0101}).

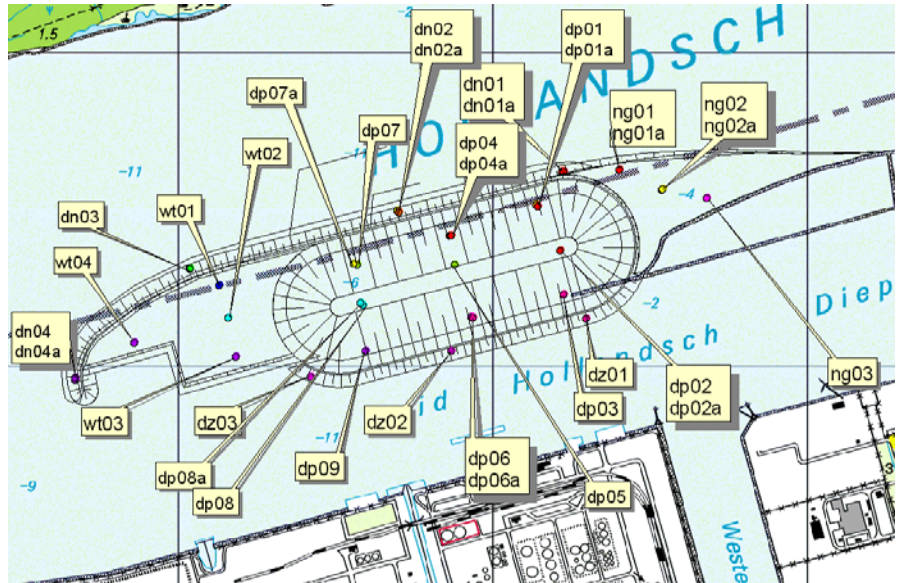
2.4 Verwerking waterbodembemonsteringen in het Hollandsch Diep

In de volgende paragrafen is beschreven hoe de gegevens van de boringen verwerkt zijn tot tabellen waarin te zien is wat de dikte is van de afgezette lagen en wat de nauwkeurigheid van deze lagen is.

2.4.1 Uitgevoerde boringen en analyses

Om de dikte en de kwaliteit van de waterbodem onder het te bouwen depot vast te kunnen stellen zijn er boringen uitgevoerd (ref. 1). In eerste instantie zijn er in februari 2001 op 25 plaatsen boringen verricht. Omdat sommige boringen niet diep genoeg staken, zijn er in juli 2001 op 9 plaatsen nogmaals boringen verricht. In **kaart 11** zijn de locaties van de boringen weergegeven.

Kaart 11 Locaties boringen met benamingen.



De gebruikte codering van de boringen hebben de volgende betekenis:

ng = natuurgebied	dp = depot	wt = werkterrein
dn = dijk noord	dz = dijk zuid	

De locaties waar 2 keer een boring plaats heeft gevonden zijn te herkennen, doordat er 2 benamingen gegeven zijn. De tweede serie boringen hebben dezelfde namen met de letter a als toevoeging.

Van alle boringen zijn door de Meetdienst van Zuid-Holland boorbeschrijvingen gemaakt. Al deze beschrijvingen zijn samen met de analyse- en toetsingsresultaten van de in totaal 99 geanalyseerde sedimentmonsters door de afdeling watersysteemkennis van directie Zuid-Holland gebundeld tot 1 rapport (ref. 1).

2.4.2 Vaststellen dikte sliblaag

Uit alle boorbeschrijvingen zijn de diktes van de sliblaag vastgesteld. Deze diktes zijn voor de verschillende locaties in tabel 2.1 gegeven.

Tabel 2.1 Coördinaten van boringen met benamingen en bijbehorende slibdiktes (in m).

boring	XO	YO	dikte sliblaag [m]	verschil in sliblaag dikte tussen 1 ^e en 2 ^e serie boringen [cm]
dn01	98221.04	412619.86	3,02	.
dn01a	98226.35	412618.59	3,60	58
dn02	97697.82	412494.66	2,40	.
dn02a	97702.11	412490.49	2,80	40
dn03	97037.85	412308.73	1,80	.
dn04	96673.92	411955.30	0,57	.
dn04a	96673.27	411962.97	0,60	3
dp01	98139.35	412514.85	2,70	.
dp01a	98143.61	412509.20	3,40	70
dp02	98211.04	412361.62	> 2,65	.
dp02a	98215.26	412369.06	3,90	.
dp03	98227.29	412227.74	0,00	.
dp04	97864.47	412415.11	2,80	.
dp04a	97869.57	412416.87	3,10	30
dp05	97880.14	412324.47	2,25	.
dp06	97933.20	412156.91	0,45	.
dp06a	97938.97	412153.83	0,00	-45
dp07	97569.19	412324.09	2,20	.
dp07a	97558.92	412327.05	2,40	20
dp08	97588.06	412192.83	1,35	.
dp08a	97582.02	412200.82	1,50	15
dp09	97597.75	412048.46	0,60	.
dz01	98298.36	412151.67	0,00	.
dz02	97870.12	412048.64	0,30	.
dz03	97421.64	411966.74	0,50	.
ng01	98405.52	412624.51	> 3,25	.
ng01a	98405.23	412625.64	3,65	.
ng02	98538.39	412561.36	2,10	.
ng02a	98540.39	412565.11	2,40	30
ng03	98681.76	412534.99	0,50	.
wt01	97132.18	412257.71	1,00	.
wt02	97160.31	412153.20	1,30	.
wt03	97183.03	412030.48	0,70	.
wt04	96862.39	412075.14	0,75	.

2.4.3 Vaststellen nauwkeurigheid dikte sliblaag

Omdat er op meerdere locaties op (bijna) dezelfde plaats 2 boringen hebben plaatsgevonden is het mogelijk een schatting te maken van de nauwkeurigheid waarmee de dikte van de sliblaag uit de boringen vastgesteld kan worden. Van de locaties waar 2 boringen hebben plaatsgevonden is het verschil in slibdikte bepaald (zie tabel 2.1). Van deze verschillen zijn het gemiddelde en de standaardafwijking berekend.

Tabel 2.2 Statistische grootheden van het verschil in slibdiktes tussen de eerste en de tweede serie boringen op dezelfde locaties.

	N	Mean	Std. Deviation
..			
verschil in sliblaagdikte in cm tussen 2 boringen	9	24,33	33,51
Valid N (listwise)	9		

Zoals in tabel 2.2 te zien is, bedraagt het gemiddelde verschil tussen de sliblaagdiktes op de locaties waar 2 boringen hebben plaatsgevonden, 24,5 cm. De standaardafwijking tussen de verschillen is ruim 33 cm. Het aantal locaties waar 2 boringen plaats hebben gevonden is 9. Met deze grootheden kan een 95%-betrouwbaarheidsinterval voor het gemiddelde verschil opgesteld worden. De grenzen van dit interval zijn: -46,78 en -2,31. Omdat nul niet binnen dit interval ligt, kan er geconcludeerd worden dat er een significant verschil bestaat (bij 95%-betrouwbaarheid) tussen de sliblaagdiktes bepaald tijdens de eerste en de tweede serie boringen. Als de gevonden standaardafwijking gebruikt wordt als maat voor de nauwkeurigheid, dan kan er gezegd worden dat de toevallige fout (σ) in de dikte van de sliblaag, afgeleid uit de boringen, 33.5 cm is. Dit betekent dat 95% van de verschillen tussen de -67 en +67 cm liggen. Opmerking: een fout in de opgegeven slibdikte van 60 cm is dus heel goed mogelijk.

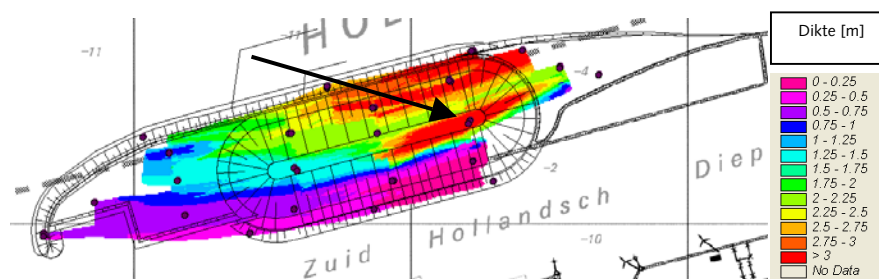
2.5 Berekenen gebiedsdekkende dikte sliblaag

De dikte van de sliblaag kan op 2 manieren gebiedsdekkend gemaakt worden. Dit kan door de slibdiktes uit de boringen ruimtelijk te interpoleren met SURFIS (resultaat is DIK1) of door de slibdiktes te relateren aan een gebiedsdekkende grootheid zoals de dikte van de afgezette laag (resultaat is DIK2). Voor beide gevallen is er een voorspelfout berekend, die later gebruikt kan worden om betrouwbaarheidsintervallen op te stellen.

2.5.1 DIK1

De slibdiktes zoals vermeld in tabel 2.1 kunnen direct met SURFIS geïnterpolet worden tot een gebiedsdekkend grid met een afstand tussen de gridcel-middens van 5 m. Bij deze interpolatie zijn de slibdiktes van **alle** boringen meegenomen. Dit betekent dat er ook diktes meegenomen zijn die later, bij het vaststellen van de relatie tussen dikte sliblaag en afzetting in de periode 7204-0101, verwijderd zijn uit de dataset. De resultaten van deze interpolatie, verder DIK1 genoemd, zijn in **kaart 12a** weergegeven.

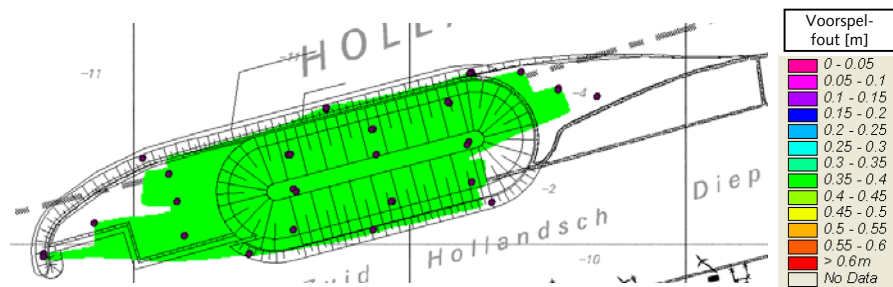
Kaart 12a DTM met de dikte van de sliblaag (DIK1).



In **kaart 12a** is te zien dat DIK1 niet op iedere plaats binnen het depot berekend kon worden (niet gebiedsdekkend is). Dit komt door de ligging van de boorlocaties en door het feit dat SURFIS niet kan extrapoleren. Verder is in **kaart 12a** te zien dat de dichtgeslibde put (zie pijl), niet goed begrensd wordt.

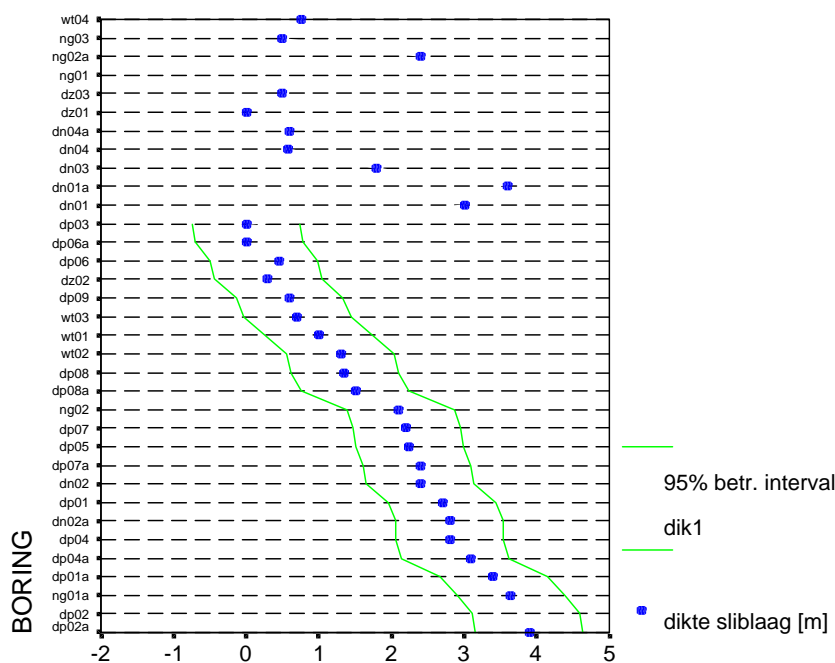
Bij de interpolatie van DIK1 is door SURFIS een lokale variatie berekend. Deze variatie kan middels kruisvalidatie gecorrigeerd worden tot een voorspelfout (= maat voor de totale toevallige fout). Bij deze validatie bleek dat er geen relatie tussen de lokale variatie en de standaardafwijking van de residuen was. De gevonden residuele standaardafwijking (0,37) is dan ook gebruikt als schatter voor de voorspelfout (σ_{DIK1}) in het hele gebied (zie **kaart12b** en figuur 2.1). Opmerking: een voorspelfout van 37 cm. betekent dat in 95% van de gevallen de fout zal liggen tussen de -74 en +74cm.

