

Nauwkeurlghedsanalyse van dieptegegevens in de Westerschelde

Afstudeerscriptie van: Chris van Eijnsbergen

**Vakgroep B
Sectie Fotogrammetrie en Remote Sensing
Faculteit der Geodesie
Technische Universiteit Delft
November 1993**

**Afstudeerhoogleraar: prof.dr.ir. G.H. Ligterink
Begeleiders: ir. M.J.P.M. Lemmens
 ir. R.J. van Munster**

BD or B, that is the question.

Voorwoord

Samenvatting

Hoofdstuk 1 Inleiding	1
1.1 De context van het onderzoek	1
1.2 Probleemstelling	3
Hoofdstuk 2 Hulpmiddelen en data beschrijving	5
2.1 Digibeeld	5
2.2 Arc/Info	6
2.3 Geleverde data	6
2.4 Procesbeschrijvingen	8
2.5 Opsomming en beschrijving van foutenbronnen	11
Hoofdstuk 3 Opzet van de analyse	15
3.1 Inleiding analyse	15
3.2 Globale analyse	16
3.2.1 Toevoegen van een dieptelij	16
3.2.2 Verschilbeelden	16
3.3 Lokale analyse	17
3.3.1 Geschikte parameters	19
3.3.2 Berekening in verschillende dieptematrices	19
3.3.3 Verdere vragen over dwarsprofielen	22
3.3.4 Levering van de gegevens	22
3.3.5 Onderverdelingen van de dwarsprofielen	23
Hoofdstuk 4 Resultaten van de analyse	25
4.1 Resultaten van de globale analyse	25
4.1.1 Verschilbeelden R-BD, R-B en R-SB	25
4.1.2 Resultaten van verschilbeelden van verschilbeelden	26
4.1.3 Resultaten van R-BD, R-B+ en R-SB+	27
4.1.4 Resultaten van verschilbeelden van verschilbeelden II	28
4.1.5 Bodkarpunten versus dieptelijnen	29
4.1.6 Bodkarpunten versus simulatie bodkarpunten	29
4.1.7 Conclusies globale analyse	29
4.2 Resultaten van de lokale analyse	31
4.2.1 Resultaten van alle dwarsprofielen	31
4.2.2 Resultaten van dwarsprofielen < 500 meter	32
4.2.3 Resultaten van dwarsprofielen > 500 meter	33
4.2.4 Dwarsprofielen met breedte B $\approx$ breedte R	34
4.2.5 Verklaringen en conclusies lokale analyse	35
4.3 Resultaten van overige analyse	37
4.3.1 Afwijkingen t.g.v. met de hand getrokken dwarsprofielen	37
4.3.2 Representativiteit van de dwarsprofielen	38
4.3.3 Conclusies overige analyse	39
Hoofdstuk 5 Conclusies en aanbevelingen	41
5.1 Vragen en conclusies	41
5.2 Aanbevelingen	41

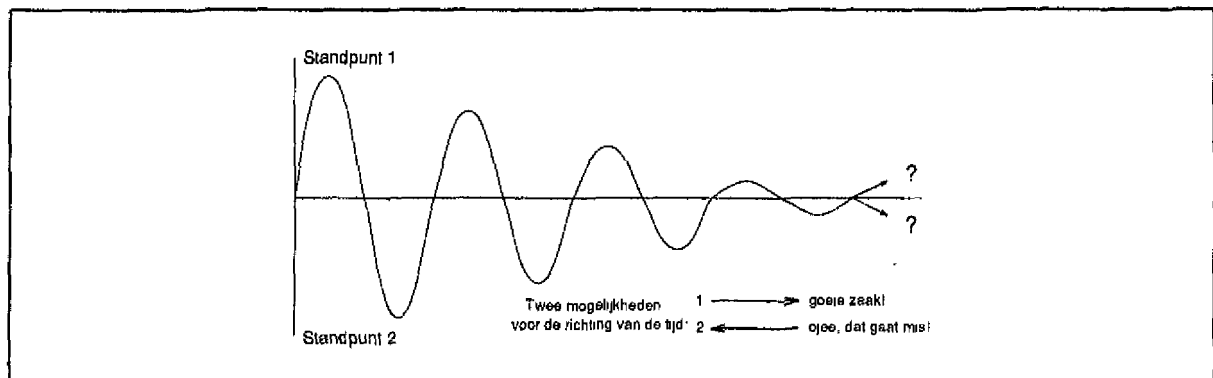
Literatuurlijst	42
Bijlagen	43

Voorwoord

Afstuderen in de praktijk betekent voortdurend aanpassen aan veranderende omstandigheden. Dit is wel gebleken na meer dan een jaar in het bedrijfsleven te hebben gewerkt. Niet alleen wisselde de werkplek, maar veranderde de software waarmee ik werkte, als ook de data.

Waarom dit afstudeerwerk zou leiden stond in het begin nog erg open. De vereenvoudiging van de kant van Rijkswaterstaat tot twee hoofdvragen hielp al erg veel. Hiervan uitgaande kon ik een opzet opstellen die deze vragen uiteindelijk zou moeten beantwoorden. Echter midden in het onderzoek bleek nieuwe data beschikbaar te zijn, die vroeg om een hele andere aanpak, waarmee ik veel meer zou kunnen bereiken. Na het bekend worden van de beschikbaarheid van deze nieuwe data is besloten om eerst de (voorlopige) resultaten tot dan toe op papier te zetten. Een groot gedeelte daarvan is gebruikt bij de totstandkoming van dit verslag (hoofdstukken 1 en 2). In hoofdstuk 3 is de opzet van de analyse beschreven met in hoofdstuk 4 de resultaten hiervan, die in de laatste maanden zijn verkregen. Aan het eind van het onderzoek was het lastig om de grens vast te stellen van wat ik (en anderen) nog allemaal wilden.

Elk onderzoek begint met verwachtingen over de uitkomsten, ook dit onderzoek. Maar mijn mening over de uitkomsten is, naarmate het onderzoek vorderde, nogal eens veranderd. Wat dit betreft is de variatie van mijn mening vergelijkbaar met onderstaande grafiek. Afhankelijk van de richting van de tijd kan het standpunt divergeren of convergeren. In mijn geval was er (gelukkig) sprake van convergentie.



Het onderzoek: een convergent of divergent proces?

Dit afstudeerwerk is begonnen in januari 1993 en heeft raakpunten met het stagewerk in de maanden juli, augustus en september 1992 bij de Technische Physische Dienst (TPD). De TPD houdt zich bij de afdeling signaalverwerking onder andere bezig met beeldverwerken. Dit gebeurt voornamelijk in opdracht van andere instellingen, waaronder Rijkswaterstaat. Tijdens de stage zijn m.b.v. het GIS-pakket Arc/Info (geografisch informatie systeem) methodes ontwikkeld om de oppervlakte en inhoud te berekenen van contouren in rasterbeelden, geleverd door RWS [Eijnsbergen 1992]. Deze rasterbeelden bevatten dieptewaarden van gebieden in de Westerschelde. Deze afstudeeropdracht heeft weer alles te maken met die rasterbeelden.

Als u zich afvraagt of dit onderzoek ook nog iets met geodesie te maken heeft, hier een geruuststelling: ik zie vele raakvlakken met geodesie: ten eerste wordt er gewerkt met remote sensing beelden, en deze keer zijn dat niet de standaard satelliet opnamen, maar akoestische metingen. Ten tweede wordt er gewerkt met G.I.S., maar nu meer als analyse- en berekenings-tool. Ten derde

gaat het in feite om een nauwkeurighedsanalyse van X-Y- en Z-coördinaten, en voornamelijk om hiervan afgeleide parameters.

Een afstudeerproces is voor een groot gedeelte een leerproces. Naast het leerproces m.b.t. de tools en methoden, leer je in de praktijk ook talloze algemene zaken, zoals:

- hoe pak je iets aan?
- hoe kom je iets te weten (van iemand)?
- hoe behoud je overzicht?
- hoe zet je iets op papier en wanneer?
- hoe maak je iemand iets duidelijk?

Zaken die je gewoon moet leren als er veel mensen en gegevens bij betrokken zijn, zaken ook die "voor later" belangrijk zijn. Het afstudeerproces kende veel "ups and downs", wat gelukkig recht evenredig is met de omvang van het leerproces.

Tip voor aankomende afstudeerders: check, recheck en redouble check je resultaten, vooral in het begin van je onderzoek wanneer je al blij bent dat er iets uitkomt, maar een fout in deze fase werkt door en door en door.

Ik kan het niet laten om mijn dank uit te brengen aan mijn begeleider op de TPD, Ruud van Munster, die het mogelijk heeft gemaakt bij de TPD af te studeren, tevens voor zijn vele (wel eens non-conformistische) ideeën, steun en eerlijkheid, en die, ondanks zijn drukke activiteiten, toch altijd tijd wist vrij te maken. Gert van Antwerpen, die me een heleboel tijd bespaard heeft door aan de beeldbewerkingskant algoritmen te programmeren. Albert van der Meer voor het meedenken (vooral op het bord). Verder van Rijkswaterstaat drs. C. Storm, drs. L. Uit den Bogaard en drs. A.W. van Kleef, voor hun problemen en goede adviezen (het is misschien raar om iemand te bedanken voor zijn of haar problemen, maar zonder hun problemen géén afstuderen, géén scriptie en géén ingenieur). En van geodesie gaat mijn dank uit naar prof. dr. ir. G.H. Ligterink en ir. M.J.P.M. Lemmens die mij op het goede geodetische pad wisten te houden.

Samenvatting

Rijkswaterstaat (RWS) is van plan om voor de jaren 1965 tot en met 1985 de ontwikkeling van veranderingen in geulen en platen in de Westerschelde te reconstrueren. Hiervoor beschikt men over dieptegegevens in de vorm van dieptelijnen en een regelmatige matrix van dieptepunten. In vergelijking met de huidige wijze van het verkrijgen van informatie uit dieptegegevens is de beschikbare data van 1965 tot en met 1985 schaars bemonsterd. In opdracht van RWS wordt onderzocht of uit deze schaars bemonsterde set van dieptegegevens voldoende nauwkeurig parameters kunnen worden afgeleid.

Om de set van gegevens te testen op nauwkeurigheid is er de beschikking over een voldoende bemonsterde dataset voor één overeenkomend jaar, namelijk 1985. Er is onderzocht welke dataset de meest nauwkeurige resultaten behaalt in vergelijking met de resultaten van het voldoende bemonsterde bestand, die aangenomen wordt als de zogenaamde "ground-truth". Van de beschikbare gegevens zijn de volgende sets vergeleken: de regelmatige matrix met dieptepunten gecombineerd met alle dieptelijnen, de regelmatige matrix met één diepteliijn, en de regelmatige matrix met dieptepunten zonder toegevoegde dieptelijnen. Vanwege de configuratie van de dieptelijnen was het niet mogelijk alleen deze dataset te beoordelen.

In eerste instantie was het nodig om de datasets te interpoleren naar regelmatige rasters met eenzelfde bemonsteringswaarde. Deze rasters zijn vervolgens vergeleken met het raster van de ground-truth door verschilbeelden te maken. Op deze manier wordt het gehele geïnterpoleerde gebied geanalyseerd. Dit is dan ook de globale analyse genoemd.

Vervolgens zijn in deze rasters dwarsprofielen getrokken, die X-, Y- en Z-coördinaten opleveren, waaruit een aantal parameters kunnen worden afgeleid, zoals de breedte, gemiddelde diepte en doorstroomoppervlak van geulen. Ook hierbij zijn de resultaten vergeleken met de resultaten van de ground-truth. Aangezien hierbij zeer lokaal geanalyseerd wordt, is dit de lokale analyse genoemd.

Over het algemeen kwam uit beide analyse-niveaus naar voren dat de combinatie van de regelmatige matrix van dieptepunten en alle dieptelijnen de beste resultaten opleverden. Op lokaal niveau is gebleken dat één van de belangrijkste parameters: het doorstroomoppervlak van een geul, wordt bepaald tot op 2 % van de ground-truth.

Verder is onderzocht in hoeverre de oriëntatie van de dwarsprofielen van invloed is op de resultaten. Het is namelijk zo dat de dwarsprofielen loodrecht op een geul (of geulas) moeten liggen. De dwarsprofielen worden door een morfoloog op het oog zo loodrecht mogelijk geplaatst, wat afwijkingen in het eindresultaat kan veroorzaken. Er is gebleken dat deze afwijkingen een fout in de orde van grootte van 1 % opleveren.

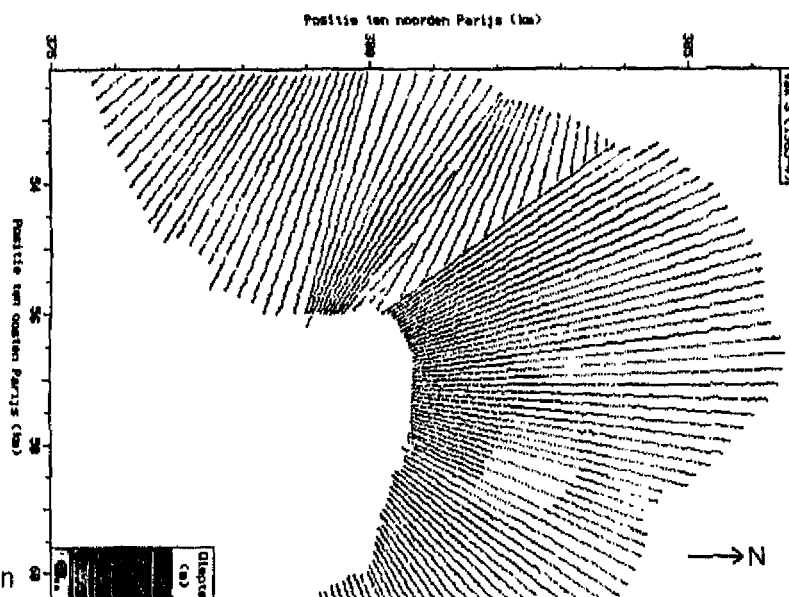
Tezamen met de fout t.g.v. de onderbemonstering is dan de totale fout 3 %, wat binnen de gestelde marge van RWS van 5 % ligt.

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 De context van het onderzoek

De Technische Fysische Dienst (TPD) te Delft heeft in opdracht van Rijkswaterstaat in Zeeland (RWS) een software-pakket ontwikkeld, genaamd Digibeeld of ook wel Geulwerkstation, dat gebruikt wordt voor het beheren en bewaken van geulen in de Westerschelde (oeverbescherming, zandhuis-houding, controle van vaargeulen, etc.). Zie paragraaf 2.1 voor de verdere beschrijving van deze software.

Als invoerdata voor Digibeeld worden dieptemetingen uitgevoerd. Deze metingen zijn akoestische echoloodmetingen die Rijkswaterstaat elk jaar maakt van de Westerschelde (in het westelijk deel om de twee jaar). In de vaarrichting van het schip zijn dit metingen met een zeer hoge frequentie; de onderlinge afstand tussen deze zogenaamde raaien is ongeveer 200 meter en vanaf 1990 is deze voor het oostelijk deel verdicht naar 100 meter (zie afbeelding 1, raaien).

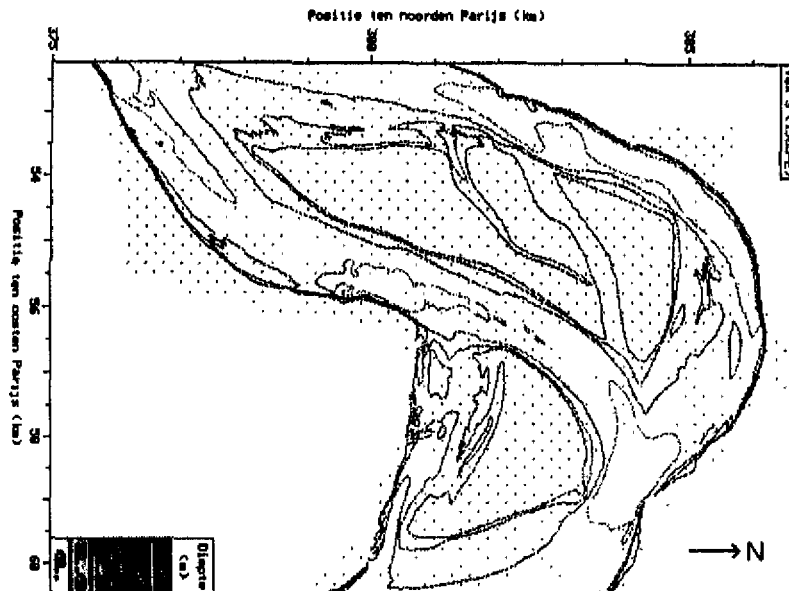


Afbeelding 1 Raaien

De baggerwerkzaamheden hebben nadelige effecten op het milieu. Het natuurlijk evenwicht van zandtransporten wordt verstoord en veel schade wordt aangericht aan lokale organismen. Vanwege het snelle herstel van de natuurlijke evenwichten moet er te vaak gebaggerd worden, wat ook de kosten omhoog jaagt (zie bijlage 11 krantebericht). Het is daarom nodig meer inzicht te krijgen in de morfologie (vorm) van het Westerschelde estuarium. Belangrijk hierbij is de ontwikkeling van de morfologische eenheden (geulen en platen) met de tijd, zodat meer rekening kan worden gehouden met de natuurlijke balansen.

Vanaf 1965 heeft men om de 5 jaar de gehele Westerschelde gemeten middels genoemde lodingen. Deze metingen zijn toentertijd verwerkt m.b.v. zogenaamde raakaarten (zie bijlage 4). Hierop staan, naast de raai-waarden, met de hand geïnterpoleerde dieptelijnen en tevens met de hand geïnterpoleerde dieptewaarden op een regelmatig 200 x 200 meter raster: de "bodkarmatrix" (van BODemKARtering) (zie afbeelding 2, de bodkarmatrix met dieptelijnen). Dit raster is gebruikt voor het bepalen van de inhoud om de vijf jaar, waaruit de natuurlijke zandverplaatsing kan worden berekend. Voor de jaren 1965, 1970, 1975, 1980 en 1985 heeft men de dieptelijnen gedigitaliseerd.

Tevens zijn de bodkarmatrices omgezet naar een digitaal bestand. De raaien zijn niet digitaal verwerkt, omdat dit een te groot karwei is.

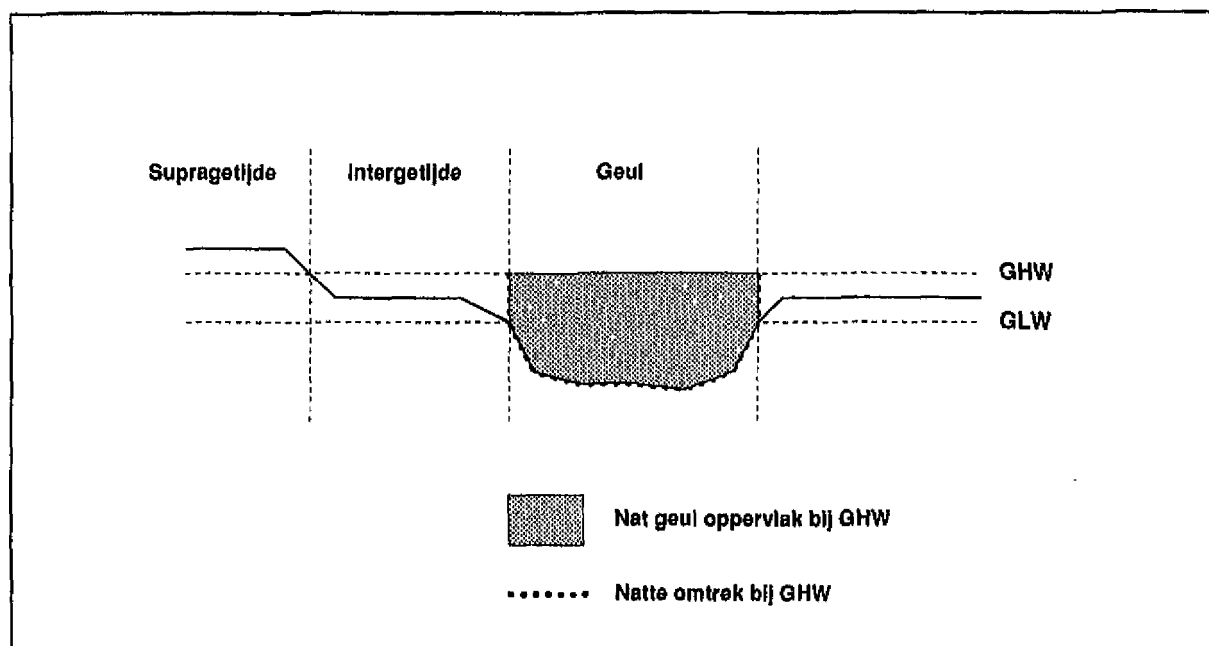


Afbeelding 2 Bodkarpunten met dieptelijnen

RWS wil de aanwezige gegevens opnieuw gebruiken om nu (empirisch) de gewenste ontwikkeling van de geometrie van het Westerschelde estuarium te reconstrueren. Dit is een onderdeel van de projectgroep Oost/West (werkgroep Zand). Het is dus de bedoeling deze gegevens te interpoleren naar rasters van 20 x 20 meter, aangezien de raaien van nu ook tot deze bemonstering worden geïnterpoleerd. Vandaar dat de dieptelijnen en de bodkarmatrix naar digitale vorm zijn omgezet.

Het totale zandtransport van het gebied is bepaald m.b.v. de bodkarmatrices. Binnen een gebied wil men over de jaren heen meer gedetailleerd veranderingen in de geometrie bepalen. Hiervoor moet een aantal dwarsprofielen gelegd worden in de 20 x 20 meter rasters. D.w.z. men trekt in de geïnterpoleerde dieptematrix lijnen, voornamelijk zo loodrecht mogelijk op de geulen (of geulassen), en langs deze lijnen wordt het verloop van de bodem bepaald (zowel visueel als in coördinaten). Met deze dwarsprofielen worden een aantal parameters bepaald, zoals de geulbreedten, geuldiepten, het natte geul oppervlak, de natte omtrek, etc (zie paragraaf 3.3 voor een definitie van deze parameters). Rijkswaterstaat heeft gekozen voor dwarsprofielen, omdat ook in het verleden de parameters op deze manier zijn bepaald.

Aangezien het hier gaat om een empirisch onderzoek voor de gehele Westerschelde, is het van belang dat alle waarnemingen bepaald worden t.o.v. een "ijkpunt". Om deze reden is ervoor gekozen om de definitie van een "geul" af te laten hangen van een diepte-criterium. Een geul is voor dit onderzoek gedefinieerd als "het gebied onder het gemiddeld laagwater (GLW = -2 meter NAP)" (zie ook afbeelding 3).



Afbeelding 3 Definitie morfologische eenheden.

De waarden voor GLW en GHW (gemiddeld hoogwater) zijn benaderde gemiddelden over de tijd en het gebied. De waarde voor GLW ligt op -2.0 meter NAP. Met deze definitie was het niet mogelijk de toen gebruikte versie van Digibeeld in te schakelen voor het bepalen van de profiel-parameters¹. Digibeeld detecteert de geulen m.b.v. padzoek-algoritmen (zie [Gerbrands 1991], [Lagendijk 1988]). De rand van een geul bestaat dan uit een aaneengesloten contour, die voornamelijk gebaseerd is op de meest steile helling. Het dieptecriterium kan daarentegen wel eenvoudig toegepast worden in het GIS-pakket Arc/Info (zie paragraaf 2.2) door alle pixels of Z-coördinaten te selecteren die dieper liggen dan het GLW. Een gevolg van deze definitie is wel dat de rand een grillige vorm vertoont en dat er "eilandjes" van pixels kunnen ontstaan, die nog net binnen het criterium vallen. Bij het met de hand trekken van dwarsprofielen echter kan hiermee rekening worden gehouden.

1.2 Probleemstelling

Rijkswaterstaat heeft voor dit onderzoek een tweetal vragen opgesteld:

1) Nauwkeurigheid beschikbare data.

Voor de jaren 1965 t/m 1985 heeft men dieptegegevens in de vorm van dieptelijnen (-2.5, -5, -10, -20 en -40 meter) en bodkarmatrices (raster met celgrootte van 200 x 200 meter en onder een hoek van 45 graden met het Noorden, zie afbeelding 2). Deze gegevens zijn afgeleid uit de raaien en digitaal beschikbaar. Aangezien men met rasters met een dichtheid van 20 meter wil gaan werken moet men weten hoe goed de resultaten zijn van de interpolatie van de beschikbare gegevens.

¹) Waarschijnlijk wordt een (aangepast) dieptecriterium in Digibeeld geïmplementeerd.

Voor één jaar, namelijk 1985, zijn de raaien óók digitaal beschikbaar. Hiermee is het mogelijk de interpolatie-resultaten van de bodkarpunten, dan wel de bodkarpunten met de dieptelijnen, te vergelijken met het interpolatie-resultaat van de raaien. De geïnterpoleerde raaien kunnen dan aangenomen worden als de zogenaamde 'ground-truth' (referentie-waarden).

2) Oriëntering dwarsprofielen.

Als men eenmaal over rasters van 20 x 20 meter beschikt wil men m.b.v. dwarsprofielen een aantal (geul)parameters berekenen. Deze dwarsprofielen zullen door morfologen met de hand getrokken worden. De geul zal zo loodrecht mogelijk op zijn as doorsneden moeten worden. Dit zal een bepaalde onnauwkeurigheid (inconsistentie) introduceren (zie afbeelding 4). Nu is de vraag in hoeverre de onnauwkeurigheid van het leggen van een dwarsprofiel met de hand doorwerkt in de nauwkeurigheid van de te bepalen parameters. Als blijkt dat deze invloed groot is dan loont het om een algoritme te ontwikkelen dat automatisch de dwarsprofielen consistent loodrecht op een geulas zal plaatsen.

