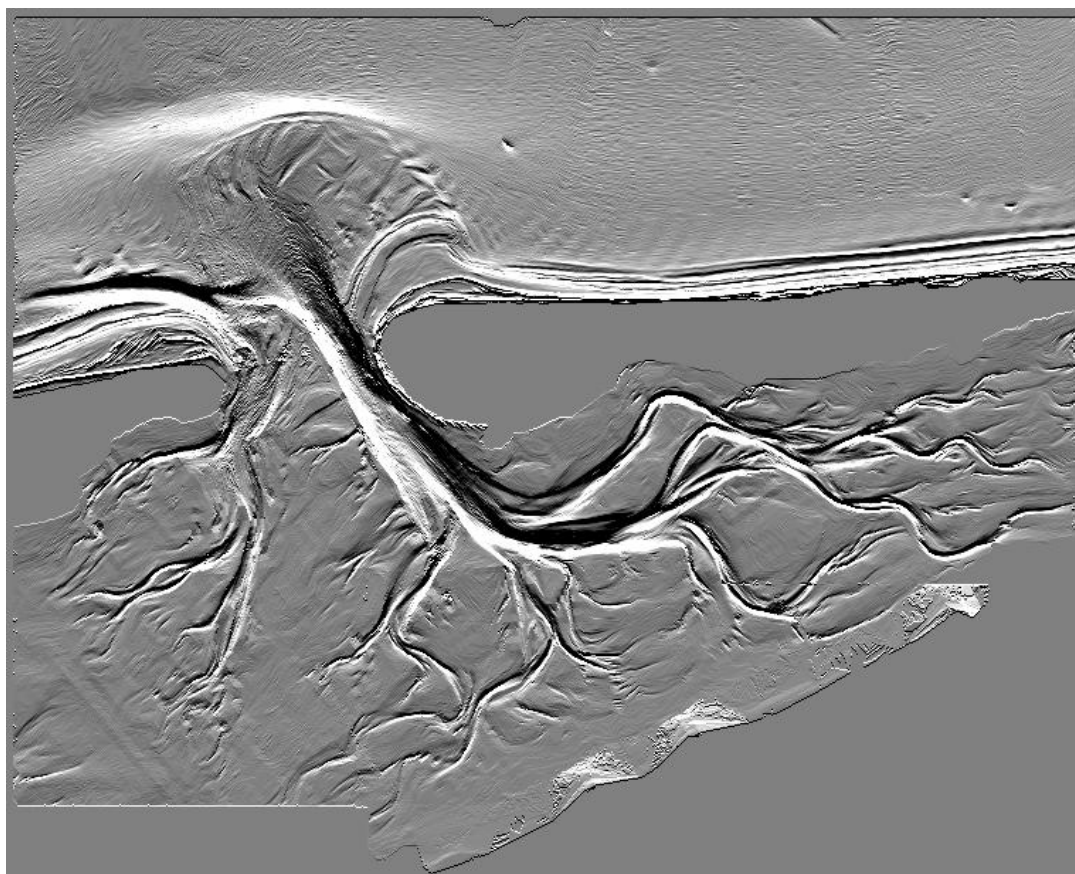


De kanaalstructuur van de Waddenzee



Het automatisch bepalen van kanalen uit xyz-data

N23b Delft, maart 2005

M.A.B. van den Berg	1172344
R.S. Brandt	9119291
A. van der Eijk	1172549
J.T.J.E. Lemmens	1128655
A.M. Oyen	1181343
R. Sopjes	1147560
H.J. Vrijkorte	1173464

 **TU**Delft

Luchtvaart- & Ruimtevaarttechniek

Voorwoord

Dit rapport is geschreven in opdracht van de TU-Delft, faculteit Luchtvaart- & Ruimtevaarttechniek. Het betreft het tweedejaars aardobservatieproject toegewezen aan projectgroep N23B.

Lezers die vooral geïnteresseerd zijn in de gedetailleerde uitwerking van het programma worden verwezen naar hoofdstuk 4 en bijlage 3.

De projectgroep is vooral veel dank verschuldigd aan onze projectbegeleider M.F.C. Timmer, verbonden aan de TU Delft, faculteit Luchtvaart- & Ruimtevaarttechniek, voor zijn steun in moeilijke tijden.

Delft, maart 2005

M.A.B. van den Berg

R.S. Brandt

A. van der Eijk

J.T.J.E. Lemmens

A.M. Oyen

R. Sopjes

H.J. Vrijkorte

Samenvatting

In de Waddenzee bevinden zich diepe kanalen en vaargeulen die zorgen voor het transport van water tussen de Waddenzee en de Noordzee. De positie van deze kanalen is van belang voor de scheepvaart in de Waddenzee, maar ook voor kust- en milieubeheer. De diepte en ligging van deze kanalen verandert in de loop der jaren, waardoor er regelmatig nieuwe dieptemetingen gedaan moeten worden. De doelstelling van dit project is na te gaan wat de beste methode is om dieptegegevens van de Waddenzee van verschillende jaren automatisch te verwerken om zo de verandering van de kanaalstructuur in beeld te brengen. De voorspellingen over de kanaaldynamiek wordt aan deskundigen op dit vakgebied overgelaten.

In dit rapport worden vier methodes behandeld waarmee de kanalen bepaald kunnen worden en één methode die de verandering in diepte bepaalt.

Bij de bepaling a.h.v. de diepte wordt door het computerprogramma een afbeelding gemaakt, waarin de verschillende dieptes af te lezen zijn a.h.v. verschillende kleuren en dieptelijnen. Op deze manier worden de kanalen zichtbaar en kunnen de diepste gebieden gedetecteerd worden.

De tweede methode wordt gerealiseerd door in elk punt in elke richting de helling te bepalen en op de overgang van negatieve naar positieve helling een puntje te zetten. Deze punten geven nauwkeurig de dalen van de vaargeulen weer, welke dan gemakkelijk vergeleken kunnen worden.

De derde methode maakt gebruik van de stroomrichting in elk punt. In elk punt wordt gemeten hoeveel water er voorbij stroomt. Vervolgens worden er streepjes getrokken in de stroomrichting van het water.

De bodemwandelaar, methode vier, kijkt in een geselecteerd punt in alle richtingen. Als het hoogteverschil onder een bepaalde waarde ligt, vult hij dat punt op en kijkt hij in dat punt verder.

De laatste methode is de verschilmethode. Hierbij wordt van twee datasets in elk punt het verschil berekend. Op deze manier kan bepaald worden waar de zee ondieper wordt en waar dieper.

Na het vergelijken van de eerste vier methodes, blijkt dat de tweede methode, de methode die gebruik maakt van de hellingen, het beste resultaat oplevert. Ze geeft de positie van de kanalen het nauwkeurigst weer en kan dus het beste gebruikt worden om de gegevens van de verschillende jaren met elkaar te vergelijken. Ze presteert ook het beste qua ruisonderdrukking.

De vijfde methode is niet geschikt voor het detecteren van de vaargeulen, maar geeft wel een mooi beeld van de diepteverandering tussen twee verschillende datasets.

Wanneer afbeeldingen van de tweede methode van verschillende jaren op elkaar geplot worden, kan opgemerkt worden dat de bochten veranderen. Dit in die zin dat aan de buitenkant van de bochten zand geërodeerd wordt en aan de binnenkant van de bochten zand wordt afgezet. Dit kan ook afgeleid worden uit de afbeelding voortgebracht door de verschilmethode.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	I
SAMENVATTING	II
1 INLEIDING	1
2 BESCHRIJVING VAN EISEN	2
2.1 RANDVOORWAARDEN.....	2
2.2 UITGANGSPUNTEN	2
2.3 PROGRAMMA VAN EISEN	2
3 METHODES OM EEN VAARGEUL TE BEPALEN	4
3.1 BEPALING MET BEHULP VAN DIEPTE	4
3.2 BEPALING MET BEHULP VAN HELLING.....	4
3.3 BEPALING MET BEHULP VAN STROOMRICHTING	5
3.4 BEPALING MET BEHULP VAN EEN BODEMWANDELAAR	8
3.5 DE VERSCHILMETHODE	10
4 BESCHRIJVING VAN HET PROGRAMMA	11
5 RESULTATEN VAN DE VAARGEULEN BEREKEND DOOR HET PROGRAMMA	13
5.1 BEPALING MET BEHULP VAN DIEPTE	13
5.2 BEPALING MET BEHULP VAN HELLING.....	14
5.3 BEPALING MET BEHULP VAN STROOMRICHTING	16
5.4 BEPALING MET BEHULP VAN EEN BODEMWANDELAAR	17
6 TOETSING VAN DE METHODES OP DE EISEN	18
6.1 VOOR- EN NADELEN VAN DE TOEGEPASTE METHODES	18
6.2 AFWEGING VAN DE VOOR- EN NADELEN.....	19
7 VERGELIJKINGEN TUSSEN VERSCHILLENDE JAREN	21
7.1 DE HELLINGMETHODE.....	21
7.2 DE VERSCHILMETHODE	22
8 CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	23
LITERATUURLIJST	24
BIJLAGE 1 GEDEELTE VAN EEN DATASET (1989)	25
BIJLAGE 2 RESULTATEN 1989, 1993 EN 1999	26
BIJLAGE 3 DE PROGRAMMACODE	32

1 Inleiding

In de Waddenzee bevinden zich diepe kanalen en vaargeulen die zorgen voor het transport van water tussen de Waddenzee en de Noordzee. De positie van deze kanalen is uitermate belangrijk voor scheepvaart in de Waddenzee, maar ook voor kust- en milieubeheer. Het is gebleken dat de vorm en ligging van deze kanalen in de loop der jaren verandert, waardoor er regelmatig nieuwe dieptemetingen gedaan moeten worden. Een mogelijke oplossing van dit probleem is het toepassen van een computerprogramma dat de kanaalstructuur in kaart brengt, en hiermee (voorzichtige) toekomstvoorspellingen mogelijk maakt.

De doelstelling van dit project is na te gaan wat de beste methode is om dieptegegevens van de Waddenzee van afgelopen jaren automatisch te verwerken om zo de verandering van de kanaalstructuur in beeld te brengen. Het betreft hier de dieptegegevens van de Waddenzee tussen de eilanden Ameland en Terschelling. Een computerprogramma wordt gebruikt om de veranderingen van de zeebodem tussen 1989 en 1999 snel, makkelijk en overzichtelijk weer te geven. Het is hierbij niet de bedoeling om conclusies te trekken over de dynamiek van de zeebodem: dit wordt overgelaten aan deskundigen op dit gebied.

De opbouw van het rapport is als volgt: In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de eisen waaraan het programma moet voldoen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een beschrijving gegeven van de verschillende concepten waarmee de kanaalstructuur in kaart kan worden gebracht. In hoofdstuk 4 wordt uitgelegd hoe het uiteindelijke programma werkt. De resultaten van het onderzoek staan in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de plus- en minpunten van de concepten en wordt een keuze gemaakt van het meest geschikte concept. Vervolgens worden in hoofdstuk 7 de hellingmethode en de verschilmethode nog eens extra toegelicht. Ter afsluiting worden in hoofdstuk 8 de eindconclusies opgesomd en enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek en verbetering van de resultaten gegeven.

2 Beschrijving van eisen

In dit hoofdstuk worden de eisen besproken voor het te maken programma. Hier zal de aandacht worden gevestigd op een aantal randvoorwaarden in paragraaf 2.1 en uitgangspunten in paragraaf 2.2. Ten slotte wordt in paragraaf 2.3 het volledige programma van eisen gegeven.

2.1 Randvoorwaarden

Eerst moet een computerprogramma gemaakt worden dat een dataset kan inlezen. Vervolgens moet het programma deze data verwerken waarbij hij kanaaltjes detecteert. Tenslotte is het de bedoeling dat er een afbeelding van de kanaalstructuur wordt gemaakt. Dit zijn randvoorwaarden die zijn opgelegd aan het project.

Er wordt gebruik gemaakt van drie datasets aangeleverd door het RIKZ uit de jaren 1989, 1993, 1999 (zie ook bijlage 1). Deze datasets hebben een resolutie van 20 meter. Dat wil zeggen dat elke 20 meter, zowel in x als y-richting, een dieptemeting is gedaan. Dat zijn ongeveer één miljoen metingen per dataset.