Kaart 12b DTM met voorspelfout van DIK1 (σ_{DIK1}).



In figuur 2.1 is voor alle boringen de gemeten dikte samen met het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de werkelijke diktes weergegeven. In deze figuur is te zien dat er voor een aantal boringen geen betrouwbaarheidsinterval opgesteld kan worden. De reden is, dat er op deze plaatsen geen interpolatie mogelijk was (zie eerdere opmerking bij **kaart 12a**).

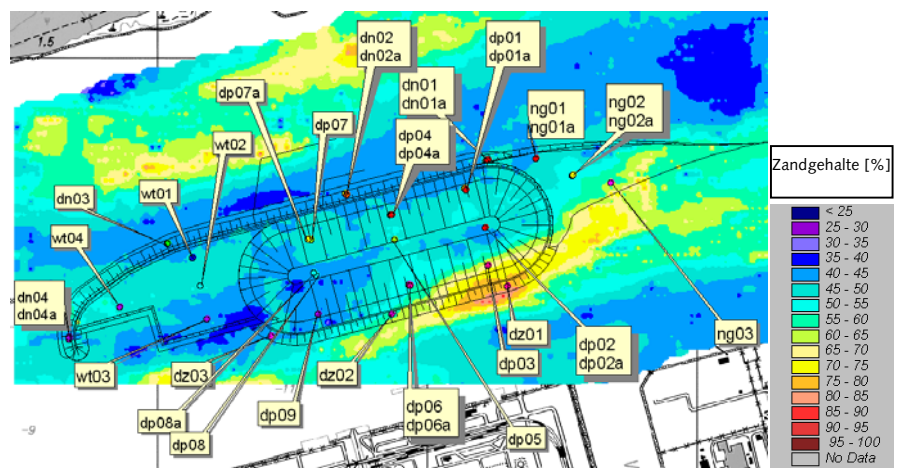
Figuur 2.1 Dikte van de gemeten sliblaag van de diverse boringen en het 95%-voorspellingsinterval van de slibdiktes berekend door directe interpolatie van de boorgegevens.



2.5.2 DIK2

De dikte van de sliblaag kan ook ruimtedekkend gemaakt worden door de diktes uit de boringen te relateren aan de (ruimtedekkende) dikte van de afgezette laag in de periode 7204 – 0101 (= D_{SED} = **kaart 10a**). Om te onderzoeken of er wel een relatie bestaat is figuur 2.2 gemaakt.

Kaart 13 Percentage zand
($> 63 \mu\text{m}$) in de toplaag
gemeten met MEDUSA.



De ruimtelijk geïnterpoleerde zandpercentages die met MEDUSA gemeten zijn, zijn in **kaart 13** te zien. Opmerking: Bij de interpretatie van **kaart 13** moet er rekening gehouden worden met de (on)nauwkeurigheid waarmee MEDUSA het zandpercentage meet en van de uitgevoerde interpolatie. De gegeven zandgehalten moeten dan ook niet te absoluut genomen worden, maar dienen meer als ruimtelijke vergelijking. Als $50\% > 63\ \mu\text{m}$ als grens voor zand gehanteerd wordt (gelet op de eerdere opmerking kan er ook een ander percentage

gehanteerd worden), dan liggen de locaties DZ01, DP03, DP06 en DP06a in het zand.

Dit zand is hoogstwaarschijnlijk afkomstig van de baggerwerkzaamheden rond 1979 t.p.v. boring DP02 (zie **kaart 4a**). Volgens de boorbeschrijvingen ligt er bij de locaties NG03 en DZ02 zandig slib. Of dit werkelijk zandig slib betreft, kan niet met zekerheid worden gezegd omdat van deze boringen geen korrelgrootte is bepaald. Alleen in locatie DP06 wordt er in de top laag slib gevonden volgens de korrelgrootteanalyse, terwijl er met MEDUSA zand gevonden wordt. Dit verschil kan veroorzaakt worden door de interpolatie van de MEDUSA-gegevens (zie eerdere opmerking) en doordat de locatie op de grens van zand en slib ligt.

Omdat de boringen DZ01, DP03, DP06 en DP06a in het zand liggen dat aangebracht is ten behoeve van de aanleg van de strekdam, zijn deze niet meegenomen bij het vaststellen van de relatie tussen de dikte van de sliblaag en de dikte van de afgezette laag. Gelet op de ligging van de punten in figuur 2.2, is er gekozen voor een lineaire relatie. Enkele statistieken bij het opstellen van deze relatie staan in tabel 2.3.

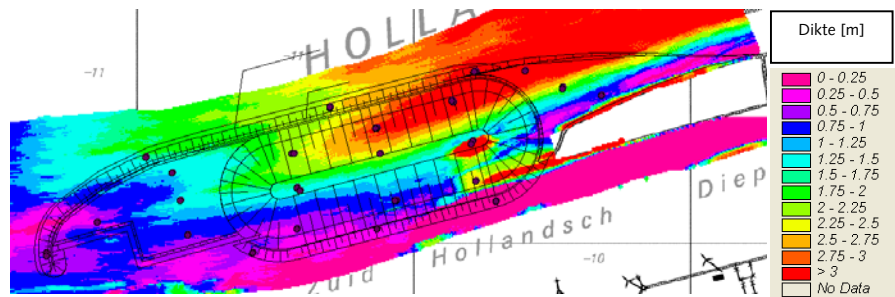
Tabel 2.3 Coëfficiënten bij het bepalen van de relatie tussen slibdikte volgens boringen en sedimentatie in de periode 7204-0101.

Model		Unstandardized Coefficients B	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	Std. Error of the Estimate
1	D _{SED}	0,929	0,017	0,995	54,292	0,000	0,2162

Hierin is:
a Dependent Variable: dikte sliblaag [m].
b Linear Regression through the Origin.

Met behulp van de gevonden relatie (DIK2 = 0,929 * D_{SED}) is de dikte van de sliblaag berekend. Omdat D_{SED} gebiedsdekkend is, is ook DIK2 gebiedsdekkend. De resultaten staan in **kaart 14a** afgebeeld.

Kaart 14a DTM met de berekende dikte van de sliblaag via relatie met de sedimentatie (DIK2).



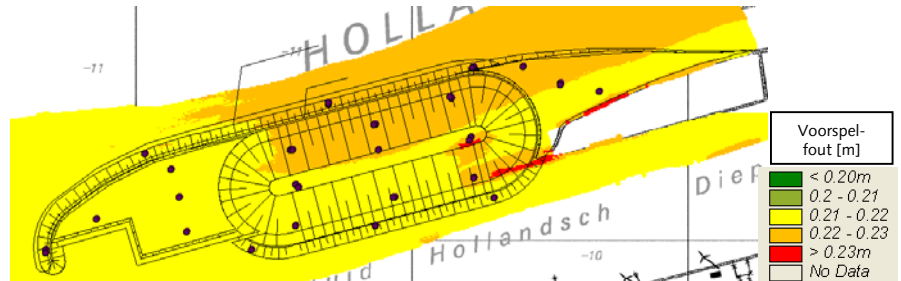
In tabel 2.3 is te zien dat de residuele standaardafwijking (s_{res} = standaardafwijking van de verschillen tussen gemeten en berekend) afgerond 22 cm is. Dit betekent dat 95% van de verschillen tussen de -44 en +44 cm. liggen. Met behulp van deze standaardafwijking kan vervolgens voor iedere willekeurige locatie met formule 2.1 een voorspelfout (σ_{DIK2} = standaardafwijking voor het voorspellingsinterval) berekend worden.

$$\sigma_{DIK2} = s_{res} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \tag{2.1}$$

Hierin is:
 s_{res} = residuele standaardafwijking [m]
 X = dikte afgezette laag in de periode 7204-0101 (D_{SED}) [m]

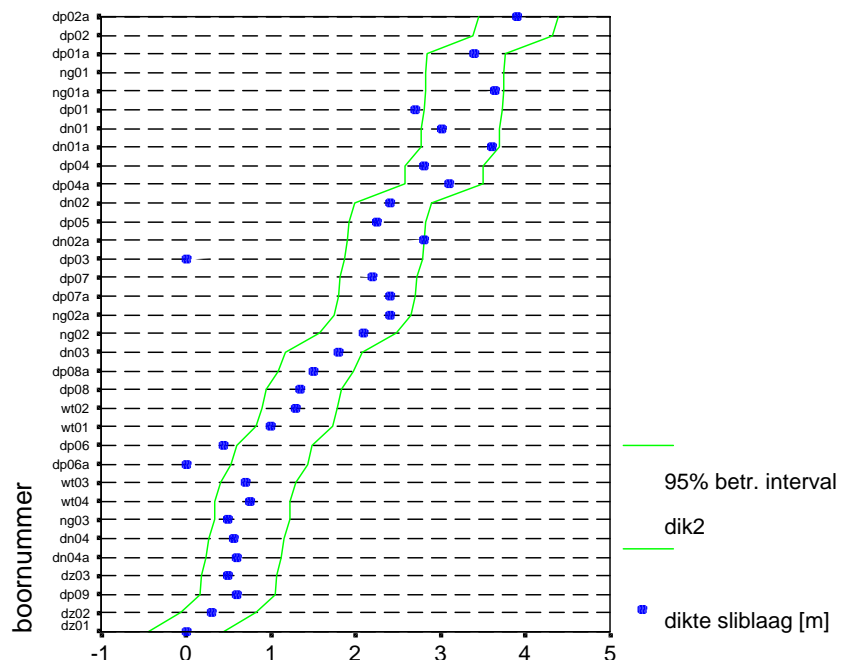
Zoals in formule 2.1 te zien is, is het interval eveneens afhankelijk van de dikte van de afgezette laag. Omdat deze waarde bijna op iedere locatie verschillend is, zal ook de voorspelfout in de slibdikte, op iedere locatie anders zijn. Met behulp van formule 2.1 is voor iedere locatie deze voorspelfout berekend. Het resultaat is in **kaart 14b** te zien.

Kaart 14b DTM met de voorspelfout van DIK2 (σ_{DIK2}).



Uit **kaart 14b** is af te leiden dat de voorspelfout tussen de 21 en 23 cm ligt. Met behulp van deze voorspelfout (σ_{DIK2}) kan een 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de werkelijke dikte op een willekeurige locatie opgesteld worden. Dit interval zal, als de voorspelfout bijvoorbeeld 21 cm is, in 95% van de gevallen liggen tussen de -42 en + 42 cm. In figuur 2.3 is voor alle boringen de gemeten dikte van de sliblaag samen met dit interval weergegeven. In deze figuur is te zien dat er voor alle boringen een voorspellingsinterval opgesteld kan worden. Tevens is te zien dat enkele (gemeten) slibdiktes buiten het voorspellingsinterval liggen. De diktes waar het hier om gaat zijn afkomstig van de boringen die niet meegenomen zijn in de bepaling van de relatie (DP03, DP06 en DP06a). Dit geldt niet voor DP01. Deze boring ligt buiten het interval, terwijl deze wel meegenomen is in de berekening.

Figuur 2.3 Dikte van de gemeten sliblaag van de diverse boringen en het 95%-voorspellingsinterval van de slibdiktes berekend met de relatie tussen slibdikte volgens boringen en sedimentatie in de periode 7204-0101.



2.6 Berekenen gebiedsdekkende diepteligging sliblaag

De diepteligging van de sliblaag kan op 4 verschillende manieren berekend worden. In de volgende paragrafen zijn deze manieren beschreven en is van iedere manier de nauwkeurigheid bepaald.