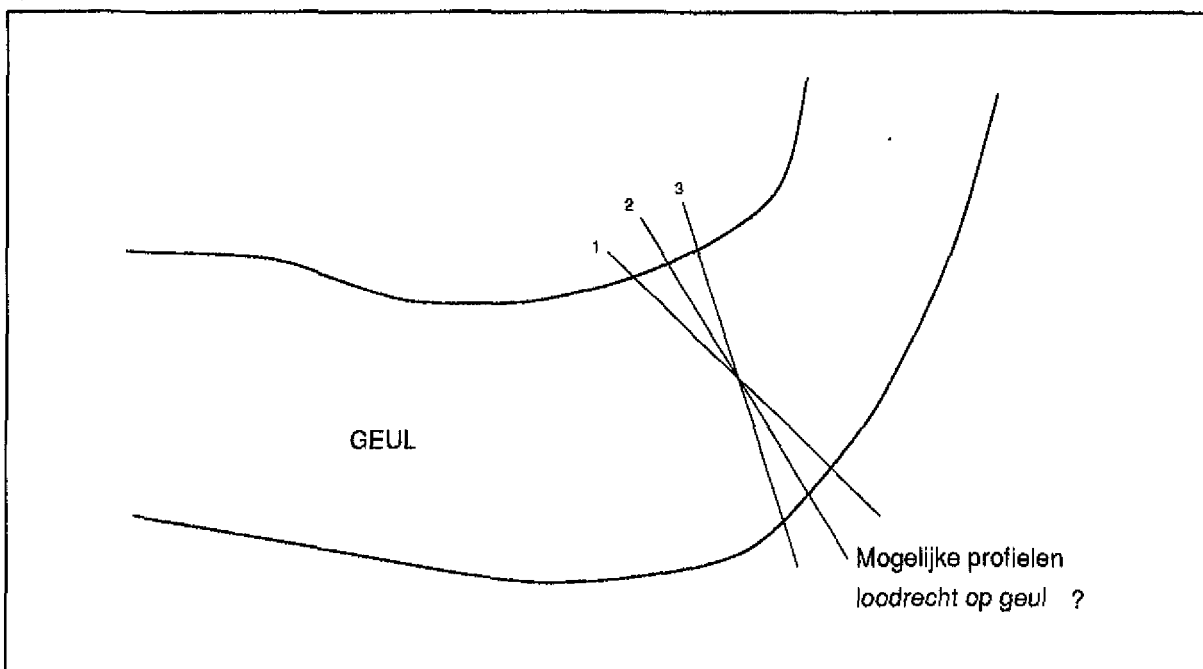
Bij de berekening van de parameters wordt in eerste instantie een nauwkeurigheid van 5% nagestreefd door RWS.

Verder is er voor de volledigheid van dit onderzoek nog een derde vraag toegevoegd:

3) Representativiteit dwarsprofielen.

Is een (oneindig dun) dwarsprofiel voldoende representatief voor een geul (of een deel ervan)?

In feite is het de bedoeling dat men van een lijn met X-, Y- en Z-coördinaten parameters berekent die voor een groot gebied moeten gelden. Wat gebeurt er met de uitkomsten als deze lijn (dwarsprofiel) een stukje verderop ligt, of als er een gemiddelde berekend wordt uit meerdere dwarsprofielen?



Afbeelding 4 Welk profiel staat loodrecht op de geul?

Hoofdstuk 2 Hulpmiddelen en data beschrijving

2.1 Digibeeld

Eén van de hulpmiddelen die voor dit onderzoek ter beschikking stond was "Digibeeld". De omgevingstaal van dit pakket is TCL-Image (Technical Command Language), een commando-gerichte taal geschikt voor beeldbewerkingsoperaties. Digibeeld bevat o.a. een ook door de TPD ontwikkelde interpolatie-methode die profielmetingen, zogenaamde lodingen of raaien (zie paragraaf 1.1), omzet naar een 20 x 20 meter raster-afbeelding. In Digibeeld kunnen uit de verkregen rasters m.b.v. padzoek-algoritmen ([Gerbrands 1991], [Lagendijk 1988]) de geulen en platen worden gedetecteerd, waarna er verscheidene morfologische parameters berekend kunnen worden. Met deze parameters, zoals de gemiddelde en maximum diepten, hydraulische straal en geulbreedte, bepaalt RWS wanneer en waar er ingegrepen moet worden in de natuur d.m.v. baggerwerkzaamheden. Verder kunnen in Digibeeld een aantal analyse-tools worden ingeschakeld, zoals het maken van verschilkaarten, gradiëntkaarten, dieptelijnen-kaarten etc. Het is ook mogelijk resultaten van Digibeeld in te voeren in andere pakketten, zoals het GIS-pakket Arc/info (zie paragraaf 2.2).

De interpolatie in Digibeeld is ontwikkeld door de TPD en geschikt voor het verkrijgen van een digitaal hoogtemodel uit de raaien. Er was weinig reden om andere interpolatie-technieken toe te passen, omdat Digibeeld en zijn interpolatie al gebruikt worden bij RWS. In het kort volgt nu de uitleg van deze interpolatie (zie [Antwerpen, van der Meer, van Munster 1991]).

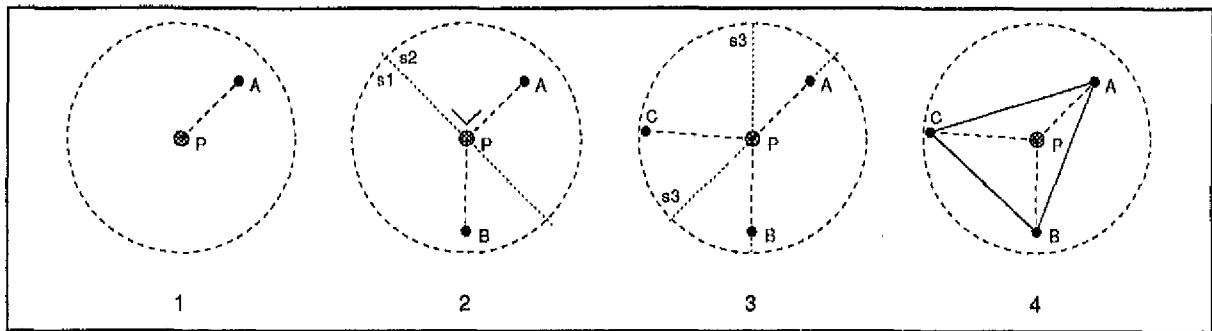
De interpolatie is gebaseerd op het opspannen van driehoeken. Dit houdt in dat per punt of pixel een optimale driehoek wordt opgespannen, waarvan de hoekpunten samenvallen met de meetpunten. De keuze van de driehoeken is gebaseerd op een model dat voor de gebruiker doorzichtig is (zie afbeelding 5 met bijbehorende tekst).

Er wordt altijd geïnterpoleerd, dus de methode leidt niet tot ongewenste extrapolaties. De feitelijke aanname hier is dat in het algemeen de significante veranderingen in diepte plaatsvinden loodrecht op een geul.

In eerste instantie wordt geïnterpoleerd alsof de richting van de lodingen loodrecht op de geulen is. Aan deze eis wordt niet altijd voldaan. Dit levert geulen op met randen die niet mooi glad verlopen (er is gegronde reden voor een aanname van continuïteit). De methode past vervolgens zijn zoekrichting aan indien de raaien niet loodrecht op de geul zijn gevaren. Op basis van de eerste interpolatie worden lokale richtingen bepaald in de bodemhelling (gradiënten). Binnen de daaropvolgende iteraties wordt de oriëntatie van de interpolatie-driehoeken bepaald door de gevonden lokale hoofdrichting (in variabele zoek-ellipsen afhankelijk van de gradiënt).

Zo is men gekomen tot een persoons-onafhankelijke en gebruikersvriendelijke methode, voornamelijk wat betreft de inzichtelijkheid. De rekentijd is hoog, maar acceptabel in vergelijking met de frequentie van levering van gegevens. Een voorwaarde voor RWS was dat de meetwaarden in het uiteindelijk dieptemodel teruggevonden moeten worden.

In de loop van het onderzoek is de interpolatie-methode een paar maal verbeterd. Eén verbetering heeft zich rond juni 1993 voorgedaan, maar de uiteindelijke effecten hiervan bleken klein te zijn. Verder was het rond die tijd ook mogelijk om apart een zoekafstand en een middellingsafstand in te voeren. De middellingsafstand beschrijft de cirkel waarbinnen de gradiënten worden bepaald. In oudere versies van Digibeeld waren deze afstanden aan elkaar gekoppeld. De analyse is uitgevoerd op dieptematrices met de meest recente (interpolatie) versie van Digibeeld.



Afbeelding 5 Opspannen van een optimaal driehoek bij de interpolatie van Digibeeld

Afbeelding 5 laat zien welke meetpunten een optimale driehoek opspannen bij de eerste interpolatie-stap. Punt P is de pixel die geïnterpoleerd moet worden. De volgende stappen zijn te onderscheiden:

1. Binnen een zoekgebied (cirkel) wordt naar het dichtstbijzijnde meetpunt gezocht; dit is punt A.
2. T.o.v. AP wordt een loodlijn getrokken, wat het zoekgebied in twee sectoren verdeelt: s1 en s2. In sector s1 wordt naar het volgende dichtstbijzijnde meetpunt gezocht; dit is punt B.
3. Het volgende zoekgebied wordt begrensd door de getrokken lijnen door BP en AP, zodat sector s3 ontstaat. Het dichtstbijzijnde meetpunt in deze sector is punt C.
4. Vervolgens wordt een vlak opgespannen door de meetpunten A, B en C, waaruit de waarde in punt P wordt afgeleid.

De interpolatie die hierop volgt (in iteraties) heeft zoekgebieden in de vorm van ellipsen, waarvan de hoofdasen zijn bepaald aan de hand van de gradiënten van het eerste interpolatie-resultaat.

2.2 Arc/Info

Een ander hulpmiddel waarmee veel gewerkt is, is Arc/Info. Arc/Info is een geografisch informatie systeem (GIS), waarmee men allerlei soorten gegevens kan koppelen aan de geografie. Arc/Info is een zeer uitgebreid pakket, maar voor dit onderzoek is er voornamelijk gebruik gemaakt van de GRID-module. Met deze module is het mogelijk bewerkingen uit te voeren op en berekeningen te doen in digitale hoogtemodellen. Eén van de manieren van dit pakket om een digitaal hoogtemodel te beschrijven is d.m.v. zogenaamde "grids", ofwel regelmatige matrices met hoogtewaarden. In dit geval ging het om matrices met dieptewaarden, dus negatieve hoogtewaarden.

Verder kent het pakket vector-georiënteerde kaartlagen, de zogenaamde "coverages". Hierin zijn veelhoeken, vectoren of punten opgeslagen, waaraan ook gegevens gekoppeld kunnen worden. Men kan hierbij denken aan vectoren met een dieptewaarde (dieptelijnen) of punten met ieder een dieptewaarde (dieptepunten). Tevens kan men m.b.v. coverages dwarsprofielen in een grid plaatsen, waarlangs de diepte of hoogte gemeten wordt [ARC/INFO user's guide 1991].

2.3 Geleverde data

Zoals gezegd is in hoofdstuk 1 bleek in de loop van dit onderzoek dat voor het jaar 1985 de raaien voor een beperkt gebied in de Westerschelde digitaal beschikbaar zouden komen. Hiermee is het

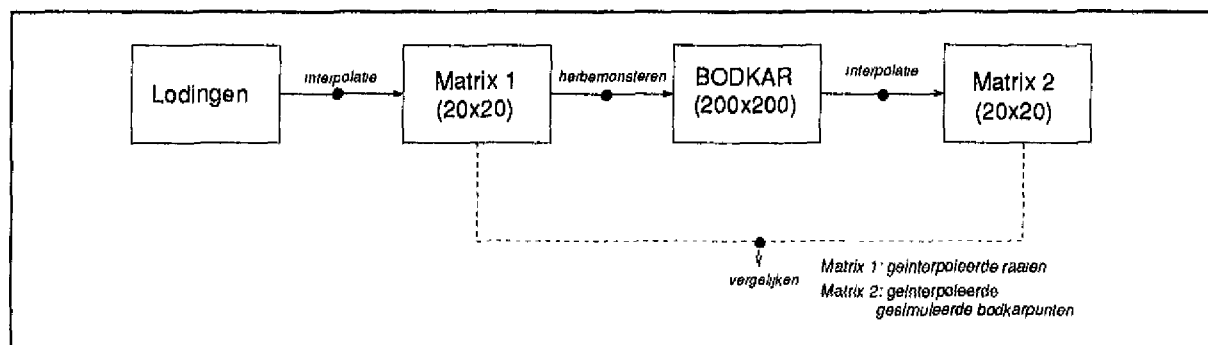
mogelijk de datasets (raaien, bodkarmatrix en dieptelijnen) van hetzelfde jaar te interpoleren en de verkregen rasters te vergelijken, zodat bepaald kan worden hoe nauwkeurig (een combinatie van) de datasets zijn. Er is dus sprake van een overlap van gegevens voor één jaar. Binnen het kader van dit onderzoek kan men aannemen dat de raaien een 'ground-truth' (referentie-waarden) bezitten, aangezien de dieptelijnen en bodkar-matrix beide hieruit zijn afgeleid, en de raaien de grootste dichtheid aan gegevens bevatten. Er wordt niet onderzocht hoe goed de ground-truth is. Het is hiermee dus mogelijk te bepalen welke dataset de meest betrouwbare resultaten zal opleveren: de bodkarpunten of de combinatie bodkarpunten en (één of meer) dieptelijnen.

Zoals in hoofdstuk 1 is gesteld zijn de bodkarpunten handmatig afgeleid uit de raakaarten. De nauwkeurigheid van de resultaten van de bodkarpunten zal o.a. afhangen van fouten die bij deze interpolatie gemaakt worden. Verder zal ook de (onder)bemonstering een rol spelen (zie voor volledige foutenlijst paragraaf 2.5). Om deze fouten enigszins van elkaar te scheiden is de bodkarmatrix als het ware gesimuleerd uit de geïnterpoleerde raaien. M.b.v. een algoritme zijn sample-punten gekozen uit de geïnterpoleerde raaien op de posities waar de bodkarmatrix waarden heeft staan. Deze gesimuleerde bodkarpunten kunnen vervolgens weer geïnterpoleerd worden naar een dieptematrix van 20 x 20 meter.

De echte bodkarmatrices bevatten fouten die veroorzaakt zijn door de morfoloog en die dus niet gesimuleerd worden. De vergelijking heeft één zwak punt. De gesimuleerde bodkarpunten zijn bedacht om de factor van menselijke interactie uit te schakelen, dan wel om de gevolgen van de bemonstering te bepalen. Deze punten worden verkregen door eerst de raaien te interpoleren; hierbij doet een model al zijn intrede. Het is in dit geval nu eenmaal niet mogelijk uit de raaien rechtstreeks bodkarpunten te verkrijgen zonder een menselijke factor.

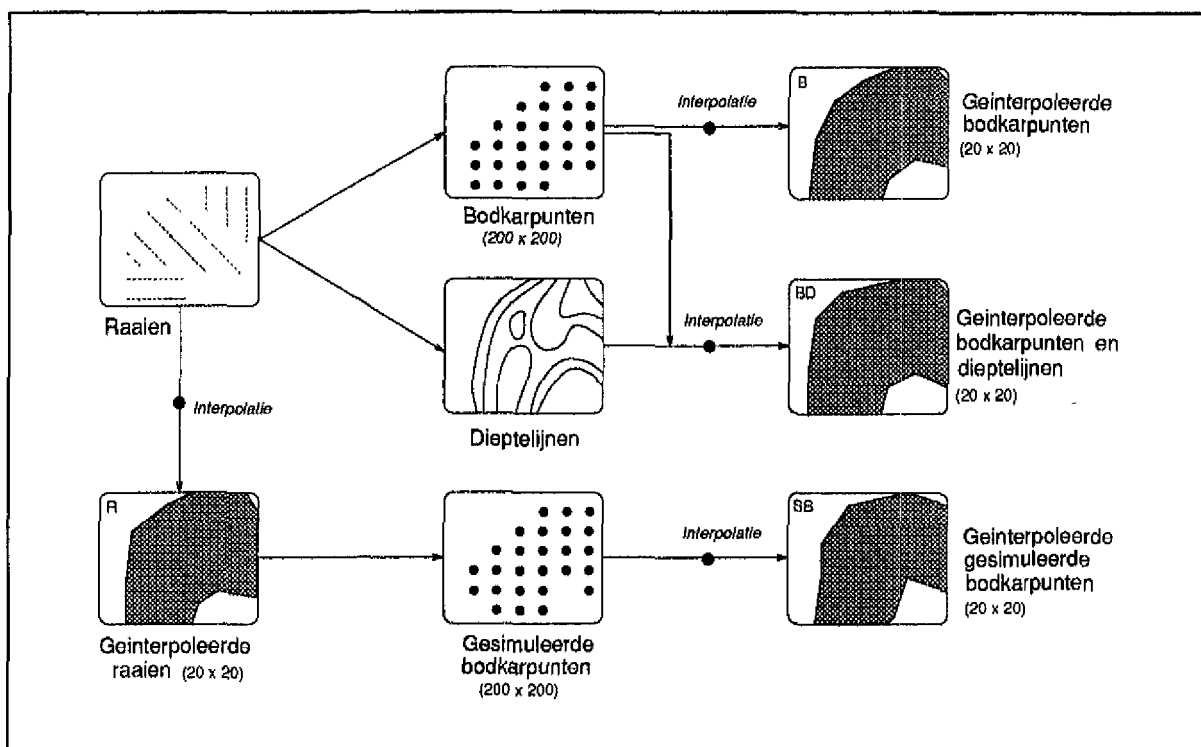
De volgende stappen kunnen dus onderscheiden worden (zie ook afbeelding 6):

- Men interpoleert de lodingsdata van 1985 en verkrijgt een 20 x 20 m matrix (matrix 1).
- Deze matrix wordt herbemonsterd naar de configuratie van een bodkarmatrix (200 x 200 meter).
- Dit (gesimuleerde) bestand van bodkarpunten wordt opnieuw geïnterpoleerd.
- Het resultaat van de interpolatie (matrix 2) wordt vergeleken met de resultaten van de geïnterpoleerde raaien en zal iets zeggen over de fouten t.g.v. de onderbemonstering, en iets over de handmatige interpolatie.



Afbeelding 6 Simulatie bodkarpunten

De beschikbare data is volgens onderstaande afbeelding gestructureerd:



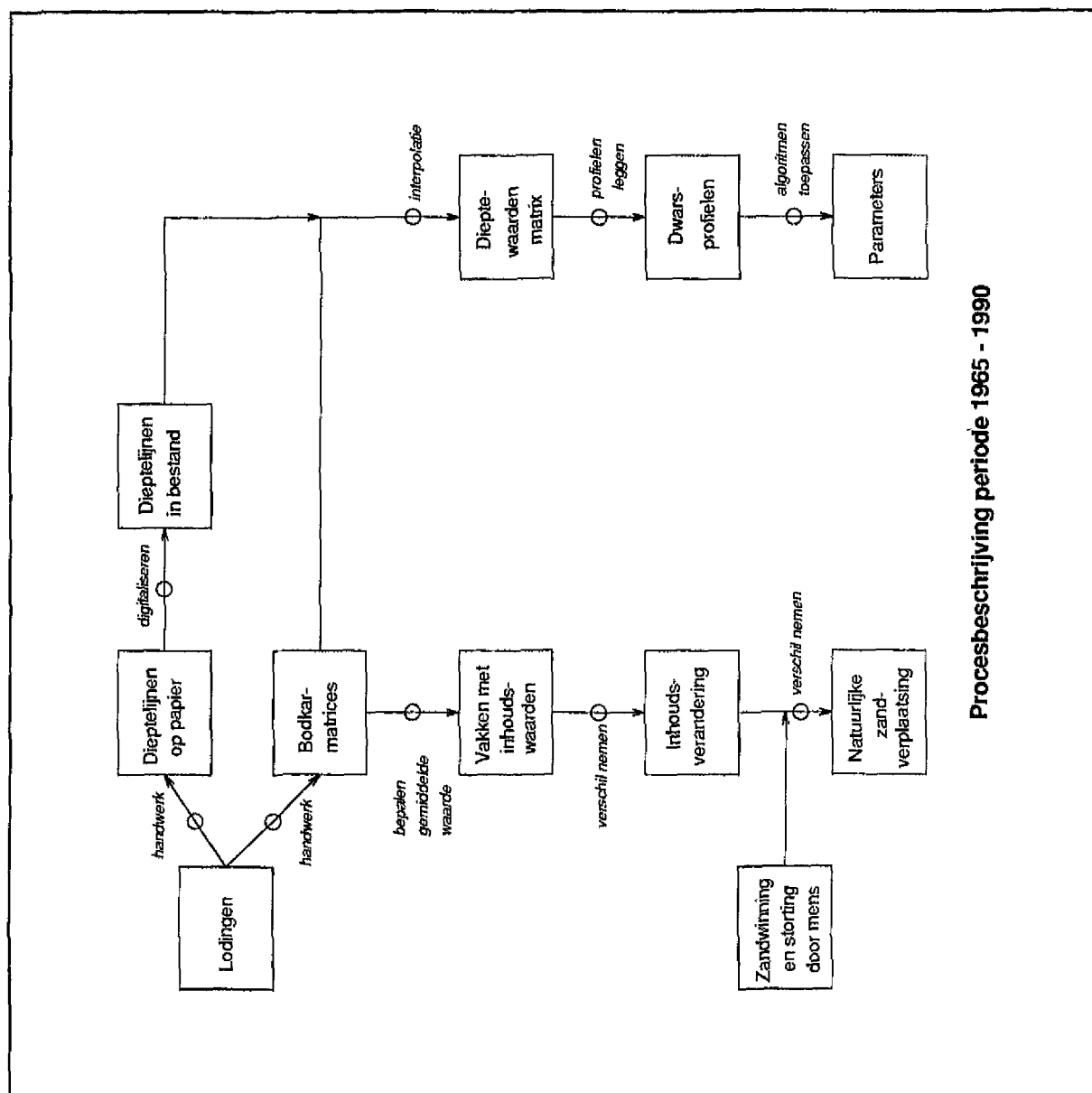
Afbeelding 7 Onderlinge verbanden van de dieptematrices. De afkortingen voor de dieptematrices (R,B,BD,SB) worden in hoofdstuk 3 geïntroduceerd, maar hier alvast genoemd.

2.4 Procesbeschrijvingen

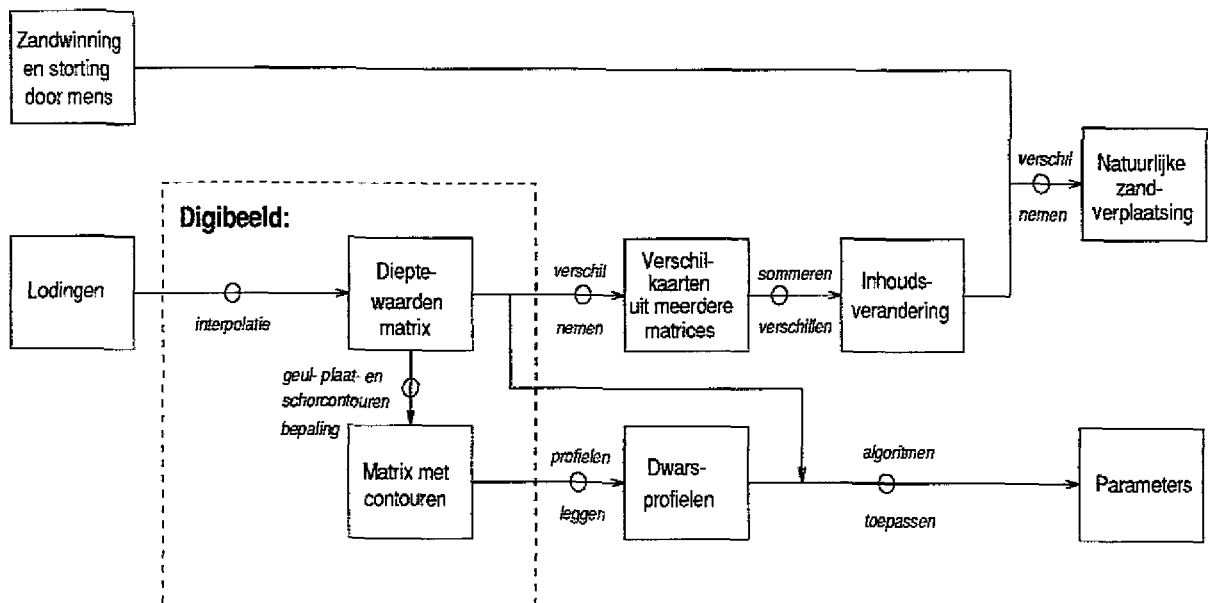
Het uiteindelijke doel van RWS is om m.b.v. dwarsprofielen parameters te berekenen. Om een nauwkeurighedsanalyse hierop uit te voeren is het van belang het gehele proces van data-acquisitie tot en met de berekening van de parameters in eerste instantie te beschrijven. De procesbeschrijving (zie afbeeldingen 8 en 9) is gesplitst in twee delen: een gedeelte voor de periode 1965 tot 1990, en een gedeelte voor de periode vanaf 1990. Er zijn een tweetal eindresultaten bij beide schetsen: 1. de natuurlijke zandverplaatsing, deze is al bepaald bij RWS m.b.v. de bodkarmatrix, en 2. de parameters die verkregen zijn uit de dwarsprofielen. De laatste resultaten moeten nog geïmplementeerd en uitgevoerd worden en hiervan zal de nauwkeurigheid worden bepaald in dit verslag.