Door de kanaalstructuur van elk jaar met elkaar te vergelijken kan uiteindelijk een verandering van deze structuur worden waargenomen in de loop der jaren.

2.2 Uitgangspunten

In verband met de resolutie van het gebruikte computerscherm en de beperkingen van het programmeerprogramma Java is de resolutie aangepast van 20 meter naar 40 meter. Hierdoor wordt zowel in x als y-richting de helft van het aantal punten gebruikt.

Bij het zichtbaar maken van de kanaaltjes is gebruik gemaakt van vijf verschillende methodes, namelijk de methode m.b.v de diepte, de hellingen en de stroomrichtingen, de bodemwandelaar en de verschilmethode.

2.3 Programma van eisen

Randvoorwaarden:

- RE1.Het computerprogramma moet een dataset kunnen inlezen.
- RE2.Het computerprogramma moet een afbeelding kunnen maken.
- RE3.Het computerprogramma moet kanalen kunnen detecteren.
- RE4.De data m.b.t. de diepte van de inlaten tussen de Waddeneilanden heeft resolutie van 20 meter.
- RE5.Er wordt gebruik gemaakt van 3 datasets.

Uitgangspunten:

- UE1.De verandering van de ligging van de kanalen in de loop der jaren.
- UE2.De resolutie is aangepast naar 40 meter in verband met een beperkt geheugen van de gebruikte computer.

- UE3. Vier methodes om de kanalen zichtbaar te maken: diepte, hellingen, stroomrichtingen en bodemwandelaar. Eén methode om de diepteverandering tussen twee verschillende datasets weer te geven.

3 Methodes om een vaargeul te bepalen

In dit hoofdstuk worden de vijf methodes besproken. In paragraaf 3.1 wordt de methode met behulp van de diepte besproken, in paragraaf 3.2 de methode met behulp van de helling en in paragraaf 3.3 de methode met behulp van de stroomrichting. Tot slot behandelen paragraaf 3.4 en 3.5 respectievelijk de bodemwandelaar en de verschilmethode.

3.1 Bepaling met behulp van diepte

De kanaalstructuur van de Waddenzee kan bekeken worden aan de hand van de diepte. Het programma kijkt hierbij naar alle punten en als deze een bepaalde waarde hebben, geeft het programma de punten een bepaalde kleur. Diepe zones krijgen een zwarte tot donkerblauwe kleur en hoe ondieper de zee wordt, hoe lichter het blauw wordt. Gebieden boven het nulniveau krijgen een gele kleur en punten die geen gegevens bevatten blijven gewoon wit.

Om zones te bepalen met een bepaalde diepte, is het handig om dieptelijnen te tekenen. Zo kunnen bijvoorbeeld dieptelijnen getekend worden op een diepte van 3.5 m. Omdat de diepte van de punten meestal niet precies deze bepaalde diepte hebben, worden de punten ten opzichte van zijn omringende punten bekeken. Zodra de waarden van de punten een bereik hebben om deze gegeven diepte, krijgt het punt van waaruit gekeken wordt een andere kleur. Doordat de punten met een bepaalde diepte aan elkaar grenzen, zullen er op het kaartje dieptelijnen verschijnen. De kanalen zijn dieper dan de moddervlakten en zullen dus omringd worden door dieptelijnen.

Voor schepen zijn deze dieptelijnen van zeer groot belang. Omdat schepen een bepaalde diepgang hebben, kunnen zij aan de hand van de dieptelijnen zien waar ze wel en niet kunnen varen.

Om de veranderingen van de zeebodem te kunnen voorspellen, is deze methode echter minder bruikbaar omdat er veel storingen zijn. Deuken in de zeebodem zorgen ervoor dat er cirkelvormige dieptelijnen te zien zijn. De deuken zijn niet van belang voor de kanaalstructuur en leveren dus storing.

3.2 Bepaling met behulp van helling

De kanaalstructuur is ook in kaart te brengen door gebruik te maken van berekeningen aan de hand van hellingen op de bodem. De hellingen op de bodem kunnen op drie verschillende manieren berekend worden: in de x-richting, de y-richting en de maximale helling.

Om de hellingen in de x-richting te bepalen kijkt het programma naar punten die horizontaal naast elkaar liggen. Het verschil tussen twee punten die naast elkaar liggen bepaalt de helling. Door de punten van links naar rechts te bekijken ontstaan negatieve en positieve hellingen.

Om de hellingen in de y-richting te bepalen wordt dezelfde methode gebruikt als in de x-richting, met als verschil dat er nu gekeken wordt naar

punten die verticaal naast elkaar liggen. Er wordt nu van boven naar beneden gekeken.

Om de maximale helling van een punt te bepalen wordt een andere methode toegepast. Er wordt nu gekeken naar alle omringende punten van het te bepalen punt. De maximale en minimale diepte van de omringende punten wordt bepaald. Het verschil van die twee diepten wordt de maximale helling van het punt. De waarde van het punt zelf wordt niet meegenomen in deze berekening, deze wordt wel gebruikt voor de berekening van andere punten. Omdat het hier gekeken wordt in alle richtingen zullen er alleen positieve waarden gevonden worden.

Doordat in de x- en y-richting positieve en negatieve waarden gevonden worden, is het gemakkelijk om toppen en dalen te vinden in de zeebodem. Doordat kanalen dieper zijn dan de rest van de bodem, bevinden zich daar dalen. Door de punten in de dalen een andere kleur te geven ontstaan er lijnen. Dit moet gedaan worden voor zowel de hellingen in de x- als de y-richting, zodat er een goede dekking ontstaat. De lijnen geven een goede weergave van de kanaalstructuur. Om kleine schommelingen in het bodemoppervlak weg te filteren, wordt gekeken naar het verschil in diepte tussen de laatste top en het laatste dal. Als dit verschil erg klein is, betekent dit dat er geen kanaal maar een kleine schommeling aanwezig is in het bodemoppervlak. Deze schommelingen worden genegeerd.

Bij de maximale helling kan geen onderscheid gemaakt worden tussen dalen en toppen, het is hierdoor veel lastiger om de kanalen er uit te filteren. Om fouten er uit te filteren wordt er gebruik gemaakt van een minimale diepte.

3.3 Bepaling met behulp van stroomrichting

Deze paragraaf behandelt het bepalen van de vaargeulen met behulp van de stroomrichting. Bij de bespreking van deze methode wordt gebruik gemaakt van de beschikbare informatie uit Goodchild (2005), een verdere uitwerking wordt gegeven in Soille, P., en C. Gratin (1994, p. 181-189).

Deze methode gaat ervan uit dat het water vanuit alle punten naar het laagste punt stroomt. Het water zal zich dus vanuit allerlei vertakkingen verzamelen tot één grote stroom. Om dit met een computer weer te geven moet er dus een model zijn, waarin met behulp van getallen wordt aangegeven hoe groot de waterstroom is, die zich op elk punt bevindt. Voor elk punt zal nu, behalve de diepte, ook de stromingsrichting en de grootte van de waterstroom op dat punt bepaald worden.

De methode werkt als volgt. De diepte van elk punt is gegeven in de data, zie voorbeeld figuur 3.1. Nu wordt er vanuit elk punt gekeken in welke richting het water vanuit dat punt stroomt. Om deze stromingsrichting weer te geven, krijgt de cel een getal. Dit getal varieert van 0 t/m 8, zie figuur 3.2, waarbij de getallen 1 t/m 8 staan voor een stromingsrichting. Het getal 1 staat voor de noordwestelijke richting, 2 voor de noordelijke richting, etc. Wanneer het water nergens naar toe stroomt, dat wil zeggen wanneer geen

enkel omringend punt dieper is, krijgt de cel het getal 0. Deze cel is dan een zogenaamde put. Het water zal naar deze put toestromen en zich hier verzamelen. Na deze bewerking ziet het er dan als volgt uit, zie figuur 3.3.

3	1	6	8
5	14	11	9
7	16	17	12
15	21	18	13

Figuur 3.1 Diepte van elk punt (voorbeeld)

1	2	3
8	0	4
7	6	5

Figuur 3.2 Stromingsrichtingen

5	6	7	7
5	6	6	7
5	6	7	7
4	0	8	8

Figuur 3.3 Stromingsrichting van elk punt

Vervolgens wordt er met deze stromingsrichting van elke cel een stroom water genegeerd. Deze stroom wordt ook weer gerepresenteerd door getallen, waarbij een laag getal een kleine stroom weergeeft en een hoog getal een grote stroom. Elke cel afzonderlijk creëert een stroompje van 1. De stroom start in zijn eigen cel en gaat net zolang stroomafwaarts totdat er een put bereikt wordt. Bij elke cel, die dit stroompje tegenkomt, wordt er 1 bij opgeteld. Wanneer de put bereikt is, start de volgende cel met een stroompje van 1, net zolang totdat elke cel aan de beurt geweest is (zie figuur 3.4 t/m 3.6).

1			
	1		
	1		
	1		

Figuur 3.4 Stroom gestart bij de eerste cel

1	1		
	2		
	2		
	2		

Figuur 3.5 Stroom van de eerste en tweede cel samen

1	1	1	1
1	4	2	1
1	6	4	1
1	16	3	1

Figuur 3.6 De stromen van alle cellen verzameld

Nu is dus voor elke cel bekend hoe groot de waterstroom in de desbetreffende cel is en waar deze naar toe stroomt. Deze stroom kan nu vanaf een bepaalde minimumwaarde worden weergegeven met een computerprogramma.

Doordat er nogal wat lokale minima in de data aanwezig zijn, zal de waterstroom onnodig opgehouden worden. Deze lokale minima zorgen voor putten, waardoor de waterstroom stopt en er dus talloze onafhankelijke minikanaaltjes ontstaan. De lokale minima moeten er dus uit gefilterd worden. Dit gebeurt door de putten van de lokale minima te laten overstromen. Wanneer een stroompje eindigt in een put, wordt deze put opgehoogd. Hierdoor zal de put uiteindelijk even diep zijn of zelfs hoger komen te liggen dan de omliggende punten en zal het water hier niet meer stoppen met stromen.

Dit leidt overigens weer tot een ander probleem, namelijk: Wat is de stromingsrichting wanneer twee aanliggende punten even diep zijn? Dit probleem zal in de in dit rapport getoonde datasets niet zo snel voorkomen, omdat de dieptes vrij nauwkeurig gemeten zijn. Het is dus vrij onwaarschijnlijk dat twee punten, die twintig meter van elkaar verwijderd zijn, op de centimeter nauwkeurig even diep liggen en dat geen enkele andere omringende cel dieper ligt. Mocht dit toch voorkomen, zijn er voor dit probleem twee oplossingen aangedragen.

De eerste oplossing is de eerste richting te nemen van de 1 t/m 8 richtingen. Dit om de praktische reden, zodat, wanneer dit probleem zou optreden, het water in de meeste gevallen volgens de dieptekaart (zie figuur 5.2 en bijlage 2) in noordelijke richting zal stromen.

De tweede oplossing voor dit probleem is het willekeurig kiezen van een stromingsrichting. Er zal dan een even grote stroom water in beide richtingen gaan.

Er is uiteindelijk gekozen voor het gebruik van de eerste oplossing, omdat deze praktischer is. Bovendien zou het resultaat nauwelijks verschillen, omdat de twee afzonderlijke stromen van de tweede oplossing zich waarschijnlijk na een kleine afstand weer bij elkaar zullen voegen in noordelijke richting.

3.4 Bepaling met behulp van een bodemwandelaar

Een andere methode om de kanaalstructuur in kaart te brengen is een recursieve methode, namelijk de bodemwandelaar. In deze methode wordt uitgegaan van een door de gebruiker aangegeven punt en van daaruit wordt in elke richting gekeken. Het programma begint bij het punt dat linksboven ligt t.o.v. het geselecteerde punt. Indien het hoogteverschil onder een bepaalde grens ligt vult het programma dat punt op en gaat het proces verder in dat punt. Indien het hoogteverschil te groot is, kijkt hij in de volgende richting. Als het hoogteverschil in alle richtingen te groot is keert hij terug naar het vorige punt. Het programma stopt als voor alle punten in alle richtingen het hoogteverschil te groot is.