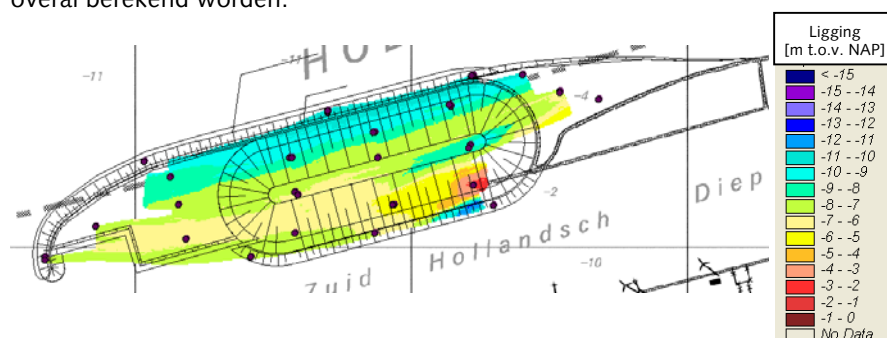
2.6.1 DIEP1

Deze diepte (DIEP1) is berekend door het resultaat van de interpolatie van de dikte (DIK1) die direct geïnterpoleerd is uit de boringen (zie § 2.5.1) van de huidige diepte (Z_{0101}) af te trekken. In formule:

$$\text{DIEP1} = Z_{0101} - \text{DIK1} \quad (2.2)$$

Het resultaat van deze berekening is in **kaart 15a** afgebeeld. Omdat DIK1 niet overall berekend kon worden (zie opmerking bij **kaart 12a**) kan DIEP1 ook niet overall berekend worden.

Kaart 15a DTM met de diepteligging van de sliblaag, berekend uit de diepte van 0101 en de geïnterpoleerde sliblaagdikte (DIEP1).



De voorspelfout die hoort bij deze diepte is berekend met de formule:

$$\sigma_{\text{DIEP1}} = \sqrt{(\sigma_{Z_{0101}}^2 + \sigma_{\text{DIK1}}^2)} \quad (2.3)$$

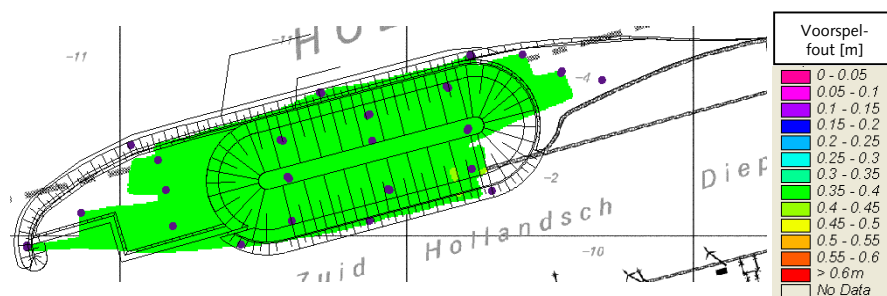
Hierin is:

$\sigma_{Z_{0101}}$ = voorspelfout in Z_{0101} [m]

σ_{dik1} = voorspelfout in DIK1 [m]

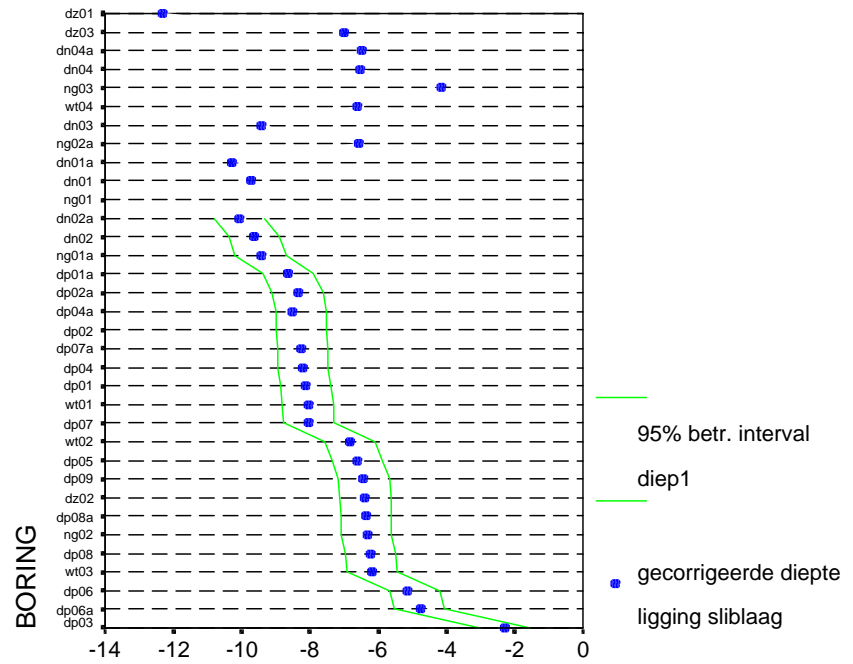
Met behulp van formule 2.3 is voor iedere locatie waar zowel de fout in DIK1 als in Z_{0101} bekend is, een voorspelfout voor DIEP1 berekend. Het resultaat van deze berekening is in **kaart 15b** te zien. Uit **kaart 15b** kan afgeleid worden dat de fout in DIEP1 in 95% van de gevallen zal liggen tussen de -80 en +80 cm.

Kaart 15b DTM met de voorspelfout van DIEP1 (σ_{DIEP1}).



Met behulp van σ_{DIEP1} kan een 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de werkelijke diepte op een willekeurige locatie opgesteld worden. In figuur 2.4 is voor alle boringen de gemeten diepte van de sliblaag samen met dit interval weergegeven. In deze figuur is te zien dat er niet voor alle boringen een voorspellingsinterval opgesteld kan worden. De reden hiervan is dat er niet overall een ruimtedekkende dikte aanwezig was.

Figuur 2.4 Diepte van de gemeten sliblaag (DIEP1) van de diverse boringen en het 95%-voorspellingsinterval van de onderkant van de sliblaag berekend met σ_{DIEP1} .



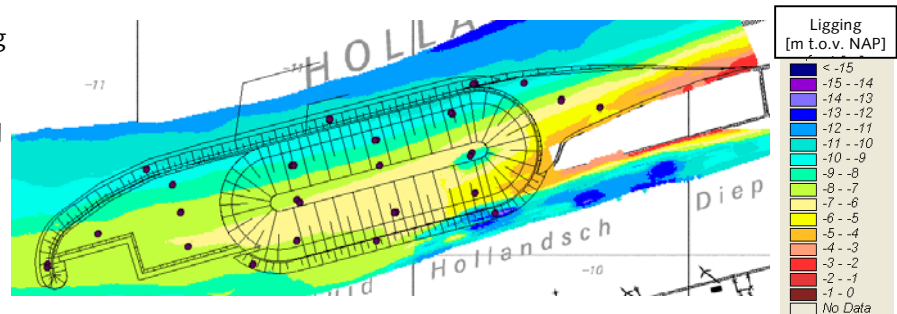
2.6.2 DIEP2

Deze diepte is berekend door DIK2 van de huidige diepte (Z_{0101}) af te trekken. In formule:

$$DIEP2 = Z_{0101} - DIK2 \quad (2.4)$$

Het resultaat van deze berekening is te zien in **kaart 16a**.

Kaart 16a DTM met de diepteligging van de sliblaag, berekend uit de diepte van 0101 en de sliblaag dikte berekend via de relatie met de sedimentatie in de periode 7204-0101 (DIEP2).



De voorspelfout in DIEP2 kan berekend worden met de formule:

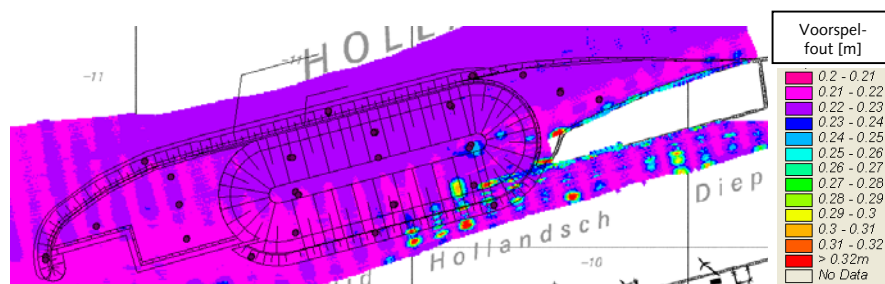
$$\sigma_{DIEP2} = \sqrt{(\sigma_{Z_{0101}}^2 + \sigma_{DIK2}^2)} \quad (2.5)$$

Hierin is:

$\sigma_{Z_{0101}}$ = voorspelfout bodemhoogte in σ_{0101} [m]
 σ_{dik2} = voorspelfout in DIK2 [m]

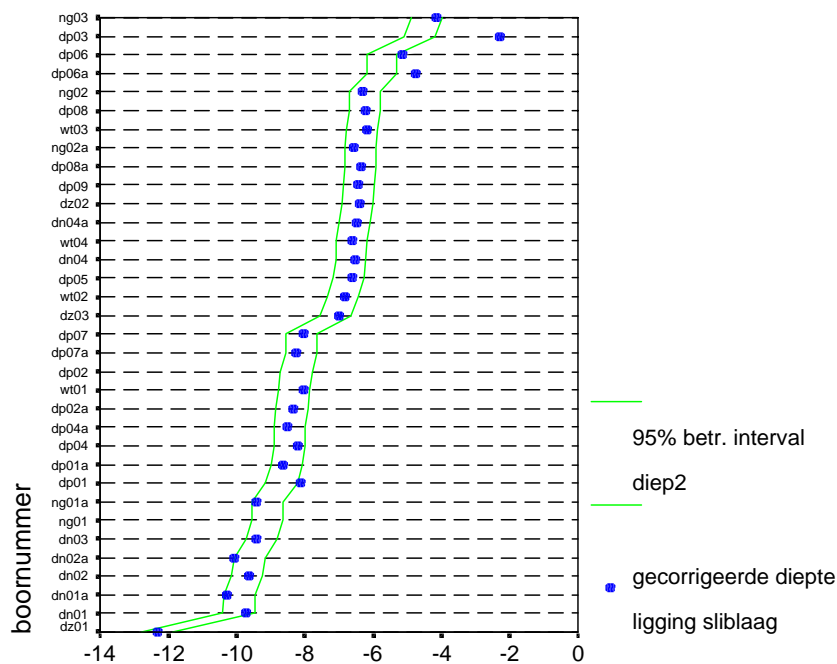
In **kaart 16b** is het resultaat van deze berekening te zien.

Kaart 16b DTM met de voorspelfout in DIEP2 (σ_{DIEP2}).



Uit kaart 16b is af te leiden dat de voorspelfout tussen de 21 en 32 cm ligt. Met behulp van deze voorspelfout (σ_{DIK2}) kan een 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de werkelijke diepte op een willekeurige locatie opgesteld worden. De fout in de diepte zal, als de voorspelfout bijvoorbeeld 23 cm is, in 95% van de gevallen liggen tussen de -46 en + 46 cm. Dit is ook te zien in figuur 2.5. In deze figuur is voor alle boringen de gemeten diepte van de sliblaag samen met het 95%-voorspellingsinterval weergegeven. In deze figuur is te zien dat de gemeten onderkant van de sliblaag bij DP03 en DP06a buiten het 95%-voorspellingsinterval liggen. De oorzaak hiervan is dat bij het berekenen van DIK2 deze boringen niet meegenomen zijn, omdat er zand lag.

Figuur 2.5 Diepte van de gemeten sliblaag (DIEP2) van de diverse boringen en het 95%-voorspellingsinterval van de onderkant van de sliblaag berekend met σ_{DIEP2} .



2.6.3 DIEP3

De locaties waar zowel de onderkant van de sliblaag als de bodemhoogte in 7204 bekend zijn, zijn weergegeven in tabel 2.4. De diepteligging (onderkant van de sliblaag) in de tabel kan afwijken van de dieptes opgegeven bij de boorbeschrijvingen. De afwijking kan ontstaan doordat de positie van de boring niet exact overeenkomt met de positie van de geïnterpoleerde bodemhoogte in 0101. Om er voor te zorgen dat de bovenkant van een boring samenvalt met de bodemligging van 0101, is de diepte van 0101 als hoogte gebruikt.