De dieptelijnen en bodkar-matrices zijn afgeleid uit de lodingen door handmatige interpolatie (zie afbeelding 8). Voordat de dataset van de dieptelijnen wordt geïmporteerd in Digibeeld moet zij eerst worden gedigitaliseerd. De dieptewaarden van de bodkarpunten zijn ingevoerd en ook digitaal beschikbaar. De bodkarmatrix wordt vervolgens alleen of gecombineerd met één of meer dieptelijnen geïnterpoleerd in Digibeeld, waarna in Arc/Info dwarsprofielen en parameters berekend kunnen worden.

De procesbeschrijving vanaf 1990 is niet zo belangrijk (afbeelding 9), aangezien de raalen of lodingen nu direct digitaal verwerkt worden. Het valt niet binnen het raamwerk van dit onderzoek de nauwkeurigheid van resultaten te bepalen uit de geïnterpoleerde raalen.



Afbeelding 8 Procesbeschrijving periode 1965-1990



Procesbeschrijving vanaf 1990

Afbeelding 9 Procesbeschrijving vanaf 1990

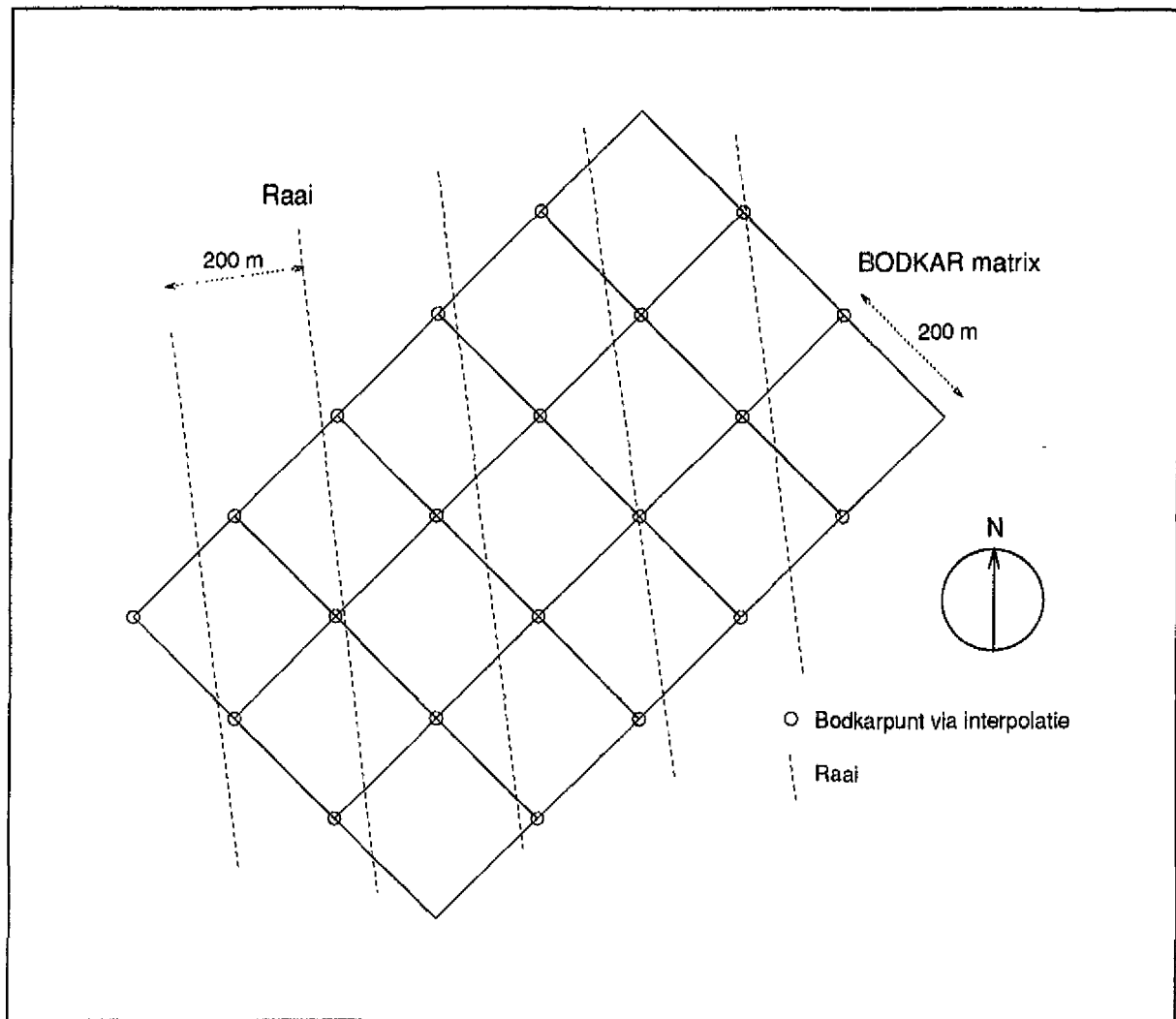
2.5 Opsomming en beschrijving van foutenbronnen

Met behulp van de procesbeschrijving (afbeelding 8) is geprobeerd een zo volledig mogelijke lijst op te stellen met de foutenbronnen die een rol (kunnen) spelen op de lange weg van data-acquisitie tot en met de berekening van de profiel-parameters.

- 1 - meetfouten van raaien (echo-lood peilingen)
- 2 - fouten t.g.v. handmatige interpolatie bodkarpunten uit raaien
- 3 - fouten t.g.v. handmatige interpolatie dieptelijnen uit raaien
- 4 - (onder)bemonstering van de bodkarpunten
- 5 - (onder)bemonstering van de dieptelijnen
- 6 - datafusie-fouten (combineren van verschillende data)
- 7 - interpolatie-fouten van Digibeeld
- 8 - het handmatig plaatsen van dwarsprofielen
- 9 - interpolatie-fouten van het dwarsprofiel in Arc/Info
- 10 - fouten t.g.v. de rand (of: geen data meer aan randen)
- 11 - berekeningsfouten/afrondingsfouten van parameters

- 1 - meetfouten van raaien: de dieptewaarden die verkregen zijn met behulp van akoestische echoloodmetingen bevatten een bepaalde meetfout. Deze ligt in de orde van 25 cm stochastisch en 10 cm systematisch². Het valt buiten het raamwerk van dit onderzoek om de mate waarin deze fouten doorwerken op de resultaten te bepalen.
- 2 - fouten t.g.v. handmatige interpolatie bodkarpunten uit raaien: de bodkarpunten zijn handmatig bepaald uit de raaikaarten. Een menselijke factor wordt geïntroduceerd, die afwijkingen kan veroorzaken in de Z-richting. In X- en Y-richting zijn deze fouten nul; er wordt namelijk een regelmatig raster over de raai-kaarten heen gelegd. De fout zal vooral optreden bij steile hellingen in het terrein, en ook door de verdeling van de raaien en de structuur van de bodkarmatrix. Een "ideale" situatie ontstaat als bij de handmatige interpolatie de bodkarpunten op of dicht in de buurt van de raaien vallen, aangezien de raaien onderling ook op 200 meter afstand van elkaar liggen. Dit is echter niet altijd het geval, omdat men bij de meting van de raaien heeft geprobeerd zo loodrecht mogelijk op de geul te varen. Hierdoor kan het voorkomen dat een bodkarpunt midden tussen twee raaien valt. De dichtstbijzijnde meetpunten liggen dan op maximaal 100 meter afstand, waardoor het dus tamelijk lastig is hiervoor een waarde te schatten (zie afbeelding 10). In paragraaf 2.3 is een methode uitgelegd, waarmee deze fout kan worden geanalyseerd (m.b.v. de gesimuleerde bodkarpunten).
- 3 - fouten t.g.v. handmatige interpolatie dieptelijnen uit raaien: bij het bepalen van de dieptelijnen is men ook uitgegaan van de raaien, zodat dezelfde soort problemen ontstaat als bij de bodkarmatrix. Een diepteliijn is een aaneengesloten lijn van dezelfde diepte. Het verloop tussen de raaien is moeilijk te bepalen. Nog meer dan bij de bodkarpunten wordt bij dieptelijnen kennis toegevoegd door een morfoloog. Hij zal namelijk zelf al een model van het terrein in zijn hoofd hebben zitten. In hoeverre dit fouten oplevert is uitermate moeilijk te bepalen.

²) Deze cijfers zijn onder meer afhankelijk van de steilheid van de bodem.



Afbeelding 10 De bodkarmatrix, geprojecteerd over de raaien.

- 4 - (onder)bemonstering van de bodkarpunten: de bemonstering van de bodkarpunten is 200 meter. Men wil komen tot een raster van 20 bij 20 meter en hierin metingen uitvoeren. Welke nauwkeurigheid is met de (onder)bemonsterde gegevens te behalen? Dit verslag zal m.b.v. de gevolgde analyses op deze vraag een antwoord geven.
- 5 - (onder)bemonstering van de dieptelijnen: de dieptelijnen liggen zeer verspreid over het gebied. Bij de randen komen veel verschillende dieptelijnen dicht bij elkaar, terwijl in de minder steile gebieden zij slechts sporadisch voorkomen (zie afbeelding 2). Het is dus lastig iets te zeggen over een (onder)bemonsteringsfout van de dieptelijnen. Het is om dezelfde reden niet mogelijk alleen de dieptelijnen te interpoleren, aangezien dit raster grote "witte vlekken" zal bevatten op die plaatsen waar er geen dieptelijnen voorkomen. Binnen de zoekafstand worden dan geen meetpunten gevonden. We kunnen wel de dieptelijnen toevoegen aan de regelmatige bodkar-matrix en interpoleren naar een 20 x 20 meter dieptematrix en hiervan de resultaten analyseren.

- 6 - datafusie-fouten: indien de bodkarmatrix en de dieptelijnen gecombineerd en geïnterpoleerd worden dan is er de mogelijkheid dat datafusie-fouten hun intrede doen. Dit zijn fouten die optreden in de geïnterpoleerde diepte-matrix, doordat bodkarpunten niet overeenkomen met een in de buurt liggende dieptelij. Dit is een gevolg van de verschillende verwerking van de twee data-soorten; voornamelijk vanwege de digitaliseerstap die de dieptelijnen hebben ondergaan (zie afbeelding 8). Een bodkarpunt kan dan net aan de "verkeerde" kant van een dieptelij liggen. De mate waarin dit voorkomt wordt in paragraaf 4.1.5 behandeld.
- 7 - Interpolatie-fouten van Digibeeld: de interpolatie-fouten van Digibeeld zijn moeilijk te bepalen (kleine) fouten. Echter alle datasets waarmee gewerkt is, ondergaan deze interpolatie, zodat de invloed ongeveer dezelfde zal zijn. Er is echter wel geïnterpoleerd met andere instelparameters, afhankelijk van de te interpoleren dataset. Rijkswaterstaat heeft aan de hand van visuele vergelijkingen een lijstje met de beste waarden voor de instelparameters bepaald, geschikt voor de raaien. Het betreft hier waarden voor bijvoorbeeld de zoekafstand en aantal iteraties (zie paragraaf 2.1). Voor de bodkarpunten is het nodig de zoekafstand te stellen op 20, aangezien zij verder uit elkaar liggen dan de raaien (met zoekdiepte 15).
- 8 - fouten t.g.v. handmatig plaatsen van dwarsprofielen: één van de vragen van RWS (zie paragraaf 1.2). Dit betekent dat dwarsprofielen niet consistent geplaatst zullen worden door operators. Een morfoloog zal een dwarsprofiel niet nauwkeurig loodrecht op een geulas plaatsen (oriëntatie-fout). Deze fout beïnvloedt de resultaten in alle richtingen. Deze fout wordt in paragraaf 4.3.1 geanalyseerd.
- 9 - Interpolatie-fouten van het dwarsprofiel in Arc/info: een dwarsprofiel in Arc/info wordt opgeslagen in de vorm van een tabel met X- Y- en Z-coördinaten. Arc/Info interpoleert binnen in de pixels. De Z-coördinaat van een punt wordt bilineair bepaald uit vier omliggende pixel-(centrum)waarden, gebaseerd op de gewogen afstand tot die punten. Hierbij wordt ook een fout geïntroduceerd. Deze fout zal weinig invloed hebben op het eindresultaat.
- 10 - fouten t.g.v. de rand: als de begrenzing van het gebied wordt gedefinieerd door een dieptewaarde, betekent dit voor elke dieptematrix een anders verlopende buitengrens. Immers deze grens wordt bepaald door pixels die onder deze dieptewaarde vallen, en in elke diepte-matrix heeft een pixel op een bepaalde positie een andere waarde, net boven of onder dit criterium. Sommige dieptematrices (zoals de bodkarpunten) bevatten geen gebied meer dat doorloopt tot deze waarde, omdat er op deze plaatsen er eenvoudigweg geen dieptepunten meer zijn. Deze fout beïnvloedt de uitkomsten niet alleen in de X- en Y-richting, maar ook in de Z-richting bij sommige parameters. De breedte van een geul wordt bijvoorbeeld kleiner en de gemiddelde diepte groter. Bij de volgende analyses in dit verslag zijn deze fouten ingecalculeerd.
- 11 - berekeningsfouten/afrondingsfouten: vooral bij sommaties zullen afrondingsfouten (in alle richtingen) een kleine rol spelen. Zoals bij het natte oppervlakte, waarbij alle Z-coördinaten bij elkaar worden opgeteld.

De grootste rollen wat betreft het verlies aan nauwkeurigheid worden gespeeld door de (onder)bemonstering van de datasets en de fouten t.g.v. de rand. In hoeverre de fouten t.g.v. de handmatige interpolatie, de datafusie en het handmatig plaatsen van de dwarsprofielen een rol spelen is nog onduidelijk. De rest van de foutenbronnen zullen in vergelijking met de (onder)bemonstering en de fouten t.g.v. de rand verwaarloosbaar klein zijn.

Hoofdstuk 3 Opzet van de analyse

3.1 Inleiding analyse

De Westerschelde is onderverdeeld in een aantal werkgebieden. Van werkgebied 3 (ten noordoosten van Terneuzen) zijn van het jaar 1985 de raaien, de bodkarpunten en de dieptelijnen beschikbaar. Als we deze datasets in Digibeeld hebben geïnterpoleerd naar rasters met dezelfde bemonstering (dieptematrices) dan kunnen zij onderling vergeleken worden (zie afbeelding 7).

De geïnterpoleerde raaien, de dataset die het dichtst bij de werkelijkheid in de buurt komt, worden vervolgens aangegeven met "R" (van Raaien). Deze R is zoals gezegd in paragraaf 1.2 aangenomen als de ground-truth, waarmee we andere datasets op nauwkeurigheid kunnen beoordelen.

Verder zijn geïnterpoleerd de bodkarpunten, de bodkarpunten met de dieptelijnen en de gesimuleerde bodkarpunten, die dus afgeleid zijn uit R. Deze geïnterpoleerde dieptematrices noemen we respectievelijk "B", "BD" en "SB" (Bodkar, Bodkar en Dieptelijnen, Simulatie Bodkar).

Afkorting van de dieptematrices:

R	Raaien
B	Bodkarpunten
BD	Bodkarpunten en dieptelijnen
SB	Gesimuleerde bodkarpunten

We kunnen deze dieptematrices op twee niveaus analyseren:

- 1) Globale analyse
- 2) Lokale analyse

Ad 1) We vergelijken B, BD en SB in hun geheel met R. Dit kan bereikt worden door voor elke positie in het beschikbare gebied de pixelwaarden van de 4 verschillende datasets te vergelijken. Hieruit kunnen een aantal kentallen bepaald worden die iets zeggen over de verschillen tussen de dieptematrices in hun totale omvang. Op deze manier kan er afgeleid worden welke dieptematrix de geïnterpoleerde raaien gemiddeld het dichtst benadert.

Ad 2) Hierbij worden zeer lokaal verschillen berekend tussen de dieptematrices in de vorm van profiel-parameters. Het uiteindelijke doel van RWS is het bepalen van een aantal parameters van geulen, platen en schorren via 1-dimensionale doorsnijdingen (dwarsprofielen) door het gebied. Het is dan ook mogelijk de nauwkeurigheid van deze getallen t.o.v. R te bepalen.

Er is gekozen voor een tweetal niveaus, zodat er controle mogelijk is op de uitkomsten. De verwachting is dat de resultaten van beide niveaus elkaar moeten dekken. De globale methode is betrekkelijk eenvoudig en snel uit te voeren m.b.v. verschilbeelden. De lokale methode vergelijkt resultaten in de vorm van parameters, die eerst afgeleid moeten worden uit de dieptematrices.

3.2 Globale analyse

Van de 4 dieptematrixes: R (aaien), BD (bodkar en dieptelijnen), B (odkar) en SB (gesimuleerde bodkar) is het mogelijk verschilbeelden te maken: men trekt alle pixelwaarden per overeenkomende positie van elkaar af. Hiermee kunnen niet alleen gemiddelde verschillen berekend worden voor het gehele gebied, maar ook visueel geanalyseerd worden waar deze verschillen vóórkomen.

3.2.1 Toevoegen van een dieptelijijn

Onderlinge vergelijkingen tussen de verschillende dieptematrixes leverden op dat BD meer pixels aan de rand bevatte dan B en SB . Dit is een gevolg van de onderbemonstering van B en SB , aangezien er aan de randen soms geen bodkarpunten meer zijn, maar nog wel dieptelijnen. De rand van de geïnterpoleerde bodkarmatrix stopt dan bijvoorbeeld op -5 meter, terwijl de definitie van een geul op -2 meter gewenst wordt (zie paragraaf 1.1). Dit levert "inkepingen" aan de randen op in B en SB (zie bijlage 6). In BD lopen altijd nog één of meerdere dieptelijnen waarnaar geïnterpoleerd wordt.

Om dit op te lossen is er data toegevoegd aan de randen van de bodkar-dataset. Het gaat om de -2.5 meter dieptelijijn, de meest ondiepe dieptelijijn die beschikbaar is. Vervolgens kunnen we de bodkarpunten met 1 dieptelijijn vergelijken met de bodkarpunten met alle dieptelijnen.

Het toevoegen van de -2.5 meter dieptelijijn aan B en SB heeft als voordelen dat tekortkomingen aan de rand tot en met -2.5 meter uitgeschakeld zijn. Indien we deze dieptelijijn tevens als grens van de geul laten fungeren i.p.v. -2.0 meter dan is het zeker dat er totaal geen problemen aan de rand zullen voorkomen. De grens van de geul wordt dan een goed aaneengesloten contour, die tevens gebruikt kan worden voor de lokale analyse. We noemen de dieptematrixes van B en SB aangevuld met de dieptelijijn respectievelijk $B+$ en $SB+$.

3.2.2 Verschilbeelden

Voor dit onderzoek zijn verschillen bepaald tussen de op nauwkeurigheid te analyseren dieptematrixes met de ground-truth-dieptematrix R , verschilbeelden tussen deze te analyseren dieptematrixes onderling, en afgeleide verschilbeelden. Hiermee kan bepaald worden hoe goed de beschikbare data de ground-truth benaderen.

Er is gekozen voor een vijftal verschilbeelden ((i,j) staat voor elke positie per pixel):

1. **$R-BD$** , wat iets zegt over afwijkingen van $BD(i,j)$ t.o.v. $R(i,j)$
2. **$R-B$** , wat iets zegt over afwijkingen van $B(i,j)$ t.o.v. $R(i,j)$
3. **$R-SB$** , wat iets zegt over afwijkingen van $SB(i,j)$ t.o.v. $R(i,j)$
4. **$abs(R-BD) - abs(R-B)$** , hieruit valt het volgende af te leiden:

indien voor (i,j) positief dan: $abs(R-BD) > abs(R-B)$, dan is op de positie (i,j) de absolute afwijkingen van BD groter dan die van B , ofwel BD ligt verder bij R dan B .

indien voor (i,j) negatief dan: $abs(R-B) > abs(R-BD)$, dan is op de positie (i,j) de absolute afwijkingen van B groter dan die van BD , ofwel B ligt verder van R dan BD .

Op deze manier kan bepaald worden welke dataset (waar) gemiddeld dicht bij R ligt, ofwel welke dieptematrix gemiddeld over alle (i,j) nauwkeuriger is.

5. **abs(R-B) - abs(R-SB)**, eenzelfde verhaal als bij 4) geldt nu voor de dieptematrices B en SB. Men kan dan iets zeggen over de nauwkeurigheid van de handmatige Interpolatie van B.

Voor de gevallen 2, 3, 4 en 5 kunnen nogmaals verschilbeelden worden gemaakt, maar nu met B+ en SB+ i.p.v. B en SB.

Kentallen die bij de verschilbeelden berekend worden zijn:

- de gemiddelde afwijking
- de gemiddelde absolute afwijking
- de standaardafwijking

Voor 4) en 5) kunnen hier nog bij komen:

- gemiddelden van positieve en negatieve waarden (minus 0-verschillen)
- standaardafwijkingen van positieve en negatieve waarden (minus 0-verschillen)
- oppervlakte van positieve en negatieve waarden (minus 0-verschillen)

Er geldt voor 4) dat er een groot aantal nulwaarden zullen voorkomen, omdat relatief gezien weinig gebied wordt gevuld met dieptelijnen. Op deze plaatsen zullen er wel verschillen zijn tussen B (of B+) en BD, terwijl voor de rest van het gebied beiden alleen maar bodkarpunten bezitten.

Zie paragraaf 4.1 voor resultaten van de globale analyse.

3.3 Lokale analyse

M.b.v. Arc/Info is het mogelijk parameters te berekenen uit dwarsprofielen. Hiervoor zijn profielcoördinaten (begin- en eindpunten) en een dieptematrix (grid) nodig. In Arc/Info bestaat het commando "SURFACEPROFILE" dat in een op te geven 3D-model (grid of SURFACE) van een op te geven lijn een dwarsprofiel berekent. De invoer bestaat dan uit een diepte-matrix (bijvoorbeeld R, BD, B of SB) en uit begin- en eindcoördinaten van een dwarsprofiel, opgeslagen in de coverages (zie paragraaf 2.2). De uitvoer bestaat uit een file met X- Y- en Z-coördinaten van het dwarsprofiel, opgeslagen in zogenaamde profile-info-files [ARC/INFO user's guide 1991].

Bij het commando "SURFACEPROFILE" kan een zogenaamde "sample-distance" worden ingesteld. Deze waarde bepaalt de afstand tussen opeenvolgende X- en Y-coördinaten van het dwarsprofiel. De sample-distance is gezet op 1 meter, een lagere waarde hiervoor kon Arc/Info niet verwerken en daarom is deze waarde gekozen. Er wordt echter op sub-pixel niveau gemeten: de pixels zijn 20 x 20 meter. De 1 meter is dus in feite overdreven klein; een waarde van 1/4 of 1/3 van de pixelgrootte zou meer realistischer geweest zijn.

Voor dit onderzoek staan een groot aantal profielen tot de beschikking. In paragraaf 3.3.4 wordt beschreven hoe hier is aangekomen. Met behulp van macro's (AML's) is de gehele berekening van de parameters in Arc/Info uitgevoerd (zie bijlage 5). In een eerste AML is "SURFACEPROFILE" per lijnen-coverage toegepast op de beschikbare dieptematrices. De dieptematrix die als 3D-model moet dienen kan van te voren worden opgegeven met het commando "SURFACE LATTICE".

Een volgende AML (zie bijlage 5) heeft als invoer profile-info-files en als uitvoer de parameters breedte, gemiddelde diepte, minimale diepte, maximale diepte, natte oppervlakte en natte omtrek

per dwarsprofiel. Deze uitvoer wordt opgeslagen in files. Aangezien de berekening van de natte omtrek in Arc/Info veel tijd in beslag neemt, is deze uitgevoerd in UNIX (met het commando "awk").

De parameters zijn als volgt berekend:

- **breedte van een geul:** de geul begint bij een bepaalde diepte, de eerste en laatste Z-coördinaten onder deze waarde hebben bijbehorende X- en Y-coördinaten. De Euclidische afstand hier-tussen is de breedte van de geul.

$$\sqrt{(X_{eind} - X_{begin})^2 + (Y_{eind} - Y_{begin})^2}$$

- **gemiddelde diepte van een geul:** de gemiddelde waarde van alle Z-coördinaten die voldoen aan het diepte-criterium

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i, \text{ met } n = \text{aantal Z-coördinaten}$$

- **minimale diepte van een geul:** de grootste Z-coördinaat (waarschijnlijk de waarde van het diepte-criterium)

$$\min_{i=1}^n (Z_i)$$

- **maximale diepte van een geul:** de kleinste Z-coördinaat (dus het diepste punt)

$$\max_{i=1}^n (Z_i)$$

- **natte oppervlakte van een geul:** som van de Z-coördinaten die voldoen aan het diepte-criterium, vermenigvuldigd met de sample-distance (zie afbeelding 3)

$$sd * \sum_{i=1}^n (Z_i), \text{ met } (sd=1 \text{ meter})$$

- **natte omtrek van een geul:** de som van alle Euclidische afstanden van opeenvolgende X- Y- en Z-coördinaten van een dwarsprofiel die voldoen aan het diepte-criterium (zie afbeelding 3).

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2}$$

Deze parameters kunnen berekend worden met de verschillende dieptematrices als leveranciers van de X- Y- en Z-coördinaten. De uitkomsten in BD, B, B+, SB en SB+ kunnen vergeleken worden met die van R. Per parameter komt men zo tot een nauwkeurighedsanalyse.