Alle punten waar het programma langs komt, krijgen een bepaalde kleur. Zo ontstaat er een pad dat een weergave geeft van een kanaal. Om alle kanalen in beeld te krijgen, zal elk kanaal apart aangegeven moeten worden door de gebruiker, bijvoorbeeld door te klikken met de muis.

Een overzichtelijke samenvatting van deze methode kan in het blokschema gevonden worden in figuur 3.7.

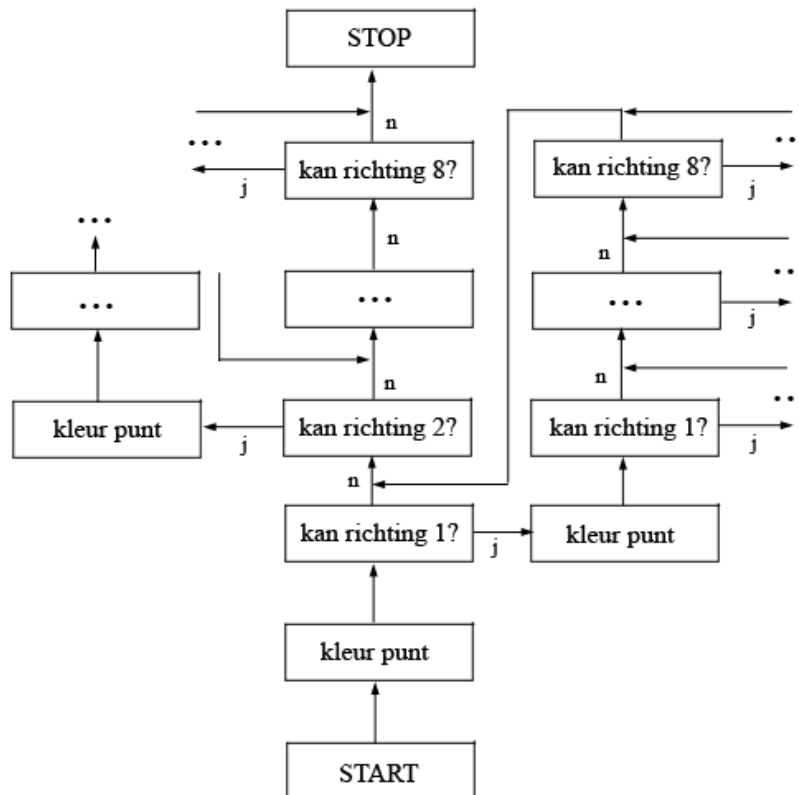
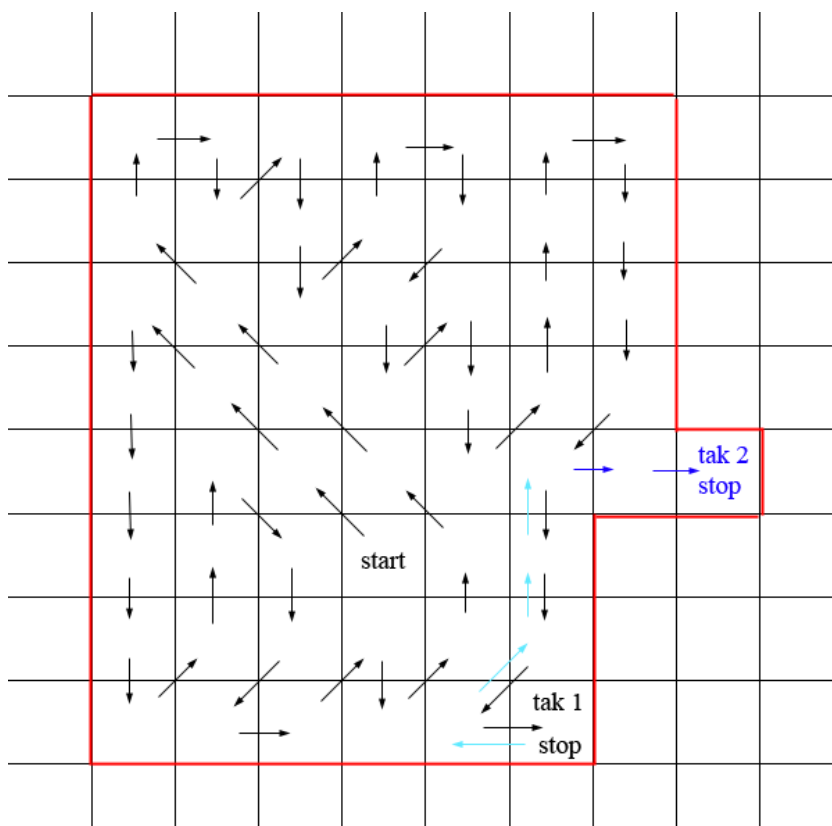


Figure 3.7 Blokschema bodemwandelaar

In figuur 3.8 staat een voorbeeld van een bodemwandelaar. Hij begint in 'start' en begint linksboven te kijken. Het hoogteverschil in deze richting is onder een bepaalde waarde, dus gaat hij verder kijken in dit punt. In dit punt en ook in het volgende punt is het hoogteverschil linksboven niet te groot en gaat deze verder. In het vierde punt is het hoogteverschil linksboven, links, linksonder en boven te groot (voor de exacte zoekvolgorde zie figuur 3.9). Naar onder toe is het hoogteverschil niet te groot en kan die weer verder. Op deze manier gaat het programma verder. Als het programma op een punt komt waar in alle richtingen het hoogteverschil te groot is, tak 1, keert deze terug naar het vorige punt (turkooizen pijltjes) en zoekt de eerstvolgende richting waar het hoogteverschil niet te groot is. Zo gaat het programma verder tot hij geen enkele richting meer uit kan.



Figuur 3.8 Voorbeeld bodemwandelaar

1	4	6
2		7
3	5	8

Figuur 3.9 Zoekvolgorde van de bodemwandelaar

3.5 De verschilmethode

Deze methode onderzoekt het hoogteverschil van een bepaald punt tussen twee bepaalde datasets. De methode gaat uit van twee datasets, waaruit hij voor elk punt de waarde van de diepte bepaalt. Vervolgens vergelijkt het programma deze twee waarden, waarna het verschil wordt uitgerekend.

Dit verschil krijgt een negatieve waarde als het punt in de tweede dataset dieper is dan in de eerste dataset. Is het punt ondieper, dan wordt het verschil positief.

Vervolgens wordt er een kaart gemaakt, waarbij een negatieve waarde de kleur rood krijgt en een positieve waarde de kleur groen. Dat zorgt ervoor dat de plekken die in de tweede dataset dieper zijn rood worden, en de plekken die ondieper zijn groen. Zie voor een voorbeeld figuur 7.2.

De grootte van het hoogteverschil heeft invloed op de intensiteit van de kleur. Een groter verschil zal een intensere kleur geven dan een klein verschil. Als een punt in de tweede dataset bijvoorbeeld veel dieper is, zal dit een intens rode kleur geven, terwijl bij een kleine toename van de diepte dit een erg donkerrode kleur op zal leveren.

4 Beschrijving van het programma

In dit hoofdstuk staan de relevante classes van het programma beschreven en de verbanden daartussen. Daarbij wordt de algemene werking van het programma in kaart gebracht. De tekst vereist enige kennis van de programmeertaal Java.

Hoofdclass van het programma is de class `DataManager`. Vanuit deze class worden alle andere classes aangestuurd, met uitzondering van `ReduceData`. Voor een algemeen overzicht van de werking van het programma is er een stappendiagram (figuur 4.1).

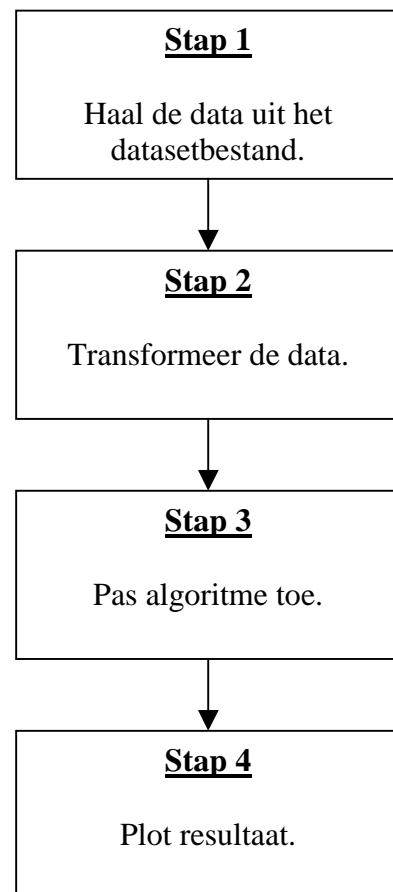
In stap 1 wordt de data van het datasetbestand ingelezen door de class `ReadFile`. Ingelezen data wordt ondergebracht in een tweedimensionale array van objecten van de `DataPoint` class.

In stap 2 wordt de data, zo nodig, getransformeerd. Hierdoor wordt het mogelijk verschillende datasets te vergelijken, aangezien deze niet dezelfde coördinaten gebruiken. Bij het plotten van data van één dataset is dit niet van toepassing. De transformatie wordt toegepast door de `shift` methode in de class `DataManager`.

In stap 3 wordt het gekozen algoritme toegepast. Deze algoritmes staan beschreven in hoofdstuk 3. Hieronder staat een beschrijving van welke methodes in welke classes zijn ondergebracht:

- Bepaling van de vaargeulen met behulp van diepte is ondergebracht in class `BoundValleyDet`.
- Bepaling van de vaargeulen met behulp van helling is ondergebracht in class `CanalDerivative`. Dit kan in de X-richting, de Y-richting, de X- en Y-richting gecombineerd, en met de blokmethode. Aan de hand van deze hellingen kunnen met de `FindCanals` class de geulen in kaart gebracht worden.
- Bepaling van de vaargeulen met behulp van de stroomrichting is ondergebracht in class `FlowDirection`.
- Bepaling van de vaargeulen met behulp van de bodemwandelaar is ondergebracht in class `RecValleyDet`.
- De verschilmethode wordt toegepast in class `Subtract`.

In de laatste stap worden de resultaten van de aangeroepen methodes/classes geplott in een `DrawingWindow`. De manier van plotten verschilt per class. `BoundValleyDet` en `RecValleyDet` gebruiken de class



Figuur 4.1 Stappendiagram van de werking van het programma (algemeen overzicht)

Visualize om in een bestaand `DrawingWindow` te plotten. `CanalDerivative` en `FlowDirection` maken hun eigen `DrawingWindow` aan. `FindCanals` en `Subtract` gebruiken de `Picture` class om meerdere plots in één `DrawingWindow` weer te geven.

Het programma maakt gebruik van de element package van Bailey & Bailey. Gratis te downloaden van:
<http://www.cs.williams.edu/~bailey/JavaElements/>

Naast de classes van het hoofdprogramma wordt ook nog een aparte class, `ReduceData`, afzonderlijk gebruikt om de dataset tot een bruikbare schaal te verkleinen. De resolutie wordt hierdoor lager, namelijk van 20m naar 40m.

Voor een gedetailleerde beschrijving van alle afzonderlijke componenten van de classes en de verbanden daartussen zie de programmacode in bijlage 3.

