

873-127

Opvulsnelheid, gedrag en effect van schelpenwinputten in de Waddenzee

Vervolgonderzoek Schelpenwinning
28 augustus 2003



Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Rijkswaterstaat

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat

Opvulsnelheid, gedrag en effect van schelpenwinputten in de Waddenzee

Vervolgonderzoek Schelpenwinning

28 augustus 2003

H. Schans (DNN), H.P.J. Mulder (RIKZ) en J. de
Vlas (RIKZ)

Rapport NN-ANW-03-01

Colofon

Uitgegeven door: RWS Directie Noord-Nederland

Informatie: A. Nicolai en H. Schans

Telefoon: 058-2344322/369

Uitgevoerd door: H. Schans (DNN), H.P.J. Mulder (RIKZ) en J. de Vlas (RIKZ)

**Met mede-
werking van:** A. Nicolai (DNN), R.C.M. Ariaans (DNN) en H.H.A. van der Wetering (DNN)

Opmaak: H. Schans

Datum: 28 augustus 2003

Status: Definitief

1	INLEIDING	6
2	METHODIEK	8
2.1	WINLOCATIES EN HOEVEELHEDEN	8
2.2	LODINGEN	10
2.3	VOLUME BEREKENINGEN	10
2.4	PROFIEL VERANDERINGEN	12
3	RESULTATEN	14
3.1	SITUATIE DIRECT NA WINNING (T_1)	14
3.2	GEDRAG VAN WINPUT EN TERUGSTORT	17
3.2.1	<i>Schone schelpen</i>	17
3.2.2	<i>Kleischelpen</i>	22
4	VERKLARING VAN RESULTATEN	24
4.1	WINPUT GEDRAG	24
4.2	VERGELIJKING MET ZANDWINPUTTEN	24
4.3	MORFODYNAMISCHE SITUATIE VAN DE GEUL	26
4.4	SCHELPEN ALS CHANNEL-LAG	27
4.5	CONCLUSIES WINPUT GEDRAG	27
5	MORFOLOGISCHE EN ECOLOGISCHE EFFECTEN VAN SCHELPENWINPUTTEN	28
5.1	MORFOLOGISCHE EFFECTEN	28
5.1.1	<i>Grootte aangetast oppervlak</i>	28
5.1.2	<i>Locale erosie en sedimentatie en natuurlijke dynamiek</i>	29
5.1.3	<i>Conclusies morfologische effecten</i>	30
5.2	ECOLOGISCHE EFFECTEN	31
5.2.1	<i>Bodemfauna in de Waddenzee</i>	31
5.2.2	<i>Ecologische effecten tijdens winning</i>	32
5.2.3	<i>Ecologische effecten na winning</i>	34
5.2.4	<i>Ecologische hersteltijd</i>	34
5.2.5	<i>Conclusies ecologische effecten schelpenwinputten</i>	35
6	CONCLUSIES	36
6.1	OPVULSNELDHEID EN GEDRAG WINPUT	36
6.2	MORFOLOGISCHE EFFECTEN	36
6.3	ECOLOGISCHE EFFECTEN	37
7	AANBEVELINGEN	38

lijst van figuren

1. Locaties schelpenwinputten.
2. Bodemligging voor schelpenwinning (T_0 -situatie; a: schone schelpen, b: kleischelpen).
3. Locaties van kuberingsvakken en profiellijnen (a: schone schelpen; b: kleischelpen) met de verschilkaart $T_0 - T_1$ als achtergrond.
4. Bodemligging direct na schelpenwinning, verschilkaart T_0 en T_1 (a: schone schelpen; b: kleischelpen).
5. Vergelijking van profielen voor (T_0) en direct na (T_1) schelpenwinning (a: schone schelpen; b: kleischelpen).
6. Verschilkaarten tussen T_0 en T_1 (a), T_4 (b), T_7 (c), T_{10} (d), T_{12} (e) en T_{13} (f) voor de schone schelpen winput.
7. Bodemligging op verschillende tijdstippen - schone schelpen.
8. Gedrag van de winput, de terugstort en het controle vak ten opzichte van T_0 -situatie - schone schelpen.
9. Verschilkaarten tussen T_0 en T_1 (a), T_4 (b), T_7 (c) en T_{10} (d) voor de kleischelpen winput.
10. Bodemligging op verschillende tijdstippen - kleischelpen.
11. Gedrag van de winput, de terugstorting en het controle vak ten opzichte van T_0 -situatie - kleischelpen.
12. Schematische weergave van de opvulling van zandwinputten. De opvulling van het laatste deel is bij benadering lineair.

lijst van tabellen

1. Hoeveelheid erosie, sedimentatie (sed.) en netto volume verschil (m^3) in de verschillende kuberingsvakken a.g.v. schelpenwinning (verschil T_0 en T_1).
2. Vergelijking van het winput volume enerzijds met het terugstort volume en de hoeveelheid gewonnen schelpen anderzijds direct na winning (T_0 -situatie).
3. De volumes (uitgedrukt in m^3/m^2) van de winput, de terugstort en de erosie en sedimentatie in het controle vak ten opzichte van de T_0 -situatie - schone schelpen.
4. De volumes (uitgedrukt in m^3/m^2) van de winput, de terugstort en de erosie en sedimentatie in het controle vak ten opzichte van de T_0 -situatie - kleischelpen.
5. Opvultijden van verschillende zandwinputten in de Waddenzee.
6. Overzicht van enkele karakteristieken van de onderzochte schelpenwinputten. * de terugstort is niet geheel verdwenen na 1 maand, zie paragraaf 3.2.1.
7. Terugstort oppervlakte (m^2 en %) behorende bij een ondergrens in sedimentatie.
8. Grootte van de door verschillende sediment diktes beïnvloede oppervlakte en bijbehorende effecten op de bodemfauna zijn voor de jaarlijkse schelpenwinning in het PKB-gebied.

lijst van bijlagen

- A. Verschilkaarten ten opzichte van T_0 - schone schelpen.
- B. Verschilkaarten ten opzichte van T_0 - kleischelpen.
- C. Een korte verkenning van het winputgedrag: opvuulnelheid.
- D. Een korte verkenning van het winputgedrag: verplaatsing.
- E. Een korte verkenning van de bodembedekking door de terugstort.

1 Inleiding

In het kader van het Vervolgonderzoek Schelpenwinning (VSw) dat door/ in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Noord-Nederland in 1999 en 2000 is uitgevoerd, is o.a. onderzoek gedaan naar het morfologische gedrag van twee schelpenwinputten in de Waddenzee (deelonderzoek 13). De doelstelling van dit deelonderzoek was het bepalen van de opvulsnelheid van schelpenwinputten. Deze winputten ontstaan tijdens de winning van schelpen doordat er een kuil in de bodem gezogen wordt. De opvulsnelheid van schelpenwinputten wordt bepaald door de volumeveranderingen van deze putten te volgen. Er zijn twee putten gevolgd, één put waar schone schelpen (schelpen in een zandige bodem) zijn gewonnen en één waar kleischelpen (schelpen in een kleiige bodem) zijn gewonnen.

Tijdens de winning van schelpen wordt het opgezogen materiaal over verschillende zeven geleid. Eerst gaat het materiaal over een trilzeef met een maaswijdte van 15 mm. Het fijne materiaal (zand en kleine schelpfragmenten e.d.) valt door de zeef en wordt overboord gezet. Het resterende materiaal wordt vervolgens over een zeef met een maaswijdte van 40 mm geleid. De schelpen vallen door de zeef op een lopende band en worden naar het ruim van het schip getransporteerd. De grove delen zoals grote klei- en veenbrokken en stenen blijven op deze grove zeef liggen en gaan overboord. Hierbij moet worden opgemerkt dat tijdens de winning van kleischelpen veel klei aan de schelpen gehecht blijft en in het ruim van het schip belandt. Bij de winning van kleischelpen gaat er dus relatief weinig materiaal terug overboord.

Het terugstorten van sediment heeft mogelijk, naast enige verhoging van de locale troebelheid van het water, de begraving van bodemfauna tot gevolg. In dit rapport wordt naast het bepalen van de opvulsnelheid van schelpenwinputten ook aandacht besteed aan het begravingseffect op de bodemfauna.

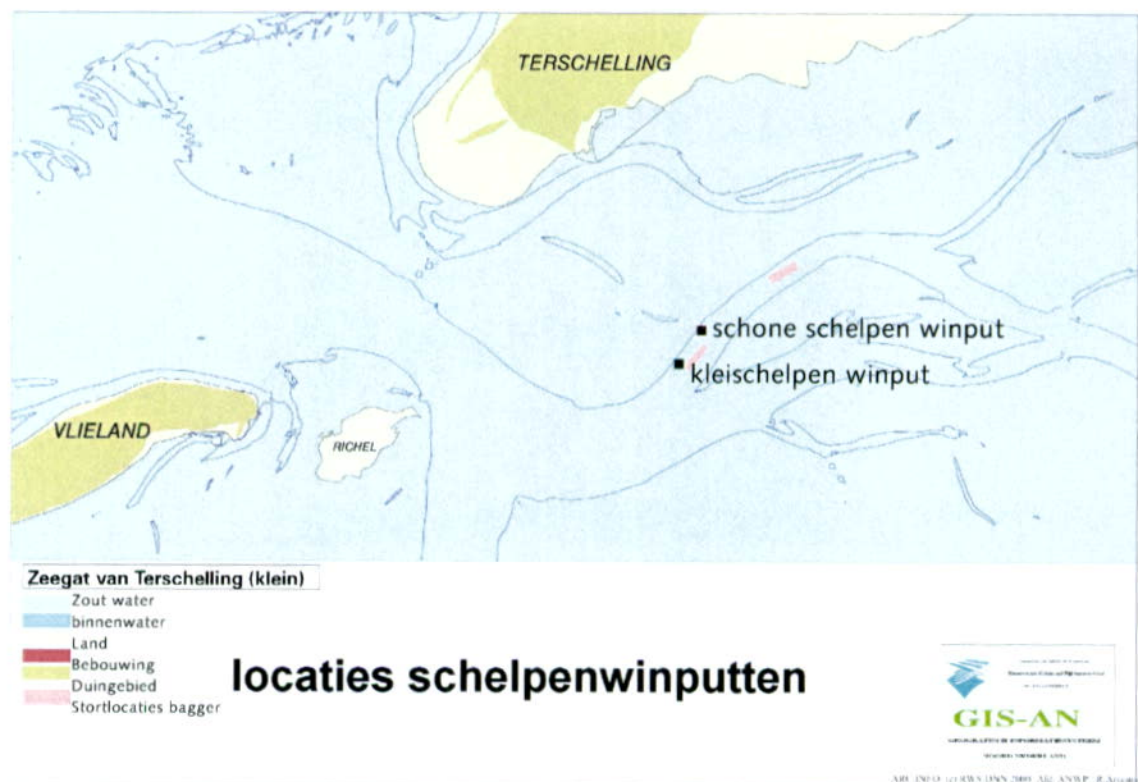
2 Methodiek

2.1 Winlocaties en hoeveelheden

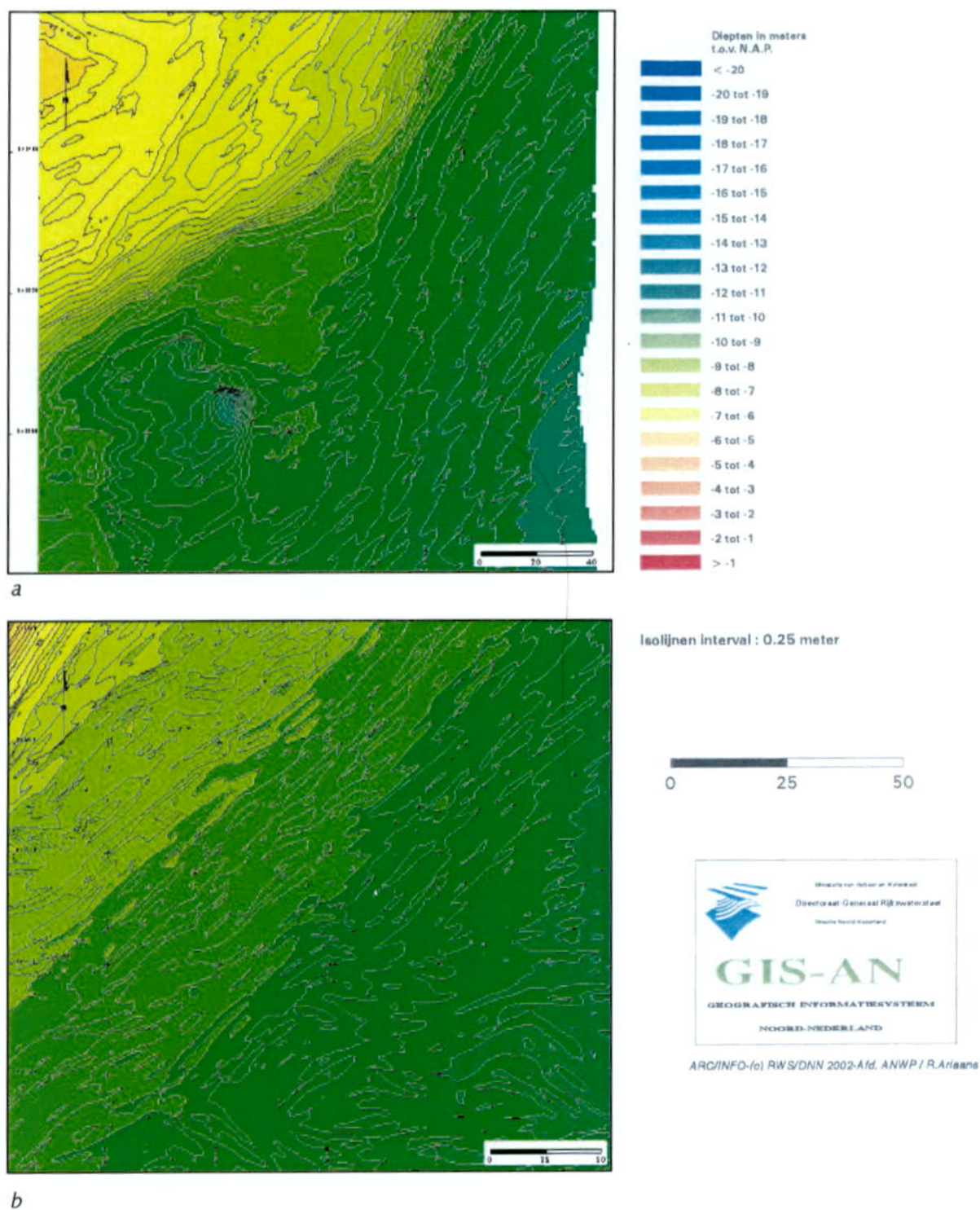
Beide onderzochte schelpenwinputten liggen aan de noordwand van de Noordmeep, een geul ten zuiden van Terschelling (figuur 1).

De schone schelpen zijn gewonnen op de plek waar de Noordmeep en de Slenk samenkomen. De bodemligging ter plaatse vóór de winning is ca. -11,5 m NAP (figuur 2a). Daarbij moet opgemerkt worden dat voor aanvang van schelpenwinning een lokale verdieping (diepte ca. -14 m NAP) ter plaatse van de toekomstige winput aanwezig was. De dikte van de sedimentlaag die op de schelpen lag was ca. 2 m, voornamelijk bestaande uit zand (schatting door de winner). De winning ter plaatse is uitgevoerd op 13 september 2000 gedurende 3,5 uur tijdens vloed door het winschip 'De Waddenzee'. Volgens opgave van de winner (dhr. J. Bolt) is ca. 150 m³ schelpen gewonnen.

De kleischelpen zijn gewonnen in de Noordmeep aan de noordzijde van de vaargeul nabij ton NOM2. De bodemligging ter plaatse vóór de winning is ca. -10,5 m NAP (figuur 2b). De schelpen bevonden zich in de bodem, voornamelijk bestaande uit kleiig materiaal (schatting door de winner). De winning ter plaatse is uitgevoerd op 3 oktober 2000 gedurende eb fase door het winschip 'De Lauwerszee'. Volgens opgave van de winner (dhr. J. Smit) is ca. 200 m³ schelpen gewonnen.



Figuur 1: Locaties schelpenwinputten.



Figuur 2: Bodemligging voor schelpenwinning (T_0 -situatie; a: schone schelpen, b: kleischelpen).

2.2 Lodingen

Op beide locaties is, voorafgaand aan de winning, een loding uitgevoerd om de bodemligging voor winning vast te leggen (T_0 -opname, zie figuren 2a en 2b). Vervolgens is direct na de winning een T_1 -opname gemaakt. De T_2 -opnamen zijn de dag na de winning uitgevoerd. Vervolgens zijn met tussenposen van ca. 1 tot 3 weken steeds vervolgonpamen gemaakt. De laatste bruikbare lodingen zijn begin 2001 uitgevoerd. Om het putgedrag te bezien in relatie tot de bodem in de naaste omgeving van de put zijn de lodingen tevens uitgevoerd in een gebied met een straal van ca. 100 m rond de putten. De bij de lodingen gebruikte raaidichtheid is 10 m. De nauwkeurigheid van de lodingen bedraagt ± 15 cm. De lodinggegevens zijn digitaal opgeslagen.

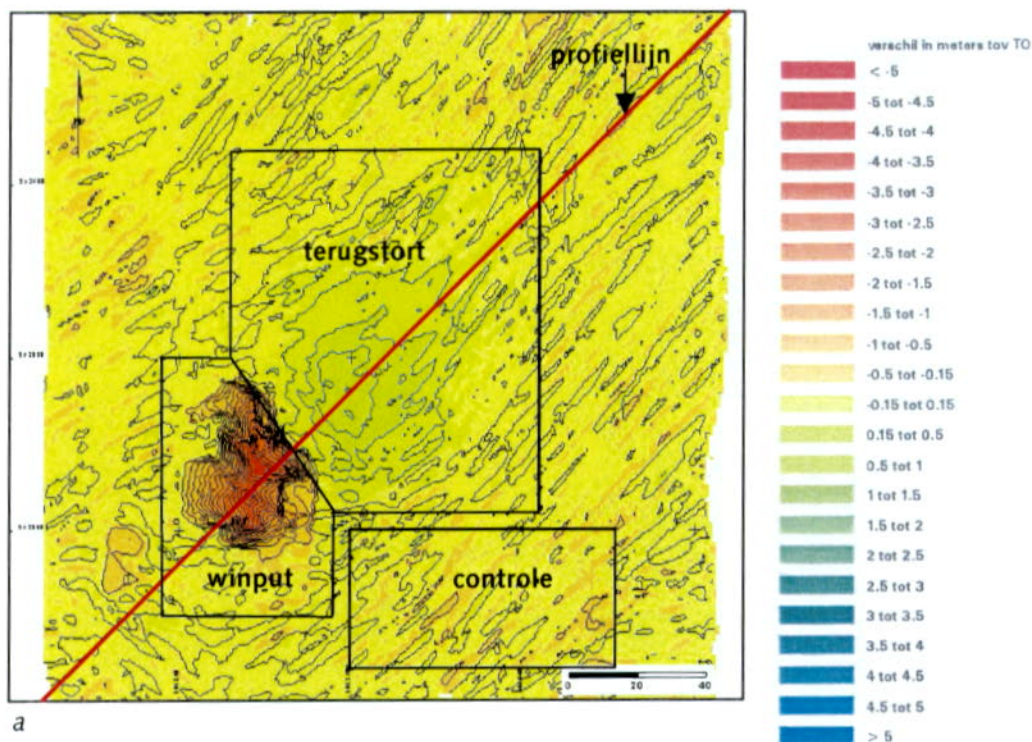
2.3 Volume berekeningen

De lodinggegevens zijn gebruikt om volumes van de winputten te berekenen. Door verschillen in bodemligging te kuberen kunnen de volumeverschillen bepaald worden. De kuberingen zijn uitgevoerd binnen zogenaamde kuberingsvakken. De ligging van de kuberingsvakken zijn visueel bepaald en zijn zodanig gekozen dat ze de locaties van de winputten zo goed mogelijk begrenzen. Hierbij is rekening gehouden met eventuele verplaatsing van de winputten tijdens de monitoringsperiode. De locatie van de kuberingsvakken wordt constant gehouden.