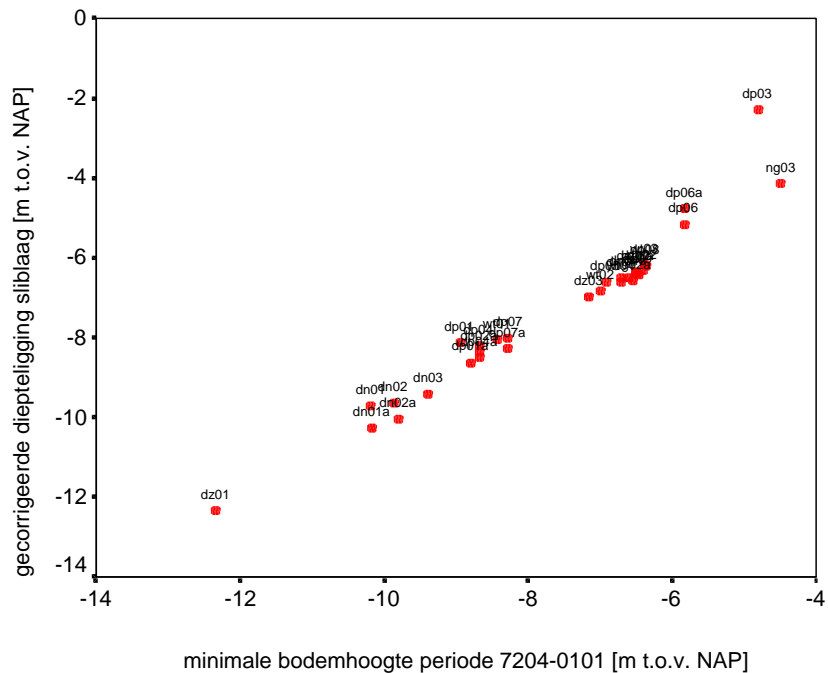
M.a.w. de Z-waarde van de boringen is aangepast aan de geïnterpoleerde ligging in 0101, waarbij steeds de gehele boorkolom in z-richting is verschoven. De diepteligging van de sliblaag van een boring in de tabel is dan ook de (dichtstbijzijnde) bodemhoogte in 0101 – de dikte van de sliblaag volgens de boorbeschrijvingen.

Tabel 2.4 Coördinaten van boringen met benamingen en bijbehorende ligging van de onderkant van de sliblaag (in m).

boor-nummer	x-coördinaat boring	y-coördinaat boring	opgegeven ligging sliblaag	x-coördinaat (gridcel midden)	y-coördinaat (gridcel midden)	gebruikte diepte-ligging sliblaag
dn01	98221.04	412619.86	-9,76	98220.00	412620.00	-9,72
dn01a	98226.35	412618.59	-10,33	98225.00	412620.00	-10,28
dn02	97697.82	412494.66	-9,69	97700.00	412495.00	-9,64
dn02a	97702.11	412490.49	-9,46	97700.00	412490.00	-10,06
dn03	97037.85	412308.73	-9,52	97035.00	412310.00	-9,43
dn04	96673.92	411955.30	-6,49	96675.00	411955.00	-6,51
dn04a	96673.27	411962.97	-6,58	96675.00	411965.00	-6,48
dp01	98139.35	412514.85	-8,07	98140.00	412515.00	-8,12
dp01a	98143.61	412509.20	-8,73	98145.00	412510.00	-8,63
dp02	98211.04	412361.62		98210.00	412360.00	
dp02a	98215.26	412369.06	-8,94	98215.00	412370.00	-8,36
dp03	98227.29	412227.74	-1,98	98225.00	412225.00	-2,30
dp04	97864.47	412415.11	-8,04	97865.00	412415.00	-8,20
dp04a	97869.57	412416.87	-8,59	97870.00	412415.00	-8,50
dp05	97880.14	412324.47	-6,55	97880.00	412325.00	-6,61
dp06	97933.20	412156.91	-5,15	97935.00	412155.00	-5,16
dp06a	97938.97	412153.83	-5,49	97940.00	412155.00	-4,77
dp07	97569.19	412324.09	-8,00	97570.00	412325.00	-8,03
dp07a	97558.92	412327.05	-8,30	97560.00	412325.00	-8,27
dp08	97588.06	412192.83	-6,18	97590.00	412190.00	-6,21
dp08a	97582.02	412200.82	-6,63	97580.00	412200.00	-6,35
dp09	97597.75	412048.46	-6,34	97580.00	412050.00	-6,42
dz01	98298.36	412151.67	-12,45	98300.00	412150.00	-12,34
dz02	97870.12	412048.64	-6,21	97870.00	412050.00	-6,38
dz03	97421.64	411966.74	-6,94	97420.00	411965.00	-6,99
ng01	98405.52	412624.51		98405.00	412625.00	
ng01a	98405.23	412625.64	-9,28	98405.00	412625.00	-9,40
ng02	98538.39	412561.36	-6,12	98540.00	412560.00	-6,32
ng02a	98540.39	412565.11	-6,70	98540.00	412565.00	-6,58
ng03	98681.76	412534.99	-3,95	98680.00	412535.00	-4,15
wt01	97132.18	412257.71	-8,16	97130.00	412255.00	-8,05
wt02	97160.31	412153.20	-6,84	97160.00	412155.00	-6,84
wt03	97183.03	412030.48	-6,26	97185.00	412030.00	-6,18
wt04	96862.39	412075.14	-6,60	96860.00	412075.00	-6,61

Om te zien of er een relatie bestaat tussen de ligging van de onderkant van de sliblaag en de minimale bodemhoogte (maximale diepte) in de periode 7204–0101, zijn deze variabelen in figuur 2.6 tegen elkaar uitgezet. In deze figuur is te zien dat alleen DP03 afwijkt van de denkbeeldige relatie. De reden is dat de opgegeven sliblaag dikte nul is omdat er geen slib maar zand ligt.

Figuur 2.6 Spreidingsdiagram met de diepteligging van de sliblaag als functie van de minimale bodemhoogte in de periode 7204-0101.



De boringen die in het zand liggen (DP03, DP06 en DP06a) zijn niet meegenomen bij het vaststellen van de relatie tussen diepteligging sliblaag en de minimale bodemhoogte. Gelet op de ligging van de punten in figuur 2.6, is er gekozen voor een lineaire relatie. Enkele statistieken bij het opstellen van deze relatie staan in tabel 2.5.

Tabel 2.5 Coëfficiënten bij de bepaling van de relatie tussen diepteligging sliblaag en bodemhoogte 7204.

Model		Unstandardized Coefficients B	Std. Error	Std. Error of the Estimate
1	Z_{MIN}	0,979	0,005	0,2143

Hierin is:
a Dependent Variable: gecorrigeerde diepteligging sliblaag.
b Linear Regression through the Origin.

De onderkant van de sliblaag kan nu bepaald worden met behulp van de gevonden relatie tussen sliblaagdiepte en minimale bodemhoogte.

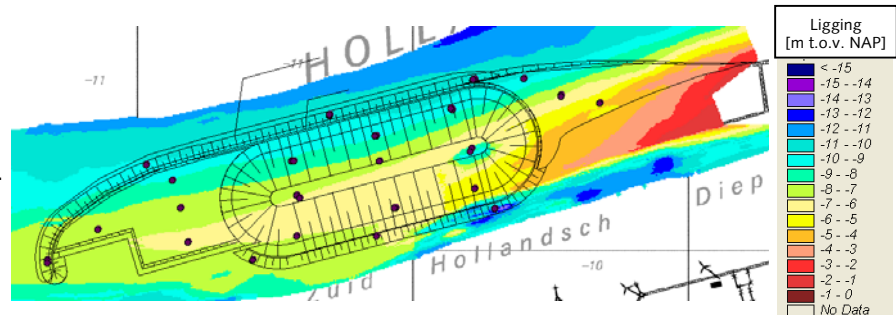
In formule is deze relatie:

$$DIEP3 = 0,979 * Z_{MIN} \tag{2.6}$$

Hierin is:
 Z_{MIN} = minimale bodemhoogte (maximale diepte) in de periode 7204 – 0101 [m]

Het resultaat van deze berekening is te zien in **kaart 17a**. Op plaatsen waar zand ligt (zie **kaart 13**) zal de berekende ligging van de onderkant van de sliblaag te diep zijn. Indien gewenst, kan deze ligging (omdat de dikte van de sliblaag waar zand ligt 0 is) gelijkgesteld worden aan de huidige bodemligging.

Kaart 17a DTM met de onderkant van de sliblaag (DIEP3) berekend via relatie met de minimale bodemhoogte 7204-0101.



Met behulp van de residuele standaardafwijking zoals vermeld is in tabel 2.5, kan voor iedere willekeurige locatie met formule 2.6 een voorspelfout (σ_{diep3} = standaardafwijking voor het voorspellingsinterval) berekend worden.

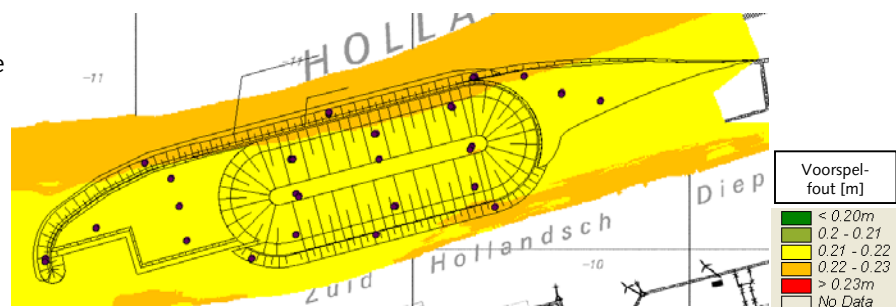
$$\sigma_{\text{DIEP3}} = s_{\text{res}} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (2.7)$$

Hierin is:

- s_{res} = residuele standaardafwijking [m]
- X = minimale bodemhoogte in de periode 7204-0101 (Z_{MIN}) [m]
- n = aantal waarnemingen [-]

In tabel 2.5 is te zien dat de residuele standaardafwijking in de relatie (s_{res}) afgerond 21 cm is. De verschillen zullen dan ook bij een betrouwbaarheid van 95% tussen de -42 en + 42 cm liggen. Met deze standaardafwijking en formule 2.7, kan de voorspelfout (σ_{DIEP3}) op iedere willekeurige locatie in het gebied berekend worden. Het resultaat van deze berekening is te zien in **kaart 17b**.

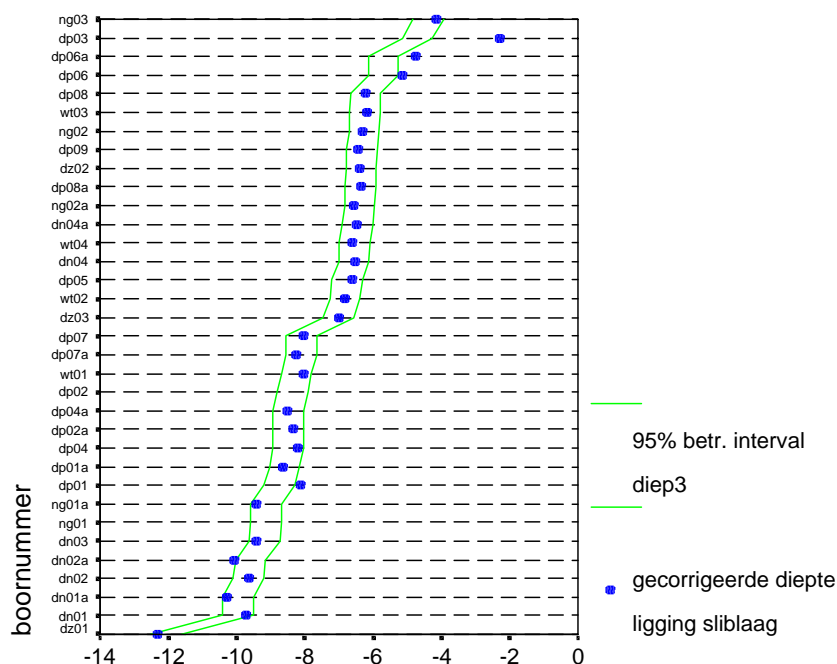
Kaart 17b DTM met de voorspelfout (σ_{DIEP3}) in de ligging van de onderkant van de sliblaag berekend via relatie met de minimale bodemhoogte in de periode 7204-0101.