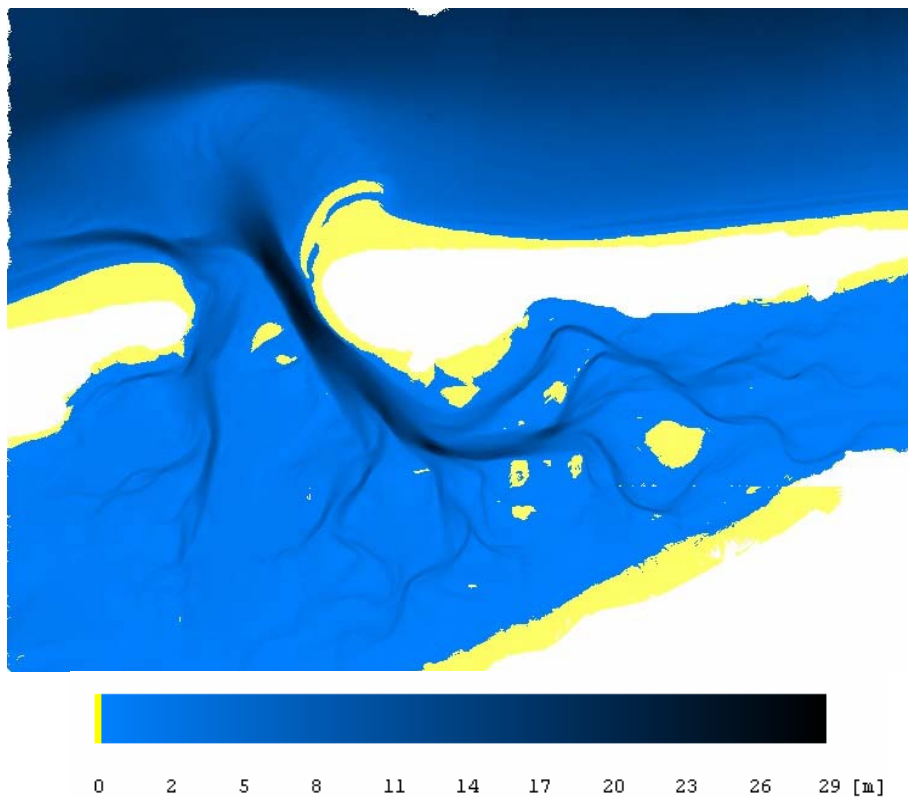
5 Resultaten van de vaargeulen berekend door het programma

Aangezien elke verschillende methode (beschreven in hoofdstuk 3) met telkens slechts een kleine aanpassing in het programma kan worden toegepast, zijn er van elke methode resultaten beschikbaar. Daarom zullen in dit hoofdstuk de resultaten worden weergegeven aan de hand van dezelfde hoofdstukstructuur als in hoofdstuk 3. De figuren in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op de dataset van 1989. Voor de figuren van de andere jaren, 1993 en 1999, wordt verwezen naar bijlage 2.

Dit hoofdstuk is als volgt opgebouwd. In paragraaf 5.1 worden de resultaten van de bepaling met behulp van diepte besproken, in paragraaf 5.2 de resultaten van de bepaling met behulp van de helling. Vervolgens worden in paragraaf 5.3 de resultaten van de bepaling met behulp van stroomrichting besproken en in 5.4 van de bepaling met behulp van de bodemwandelaar.

5.1 Bepaling met behulp van diepte

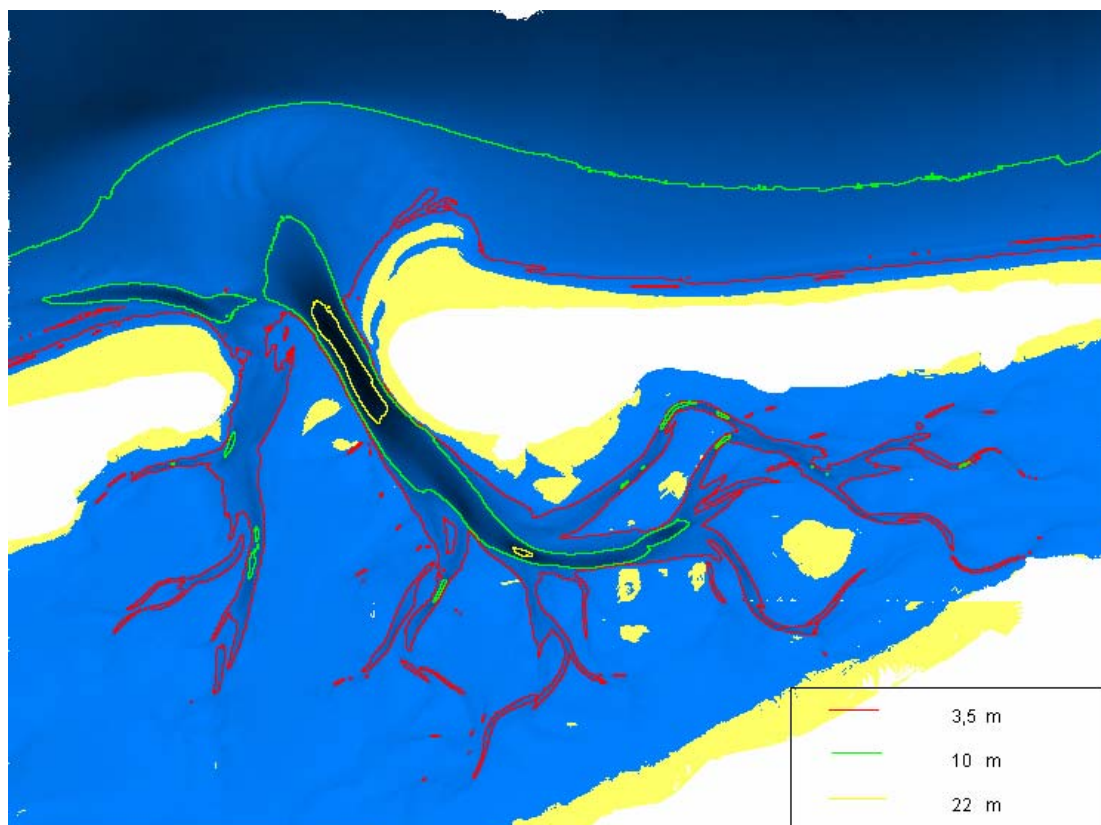
Zoals beschreven in paragraaf 3.1 is bij deze methode slechts gebruik gemaakt van de diepte. De diepte is omgezet in een contrastverdeling van de blauwe kleur; hoe dieper het op bepaalde plaatsen is, des te donkerder blauw die punten worden weergegeven. Waarden boven NAP zijn echter in het geel aangegeven. Het resultaat daarvan voor de dataset van 1989 is weergegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1 Diepte in 1989

Door het toevoegen van lijnen voor bepaalde dieptes wordt nog duidelijker gemaakt hoe diep het ongeveer is op een bepaalde plaats. Dit is in figuur 5.2 gedaan voor drie verschillende dieptes. De rode lijn is 3.5 m onder NAP, de groene 10 m onder NAP en de gele lijn is 22 m onder NAP.

In figuur 5.2 kan ook bemerkt worden dat er ruis optreedt in de vorm van kuilen in de zeebodem die toevallig dieper zijn dan 3.5 m. Deze kuilen worden onvermijdelijk weergegeven, maar dragen niet bij tot het detecteren van de vaargeulen.



Figuur 5.2 Diepte in 1989 met hoogtelijnen

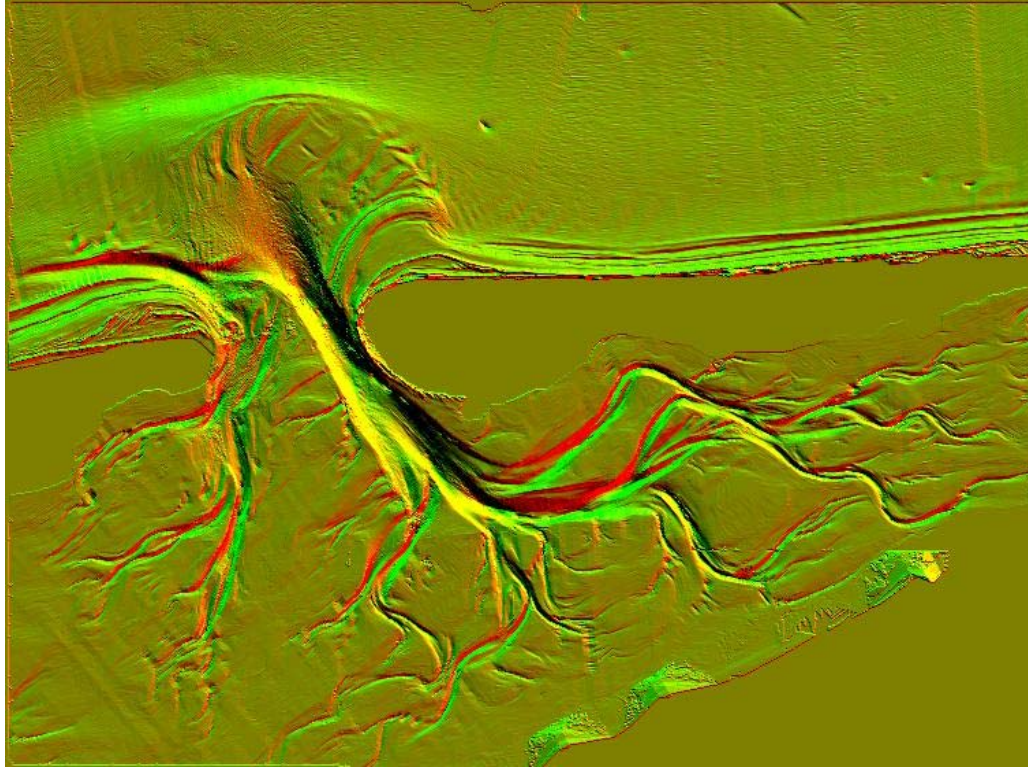
5.2 Bepaling met behulp van helling

In deze methode is gekeken naar de helling die de bodem heeft. Dat is gedaan door de gradiënt in x- en y-richting uit te rekenen van de bodem. Dit wordt vervolgens met behulp van verschillende kleuren samen weergegeven in één plaatje. De resultaten hiervan zijn te zien in figuur 5.3

De helling in x-richting is te zien in de kleur rood. Deze helling kan een negatieve en een positieve waarde hebben. De intensiteit van de kleur is afhankelijk van de waarde. De schaal voor de intensiteit loopt van negatief naar positief, zo dat de grootste negatieve waarde geen kleur heeft en de grootste positieve waarde de meest intense kleur rood.

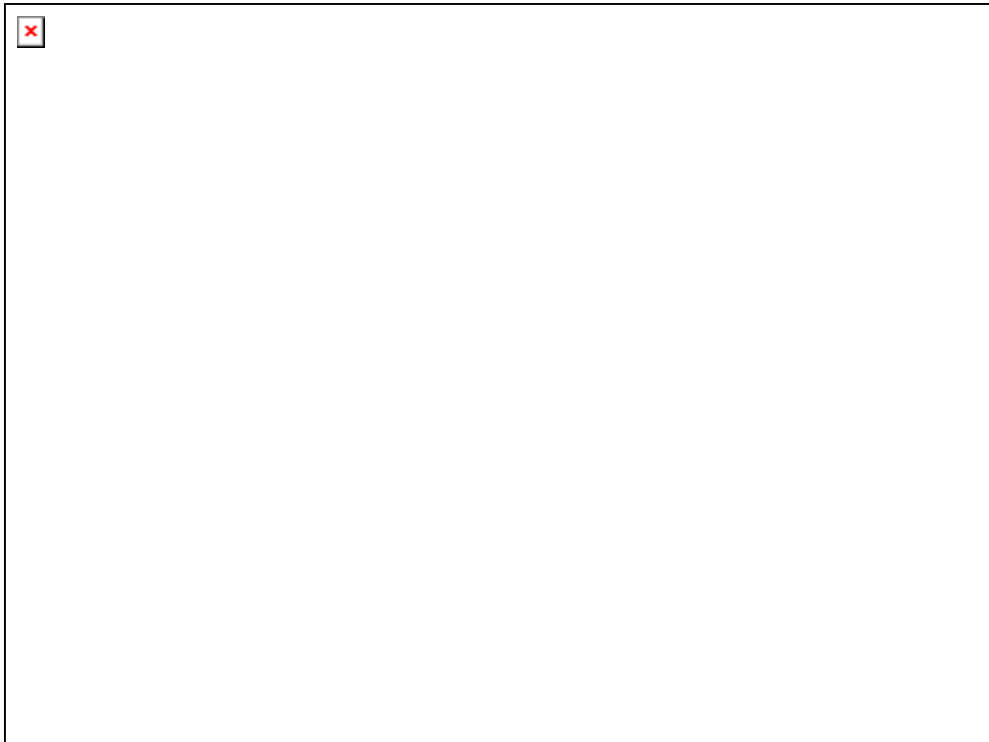
Voor de helling in y-richting is gekozen voor de kleur groen. De intensiteit van de kleur groen is op dezelfde manier opgebouwd als die intensiteit van rood voor de helling in x-richting.