Kentallen hierbij zijn:

(p = parameter, R = raai-interpolatie, D = andere dataset-interpolatie (BD, B, B+, SB en SB+))

- (absolute) gemiddelde afwijking t.o.v. R in % per parameter

$$\delta p_j(\%) = \left(\frac{p_R - p_D}{p_R} * 100 \right)_j$$

$$\text{gem.afw.}(\%) = \frac{\sum_{j=1}^m \delta p_j(\%)}{m}, \text{ met } m = \text{aantal profielen}$$

- (absolute) gemiddelde afwijking t.o.v. R in meters per parameter

$$\delta p_j(\text{meter}) = (p_R - p_D)_j$$

$$\text{gem. afw.} = \frac{\sum_{j=1}^m \delta p_j(\text{meter})}{m}$$

3.3.1 Geschikte parameters

De beschreven parameters kunnen vergeleken worden m.b.v. kentallen zoals de gemiddelde (absolute) afwijkingen in meters (de natte oppervlakte is uiteraard in vierkante meters bepaald) en percentages. Dit heeft zich voltrokken in het spread-sheet programma Planperfect.

De waarden van de natte omtrek zijn vergeleken met de waarden voor de bijbehorende breedten. Dit leverde voor veel profielen verschillen op die minder dan één meter bedroegen. Aangezien de breedte bepaald wordt tot op 1 meter (de waarde voor de sample-distance) zijn de resultaten voor de natte oppervlakte geen goed vergelijkingsmateriaal.

De minimale diepte zou in principe in alle gevallen gelijk moeten zijn aan het diepte-criterium van de geulen. Minimale verschillen ontstaan ook hier als gevolg van de sample-distance van 1 meter van de dwarsprofielen. Bij zeer steile hellingen kan een verschuiving van 1 meter in het horizontale vlak verschillen opleveren in de Z-richting.

De eis van 5 % die is gesteld door RWS mag niet gelijk worden getrokken voor alle parameters. Verschillen van een paar decimeters leveren voor de gemiddelde diepte al grote verschillen in procenten, terwijl dat voor de breedte van een geul kleine percentages zijn. Deze eis geldt voornamelijk voor de natte oppervlakte die gezien mag worden als één van de belangrijkste parameters. Met deze oppervlakte is direkt iets te zeggen over de evenwichten in de zandbalans.

Geschikte parameters om de resultaten te vergelijken zijn dus de breedte, de gemiddelde diepte en de natte oppervlakte van de geul.

3.3.2 Berekening in verschillende dieptematrices

De berekening van de parameters heeft zich voltrokken in de beschikbare dieptematrices: R (raaien), BD (bodkarpunten en dieptelijnen), B (bodkarpunten), SB (gesimuleerde bodkarpunten), B+

(bodkarpunten met één dieptelijn) en SB+ (gesimuleerde bodkarpunten met één dieptelijn). De resultaten van BD, B, SB, B+ en SB+ zijn allen vergeleken met de ground-truth R. Er zijn twee hoofdklassen te onderscheiden m.b.t. de verschillende dieptematrices:

[A]: Berekening van de profiel-parameters in R, BD, B en SB. Hierbij is de definitie van een geul gesteld op -2.0 meter NAP, een criterium vastgesteld door RWS. Dit wordt tot uitvoering gebracht door eerst de X, Y en Z-coördinaten van het dwarsprofiel in de dieptematrix te bepalen en vervolgens de Z-coördinaten die hoger liggen dan -2.0 meter (met bijbehorende X- en Y-coördinaten) te schrappen. Gevolg is dat voor elke dieptematrix de grens een ander verloop heeft (zie afbeelding 11).

[B]: Berekening van de profiel-parameters in R, BD, B+(dieptelijn) en SB+(dieptelijn). De definitie van het geulgebied is hierbij gesteld op -2.5 meter NAP en dieper. De grens wordt beschreven door de -2.5 meter dieptelijn, zodat in alle dieptematrices de grens dezelfde is. Voordat de parameters berekend worden, worden de dieptematrices "geholpen" door alle pixels, die buiten het dieptelijnen-interval vallen, af te snijden (zie afbeelding 12).

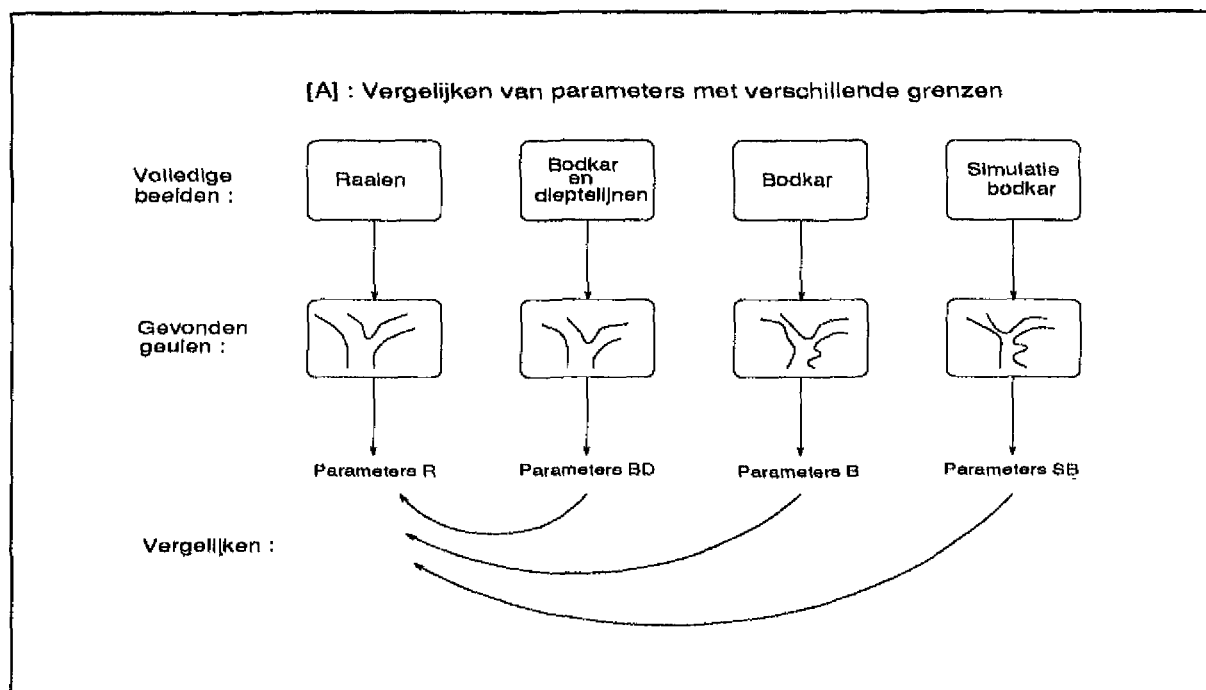
In eerste instantie is een vergelijking belangrijk tussen BD, B en SB, met R als referentie. We kunnen ook een vergelijking maken tussen [A] en [B] om de invloed van 1 dieptelijn te bepalen, als toegevoegde data en als grens. Het voordeel van deze dieptematrices is dat de invloed van de rand zoals die in een vorig hoofdstuk beschreven is, geëlimineerd wordt. Om goede vergelijkingen te kunnen maken kan men beter het diepte-criterium voor een geul gelijk houden. Onderdeel [A] is dan ook nogmaals berekend, maar nu met het diepte-criterium op -2.5 meter. [A] valt dus onder te verdelen in:

[A-I] : R, BD, B en SB met -2.0 meter (variabele) grens.

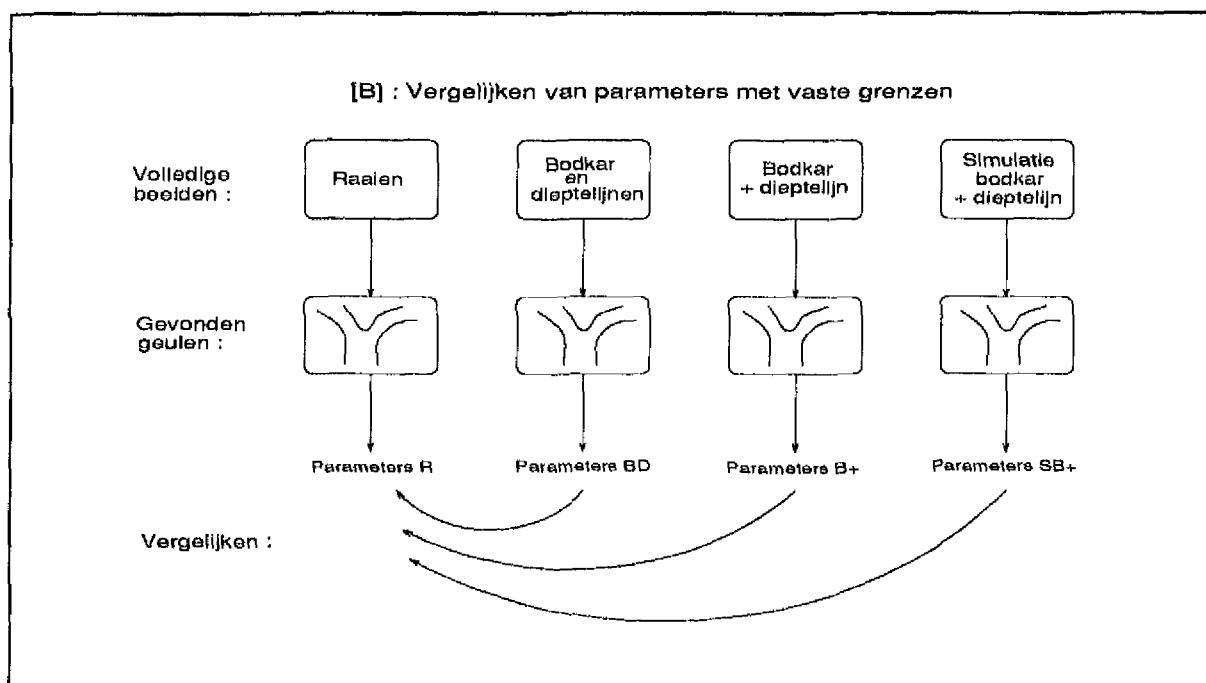
[A-II]: R, BD, B en SB met -2.5 meter (variabele) grens.

Verder is er dan nog onderdeel:

[B] R, BD, B+ en SB+ met -2.5 meter (vaste) grens.



Afbeelding 11 Onderdeel [A] van de berekening van de parameters



Afbeelding 12 Onderdeel [B] van de berekening van de parameters

3.3.3 Verdere vragen over dwarsprofielen

De vorige paragrafen geven methoden aan om een antwoord te kunnen geven op de eerste vraag die gesteld is door RWS: welke nauwkeurigheid valt te bereiken met welke beschikbare gegevens voor de jaren 1965-1985? Hierbij wordt wat uitgebreider ingegaan op de grens van de geul. Een andere vraag had betrekking op de nauwkeurigheid van het met de hand trekken van de dwarsprofielen. Deze vraag valt weer op te splitsen in twee sub-vragen:

- 1) hoe groot is de afwijking t.g.v. een niet precies loodrecht (met de hand getrokken) dwarsprofiel?
- 2) is een dwarsprofiel genoeg representatief voor een geul (of deel van een geul)?

Ad 1) Hierbij wordt de invloed bepaald van de oriëntering van het dwarsprofiel (zie afbeelding 4 van paragraaf 1.2). Het is lastig om een geulas te definiëren, dus ook een dwarsprofiel, die daar loodrecht op staat. Om deze vraag toch te kunnen beantwoorden kunnen we dwarsprofielen op één (begin)positie door verschillende morfologen laten aanklikken. Deze positie zal dan een punt zijn in het midden of aan de rand van de geul. Een aan te klikken dwarsprofiel zal door dit punt moeten lopen. Door van alle dwarsprofielen die de verschillende personen hebben geplaatst op één positie de parameters te berekenen is het mogelijk verschillen te berekenen, waarmee iets over deze fouten gezegd kan worden.

Ad 2) Hierbij wordt de invloed bepaald van een translatie van het dwarsprofiel. Het uiteindelijk doel van RWS is om aan alle geulen van de Westerschelde een aantal parameters te koppelen die berekend worden uit één of meerdere dwarsprofielen per geul. Als echter blijkt dat één dwarsprofiel te weinig representatief is voor een hele geul dan zullen meer of andere dwarsprofielen getrokken moeten worden.

Om dit te onderzoeken kan men in een geul meerdere dwarsprofielen trekken op bepaalde afstanden van elkaar, waarna de parameters berekend kunnen worden per dwarsprofiel en er weer vergelijkingsmateriaal voorhanden is. We kunnen ook denken aan het berekenen van gemiddelde parameters voor een gebiedje rond één dwarsprofiel.

3.3.4 Levering van de gegevens

RWS heeft ten behoeve van de in de vorige paragrafen beschreven analyse-methoden gegevens geleverd van een groot aantal dwarsprofielen. Hoe zij aan deze dwarsprofielen gekomen zijn wordt nu beschreven.

Van vijf verschillende personen binnen RWS is het volgende gevraagd:

Op het beeldscherm verschijnt een grid met geulen (< 2 m NAP) met 25 punten op verschillende posities aan de randen van de geulen. In elk punt begint een lijn en de persoon moet aan de andere kant van de geul een eindpunt plaatsen met de bedoeling de lijn zo loodrecht mogelijk op een (imaginaire) geulas te oriënteren. Dit gebeurt dus 25 maal. Bij het trekken van de dwarsprofielen is een mogelijkheid ingebouwd in het gebied in te zoomen. Hierna verdwijnen de dwarsprofielen en er wordt nogmaals verlangd van de operateur dat hij de dwarsprofielen plaatst, echter nu van positie 25 naar positie 1. Er wordt dus tweemaal een dwarsprofiel op 1 positie getrokken: in heen- en teruggang.

Gedachte is hierbij dat de richting van een getrokken dwarsprofiel afhankelijk is van de persoon en van de positie. Aan de hand van de heen- en teruggang kunnen we de variabiliteit van de persoon bepalen. Aan de hand van de resultaten van de verschillende personen kunnen we de "moeilijkheid" van het gebied (of positie) bepalen. Onder de "moeilijkheid" van een gebied wordt dan verstaan de mate waarin verschillende personen het met elkaar eens zijn over de loodrechtheid van

het dwarsprofiel of, zo men wil, de duidelijkheid van de geulas. Is op een positie in de dieptematrix de (loodrecht)heid op de geulas lastig te bepalen, zoals bij bochten, dan zullen de dwarsprofielen van vijf verschillende personen een grote spreiding hebben.

Als gevolg van de opzet van deze data-acquisitie bij RWS was het mogelijk deze gegevens op twee manieren te onderzoeken:

- 1) de afwijkingen van verschillende personen
- 2) de afwijkingen per persoon

Ad 1) We hebben de beschikking over 50 dwarsprofielen van 5 verschillende personen van RWS in heen- en teruggang. De dwarsprofielen zijn getrokken vanuit punten langs de rand van de geulen. De coördinaten van de dwarsprofielen zijn vervolgens opgeslagen. Hiermee zijn coverages gemaakt per persoon. Als we al deze dwarsprofielen over elkaar heen trekken kunnen we per positie een spreiding zien (zie bijlage 9). We mogen stellen dat hoe groter de spreiding hoe lastiger het is om op die positie een loodrecht dwarsprofiel te trekken. We zien dit voornamelijk optreden bij bochten. Dit komt dan ook tot uiting in de resultaten van de parameters (zie paragraaf 4.3.1 voor de resultaten).

Ad 2) Hiervoor kunnen we specifiek de heen- en teruggang per persoon gebruiken. We kunnen per persoon bekijken hoe consequent hij is in het trekken van een, naar zijn mening, loodrecht dwarsprofiel, door verschillen te berekenen in de heen- en teruggang dwarsprofielen (zie paragraaf 4.3.1 voor de resultaten).

3.3.5 Onderverdelingen van de dwarsprofielen

We hebben de beschikking over 250 dwarsprofielen: 25 posities * 5 personen * 2 in heen- en teruggang. Deze zijn een aantal keren berekend en wel voor de al eerder genoemde onderverdelingen:

[A-I] : R, BD, B en SB met -2.0 meter (variabele) grens.

[A-II]: R, BD, B en SB met -2.5 meter (variabele) grens.

[B] R, BD, B+ en SB+ met -2.5 meter (vaste) grens.

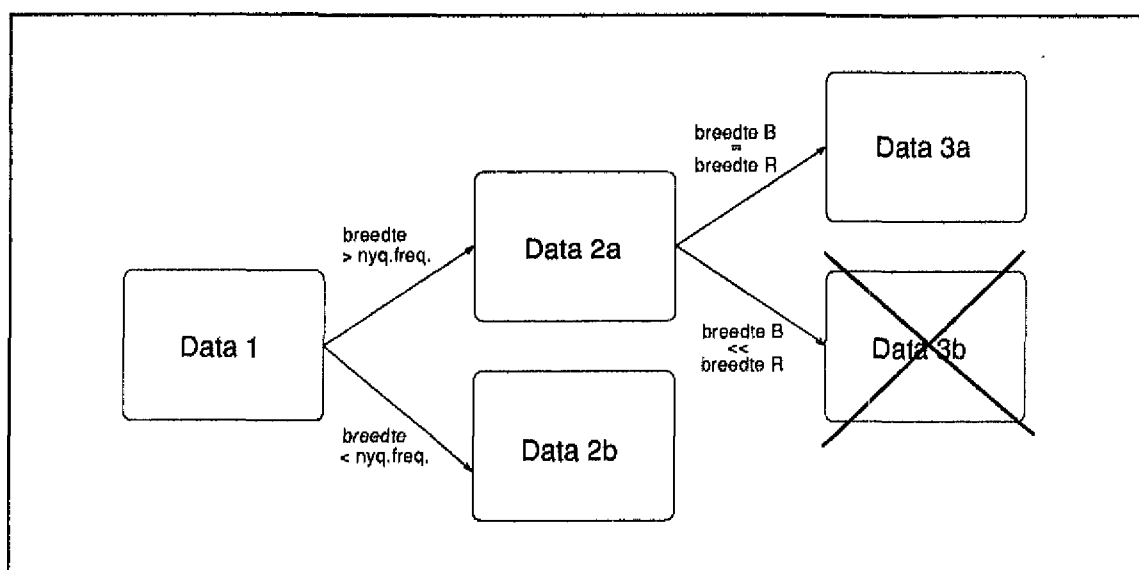
Om tot beter inzicht te komen in de resultaten van de parameters zijn de dwarsprofielen onderverdeeld in een aantal subklassen. Met betrekking tot de parameters in R, BD, B en SB ([A-I] en [A-II]) zijn de volgende onderverdelingen te maken (zie ook afbeelding 13):

1) Breedte van de geul kleiner of groter dan 500 m. Na de berekening van de parameters van de 250 dwarsprofielen in Arc/info en de invoering in het spread-sheet programma Planperfect, bleken een aantal dwarsprofielen opvallend hoge afwijkingen te bezitten t.o.v. R. Wat deze dwarsprofielen gemeen hadden was hun geringe lengte (wat gelijk is aan de breedte van de geul). Het theorema van Shannon stelt dat een signaal volledig gereconstrueerd kan worden, mits de bemonsteringsfrequentie minimaal 2 maal zo hoog is als de hoogst aanwezige frequentie, ook wel de Nyquist frequentie genoemd (welke voor de bodkarpunten $200 * 2 = 400$ meter is). Vervolgens zijn deze dwarsprofielen (2, 5, 6, en 7 en voor [A-II] dwarsprofiel 13 erbij) van ongeveer 500 meter en lager apart behandeld.

2) Breedte B = breedte R / breedte B << breedte R. In eerste instantie zijn de parameters berekend van R, BD, B en SB. Een aantal dwarsprofielen vallen in de eerder genoemde inkepingen (zie paragraaf 2.5). Deze dwarsprofielen houden op bij een diepte die nog onder het diepte-criterium ligt. Dit heeft grote invloed op alle parameters (niet zozeer op de maximale diepte), aangezien je

data mist. Een tweede onderverdeling is dan ook om deze dwarsprofielen eruit te selecteren. Ze zijn gemakkelijk te detecteren, omdat hun breedte in B veel kleiner is dan de breedte in R (tot wel verschillen van 100 meter). We houden dan dwarsprofielen over met een breedte in B die ongeveer in de buurt ligt van de breedte in R (Breedte B = breedte R).

Met betrekking tot R, BD, B+ en SB+ (onderdeel [B]) valt het volgende op te merken: B+ bevat geen inkepingen, dus onderverdeling 2) breedte B+ << breedte R levert in wezen niets op. De breedten van de geulen zijn ook voor alle dieptematrixes gelijk aan elkaar, aangezien zij een identieke grens hebben. Willen we echter vaste grenzen vergelijken met niet-vaste grenzen dan moeten we [B] met [A-II] vergelijken en die dwarsprofielen die in B de rand niet halen ook schrappen (let wel op verschil tussen onderdeel [B] en dieptematrix B!). We passen dan onderverdeling 2) toe op onderdeel [B].



Afbeelding 13 Structuur van de onderverdeling van de profielen.

Hoofdstuk 4 Resultaten van de analyse

4.1 Resultaten van de globale analyse

4.1.1 Verschilbeelden R-BD, R-B en R-SB

In eerste instantie zijn er verschilbeelden gemaakt tussen de te analyseren dieptematrices BD (bodkar en dieptelijnen), B(bodkar) en SB (gesimuleerde bodkar) met de ground-truth R(aalen). Om goede vergelijkingen te maken tussen B en BD is eerst een masker gemaakt van het gebied waar zowel R, BD als B pixels hebben staan. Als dat niet zou gebeuren dan zou de verschilkaart R-BD meer pixels bevatten dan R-B, zodat de vergelijking niet betrekking heeft op hetzelfde gebied. Dezelfde acties zijn ondernomen m.b.t. het vergelijken van R, B en SB. We zien bij R-B dan ook 2 waarden voor sommige kentallen: de eerste waarden gelden voor alle gemeenschappelijke pixels in R, BD en B, terwijl de tweede waarden gelden voor alle gemeenschappelijke pixels in R, B en SB. De verschilbeelden R-BD, R-B en R-SB kan men vinden in bijlage 6.

kentallen	R-BD	R-B	R-SB
gemiddelde	-0.09 m	-0.02 m / -0.05 m	-0.05 m
gemiddelde absoluut	0.57 m	0.68 m / 0.64 m	0.58 m
st.deviate	1.05 m	1.30 m / 1.20 m	1.12 m

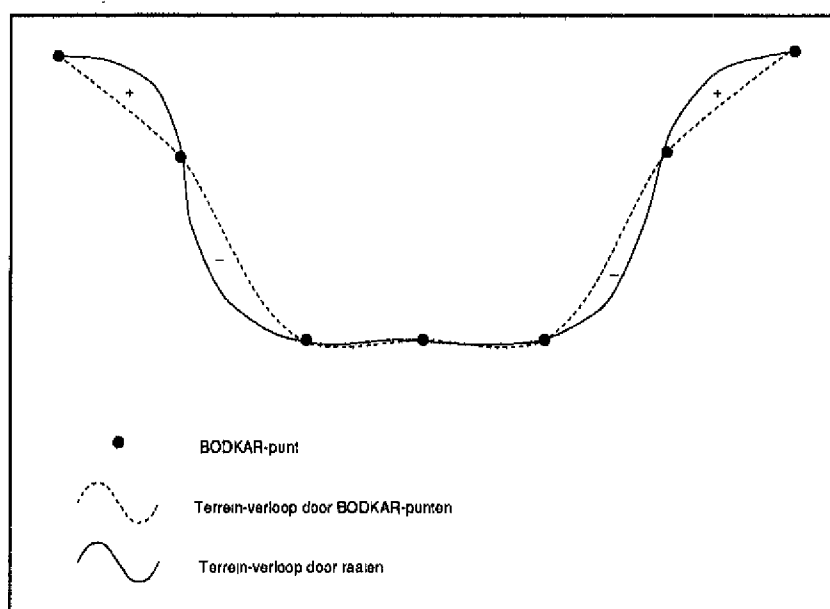
Tabel 1 Resultaten van R-BD, R-B en R-SB.

Discussie:

In eerste instantie moet men concluderen dat de gemiddelde verschillen weinig significant zijn, aangezien ze in de orde van centimeters en decimeters liggen. Op dit niveau benaderen de dieptematrices de ground-truth redelijk.

Als men afgaat op deze getallen blijkt dat het gemiddelde van R-BD meer negatief is dan het gemiddelde van R-B (-0.09 tegen -0.02). Aangezien de dieptewaarden van R, B en BD negatief zijn, betekent dit dat BD gemiddeld minder diep is dan B en R. Absoluut gezien wijkt BD minder af van R dan B (0.57 tegen 0.68). De pixels die zowel in R, B, als SB voorkomen, hebben in B absoluut gezien grotere afwijkingen van R dan SB. Gemiddeld is SB net zo diep als B.

In bijlage 6 zijn deze verschilbeelden te vinden. De grijze gebieden betekenen verschillen in de buurt van 0, voor de donkere gebieden geldt dat R dieper ligt, voor de lichtere gebieden geldt dat R ondieper ligt. Dit geldt tevens voor alle volgende verschilbeelden. De gebieden, waar dieptelijnen lopen, zijn in de verschilbeelden duidelijk herkenbaar in de vorm van witte en zwarte pixels. Ditzelfde effect komt ook voor bij R-BD. Voor alle dieptematrices geldt dus dat de grootste verschillen met R voorkomen in gebieden met steile hellingen. Door deze gebieden lopen namelijk veel dieptelijnen op onderling korte afstanden. Als verschilbeeld R-BD vergeleken wordt met R-B dan is voornamelijk linksboven aan de randen te zien dat eerstgenoemde iets meer zwart bevat, wat erop wijst dat in deze gebieden R dieper ligt. Dit ook weer terug te vinden in de tabel. In R-B liggen naast de zwarte gebieden veelal witte gebieden, wat wijst op een te verwachten smoother verloop van het model door de bodkarpunten. Onderstaande afbeelding laat zien hoe dit in een dwarsprofiel eruit ziet: het negatieve gebied in de afbeelding is dan zwart in het verschilbeeld (R dieper), het positieve gebied in de afbeelding is dan wit in het verschilbeeld (R ondieper).