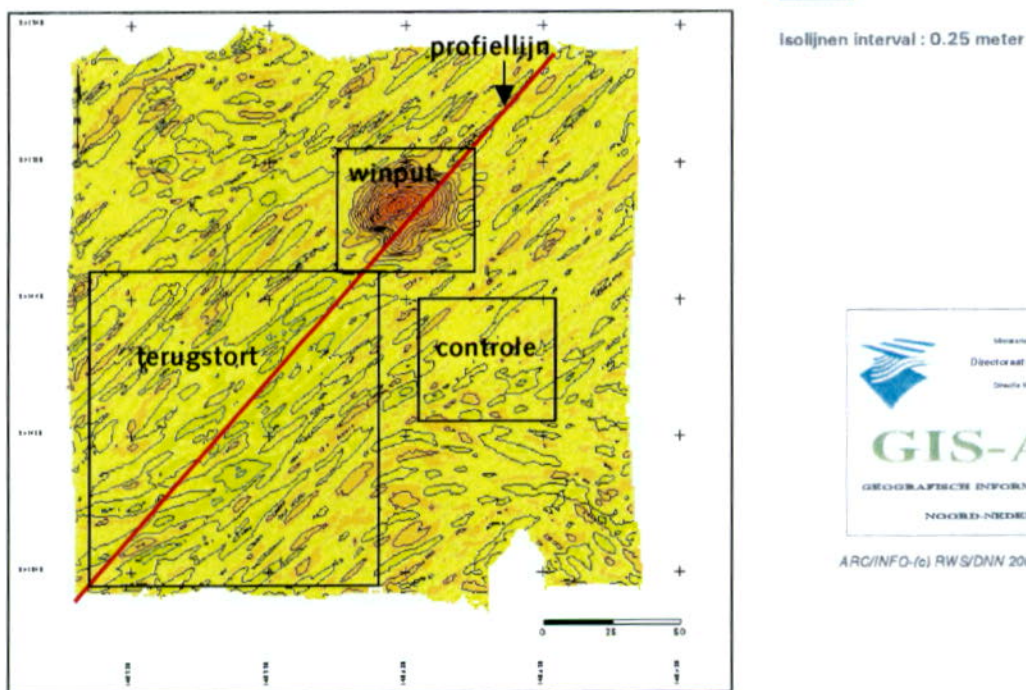
In dit rapport wordt naast het bepalen van de opvulsnelheid van schelpenwinputten ook aandacht besteed aan het begravingseffect op de bodemfauna (zie inleiding). Daarom zijn er ook kuberingsvakken gekozen om de terugstortgebieden te begrenzen.

Naast kuberingsvakken voor de winputten en terugstortingen, worden er ook kuberingsvakken gekozen die relatief ongestoord zijn. Een vergelijking van de volumeveranderingen van de kuberingsvakken met deze zogenaamde controle vakken geeft de mogelijkheid om het gedrag van de winputten en terugstortingen in relatie te zien met het natuurlijke gedrag van de omliggende bodem. Doordat er slechts in een straal van ca. 100 m rond de putten lodingen zijn uitgevoerd, liggen de controle vakken echter dicht bij de winput- en terugstortvakken.

Figuren 3a en 3b geven de locaties van de kuberingsvakken voor respectievelijk de schone en kleischelpen weer. Als achtergrond in deze figuren is de verschilkaart tussen T_0 en T_1 gebruikt. De kuberingen zijn allen uitgevoerd ten opzichte van de T_0 -situatie. De volumes worden genormaliseerd voor het verschil in oppervlak tussen de verschillende kuberingsvakken door de volumes uit te drukken in m^3/m^2 (gemiddelde diept/hogte).



a



b



ARC/INFO-to RWS/DNN 2002-Afd. ANWP / R.Alaans

Figuur 3: Locaties van kuberingsvakken en profiellijnen (a: schone schelpen, b: kleischelpen) met de verschilkaart $T_0 - T_1$ als achtergrond.

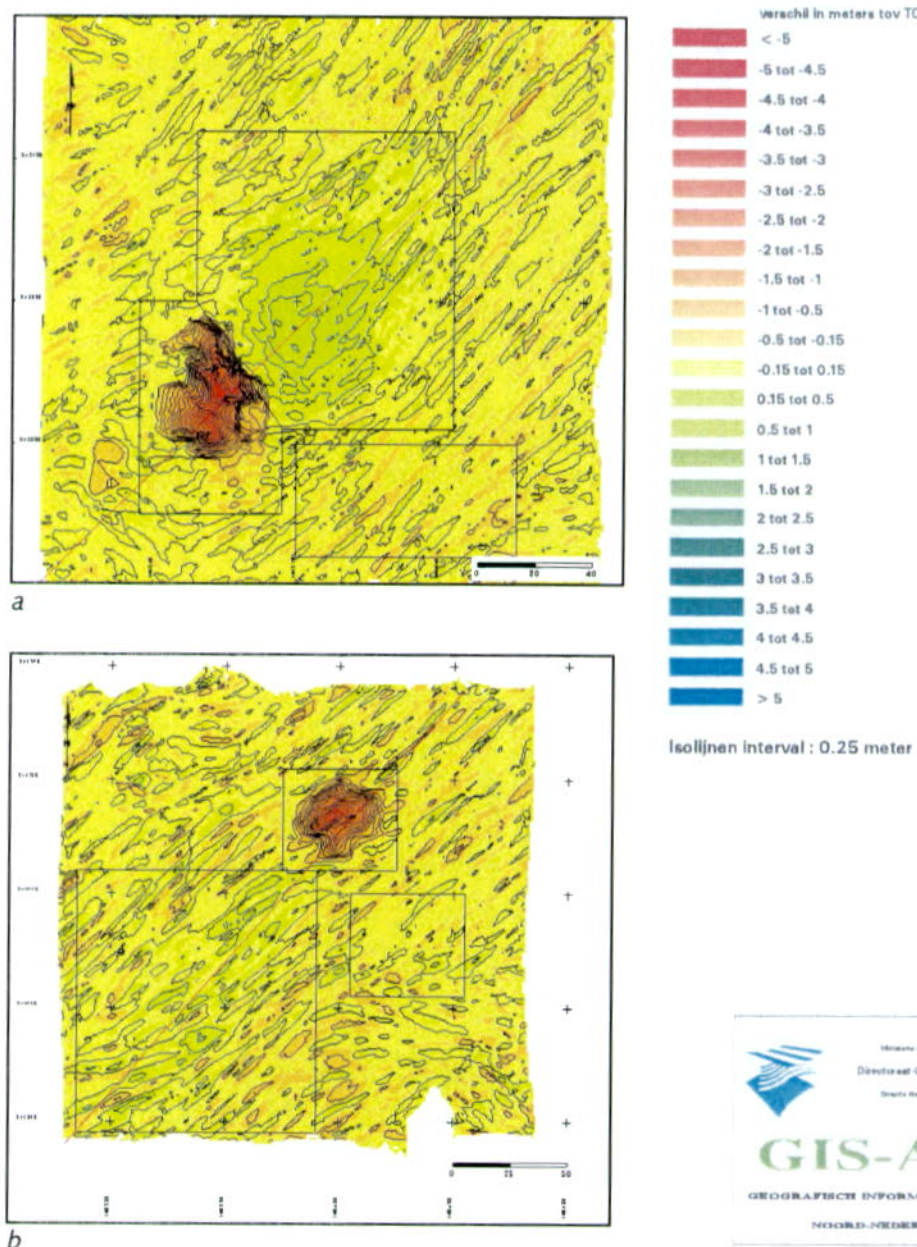
2.4 Profiel veranderingen

Naast het bepalen van volumeverschillen wordt de verandering van de bodemligging zelf in beeld gebracht. Dit kan door middel van verschilkaarten, maar ook door middel van profiel veranderingen. In beide winput situaties is een lijn gekozen langs welke de bodemligging wordt weergegeven. De profiellijn is zodanig gekozen dat deze direct na winning zowel de winput als de terugstort doorsnijdt. Daarnaast is er rekening gehouden met het eventueel verplaatsen van de schelpenwinput. De profiellijn ligt evenwijdig aan eventuele verplaatsingsrichting. Zowel op de locatie van de schone-schelpenwinput als op de locatie van de kleischelpenwinput ligt het profiel lijn ZW-NO (figuur 3).

3 Resultaten

3.1 Situatie direct na winning (T_1)

In figuren 4a en 4b is voor beide putten de bodemligging direct na schelpenwinning (T_1) ten opzichte van de T_0 -situatie weergegeven (zie bijlage A en B voor alle verschilkaarten van alle opnamen). In alle verschilkaarten is er voor gekozen om een klasse te definiëren van 0.15 - -0.15 m, deze klasse is weergegeven met de kleur geel. Deze klasse representeert de meetonnauwkeurigheid. Kleuren anders dan geel zijn dus veranderingen die buiten de meetonnauwkeurigheid vallen.



ARC/INFO-(c) RWS/DNN 2002-Afd. ANWP / R.Ariaans

Figuur 4: Bodemligging direct na schelpenwinning, verschilkaart T_0 en T_1 (a: schone schelpen, b: kleischelpen).

De ontstane putten zijn duidelijk te herkennen (figuur 4). Het sediment waaruit de schelpen zijn gewonnen wordt ter plekke teruggestort. Het teruggestorte sediment is ten NO van de winput voor schone schelpen te zien (groene kleuren in figuur 4a). Het vormt binnen het kuberingsvak een laag met een gemiddelde dikte van 0,17 m, de maximale dikte van de terugstort is 1,04 m. Ten ZW van de kleischelpenwinput is een zeer beperkte terugstorting te zien (groene kleuren in figuur 4b) met een maximale dikte van 0,63 m. Over het hele kuberingsvak gemiddeld heeft er echter een lichte erosie (0,002 m³/m²) plaats gevonden. Blijkbaar heeft over het gehele terugstortkuberingsvak iets meer erosie dan sedimentatie plaats gevonden (zie ook tabel 1).

De hoeveelheid erosie en sedimentatie die in de kuberingsvakken is opgetreden tijdens winning (verschil tussen T₀ en T₁) is in tabel 1 weergegeven. Voor de schone schelpen is te zien dat in het winput kuberingsvak voornamelijk erosie en in het terugstort kuberingsvak voornamelijk sedimentatie optreed. Voor de kleischelpen is de situatie anders. Wel overheerst de erosie in het winput kuberingsvak, maar in het terugstort kuberingsvak zijn erosie en sedimentatie ongeveer gelijk. Toch is in figuur 4b wel een terugstorting te zien. Er wordt dan ook besloten om voor de beschrijving van opvulsnelheid en gedrag de erosie volumes in het winput kuberingsvak en de sedimentatie volumes in het terugstort kuberingsvak te volgen. Deze worden in het vervolg aangeduid als respectievelijk winput en terugstort volumes. De winput en terugstort volumes zijn aanzienlijk groter dan de hoeveelheden erosie en sedimentatie die in het controle vak opgetreden zijn.

kuberingsvak	Schone schelpen			Kleischelpen		
	Erosie (m ³)	sed. (m ³)	Netto (m ³)	Erosie (m ³)	sed. (m ³)	Netto (m ³)
Winput	2172	30	-2142	1599	16	-1583
Terugstort	177	1696	1589	756	731	-25
Controle	294	44	-250	203	24	-179

Tabel 1: Hoeveelheid erosie, sedimentatie (sed.) en netto volume verschil (m³) in de verschillende kuberingsvakken a.g.v. schelpenwinning (verschil T₀ en T₁).

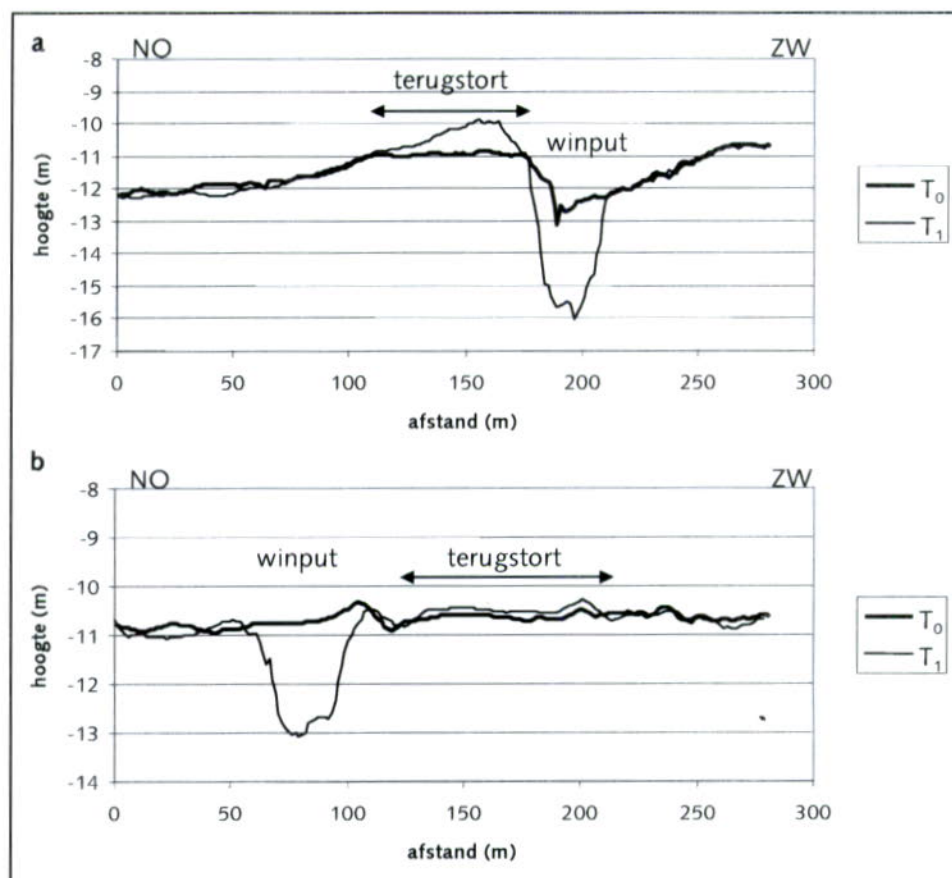
	schone schelpen	kleischelpen
Winput volumedirect na winning (A)	2172 m ³	1599 m ³
Terugstort volume direct na winning (B)	1696 m ³	731 m ³
Hoeveelheid gewonnen schelpen (C)	150 m ³	200 m ³
Gewonnen schelpen gecorrigeerd (D)	75 m ³	140 m ³
Sediment verdwenen uit het gebied (=A-B-D) (verdwenen uit de winput en niet terug te vinden in de terugstort en schelpen samen)	401 m ³	728m ³

Tabel 2: Vergelijking van het winput volume enerzijds met het terugstort volume en de hoeveelheid gewonnen schelpen anderzijds direct na winning (T₀-situatie).

In tabel 2 staan de winput en terugstort volumes en de hoeveelheid schelpen die gewonnen zijn. Het volume gewonnen schelpen is niet direct vergelijkbaar met de volumes van de winput en de terugstorting. Het volume gewonnen schelpen wordt namelijk gemeten in het schip waar ongeveer 50% van het volume wordt ingenomen door lucht tussen de schelpen. In situ wordt deze poriënruimte opgevuld door sediment. Om de volumes in een massabalans te kunnen vergelijken worden de volumes gewonnen schelpen gecorrigeerd. Bij de winning van schone schelpen komt bijna geen sediment aan boord. De winning van 1 m³ schone schelpen staat dus gelijk aan de winning van 0,5 m³ sediment (Reijngoud, 2001). Bij de winning van kleischelpen wordt echter ook klei aan boord genomen, hetzij klei gehecht aan de schelpen, hetzij kleine kleibrokjes. Een typisch klei-schelp mengsel in het ruim van een schip bestaat uit 60% schelpen en 40% klei (melding door gebruikers). Van de 200 m³ gewonnen kleischelpen is dus 120 m³ schelp en 80 m³ klei. De gecorrigeerde hoeveelheid gewonnen schelpen is dan ook $0,5 \cdot 120 + 80 = 140 \text{ m}^3$.

Het winputvolume is groter dan het terugstortvolume en het (gecorrigeerde) volume gewonnen schelpen samen. Er kan geconcludeerd worden dat een deel van het sediment tijdens of direct na het storten in suspensie raakt. De hoeveelheid sediment die in suspensie raakt is groter tijdens de winning van kleischelpen dan de winning van schone schelpen (respectievelijk 46% en 18% van het teruggestorte materiaal raakt in suspensie). Hierbij moet worden opgemerkt dat tijdens de winning van kleischelpen klei aan de schelpen gehecht blijft en in het ruim van het schip belandt. Wat overboord gaat tijdens de winning van kleischelpen is het met slib/klei/zand vermengde proceswater (vergelijkbaar met een baggerend schip). In dit proceswater is het materiaal al in suspensie en kan dus relatief gemakkelijk door de stroom worden opgepikt en over grote afstanden worden verspreid. Het is dus niet verbazingwekkend dat er slechts een geringe terugstorting is te zien ten ZW van de kleischelpen winput. Het zijn waarschijnlijk zand en misschien de wat grotere kleibrokjes die hier terecht komen.

Naast het bepalen van volumeverschillen wordt de verandering van de bodemligging zelf in beeld gebracht door middel van profiel veranderingen (paragraaf 2.4). Ook de vergelijking van de profielen voor (T_0) en direct na schelpenwinning (T_1) laat de schelpenwinputten duidelijk zien (figuren 5a en 5b). Ook is duidelijk te zien dat bij schone schelpen er een duidelijke terugstort is te herkennen in het profiel. Zoals ook al is geconstateerd in figuur 4, is bij de winning van kleischelpen de terugstort zeer beperkt. Dit wordt bevestigd door het geringe verschil tussen de profielen voor en direct na schelpenwinning.



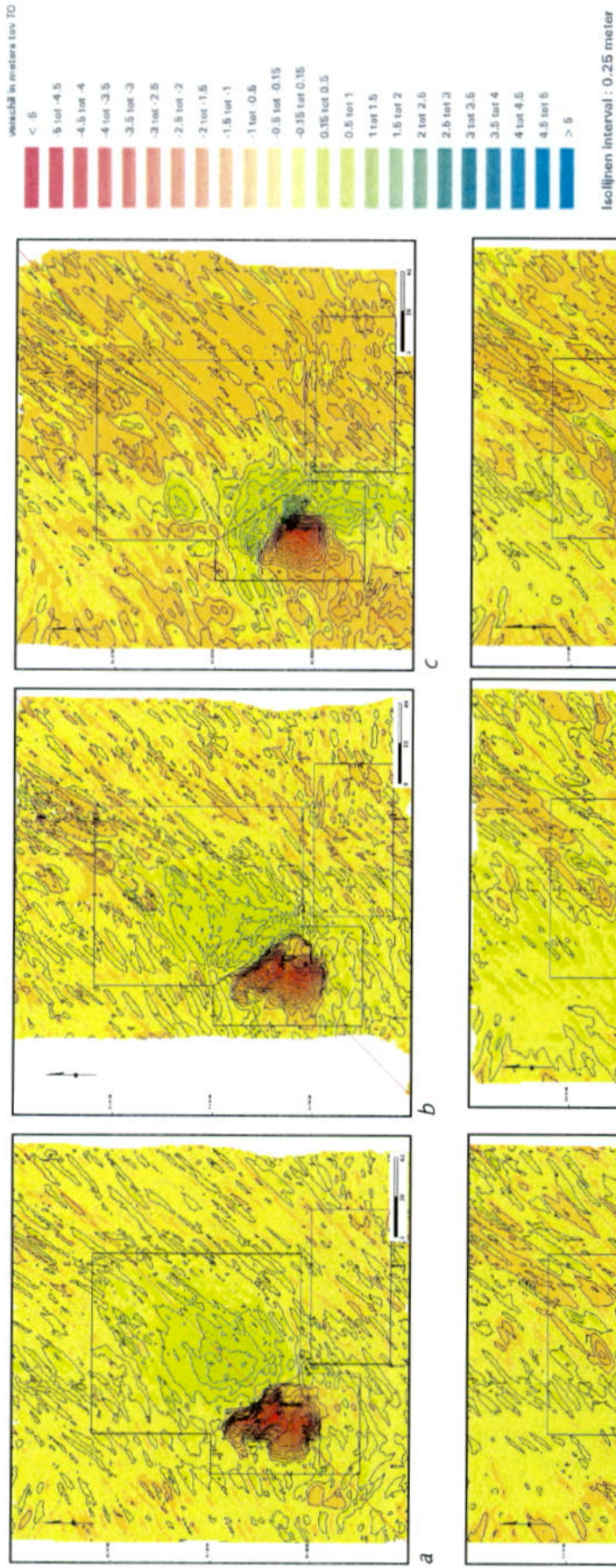
Figuur 5: Vergelijking van profielen voor (T_0) en direct na (T_1) schelpenwinning (a: schone schelpen en b: kleischelpen).

Het verschil in locatie van de terugstort ten opzichte van de winput komt overeen met het verschil in getijfase tijdens winning. De richting van de stroming bepaalt mede de locatie waar de terugstort terecht komt. De schone schelpen werden gewonnen tijdens vloed wanneer de stroming in de Noordmeep richting het noordoosten is gericht. Het teruggestorte sediment is dan ook te zien ten NO van de winput. De kleischelpen werden echter tijdens eb gewonnen wanneer de stroming in de Noordmeep richting het zuidwesten is. Het teruggestorte sediment is dan ook ten ZW van de winput voor kleischelpen te zien.