In figuur 5.3 is ook veel geel te zien. Deze kleur ontstaat als een punt zowel een grote helling in x- als in y-richting heeft. Als dat zo is, worden de rode en groene kleuren gemengd en ontstaat zo de kleur geel.



Figuur 5.3 Helling in x- en y-richting in 1989

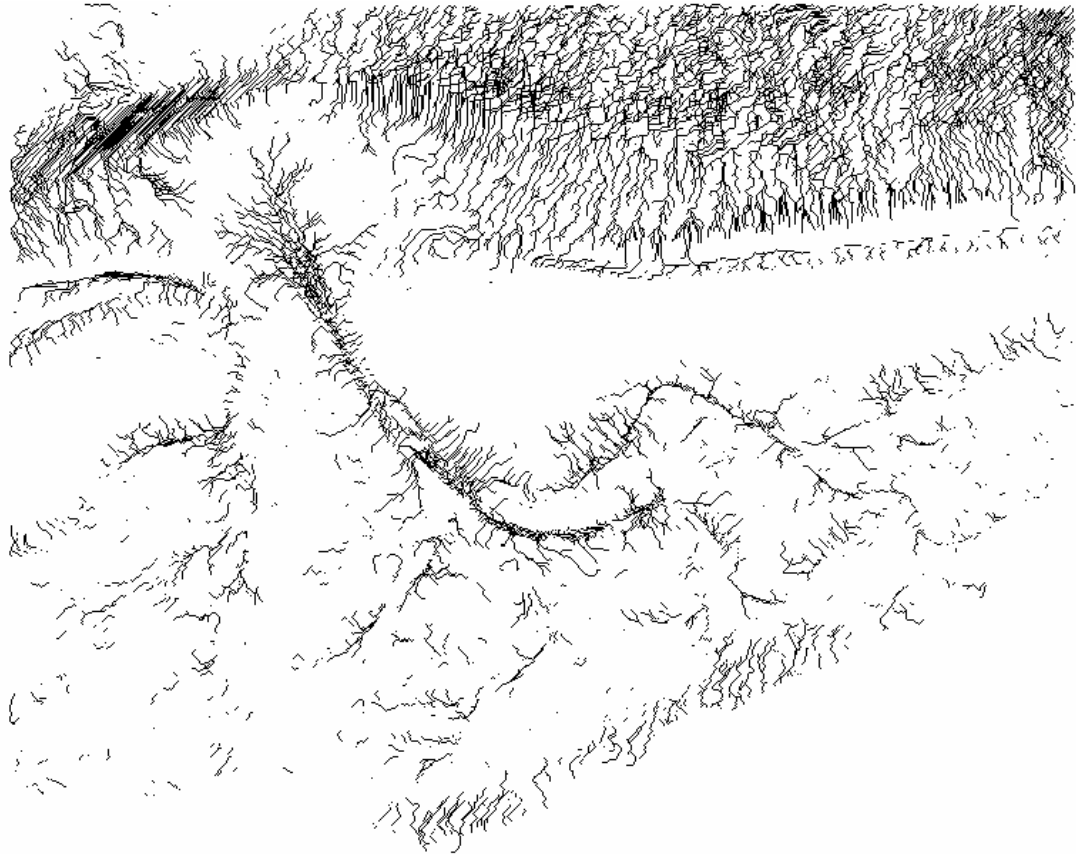
Indien vervolgens op elke overgang van een negatieve naar positieve helling een punt wordt gezet, ontstaan er lijnen waardoor de dalen van de vaargeulen zichtbaar worden. Het resultaat van 1989 wordt afgebeeld in figuur 5.4.



Figuur 5.4 Valleidetectie in 1989

5.3 Bepaling met behulp van stroomrichting

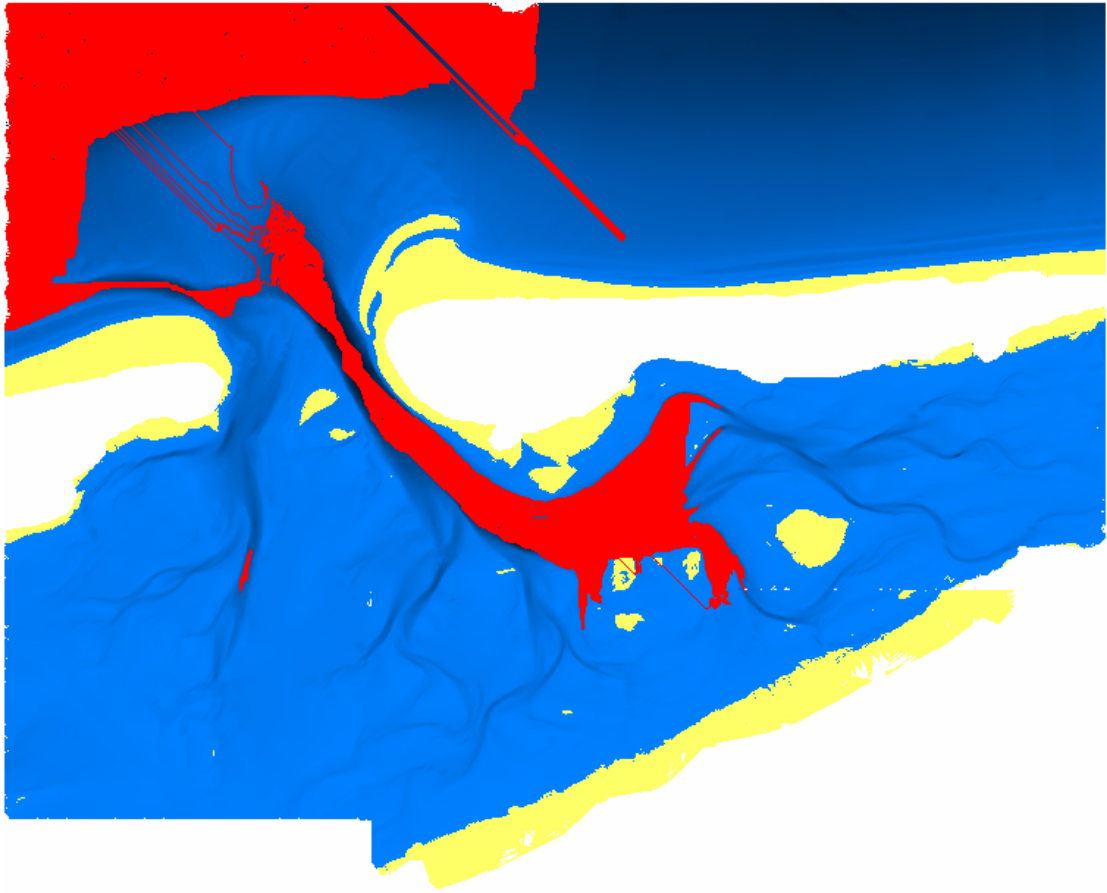
In figuur 5.5 is het resultaat te zien van de methode die gebruikt maakt van de stroomrichting van elk punt zoals beschreven in paragraaf 3.3. Er is gebruik gemaakt van een bepaalde drempelwaarde van de hoeveelheid water, die langs een bepaald punt stroomt. Zodra de drempelwaarde bereikt wordt, krijgt het punt de zwarte kleur. De kanalen zijn redelijk zichtbaar, maar er is veel ruis te zien, die zeer moeilijk weg te filteren is.



Figuur 5.5 Stroomrichtingen 1989

5.4 Bepaling met behulp van een bodemwandelaar

De methode die gebruik maakt van de bodemwandelaar is het minst geschikt voor het detecteren van vaargeulen. Dit is ook de reden waarom deze methode niet zo gedetailleerd is uitgewerkt in verhouding met de andere methodes. Hoofdstuk 6 geeft aan dat deze methode enkel nadelen heeft en welke deze zijn. In figuur 5.6 kan gezien worden hoe de bodemwandelaar niet alleen door de kanaaltjes 'wandelt', maar ook volledige vlakken opvult.



Figuur 5.6 Bodemwandelaar 1989

6 Toetsing van de methodes op de eisen

In hoofdstuk 3 zijn er vier methodes besproken om de plaats van een vaargeul te bepalen. Alle vier geven ze een beeld van de ligging van de kanaaltjes. De een is echter beter toepasbaar dan de ander. De voor- en nadelen van de verschilmethode worden echter niet besproken. Dit komt omdat deze methode een beeld geeft van de diepteverandering in de loop der jaren en niet de vaargeulen detecteert, ze is dus niet te vergelijken is met de andere methodes.

In paragraaf 6.1 volgt een aantal voor- en nadelen van de toegepaste methodes om de vaargeulen te detecteren. Vervolgens volgt in paragraaf 6.2 de afweging van deze voor- en nadelen.

6.1 Voor- en nadelen van de toegepaste methodes

➤ Bepaling met behulp van de diepte:

Voordelen:

- De minimale diepte van elke vaargeul is goed zichtbaar. Met een gegeven diepgang kan een schipper goed bepalen of zijn schip wel of niet door het kanaal kan varen.

Nadelen:

- Op een bepaald moment houdt de vaargeul op omdat de diepte van de vaargeul kleiner is dan de minimale waarde van de dieptelijn.
- Deuken in de zeebedding zorgen voor cirkelvormige dieptelijnen. Deze deuken voegen echter niets toe aan de kanaalstructuur en zijn moeilijk weg te filteren.

➤ Bepaling met behulp van hellingen:

Voordelen:

- Zeer nauwkeurige weergave van de positie van de vaargeulen. Hierdoor is een verandering van de positie van de vaargeulen in de loop der jaren ook goed zichtbaar.

Nadelen:

- Buiten de kanalen bevinden zich ook toppen en dalen, welke weggefilterd moeten worden.
- De diepte van de kanalen is minder goed zichtbaar.

➤ Bepaling met behulp van stroomrichtingen:

Voordelen:

- De stroomrichting van het water wordt zichtbaar, waardoor o.a. gezien kan worden hoe het water terugtrekt bij eb.

Nadelen:

- Niet handig voor het detecteren en vergelijken van vaargeulen, omdat de vaargeulen onnauwkeurig weergegeven worden.

➤ Bepaling met behulp van de bodemwandelaar:

Nadelen:

- Het programma beperkt zich niet tot de vaargeulen. Hij gaat alle richtingen uit en vult volledige vlakken op.

6.2 Afweging van de voor- en nadelen

In paragraaf 6.1 zijn een aantal voor- en nadelen van de vier methodes besproken. Aan de hand van deze voor- en nadelen zijn een aantal criteria gemaakt waar het programma aan zou moeten voldoen. Hier is gelet op de weergave van de vaargeulen, de weergave van de diepte van de kanalen en de ruisonderdrukking. Om te vergelijken hoe de verschillende methodes aan de criteria voldoen, worden ze naast elkaar in tabel 6.1 gezet. Er wordt één methode uitgekozen die de beste weergave geeft van de kanaaltjes. Deze wordt vervolgens gebruikt voor de weergave van het verschil tussen de jaren 1999 en 1989.

Tabel 6.1 Schematische weergave van de voor- en nadelen van de methodes

	weergave v/d vaargeulen (50%)	Weergave v/d diepte v/d kanalen (15%)	ruisonderdrukking (35%)
diepte	+/-	++	-
hellingen	++	+/-	+
stroomrichtingen	-	--	-
bodemwandelaar	--	-	--

De methode die gebruik maakt van de bodemwandelaar valt als eerste buiten beschouwing. Deze methode is het meest ongeschikt om de vaargeulen in kaart te brengen en scoort zeer slecht op ruisonderdrukking. Dit zijn de twee factoren die het zwaarst doorwegen. De bodemwandelaar scoort ook slecht op de weergave van de diepte van de kanalen.

De tweede methode die niet geschikt is, is de methode die gebruik maakt van de stroomrichtingen. Ze scoort iets minder slecht dan de bodemwandelaar op de weergave van de vaargeulen en ruisonderdrukking. De diepte van de kanalen kan ook niet afgeleid worden uit de resultaten.