Afbeelding 14 Smooth-effect van de bodkarpunten

Conclusies:

- De gemiddelde verschillen zijn weinig significant.
- Gemiddeld wijkt BD meer af van R dan B.
- Absoluut wijkt B meer af van R dan BD.
- Gemiddeld wijken B en SB evenveel af van R.
- Absoluut wijkt B meer af van R dan SB.
- De grootste verschillen treden op in steile gebieden.
- Bij B wordt een smooth-effect geconstateerd.

4.1.2 Resultaten van verschilbeelden van verschilbeelden

De resultaten van $\text{abs}(R-BD)-\text{abs}(R-B)$ en $\text{abs}(R-B)-\text{abs}(R-SB)$, met een splitsing in een positief en een negatief gedeelte (zie bijlage 6):

kentallen	$\text{abs}(R-BD)-\text{abs}(R-B)$	positief	negatief	$\text{abs}(R-B)-\text{abs}(R-SB)$	positief	negatief
gemiddelde	-0.11 m	0.47 m	-0.68 m	0.06 m	0.47 m	-0.44 m
st.deviatie	0.91 m	0.78 m	1.17 m	0.89 m	0.77 m	0.78 m
aantal pixels	129659	33478	43361	123350	66360	54709
oppervlak pixels	100 %	25.8 %	33.4 %	100 %	53.8 %	44.4 %

Tabel 2 Resultaten van $|R-BD|-|R-B|$ en $|R-B|-|R-SB|$.**Discussie:**

De verschillen liggen in de orde van decimeters, zodat de significantie gering is. Het gemiddelde van $\text{abs}(R-BD)-\text{abs}(R-B)$ is een negatief getal (-0.11 m), wat erop wijst dat $\text{abs}(R-B)$ gemiddeld

groter is dan $\text{abs}(R-BD)$. D.w.z. dat de bodkarpunten absoluut grotere verschillen t.o.v. de raaien bevatten dan bodkarpunten met alle dieptelijnen. BD ligt dan gemiddeld iets dichterbij R. Dit is in overeenstemming met de absolute afwijkingen die in tabel 1 zijn geconstateerd.

Het positieve gedeelte (in deze gevallen ligt B dichterbij R) van deze verschilkaart omvat ook minder gebied dan het negatieve gedeelte (de gebieden waar BD dichterbij R ligt). In 40 % van het gezamenlijke gebied van B en BD is er geen verschil tussen deze datasets. D.w.z. dat 60 % beïnvloed wordt door de dieptelijnen. Als deze 40 % niet meegerekend wordt dan ontstaan de positieve en negatieve gemiddelden. Het negatieve gebied kent ook grotere afwijkingen dan het positieve gebied.

In het verschilbeeld (zie bijlage 6) staat wit voor de positieve gebieden en zwart voor de negatieve gebieden (grijs = 0). De zwarte delen liggen over het algemeen daar waar dieptelijnen lopen (de zwarte lijnen). De witte gebieden liggen voornamelijk tegen deze zwarte gebieden aan. Blijkbaar beïnvloeden de dieptelijnen de interpolatie de goede kant op waar zij liggen, maar "trekken" zij het omliggende gebied met bodkarpunten mee in negatieve zin.

Wat betreft $\text{abs}(R-B) - \text{abs}(R-SB)$ kan gezegd worden dat het gemiddelde positief is (0.06 m), wat betekent dat SB dichterbij ligt bij R dan B. Op zich was dit de verwachting aangezien SB direct afgeleid is uit R, terwijl B resultaten uit een handmatige interpolatie als invoerdata heeft. Het verschil is echter niet groot.

Visueel zien we dat de grootste verschillen (de witte en zwarte gebieden) optreden waar de helling het steilste is. Aan de randen van het gebied komen patronen voor die de bodkarmatrix volgen.

Conclusies:

- De gemiddelde verschillen zijn weinig significant.
- In 60 % van het gebied treden verschillen op tussen B en BD.
- Absoluut wijkt B meer af van R dan BD.
- Absoluut wijkt B meer af van R dan SB.
- Dieptelijnen beïnvloeden het omliggende gebied in negatieve zin, d.w.z. zij trekken het model omhoog, weg van R. Op de posities waar dieptelijnen liggen benadert het model de ground-truth wel beter.

4.1.3 Resultaten van R-BD, R-B+ en R-SB+

Aan de bodkarpunten en gesimuleerde bodkarpunten is een -2.5 meter dieptelijn toegevoegd, om de inkepingen aan de rand te elimineren. Voor deze verschilbeelden geldt dezelfde aanpak als bij paragraaf 4.1.1. De verschilkaarten zijn te vinden in bijlage 7.

kentallen	R-BD	R-B+	R-SB+
gemiddelde	-0.09 m	-0.18 m / -0.19 m	-0.17 m
gemiddelde absoluut	0.57 m	0.68 m / 0.68 m	0.64 m
st.deviation	1.05 m	1.34 m / 1.35 m	1.33 m

Tabel 3 Resultaten van R-BD, R-B+ en R-SB+.

Discussie:

We zien dat R-BD niet veranderd is ook al doen er nu meer pixels mee (vergelijk tabel 1). Wat opvalt aan R-B+ is dat het gemiddelde van de absolute afwijkingen niet veel scheelt met R-B, maar dat wel het gewone gemiddelde iets lager is geworden (-0.18 m). Dit wil zeggen dat B+ gemiddeld minder diep is dan BD en R. Ditzelfde geldt ook voor SB+. Dit is het logische gevolg van het feit dat de dieptelij is toegevoegd. De bodkarpunten zijn uitgebreid met minder diep gebied aan de rand, waardoor de gemiddelde diepte ook minder diep wordt. Dit geldt echter ook voor R. Het is dus zo dat het terrein in B+ nu gemiddeld boven R en BD is uitgestegen. B+ wijkt zowel gemiddeld als absoluut meer af van R dan BD. Het smooth-effect van de bodkarpunten uit afbeelding 14 is ook gedeeltelijk weggenomen door het toevoegen van de dieptelij.

De verschilbeelden in bijlage 7 laten zien dat B+ en SB+ geen inkepingen in de geulen bevatten (vergelijk bijlage 6). De grootste verschillen treden op aan de rand en deze gebieden zijn over het algemeen donker getint (vergelijk R-B en R-B+ linksboven). Dit betekent negatieve waarden, ofwel dat op deze plaatsen B+ en SB+ minder diep liggen dan R. Zoals ook al opgemerkt is in de vorige paragraaf trekt een dieptelij het gebied aan de rand omhoog.

Conclusies:

- De gemiddelde verschillen zijn weinig significant.
- Gemiddeld wijkt B+ meer af van R dan BD.
- Absoluut wijkt B+ meer af van R dan BD.
- Gemiddeld wijken B+ en SB+ evenveel af van R.
- Absoluut wijkt B+ meer af van R dan SB+.
- De grootste verschillen treden op in steile gebieden.
- Het toevoegen van één dieptelij vult de rand weliswaar aan, maar haalt het smooth-effect uit de modellen van B en SB. Het betekent ook dat aan de rand de modellen minder diep komen te liggen dan R en BD.

4.1.4 Resultaten van verschilbeelden van verschilbeelden II

We zien nu de resultaten van $\text{abs}(R-BD) - \text{abs}(R-B+)$ en $\text{abs}(R-B) - \text{abs}(R-SB+)$. Zie ook bijlage 7.

kentallen	$\text{abs}(R-BD) - \text{abs}(R-B+)$	positief	negatief	$\text{abs}(R-B) - \text{abs}(R-SB+)$	positief	negatief
gemiddelde	-0.10 m	0.48 m	-0.74 m	0.04 m	0.47 m	-0.46 m
st.deviation	0.83 m	0.76 m	1.23 m	0.96 m	0.81 m	0.94 m
aantal pixels	130415	24741	34396	125751	64866	54405
oppervlak pixels	100 %	19.0 %	26.4 %	100 %	51.6 %	43.3 %

Tabel 4 Resultaten van $|R-BD| - |R-B+|$ en $|R-B| - |R-SB+|$.

Discussie:

Vergelijken we deze resultaten met die van tabel 2 dan zijn er weinig verschillen te constateren. T.o.v. de verschilbeelden van paragraaf 4.1.2 zijn er nu 130415 pixels. Dit betekent een toename van 756 pixels (of 0.6 %), weliswaar is dit niet zo veel, maar belangrijke randen zijn nu tenminste aanwezig (voor de lokale analyse). M.b.t. B+ en SB+ zijn er 2421 pixels bijgekomen: een toename

van 2 %. BD en B+ bevatten meer pixels dan B+ en SB+ omdat er meer bodkarpunten zijn dan gesimuleerde bodkarpunten.

Ongeveer 45 % van het gezamenlijke gebied van B+ en BD heeft verschilwaarden, wat minder is dan in tabel 2. Er is een dieptelijn toegevoegd, dus B+ en BD lijken nog meer op elkaar.

In bijlage 7 laat de verschilkaart zien dat voornamelijk verschillen optreden aan de rand, waar de helling in het terrein het steilste is. Tevens zijn de bodkarpunten, dieptelijnen en profielen (voor de lokale analyse) hierover geprojecteerd.

De verschillen tussen B+ en SB+ zijn nu zeer klein geworden, maar is net zoals in tabel 2 nog steeds in het voordeel van SB+.

Het verschilbeeld in bijlage 7 is nagenoeg gelijk als die onder paragraaf 4.1.2.

Conclusies:

- De gemiddelde verschillen zijn weinig significant.
- B+ en SB+ bevatten meer pixels dan B en SB.
- In 45 % van het gebied treden verschillen op tussen B+ en BD.
- Absoluut wijkt B+ meer af van R dan BD.
- Absoluut wijkt B+ meer af van R dan SB+.

4.1.5 Bodkarpunten versus dieptelijnen

In Arc/Info is onderzocht of er bodkarpunten voorkomen met waarden die in strijd zijn met het dieptelijnen-interval waarin zij liggen. Deze punten kwamen sporadisch voor en lagen voornamelijk net aan of op de randen van dieptelijnen, wat duidt op de al eerder besproken verschuiving van de dieptelijnen t.g.v. het digitaliseren (zie paragraaf 2.5, de datafusie-fouten).

4.1.6 Bodkarpunten versus simulatie bodkarpunten

Een vergelijking tussen de waarden van de bodkarpunten en de gesimuleerde bodkarpunten ofwel sample-punten uit R, zegt direkt iets over de twee gevolgde interpolatie-methoden. Van de dieptematrix R zijn de "pure" bodkarpunten afgetrokken. Om een verschilwaarde te berekenen wordt de dichtstbijzijnde pixel in R t.o.v. een bodkarpunt-pixel gekozen. Hieruit blijkt dat van de 1302 pixels (punten) er 22 een groter absolute afwijking hebben dan 3 meter, wat neerkomt op 1.7 % van het totaal. Negen pixels hiervan hebben een grotere absolute afwijking dan 5 meter (0.7 %). Het gemiddelde is nagenoeg 0. Er komen dus afwijkingen voor, maar deze zijn slechts klein in aantal. Deze punten liggen voornamelijk in steile gebieden, waar de bemonstering van de bodkarpunten duidelijk tekort schiet. Over het algemeen kan men dus stellen dat de handmatige interpolatie zorgvuldig is uitgevoerd.

4.1.7 Conclusies globale analyse

Ten eerste moet opgemerkt worden dat de gemiddelde verschillen weinig significant zijn. Op globaal niveau zijn de dieptematrixes allen een goede benadering van de ground-truth. Dit geldt voor de gebieden waar er pixels voorkomen. De bodkarpunten en gesimuleerde bodkarpunten lopen niet altijd door tot een gewenst diepte-criterium, als gevolg van het feit dat een regelmatige matrix niet altijd precies eindigt bij een gewenste rand. In eerste instantie pleit dit dus voor het gebruik van dieptelijnen, omdat zij de rand aanvullen.

Voor zover deze getallen iets betekenen komt naar voren dat als men naar het hele werkgebied kijkt (globale analyse) de interpolatie van bodkarpunten met alle dieptelijnen (BD) absoluut iets dichter ligt bij de waarden van de geïnterpoleerde raaien (R) dan de interpolatie van alleen bodkarpunten (B) of de bodkarpunten met één diepteliijn (B+). Als men de tekortkomingen van de rand niet meeneemt dan wijken de bodkarpunten gemiddeld minder af van de raaien dan de bodkarpunten met alle dieptelijnen, ten gevolge van een smooth-effect van de bodkarpunten. Voegt men één diepteliijn toe aan de bodkarpunten dan wordt het smooth-effect gedeeltelijk opgeheven. Deze dieptematrix wijkt dan zowel gemiddeld als absoluut het meeste af van de raaien.

In 60 % van het gehele gebied hebben de dieptelijnen invloed, in de overige 40 % zijn alleen maar bodkarpunten. Het aantal bodkarpunten wat aan de verkeerde kant van een diepteliijn ligt is niet zo groot, zodat de datafusie-fouten meevallen.

Verder kan men concluderen dat de handmatige interpolatie van de bodkarpunten uit de raakaarten extra (kleine) afwijkingen oplevert vergeleken met sample punten uit de geïnterpoleerde raaien. Op zich is dit niet zo verrassend aangezien de handmatige interpolatie vooral in steile gebieden zeer moeilijk uit te voeren is (zie paragraaf 2.5). De handmatige interpolatie van de bodkarpunten is over het algemeen zorgvuldig uitgevoerd.

Dus:

- Over het algemeen benaderen de dieptematrices de ground-truth goed (afwijkingen in de orde van 1 of 2 dm).
- De bodkarpunten lopen niet altijd door tot een gewenste rand.
- De geïnterpoleerde bodkarpunten en de dieptelijnen hebben de kleinste absolute afwijkingen.
- De geïnterpoleerde bodkarpunten hebben de kleinste gemiddelde afwijkingen, vanwege een smooth-effect.
- Het toevoegen van één diepteliijn aan de bodkarpunten breidt de rand weliswaar uit, maar bevordert ook de gemiddelde afwijking, omdat het smooth-effect gedeeltelijk wordt opgeheven.
- Het toevoegen van alle dieptelijnen aan de bodkarpunten levert kleinere verschillen t.o.v. de ground-truth dan het toevoegen van één diepteliijn.

Aangezien de verschillen weinig significant zijn tussen de dieptematrices kan men op dit moment de voorkeur uitspreken vóór het gebruik van alle dieptelijnen, met als argument dat de randen hierdoor worden aangevuld.

4.2 Resultaten van de lokale analyse

4.2.1 Resultaten van alle dwarsprofielen

De tabellen 11,12 en 13 in bijlage 1 laten een overzicht zien van de kentallen per dataset per parameter voor alle dwarsprofielen voor de onderdelen [A-I], [A-II] en [B].

Ter herinnering:

[A-I] : Raaien, Bodkar en Dieptelijnen, Bodkar en Simulatie Bodkar met -2.0 meter (variabele) grens.

[A-II]: Raaien, Bodkar en Dieptelijnen, Bodkar en Simulatie Bodkar met -2.5 meter (variabele) grens.

[B]: Raaien, Bodkar en Dieptelijnen, Bodkar + 1 dieptelijn en Simulatie Bodkar + 1 dieptelijn met -2.5 meter (vaste) grens.

Hieronder volgt een samenvatting van deze getallen door alleen de belangrijkste parameters (breedte, gemiddelde diepte en natte oppervlak) en kental (absoluut gemiddeld afwijgingspercentage) te beschouwen van deze 250 dwarsprofielen. Let op: ze zijn gerangschikt naar nauwkeurigheid.

[A-I]: R,BD,B,SB -2.0 meter		[A-II]:R,BD,B,SB -2.5 meter		[B]: R,BD,B+,SB+ -2.5 meter	
breedte BD	5.06 %	breedte BD	2.74 %	/	/
breedte B	5.74 %	breedte B	6.16 %	/	/
breedte SB	5.80 %	breedte SB	6.61 %	/	/
gem.diepte B	4.90 %	gem.diepte BD	3.92 %	gem.diepte BD	3.13 %
gem.diepte BD	5.25 %	gem.diepte B	4.38 %	gem.diepte SB+	4.82 %
gem.diepte SB	5.77 %	gem.diepte SB	4.98 %	gem.diepte B+	5.19 %
nat opp. BD	2.57 %	nat opp. BD	3.26 %	nat opp. BD	3.02 %
nat opp. SB	4.98 %	nat opp. B	5.45 %	nat opp. SB+	4.66 %
nat opp. B	5.00 %	nat opp. SB	6.10 %	nat opp. B+	5.12 %

Tabel 5 Resultaten van alle dwarsprofielen.

Discussie:

De eerste kolom van tabel 5 laat zien dat de bodkarpunten en dieptelijnen over het algemeen de beste resultaten opleveren. Dit blijkt vooral uit de natte oppervlakte die bijna de helft in nauwkeurigheid scheelt met de waarde van B. De gewenste nauwkeurigheid van RWS voor de natte oppervlakte is 5 %, dus de resultaten vallen hier nog net binnen. Men moet echter nog wel bedenken dat nog meer fouten een rol spelen in de uiteindelijke nauwkeurigheid, zoals de fout t.g.v. de oriëntering van een dwarsprofiel.

Wat opvalt is dat voor de gemiddelde diepte de geïnterpoleerde bodkarpunten beter scoren. Dit kan gedeeltelijk verklaard worden door het al vermelde feit dat, in geval we alle dwarsprofielen meene-

men, B in een aantal dwarsprofielen niet doorloopt tot de echte gewenste grens van de geul. Hierdoor zal het gemiddelde van de diepten omlaag gaan. Tezamen met de observatie dat R over het algemeen lager ligt dan de rest van de geïnterpoleerde (onderbemonsterde) datasets (vergelijk de globale analyse), zal B dus een gemiddelde diepte hebben die dichterbij R dan BD. De tekortkoming van de rand levert dus voor deze parameter wat betere resultaten!

Verschuiven we de grens voor een geul naar -2.5 meter, dan komen we uit op de resultaten van de tweede kolom. Voor alle parameters geldt dat BD steeds betere resultaten oplevert. Vergelijken we deze resultaten met die van de eerste kolom dan kunnen we concluderen dat de keuze van het diepte-criterium veel invloed heeft. De breedte en gemiddelde diepte van BD verbeteren, terwijl de natte oppervlakte verslechtert. Blijkbaar beïnvloedt het gebiedje tussen de -2.5 meter en -2.0 meter de nauwkeurigheid van de breedte van BD in hoge mate. Op zich is het logisch dat bij een grens op -2.5 meter de breedte in BD meer gaat lijken op de breedte in R, omdat BD juist op die diepte een dieptelijn heeft liggen. Uit de globale analyse kwam naar voren dat de dieptelijnen en de raaien weinig verschillen kennen. Minder logisch is echter het feit dat de natte oppervlakte verslechtert. Dit zou dan moeten liggen aan grotere verschillen in diepte, maar de gemiddelde diepte verbetert juist.

Aangezien we bij onderdeel [B] (derde kolom) werken met een vaste dieptelijn als grens in alle dieptematrices, is de breedte van elk dwarsprofiel overal gelijk en dus niet vergelijkbaar. Tekortkomingen aan de rand spelen niet meer mee. We kunnen alleen de gemiddelde diepte en natte oppervlakte vergelijken. Hierbij ligt BD het dichtst bij de resultaten van R, daarna volgt SB+, dan B+. SB+ is beter dan B+, aangezien SB+ rechtstreeks is afgeleid uit R en B+ handmatig. Vergelijken we deze kolom met de tweede kolom dan verbeteren de waarden voor BD iets.

De totale lijst in de bijlage 1 laat verder nog zien dat de breedte van BD in het grootste deel van de gevallen groter is dan de breedte van een geul in R. De gemiddelde diepte van R is in vergelijking met alle dieptematrices dieper, terwijl de natte oppervlakte in R groter is.

Dus moet de extra oppervlakte die zich in R voordoet voornamelijk het gevolg zijn van de lagere gemiddelde diepte. Dit komt sterker tot uiting bij onderdeel [B]. De breedten zijn in alle dieptematrices gelijk. Het toevoegen van een dieptelijn zorgt ervoor dat B+ en SB+ gemiddeld minder diep komen te liggen dan R (vergelijk de globale analyse). Het natte oppervlakte in R is dan ook voornamelijk groter in vergelijking met de rest.

Men moet bij de resultaten van onderdeel [A] bedenken dat B en SB dwarsprofielen bevatten die gedeeltelijk in de geconstateerde inkepingen vallen. Dit zal de resultaten van B en SB verminderen t.o.v. BD.

Conclusies:

- De grens van een geul heeft grote invloed op de resultaten.
- Een dieptelijn als grens verbetert de resultaten van BD iets.
- De gemiddelde diepte van R is dieper dan de rest.
- De natte oppervlakte van R is groter dan de rest.
- BD levert over het algemeen de beste resultaten.

4.2.2 Resultaten van dwarsprofielen < 500 meter

Een eerste classificatie is uitgevoerd door de dwarsprofielen te onderscheiden naar breedte (zie paragraaf 3.3.5). Zo waren er voor onderdeel [A-I] 40 dwarsprofielen (5 personen x 2 heen- en teruggang x 4 dwarsprofiel-posities), die een breedte hadden van minder dan ongeveer 500 meter. Aangezien bij [A-II] en [B] de grens wat dieper ligt zal de breedte ook wat kleiner worden. Hierdoor

viel 1 extra dwarsprofiel-positie in deze klasse, zodat er 50 dwarsprofielen geselecteerd konden worden.

De dwarsprofielen ongeveer kleiner dan 500 meter leveren duidelijk minder nauwkeurige parameters op (zie tabel 20). We kunnen dus meteen concluderen dat dwarsprofielen in ieder geval groter moeten zijn dan 500 meter.

4.2.3 Resultaten van dwarsprofielen > 500 meter

Voor onderdeel [A-I] bleven 210 dwarsprofielen over, nadat alle dwarsprofielen kleiner dan de Nyquist-frequentie apart zijn behandeld. Voor de onderdelen [A-II] en [B] vielen er 10 extra dwarsprofielen af. Zie tabellen 14,15 en 16 voor alle waarden (bijlage 2). Hieronder volgt een samenvatting van de tabellen:

[A-I]:R,BD,B,SB -2.0 meter		[A-II]:R,BD,B,SB -2.5 meter		[B]:R,BD,B+,SB+ -2.5 meter	
breedte BD	3.69 %	breedte BD	2.20 %	/	/
breedte B	4.48 %	breedte B	4.70 %	/	/
breedte SB	5.39 %	breedte SB	6.36 %	/	/
gem.diepte B	3.63 %	gem.diepte B	2.85 %	gem.diepte BD	2.16 %
gem.diepte BD	4.21 %	gem.diepte BD	3.08 %	gem.diepte SB+	2.91 %
gem.diepte SB	4.22 %	gem.diepte SB	3.67 %	gem.diepte B+	3.31 %
nat opp. BD	2.14 %	nat opp. BD	2.22 %	nat opp. BD	2.03 %
nat opp. B	3.86 %	nat opp. B	3.25 %	nat opp. SB+	2.70 %
nat opp. SB	4.48 %	nat opp. SB	4.23 %	nat opp. B+	3.23 %

Tabel 6 Resultaten van dwarsprofielen > 500 meter.

Discussie:

Zoals verwacht scoren alle dieptematrices bij alle onderdelen nu beter dan vóór de verdeling naar de Nyquist-frequentie (vergelijk tabel 5). Wat betreft de volgorde in nauwkeurigheid is er niet veel veranderd. Voor [A-I] en [A-II] levert BD betere resultaten m.b.t. de breedte en het natte oppervlakte. Nu geldt ook voor [A-II] dat B een betere gemiddelde diepte heeft. Dit is al verklaard bij tabel 5. Bij onderdeel [B] is de volgorde dezelfde gebleven.

Om echt goede vergelijkingen te maken tussen BD, B en B+ worden, zoals aangekondigd is, de dwarsprofielen die in de inkepingen vallen geschrapt. Het feit dat we deze dwarsprofielen "moeten" schrappen pleit al voor het gebruik van één of meer dieptelijnen.

Conclusies:

- De resultaten verbeteren indien we dwarsprofielen kleiner dan 500 meter eruit selecteren.
- De grens van een geul heeft grote invloed op de resultaten.
- Een diepteliijn als grens verbetert de resultaten van BD iets.
- De gemiddelde diepte van R is dieper dan de rest.
- De natte oppervlakte van R is groter dan de rest.
- BD levert over het algemeen de beste resultaten.
- De nauwkeurigheid voor de natte oppervlakte in BD is ongeveer 2 % t.o.v. de ground-truth.

4.2.4 Dwarsprofielen met breedte B $\approx$ breedte R

Als we alleen die dwarsprofielen beschouwen die geen last hebben van de inkepingen komen we uit op 170 dwarsprofielen (van de 250) die overblijven voor onderdeel [A-I]. Voor de andere onderdelen zijn dit dus 160. In de bijlage 3 kunt u de complete tabellen (tabellen 17,18 en 19) vinden, hieronder volgt weer een samenvatting:

[A-I]: R,BD,B,SB -2.0 meter		[A-II]:R,BD,B,SB -2.5 meter		[B]: R,BD,B+,SB+ -2.5 meter	
breedte B	3.25 %	breedte BD	2.15 %	/	/
breedte BD	3.85 %	breedte B	3.50 %	/	/
breedte SB	5.25 %	breedte SB	6.00 %	/	/
gem.diepte B	3.93 %	gem.diepte BD	2.92 %	gem.diepte BD	2.03 %
gem.diepte BD	4.23 %	gem.diepte B	3.07 %	gem.diepte SB+	2.95 %
gem.diepte SB	4.73 %	gem.diepte SB	4.07 %	gem.diepte B+	3.22 %
nat opp BD	2.16 %	nat opp. B	1.91 %	nat opp. BD	1.98 %
nat opp B	2.74 %	nat opp. BD	2.24 %	nat opp. SB+	2.90 %
nat opp. SB	3.76 %	nat opp. SB	3.24 %	nat opp. B+	3.16 %

Tabel 7 Resultaten van dwarsprofielen met breedte B $\approx$ breedte R.