3.2 Gedrag van winput en terugstort

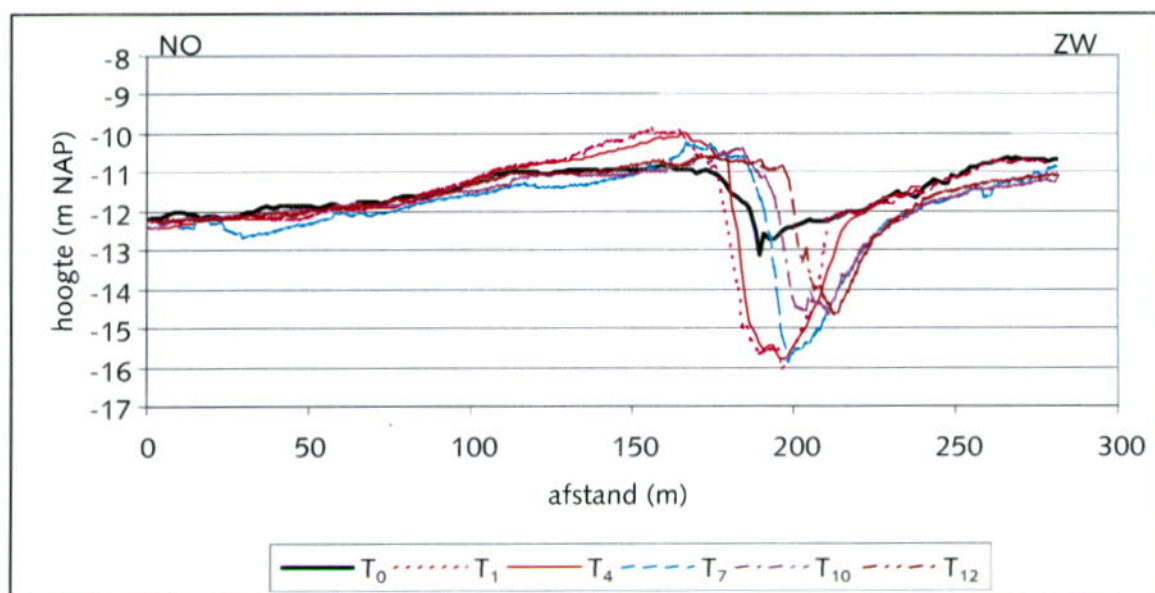
3.2.1 Schone schelpen

In figuur 6 zijn de verschilkaarten tussen T_0 en T_1 , T_4 , T_7 , T_{10} , T_{12} en T_{13} (figuren 6a t/m 6f) weergegeven. Uit de figuren is af te leiden dat het diepste punt van de winput zich na 6 maanden ca. 35 meter in zuidwestelijke richting heeft verplaatst. De meting in het voorjaar van 2002 (T_{13}) geeft aan dat de winput groter is geworden. Tussen de opnamen T_{12} en T_{13} (figuren 6e en 6f) zijn echter opnieuw schelpen gewonnen in dit gebied. De opname T_{13} wordt tijdens verdere analyse buiten beschouwing gelaten.



Figuur 6: Verschilkaarten tussen T_0 en T_1 (a), T_4 (b), T_7 (c), T_{10} (d), T_{12} (e) en T_{13} (f) voor de schone schelpen winput.

Erg opvallend is het feit dat 20 weken na winning (T_{12} , figuur 6e) in het noordoostelijke deel van de winput sterke sedimentatie heeft plaats gevonden. De bodem ter plekke van de opgetreden sedimentatie is in februari 2001 (20 weken na winning) ca. 2 m hoger dan in de T_0 -situatie (figuur 6e). In de T_0 situatie was echter reeds een verdieping aanwezig op de locatie waar schelpenwinning plaats heeft gevonden (figuur 2a en 5a). De ontwikkeling van het gebied is erop gericht om niet alleen de winput, maar ook deze eerdere verondieping ten opzichte van de omgeving op te vullen. Indien naar de profielontwikkeling over de tijd wordt gekeken (figuur 7), wordt duidelijk dat er sprake is van gelijktijdige verondieping en verplaatsing van de winput. De winput wordt vanuit het NO opgevuld, terwijl tegelijkertijd de terugstort verdwijnt. Het lijkt alsof het sediment van de terugstort de winput opvult.



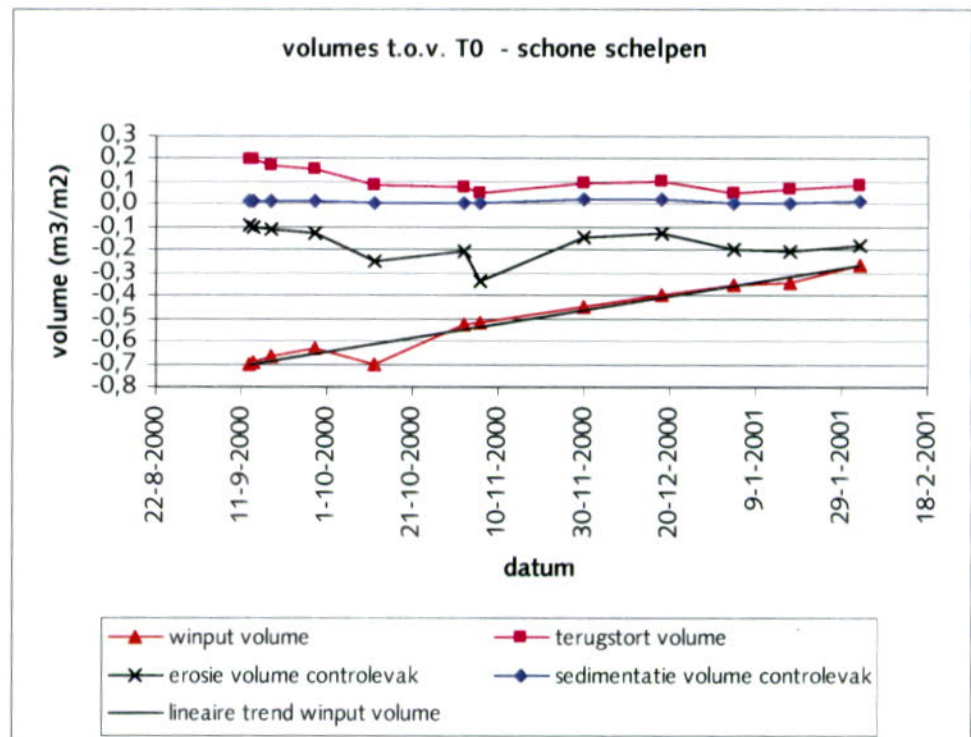
Figuur 7: Bodemligging op verschillende tijdstippen - schone schelpen.

In tabel 3 en figuur 8 zijn de volumes van de winput, de terugstort en de sedimentatie en erosie in het controlevak weergegeven. Om de volumes tussen de verschillende kuberingsvakken met verschillende oppervlakten te kunnen vergelijken, worden ze uitgedrukt in m^3/m^2 . Uit tabel 3 en figuur 8 valt af te leiden dat de winput tijdens de laatste opnamen nog wel degelijk aanwezig is. Het volume van de winput is echter wel afgenomen, na 20 weken is er van het oorspronkelijke volume direct na winning (T_1) 38% over. De opvulling van de winput verloopt lineair. Als deze lineaire trend doorzet, zal de put 32 weken (7,5 maanden) na winning geheel opgevuld zijn. Er wordt opgemerkt dat tijdens de laatste opname het verschil tussen het sedimentatie-volume en het erosievolume in het controlevak gering is. Dit betekent dat het gedrag van het winputvolume al eerder dan de 32 weken de natuurlijke dynamiek benadert.

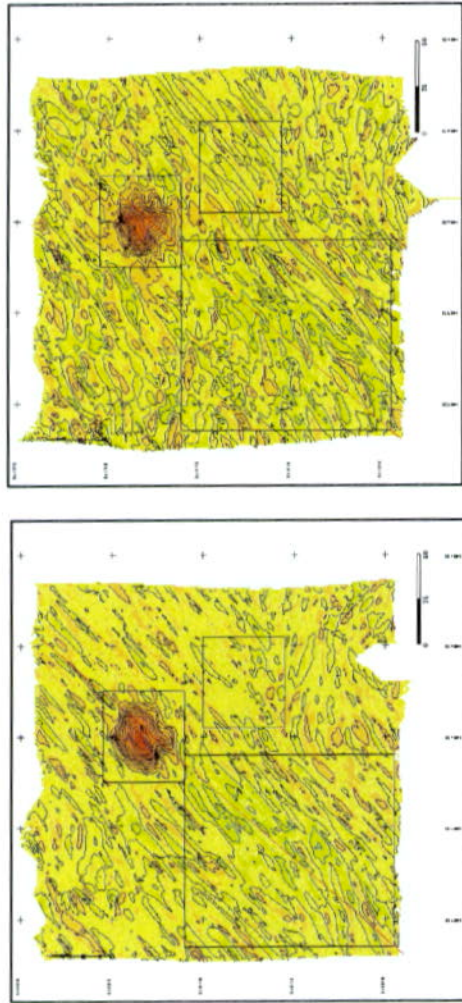
Het terugstortvolume is 20 weken na winning (T_{12}) wel afgenomen ten opzichte van de situatie direct na winning maar nog niet geheel verdwenen (tabel 3, figuur 8). Vanaf T_5 (1 maand na winning) lijkt het terugstort volume constant te blijven.

tijdstap	Datum	winput (m^3/m^2)	terugstort (m^3/m^2)	Erosie controle (m^3/m^2)	Sedimentatie controle (m^3/m^2)
T_0	12-9-2000	-	-	-	-
T_1	13-9-2000	-0.706	0.193	-0.095	0.014
T_2	14-9-2000	-0.698	0.193	-0.098	0.010
T_3	18-9-2000	-0.673	0.171	-0.106	0.012
T_4	28-9-2000	-0.634	0.152	-0.132	0.012
T_5	12-10-2000	-0.701	0.086	-0.247	0.004
T_6	2-11-2000	-0.529	0.073	-0.208	0.005
T_7	6-11-2000	-0.519	0.046	-0.335	0.002
T_8	30-11-2000	-0.448	0.090	-0.143	0.017
T_9	18-12-2000	-0.401	0.095	-0.132	0.019
T_{10}	4-1-2001	-0.358	0.051	-0.193	0.006
T_{11}	17-1-2001	-0.346	0.062	-0.204	0.005
T_{12}	2-2-2001	-0.267	0.086	-0.179	0.010

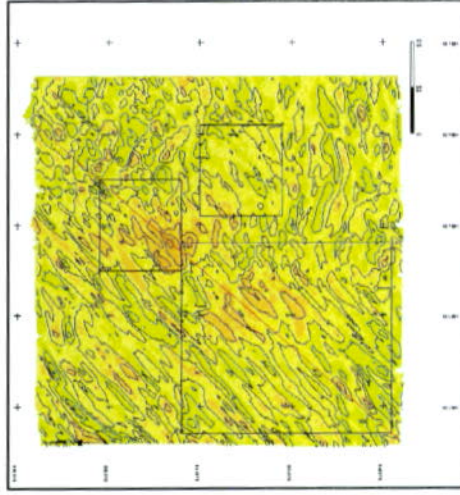
Tabel 3: De volumes (uitgedrukt in m^3/m^2) van de winput, de terugstort en de erosie en sedimentatie in het controlevak ten opzichte van de T_0 -situatie - schone schelpen.



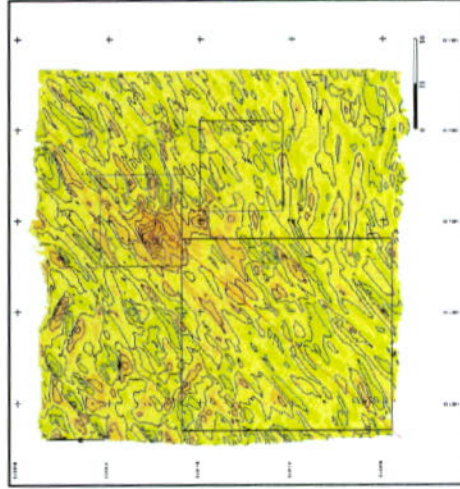
Figuur 8: Gedrag van de winput, de terugstort en het controlevak ten opzichte van de T_0 -situatie – schone schelpen.



a



b



c



d

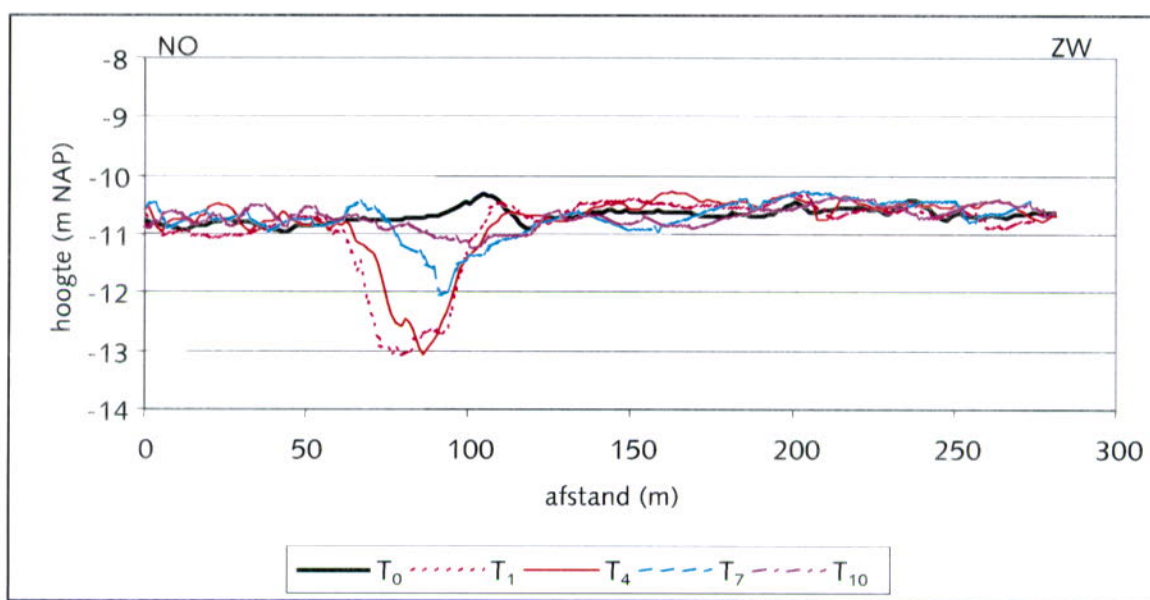


ARC/INFO tot RWIS/SDN 2002 J.B. ANWP / J. A. Jansz

Figuur 9: Verschilkaarten tussen T_0 en T_1 (a), T_4 (b), T_7 (c) en T_{10} (d) voor de kleischelpen winput.

3.2.2 Kleischelpen

In figuur 9 zijn de verschilkaarten tussen T_0 en T_1 , T_4 , T_7 en T_{10} (figuren 9a t/m 9d) weergegeven. Uit de figuren is af te leiden dat de locatie van de winput vrij stabiel is. Het diepste punt van de winput verplaatst zich in 3 maanden ca. 20 meter naar het ZW. In figuur 10d is te zien dat na 15 weken (T_{10}) de winput nagenoeg verdwenen is. De ontwikkeling in bodemhoogte zoals die in de profielen te zien is (figuur 10) bevestigt dat beeld.



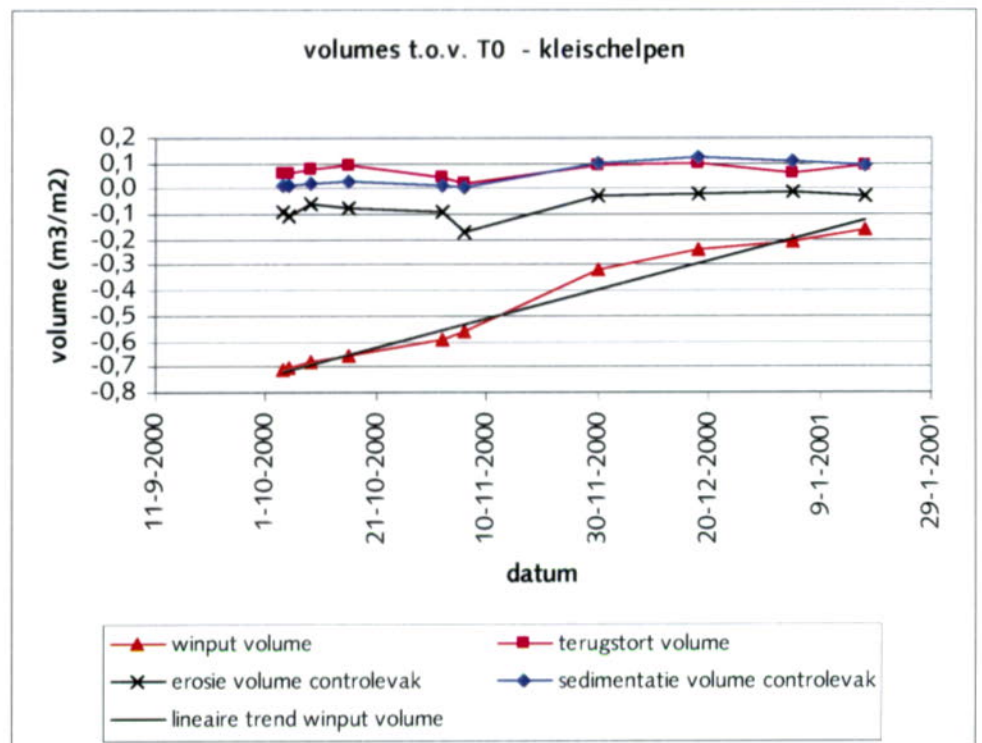
Figuur 10: Bodemligging op verschillende tijdstippen - kleischelpen.

tijdstap	datum	winput (m^3/m^2)	terugstort (m^3/m^2)	Erosie controle (m^3/m^2)	Sedimentatie controle (m^3/m^2)
T_0	3-10-2000	-	-	-	-
T_1	4-10-2000	-0.711	0.061	-0.090	0.011
T_2	5-10-2000	-0.705	0.059	-0.104	0.008
T_3	9-10-2000	-0.686	0.072	-0.062	0.019
T_4	16-10-2000	-0.662	0.091	-0.073	0.030
T_5	2-11-2000	-0.598	0.040	-0.094	0.010
T_6	6-11-2000	-0.563	0.022	-0.164	0.004
T_7	30-11-2000	-0.323	0.087	-0.026	0.097
T_8	18-12-2000	-0.242	0.097	-0.023	0.118
T_9	4-1-2001	-0.209	0.059	-0.015	0.106
T_{10}	17-1-2001	-0.160	0.092	-0.027	0.089

Tabel 4: De volumes (uitgedrukt in m^3/m^2) van de winput, de terugstort en het controlevak ten opzichte van de T_0 -situatie - kleischelpen.

In tabel 4 en figuur 11 zijn de volumes (uitgedrukt in m^3/m^2) van de winput, de terugstorting en het controlevak weergegeven. De opvulling van de winput verloopt gestaag. Na 15 weken is er van het oorspronkelijke volume direct na winning (T_1) slechts 18% over. Als deze lineaire trend doorzet, zal de schelpenwinput 21 weken (4,5 maanden) na winning geheel opgevuld zijn.

Het terugstortvolume is 1 maand na winning (T_6) in dezelfde orde grootte van de sedimentatievolume in het controle vak. Ten opzichte van de situatie direct na winning is de terugstort 1 maand na winning verdwenen (tabel 3, figuur 8).



Figuur 11: Gedrag van de winput, de terugstort en het controle vak ten opzichte van T_0 -situatie – kleischelpen.

4 Verklaring van resultaten

In dit hoofdstuk zal getracht worden het gedrag van de schelpenwinputten en de terugstortingen zoals dat in hoofdstuk 3 beschreven is te verklaren. Indien het winputgedrag verklaard zou kunnen worden, dan zou dat de mogelijkheid kunnen bieden het gedrag en de morfologische en ecologische effecten van schelpenwinning te voorspellen. In hoofdstuk 5 worden de morfologische en ecologische effecten van schelpenwinputten besproken.

4.1 Winput gedrag

In hoofdstuk 3 is vastgesteld dat de schelpenwinputten zich na 4,5 tot 7,5 maanden geheel opvullen. De natuurlijke bodemdynamiek wordt eerder benaderd. Dit is langzamer dan verwacht, door zowel schelpenwinners als een waarneming door de Geologische Stichting (1952) en door Eysink (1979), wordt aangegeven dat er na een paar dagen niets meer van een winput te zien is (De Vries, 2000a). Ook blijkt dat een winput zich kan verplaatsen.

Er wordt een vergelijking gemaakt met het gedrag van zandwinputten in de Waddenzee. Er wordt gekeken of de theoretische onderbouwde empirische relaties voor zandwinputten het gedrag van schelpenwinputten kunnen verklaren (paragraaf 4.1.1). De invloed van de natuurlijke dynamiek van het gebied waar de bestudeerde winputten zich bevinden op het gedrag van schelpenwinputten wordt in paragraaf 4.1.2 besproken.

4.2 Vergelijking met zandwinputten

In het verleden is vrij veel onderzoek gedaan naar de opvuulsnelheid van zandwinputten in de Waddenzee. In tabel 5 wordt voor een aantal zandwinputten in de Waddenzee de opvultijd gegeven (NAM, 1998). De opvultijden van zandwinputten in de Waddenzee variëren tussen 3,4 en 16 jaar. Er lijkt geen eenduidig verband tussen putvolume en opvultijden. Toch is putvolume wel een belangrijke parameter, maar blijkbaar zijn ander lokale invloeden (bijvoorbeeld hydrodynamica en morfologie) ook van invloed op de opvultijden van zandwinputten.