Als er vervolgens naar de gemaakte afbeeldingen, die besproken zijn in hoofdstuk 5, van de twee resterende methodes wordt gekeken, wordt al snel duidelijk dat één methode duidelijk erboven uitsteekt. Dit is de methode die gebruik maakt van hellingen. De weergave van de vaargeulen is bij deze methode zeer nauwkeurig in verhouding met de methode die gebruik maakt van de diepte. Dit is o.a. te danken aan het feit dat met deze methode ruis relatief makkelijk is weg te filteren, waardoor alleen de echte kanaaltjes

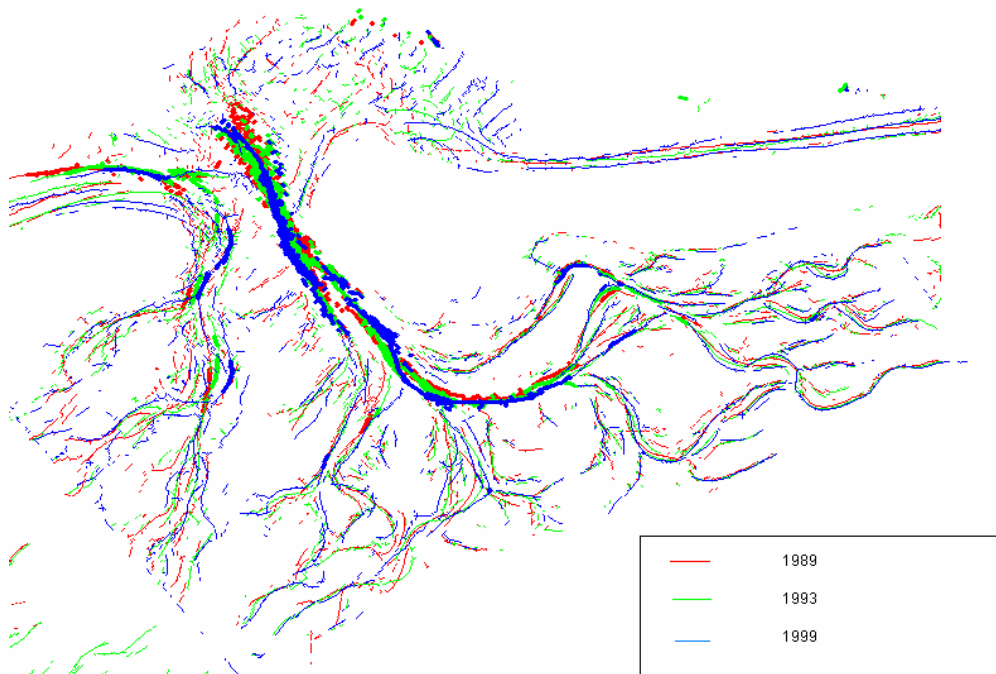
overblijven. De weergave van de diepte van de kanalen is minder goed dan bij de diepte-methode, maar deze factor is minder belangrijk.

7 Vergelijkingen tussen verschillende jaren

In dit hoofdstuk worden de meest geschikte methodes toegepast op data van 1989, 1993 en 1999. In paragraaf 7.1 wordt valleidetectie met behulp van de hellingmethode behandeld. In 7.2 worden de resultaten van de verschilmethode gepresenteerd.

7.1 De hellingmethode

De hellingmethode, die al eerder besproken is in paragraaf 5.2, wordt nu toegepast op data uit 1989, 1993 en 1999. In figuur 7.1 zijn alle drie de jaartallen op elkaar geplot. Er is rekening gehouden met de diepte door diepere kanalen dikker te plotten. Veranderingen zijn op deze manier goed zichtbaar. Zo kan de verandering in diepte en de verplaatsing van de kanalen in één oogopslag gezien worden.

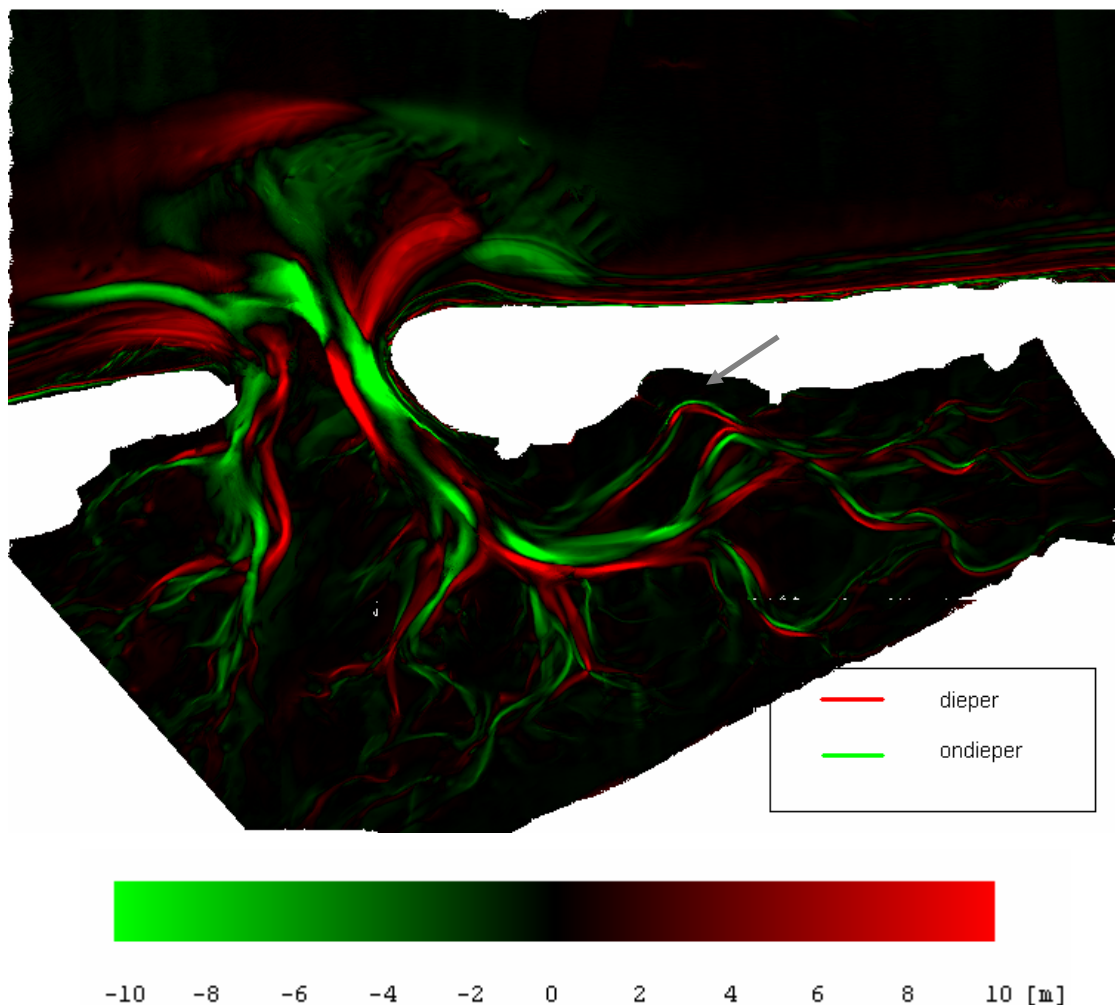


Figuur 7.1 Kanaaltjes weergegeven door hellingmethode

7.2 De verschilmethode

Bij deze methode is de intensiteit van de kleur aangepast aan de mate van verandering. Als de verandering tussen de twee datasets nul of dichtbij nul is, is dat in het plaatje, zie figuur 7.2, te herkennen aan de zwarte gebieden. Hoe groter het hoogteverschil is, des te intenser is de kleur weergegeven. Hierbij staat rood voor een grotere diepte in 1999 en groen voor een gedeelte wat ondieper was in 1999.

In figuur 7.2 is duidelijk te zien hoe de bochten dieper worden aan de buitenkant en ondieper aan de binnenkant. Dit geldt bijna voor alle bochten, behalve voor de bocht, aangewezen door het grijze pijltje. Een reden hiervoor zou kunnen zijn dat er zich lokaal een harder bodemmateriaal bevindt.



Figuur 7.2 hoogteverschil tussen 1989 en 1999

8 Conclusies & Aanbevelingen

De beste methode om dieptegegevens van de Waddenzee van afgelopen jaren automatisch te verwerken is de methode met behulp van hellingen. Uit afweging, besproken in hoofdstuk 6, is gebleken dat de dieptemethode en de hellingmethode er beide goed uitkwamen. De hellingmethode scoorde ten opzichte van de dieptemethode beter op de punten "weergave van de vaargeulen" en "ruisonderdrukking". De dieptemethode scoorde echter beter op "weergave van de diepte van de kanalen". Uiteindelijk is toch gekozen voor de hellingmethode, omdat de factoren "weergave van de vaargeulen" en "ruisonderdrukking" belangrijker zijn, dan de "weergave van de diepte van de kanalen".

Om betere resultaten te verkrijgen verdient het de aanbeveling ervoor te zorgen dat de datasets, waarmee gewerkt moet worden, allemaal van hetzelfde coördinatensysteem gebruik maken. De metingen zouden bijvoorbeeld allen gebaseerd kunnen worden op het geografisch coördinatensysteem. Hierdoor hoeven de datasets, wanneer ze met elkaar vergeleken worden, niet meer precies op elkaar gepast te worden, omdat ze door eenzelfde coördinatensysteem al precies op elkaar passen. Dit scheelt dus een flinke hoeveelheid werk. Ook verbetert de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van het programma aanzienlijk.

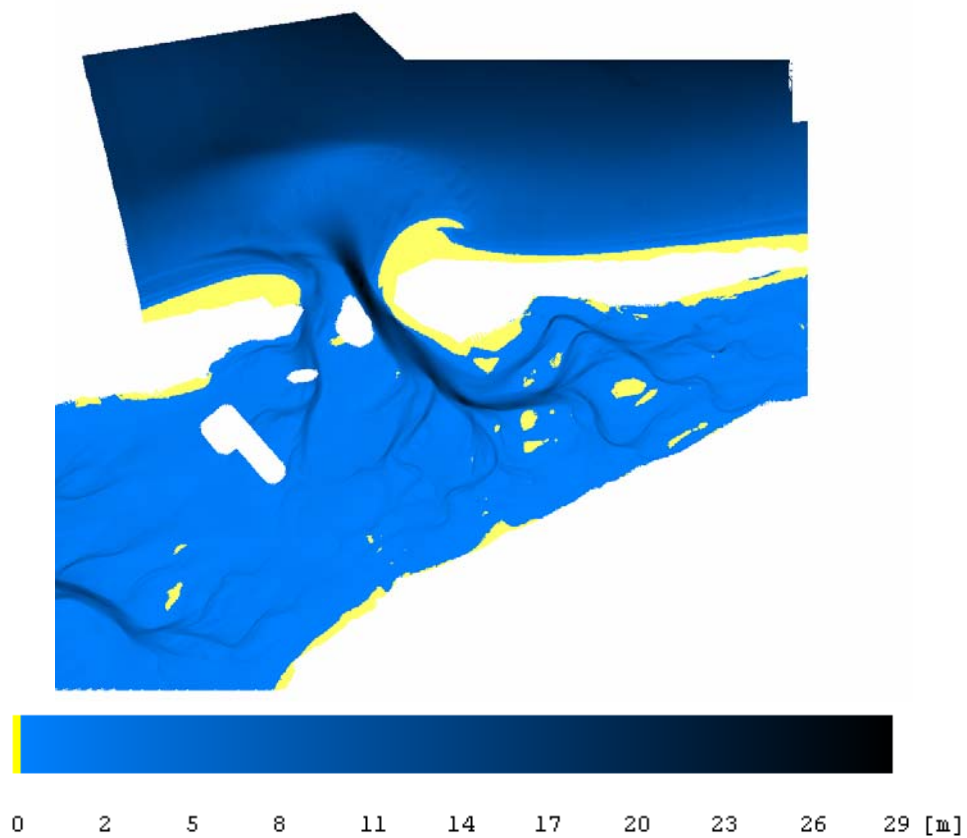
Literatuurlijst

- Goodchild, M., *Lecture 14 - Digital elevation models*. 24 februari 2005. <http://www.geog.ucsb.edu/~good/176b/a13.html>
- Soille, P., en C. Gratin, 'An efficient algorithm for drainage network extraction on DEMs'. *Journal of visual communication and image representation*, Vol. 5, No. 2, June 1994, p. 181-189.