Uit **kaart 17b** is af te leiden dat de voorspelfout tussen de 21 en 23 cm ligt. Met behulp van deze voorspelfout (σ_{DIEP3}) kan een 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de werkelijke diepte op een willekeurige locatie opgesteld worden. De fout in de diepte zal, als de voorspelfout bijvoorbeeld 23 cm is, in 95% van de gevallen liggen tussen de -46 en + 46 cm. Dit is ook te zien in figuur 2.7. In deze figuur is voor alle boringen de gemeten diepte van de onderkant van de sliblaag samen met het 95%-voorspellingsinterval weergegeven.

In deze figuur is te zien dat de gemeten onderkant van de sliblaag bij DP03, DP06 en DP06a buiten het interval liggen. De oorzaak hiervan is dat bij het berekenen van DIEP3 deze boringen niet meegenomen zijn, omdat er zand lag.

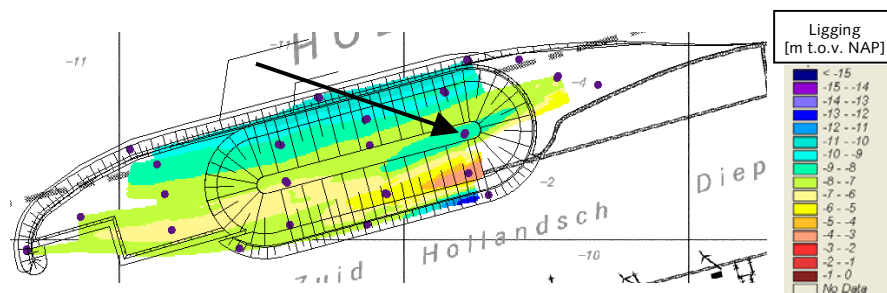
Figuur 2.7 Diepteligging van de gemeten sliblaag van de diverse boringen en het 95%-voorspellingsinterval van de sliblaag dieptes berekend met de relatie tussen slibdiepte en bodemhoogte in de periode 7204-0101.



2.6.4 DIEP4

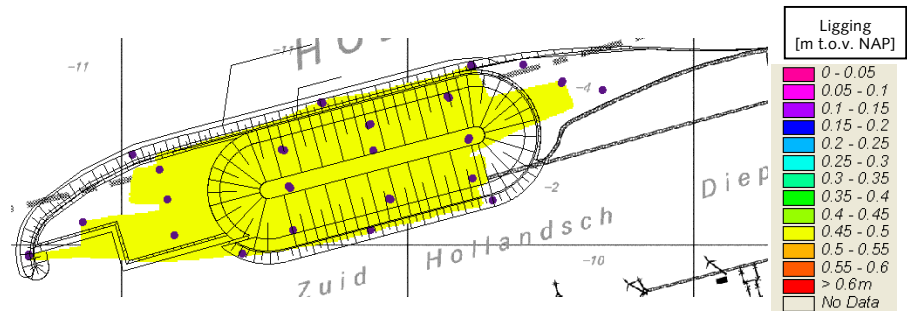
Bij deze interpolatie is de diepte van de sliblaag berekend louter op basis van de diepteligging van de sliblaag zoals opgegeven in de boorbeschrijvingen. De opgegeven dieptes zijn echter wel gecorrigeerd voor eventuele fouten in de opgegeven hoogtes van de bovenkant van de boring (zie tabel 2.4). Het resultaat van de interpolatie is te zien in **kaart 18a**. In deze kaart is te zien dat door de ligging van de punten en het onvermogen van SURFIS om te extrapoleren, niet op iedere locatie in het depot een diepte berekend kon worden. Ook is te zien dat de diepteligging ter hoogte van de zandwininput (zie zwarte pijl) niet goed beschreven wordt. De oorzaak hiervan is dat een zandwinning niet natuurlijk is. Bij de interpolatie gaat SURFIS er van uit dat bodemligging veroorzaakt wordt door een natuurlijk proces.

Kaart 18a DTM met de geïnterpoleerde diepteligging van de sliblaag (DIEP4), zoals gegeven in de boorbeschrijvingen.



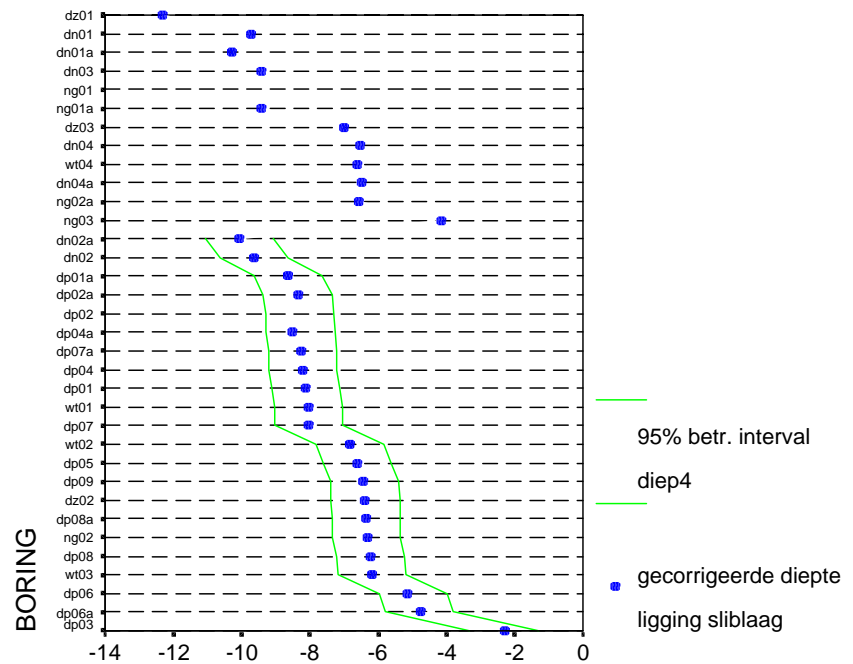
Bij de interpolatie van DIEP4 is door SURFIS een lokale variatie berekend. Deze variatie kan middels kruisvalidatie gecorrigeerd worden tot een voorspelfout (= maat voor de totale toevallige fout). Bij deze validatie bleek dat er geen relatie tussen de lokale variatie en de standaardafwijking van de residuen was. De gevonden residuele standaardafwijking (0,50 m) is dan ook gebruikt als schatter voor de voorspelfout (σ_{DIEP4}) in het hele gebied (zie **kaart 18b**).

Kaart 18b DTM met de voorspelfout (σ_{DIEP4}) in de geïnterpo-
leerde diepteligging van
de sliblaag.



Met behulp van de gevonden voorspelfout (σ_{DIEP4}) kan een 95%-betrouwbaar-
heidsinterval voor de werkelijke diepte op een willekeurige locatie opgesteld
worden. De fout in de diepte zal, als omdat berekende de voorspelfout 50 cm
is, in 95 % van de gevallen liggen tussen de -100 en + 100 cm. Dit is ook te
zien in figuur 2.8. In deze figuur is voor alle boringen de gemeten diepte van
de onderkant van de sliblaag samen met dit interval weergegeven. In deze
figuur is te zien dat niet overal een voorspellingsinterval is. Dit komt omdat op
die locaties geen interpolatie mogelijk was (SURFIS kan niet extrapoleren).

Figuur 2.8 Diepteligging van de ge-
meten sliblaag van de
diverse boringen en het
95%-voorspellingsinterval
van de sliblaagdieptes
zoals berekend bij de
interpolatie.

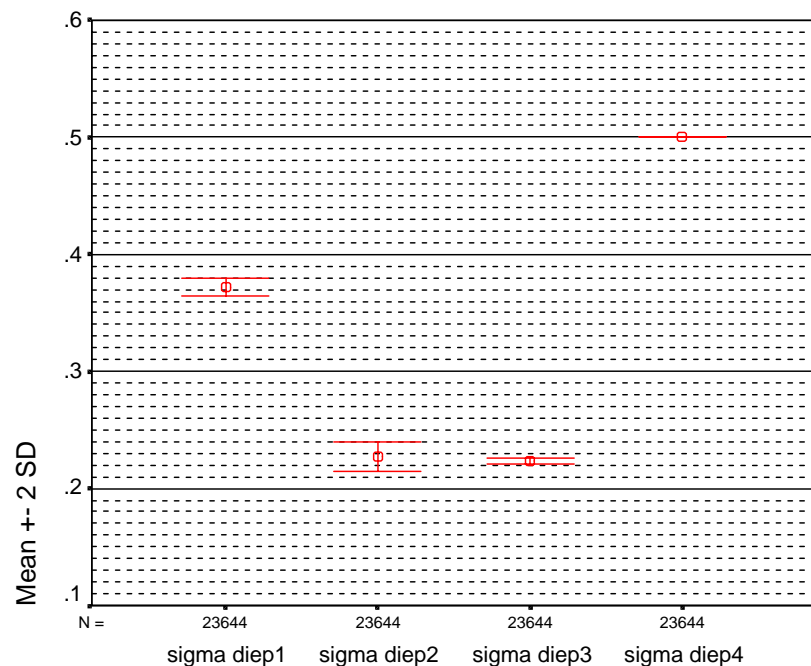


2.7 Vergelijken nauwkeurigheid berekende sliblaag

2.7.1 Nauwkeurigheid diepteligging sliblaag

Om te onderzoeken of de nauwkeurigheid waarmee de dieptes bepaald zijn
verschillen, zijn de voorspelfouten die horen bij de verschillende methoden,
(σ_{DIEP1} t/m σ_{DIEP4}) onderling vergeleken. Bij deze vergelijking zijn alleen die loca-
ties gebruikt waar in alle gevallen waarnemingen aanwezig waren.

Figuur 2.9 Gemiddelde voorspelfouten met 95%-betrouwbaarheidsinterval van de individuele waarden berekend met verschillende methoden.



In figuur 2.9 zijn, voor iedere onderzochte methode, de gemiddelde voorspelfouten in de diepteligging van de sliblaag samen met het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de voorspelfout op een willekeurige locatie, weergegeven. Een voorbeeld: Het interval van sigma DIEP2 in figuur 2.9 kan als volgt geïnterpreteerd worden: De gemiddelde voorspelfout in de diepteligging van de sliblaag voor heel het gebied, is 22,5 cm. Het interval om dit gemiddelde houdt in dat niet op iedere locatie dezelfde fout in de berekende diepteligging van de sliblaag bestaat. Zoals in de figuur te zien is, zal 95% van de fouten tussen de 21,5 en 24 cm liggen.

Zoals in figuur 2.9 te zien is, bestaan er grote verschillen in de (on)nauwkeurigheid waarmee de diepteligging van de sliblaag bepaald kan worden. De methode die het minst nauwkeurig is, is die waar de diepte van de sliblaag bepaald wordt door de dieptegegevens uit de boorstaten direct te interpoleren (DIEP4, § 2.6.4). Ook is te zien dat er bij deze methode geen spreiding is in de (on)nauwkeurigheid. Dit komt doordat er geen relatie gevonden is tussen de voorspelfouten en de lokale variatie (verschil in diepteligging op relatief korte afstand). Dus in gebieden met een kleine lokale variatie is de voorspelfout even groot als in gebieden met een grote lokale variatie.

Enige verbetering kan bereikt worden als eerst de dikte van de sliblaag uit de boorstaten wordt geïnterpoleerd, welke daarna van de (geïnterpoleerde) bodemhoogte wordt afgetrokken (DIEP1, § 2.6.1). Ook bij deze methode is er weinig spreiding te zien. Dit komt doordat de fout in de diepteligging van de sliblaag samengesteld wordt uit de fout in de geïnterpoleerde bodemhoogte en in de slibdikte. Omdat de fout in de bodemhoogte wel variabel maar erg klein was en omdat de fout in de slibdikte niet variabel maar wel erg groot was, is de resulterende fout erg groot met zeer weinig variatie.