Discussie:

Hieruit volgt dat wat betreft de breedte en gemiddelde diepte de bodkarpunten beter uit de verf komen voor onderdeel [A-I], terwijl het natte oppervlakte beter naar voren komt indien we alle dieptelijnen gebruiken. Overigens schelen deze getallen weinig met elkaar. Zoals verwacht verbetert B sterk, behalve wat betreft de gemiddelde diepte. De gemiddelde diepte verslechtert iets, aangezien er nu geen dwarsprofielen meer meegerekend worden die de gemiddelde diepte omlaag halen. De breedte van B is over het algemeen langer/groter dan de breedte van R, alsmede de natte oppervlakte in B.

De resultaten voor BD veranderen zoals men mag verwachten niet veel. De natte oppervlakte heeft een absolute gemiddelde afwijking in BD van ongeveer 2 %. Als de grens verlegd wordt naar -2.5 meter zien we toch weer andere resultaten. Ook nu wordt weer bevestigd dat de ligging van de rand grote invloed heeft. De volgorde van B en BD is nu precies omgekeerd in vergelijking met de eerste kolom (geen typfouten!). Het is moeilijk om alle veranderingen te verklaren, waarschijnlijk als gevolg van het feit dat we een behoorlijk aantal dwarsprofielen hebben moeten schrappen en dat de resultaten behoorlijk dicht bij elkaar liggen.

De derde kolom laat voortdurend zien dat BD de beste resultaten oplevert en dat ook deze voor de natte oppervlakte ligt in de orde van 2 %. Vergelijken we nu de derde met de tweede kolom dan zien we dat BD en SB iets beter scoren. B+ gaat het in vergelijking met B minder af.

Conclusies:

- De resultaten voor de geïnterpoleerde bodkarpunten verbeteren indien we dwarsprofielen, die in de inkepingen vallen, eruit selecteren.
- De grens van een geul heeft grote invloed op de resultaten.
- Een dieptelijns als grens verbetert de resultaten van BD iets.
- De gemiddelde diepte van R is dieper dan de rest.
- De natte oppervlakte van R is groter dan de rest.
- Bij het dieptecriterium als grens zijn de verschillen tussen de resultaten van B en BD weinig significant.
- De nauwkeurigheid voor de natte oppervlakte in BD is ongeveer 2 % t.o.v. de ground-truth.

4.2.5 Verklaringen en conclusies lokale analyse

Om meer inzicht te verkrijgen in de werking van de interpolatie van de verschillende datasets zijn er plotjes gemaakt van de dwarsprofielen in de verschillende dieptematrices (zie bijlage 8). Hiermee kan direct gezien worden hoe het geïnterpoleerde terrein verloopt in de verschillende dieptematrices en wat er gebeurt als bijvoorbeeld een dieptelijns wordt toegevoegd.

Ais eerste kan gezegd worden dat men dwarsprofielen die, wat hun breedte betreft, kleiner zijn dan de Nyquist-frequentie (± 500 meter) moet vermijden. De meest betrouwbare resultaten verkrijgt men met dwarsprofielen van ongeveer 1 km en langer.

Als men alleen bodkarpunten gebruikt om te interpoleren dan komt het voor dat de randen van het geïnterpoleerde gebied niet een bepaalde (gewenste) dieptewaarde bereiken, die de geul definieert. Dit is het gevolg van het feit dat de bemonstering van de bodkarpunten laag is, waardoor punten aan de rand nog dieptewaarden kunnen bezitten die onder dit diepte-criterium liggen. Van deze tekortkomingen aan de randen hebben we voor een groot gedeelte geen last indien de dieptelijnsen worden toegevoegd bij een -2.0 meter dieptecriterium, en geheel niet bij een -2.5 meter dieptecriterium, aangezien bij de dieptelijnsen een -2.5 meter dieptelijns voorkomt. Dit gegeven pleit al voor het gebruik van één of meer dieptelijnsen bij de interpolatie, wat ook al bij de globale analyse naar voren kwam.

Indien we alleen dwarsprofielen beschouwen die geen last hebben van tekortkomingen aan de rand, dan zijn de resultaten lastig te verklaren. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het geringe aantal dwarsprofielen wat nog meedoet, en de kleine verschillen tussen de getallen.

Om de tekortkoming van de bodkarpunten op te heffen kunnen we de bodkarpunten aan de randen aanvullen met 1 dieptelijns, namelijk de -2.5 meter dieptelijns. Dit levert echter geen spectaculaire verbeteringen op t.o.v. de bodkarpunten zonder de dieptelijns. Vergelijken we deze aangevulde bodkarpunten (B+) met bodkarpunten en alle dieptelijnsen (BD) dan komt duidelijk naar voren dat laatstgenoemde het dichtst in de buurt komt van de ground-truth. Ook deze conclusie kwam ook al naar voren bij de globale analyse (zie paragraaf 4.1.7).

Ais we de bodkarpunten met de gesimuleerde bodkarpunten vergelijken dan leveren de laatstgenoemden in eerste instantie mindere resultaten. Dit is echter te wijten aan het feit dat deze punten meer (dan B) last hebben van de inkepingen aan de rand. Als we deze rand net zoals de bodkarpunten aanvullen met een dieptelijns dan behalen de gesimuleerde bodkarpunten betere resultaten dan de echte bodkarpunten. Het verschil is echter niet zo groot: voor een parameter als de natte oppervlakte geldt een verschil van ongeveer 0.5 %.

De fouten in de eindresultaten worden dus voor het grootste gedeelte veroorzaakt door de onderbemonstering. Zoals ook al uit de globale analyse naar voren kwam is de handmatige interpolatie van de data zorgvuldig uitgevoerd.

Ais we de dwarsprofielen schrappen die in de inkepingen vallen, dan worden de afwijkingen van de bodkarpunten voor de gemiddelde diepte ook groter. Ook als we een dieptelijijn toevoegen aan deze punten dan zien we uit de globale analyse dat het gemiddelde hiervan hoger komt te liggen dan de rest. Eén of meerdere dieptelijijnen trekken het geïnterpoleerde terrein omhoog. We zien dan ook als we de bodkarpunten met één dieptelijijn met de bodkarpunten met alle dieptelijijnen vergelijken dat laatstgenoemden op alle punten beter scoren. De bodkarpunten lopen dus in veel gevallen bij de steile helling onder de andere dieptematrixes door (zie bijvoorbeeld dwarsprofiel 12 of 20 in bijlage 8).

Zoals de tabellen laten zien leveren de bodkarpunten en dieptelijijnen betere resultaten als we de grens verschuiven van -2.0 meter naar -2.5 meter. Dit kan verklaard worden door het feit dat de dieptelijijnen in ieder geval vanaf -2.5 meter data bevatten. In het gebied van -2.5 meter en -2.0 meter zal deze dieptematrix grotere afwijkingen t.o.v. de ground-truth vertonen.

Samenvattend mogen de volgende conclusies getrokken worden:

- Dwarsprofielen kleiner dan ongeveer 500 meter leveren grote afwijkingen.
- Geïnterpoleerde bodkarpunten en (alle) dieptelijijnen leveren over het algemeen de beste resultaten op.
- Het valt aan te bevelen een diepte-criterium van -2.5 meter te gebruiken i.p.v. het diepte-criterium van -2.0 meter
- De dieptelijijn van -2.5 meter kan dan als harde grens gebruikt worden.
- Als de vier bovenstaande conclusies/regels toegepast worden dan wijkt de natte oppervlakte gemiddeld 2 % af van de ground-truth.

4.3 Resultaten van overige analyse

4.3.1 Afwijkingen t.g.v. met de hand getrokken dwarsprofielen

Per dwarsprofiel-positie zijn er 10 verschillende dwarsprofielen getrokken: van 5 morfologen in heen- en teruggang. Als we deze cijfers middelen dan komen we tot tabel 8. De maximale en minimale waarden van een parameter zijn van elkaar afgetrokken, we hebben immers per dwarsprofiel-positie de beschikking over 10 waarden in één beeld: van 5 personen de heen- en teruggang. Deze verschillen zijn gemiddeld zodat we een gemiddelde maximale afwijking verkrijgen (deze is altijd positief aangezien we het maximum - minimum berekenen). Verder zijn absolute afwijkingen bepaald van de 10 waarden t.o.v. het gemiddelde van die 10 waarden. Deze afwijkingen zijn uiteindelijk ook weer gemiddeld, zodat we komen tot een gemiddelde absolute afwijking t.o.v. het gemiddelde. Dit alles is gebeurd voor BD bij de -2.0 meter grens.

De volgende tabel kan dan opgesteld worden:

parameters	abs.afw.m	abs.afw.%	max.afw.m	max.afw.%
Breedte	17.10 m	1.53 %	58.43 m	5.45 %
Gem.diepte	0.14 m	1.26 %	0.53 m	4.78 %
Max.diepte	0.31 m	1.85 %	1.17 m	6.88 %
Natte opp.	109.89 m ²	0.95 %	453.59 m ²	3.98 %

Tabel 8 Resultaten van 5 morfologen.

De gemiddelde absolute afwijkingen van de parameters komen neer op 1 a 2 %. Voor de natte oppervlakte is dit ongeveer 1 %. Als we aannemen dat het gemiddelde het meest in de buurt komt van een loodrecht dwarsprofiel dan is deze waarde een goede indicatie voor de gevolgen van afwijkingen hiervan. Deze fout is onafhankelijk van de fout t.g.v. de bemonstering van de invoerdata, zodat we deze waarde erbij kunnen optellen.

Vervolgens is gekeken naar de resultaten per persoon. Op elke dwarsprofiel-positie hebben de morfologen tweemaal een dwarsprofiel geplaatst: in heen- en teruggang. Voor elke parameter zijn deze verschillen van 25 dwarsprofiel-posities gemiddeld. Tabel 9 bevat de resultaten voor BD.

parameters	Persoon 1	Persoon 2	Persoon 3	Persoon 4	Persoon 5
Breedte	1.34 %	2.27 %	1.68 %	1.17 %	1.56 %
Gem.diepte	1.09 %	0.76 %	1.38 %	1.04 %	1.16 %
Max.diepte	0.99 %	1.09 %	1.85 %	1.52 %	1.64 %
Natte opp.	0.86 %	0.63 %	1.12 %	0.80 %	1.05 %

Tabel 9 Resultaten van verschillen in heen- en teruggang per persoon.

We zien dat de personen redelijk consequent hun dwarsprofielen kunnen trekken. De afwijkingen tussen de heen- en teruggang ligt ongeveer tussen de 1 en 2 %. De natte oppervlakte lijkt het minst gevoelig te zijn, zoals ook al bleek uit de afwijkingen van de verschillende personen.

4.3.2 Representativiteit van de dwarsprofielen

Om te onderzoeken hoeveel verschil bestaat tussen dwarsprofielen op korte afstand van elkaar in dezelfde geul is in eerste instantie de dwarsprofielen 22, 23 en 24 gebruikt van alle personen in heen- en teruggang (zie bijlage 10). Ook hier is de minimale waarde van de maximale waarde afgetrokken per parameter en het percentage t.o.v. het gemiddelde bepaald.

Verder is in een gebiedje een zevental dwarsprofielen getrokken op gelijke afstanden van elkaar (ongeveer 80 meter) (zie bijlage 10). De parameters zijn berekend in BD.

	profielen 22, 23, 24		7 testprofielen	
parameters	maximum - minimum	perc. t.o.v. gemiddelde	maximum - minimum	perc. t.o.v. gemiddelde
Breedte	61.00 m	3.70 %	65.00 m	6.4 %
Gemiddelde diepte	0.24 m	2.07 %	1.34 m	7.6 %
Maximale diepte	0.39 m	2.06 %	8.73 m	28.2 %
Natte oppervlakte	458.69 m ²	2.39 %	1120.00 m ²	6.2 %

Tabel 10 Resultaten m.b.t. representativiteit.

We zien dat de drie dwarsprofielen niet zoveel schelen t.o.v. elkaar. De zeven testprofielen wijken wat meer af en wat betreft de maximale diepte veel af. Dit valt te wijten aan het diepe gebied met een zeer steile helling. De maximale diepte zal per meter aanzienlijk variëren.

Van het gebied dat wordt omsloten door testprofielen 1 en 7 is het mogelijk in Arc/Info alle pixels te beschouwen. Zo kunnen we ook waarden verkrijgen voor de diepten. Waarden voor de breedte en natte oppervlakte zijn niet (of moeilijk) te bepalen, omdat hierbij een bepaalde richting/oriëntatie gedefinieerd moet worden.

Hieruit kwam voort een minimum diepte van -2.50 meter, een maximum diepte van -35.0 meter en een gemiddelde diepte van -17.71 meter. Aan de minimale diepte behoeven we weinig waarde te hechten, aangezien deze in principe gelijk moet zijn aan het dieptecriterium, dat de geul definieert. De sample-distance van een dwarsprofiel is minimaal 1 meter, en aangezien het aan de rand zeer steil is, kan het eerste sample-punt maximaal een meter in de geul vallen. SURFACEPROFILE interpoleert zelf (bilineair) naar dit punt en de minimale diepte kan op deze manier centimeters afwijken, wat een hoog percentage tot gevolg heeft.

Berekenen we de afwijkingen in percentages t.o.v. de waarden van het gebied dat omsloten wordt door de meest uit elkaar liggende dwarsprofielen, dan komt er (absoluut) gemiddeld uit: minimale diepte 31.3 %, maximale diepte 11.6 %, gemiddelde diepte 2.0 %.

We zien dus dat we minder waarde moeten hechten aan extremen, zoals de (minimale en) maximale diepten, en meer waarde aan gemiddelden, zoals de gemiddelde diepte.

Het aantal experimenten m.b.t. dit onderdeel is karig; dit is te wijten aan tijdgebrek. Met bovenstaande resultaten kan nog niet een antwoord gegeven worden op de vraag om hoeveel meter een dwarsprofiel getrokken zou moeten worden. Dit is ook afhankelijk van de vraag waar de morfoloog in geïnteresseerd is. Er is hier geen onderscheid gemaakt tussen de ruimtelijke variabiliteit van het omsloten terrein en de spreiding in de dwarsprofielen. Dit onderdeel moet dus beschouwd worden als een eerste voorzichtige indicatie voor deze problematiek.

4.3.3 Conclusies overige analyse

Met betrekking tot de fouten t.g.v. de subjectieve oriëntering van een dwarsprofiel valt op te merken dat maximale verschillen van een aantal morfologen kunnen oplopen tot 4 % voor de natte oppervlakte. Een persoon zelf zal zijn dwarsprofielen trekken met een consistentie van binnen de 2 % voor alle parameters.

De 4 %, het gemiddelde van de maximale afwijkingen, ligt vlakbij het vastgestelde percentage, waarbinnen de afwijkingen mogen liggen (5 %). Nu is het niet zo dat dit altijd voor zal komen, het gaat immers om maximale verschillen. Gemiddeld komt de fout neer op 1 %. Als we dit percentage optellen bij de fout t.g.v. de bemonstering dan komen we uit op 3 %. Een acceptabel percentage gezien de gewenste 5 % van RWS. Aangezien echter hier morfologen aan het werk zijn geweest is het opvallend dat de maximale verschillen naar mijn mening groot zijn. Het is dus aan te bevelen een algoritme te bedenken dat een dwarsprofiel zo loodrecht mogelijk zal trekken. De willekeurigheid van een persoon is dan uitgeschakeld, behalve wat betreft de keuze voor de positie van het dwarsprofiel.

Bij het vervaardigen van zo'n algoritme zal één van de problemen zijn om een geulas te definiëren. We kunnen daarom ook denken aan een algoritme dat op één positie een aantal dwarsprofielen trekt met verschillende oriënteringen binnen een bepaalde spreidingshoek. Van deze dwarsprofielen wordt vervolgens diegene bepaald met een minimale breedte of natte oppervlakte. Het dwarsprofiel met deze minimale oppervlakte/breedte is dan het optimale dwarsprofiel om de rest van de parameters mee te berekenen. Bij deze manier kan zelfs geïtereerd worden naar dwarsprofiel met een oriëntering die een zo minimaal mogelijk oppervlakte oplevert.

Voor zover de resultaten iets kunnen zeggen valt op te merken dat om de (minimale of) maximale diepte te berekenen van een (stuk) geul er beter meer pixels bekeken kunnen worden. In het optimale geval zijn dit alle pixels van de te analyseren geul. Deze geven de "echte" maximale (en minimale) diepte van het gebied weer, terwijl een dwarsprofiel slechts een selectie van een aantal pixels weergeeft. Deze selectie kan een grote afwijking vertonen met het werkelijke (minimum en) maximum.

In Arc/Info kost het weinig moeite om deze (minimale en) maximale waarden te verkrijgen: men selecteert de geul die geanalyseerd moet worden (bijvoorbeeld met SELECTPOLYGON of SET-MASK) en met het commando DESCRIBE verkrijgt men deze waarden. De minimale en maximale diepten zijn echter van ondergeschikt belang.

Waarden zoals de gemiddelde diepte, breedte en natte oppervlak uit één dwarsprofiel zijn meer representatief voor een geul dan de maximale diepte.

De morfoloog kan de dwarsprofielen vrij kiezen. Zo zullen bijvoorbeeld kullen in een geul een extra dwarsprofiel verdienen (nat oppervlak). Deze variaties in terrein zijn visueel waar te nemen en de morfoloog kan daar goed op anticiperen.

Hoofdstuk 5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Vragen en conclusies

1) Nauwkeurigheid beschikbare data (zie 1.2).

De beste keuze is het gebruik van bodkarpunten en dieptelijnen samen. Voornamelijk vanwege het feit dat er dan aan de randen meer gegevens aanwezig zijn, en dat over het algemeen deze dataset de beste resultaten oplevert. De nauwkeurigheid van de natte oppervlakte komt dan neer op een gemiddelde afwijking van 2 % t.o.v. de resultaten die bereikt worden met de raaien.

De grens van een geul kan het beste beschreven worden door de -2.5 meter dieptelijnen en niet door een -2.0 meter diepte-criterium. De aanwezige data is namelijk meer geschikt hiervoor.

2) Oriëntering dwarsprofielen (zie 1.2).

Maximale verschillen van meerdere dwarsprofielen komen neer op 4 % voor de natte oppervlakte. Ten opzichte van een gemiddelde komen absolute verschillen neer op 1 %. Tezamen met de fout t.g.v. de bemonstering van de beschikbare data komt de totale fout uit op 3 %. De gewenste nauwkeurigheid van RWS is 5 %, zodat wat dit onderzoek betreft de gevonden fout acceptabel is.

3) Representativiteit dwarsprofielen (zie 1.2).

Een eerste indicatie wijst erop dat een maximale diepte uit één dwarsprofiel kan behoorlijk verschillen met de echte maximale diepte van de geul. Het is daarom beter alle pixels van de geul te beschouwen. Wat betreft de natte oppervlakte kan gezegd worden dat, mits de morfoloog een dwarsprofiel goed representatief positioneert, men voor dit onderzoek met het resultaat tevreden mag zijn.

5.2 Aanbevelingen

- Men zou kunnen overwegen om de menselijke factor bij het plaatsen van de dwarsprofielen uit te schakelen. Hiervoor zou een algoritme ontworpen kunnen worden dat vanuit een punt een dwarsprofiel automatisch loodrecht op een geulas zal plaatsen. Een vraag hierbij is nog hoe de geulas gedefinieerd moet worden (zie paragraaf 4.3.3).
- Wat betreft de representativiteit van een enkel dwarsprofiel voor een gehele geul(deel) is het aan te bevelen meer experimenten hiermee uit te voeren. De conclusies kunnen hierdoor aangevuld dan wel verbeterd worden.

Literatuurlijst

Antwerpen, G. van, Meer, A.J. van der, Munster, R.J. van 1991, Gebruikershandleiding Beeldbewerkingssysteem voor verwerking en interpretatie van lodingsdata ('Digibeeld'), TNO-rapport, TPD-TNO-TU Delft.

ARC/INFO user's guide 1991, Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA USA.

Balce, A. 1987, Quality control of height accuracy of digital elevation models, ITC-Journal, 327-332.

Ebner, H. 1993, Digitale terreinmodellen, Geodesia 93-1, 10-14.

Eijnsbergen, C. van 1992, Oppervlak- en inhoudsberekeningen in rasters m.b.v. Arc/Info, stageverslag, TU Delft.

Gerbrands, J.J. 1991, Inleiding in de digitale beeldverwerking, TU Delft.

Lagendijk, R.L. 1988, Verwerking en interpretatie van lodingskaarten mbv digitale beeldverwerking, TU Delft.

Lemmens, M.J.P.M. 1987, Remote Sensing Technieken, TU Delft.

Li, Z. 1988, On the measure of digital terrain model accuracy, Photogrammetric Record 12, 873-877.

Munster, R.J. van 1993, Discussie-nota DIGIBEELD Status en toekomst-visie, TNO-rapport, TPD-TNO-TU Delft.

Östman, A. 1987, Quality control of photogrammetric sample digital elevation models, Photogrammetric Record 12 (69), 333-341.

Rieger, W. 1992, Hydrologische Anwendungen des digitalen Geländemodell, Geowissenschaftliche Mitteilungen TU18
Wien, Heft 39.

Bijlagen

Tabellen

Onderdeel [A I] 250 profielen:					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Breedte	-40.14	42.11	-4.84	5.06
	Gem. diepte	-0.57	0.61	4.57	5.25
	Max. diepte	-0.40	0.76	2.50	4.97
	Nat opp.	110.14	268.44	0.19	2.57
B	Breedte	-2.40	51.19	-1.02	5.74
	Gem. diepte	-0.25	0.47	2.41	4.90
	Max. diepte	-0.48	0.94	3.47	6.42
	Nat opp.	196.11	471.94	1.19	5.00
SB	Breedte	3.78	57.10	-0.08	5.80
	Gem. diepte	-0.36	0.56	3.54	5.77
	Max. diepte	-0.30	0.85	2.52	5.56
	Nat opp.	410.22	565.68	3.35	4.98

Tabel 11 Afwijkingen [A I] voor alle profielen.

Onderdeel [A II] 250 profielen:					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Breedte	-17.14	22.79	-2.11	2.74
	Gem diepte	-0.38	0.44	3.16	3.92
	Max diepte	-0.40	0.76	2.50	4.97
	Nat opp.	154.95	299.55	0.88	3.26
B	Breedte	-5.02	51.51	-1.18	6.16
	Gem diepte	-0.28	0.44	2.75	4.38
	Max diepte	-0.48	0.94	3.47	6.42
	Nat opp.	190.36	479.49	1.23	5.45
SB	Breedte	5.78	63.66	0.49	6.61
	Gem diepte	-0.32	0.53	3.31	4.98
	Max diepte	-0.31	0.87	2.55	5.59
	Nat opp.	430.68	607.64	3.75	6.10

Tabel 12 Afwijkingen [A II] voor alle profielen.

Onderdeel [B] 250 profielen:					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Gem diepte	-0.24	0.33	1.91	3.13
	Max diepte	-0.40	0.76	2.50	4.97
	Nat opp.	206.30	286.80	1.73	3.02
B+	Gem diepte	-0.41	0.53	3.54	5.19
	Max diepte	-0.41	0.90	3.29	6.31
	Nat opp.	376.90	460.40	3.37	5.12
SB+	Gem diepte	-0.38	0.48	3.57	4.82
	Max diepte	-0.22	0.94	2.26	5.99
	Nat opp.	348.80	413.30	3.40	4.66

Tabel 13 Afwijkingen [B] voor alle profielen.