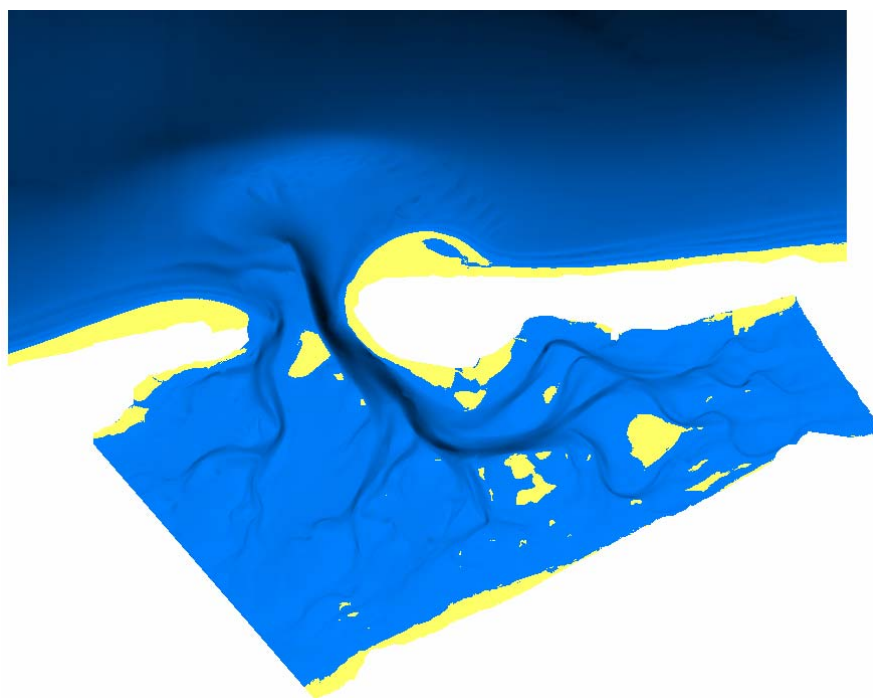
Bijlage 1 Gedeelte van een dataset (1989)

<u><i>x-coördinaat</i></u>	<u><i>y-coördinaat</i></u>	<u><i>diepte(m)</i></u>
172220.00	603720.00	2.93
172240.00	603720.00	2.97
172260.00	603720.00	3.26
172280.00	603720.00	3.60
172300.00	603720.00	4.34
172320.00	603720.00	5.33
172340.00	603720.00	6.45
172360.00	603720.00	7.07
172380.00	603720.00	8.65
172400.00	603720.00	9.72
172420.00	603720.00	10.09
172440.00	603720.00	11.15
172460.00	603720.00	12.56
172480.00	603720.00	13.52
172500.00	603720.00	14.20
172520.00	603720.00	15.16
172540.00	603720.00	15.63
172560.00	603720.00	16.06
172580.00	603720.00	16.62
172600.00	603720.00	17.18
172620.00	603720.00	17.50
172640.00	603720.00	17.70
172660.00	603720.00	17.87
172680.00	603720.00	18.10
172700.00	603720.00	18.16
172720.00	603720.00	18.08
172740.00	603720.00	17.90
172760.00	603720.00	17.71
172780.00	603720.00	17.57
172800.00	603720.00	17.43
172820.00	603720.00	17.06
172840.00	603720.00	16.75
172860.00	603720.00	16.55
172880.00	603720.00	16.13
172900.00	603720.00	15.78
172920.00	603720.00	15.29
172940.00	603720.00	14.86
172960.00	603720.00	14.24
172980.00	603720.00	13.75
173000.00	603720.00	13.37
173020.00	603720.00	13.22
173040.00	603720.00	13.15
173060.00	603720.00	13.07
173080.00	603720.00	12.68
173100.00	603720.00	12.54
173120.00	603720.00	11.48
173140.00	603720.00	11.16
173160.00	603720.00	11.04
173180.00	603720.00	10.59