Locatie	Initieel volume put (m ³)	waargenomen opvultijd (jaren)
Boontjes	956.000	3,4
Griend	278.000	5,2
Terschelling	161.000	7,9-9,0
Vlieter	4.000.000	16

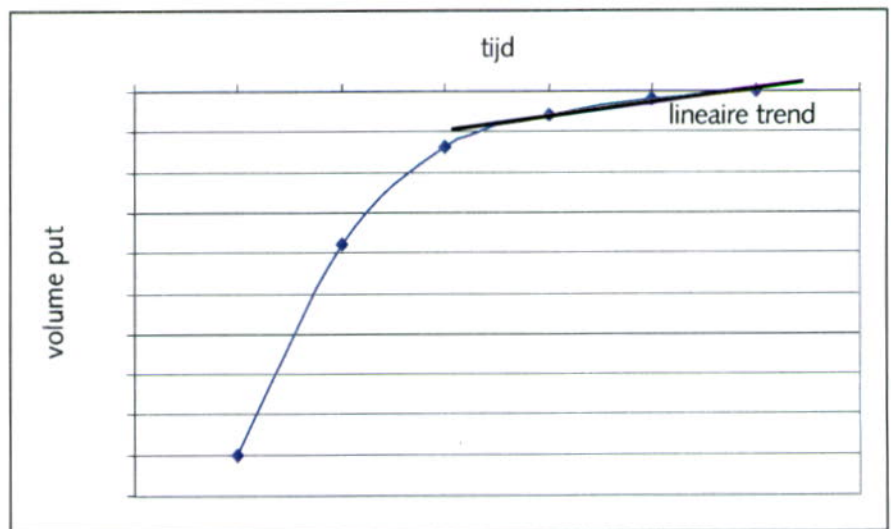
Tabel 5: Opvultijden van verschillende zandwinputten in de Waddenzee (NAM, 1998).

Uit onderzoek blijkt dat de opvultijd van een (zandwin-)put wordt bepaald door (NAM, 1998; zie ook bijlage C):

- het volume van de put (hoe groter het volume van de put, des te langer de opvultijd);
- het doorstroomoppervlak¹ dat beschikbaar is voor de aanvoer van sediment (hoe kleiner het doorstroomoppervlak, hoe groter de opvultijd). Het doorstroomoppervlak van een wadplaat is over het algemeen kleiner dan dat van een geul. Daarom zal een zandwinput in een plaat ook minder snel opvullen dan in een geul.

De empirische relatie tussen putvolume en (een afgeleide van) het doorstroomoppervlak opgesteld voor zandwinputten (bijlage C) blijkt niet geschikt om de opvulling van schelpenwinputten te verklaren. Waarschijnlijk heeft dit te maken met het feit dat de schelpenwinputten klein zijn (slechts een volume van 2172 en 1599 m³) ten opzichte van de beschouwde zandwinputten.

Over het algemeen verloopt de opvulling van een (zandwin-)put in de tijd asymptotisch (figuur 12). De opvulling van de schelpenwinputten verlopen echter min of meer lineair. Dit is te verwachten omdat het volume van de zandwinputten in de Waddenzee vele malen groter zijn dan de twee onderzochte schelpenwinputten. Het verloop van de opvulling van het laatste deel van een zandwinput is bij benadering ook lineair (figuur 12). Het lineaire opvulgedrag van de twee onderzochte schelpenwinputten is dus niet noodzakelijkerwijs in afwijking met de opvulling van zandwinputten.



Figuur 12: Schematische weergave van de opvulling van zandwinputten. De opvulling van het laatste deel is bij benadering lineair.

¹ Met 'doorstroomoppervlak' wordt bedoeld het dwarsprofiel dat wordt gebruikt om sediment naar de put aan te voeren, bijvoorbeeld de geuldoorsnede.

4.3 Morfodynamische situatie van de geul

Het doorstroomoppervlak¹ van een getijdegeul wordt mede bepaald door de hoeveelheid water die er tijdens eb en vloed doorheen stroomt (het getijvolume). Een geul streeft ernaar beide parameters met elkaar in een morfodynamisch evenwicht te brengen. Indien het doorstroomoppervlak van een geul kunstmatig wordt vergroot (bijvoorbeeld a.g.v. baggerwerk of schelpenwinning in een geul), zal de geul de neiging hebben te sedimenteren² om zo het doorstroomoppervlak weer in evenwicht te brengen met het getijvolume. Andersom geldt dit ook: na een kunstmatige geulvernauwing (bijvoorbeeld door het storten van baggerspecie) treedt erosie op.

De opvulsnelheid van een (schelpen-)winput zal mede worden bepaald door de vraag in hoeverre de geul zich in zijn morfo-dynamische evenwichtssituatie bevindt of niet. Een winput in een geul met een te groot doorstroomoppervlak zal in theorie sneller aanzanden dan wanneer de geul in evenwicht is. Een put in een geul met een te nauw doorstroomoppervlak zal in theorie niet of slechts gedeeltelijk aanzanden: de algemene trend in de geul zal erosie zijn.

In het kader van de onderhavige studie is geen gedetailleerd onderzoek gedaan naar de vraag wat de morfodynamische situatie is in de Noordmeep. Daarom kan niet worden aangegeven in hoeverre de geul ten tijde van het onderzoek in dynamisch evenwicht verkeerde. Wat echter wel duidelijk is, is dat in deze geul in de afgelopen decennia veel activiteiten hebben plaatsgevonden die de morfodynamische situatie hebben beïnvloed. In deze geul vindt al jaren achtereen schelpenwinning plaats (De Vries, 2000b). Daarnaast heeft in het verleden zandwinning plaatsgevonden. Ook wordt in de West- en Noordmeep baggerspecie gestort. In 2000 is in totaal 69.000 m³ baggerspecie gestort (opgave RWS-DNN). In de Slenk (een nabijgelegen geul die onderdeel uit maakt van de vaarroute naar Terschelling) wordt juist gebaggerd om deze geul op diepte te houden.

Wanneer gekeken wordt naar het gedrag van het controle vak bij beide schelpenwinputten (tabel 3 en 4; figuren 8 en 9), is te zien dat de omgeving van de schone schelpen winput eroderend is (in het controle vak is het erosie volume significant groter dan het sedimentatie volume). De omgeving van de kleischelpen winput was min of meer stabiel (de erosie en sedimentatie volumes in het controle vak zijn van dezelfde orde grootte). Wellicht verklaart dit het verschil in opvulsnelheid tussen de putten. Dit toont aan dat zelfs op korte afstand het natuurlijk gedrag verschillend kan zijn.

² Randvoorwaarde is echter wel dat er sediment aanwezig moet zijn om aan de sedimentvraag van de geul te voldoen.

4.4 Schelpen als channel-lag

Een specifieke morfodynamische situatie kan optreden als schelpenconcentraties op de bodem van een geul functioneren als een beschermende laag (een zogenaamd 'channel-lag'). De schelpenlaag beschermt het onderliggende sediment tegen erosie door stroming doordat er relatief grote stroomsnelheden nodig zijn om schelpen te transporteren. In het rapport 'Literatuur- en bronnenstudie vervolgonderzoek Schelpenwinning' (De Vries, 2000a) wordt aangegeven dat in een dergelijke situatie, op het moment dat deze schelpenlaag wordt verwijderd door schelpenwinning, erosie van het onderliggende sediment plaatsvinden. De opvulling van de schelpenwinput zal dan niet of zeer langzaam plaatsvinden.

Een schelpenlaag kan echter alleen als channel-lag functioneren wanneer de schelpen direct aan het bodemoppervlak voorkomen. Dat is bij beide onderzochte winputten niet het geval. Het is daarom niet waarschijnlijk dat de verklaring voor de lage opvullingssnelheid kan worden gevonden vanuit een beschouwing over schelpenconcentraties als channel-lag.

4.5 Conclusies winput gedrag

De empirische relatie voor de opvulling van zandwinputten is niet toepasbaar op schelpenwinputten en kan het gedrag van schelpenwinputten niet verklaren. Toch is de verwachting dat grotere putten wel meer tijd nodig hebben om op te vullen. In het geval van de bestudeerde putten verloopt de opvulling lineair. Ook komt naar voren dat de lokale morfodynamische situatie invloed heeft op de opvulsnelheid.

5 Morfologische en ecologische effecten van schelpenwinputten

In dit hoofdstuk worden de morfologische en ecologische effecten van schelpenwinning op een rij gezet. Er wordt getracht met de huidige resultaten uitspraken te doen over de te verwachten grootte van het aangetaste oppervlak (paragraaf 5.1.1) en hoe het gedrag van schelpenwinputten en terugstort in relatie staat tot de natuurlijke dynamiek (paragraaf 5.1.2). In 5.2.1 wordt gekeken naar de bodemfauna in geulen en de effecten hierop als gevolg van schelpenwinning (5.2.2 – 5.2.4).

5.1 Morfologische effecten

5.1.1 Grootte aangetast oppervlak

Winput

Door het ontstaan en verplaatsing van de winput wordt een bepaalde bodemoppervlakte aangetast. Deze oppervlakte is groter dan de oppervlakte van de winput zelf. Op basis van de waarnemingen in dit rapport wordt deze factor geschat op ca. 2 (d.w.z. dat de put zich verplaatst over een afstand gelijk aan zijn lengte)³. Uit de gegevens van de onderzochte winputten kan worden afgeleid dat bij het ontstaan van de put ca. 0,6 m² bodem per m³ winput wordt aangetast (tabel 6). Voor een schatting van het effect voor de gehele Waddenzee wordt er vanuit gegaan dat er per m³ gewonnen schelp 10 m³ winput nodig is. Op jaarbasis worden in de Waddenzee (PKB-gebied) 90.000 m³ schelpen gewonnen. Het winput oppervlak dat daardoor ontstaat is ca.: $90.000 \cdot 10 \cdot 0,6 = 0,54 \cdot 10^6$ m² groot. De winput verplaatst echter ook, de totale grootte van het aangetaste oppervlakte door de winput beslaat dan ca.: $0,54 \cdot 10^6 \cdot 2 = 1,08 \cdot 10^6$ m², ofwel 1,08 km² op jaarbasis.

Schelpenwingebieden liggen alleen in geulen dieper dan NAP -5 m. Het totale gebied beneden NAP -5 m in de Waddenzee (excl. Buitendelta's en Eems) heeft een oppervlakte van ca. 300 km² (De Vries, 2000c). De geschatte grootte van het aangetaste oppervlakte door de winput van 1,08 km² beslaat 0,35 % van dit gebied. De duur van deze aantasting is niet overal bekend, maar bedraagt op basis van de onderzochte putten waarschijnlijk gemiddeld een half jaar (tabel 6).

³ Het is mogelijk hiervoor in dit kader een verklaring te geven (zie bijlage D).

	Schone schelpen	Kleischelpen
Gewonnen schelpen	150 m ³	200 m ³
Winput volume	2172 m ³	1599 m ³
Winput oppervlakte	Ca. 1400 m ² (35x40)	Ca. 900 m ² (30x30)
Winput verplaatsing	35 m	20 m
Verstoorde oppervlakte door winput per m ³ winput volume	0,64	0,56
Winput volume per m ³ gewonnen schelpen	14,5	8,0
Winput opgevuld na	7,5 maanden	4,5 maanden
Terugstort volume	1696 m ³	731 m ³
Terugstort oppervlakte	Ca. 6750 m ² (75x90)	Ca. 6000 m ² (120x50)
Verstoorde oppervlakte door terugstort per m ³ winput volume	3,11	3,75
Terugstort verdwenen na	1 maand*	1 maand

*Tabel 6: Overzicht van enkele karakteristieken van de onderzochte schelpenwinputten. * de terugstort is niet geheel verdwenen na 1 maand, zie paragraaf 3.2.1.*

Terugstort

Door het terugstorten van sediment tijdens schelpenwinning wordt ook een bepaalde bodemoppervlakte aangetast⁴. Uit de gegevens van de onderzochte winputten kan worden afgeleid dat bij de het terugstorten ca. 3,5 m² bodem per m³ winput wordt aangetast (tabel 6). Voor een schatting van het effect voor de gehele Waddenzee wordt er vanuit gegaan dat er per m³ gewonnen schelp 10 m³ winput nodig is. Op jaarbasis worden in de Waddenzee (PKB-gebied) 90.000 m³ schelpen gewonnen. De grootte van het aangetaste oppervlakte door de terugstort beslaat dan ca.: $90.000 \cdot 10 \cdot 3,5 = 3,15 \cdot 10^6$ m², ofwel 3,15 km² op jaarbasis. Dit beslaat 1,05 % van het gebied beneden NAP-5 m in de Waddenzee. De duur van deze aantasting is niet overal bekend, maar bedraagt op basis van de onderzocht winputten waarschijnlijk 1 maand (tabel 6).

5.1.2 Locale erosie en sedimentatie en natuurlijke dynamiek

De verplaatsing van de winputten betekent dat aan de bovenstroomse zijde van de put aanzanding en aan de benedenstroomse zijde erosie optreedt. Door de wisseling van eb en vloed wisselen echter ook deze zijden van de put. Het netto resultaat is afhankelijk van het verschil in stroomsnelheid tussen eb en vloed. Voor de schone schelpen winput is de (verticale) erosie ca. 1 cm/dag (figuur 7). Voor de kleischelpen winput is deze veel kleiner. De sedimentatie is ca. 5 cm per dag voor beide winputten (figuur 7 en 10).

⁴ De grootte van deze oppervlakte en de laagdikte zijn in redelijke mate te verklaren en te voorspellen (bijlage E).

Het morfologisch gedrag van de winput kan vergeleken worden met de natuurlijke dynamiek van de geulbodem teneinde in te schatten hoe groot de verstoring is. Volgens Glim et al (1988) varieert de hoogte van de "zandgolven" op de bodem van de geulen in het kombergingsgebied van het Zeegat van het Vlie van ca. 0,4 tot 2 m (voor ondiepe resp. diepe geulen) en is gemiddeld 0,77 m. In bijvoorbeeld het Gat van Schiermonnikoog zijn duinen gemeten met een hoogte van ca. 0,7 m en een lengt van ca. 14 m (ca. 20-maal de hoogte) (Mulder, 1993). Volgens de literatuurstudie van De Vries (2000a) kunnen de megaribbels onder springtijomstandigheden migratiesnelheden hebben van enkele cm's tot enkele meters per getijde. Op basis van deze globale informatie zou in de Waddenzee de natuurlijke verplaatsing van de megaribbels of duinen gepaard kunnen gaan met verticale bodembewegingen van een mm tot een dm per dag. Dit geeft de indruk dat de erosiesnelheden in en rond de winput (tot ca. 1 cm/dag) van de zelfde orde van grootte zijn als die van een natuurlijke geulbodem. De sedimentatiesnelheid in de winput tot ca. 5 cm/dag is waarschijnlijk groter dan in de natuur.

5.1.3 Conclusies morfologische effecten

De geschatte grootten van het aangetaste oppervlak door de winput en de terugstort beslaan respectievelijk 1,08 km² en 3,15 km². Dit komt overeen met respectievelijk 0,35 % en 1,05 % van het oppervlak van de geulen in de Waddenzee, gelegen beneden NAP -5 m (alleen beneden deze diepte zijn schelpenwingebieden aangewezen). De duur van deze aantasting bedraagt, op basis van de onderzocht winputten, waarschijnlijk enkele maanden tot 2/3 jaar voor de door winputten aangetaste oppervlakten en 1 tot enkele maanden voor de door de terugstort aangetaste oppervlakten.

Hierbij moet opgemerkt worden dat hierbij uitgegaan wordt van relatief kleine winputten (oppervlakte ca. 1.000 m²) zoals in deze studie onderzocht. Dit zijn echter relatief kleine putten, er zijn putten bekend met een oppervlakte van enkele tientallen hectares (1 ha = 10.000 m²). Bij het ontstaan van deze grote putten wordt gedurende de schelpenwinning een deel van het sediment teruggestort in delen van de winput die eerder ontstaan zijn. De geschatte grootten van het aangetast oppervlak voor de winput en terugstort samen zullen dan kleiner zijn. Hoeveel kleiner is echter moeilijk te zeggen.

De erosiesnelheden in en rond de winput (tot ca. 1 cm/dag) zijn van de zelfde orde van grootte zijn als die van een natuurlijke geulbodem. De sedimentatiesnelheid in de winput tot ca. 5 cm/dag is waarschijnlijk groter dan in de natuur.

5.2 Ecologische effecten

In het onderstaande wordt uitgegaan van schelpenwinning in min of meer dynamische geulen. De fauna van de rustige, min of meer vlakke onderwaterbodems (Mossel, Wadslakje) zoals die te vinden zijn in de westelijke Waddenzee worden dus niet in de beschouwing betrokken. Als leidraad voor deze paragraaf heeft het document "Ontsnappen of begraven blijven" van Bijkerk (1988) gediend. Verder wordt nu alleen uitgegaan van sedimentatie van zand. Slib gaat al in suspensie in het proceswater overboord en wordt dan ver verspreid zodat waarschijnlijk van aantoonbare slib sedimentatie geen sprake is. De terugstort die ontstaat bij de winning van kleischelpen bestaat om bovenstaande reden waarschijnlijk uit zand en misschien de wat grotere kleibrokjes (zie pagina 14, paragraaf 3.1). Nader zou moeten worden bekeken of klei misschien in de vorm van brokken toch kan sedimenteren; in dat geval kan verstikking van bodemdieren optreden bij laagdiktes van slechts enkele cm's.

5.2.1 Bodemfauna in de Waddenzee

De geulen in de Waddenzee bevatten een vrij arme fauna. Daarin zijn vooral te vinden:

- Op schelpen: de slibanemoon *Sagartia troglodytes*, enkele hardsubstraatbewoners zoals bryozoënkolonies en misschien een enkele Oester
- In het zand: Lage dichtheden van de schelpdieren Zaagje, Kokkel en in niet al te dynamische gebieden ook Nonnetje en Amerikaanse zwaardschede. Eveneens in lage dichtheden de wormsoorten *Capitella capitata*, *Eteone longa*, *Magelona mirabilis/johnstonii*, *Nephtys cirrosa*, *Nephtys hombergii* en *Lanice conchilega*. Incidenteel kunnen ook andere soorten voorkomen, zoals *Sabellaria spinulosa*.
- Min of meer vrij levend in de bovenlaag van het zand en op het zand: de kreeftachtigen *Urothoë grimaldii*, *Bathyporeia pilosa*, gewone Garnaal, Strandkrab en Zwemkrab. Ook jonge platvis en in het zand verscholen vis zoals Zandspiering en Smelt kunnen bij deze categorie gerekend worden.

Bodemdieren in een wadgeul moeten bestand zijn tegen voortdurende erosie en sedimentatie. De snelheden die daarbij bereikt worden zijn echter klein, doordat het zand voornamelijk langs rolt, met slechts een zeer kleine netto sedimentatie, die zelden meer zal zijn dan enkele millimeters per uur. In het geval van de terugstort, is er sprake van snelle eenmalige sedimentatie die gevolgd wordt door een langer durend effect van erosie en sedimentatie die hoort bij de verdere geleidelijke verspreiding van het sediment, waarbij zowel het uitgeworpen zand als de winput uiteindelijk verdwijnen. Gegeven de natuurlijke potenties van de aanwezige bodemdieren zullen overlevenden na het neer-regenen van het uitgeworpen zand ook wel bestand zijn tegen de (tragere) processen die daarna gaan spelen.

5.2.2 Ecologische effecten tijdens winning

Winput

In de winput zelf valt het sediment in, waarbij toevallig in het oppervlak van de zandmassa zittende dieren worden gevangen. Aangenomen moet worden dat deze verstikken of later met de schelpen worden opgezogen. In beide gevallen lijken hun overlevingskansen klein. Alleen zwemmende en lopende fauna (Garnalen, Strandkrabben, vissen) zal zich ten dele uit de voeten kunnen maken. De oppervlakte van de winputten in deze studie zijn maar klein: ca. 1000 m² (0,1 ha). De totale geschatte winput oppervlakte die per jaar ontstaat is 0,54 km² (pagina 26, paragraaf 5.1.1).

Terugstort

De effecten op de omgeving van de winput zijn waarschijnlijk groter dan die in de winput zelf, omdat hier een groter gebied bedekt kan raken met zand. In tabel 7 staan de oppervlaktes behorende bij een bepaalde grens in sedimentatie dikte.

Sedimentatie (cm)	Oppervlakte			
	Schone schelpen		Kleischelpen	
	(m ²)	(%)	(m ²)	(%)
0	6792	100,0	6128	100,0
5	5464	80,4	4373	71,4
10	4560	67,1	3046	49,7
25	2662	39,2	739	12,1
50	1048	15,4	34	0,6
100	12	0,2	-	-
Maximale dikte	1,04 m		0,63 m	

Tabel 7: Terugstort oppervlakte (m² en %) behorende bij een ondergrens in sedimentatie.

Het sediment dat als terugstort bij de schelpenwinning stroomafwaarts van de winput op de bodem terecht komt 'regent' als het ware naar beneden, in de loop van enkele uren. Zoals uit het onderzoek blijkt ontstaat daarbij een asymmetrische zandkegel met een hoogte van meer dan een meter op het hoogste punt. Doordat die kegel geleidelijk wordt gevormd kunnen snel gravende dieren zich al gaan uitgraven voordat de hele laag is aangebracht. Omdat hierover geen gedetailleerde informatie bestaat wordt vooralsnog uitgegaan van een 'worst case', waarin het zand toch in een heel korte tijd naar beneden komt. In dat geval gelden uitgraafdieptes zoals ze zijn beschreven door Bijkerk (1988): Gevoelige dieren gaan al dood bij bedekking van circa 10 cm, andere kunnen zich zelfs nog omhoogwerken vanonder een halve meter zand. Enkele voorbeelden: Kokkel 16 cm, Zaagje 21 cm, *Bathyporeia* 40 cm, Zwaardschede 50 cm, Zeester 60 cm.