Bijlage 2

Onderdeel [A I] 210 profielen (> Nyq.freq.:					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Breedte	-40.74	42.73	-3.47	3.69
	Gem.diepte	-0.59	0.63	3.41	4.21
	Max.diepte	-0.35	0.76	0.86	3.55
	Nat opp.	129.80	305.32	0.19	2.14
B	Breedte	3.35	53.13	0.54	4.48
	Gem.diepte	-0.20	0.46	0.75	3.83
	Max.diepte	-0.42	0.95	1.62	4.89
	Nat opp.	228.95	534.77	0.89	3.86
SB	Breedte	8.65	63.34	1.31	5.39
	Gem.diepte	-0.31	0.54	1.57	4.22
	Max.diepte	-0.20	0.86	0.60	4.12
	Nat opp.	466.52	651.74	2.53	4.48

Tabel 14 Afwijkingen [A I] voor profielen > Nyq.frequentie

Onderdeel [A II] 200 profielen > Nyq.freq.:					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Breedte	-18.43	24.56	-1.60	2.20
	Gem. diepte	-0.40	0.46	2.38	3.08
	Max. diepte	-0.40	0.74	1.19	3.23
	Nat opp.	195.10	339.10	0.63	2.22
B	Breedte	-0.62	55.04	0.06	4.70
	Gem. diepte	-0.29	0.42	1.93	2.85
	Max. diepte	-0.53	0.91	2.39	4.44
	Nat opp.	263.50	530.70	1.58	3.25
SB	Breedte	10.40	72.10	1.51	6.36
	Gem. diepte	-0.30	0.53	1.83	3.67
	Max. diepte	-0.28	0.85	1.05	3.85
	Nat opp.	538.70	687.90	3.37	4.23

Tabel 15 Afwijkingen [A II] voor 200 profielen > Nyq.frequentie

Onderdeel [B] 200 profielen > Nyq.freq.:					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Gem. diepte	-0.27	0.33	1.44	2.16
	Max. diepte	-0.40	0.74	1.19	3.23
	Nat opp.	249.70	326.20	1.22	2.03
B+	Gem. diepte	-0.49	0.49	3.22	3.31
	Max. diepte	-0.43	0.85	2.11	4.23
	Nat opp.	473.00	513.90	3.00	3.23
SB+	Gem. diepte	-0.41	0.44	2.69	2.91
	Max. diepte	-0.16	0.95	0.58	4.26
	Nat opp.	423.40	458.70	2.47	2.70

Tabel 16 Afwijkingen [B] voor 200 profielen > Nyq.frequentie

Onderdeel [A I] 170 profielen > Nyq.freq. en breedte B = breedte R:					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Breedte	-43.46	45.64	-3.62	3.85
	Gem. diepte	-0.56	0.61	3.24	4.23
	Max. diepte	-0.34	0.77	0.77	3.78
	Nat opp	97.78	292.98	-0.12	2.16
B	Breedte	-21.61	39.89	-1.61	3.25
	Gem. diepte	-0.28	0.48	1.19	3.93
	Max diepte	-0.29	0.95	1.20	5.24
	Nat opp.	-70.27	307.51	-0.94	2.74
SB	Breedte	-1.65	64.39	0.29	5.25
	Gem diepte	-0.30	0.59	1.48	4.73
	Max diepte	-0.09	0.91	0.14	4.60
	Nat opp.	282.24	506.94	1.37	3.76

Tabel 17 Afwijkingen [A II] voor profielen > Nyq.frequentie en breedte B $\approx$ breedte R

Onderdeel [A II] 160 profielen > Nyq.freq.en breedte B = breedte R:					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Breedte	-17.53	25.01	-1.42	2.15
	Gem.diepte	-0.34	0.42	2.04	2.92
	Max.diepte	-0.40	0.74	1.18	3.40
	Nat opp.	173.90	330.20	0.40	2.24
B	Breedte	-27.42	42.15	-2.30	3.50
	Gem.diepte	-0.40	0.45	2.66	3.07
	Max.diepte	-0.42	0.90	2.14	4.70
	Nat opp.	-44.30	289.80	-0.18	1.91
SB	Breedte	-4.45	71.51	-0.01	6.00
	Gem.diepte	-0.33	0.57	2.12	4.07
	Max.diepte	-0.17	0.88	0.75	4.24
	Nat opp.	333.90	515.50	2.19	3.24

Tabel 18 Afwijkingen [A II] voor 160 profielen > Nyq.frequentie en breedte B $\approx$ breedte R

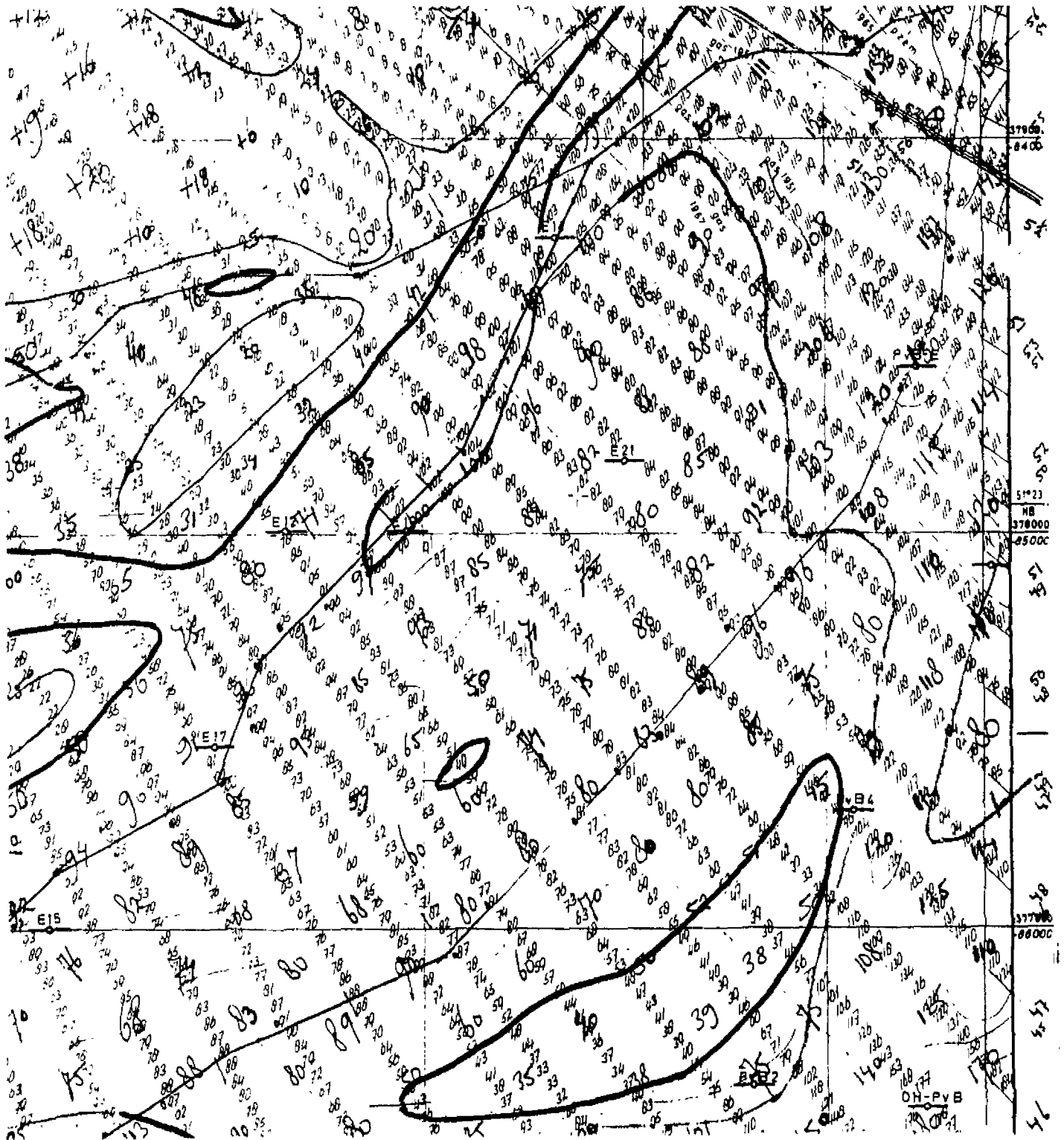
Onderdeel [B] 170 profielen > Nyq.freq. en breedte B = breedte R					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Gem.diepte	-0.23	0.29	1.15	2.03
	Max.diepte	-0.40	0.74	1.18	3.40
	Nat opp.	234.70	310.30	1.09	1.98
B+	Gem.diepte	-0.45	0.46	3.16	3.22
	Max.diepte	-0.44	0.88	2.22	4.63
	Nat opp.	483.20	487.40	3.10	3.16
SB+	Gem.diepte	-0.41	0.44	2.77	2.95
	Max.diepte	-0.16	0.89	0.68	4.31
	Nat opp.	461.20	489.60	2.70	2.90

Tabel 19 Afwijkingen [B] voor 160 profielen > Nyq.frequentie en breedte B $\approx$ breedte R

Onderdeel [A I] 40 profielen < nyq.freq.:					
data	parameter	Afw. m	abs. m	Afw. %	abs. %
BD	Breedte	-38.40	38.85	-12.08	12.25
	Gem.diepte	-0.48	0.48	10.71	10.71
	Max.diepte	-0.68	0.77	11.10	12.42
	Nat opp.	6.90	74.85	0.21	4.80
B	Breedte	-32.55	41.00	-9.20	12.38
	Gem.diepte	-0.49	0.52	11.11	11.61
	Max.diepte	-0.80	0.90	13.17	14.49
	Nat opp.	23.71	142.08	2.77	10.95
SB	Breedte	-21.65	24.50	-7.33	7.91
	Gem.diepte	-0.63	0.63	13.86	13.86
	Max.diepte	-0.82	0.82	13.08	13.08
	Nat opp.	116.01	116.01	7.63	7.63

Tabel 20 Afwijkingen [A I] voor 40 profielen < nyq.frequentie

De raalkaart



Arc/Info macro's

```

/* C. van Eijnsbergen
/* programma:  midnightrun.aml
/* programmeur: C. van Eijnsbergen
/*              TU Delft fac. Geodesie / TPD/TNO/TU Delft
/*              Project Afstuderen
/* Doel: Tien maal wordt het programma "profile.aml" opgestart.
/*
grid
display 9999
&r profile pslhin pers1h pslhout
&r profile psltin pers1t ps1tout
&r profile ps2hin pers2h ps2hout
&r profile ps2tin pers2t ps2tout
&r profile ps3hin pers3h ps3hout
&r profile ps3tin pers3t ps3tout
&r profile ps4hin pers4h ps4hout
&r profile ps4tin pers4t ps4tout
&r profile ps5hin pers5h ps5hout
&r profile ps5tin pers5t ps5tout
q
q
/* Einde programma

&args .infofile .linecover .infout
/*
/* C. van Eijnsbergen
/* programma : profile.aml
/* programmeur: C. van Eijnsbergen
/*              TU Delft fac. Geodesie / TPD/TNO/TU Delft
/*              Project Afstuderen
/* Doel: Deze aml berekent dwarsprofielen in 4 grids. Deze dwarsprofielen
/* hebben begin- en eindpunten die opgeslagen zijn in .linecover. De X- Y-
/* en Z-coördinaten van de dwarsprofielen worden opgeslagen in de
/* .infofiles.
/*
&setvar sampledis = 1
&r gp ng853r
surface lattice ng853r
surfaceprofile '4.0 2.5 5.7 4.0' %.linecover% %.infofile%rn %sampledis%
surface lattice ng853bd
surfaceprofile '4.0 0.5 5.7 2.0' %.linecover% %.infofile%bd %sampledis%
surface lattice ng853b
surfaceprofile '6.0 2.5 7.7 4.0' %.linecover% %.infofile%b %sampledis%
surface lattice ng853sb
surfaceprofile '6.0 0.5 7.7 2.0' %.linecover% %.infofile%sb %sampledis%
q
ap
&r para2 %.infofile%rn %.infofile%bd %.infofile%b %.infofile%sb %.infout%
&type c'est fini, merci pour la patience.
q
grid
/* Einde programma

```

```

&args .infofile1 .infofile2 .infofile3 .infofile4 .infout
/*
/* C. van Eijnsbergen
/* programma: para2.aml
/* programmeur: C. van Eijnsbergen
/* TU Delft fac. Geodesie / TPD/TNO/TU Delft
/* Project Afstuderen
/* Doel: Deze aml berekent van een aantal dwarsprofielen uit 4 info-files
/* (uit SURFACEPROFILE) de parameters breedte, gemiddelde, minimale
/* en maximale dieptes, de natte oppervlakte en omtrek per dwarspro-
/* fiel. De parameters worden opgeslagen in een op te geven text- /*
file (op te starten in ap).
/*
/*
&s sampledis = 1
&s pn /u4/eijns/geul/berekening
&s aantprof = 25
/*
&do j = 1 &to %aantprof%
&if [mod %j% 4] = 0 &then
&do
q
ap
&end
/*
&do i = 1 &to 4
/*
&s .infofile [value .infofile%i%]
/*
/* INFO blok om info-files aan te passen.
/*
&data ARC INFO
ARC
CALCULATE $COMMA-SWITCH = -1
SELECT [translate %.infofile%]
RESELECT SECTION-ID = %j%
RESELECT SPOT = -9999 OR SPOT > -250
PURGE
Y
RESELECT SECTION-ID = %j%
CALCULATE SPOT = SPOT / 100
OUTPUT [translate %pn%/%.infofile%.ASC1] INIT
LIST PRINT
Q STOP
&end
/*
/* Selecteer een dwarsprofiel.
/*
reselect %.infofile% info section-id = %j%
/*
/* Bepaal de begin- en eind- X- en Y-coördinaten.
/*
&s .maxrec = [extract 1 [show select %.infofile% info] ]
&s x1%i% = [show select %.infofile% info 1 item px]
&s y1%i% = [show select %.infofile% info 1 item py]
&s z1%i% = [show select %.infofile% info 1 item spot]
&s x2%i% = [show select %.infofile% info %.maxrec% item px]
&s y2%i% = [show select %.infofile% info %.maxrec% item py]
&s z2%i% = [show select %.infofile% info %.maxrec% item spot]
/*
/*

```

```

/*
/* Berekening van de breedte (Euclidische afstand)
/*
&setvar breedte%i% = [ sqrt [ calc ( [value x1%i%] - [value x2%i%] ) *
( [value x1%i%] - [value x2%i%] ) + ( [value y1%i%] - [value y2%i%] ) *
( [value y1%i%] - [value y2%i%] ) ] ]
/*
/* Voor berekening van de natte omtrek gebruiken we awk in UNIX
/*
&sys awk -f k1.cmd %.infofile%.asc1 > %.infofile%.asc2
&sys awk -f k2.cmd %.infofile%.asc2 > %.infofile%.asc3
/*
&type [close -all]
&s fu = [open %.infofile%.asc3 openstatus -read]
&s natom%i% = [read %fu% readstatus]
&if %readstatus% <> 0 &then
&return &warning Error Reading File
&type [close -all]
&sys rm %.infofile%.asc*
/*
/* Overige data rechtstreeks uit info file:
/*
&if [exists out -info] &then
&s status = [delete out -info]
/*
statistics %.infofile% info # out
    mean spot
    max spot
    min spot
    sum spot
end
/*
&setvar breedte%i% = [ calc [ round [ calc ( [value breedte%i%] * 100 ) ] ] /
100 ]
&setvar gemdiep%i% = [ calc [ round [ calc ( [show statistic 1 1] * 100 ) ]
] / 100 ]
&setvar mindiep%i% = [ calc [ round [ calc ( [show statistic 2 1] * 100 ) ]
] / 100 ]
&setvar maxdiep%i% = [ calc [ round [ calc ( [show statistic 3 1] * 100 ) ]
] / 100 ]
&setvar natop%i% = [ abs [ calc [show statistic 4 1] * %sampledis% ] ]
&setvar natopp%i% = [ calc [ round [ calc ( [value natop%i%] * 100 ) ] ] /
100 ]
/*
&type 'Coördinaten van profiel: (' [value x1%i%] ',' [value y1%i%] ')
(' [value x2%i%] ',' [value y2%i%] ')
&type 'Breedte van de geul : ' [value breedte%i%] 'm'
&type 'Gemiddelde diepte geul : ' [value gemdiep%i%] 'm'
&type 'Minimum diepte geul : ' [value mindiep%i%] 'm'
&type 'Maximum diepte geul : ' [value maxdiep%i%] 'm'
&type 'Natte geul oppervlak : ' [value natopp%i%] 'm2'
&type 'Natte geul omtrek : ' [value natom%i%] 'm'
&type
&end
/*

```

```

/*
/* Opslag parameters in text-file.
/*
&setvar file = %,infout%,txt
&setvar file_unit = [open %file% openstatus -append]
&setvar record = [quote %j% %breedte1% %breedte2% %breedte3% %breedte4%
%gemdiep1% %gemdiep2% %gemdiep3% %gemdiep4% %mindiep1% %mindiep2%
%mindiep3% %mindiep4% %maxdiep1% %maxdiep2% %maxdiep3% %maxdiep4% %natopp1%
%natopp2% %natopp3% %natopp4% %natom1% %natom2% %natom3% %natom4%]
/*
&if [write %file_unit% %record%] = 0 &then
    &type %file% written successfully
&if [close %file_unit%] = 0 &then
    &type %file% closed successfully
clearselect
/*
&end

/* Einde programma