Als er gebruikgemaakt wordt van een relatie (zoals bij DIEP2, § 2.6.2 en DIEP3, § 2.6.3), dan is de fout in de diepteligging van de sliblaag veel kleiner. Het verschil tussen de voorspelfouten die horen bij DIEP2 en DIEP3 zijn erg klein. Het maakt dus weinig verschil als eerst de dikte berekend wordt (via de relatie met de sedimentatie) en deze later van de huidige bodemhoogte (Z_{0101}) wordt afgetrokken of als direct de diepte berekend wordt uit de relatie met de diepte vanaf waar sedimentatie plaats heeft gevonden. Het verschil tussen de fouten die horen bij DIEP2 en DIEP3 wordt veroorzaakt doordat de resulterende fouten van DIEP2 en DIEP3 door verschillende variabelen bepaald worden. De fout in DIEP2 wordt bepaald door de fout in de huidige diepte (Z_{0101}), de grootste diepte in de periode 7204-0101 en door de fout in de relatie met de gemeten slibdiktes. De fout in DIEP3 wordt alleen bepaald door de fout in de grootste diepte in de periode 7204-0101 en door de fout in de relatie met de gemeten diepteligging van de sliblaag.

Om tot een vergelijk te komen welke methode nu eigenlijk de beste is (die met de kleinste fout) is de RMSE berekend. RMSE is de wortel uit de gemiddelde kwadratische fout. In deze grootheid zitten dus de gemiddelde fout en de spreiding in de fouten. De RMSE-waarden die horen bij de fout in DIEP1 t/m DIEP4 zijn resp. 37,2, 22,7, 22,3 en 50 cm.

De conclusie die uit deze vergelijking getrokken kan worden is:
De methode die het beste resultaat (de kleinste fout) opleverde bij het vaststellen van de diepteligging van de sliblaag, blijkt **methode 3** te zijn. Gelet op het zeer kleine verschil tussen methode 2 en 3, zal het in de praktijk niet uit maken welke van deze 2 methoden gebruikt wordt.

2.8 Berekenen gebiedsdekkende diepte ligging verontreinigde laag

2.8.1 Vaststellen diepteligging verontreinigde laag

Een monster is als verontreinigd verondersteld, als deze als classificatie klasse 3 of 4 heeft gekregen. De verontreinigingsgrens (de grens tussen de klassen 0,1,2 en 3,4) ligt in het algemeen dieper dan de sliblaag. Uit alle analyses van de sedimentmonsters zijn de diktes van de verontreinigde laag vastgesteld. De diepteliggingen voor deze laag zijn berekend door de gevonden diktes van de (dichtstbijzijnde) geïnterpoleerde diepte in 0101 af te trekken. Deze gecorrigeerde dieptes zijn voor de verschillende locaties in tabel 2.6 gegeven.

Tabel 2.6 Coördinaten van boringen met benamingen en bijbehorende opgegeven en gecorrigeerde diepteliggangen van de verontreinigde laag.

boor-nummer	x-coördinaat boring	y-coördinaat boring	opgegeven diepteligging grenslaag klasse 0/1/2-3/4	x-coördinaat (gridcel-midden)	y-coördinaat (gridcel-midden)	gecorrigeerde diepteligging grenslaag klasse 0/1/2-3/4
dn01	98221.04	412619.86	.	98220.00	412620.00	.
dn01a	98226.35	412618.59	-11,13	98225.00	412620.00	-11,08
dn02	97697.82	412494.66	.	97700.00	412495.00	.
dn02a	97702.11	412490.49	-9,96	97700.00	412490.00	-10,56
dn03	97037.85	412308.73	-10,22	97035.00	412310.00	-10,13
dn04	96673.92	411955.30	-6,49	96675.00	411955.00	-6,51
dn04a	96673.27	411962.97	-6,58	96675.00	411965.00	-6,48
dp01	98139.35	412514.85	.	98140.00	412515.00	.
dp01a	98143.61	412509.20	.	98145.00	412510.00	.
dp02	98211.04	412361.62	.	98210.00	412360.00	.
dp02a	98215.26	412369.06	-9,74	98215.00	412370.00	-9,16
dp03	98227.29	412227.74	.	98225.00	412225.00	.
dp04	97864.47	412415.11	.	97865.00	412415.00	.
dp04a	97869.57	412416.87	-9,79	97870.00	412415.00	-9,70
dp05	97880.14	412324.47	-6,55	97880.00	412325.00	-6,61
dp06	97933.20	412156.91	.	97935.00	412155.00	.
dp06a	97938.97	412153.83	-7,71	97940.00	412155.00	-6,99
dp07	97569.19	412324.09	-8,60	97570.00	412325.00	-8,63
dp07a	97558.92	412327.05	-8,90	97560.00	412325.00	-8,87
dp08	97588.06	412192.83	-6,18	97590.00	412190.00	-6,21
dp08a	97582.02	412200.82	-8,63	97580.00	412200.00	-8,35
dp09	97597.75	412048.46	-7,24	97580.00	412050.00	-7,32
dz01	98298.36	412151.67	-12,95	98300.00	412150.00	-12,84
dz02	97870.12	412048.64	-7,41	97870.00	412050.00	-7,58
dz03	97421.64	411966.74	-7,94	97420.00	411965.00	-7,99
ng01	98405.52	412624.51	.	98405.00	412625.00	.
ng01a	98405.23	412625.64	-10,13	98405.00	412625.00	-10,25
ng02	98538.39	412561.36	.	98540.00	412560.00	.
ng02a	98540.39	412565.11	-7,20	98540.00	412565.00	-7,08
ng03	98681.76	412534.99	-3,95	98680.00	412535.00	-4,15
wt01	97132.18	412257.71	-8,16	97130.00	412255.00	-8,05
wt02	97160.31	412153.20	-6,84	97160.00	412155.00	-6,84
wt03	97183.03	412030.48	.	97185.00	412030.00	.
wt04	96862.39	412075.14	-6,60	96860.00	412075.00	-6,61

2.8.2 Vaststellen nauwkeurigheid diepteligging verontreinigde laag

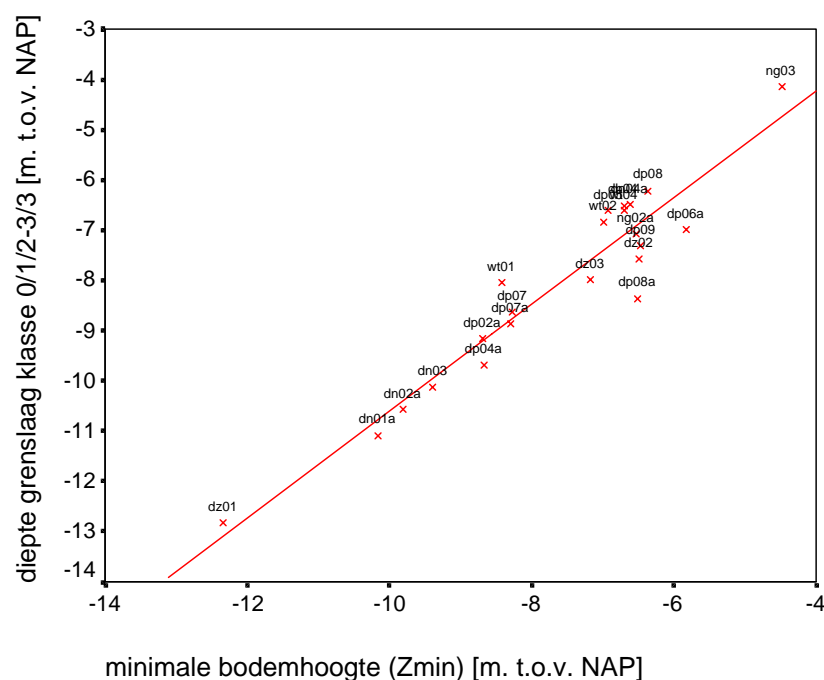
Omdat er op meerdere locaties op (bijna) dezelfde plaats 2 boringen hebben plaatsgevonden is het mogelijk een schatting te maken van de nauwkeurigheid waarmee de diepteligging van de verontreinigde laag bepaald is. (zie ook werkwijze in § 2.4.3 "Vaststellen nauwkeurigheid dikte sliblaag".

Tabel 2.7 Statistische grootheden van het verschil in diepteligging van de verontreinigde laag tussen de eerste en de tweede serie boringen op dezelfde locaties.

	N	Mean	Std. Deviation
verschil in diepteligging in cm tussen 2 boringen	3	80,3	116,2
Valid N (aantal waarnemingen)	3		

Zoals in tabel 2.7 te zien is, bedraagt het gemiddelde verschil tussen de laagdieptes op de locaties waar 2 boringen hebben plaatsgevonden 80,3 cm. De standaardafwijking tussen de verschillen is ruim 116 cm. Het aantal locaties waar 2 boringen plaats hebben gevonden en waarvan de grenslaag vastgesteld kon worden, is 3. Gezien dit geringe aantal volgen er geen verdere analyses met de gevonden verschillen.

Figuur 2.9 Spreidingsdiagram met de diepteligging van de verontreinigde laag als functie van de maximale diepte (= minimale bodemhoogte) in de periode 7204-0101.



Omdat er bij het verwijderen van de verontreinigde laag geen onderscheid gemaakt wordt of er zand of slib ligt, zijn bij het vaststellen van de relatie alle boor- en analysegegevens gebruikt. Gelet op de ligging van de punten in figuur 2.9, is er een lineaire relatie bepaald. Enkele statistieken van deze berekening zijn in tabel 2.8 te zien.

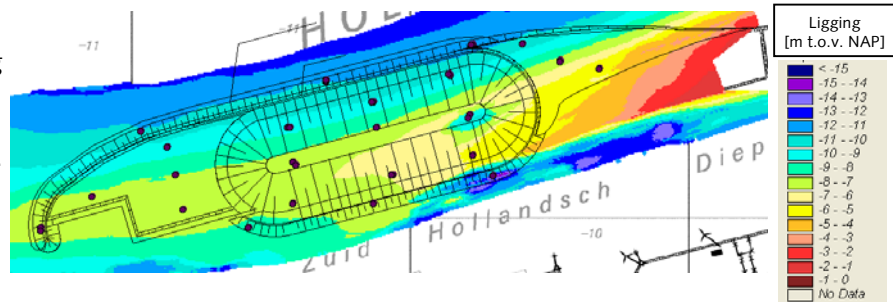
Tabel 2.8 Coëfficiënten bij de bepaling van de relatie tussen diepteligging van de verontreinigde laag en de maximale diepte in de periode 7204-0101.

		Un- standardized Coefficients				
Model		B	Std. Error	t	Sig.	Std. Error of the Estimate
1	maximale diepte	1,060	0,016	65,784	0,000	0,5904

a Dependent Variable: diepte grenslaag klasse 2-3.
b Linear Regression through the Origin.

Met behulp van de gevonden relatie ($DIEP2-3 = 1,06 * Z_{MIN}$) is de onderkant van de grenslaag klasse 0/1/2-3/4 berekend. Omdat Z_{MIN} ruimtedekkend is, is ook DIEP2-3 ruimtedekkend. De resultaten staan in **kaart 19a** afgebeeld.

Kaart 19a DTM met de onderkant van de verontreinigde laag (DIEP2-3) berekend via relatie met de minimale bodemhoogte 7204-0101.



In tabel 2.8 is verder te zien dat de residuele standaardafwijking (s_{res} = standaardafwijking van de verschillen tussen gemeten en berekend) afgerond 59 cm is. Met behulp van deze standaardafwijking kan vervolgens voor iedere willekeurige locatie met formule 2.8 een voorspelfout ($\sigma_{DIEP2-3}$ = standaardafwijking voor het voorspellingsinterval) berekend worden.

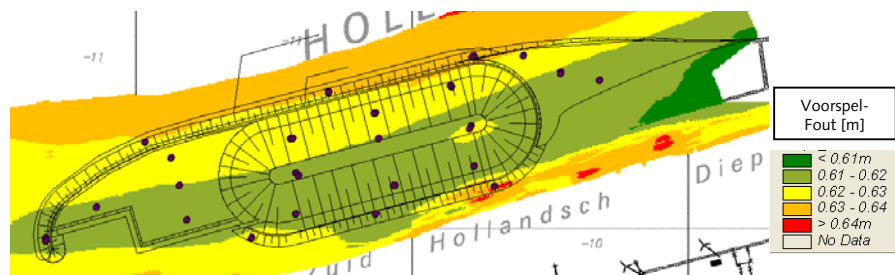
$$\sigma_{DIEP2-3} = s_{res} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (2.8)$$

Hierin is:

- s_{res} = residuele standaardafwijking vermeld in tabel 2.8 [m]
- X = maximale diepte in de periode 7204 – 0101 (Z_{MIN}) [m]
- n = aantal waarnemingen [-]

Zoals in formule 2.8 te zien is, is het interval eveneens afhankelijk van de minimale bodemhoogte (maximale diepte). Omdat deze waarde bijna op iedere locatie verschillend is, zal ook de voorspelfout in DIEP2-3, op iedere locatie anders zijn. Met behulp van formule 2.8 is voor iedere locatie deze voorspelfout berekend. Het resultaat is in **kaart 19b** te zien.