In het geval van een winning van schone schelpen zou dit per winning kunnen betekenen dat ongeveer (tabel 7):

- 15 % bedekt is met een laagdikte van meer dan 50 cm in het geval van zand, waardoor daar praktisch alle bodemdieren zouden sterven;
- 25 % bedekt is met een laagdikte tot 25 à 50 cm, waardoor enkele zeer snelle en goede gravers zouden overleven (de twee zandzagersoorten *Nephtys hombergi* en *cirrosa*;
- 30 % met bedekkingen tot 10 à 25 cm, waar bovendien Kokkels en Nonnetjes zouden kunnen overleven, en wellicht de wormen *Capitella*, *Magelona* en *Eteone*;
- 10 % bedekt is met een laagdikte tot 5 à 10 cm, waarbij ook Slib-anemonen nog kunnen overleven;
- 20 % bedekt is met een laagdikte kleiner dan 5 cm.

Bij bedekking met slibrijk zand of slib liggen de overlevingskansen misschien iets minder gunstig dan bij zand, maar de verschillen ten opzichte van bedekking met zand zijn maar klein (Bijkerk, 1988). Hieronder zijn dezelfde laagdiktes als bij bedekking met zand aangehouden voor vergelijkbare effecten op de bodemfauna. Uit de resultaten van de schelpenwinning met kleischelpen valt voorlopig af te leiden dat in het sedimentatie gebied ongeveer (tabel 7):

- minder dan 1 % met een laagdikte van meer dan 50 cm;
- 10 % met een laagdikte van 25 à 50 cm;
- 40 % met bedekkingen tussen 10 en 25 cm;
- 20 % met een laagdikte tussen 5 en 10 cm;
- 30 % met een laagdikte kleiner dan 5 cm;

In de periferie van de terugstort (bedekking minder dan 5 cm) zou nog een beetje sterfte kunnen optreden bij zeer gevoelige dieren, zoals oesters. Die komen echter niet veel in geulen (meer) voor. Ook kleine aan schelpen vastgehechte organismen zoals kleine Hydroïdpoliepen en Mosdiertjes (*Bryozoa*) zouden al kunnen stikken onder enkele cm zand, omdat zij niet in staat zijn om zich omhoog te werken.

Lopende en zwemmende dieren zoals Strandkrabben, Garnalen, Heremietkreeften, *Batyporeia* zouden wellicht grotendeels aan het neer-regenen van zand kunnen ontsnappen, waarbij de kleinste soorten (*Batyporeia* en *Urothoe*) misschien toch nog problemen zouden krijgen bij laagdiktes van 40 cm en meer.

Voor het totale PKB-gebied gaan we uit van een totale oppervlakte bedekking door de terugstort van 3,15 km² (pagina 26, paragraaf 5.1). Uit wingegevens van de periode 1990 t/m 1999 blijkt dat gemiddeld per jaar 53.000 m³ kleischelpen en 32.000 m³ schone schelpen gewonnen zijn. Aangezien er in het PKB-gebied 90.000 m³ schelpen per jaar mogen worden gewonnen en de laatste tijd een verschuiving plaats vindt van minder kleischelpen en meer schone schelpen wordt er uit gegaan van 45.000 m³ kleischelpen en 45.000 m³ schone schelpen per jaar. Het totale oppervlak van de terugstort verschilt niet wezenlijk

tussen de winning van schone schelpen en kleischelpen (tabel 6), de dikte van bedekking echter wel (tabel 7). In tabel 8 staat voor welk oppervlak welke sediment dikte optreed en wat de effecten op de bodemfauna zijn. Deze bedekkingen betekenen dat in ongeveer 26 ha alle bodemfauna sterft, dat in ongeveer 55 ha alleen enkele snel kruipende bodemdieren kunnen overleven, in ongeveer 158 ha de meeste beweeglijke bodemdieren overleven en dat in 79 ha alleen een gering effect meetbaar zal zijn bij kleine niet beweeglijke dieren zoals op schelpen vastgehechte mosdiertjes.

Sediment dikte	Oppervlak Schone schelpen		Oppervlak Kleischelpen		Totaal oppervlak	Effect
	%	Km ²	%	km ²		
> 50 cm	15	0,24	<1	<0,02	0,26	Alle bodemfauna sterft
25-50 cm	25	0,39	10	0,16	0,55	Alleen enkele snelkruipende en goede gravers overleven
10-25 cm	30	0,47	40	0,63	1,10	Meest bewegelijke bodemdieren overleven
5-10 cm	10	0,16	20	0,32	0,48	Ook slib-anemonen overleven
< 5 cm	20	0,32	30	0,47	0,79	Alleen een gering effect bij niet bewegelijke dieren zoals op schelpen vastgehechte mosdiertjes

Tabel 8: Grootte van de door verschillende sediment diktes beïnvloede oppervlakte en bijbehorende effecten op de bodemfauna zijn voor de jaarlijkse schelpenwinning in het PKB-gebied.

5.2.3 Ecologische effecten na winning

Na de winning zal de winput geleidelijk opvullen en de terugstort geleidelijk eroderen, onder gelijktijdige verschuiving in de overheersende stroomrichting. De indruk bestaat dat de sedimentatie- en erosiesnelheden rond de winput tot ca. 1 cm/dag van de zelfde orde van grootte zijn als die bij de natuurlijke verplaatsing van duinen en ribbels op de geulbodem (paragraaf 5.1.2). Zeer lokaal, namelijk in de winput, zou de sedimentatiesnelheid tot ca. 5 cm/dag kunnen oplopen. Dat is waarschijnlijk groter dan in natuurlijke omstandigheden gebruikelijk is (paragraaf 5.1.2). Op zulke plekken zou vertraging van vestiging van bodemfauna kunnen optreden. Voor de relatief arme geulbodem is dit gezien de geringe oppervlakte een marginaal effect.

5.2.4 Ecologische hersteltijd

Voor zover de erosie en sedimentatie omstandigheden niet wezenlijk (meer) verschillen van de natuurlijke omstandigheden op ongestoorde plekken kan in de eerste voorzomer volgend op de schelpenwinning een normale vestiging van jonge bodemdieren worden verwacht. Deze

worden als larfje door het water aangevoerd. Deze 'broedval' vindt voornamelijk in de voorzomer plaats. Uit het voorgaande is af te leiden dat ontvolkte gebieden tot het eerstkomende voorjaar moeten wachten totdat op grote schaal vestiging van bodemdieren plaats vindt. Wat dat betreft is schelpenwinning in de zomer relatief nadelig. Wanneer de winning in de winter of in het (vroeg) voorjaar plaats vindt zou de hersteltijd juist relatief kort zijn, behalve misschien op plekken waar zeer snelle sedimentatie of erosie optreedt. Overigens vindt schelpenwinning gedurende het gehele jaar plaats, met onderbrekingen in de winter a.g.v. weersomstandigheden.

Enkele maanden na een nieuwe broedval kan van kort levende dieren een normale fauna worden aangetroffen. Voor langer levende soorten duurt het herstel enkele jaren. Waarschijnlijk verschilt deze ontwikkeling maar weinig van hetgeen is gebleken uit onderzoek naar de ontwikkelingen in zandwin- en zandstortgebieden in de noordzeekustzone (Van Dalfsen en Essink, 1997).

5.2.5 Conclusies ecologische effecten schelpenwinputten

Bij het winnen van schelpen is sterfte van bodemdieren te verwachten op locatie van de winput en onder het uitgeworpen sediment (de terugstort). De winputten zelf beslaan maar een klein oppervlak (54 ha). Bij winning van kleischelpen is de sterfte onder het uitgeworpen sediment waarschijnlijk maar gering. De sterfte door bedekking met zand bij de winning van schone schelpen zou dus het voornaamste effect kunnen zijn op de bodemfauna.

De ecologische effecten van schelpenwinning voor het geulengebied van de Nederlandse Waddenzee zijn dat ongeveer 80 ha (54 ha winput en 26 ha terugstort) geheel ontvolkt wordt, 55 ha grotendeels, 158 ha gedeeltelijk en 79 ha in geringe mate. Daarbij moet in gedachten worden gehouden dat de biomassa per m² in de meeste geulen gering is, namelijk tot 10 gram AVD/m² (op de platen is 30 à 60 gram AVD/m² gewoon) en dat de oppervlakte waarbinnen grote of geringe schade optreedt aan de bodemfauna (ca. 3,7 km²) zeer gering is ten opzichte van de totale oppervlakte van de geulbodem beneden NAP -5 m in de Waddenzee (ca. 300 km²).

6 Conclusies

6.1 Opvulsnelheid en gedrag winput

Indien de lineaire trend in opvulling van de winputten zich voortzet, zullen de putten na 32 (schone schelpen) en 21 (kleischelpen) weken (respectievelijk 7,5 en 4,5 maanden) geheel verdwenen zijn. Dit is echter niet met lodingen bevestigd omdat tussen de laatste en voorlaatste opnamen alweer verstoringen hebben plaats gevonden. Een opvultijd van enkele maanden is echter in tegenspraak met opvultijden van enkele dagen geschat door schelpenwinners en waargenomen door de Geologische Stichting (1952) (De Vries, 2000a). Behalve qua opvulsnelheid verschilt het gedrag van schelpenwinputten waar schone schelpen of kleischelpen gewonnen zijn niet.

Het gedrag van het materiaal dat teruggestort wordt verschilt wel. Bij de winning van schone schelpen komt 72 % van het teruggestorte materiaal in een laag met een gemiddelde dikte van 0,17 m in de omgeving van de winput op de bodem terecht en blijft daar gedurende korte tijd (ca. 1 maand) liggen. Bij de winning van kleischelpen gaat er relatief minder materiaal overboord. Wat overboord gaat tijdens de winning van kleischelpen is het met slib/klei/zand vermengde proceswater. Het materiaal is dus al in suspensie en kan dus relatief gemakkelijk door de stroom opgepikt en over grote afstand verspreid worden. De teruggestorte hoeveelheid is bij kleischelpen daardoor geringer (54 %).

6.2 Morfologische effecten

De geschatte grootten van het totale aangetaste oppervlak door de winput (inclusief de verplaatsing van de winput) en de terugstort dat optreedt tijdens de winning van 90.000 m³ schelpen per jaar in het PKB-gebied beslaan respectievelijk 1,08 km² en 3,15 km². Dit komt overeen met respectievelijk 0,35 % en 1,05 % van het oppervlak van de geulen in de Waddenzee, gelegen beneden de NAP -5 m (alleen beneden deze diepte zijn wingebieden aangewezen). De duur van deze aantasting bedraagt, op basis van de onderzochte winputten, waarschijnlijk enkele maanden tot 2/3 jaar voor de door winputten aangetaste oppervlakten en 1 tot enkele maanden voor de door de terugstort aangetaste oppervlakten. Hierbij moet opgemerkt worden dat hierbij uitgegaan wordt van relatief kleine winputten (oppervlakte ca. 1.000 m²) zoals in deze studie onderzocht. Dit zijn echter relatief kleine putten, er zijn putten bekend met een oppervlakte van enkele tientallen hectares. Bij het ontstaan van deze grote putten wordt gedurende de schelpenwinning een deel van het sediment teruggestort in delen van de winput die eerder ontstaan zijn. De geschatte grootten van het aangetast oppervlak voor de winput en terugstort samen zullen dan kleiner zijn.

De erosiesnelheden in en rond de winput (tot ca. 1 cm/dag) zijn van de zelfde orde van grootte zijn als die van een natuurlijke geulbodem. De sedimentatiesnelheid in de winput tot ca. 5 cm/dag is waarschijnlijk groter dan in de natuur.

6.3 Ecologische effecten

Bij het winnen van schelpen is sterfte van bodemdieren te verwachten op locatie van de winput en onder het uitgeworpen sediment (de terugstort). De winputten zelf beslaan een relatief klein oppervlak (54 ha). Bij winning van kleischelpen is de sterfte onder het uitgeworpen sediment waarschijnlijk gering. De sterfte door bedekking met zand bij de winning van schone schelpen zou dus het voornaamste effect kunnen zijn op de bodemfauna.

De ecologische effecten van schelpenwinning voor het geulengebied van de Nederlandse Waddenzee zijn dat ongeveer 80 ha geheel ontvolkt wordt, 55 ha grotendeels, 158 ha gedeeltelijk en 79 ha in geringe mate. Dit komt overeen met 1,23 % van het oppervlak van de geulbodem beneden NAP -5m in de Waddenzee. Daarbij moet in gedachten worden gehouden dat de biomassa per m² in de meeste geulen gering is.

7 Aanbevelingen

Zoals al opgemerkt in hoofdstuk 4 is het de vraag of de schelpenwinputten die gevolgd zijn ook representatief zijn voor het gedrag van andere schelpenwinputten. De volgende factoren zijn van belang om die representativiteit te beoordelen:

- locatie winput
- grootte winput
- omstandigheden tijdens winnen

De gevolgde putten liggen in het PKB gebied. Ongeveer 60% van de schelpen wordt echter in de buitendelta's, buiten het PKB gebied, gewonnen. Destijds is gekozen voor een locatie binnen het PKB gebied omdat aangenomen wordt dat de eventuele gevolgen van schelpenwinning in de Waddenzee van groter belang is.

De gevolgde putten liggen ongeveer halverwege tussen het zeegat en de meest wad-waartse putten. Dus wat betreft de locatie kan er van worden uitgegaan dat het, voor het PKB gebied, een gemiddelde situatie betreft.

De putten die in het kader van dit onderzoek zijn gemonitord, zijn klein. Er is maximaal 200 m³ schelpen gewonnen. Er zijn geen data bekend die het gedrag van grotere schelpenwinputten volgen. De uitspraken m.b.t. opvulsnelheden en morfologische en ecologische effecten op basis van de huidige resultaten (op basis van de relatief kleine putten) zouden getoetst moeten worden aan gegevens van grotere schelpenwinputten. Het is echter de verwachting dat de huidige resultaten m.b.t. de effecten als een worst case gezien kunnen worden. Indien schelpenwinning in grotere putten plaats zal vinden zal het aangetaste oppervlak naar verwachting afnemen omdat een deel van de terugstort in de winput zelf plaats vindt. Het zou echter aan te bevelen zijn een grotere schelpenwinput te volgen ter onderbouwing van de huidige resultaten.

Literatuur

Bijkerk, R., 1988. Ontsnappen of begraven blijven. De effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden. Literatuuronderzoek. RDD Aquatic Ecosystems, Groningen.

Dalfsen, J.A. van, en K. Essink, 1977: Risk analysis of coastal nourishment techniques in The Netherlands. RIKZ rapport 97.022.

Eysink, W.D., 1979. Morfologie van de Waddenzee: Gevolgen van zand- en schelpenwinning. WL Delft, verslag literatuuronderzoek R 1336, 92 pp.

Glim, G.W., N. de Graaff, G. Kool, M.F. Lieshout en M. de Boer, 1988. Erosie en sedimentatie in de binnendelta van het Zeegat van het Vlie, 1933-1983. RWS, Dir. Noord-Holland, Deelonderzoek nr. 3, Rapport ANWX-88.H204.

Mulder, H.P.J., 1993. Sediment transport in the Friesche Zeegat basin. Field survey of 1991. Rijkswaterstaat, Tidal Waters Division, Report GWAO-93.606x, MAST - WASP project.

NAM, 1998. Integrale bodemdalingstudie Waddenzee. ISBN: 90-804791-4-4.

Reijngoud, T.T., 2001. Eindrapport vervolgonderzoek schelpenwinning. Rapport DNN 826/2001. ISBN 9036935334.

Vries, S. de, 2000a. Literatuur- en bronnenstudie "Vervolgonderzoek Schelpenwinning". GeoPlus b.v., Muntendam. Rapport nr.24507-00.

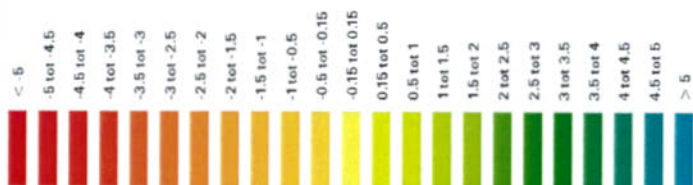
Vries, S. de, 2000b. Vervolgonderzoek Schelpenwinning Waddenzee - kansrijke gebieden voor schelpenaccumulaties en koppeling met grootschalige fysische kenmerken. GeoPlus b.v. Muntendam. Rapport nr. 24505-00.

Vries, S. de, 2000c. Vervolgonderzoek schelpenwinning. Beantwoording van de vragen uit cluster 2 en 3; hydrodynamische en morfologische aspecten van schelpenwinning in de Waddenzee. Geo Plus B.V., Rapport nr. 24508-00, in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee, December 2000.

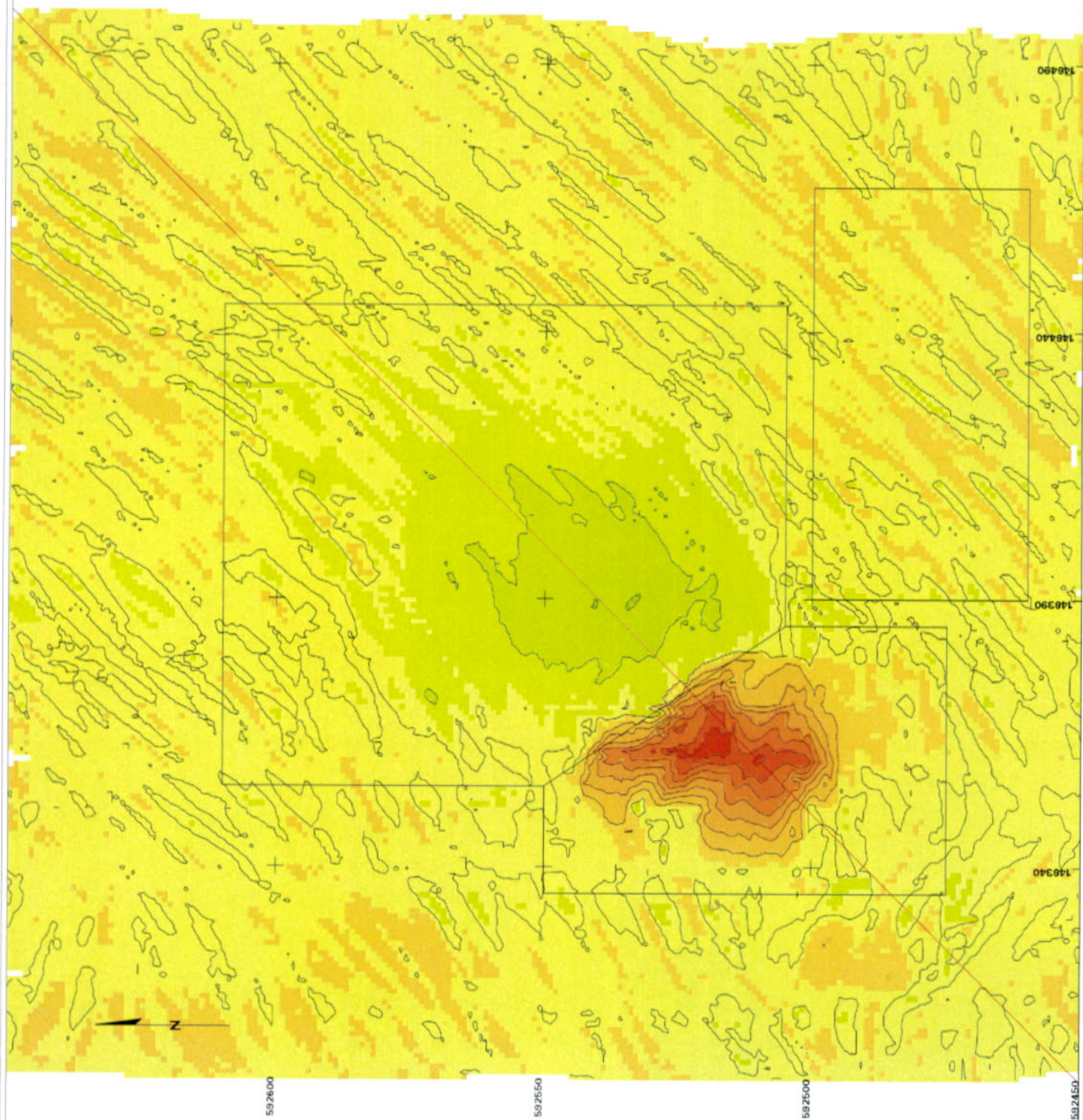
Bijlage A: Verschilkaarten ten opzichte van T_0 – schone schelpen.