```

Verschilbeelden I



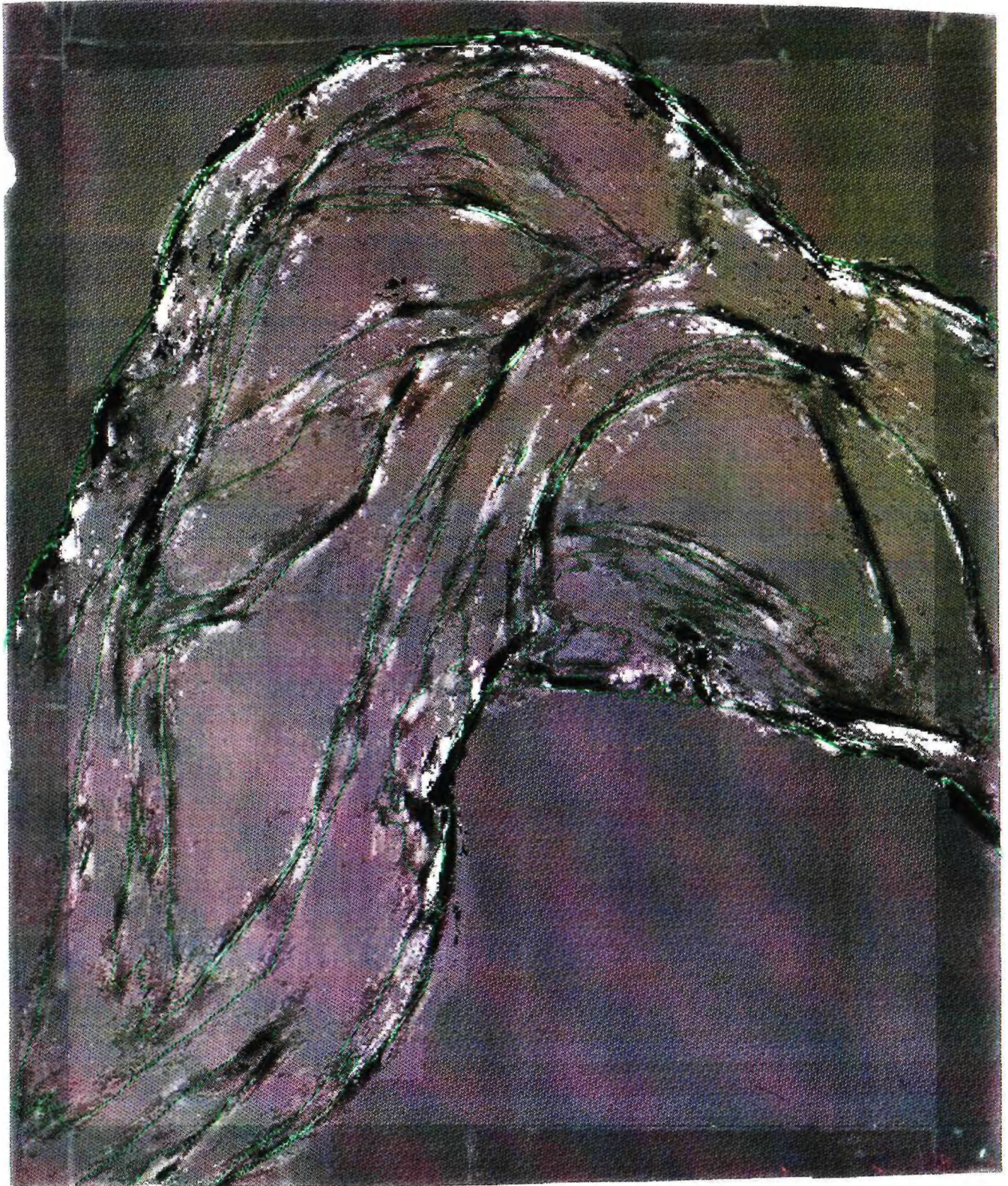
Verschilbeeld R-BD



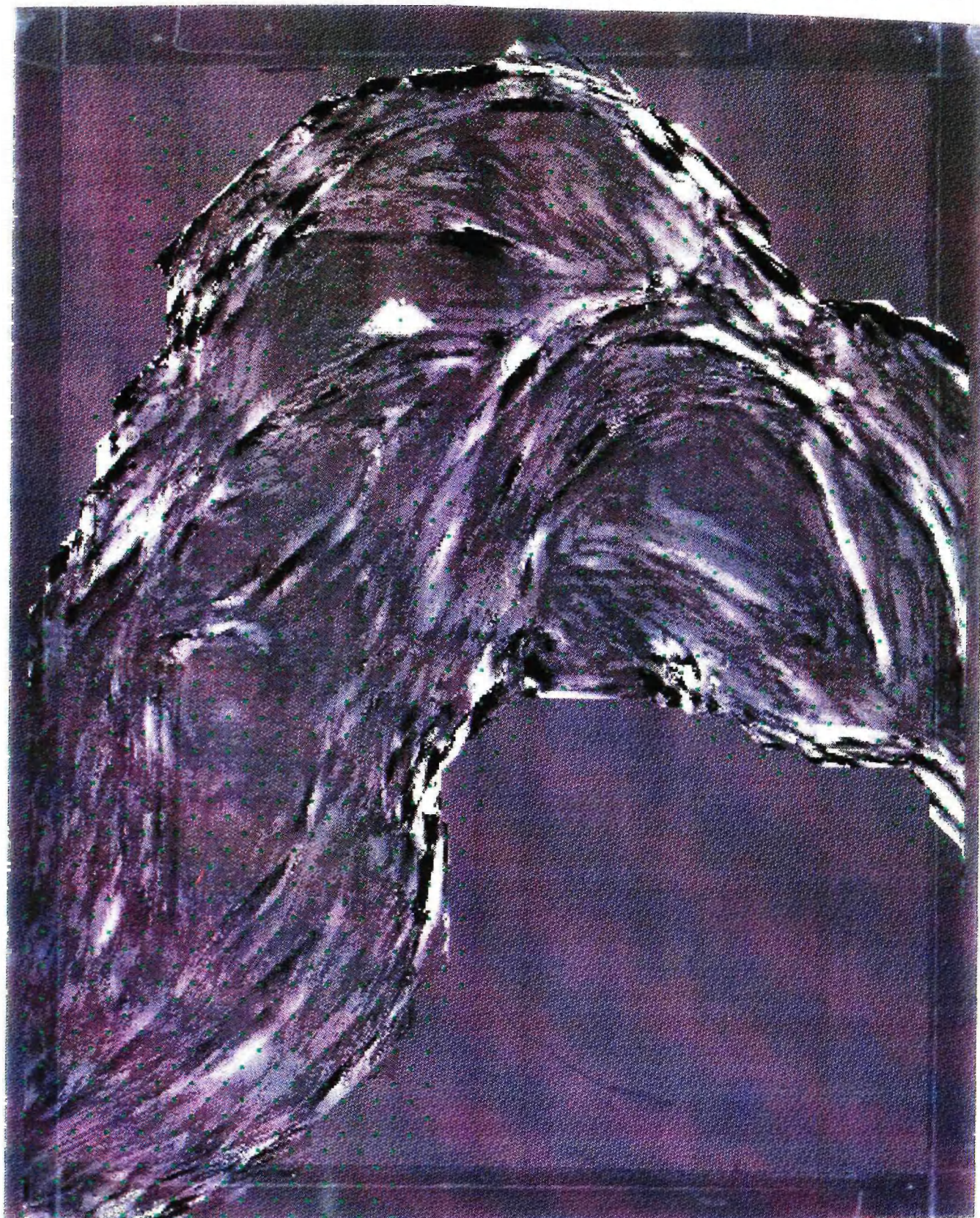
Verschilbeeld R-B



Verschilbeeld R-SB



Verschilbeeld $|R-BD|-|R-B|$ met dieptelijnen



Verschilbeeld |R-B|-|R-SB| met bodkarpunten

Verschilbeelden II



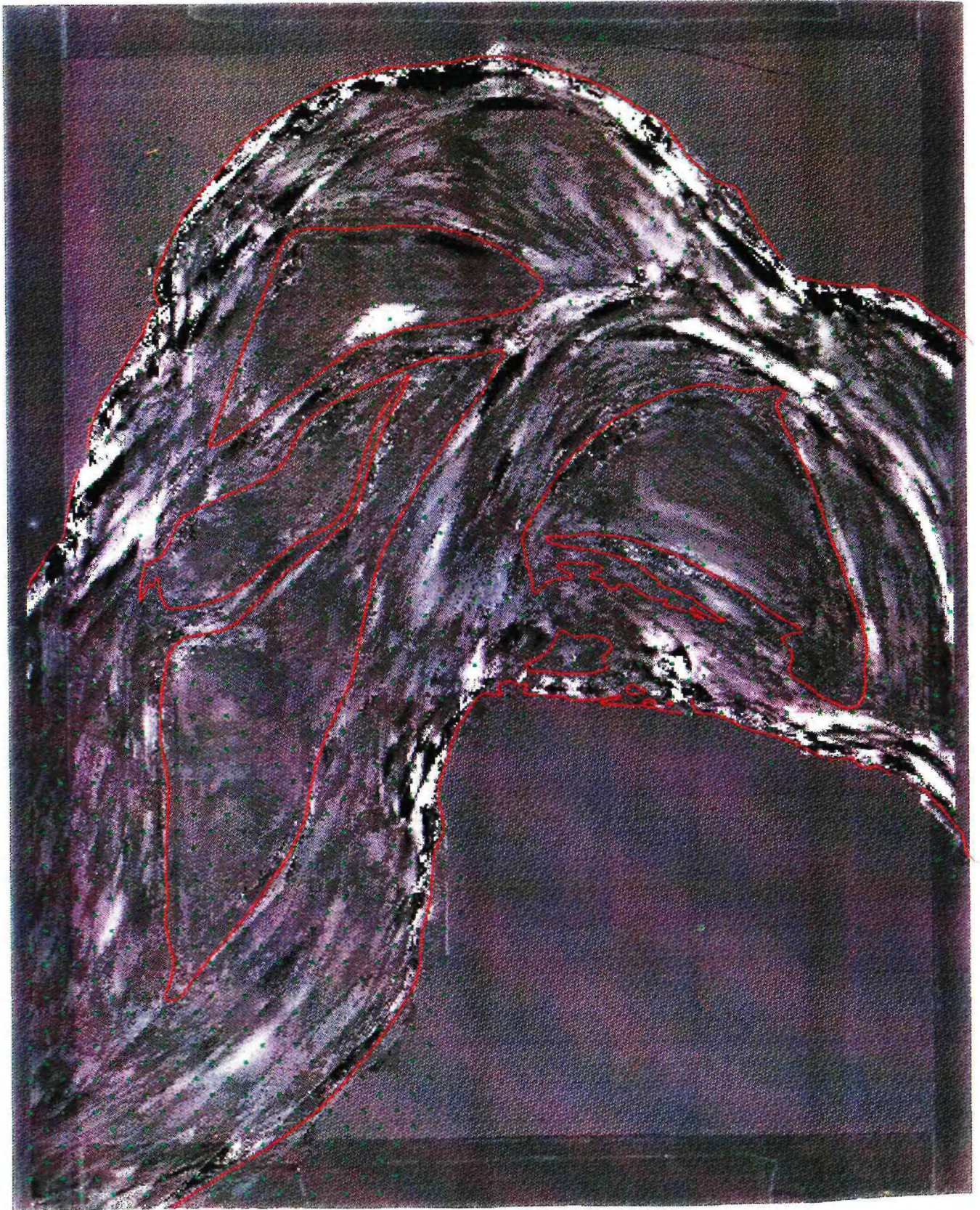
Verschilbeeld R-B+



Verschilbeeld R-SB+



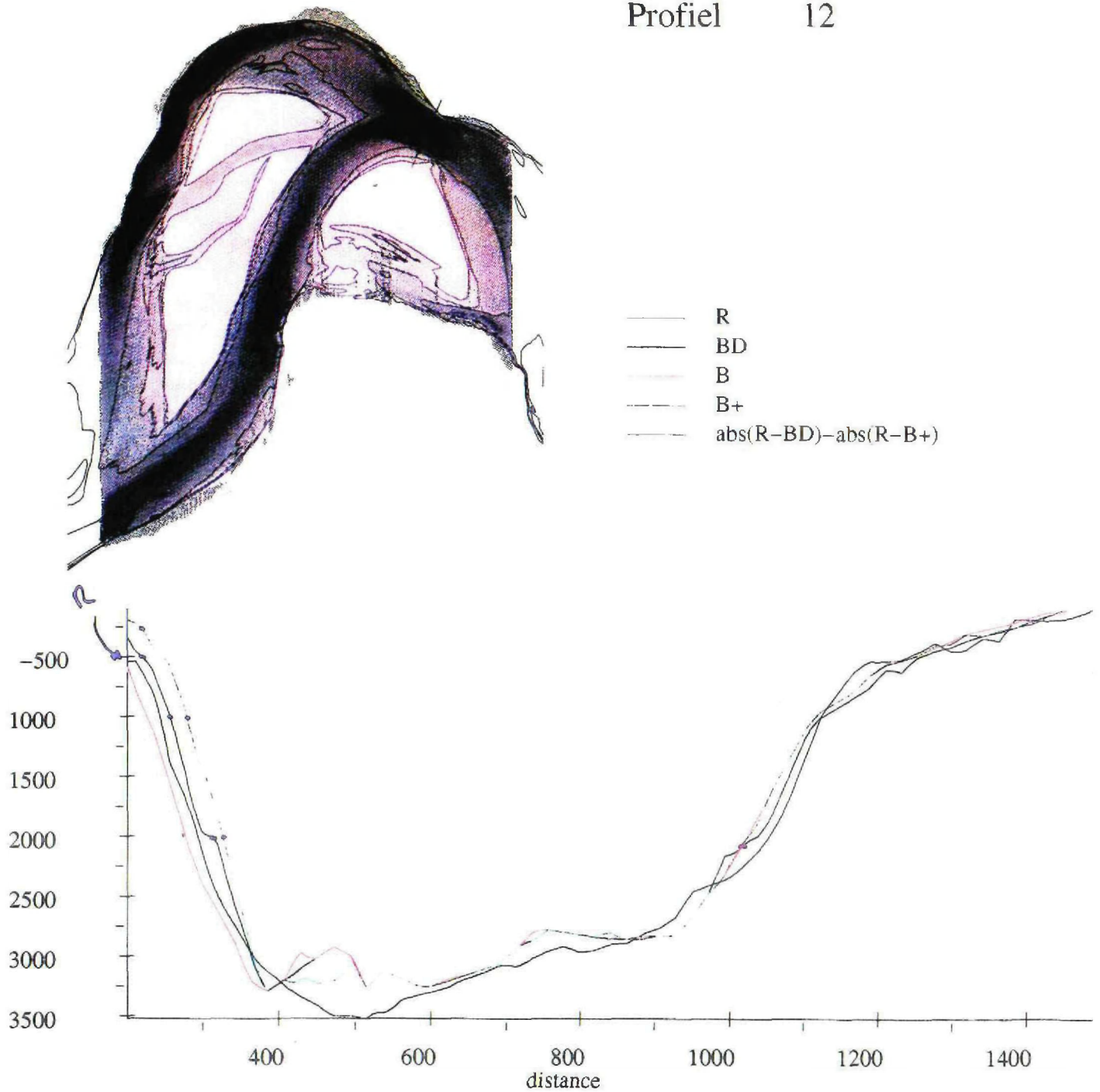
Verschilbeeld $|R-BD|-|R-B+|$ met bodkarpunten, dieptelijnen en profielen (lokale analyse)



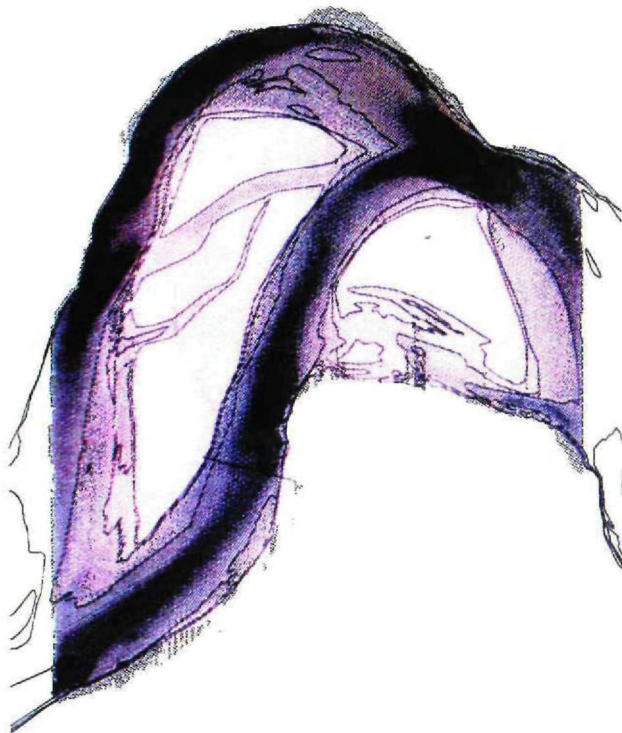
Verschilbeeld $|R-B+|-|R-SB+|$ met bodkarpunten en de -2.5 m dieptelijn

Dwarsprofielen

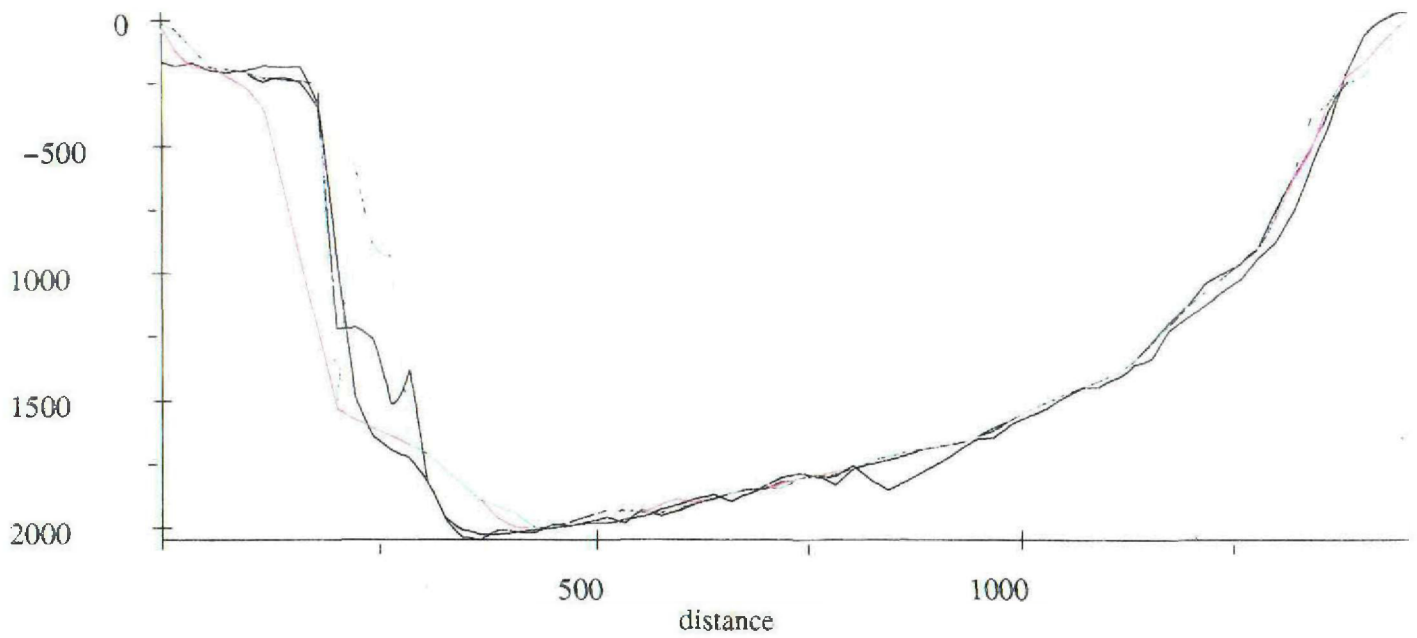
Profiel 12



Profiel 20



- R
- BD
- B
- B+
- $\text{abs}(R-BD) - \text{abs}(R-B+)$

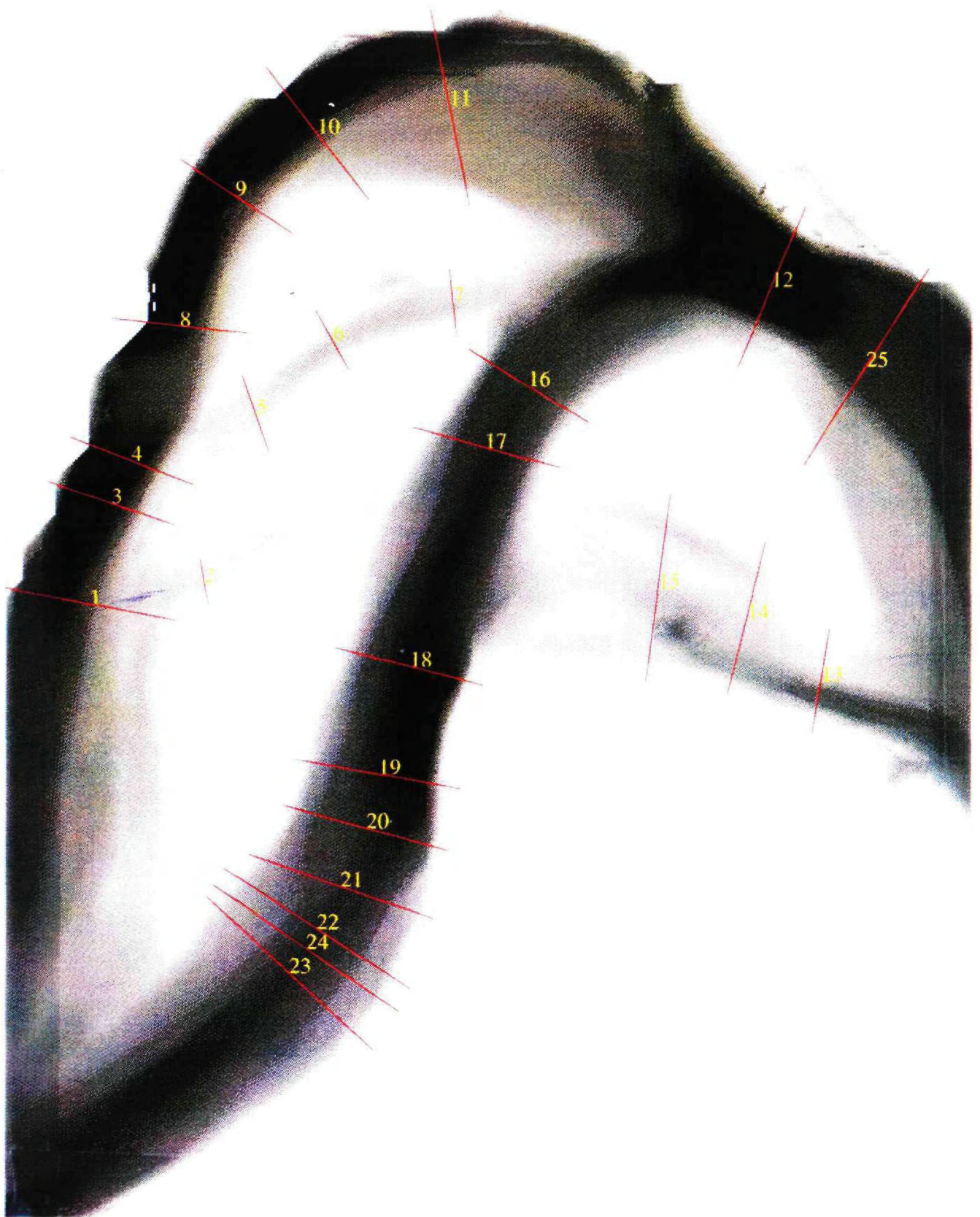


Dwarsprofielen van 5 personen



Testprofielen





Krantenbericht

door Walter van Amerongen

Volkskrant 20-4-93

Redt de rivier, open de dijken

HET LAAT DE Zeeuwen onbernerd. Niemand ligt er wakker van. Zelfs de omdenken niet bij wie de watersnoodramp nog in het geheugen gegrift staat. Opmerkelijk, want het plan van Rijkswaterstaat Zeeland haart opzien en doorbreekt een groot taboe: dijken laten doorpraken om polders langs de Westerschelde onder water te zetten. Het doel is de rivier te redden.

Het plan komt er toch nooit door, verwachten velen. Het zou onuitvoerbaar zijn, te veel nadelige effecten hebben. Maar directeur H. Saeijs van Rijkswaterstaat Zeeland, initiator van het plan, benadrukt dat het wel degelijk serieus is. Niks gebakken lucht.

Onlangs zwengelde hij het onderwerp aan tijdens een symposium op de Hogeschool Zeeland. Sommige dijken van polders langs de Westerschelde, zei hij, moeten worden vernietigd zodat die stukken grond aan de rivier kunnen worden toegevoegd. Zo zou de vaargeul langs natuurlijke weg op diepte kunnen worden gehouden.

Zijn idee is revolutionair. Want Nederland is tot nu toe tweehonderd jaar lang bezig geweest met de aanleg van dijken en polders, onder het motto: veilig, veilig, veilig! Niemand durfde tegen die strategie te ageren, zeker niet na de watersnoodramp in 1953.

Saeijs trok vorig jaar de stoutste schoenen aan, en anno 1993 slaakt hij wederom zijn hartekreet. Door het inpolderen, zegt hij, is het oostelijk deel van de Westerschelde grotendeels dichtgeslibd. Daarom is het volgens hem de hoogste tijd om daar enkele polders terug te geven aan de rivier.

Bij Rijkswaterstaat noemen ze dat ontpolderen. Door E. Turkstra van Rijkswaterstaat Zeeland vertaald als 'een polder ombouwen tot badkuip'. De methode is eenvoudig als er polders worden toegevoegd aan de Westerschelde, wordt de rivier breder. Hierdoor kan de rivier meer water bevatten, en er komt een krachtiger stroming vanuit zee op gang. De Westerschelde staat namelijk onder grote invloed van de Noordzee. De sterkere stroming zal de vaargeul naar verwachting vanzelf uitschuren, in de diepte en in de breedte. Gevolg: er hoeft minder te worden gebaggerd.

Voor Saeijs was dat de belang-

rijkste reden om het plan te lanceren. Want in de Westerschelde, zegt hij, is het baggeren volledig uit de hand gelopen. Natuurlijk, de vaargeul moet op diepte blijven voor de scheepvaart naar Antwerpen. De economische belangen onderkent hij zeker. Maar dat kan volgens hem goedkoper en milieuvriendelijker.

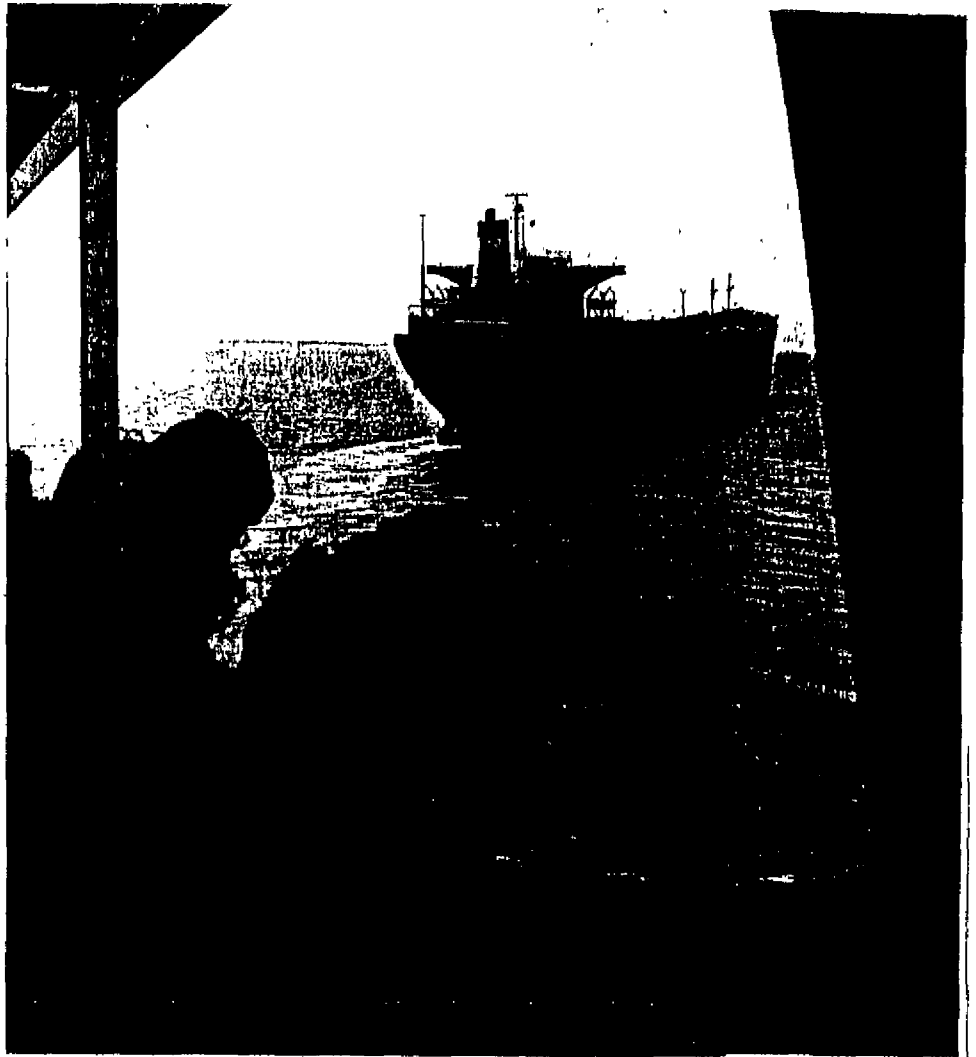
Zijn plan wordt al uitgeprobeerd in een klein polderde (100 hectare) aan de rand van de Westerschelde in Zeeuwsch-Vlaanderen. Bij een van de najaarstormen brak de dijk van deze polder door. Rijkswaterstaat kocht het stuk grond en begon te experimenteren. De geul die door de schurende werking van het getijdewater in de polder ontstond, werd met machines verder uitgegraven tot anderhalve meter diep. Nu stroomt het water uit de Westerschelde via de gleuf het gebied in.

De polder staat ook bij vloed niet helemaal onder water. Alleen op de lager gelegen stukken liggen omvangrijke plassen. Over de geul is een bruggetje aangelegd, bestemd voor de schaapherder die ondanks het oprukkende water halstarrig weigert te vertrekken. Zijn schaapjes staan nog droog in een schuurtje aan de overkant van het stroompje, op een hoger deel. Het wassende water wordt verder landinwaarts tergehouden door dijken. 'Het systeem is hartstikke veilig hoor', verzekert een medewerker van Rijkswaterstaat.

Het experiment markeert een ommezwaai in het beleid van Rijkswaterstaat, waar het groene denken aan invloed wint. Turkstra: 'Tot dusver was er weinig aandacht voor de mogelijkheden van het natuurlijke proces. Er werd altijd gezegd: laat de techniek het werk maar doen. Zo van jongens, we doen er maar weer een baggerschuitje bij. Maar we verlopen uit het oog dat die methode een averechts effect had in de Westerschelde.'

De methode van het ontpolderen is goedkoper en spaart het milieu. Omdat de folgen zo graag de rivier op diepte willen houden, betalen zij nu de hoge baggerkosten, leide jaar 80 miljoen gulden. Met het nieuwe voorstel kunnen ze veel geld besparen. Saeijs denkt voor het project ongeveer tweeduizend hectare polder nodig te hebben. Met de aankoop daarvan is een bedrag van 90 miljoen gulden genoemd. Een eenmalige uitgave voor de Belgen.

De Antwerpse Zeehavendienst,



De Westerschelde ter hoogte van Vlissingen.

FOTO THEO ALDENBERG

die jarenlang heeft aangedrongen op het verder uitdiepen van de Schelde, heeft wel oren naar het plan. Antwerpen hamerde stevast op het economische belang van een toegankelijke Westerschelde. De zeehavendienst vindt de rivier nog steeds niet diep genoeg. Het liefst zou de dienst de vaartroute willen uitbaggeren tot 48 voet (14,5 meter) om ook schepen tot 125 duizend ton in haar haven te kunnen ontvangen. Maar Rijkswaterstaat Zeeland staat daar sceptisch tegenover de grens voor het uitdiepen zou reeds zijn bereikt.

De ecologie van de rivier staat door het vele baggeren onder zware druk. Turkstra: 'Het water vertroebelt meer en meer, waardoor algen niet kunnen groeien. En daarvan moeten juist alle bodembestrijkers in de Westerschelde leven. Zij dreigen nu het onderspit te delven.'

Maar het ergste vindt hij de klungelige manier waarop de zuiderburen baggeren. In het oostelijk deel van de Westerschelde, waar de sedi-

mentatie (besteding) in het water hoog is, zulgen zij de drek op. Vervolgens dumpen zij dat verderop op een ondiep deel weer in de rivier. 'Onder invloed van de getijdestroming stroomt dierkwaart daarvan terug naar de plek van herkomst. Een cyclus die zich het hele jaar herhaalt, kortom dweilen met de kraan open. Saeijs noemt dit een misleuven van de eerste orde, 'de grootste bedreiging voor de Westerschelde in de toekomst'.

De Westerschelde trekt als estuarium (trechtervormige rivier) van nature een hoop zand aan, waardoor de vaargeulen snel dichtstribben. Saeijs wijst op de Franse Seine, ook een estuarium. De monding van die rivier is geheel verzand en dichtgeslibd, en kan alleen tegen hoge baggerkosten bevaarbaar blijven. Er werden dammen aangelegd om de vaargeul op diepte te houden, maar die hebben in ruim een eeuw het estuarium totaal vernield.

Als we niet uitkijken, staat de Westerschelde hetzelfde lot te

wachten, waarschuwt Saeijs. 'Laten wij de klip niet gouden eieren in leven laten. Dus via het ontpolderen, een natuurlijk proces, de Westerschelde bevaarbaar houden. Het is veel veiliger om met moeder natuur te knuffelen.'

Wordt zijn plan straks op grote schaal verwezenlijkt, dan zullen op Nederlands grondgebied voorlopig twee polders verdwijnen. Beldie stukken grond liggen langs het oostelijk deel van de rivier, vlak bij het natuurgebied Het Verdrongen Land van Saeltunge. De grootste klappen zullen vallen over de grens, bij de zuiderburen, het leeuwedeel van de polders langs de Schelde tussen Antwerpen en Gent komt in aanmerking voor het project.

Burgemeester Antoine Dennert van de Belgische gemeente Knibbeke, gelegen aan de oever van de Schelde, is voorzitter van het comité 'Potpolders Nee'. Hij gruipt van de plannen. Hoe durven ze. Waar om willen die Nederlanders weer hun wil opdringen aan de Belgen?

De gebieden langs de Schelde zijn voor de dorpen in de omgeving van grote cultuur-historische waarde, zegt hij, met een rijke flora en fauna, bossen en landbouwgronden. 'Die gebieden geven we onder geen beding prijs', zegt de boze burgemeester.

Op de locaties die Rijkswaterstaat in Nederland op het oeg heeft is een aantal landbouwbedrijven gevestigd. Hoeren in Zeeland schilde ren het voorstel af 'als een typisch plan van bureaubiologen'.

T. Elzinga van de Zuidelijke Landbouw Maatschappij (ZLM) gelooft niet dat de boeren zich zonder slag of stoot van hun grond zullen laten verjagen. Vooral de jonge boer die net is begonnen, zal zich verzetten, verwacht hij. 'Maar een agrariër van boven de vijftig die bijna met pensioen gaat, zal er minder problemen mee hebben. In ieder geval eisen wij dat de onteigening van grond op vrijwillige basis gebeurt. Zo niet, dan kunnen wij zeker in actie.'