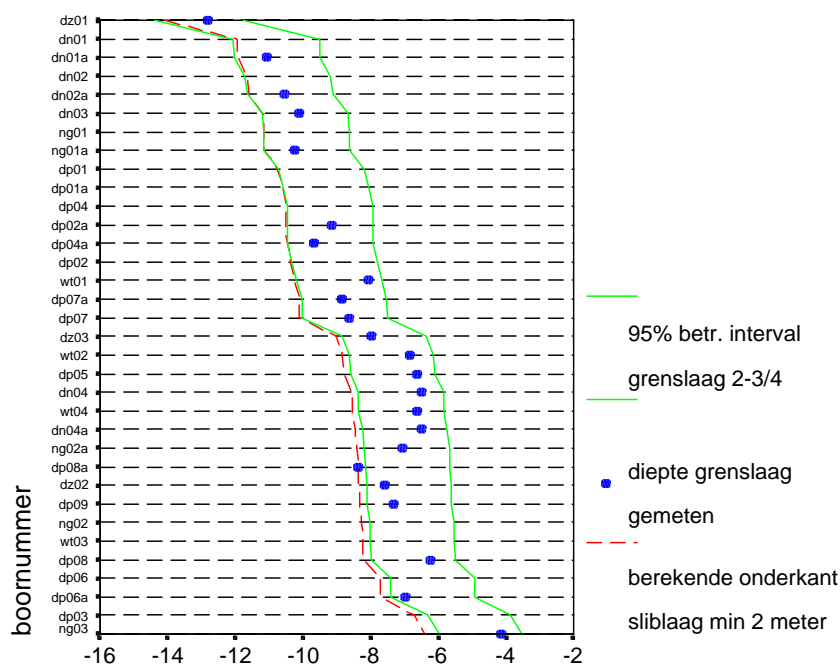
Kaart 19b DTM met de voorspelfout ($\sigma_{DIEP2-3}$) in de diepteligging van grenslaag klasse 0/1/2-3/4.



Uit **kaart 19b** kan afgeleid worden dat de voorspelfout in de diepteligging zal liggen tussen de 61 en 64 cm. Met behulp van $\sigma_{DIEP2-3}$ kan een 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de werkelijke diepte op een willekeurige locatie opgesteld worden. Als de voorspelfout bijvoorbeeld 62 cm is, dan zal in 95% van de gevallen de mogelijke fout in de diepte liggen tussen de -124 en + 124 cm. Ook de grenzen van het voorspellingsinterval in figuur 2.10 zullen deze waarden hebben. In figuur 2.10 is voor alle boringen de gemeten diepte van de onderkant van de verontreinigde laag samen met dit interval weergegeven.

In het saneringsplan Depot Hollandsch Diep (lit. 6) is voor de menglaag (de eventueel verontreinigde laag onder de sliblaag) een dikte van 2 m aangehouden. Vergelijken we nu de ondergrens van de menglaag (2 m onder de berekende sliblaag) met de ondergrens van het 95%-voorspellingsinterval voor de verontreinigde laag (figuur 2.10), dan blijkt er vrijwel geen verschil te bestaan. Er kan dan ook geconcludeerd worden dat, indien als onderkant van de menglaag de berekende onderkant van de sliblaag –2 m aangehouden wordt, dat 95% van het verontreinigde materiaal (klasse 3/4) verwijderd zal worden.

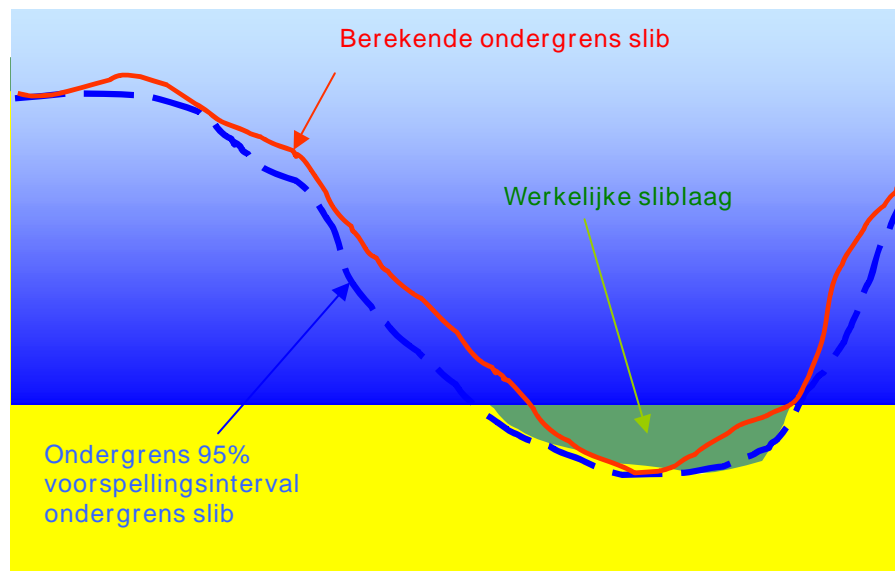
.....
Figuur 2.10 Diepteligging van de gemeten grenslaag klasse 0/1/2-3/4 van de diverse boringen en het 95%-voorspellingsinterval van de berekende grenslaag en de onderkant van de sliblaag –2 m.



2.8.3 Verwijderingspercentage

In figuur 2.11 is een voorbeeld gegeven van een sliblaag (groen) die ligt op het zand (geel). De berekende ondergrens van het slib met methode 2 of 3 is in de figuur te zien als de rode lijn ("berekende ondergrens sliblaag"). Baggeren volgens deze grens betekent dat 50% van het oppervlak in theorie slibvrij wordt opgeleverd. Ter plaatse van de overige 50% van het oppervlak kan nog slib worden aangetroffen. Uit civiel- of milieutechnische overwegingen kan eventueel een "overdiepte" worden toegepast, zodat in theorie een groter oppervlak slibvrij gemaakt wordt. Als er gebruik gemaakt wordt van een overdiepte zoals in figuur 2.11 is aangegeven ("ondergrens 95%-voorspellingsinterval ondergrens slib"), dan zal 95% van het oppervlak slibvrij opgeleverd worden.

.....
Figuur 2.11 Voorbeeld ligging sliblaag
met mogelijke ontgra-
vingsdieptes.



Als er 95% van het oppervlak slibvrij opgeleverd wordt, dan wil dat nog niet zeggen dat er ook 95% van al het slib verwijderd is. Er zal op 5% van het oppervlak slib achterblijven. Welk percentage dat van de totale slibhoeveelheid is, hangt af van de totale dikte van de sliblaag. Als de sliblaag erg dik is (bijv. 5 m), en op 5% van de plaatsen blijft er onder de ontgravingsdiepte gemiddeld 10 cm liggen, dan zal het verwijderingspercentage groter zijn dan in het geval de sliblaag dunner is (bijv. 1 m).

Als het depot als voorbeeld genomen wordt dan kunnen de volgende schattingen van verwijderingspercentages gemaakt worden.

Voorbeeld 1:**Ontgravingsdiepte is berekende diepteligging sliblaag met methode 3**

Ontgravingsdiepte is gebaseerd op betrouwbaarheid van 50%.

Oppervlakte depot (in ovaal) = 348.225 m²

Gemiddelde dikte sliblaag = 1,87 m

Voorspelfout in de sliblaagdikte = 0,22 m

Totale inhoud sliblaag = 651.181 m³

Op 50% van het oppervlak zal slib blijven liggen. Dit is: 174.112 m².

De gemiddelde dikte die zal blijven liggen zal zich tussen de 0 en 81 cm bevinden (81 cm is bij een betrouwbaarheid van 99,99%).

Als het gemiddelde genomen wordt is dit: 40 cm.

De inhoud die blijft liggen is dan: 174.112 * 0,40 = 69.645 m³.

Het verwijderingspercentage zou dan zijn: $100 * (651.181 - 69.645) / 651.181 = 89,3\%$.

Voorbeeld 2:**Ontgravingsdiepte is berekende diepteligging sliblaag met methode 3 – 2 * voorspelfout in de diepteligging.**

Er wordt dus ontgraven met een overdiepte.

Ontgravingsdiepte is gebaseerd op een betrouwbaarheid van 95% en berekend uit de voorspelfout in de diepteligging van de sliblaag.

Oppervlakte depot (in ovaal) = 348.225 m²

Gemiddelde dikte sliblaag = 1,87 m

Voorspelfout in de sliblaagdikte = 0,22 m

Totale inhoud sliblaag = 651.181 m³

Op 5% van het oppervlak zal slib blijven liggen. Dit is: 17.411 m².

De gemiddelde dikte die zal blijven liggen zal zich tussen de 36,2 en 81 cm bevinden (36,2 is bij een betrouwbaarheid van 95%, 81 cm is bij een betrouwbaarheid van 99,99%).

Als het gemiddelde genomen wordt is dit: 59 cm.

De inhoud die blijft liggen is dan: 17.411 * 0,59 = 10.272 m³.

Het verwijderingspercentage zou dan zijn:

$100 * (651.181 - 10.272) / 651.181 = 98,4\%$.

Voorbeeld 3:**Ontgravingsdiepte is berekende diepteligging grenslaag klasse 0/1/2 – 3/4 – 2 * voorspelfout in de diepteligging. Er wordt dus ontgraven met een overdiepte.**

Ontgravingsdiepte is gebaseerd op een betrouwbaarheid van 95% en berekend uit de voorspelfout in de diepteligging van de grenslaag klasse 0/1/2 – 3/4.

Oppervlakte depot (in ovaal) = 348.225 m²

Gemiddelde dikte klasse 3/4 laag = 2,42 m

Voorspelfout in de klasse 3/4 laag = 0,63 m

Totale inhoud klasse 3/4 laag = 842.705 m³

Op 5% van het oppervlak zal klasse 3/4 materiaal blijven liggen. Dit is: 17.411 m².

De gemiddelde dikte die zal blijven liggen zal zich tussen de 1,22 en 2,32 cm bevinden (1,22 is bij een betrouwbaarheid van 95%, 2,32 cm is bij een betrouwbaarheid van 99,99%).

Als het gemiddelde genomen wordt is dit: 1,77 cm is.

De inhoud die blijft liggen is dan: 17.411 * 1,77 = 30.858 m³.

Het verwijderingspercentage zou dan zijn:

$100 * (842.705 - 30.858) / 842.705 = 96,3\%$.

Ten slotte:

In het saneringsplan is aangegeven dat de sliblaag over het algemeen zonder overdiepte wordt verwijderd. Het saneringsplan maakt gebruik van de met methode 3 berekende diepteligging van de ondergrens sliblaag. Ontgraving van de sliblaag volgens dit theoretisch profiel betekent volgens bovenstaande berekeningen (voorbeeld 1) dat circa 98% van het slib wordt verwijderd.

In het saneringsplan is onder de sliblaag een menglaag gedefinieerd met een dikte van 2 m (diepteligging menglaag = onderkant van de berekende sliblaag – 2 m). Bij verwijdering van deze menglaag zal (omdat deze diepte gemiddeld 3% lager ligt dan de bij voorbeeld 3 gegeven ontgravingsdiepte) naar verwachting $1,03 \cdot 96,3 = 99,2\%$ klasse 3/4 materiaal verwijderd worden. Tevens zal een groot deel van het klasse 1/2 materiaal, dat zich onder het klasse 3/4 materiaal bevindt, worden verwijderd.