Winput schone schelpen
 Begintijdstip: T0
 Eindtijdstip: T1

verschil in meters tov T0



Isolijnen interval : 0.25 meter



GIS-AN

GEODATAPROCESSING EN ANALYSE

NOORD-NEDERLAND

Winput schone schelpen
 Begintijdstip : T0
 Eindtijdstip : T2

verschil in meters tov T0



Isoliijnen interval : 0.25 meter

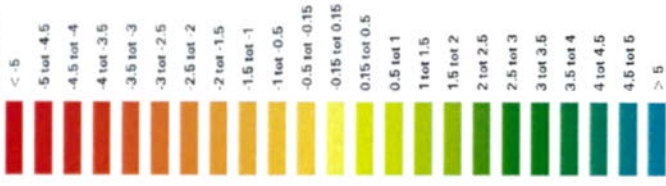


GIS-AN
 GEOGRAFISCH INFORMATIESYSTEEM

NOORD-NEDERLAND

Winput schone schelpen
 Begintijdstip : T0
 Eindtijdstip : T3

verschil in meters tov T0



Isolijnen interval : 0,25 meter

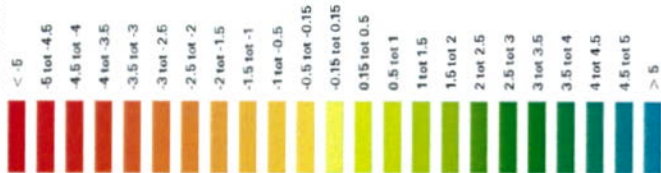


GIS-AN
 GEOGRAFISCHE INFORMATIESYSTEEMEN

NEDERLAND

Winput schone schelpen
 Begintijdstip : T0
 Eindtijdstip : T4

verschil in meters tov T0



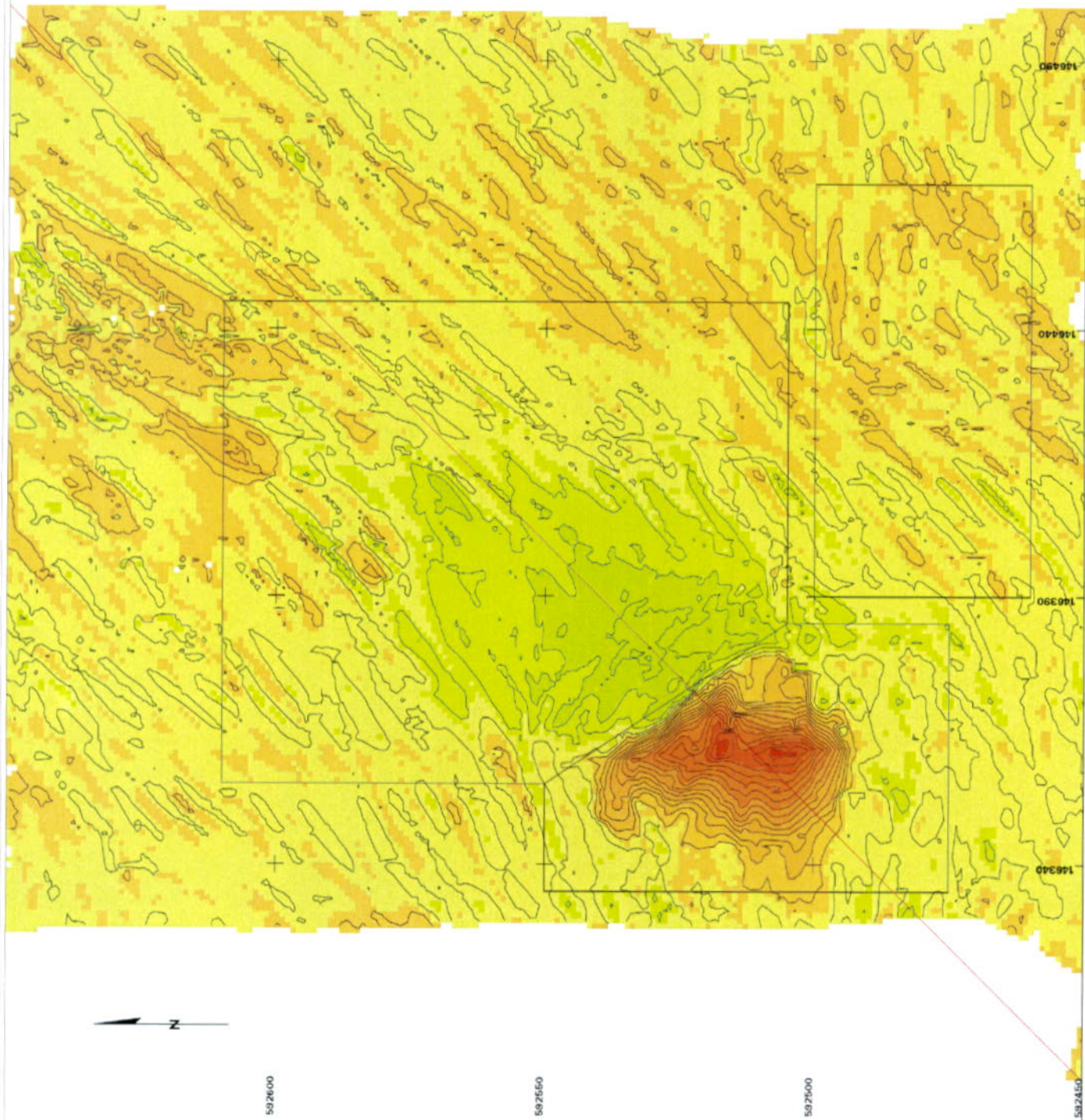
Isoliijnen interval : 0.25 meter



Ministerie van Natuur en Waterland
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 Omgeving Noord-Nederland

GIS-AN
 GEOGRAFISCH INFORMATIE SYSTEEM

NOORD-NEDERLAND



Winput schone schelpen
Begin tijdstip : T0
Eind tijdstip : T5

verschil in meters tov T0



Isoliijnen interval : 0.25 meter



Ministerie van Natuur en Waterland
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Grondwet Noord-Nederland

GIS-AN
GEOGRAFISCH INFORMATIESTEL

NOORD-NEDERLAND

Winput schone schelpen
 Begintijdstip : T0
 Eindtijdstip : T6

verschil in meters tov T0

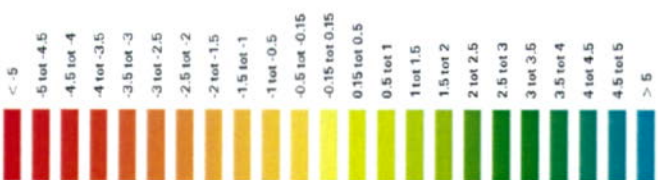


Isolijnen interval : 0.25 meter



Winput schone schelpen
 Begintijdstip : T0
 Eindtijdstip : T7

verschil in meters tov T0

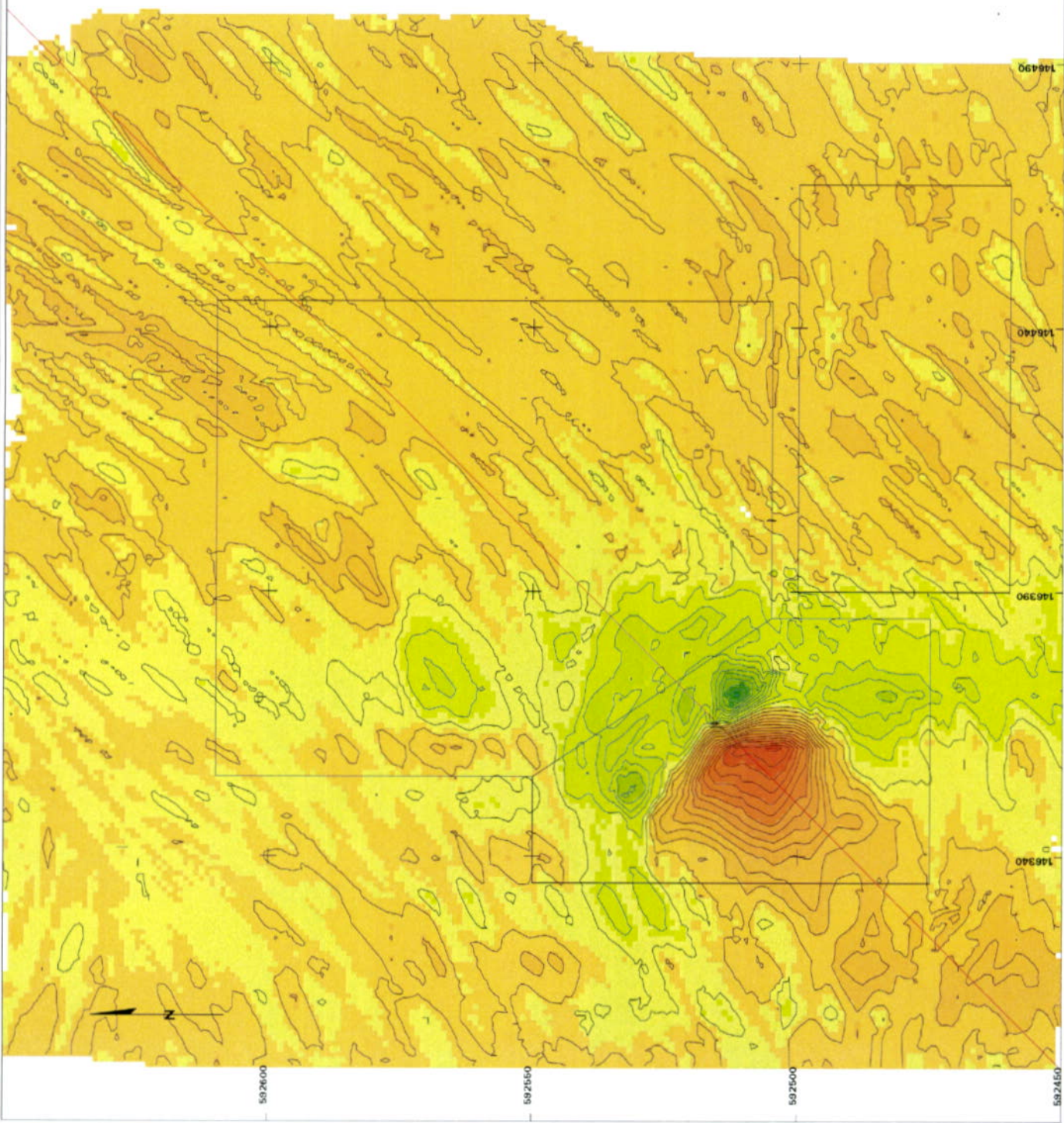


Isolijnen interval : 0.25 meter



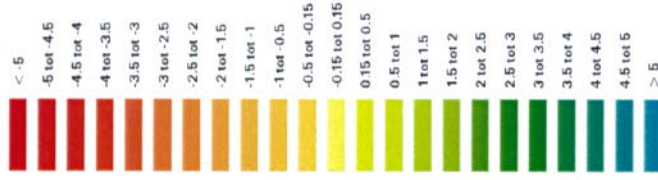
GIS-AN

GEOPRAATIE INFORMATIEK Systeem
 NOORD-NEDERLAND



Winput: schone schelpen
 Begintijdstip : T0
 Eindtijdstip : T8

verschil in meters tov T0



Isoliijnen interval : 0.25 meter



Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedsel
 Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
 Landbouw, Natuur en Voedsel

GIS-AN

GEOGRAFISCH INFORMATIE SYSTEEM

NOORD-NOORD-OOST

Winput schone schelpen
 Begintijdstip : T0
 Eindtijdstip : T9

verschil in meters tov T0

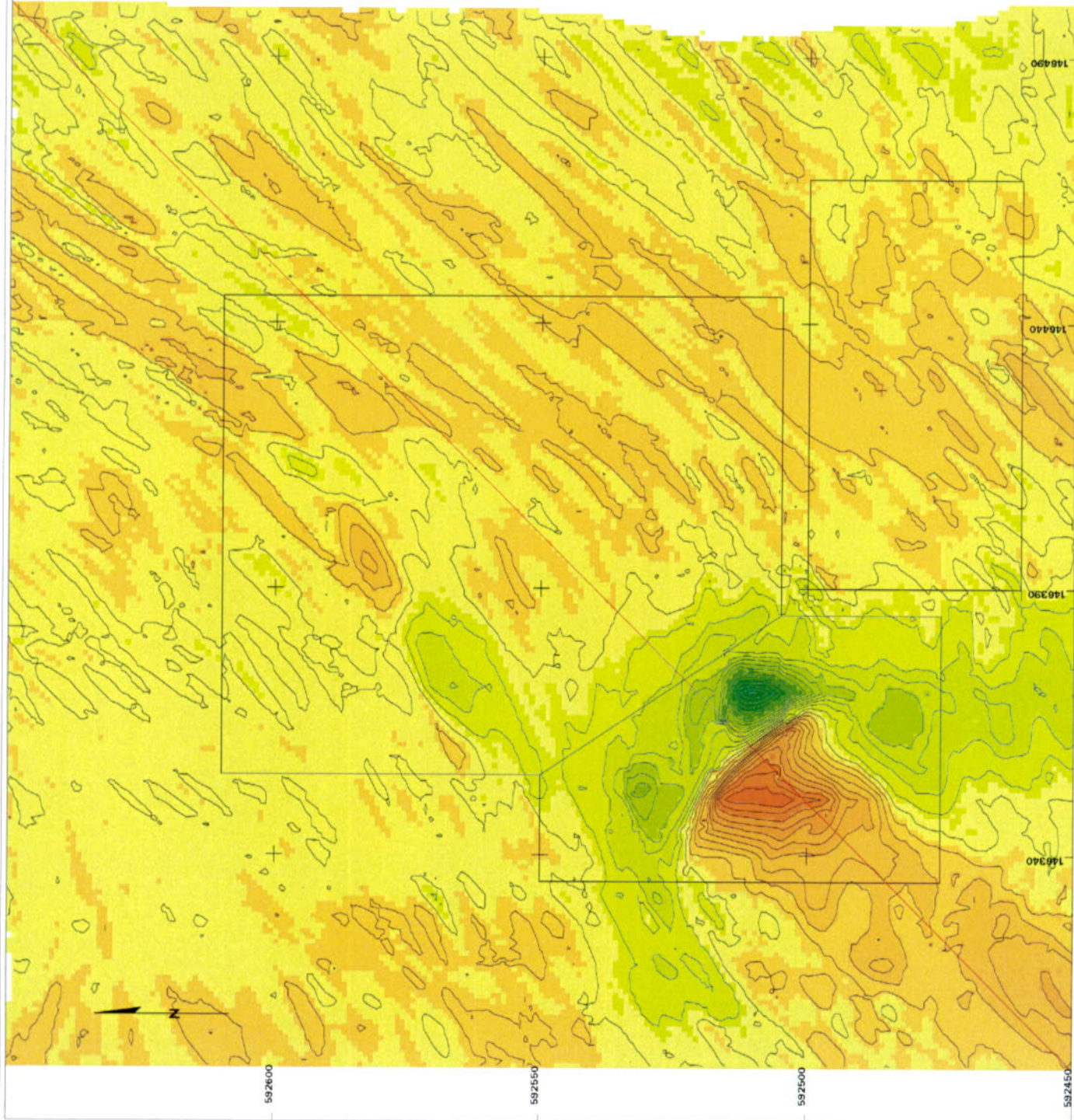


Isolijnen interval : 0,25 meter



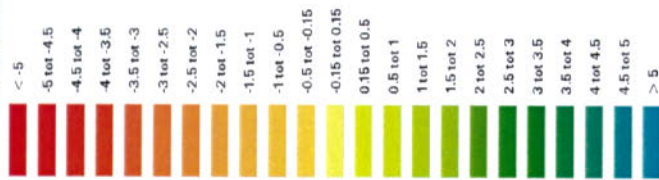
GIS-AN
 GEOGRAFISCHE INFORMATIESYSTEEMEN

NORD: NEDERLAND



Winput schone schelpen
 Begintijdstip : T0
 Eindtijdstip : T10

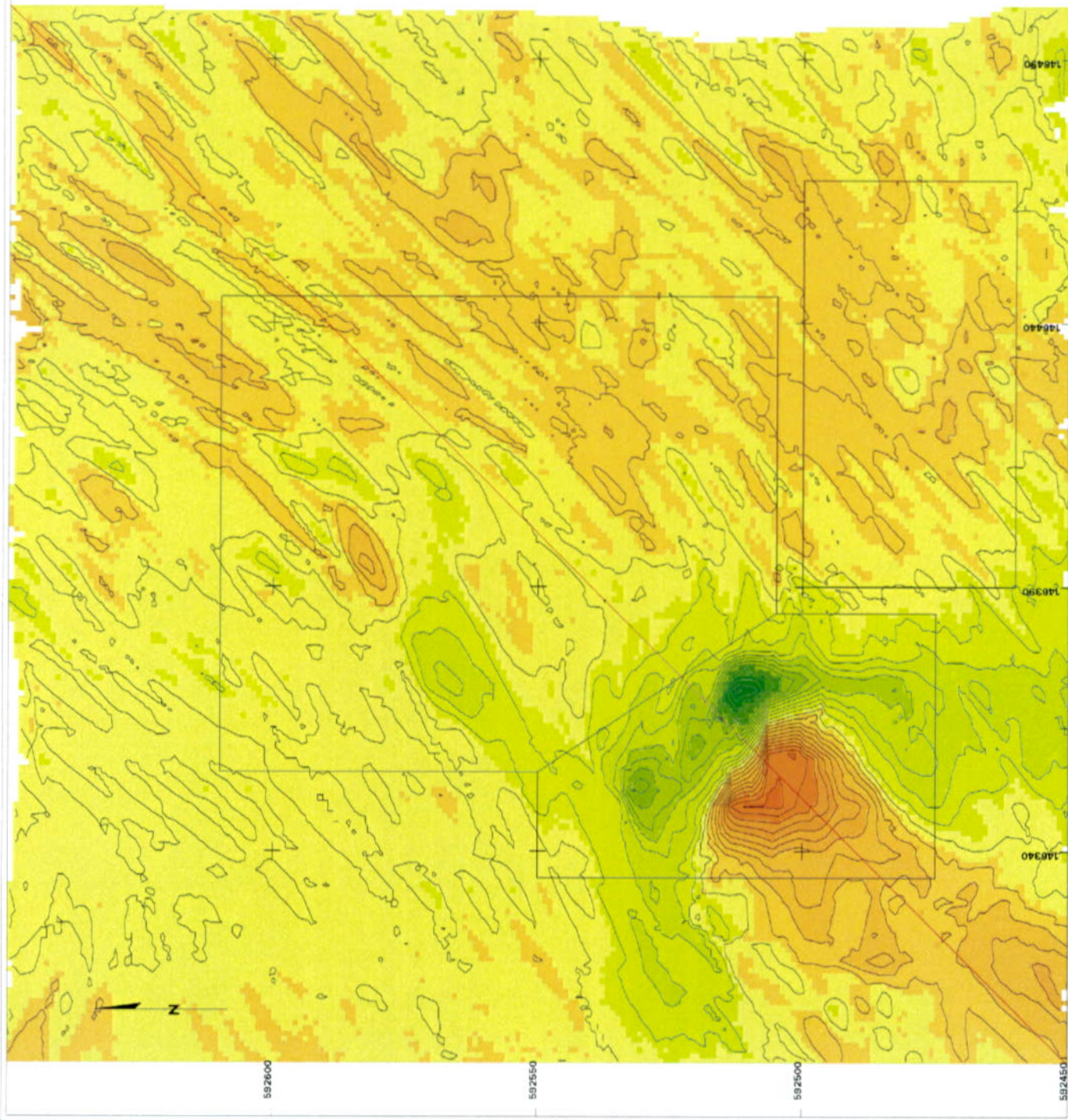
verschil in meters tov T0



Isolijnen interval : 0.25 meter

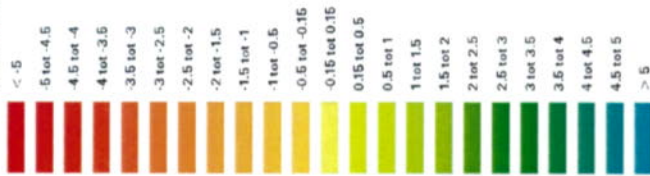


GIS-AN
 GEOMATISCHE INFORMATIE SYSTEEM
 NOORD-NEDERLAND



Winput schone schelpen
Begintijdstip : T0
Eindtijdstip : T11

verschil in meters tov T0



Isoliijnen interval : 0.25 meter



Winput schone schelpen
 Begintijdstip : T0
 Eindtijdstip : T12

verschil in meters tov T0



Isolijnen interval : 0.25 meter



Natuurlijk en Wetenschappelijk
 Dienstencentrum voor de Natuur
 Landbouw en Natuurwetenschappen



GIS-AN

GEOGRAFISCH INSTITUUT

NORD-NEDERLAND

Bijlage B: Verschilkaarten ten opzichte van T_0 – kleischelpen.