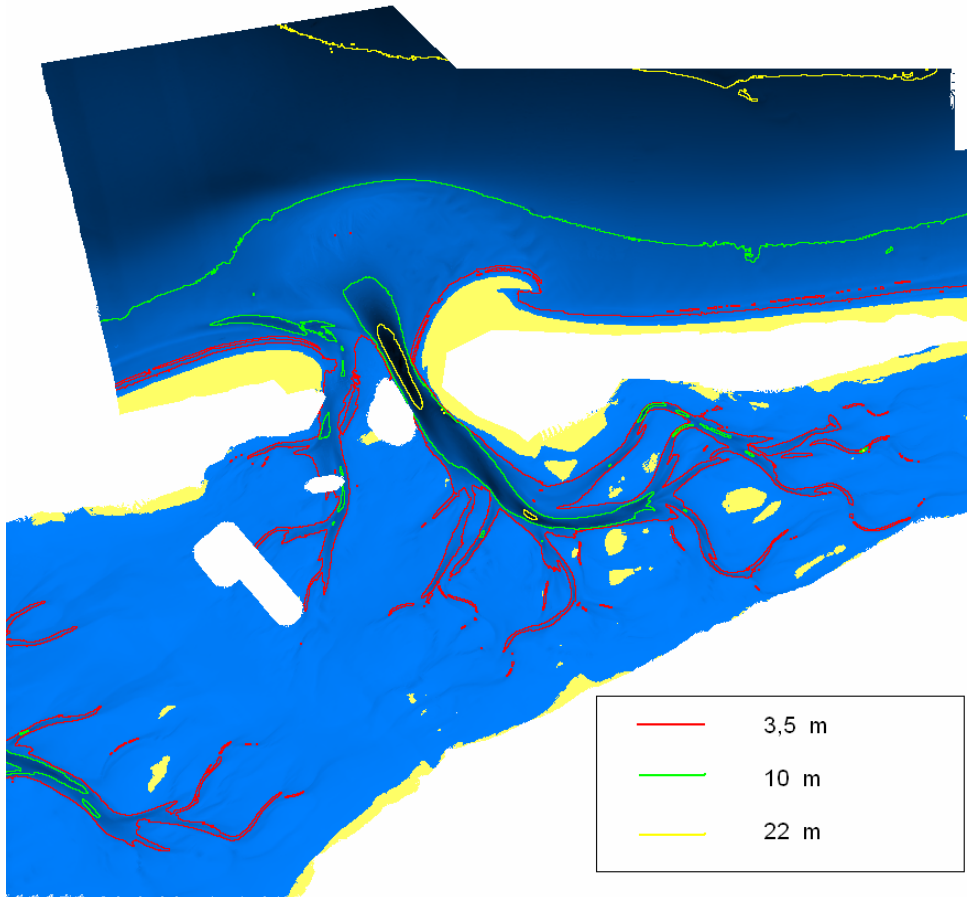
Bijlage 2 Resultaten 1989, 1993 en 1999



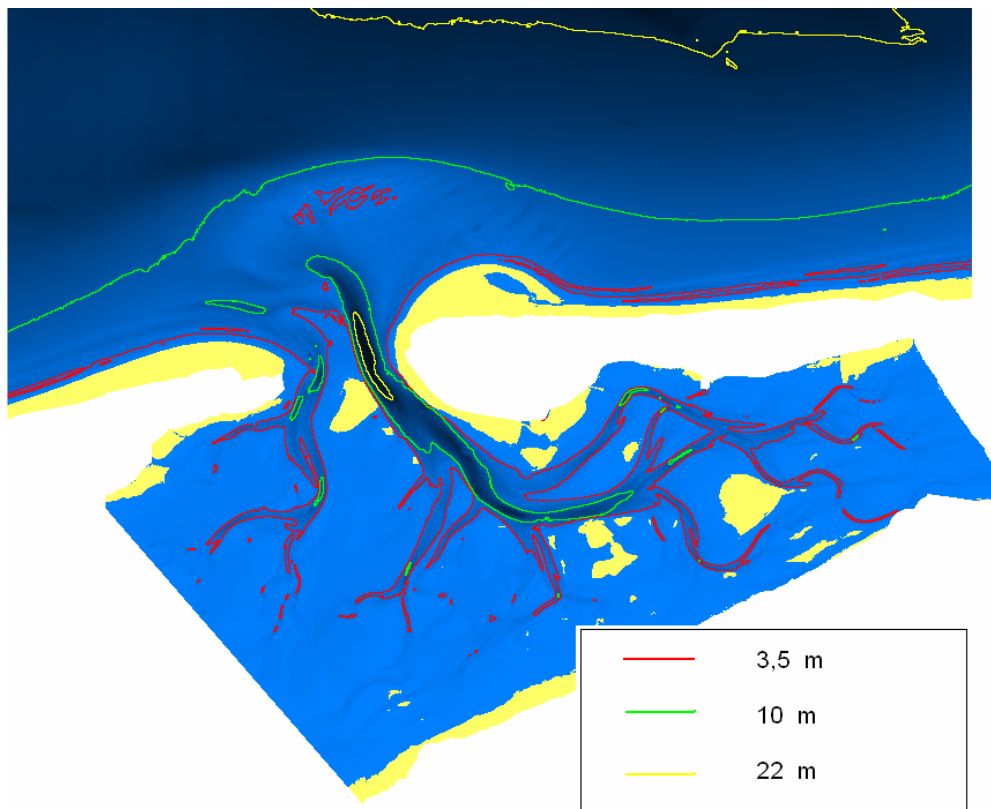
Figuur II-1 Diepte in 1993



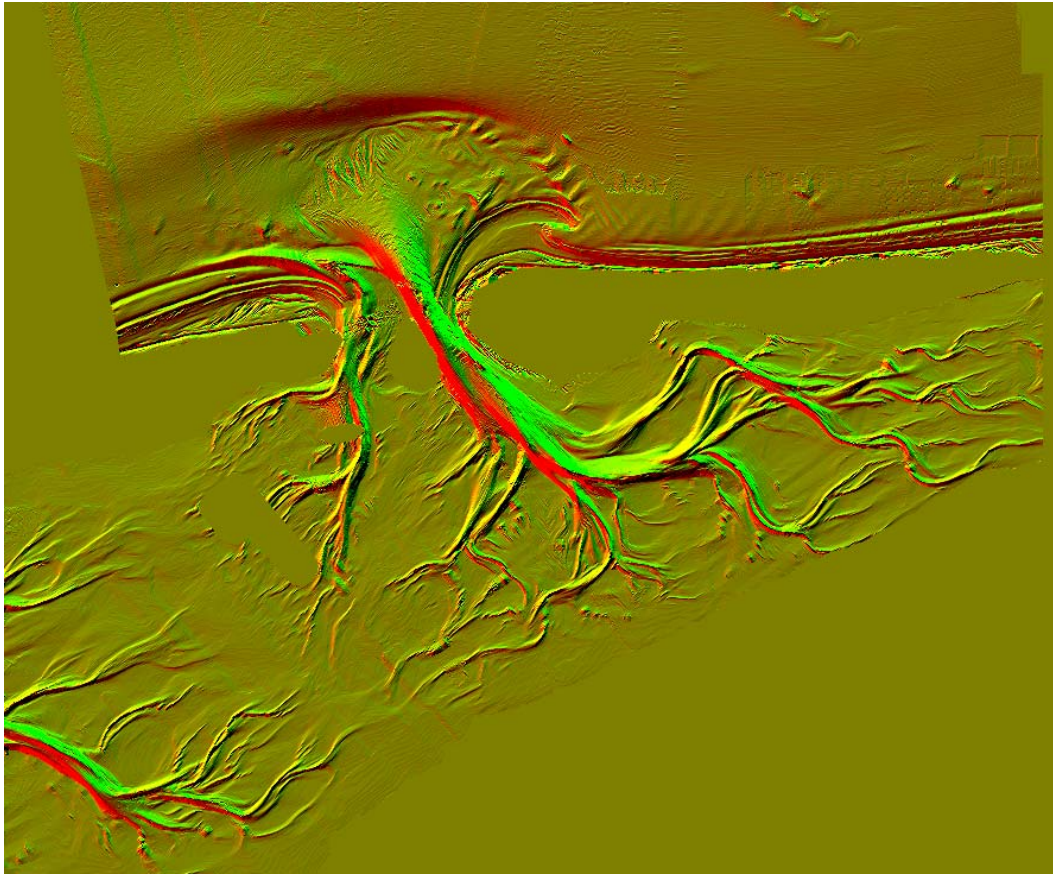
Figuur II-2 Diepte in 1999



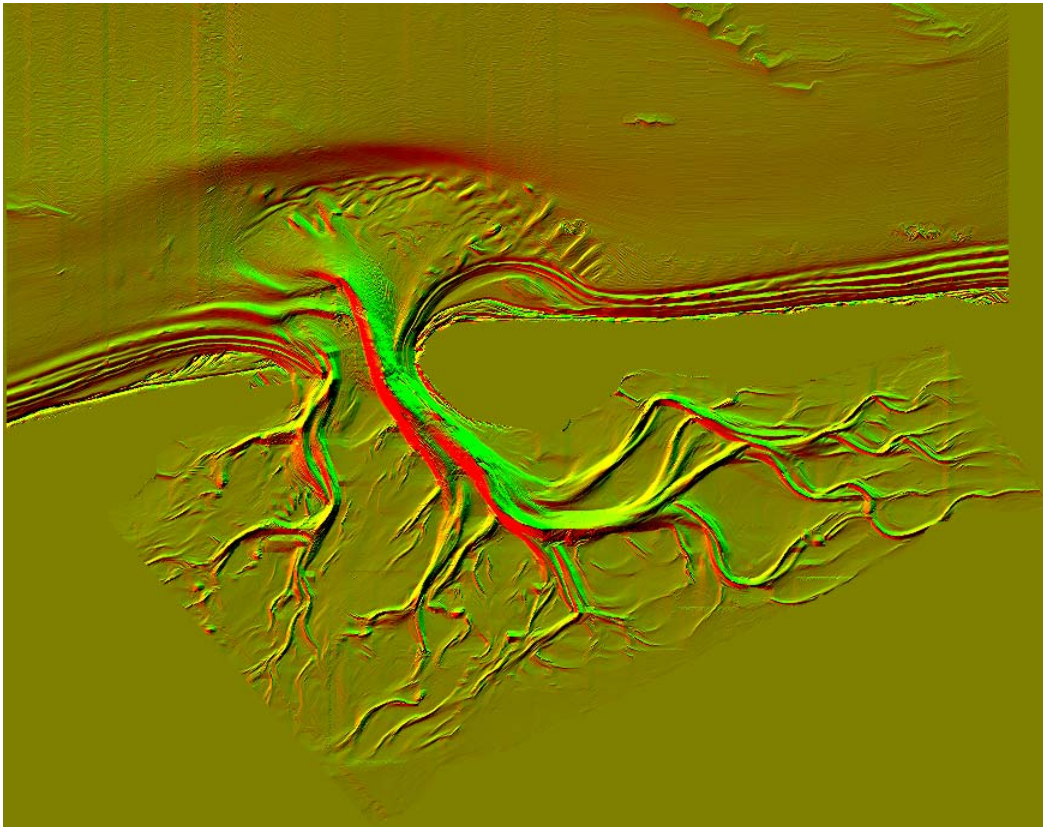
Figuur II-3 Diepte in 1993 met hoogtelijnen



Figuur II-4 Diepte in 1999 met hoogtelijnen



Figuur II-5 Helling in x- en y-richting in 1993



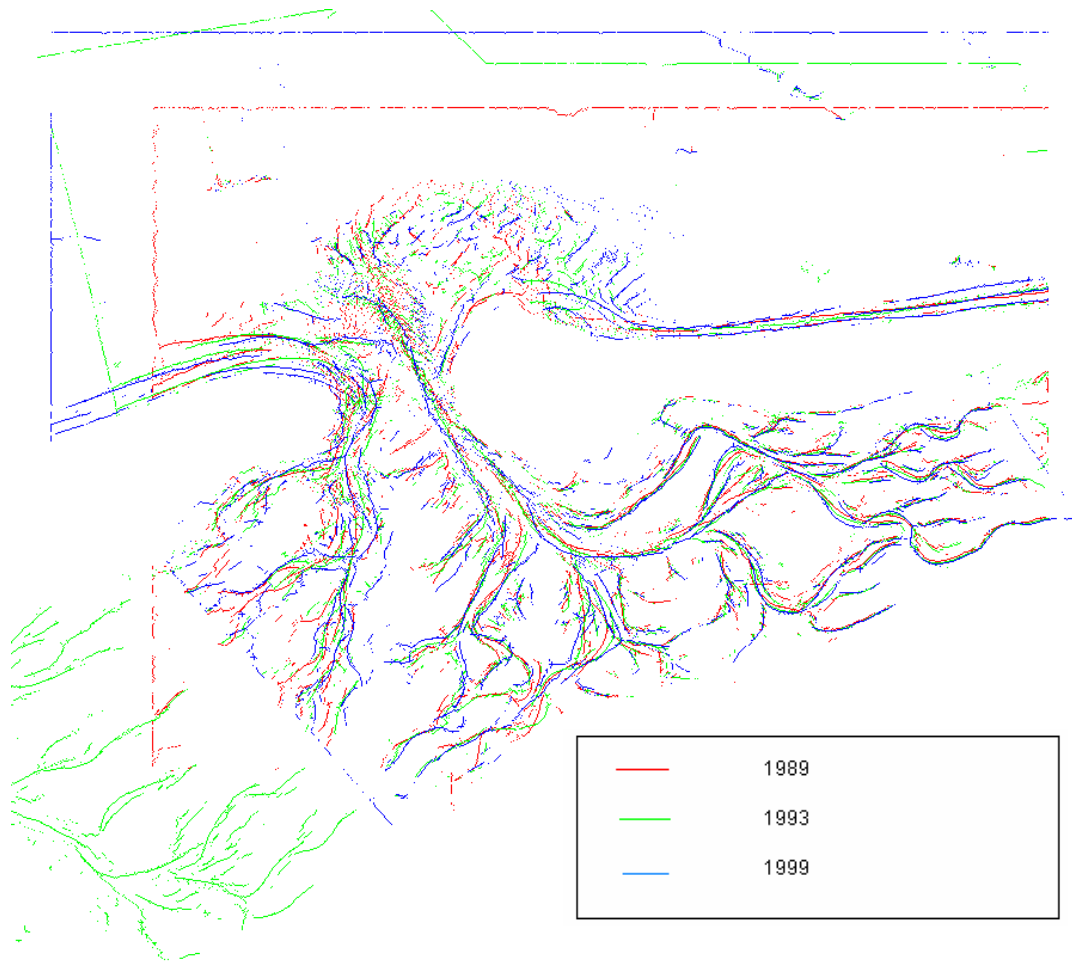
Figuur II-6 Helling in x- en y-richting in 1999



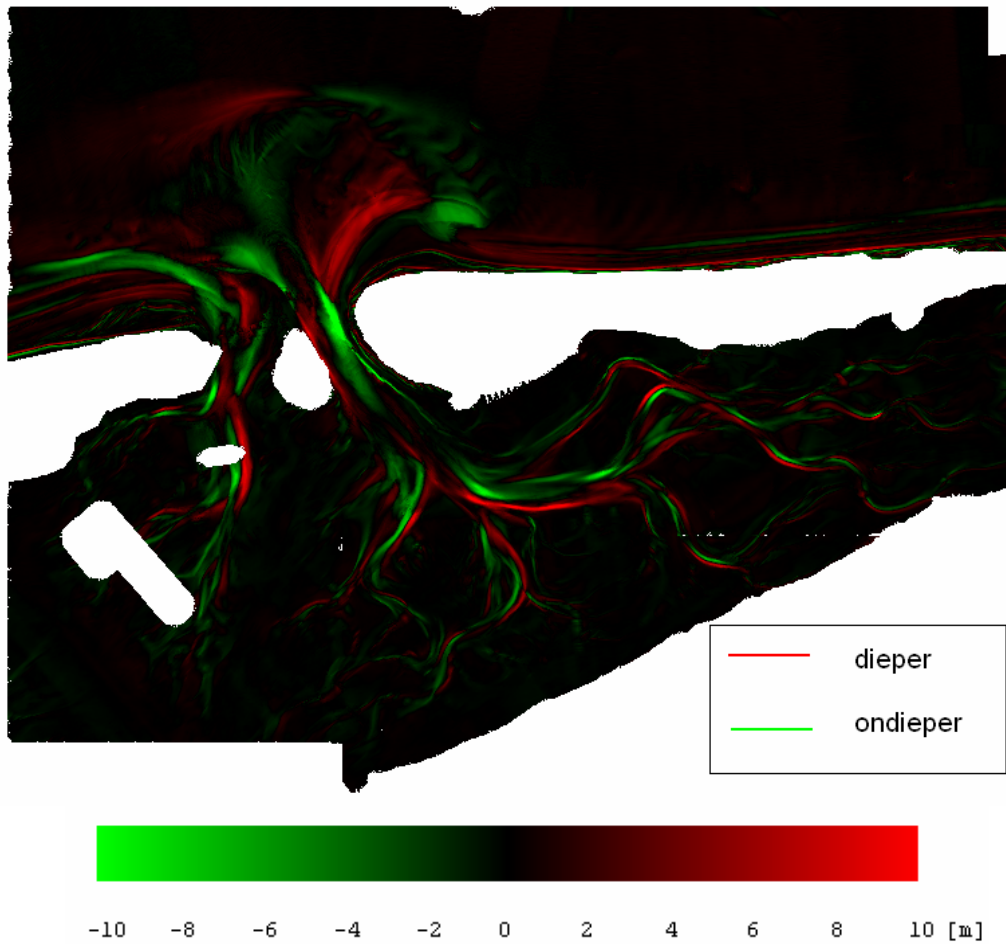
Figuur II-7 Stroomrichtingen 1993



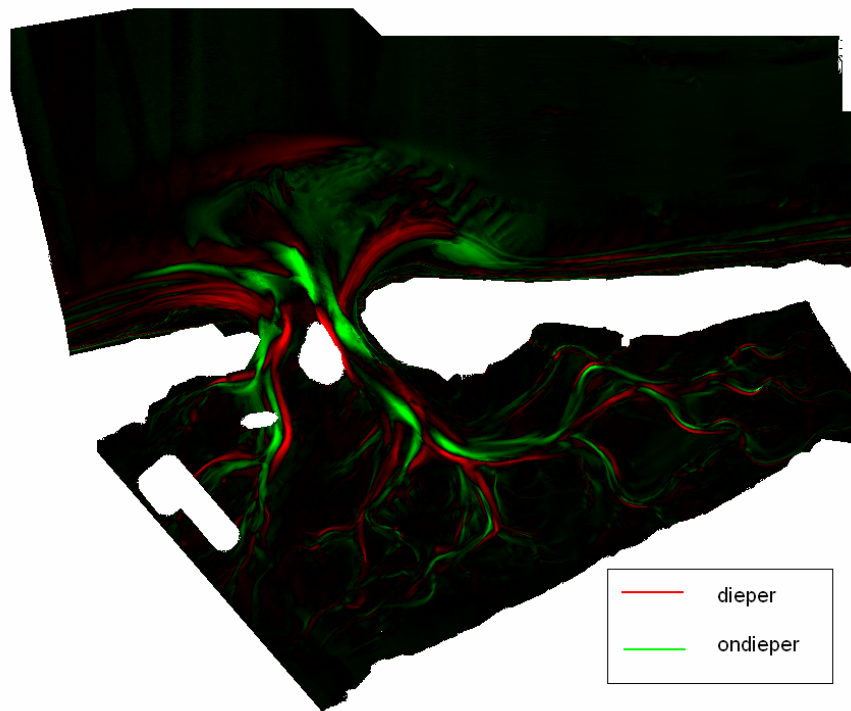
Figuur II-8 Stroomrichtingen 1999



Figuur II-9 Valleidetectede voor 1989, 1993 en 1999



Figuur II-10 Hoogteverschil tussen 1989 en 1993



Figuur II-11 Hoogteverschil tussen 1993 en 1999

Bijlage 3 De programmacode

Zie bijgesloten Cd-rom.