3 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- Er blijkt een grote onnauwkeurigheid te bestaan in het vaststellen van de dikte van de sliblaag aan de hand van de boorbeschrijvingen. Het verschil in dikte van de sliblaag, vastgesteld uit boorbeschrijvingen van 2 boringen die (bijna) op dezelfde plaats waren genomen, varieerde tussen –45 en +70 cm.
- Er blijkt een nog grotere onnauwkeurigheid te bestaan in het vaststellen van de diepteligging (§ 2.8.2) en dus ook in de dikte van de verontreinigde laag (= klasse 3/4) aan de hand van de monsters (chemische analyses) uit de boringen. Het verschil in de dikte van de verontreinigde laag, vastgesteld uit monsters van 2 boringen die (bijna) op dezelfde plaats waren genomen, varieerde tussen –9 en –245 cm.
- Een gebiedsdekkende diepteligging van een bepaalde laag kan het beste vastgesteld worden door gebruik te maken van boorbeschrijvingen en de (gebiedsdekkende) bodemontwikkeling in de tijd (methode 2, § 2.6.3 of 3, § 2.6.3).
- Als de sliblaag verwijderd wordt tot het niveau zoals berekend is met methode 3, zal 50% van het oppervlak vrij van slib zijn. Het bijbehorende verwijderingspercentage hierbij is geschat op ruim 89%.
- De onderkant van de berekende sliblaag –2 m (diepteligging menglaag) is vrijwel gelijk aan de ondergrens van het 95%-voorspellingsinterval van de verontreinigde laag.
- Met het verwijderen van de menglaag (laag direct onder de berekende sliblaag met een dikte van 2 m), zal ruim 99% van al het klasse 3/4 materiaal en een aanzienlijk deel van het klasse 1/2 materiaal worden verwijderd.
- De nauwkeurigheid waarmee de ligging en dikte van de sliblaag en de verontreinigde laag berekend kan worden neemt aanzienlijk toe indien gebruikgemaakt wordt van historische gegevens van de ligging van de waterbodem.

Aanbevelingen

- Gebruik voor het construeren van het DTM voor ontgraving van de sliblaag methode 2 (§ 2.6.2) of 3 (§ 2.6.3).
-

Referenties

1. RWS, directie Zuid-Holland, "Verkennd onderzoek waterbodempkwaliteit Hollandsch Diep", APS/3552619-02.
2. Besten, P.J. den, G.A.J. Mol, C.A. Schmidt en J.C. van Hees. Eindnota Nader Onderzoek waterbodemp Hollandsch Diep en Dordtsche Biesbosch. Rijkswaterstaat, RIZA en directie Zuid-Holland, 1996.
3. Fioole, A. De nauwkeurigheid bij het ruimtelijk interpoleren (met SURFIS) van bodemhoogten in het Spijkerboor. Rijkswaterstaat, RIZA rapport 2000.003.
4. Provincie Zuid-Holland, provincie Noord-Brabant en RWS, directie Zuid-Holland, "Baggerspeciebergeng Hollandsch Diep/Haringvliet-oost, projectnota/milieueffectrapportage", december 2000.
5. Wijngaarden, M. van, G.A. van den Berg & A. Fioole, 2000. Bodem in Beeld. ISBN 9036953006 RIZA, Dordrecht. RIZA rapport 2000.005.
6. RWS, Projectbureau Waterbodems Advies en Uitvoering (WAU), Saneringsplan Hollandsch Diep, rapport WAU.HD4-3-01353.

Verklaring van de variabelen

DIK1	=	geïnterpoleerde dikte van de sliblaag volgens boringen.
σ_{DIK1}	=	voorspelfout in de geïnterpoleerde dikte van de sliblaag (DIK1) afgeleid uit boringen.
DIK2	=	dikte van de sliblaag volgens de relatie met sedimentatie.
σ_{DIK2}	=	voorspelfout in DIK2.
D_{SED}	=	sedimentatie in de periode 7204-0101 ($Z_{0101}-Z_{MIN}$).
σ_{DSED}	=	voorspelfout in D_{SED} .
Z_{0101}	=	geïnterpoleerde bodemhoogte in 0101.
σ_{Z0101}	=	voorspelfout in Z_{0101} .
Z_{MIN}	=	minimale bodemhoogte (= maximale diepte) in de periode 7204-0101.
σ_{ZMIN}	=	voorspelfout in Z_{MIN} .
DIEP1	=	ligging onderkant sliblaag afgeleid uit geïnterpoleerde bodemligging (Z_{0101}) en dikte van de sliblaag ($DIK1$) = $Z_{0101}-DIK1$.
σ_{DIEP1}	=	voorspelfout in DIK1.
DIEP2	=	ligging onderkant sliblaag afgeleid uit geïnterpoleerde bodemligging (Z_{0101}) en dikte van de sliblaag ($DIK2$) = $Z_{0101}-DIK2$.
σ_{DIEP2}	=	voorspelfout in DIEP2.
DIEP3	=	ligging onderkant sliblaag berekend uit relatie tussen diepte onderkant sliblaag volgens boringen en de geïnterpoleerde minimale bodemhoogte in de periode 7204-0101.
σ_{DIEP3}	=	voorspelfout in DIEP3.
DIEP4	=	ligging onderkant sliblaag berekend door interpolatie van de diepteligging van de sliblaag afgeleid uit boringen.
σ_{DIEP4}	=	voorspelfout in DIEP4.
DIEP2-3	=	ligging onderkant verontreinigde laag (= grenslaag klasse 0/1/2-3/4) berekend uit relatie met de geïnterpoleerde minimale bodemhoogte in de periode 7204-0101.
$\sigma_{DIEP2-3}$	=	voorspelfout in DIEP2-3.

Verklaring statistische termen

<i>Gemiddelde</i>	Maat voor de centrale ligging.
<i>Standaardafwijking</i>	Maat voor de spreiding tussen de waarnemingen.
<i>Nauwkeurigheid</i>	Getal dat aangeeft hoe goed iets gemeten of berekend is. Als iets erg nauwkeurig is, dan is de onnauwkeurigheid klein.
<i>Onnauwkeurigheid</i>	Maat voor de mogelijke toevallige fout in een waarneming.
<i>Onbetrouwbaarheid</i>	Risico dat geaccepteerd wordt bij het nemen van een onjuiste beslissing. Dus de kans dat een bepaalde veronderstelling (bijv. A is gelijk aan B) verworpen wordt terwijl deze wel waar was. Een veel gebruikte onbetrouwbaarheid is 5%.
<i>Betrouwbaarheid</i>	In plaats van een onbetrouwbaarheid van 5% kan ook gesproken worden over een betrouwbaarheid van 95%.
<i>95%-betrouwbaarheidsinterval</i>	Dit zijn 2 getallen waartussen het werkelijke gemiddelde van een variabele (zoals slibdikte) in 95% van de gevallen zal liggen. Het betrouwbaarheidsinterval wordt onder andere berekend met de onnauwkeurigheid en de gekozen betrouwbaarheid. Dus hoe groter de onnauwkeurigheid, hoe breder het betrouwbaarheidsinterval wordt. Maar ook hoe groter de gewenste betrouwbaarheid, hoe breder het interval.
<i>Significant</i>	Als iets significant is en de gekozen betrouwbaarheid is bijvoorbeeld 95%, dan betekent dit dat de uitspraak (zoals A is groter dan B) in 95% van de gevallen juist is.
<i>Toevallige fout</i>	Een fout die door toeval is ontstaan en welke normaal verdeeld is. De fout kan positief of negatief zijn. Het gemiddelde van alle fouten zal nul zijn. De spreiding in de fouten (de standaardafwijking) kan gebruikt worden als maat voor de onnauwkeurigheid.
<i>Voorspelfout</i>	Deze fout wordt ook wel totale toevallige fout genoemd. Met deze fout kan een voorspellingsinterval opgesteld worden.

<i>95%-voorspellingsinterval</i>	Eigenlijk hetzelfde als het 95%-betrouwbaarheidsinterval, maar nu voor een incidentele waarneming.
<i>lokale variatie</i>	Maat voor de lokale verschillen in de waarnemingen.
<i>Kruisvalidatie</i>	Iedere gemeten waarneming wordt berekend uit de overige gemeten waarnemingen.
<i>Totale toevallige fout</i>	In een waarneming kunnen meerdere toevallige fouten zitten (meetfout, fout in de interpolatie, plaatsbepaling enz.) Al deze fouten kunnen gecombineerd worden tot 1 totale toevallige fout. Deze totale toevallige fout wordt gebruikt bij het opstellen van een betrouwbaarheidsinterval voor een incidentele waarneming (voorspellingsinterval).
<i>Residu</i>	Verschil tussen berekend en gemeten.
<i>Residuele standaardafwijking</i>	Standaardafwijking van de residuen. Deze standaardafwijking kan gebruikt worden als toevallige fout bij het opstellen van betrouwbaarheids- en/of voorspellingsintervallen.
<i>RMSE</i>	Root Mean Square Error = de wortel uit de gemiddelde kwadratische fout. Dit is een maat voor de gemiddelde onnauwkeurigheid in de waarnemingen (bijv. slibdiktes) voor het hele gebied, waar zowel de systematische als de toevallige fout in zit.

Appendix (kaarten)

- Kaart 1: Geografische ligging depot Hollandsch Diep.
Invoer voor SURFIS2d bij interpolatie van bodemligging 7204.
- Kaart 2a: DTM bodemligging 7204.
Kaart 2b: DTM met voorspelfout bodemligging 7204.
Invoer voor SURFIS2d bij interpolatie van bodemligging 7609.
- Kaart 3a: DTM bodemligging 7609.
Kaart 3b: DTM met voorspelfout bodemligging 7609.
Invoer voor SURFIS2d bij interpolatie van bodemligging 7910.
- Kaart 4a: DTM bodemligging 7910.
Kaart 4b: DTM met voorspelfout bodemligging 7910.
Invoer voor SURFIS2d bij interpolatie van bodemligging 8108.
- Kaart 5a: DTM bodemligging 8108.
Kaart 5b: DTM met voorspelfout bodemligging 8108.
Invoer voor SURFIS2d bij interpolatie van bodemligging 8309.
- Kaart 6a: DTM bodemligging 8309.
Kaart 6b: DTM met voorspelfout bodemligging 8309.
Invoer voor SURFIS2d bij interpolatie van bodemligging 8509.
- Kaart 7a: DTM bodemligging 8509.
Kaart 7b: DTM met voorspelfout bodemligging 8509.
Invoer voor SURFIS2d bij interpolatie van bodemligging 0101.
- Kaart 8a: DTM bodemligging 0101.
Kaart 8b: DTM met voorspelfout bodemligging 0101.
- Kaart 9a: DTM maximale diepte in de periode 7204 – 0101.
Kaart 9b: DTM met voorspelfout in de maximale diepte periode 7204 – 0101.
- Kaart 10a: DTM dikte afgezette laag in de periode 7204 – 0101.
Kaart 10b: DTM met voorspelfout in de dikte van de afgezette laag in de periode 7204 – 0101.
- Kaart 11: Locaties boringen met benamingen.
- Kaart 12a: DTM dikte sliblaag bepaald met methode 1 (DIK1).
Kaart 12b: Voorspelfout dikte van de sliblaag (σ_{DIK1}).
- Kaart 13: DTM met percentage zand gemeten met MEDUSA.
- Kaart 14a: DTM met dikte van de sliblaag (DIK2).
Kaart 14b: DTM met voorspelfout in DIK2 (σ_{DIK2}).
- Kaart 15a: DTM met de diepteligging van de sliblaag, berekend uit de diepte van 0101 en de geïnterpoleerde sliblaag dikte (DIEP1).
Kaart 15b: DTM met de voorspelfout in DIEP1 (σ_{DIEP1}).
- Kaart 16a: DTM met de diepteligging van de sliblaag, berekend uit de diepte van 0101 en de sliblaag dikte berekend via de relatie met de sedimentatie in de periode 7204 - 0101 (DIEP2).
Kaart 16b: DTM met de voorspelfout in diep2 (σ_{DIEP2}).
- Kaart 17a: DTM met de onderkant van de sliblaag (DIEP3) berekend via relatie met de maximale diepteligging van bodem in de periode 7204-0101.
Kaart 17b: DTM met de voorspelfout in DIEP3 (σ_{DIEP3}).
- Invoer voor SURFIS2d bij interpolatie van diepteligging sliblaag uit boringen (DIEP4).*
- Kaart 18a: DTM met de geïnterpoleerde diepteligging van de sliblaag (DIEP4), zoals gegeven in de boorbeschrijvingen.
Kaart 18b: DTM met de voorspelfout (σ_{DIEP4}) in de geïnterpoleerde diepteligging van de sliblaag.
- Kaart 19a: DTM met de onderkant van de verontreinigde laag (DIEP2-3) berekend via relatie met de maximale diepte in de periode 7204-0101.
Kaart 19b: DTM met de voorspelfout in DIEP2-3 ($\sigma_{DIEP2-3}$).
-