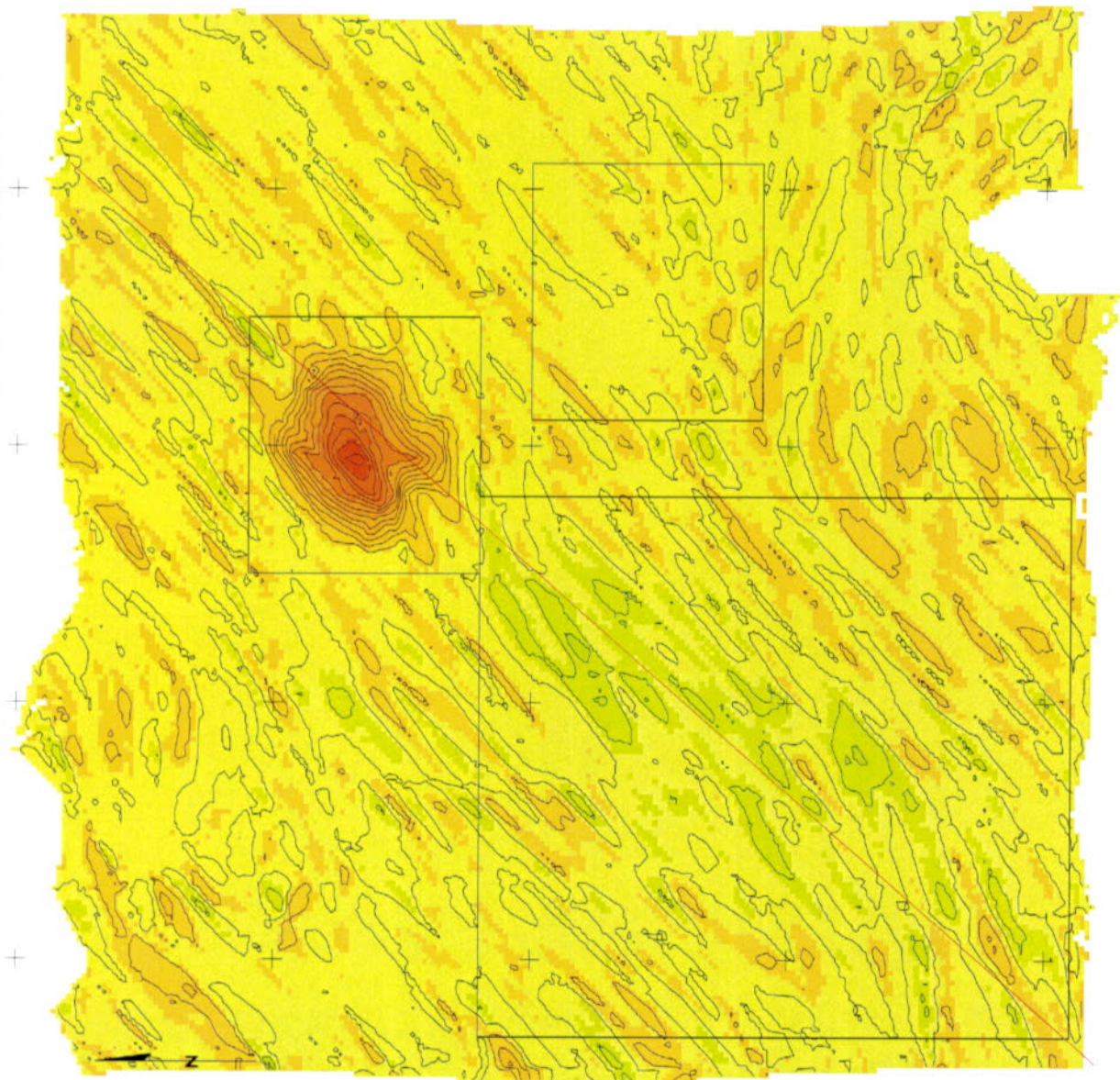
591760

591710

591660

591610

591560



Winput klei schelpen
Begintijdstip : T0
Eindtijdstip : T1

verschil in meters tov T0



Isoliijnen interval : 0.25 meter



Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Streekluchtmanagement

GIS-AN
GEOGRAFISCH INFORMATIESYSTEEM

NOORD-NEDERLAND

145720 145770 145820 145870 145920

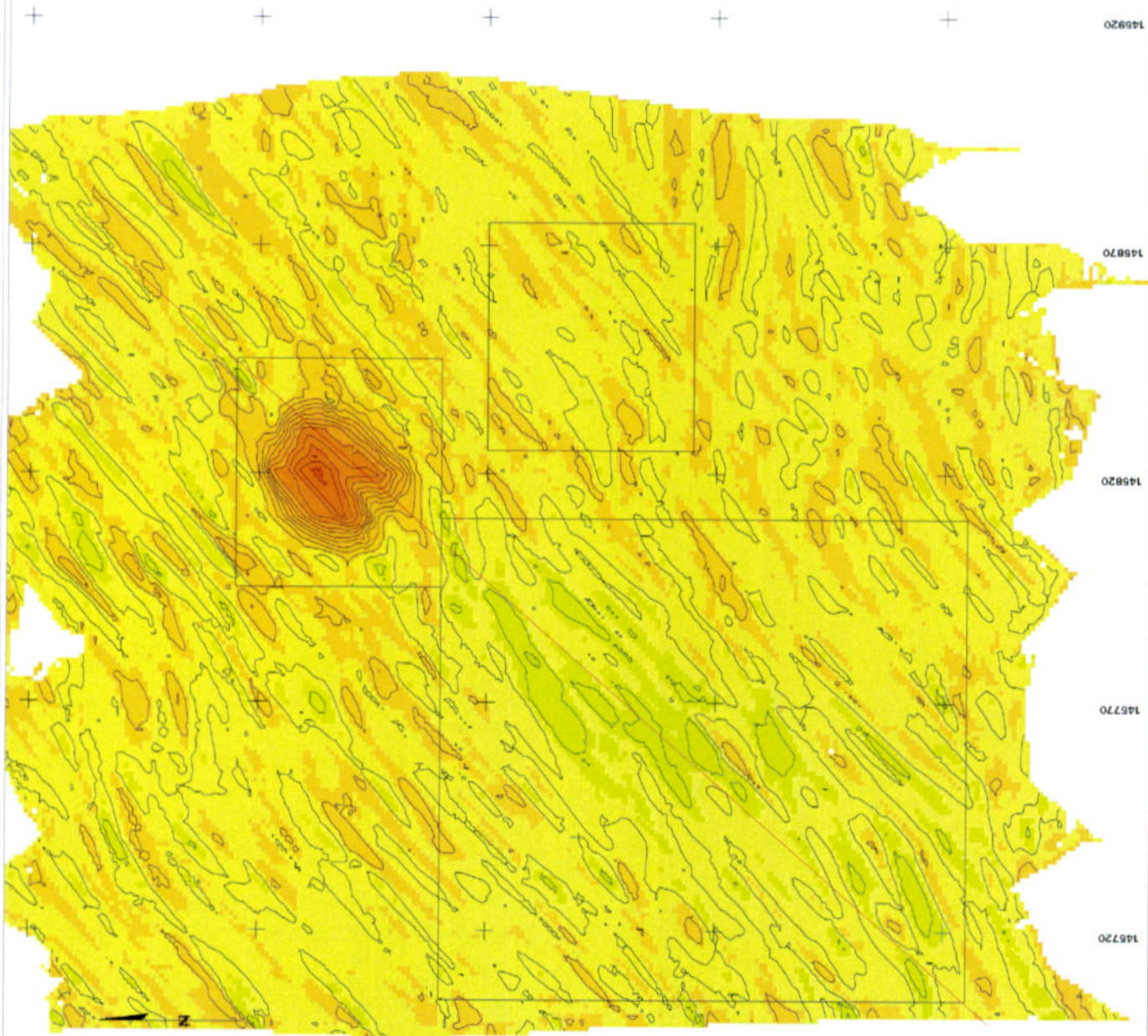
591760

591770

591660

591610

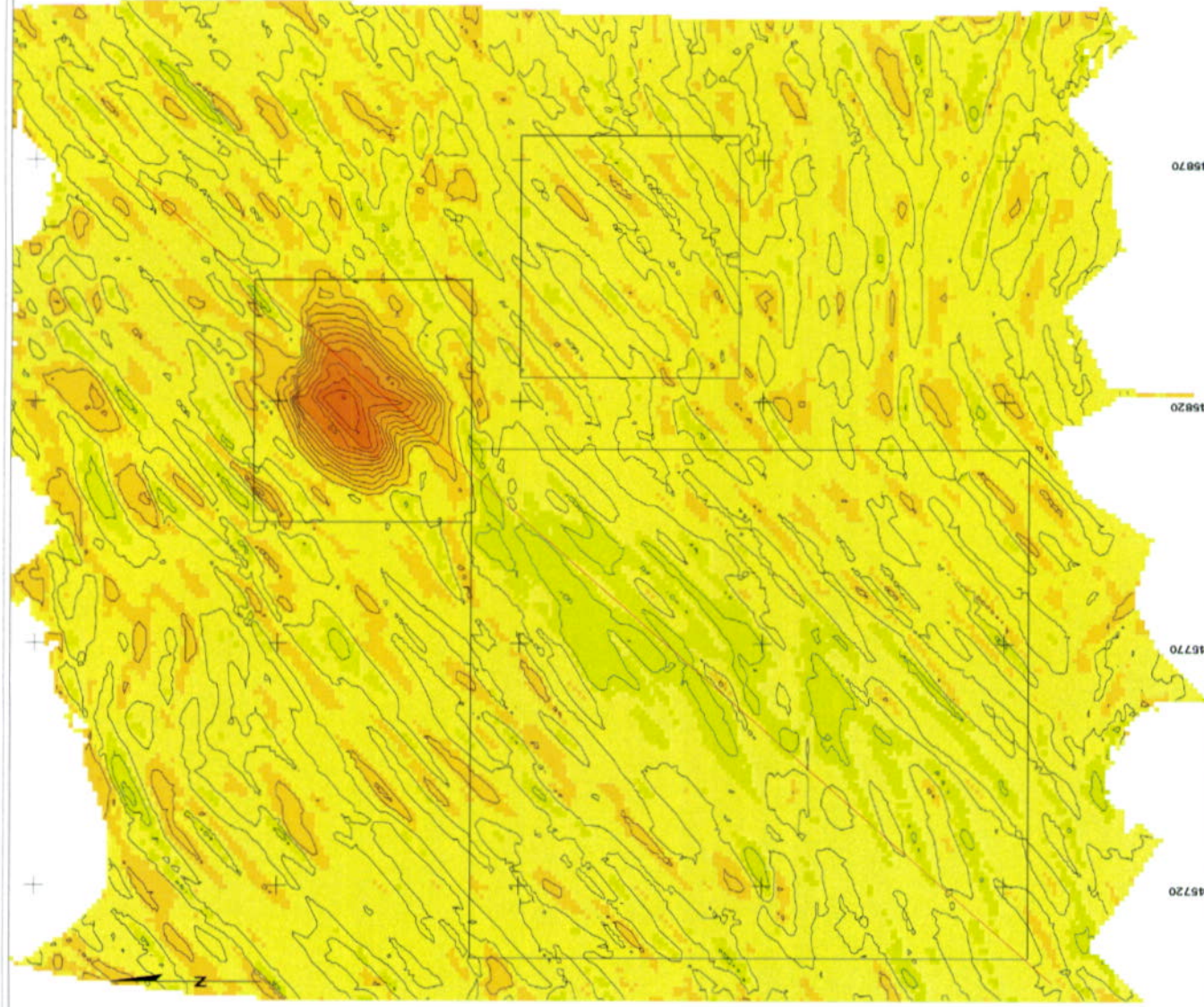
591560



Department of Geomatics Engineering
Faculty of Engineering

GIS-AN

GEOMATICS ENGINEERING
NOORD-NIEUW-AMSTERDAM



Winput klei schelpen
Begintijdstip : T0
Eindtijdstip : T3

verschil in meters tov T0



Isoliijnen interval : 0.25 meter



Ministerie van Infrastructuur en Watermanagement
Diensten voor de Infrastructuur en Waterbouw

GIS-AN

GEOPROCESSING EN VERBODEN TOEGANG

NUMMER: NEDERLAND

591760 591710 591660 591610 591560

145720 145770 145820 145870 145920

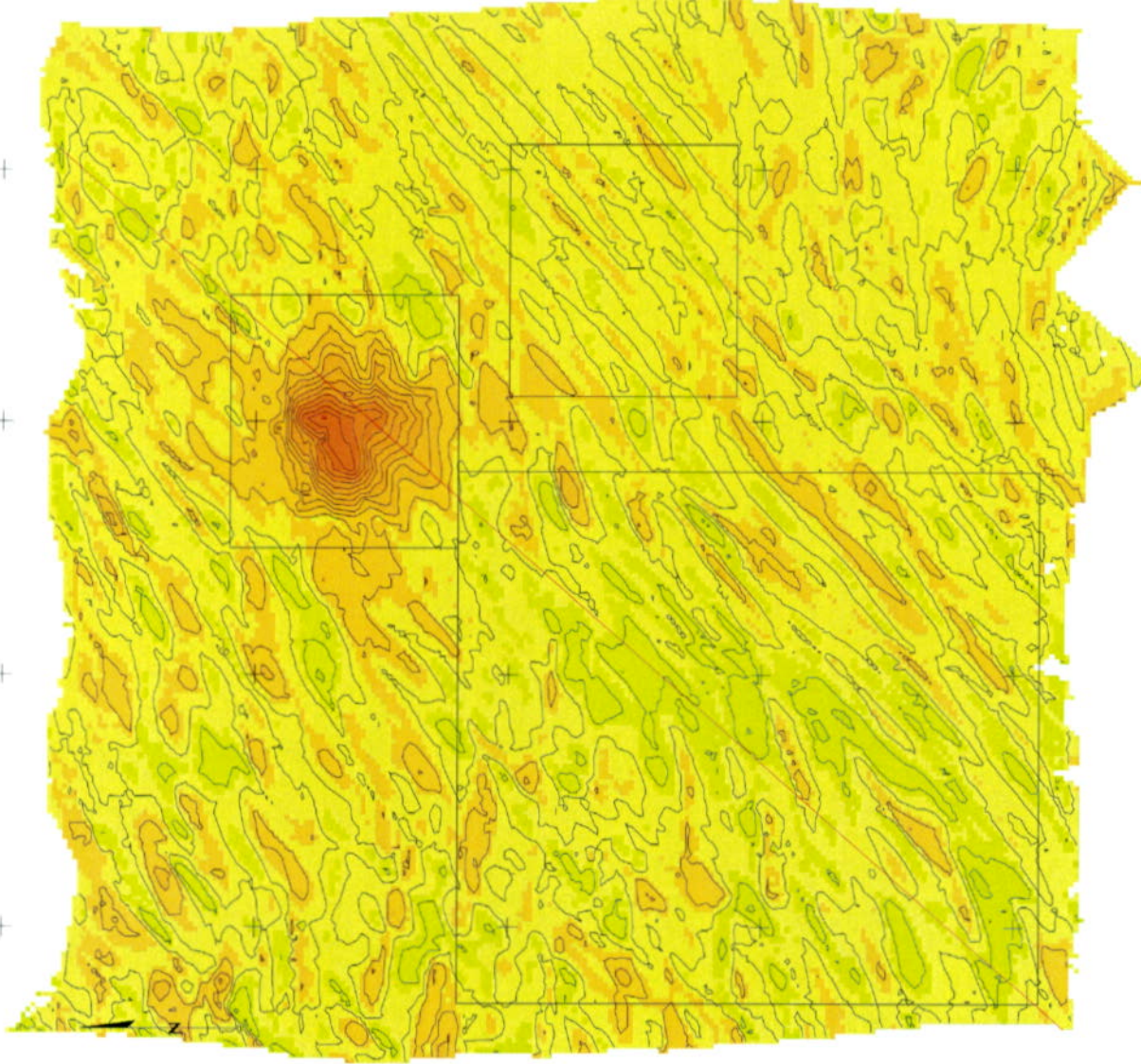
591760

591710

591660

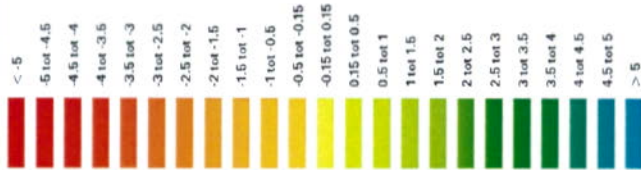
591610

591560



Winput klei schelpen
Begintijdstip: T0
Eindtijdstip: T4

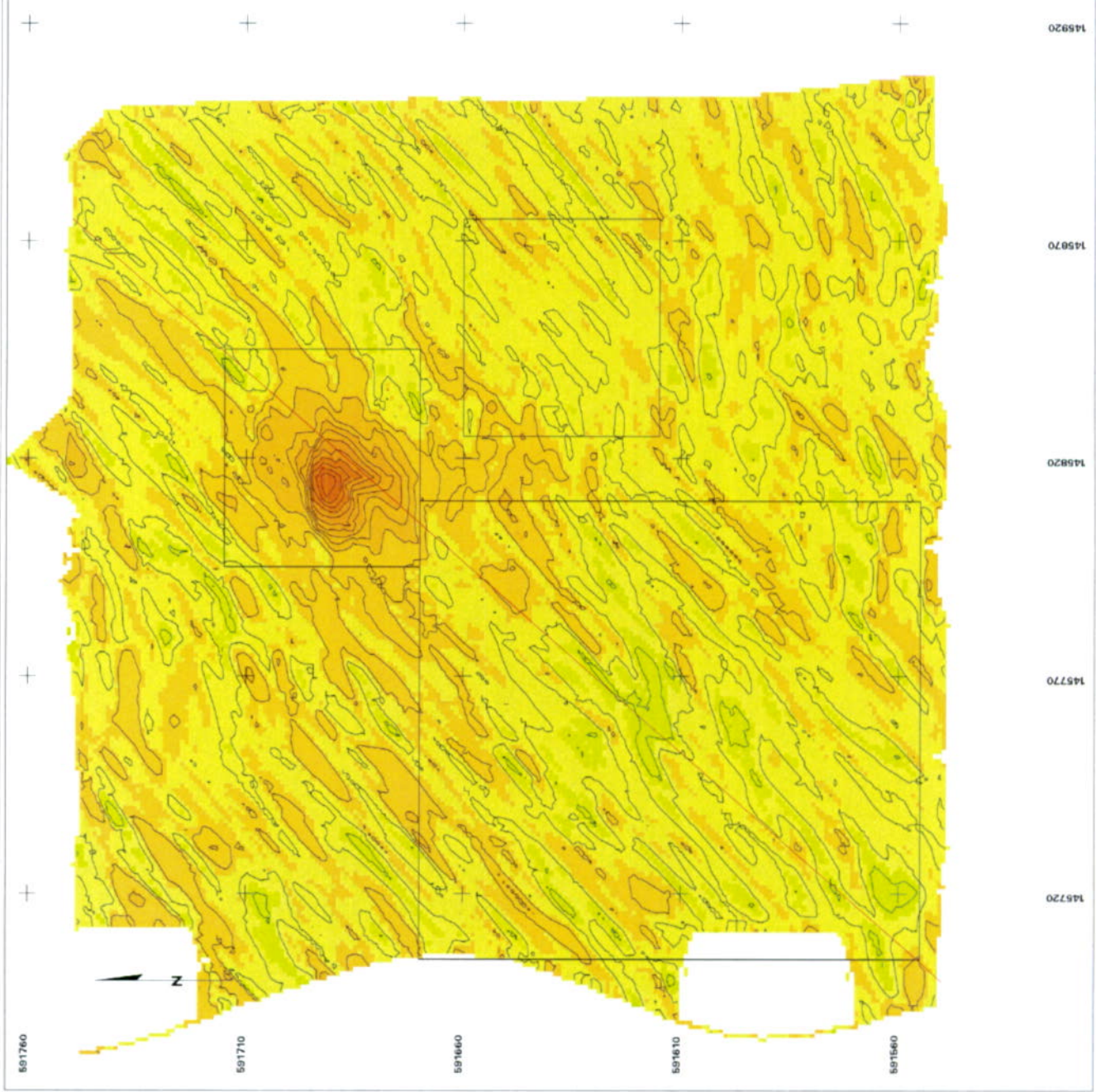
verschil in meters tov T0



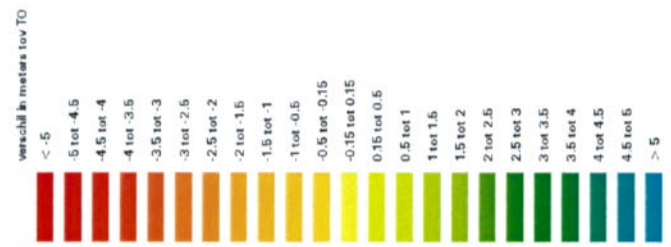
Isolijnen interval: 0.25 meter



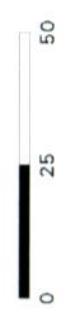
145720 145770 145820 145870 145920



Winput klei schelpen
Begin tijd stip : T0
Eind tijd stip : T5



Isolijnen interval : 0.25 meter





Streeklid van de Vereniging van Waterschappen
(Streek van de Geografische Informatiesysteem)

GIS-AN

GEOGRAFISCH INFORMATIESYSTEEM

NOORD-NEDERLAND

ARC/INFO-6) RWS/DIN 2004-48 ANWP / Rijkswaterstaat

591760

591710

591660

591610

591560

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

551760

551710

551660

551610

551560

+

+

+

+

+

145920

145870

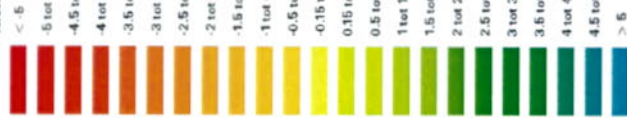
145820

145770

145720

Winput kiel schelpen
Begin tijdstip : T0
Eind tijdstip : T7

verschil in meters tov T0



isoliijnen interval : 0.25 meter



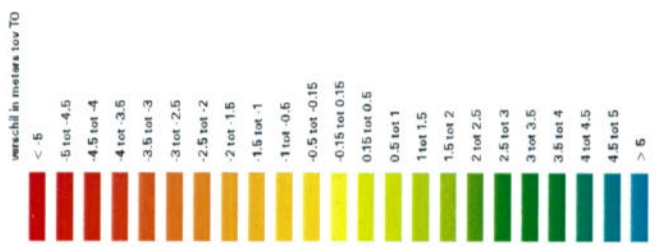
Algemeen van meetnetten en 4 punten met
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat
Dienst voor Ruimte en Infrastructuur

GIS-AN

GEOGRAFISCH INFORMATIE SYSTEEM

INFORMATIE EN

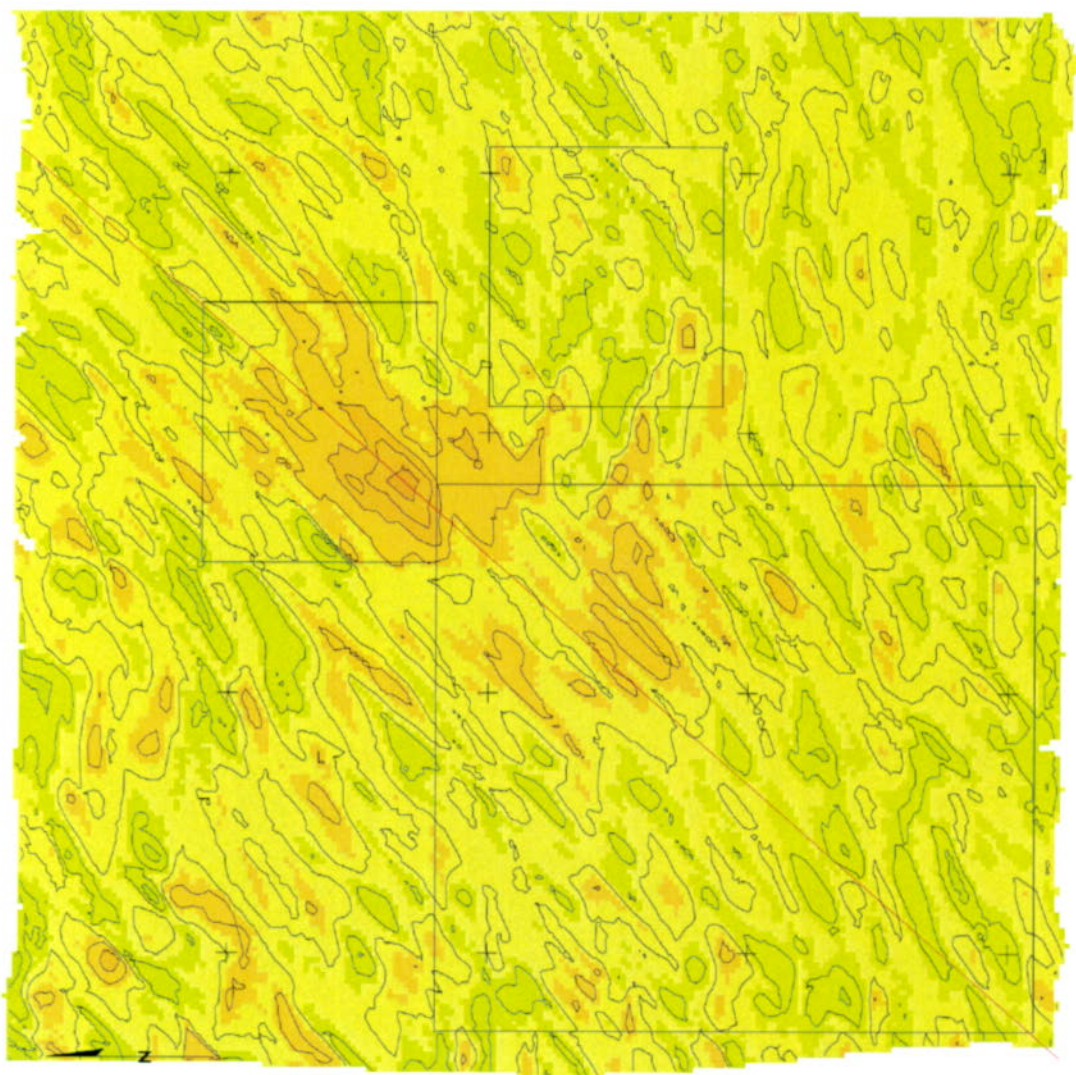
Winput klei schelpen
Begintijdstip : T0
Eindtijdstip : T8



Isolijnen interval : 0.25 meter



GIS-AN
GEOGRAFISCHE INFORMATIESYSTEMEN
NOORD-NEDERLAND



591760

591770

591780

591790

591800

145720

145770

145820

145870

145920

581760

581770

581800

581810

581860

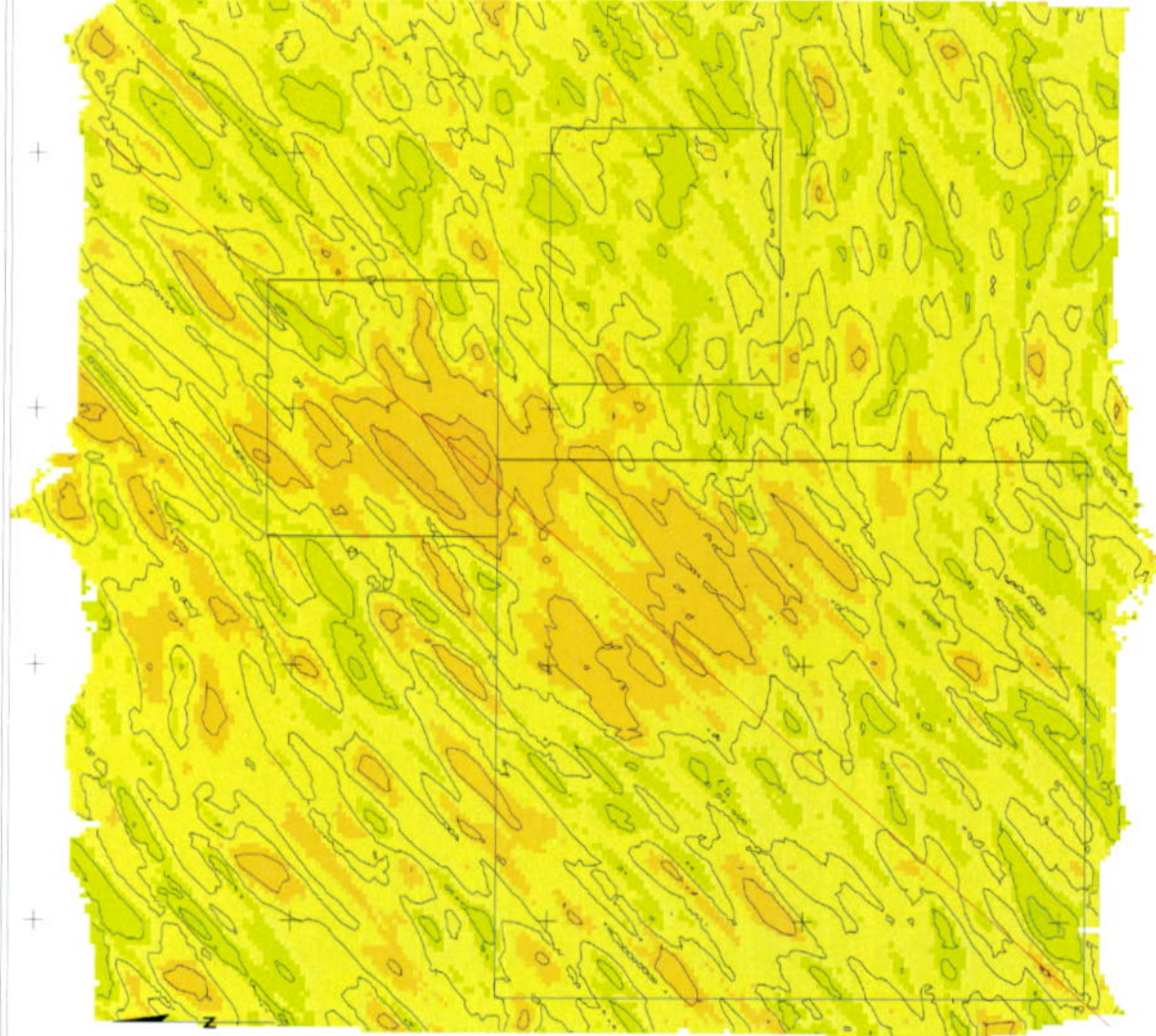
145720

145770

145820

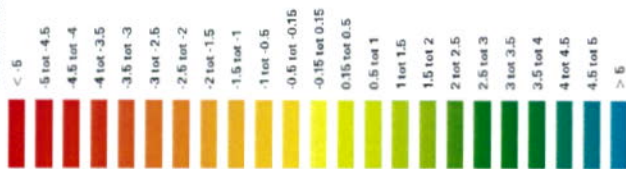
145870

145920



Winput klei schelpen
Begintijdstip : T0
Eindtijdstip : T9

verschil in meters tov T0



Isolijnen interval : 0.25 meter





GIS-AN
GEOGRAPHISCHE INFORMATIEKUNSTEN
NODDUS NIEUWLAND

Algemeen van Noddu en Noddu
Eenheid van Noddu en Noddu
Noddu Noddu Noddu

591760

591710

591660

591610

591560

+

+

+

+

+

+

+

+

+

145720

146770

145820

146870

145920

Winput klei schelpen
Begintijdstip : T0
Eindtijdstip : T10

verschil in meters tov T0



Isolijnen interval : 0.25 meter



GIS-AN

GEOMATISCH INFORMATIEKSYSTEEM

NOORD-NAAR BAKEN

AROWFO-6j RWISDN 2004-4kl ANWP / RJL/ans

Bijlage C: Een korte verkenning van het winputgedrag: opvulsnelheid.

Onderstaande verkenning is in dit kader bewust zeer kort gehouden. De verkenning is bedoeld om aan te geven of men de opvulsnelheid van een winput op eenvoudige wijze kan verklaren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de empirische methode in NAM (1998), die getoetst is aan zandwinputten in de Waddenzee. De berekening van de opvulsnelheid is gebaseerd op gegevens over de (ongestoorde) waterdiepte h , het initiële volume van de put $V(0)$, het getijverschil, de (boven)oppervlakte A van de winput (persoonlijke mededeling A.P. Oost, co-auteur van NAM, 1998). Op basis van de putdiameter B wordt de aanstromingsoppervlakte A_s berekend volgens:

$$A_s = h * B$$

Vervolgens wordt de verhouding bepaald van het initiële putvolume $V(0)$ en A_s en uit een grafiek de bijbehorende tijdschaal τ afgelezen. Hoe groter het volume des te groter de tijdschaal. De methode houdt geen rekening met de verplaatsing van de put. De opvulling is alleen ter plaatse van de initiële put. Het volume van de put verandert volgens:

$$V(t) = V(0) * \exp(-t/\tau)$$

Deze exponentiële functie heeft de eigenschap dat op $t = 2\tau$ het putvolume is afgenomen tot 13,5% en op $t = \tau$ tot 36,8%. Dit kunnen we toepassen op de twee onderzochte schelpenwinputten. Dan blijkt dat $\tau \approx 2$ maanden afgeleid kan worden voor beide putten.

De vraag is of dit past in de grafiek in NAM (1998). Voor de onderzochte winputten gelden de volgende parameterwaarden (A is grof geschat uit figuren):

winput	h	$V(0)$	A	B	A_s	$V(0)/A_s$
Schone schelpen	11,5	2172	1200	39	449	4,8
Kleischelpen	10,5	1599	1000	36	378	4,2

De hier berekende waarden van $V(0)/A_s$ zijn erg laag in vergelijking met de waarden waarop de grafiek in NAM (1998) is gebaseerd, nl. minimaal ca. 500. Het aflezen van een waarde voor τ is daarom hachelijk: volgens een poging daartoe leidt dit tot τ -waarden van enkele dagen tot een week.

De empirisch berekende τ -waarden zijn veel kleiner dan de "gemeten" waarden. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat de empirische relatie gebaseerd is op putten waarvan de dimensies vele malen groter zijn dan de schelpenwinputten.

Conclusie:

Het gedrag van een schelpenput is niet direct te verklaren uit de deels theoretisch onderbouwde empirische benadering, die gebaseerd is op

relatief grote (zand)winputten in de Waddenzee. Men zou daarvoor meer veldgegevens van kleinere putten moeten analyseren. Er zijn echter ook wiskundige modellen waarmee dit onderzocht kan worden. Dit zou een behoorlijke inspanning vergen.

Bijlage D: Een korte verkenning van het winputgedrag: verplaatsing.

Onderstaande verkenning is in dit kader bewust zeer kort gehouden. De verkenning is bedoeld om aan te geven of men de verplaatsing van een winput op eenvoudige wijze kan verklaren.

Een eenvoudige c.q. snelle benadering is hier gebaseerd op een theorie voor de voortplanting van bodemverstoringen op basis van de éédimensionale vergelijkingen voor waterbeweging en sedimenttransport⁵. De snelheid van een bodemverstoring voor kleine Froude-getallen ($F^2 \ll 1$) is:

$$c_3 = v * (ds/dv) / h$$

waarin v = dieptegemiddelde stroomsnelheid (m/s), h = waterdiepte (m), s = sedimenttransport (m^2/s). Het sedimenttransport wordt hier uitgedrukt in volume zoals in de bodem aanwezig.

$$N.B. F = v/\sqrt{g \cdot h}.$$

Voor het sedimenttransport kan de volgende machtsfunctie gebruikt worden:

$$s = m * v^n$$

waarin m en n constanten zijn. Hieruit volgt $ds/dv = m \cdot n * v^{n-1}$ zodat

$$c_3 = m * n * v^n / h = n * s / h$$

De theorie is lastig toe te passen voor een getijdegeul met wisselende stroming. Hiervoor moeten we het verschil in zandtransport tussen eb en vloed bepalen. Het transport kan afgeleid worden uit een gemiddelde eb- en/of vloedsituatie met een gemiddeld zandgehalte c (mg/l) in de waterkolom, een stroomsnelheid v (m/s) en een waterdiepte h (m). Hieruit volgt:

$$s = c \cdot 10^{-3} * v * h / c_b$$

waarin c_b = de droge dichtheid van de bodem (kg/m^3). Invullen in de vergelijking voor c_3 levert:

$$c_3 = n * c \cdot 10^{-3} * v / c_b$$

Uitgaande van een typische gemiddelde eb- of vloedsituatie in de Waddenzee nemen we een zandgehalte van $c = 100$ mg/l, een stroomsnelheid van $v = 0,5$ m/s en een waterdiepte van $h = 5$ m. Hieruit volgt $F^2 = 0,005$, dus aan de conditie voor F wordt voldaan. Nemen we voor c_b een waarde aan van 1500 kg/m^3 en voor n een gangbare waarde van 3 , dan volgt hieruit $s = 1,67 * 10^{-4}$ en $c_3 = 10^{-4}$ m/s. Deze voortplantingssnelheid is gelijk aan $8,6$ m/dag. Dit is de

⁵ Morphological computations. Lecturenotes f10a. prof. M.de Vries, Delft University of Technology, 1977.

verplaatsing tijdens een gemiddelde eb- of vloedfase. Tijdens eb en vloed is de verplaatsing in tegengestelde richting, dus de netto verplaatsing kan nul zijn (N.B. voor de winputlocaties geldt een diepte van ca. 11 m, hetgeen groter is dan in het voorbeeld, maar niet direct van invloed op de waarde van c_3).

Uit de lodingen blijkt dat de winputten zich in de ebrichting verplaatsen. Een schatting van de verplaatsingsnelheid van de winput schone schelpen is ca. 10 m in 140 dagen ($T_{12} - T_0$), dan wel ca. 2 m in 14 dagen ($T_4 - T_0$) ofwel ca. 0,1 m/dag. Dit is een relatief klein getal (ca. 2 %) ten opzichte van de hierboven afgeleide theoretische waarde en duidt mogelijk op een zeer geringe ebdominantie. Voor de winput kleischelpen wordt de voortplantingssnelheid geschat op ca. 20 m in 105 dagen ($T_{10} - T_0$), ofwel 0,2 m/dag. Dit is van dezelfde orde van grootte als de andere winput. De onderzochte winputten in de Meep liggen in een gebied waar volgens de Sedimentatlas Waddenzee (CD-Rom, RIKZ, 1998) de netto transportrichting in de vloedrichting is. Dit komt niet overeen met het gedrag van de winput.

Conclusie:

Er is te weinig informatie aanwezig om de verplaatsing van de winput theoretisch te controleren op bovenstaande wijze. Om de verplaatsing te kunnen verklaren dient meer bekend te zijn over het (netto) zandtransport tijdens eb en vloed. Het netto transport is echter in de praktijk in veel gevallen niet nauwkeurig uit metingen te bepalen. Er zijn echter wiskundige modellen beschikbaar die het gedrag van een winput in detail zouden kunnen simuleren. Bij voorkeur ondersteund door (locale) metingen zou men met deze modellen verder kunnen verkennen over welke afstand een winput verplaatst kan worden.

Bijlage E: Een korte verkenning van de bodembedekking door de terugstort.

Er zijn verschillende benaderingen mogelijk van het proces van bodembedekking door de sedimentatie van het over boord gezette zand. In deze bijlage worden om praktische redenen twee eenvoudige benaderingen verkend.

- 1) Een eenvoudige benadering is die op basis van de valsnelheid. Afhankelijk van de waterdiepte heeft een zandkorrel een bepaalde tijd nodig om de bodem te bereiken. Het zand de Meep heeft een D_{50} van ca. 250 μm (Sedimentatlas Waddenzee, CD-Rom, RIKZ, 1998). Hierbij hoort een valsnelheid van ca. 0,03 m/s. Dit betekent dat in stilstaand water van 11 m diep (winputlocaties) er ruim 360 s nodig is voor volledige bezinking. Indien het water niet stilstaat maar stroomt met een snelheid van 0,5 m/s dan wordt de zandkorrel over een afstand van 180 m verplaatst. In werkelijkheid zal door de turbulentie de verplaatsing nog groter zijn, omdat door de turbulentie zandkorrels langer in suspensie gehouden worden. Verder is in een getijgeul de verplaatsing afhankelijk van de fase in het getij gedurende welke gestort wordt.
- 2) Bovenstaande benadering gaat uit van een individuele zandkorrel. Het zand kan ook als een bulkmassa gestort worden (water met een zeer hoge concentratie). Dan is er sprake van een ander gedrag, vergelijkbaar met dat van een baggerspeciéstorting uit een splijtbak. Met een model⁶ van het RIKZ voor baggerspeciéstortingen zijn enige oriënterende berekeningen gemaakt. Hierbij is uitgegaan van een totaal gestorte massa van 2,3 kton (i.e. het volume van 1519 m^3 maal een dichtheid van 1500 kg/m^3), die in 3,5 uur gestort wordt ofwel gemiddeld met 0,181 ton/s. De modelberekening is echter gebaseerd op eenmalige storting. Volgens testberekeningen duurt een eenmalige storting 345 s (bij de gekozen instellingen). In die periode wordt 62,4 ton gestort (1/37-ste van het totaal), hetgeen een laag oplevert met een max. hoogte van 2,16 cm en een diameter van 95 m. Voor de gehele hoeveelheid zou de hoogte dan uitkomen op $37 \cdot 2,16 = 79$ cm (laag op laag gestapeld). De sedimentatiesnelheid hierbij is maximaal 22 cm per uur en gemiddeld ca. 6 cm/uur.

Voor de onderzochte winput van schone schelpen geldt dat ca. 3/4 van het gestorte zand op de bodem terecht is gekomen tot op een afstand van ca. 100 m met maximaal een laagdikte van ca. 1 m. Opvallend is dat de bovenstaande benaderingen qua orde van grootte redelijk overeenkomen met de gemeten terugstort bij de winput van schone schelpen. De stortmodelbenadering is zelfs zeer goed te noemen, hoewel het niet zeker is dat er sprake is van een bulkproces. De stromingscondities tijdens het winnen zijn namelijk niet bekend en er zijn geen gegevens over de mate waarin er sprake is van bulkgedrag.

⁶ Heuvel, Tj van, 1988. Verspreiding van baggerspecie tijdens en na het storten vanuit een baggerschip (voorstudie voor een numeriek stortmodel). Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, GWAO-88.034.

Duidelijk is dat een deel van het zand over grote afstand meegevoerd wordt en niet teruggevonden wordt. Bij de kleischelpenwininput wordt een nog veel groter deel ver weg gevoerd. Dit duidt op een suspensief transport van individuele deeltjes.

Een meer uitgebreide benadering vraagt om een wiskundig model waarin het stortproces en het sedimenttransport gesimuleerd kunnen worden. Dit is in principe mogelijk, maar zal de nodige inspanning vragen, ook t.a.v. de veldgegevens.