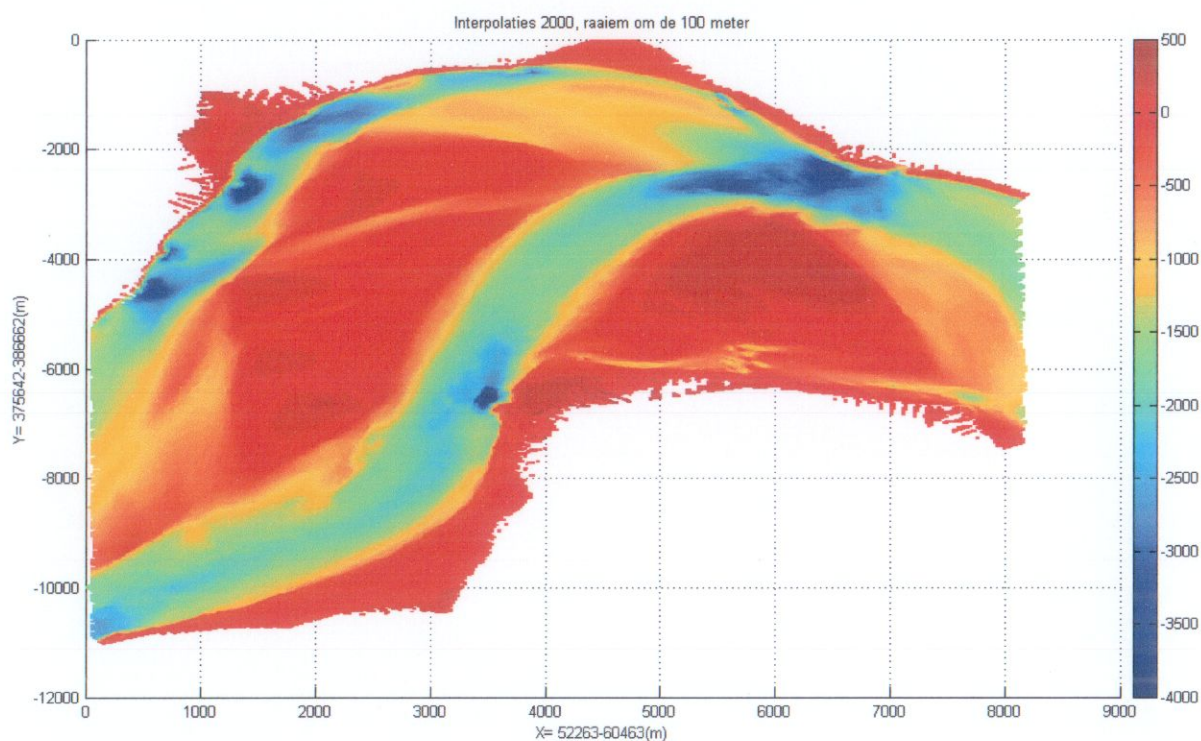




Adviesbureau Modelling en Optimalisatie

Statistische optimalisatie van de vaklodingen van Vak 3 in de Westerschelde



In opdracht van RIKZ

E.C.J. van der Meulen (AMO)
P.F. Heinen (RIKZ)

30 november 2001

AMO
Tel. 074-2503301

Deldenerstraat 81
Email: beheer@amo-nl.com

7551 AC Hengelo
Internet: <http://www.amo-nl.com>

Samenvatting

In het kader van de Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL) wordt door RIKZ het monitoringprogramma Ligging Kust en Zeebodem uitgevoerd. Dit meetprogramma heeft als doel de veranderingen van de kustligging en de ontwikkelingen van de morfologie van de zeebodem in beeld te brengen. De metingen zijn te verdelen in de kustmetingen en de vaklodingen.

Regelmatig worden de monitoringprogramma's geëvalueerd. Op dit moment wordt gewerkt aan de evaluatie van de fysische meetprogramma's. In het kader van deze evaluatie worden de vaklodingen statistisch geanalyseerd. De vraagstelling is het optimaliseren in tijd en/of ruimte van het meetprogramma. Voor de ontwikkeling van de methode en inzicht in de bruikbaarheid van de statistische analyse is vak 3 in de Westerschelde gebruikt. Voor dit onderzoek zijn de jaarlijkse gegevens van 1991 t/m 2000 beschikbaar. Het gaat om de gebiedsdekkende rasters van 20 bij 20 meter. De punten (dieptewaarden) uit dit raster worden in dit rapport aangeduid als gridwaarden.

Voor het uitvoeren van het statistisch onderzoek zijn correlatie-analyses toegepast en het informatieverlies is geschat door het simuleren van het verlagen van de meetfrequentie. Het informatieverlies is daarbij gedefinieerd als de variantie van de schattingsfout gedeeld door de variantie van het te schatten signaal, de dieptewaarden.

Voor het bepalen van de correlaties in de ruimte worden naast elkaar gelegen cellen met verschillende celgroottes met elkaar vergeleken. Een cel bestaat daarbij uit een aantal gridwaarden. Duidelijke positieve kruiscorrelaties zijn er bij celgroottes van 100 bij 100 t/m 500 bij 500 meter. Bij een celgrootte van 1000 bij 1000 meter is de gemiddelde kruiscorrelatie bijna nul geworden.

Uit de autocorrelaties van de tijdreeksen van de dieptewaarden blijkt dat de autocorrelaties erg groot zijn in het midden van het gebied en aan de randen klein. De grootste veranderingen in de tijd blijken dus aan de rand van het gebied te zijn. Aan de rand van het gebied zijn ook de geulen.

Voor het jaar 2000 is het informatieverlies in de ruimte bepaald, waarbij de gevaren raaien om de 100, 200, 300 en 400 meter zijn. Het informatieverlies betreft het schatten van de gridwaarden, waarbij de raaien om de 100 meter zijn gevaren. Bij een celgrootte van 1000 bij 1000 meter is het informatieverlies bij raaien om de 200 meter 0.02%, bij raaien om de 300 meter 0.08% en bij raaien om de 400 meter 0.18%.

Voor het bepalen van het informatieverlies in de tijd worden de gemiddelde gridwaarden van een cel van een jaar geschat door interpolatie uit de gridwaarden van dezelfde cel uit andere jaren. In onderstaande tabel is het gemiddelde informatieverlies en het gemiddelde van de schattingsfouten van alle jaren gegeven voor verschillende simulaties van de meetfrequentie. De celgrootte is 1000 bij 1000 meter.

Tabel 1: gemiddelde informatieverlies (%) en gemiddelde schattingsfouten (cm) bij verschillende meetfrequentie

Meetfrequentie	2	3	4	5	6
Informatieverlies	0.33	0.40	0.50	0.61	0.71
Schattingsfout	5.43	9.68	12.05	13.82	14.86

Zowel het informatieverlies als de gemiddelde schattingsfouten worden groter naarmate de meetfrequentie kleiner wordt. Het informatieverlies blijkt dus groter te zijn bij een halvering van de meetfrequentie in de tijd dan bij een halvering van de meetfrequentie in de ruimte.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	De verwerking van de data.....	6
3	Reproductie de resultaten van het TNO-onderzoek	8
4	Correlatie-analyses	9
4.1	Correlaties in de ruimte.....	9
4.2	Correlaties in de tijd	11
5	Informatieverlies in de ruimte en de tijd	13
5.1	Informatieverlies in de ruimte voor 2000.....	13
5.2	Informatieverlies in de tijd	15
6	Conclusies	18
7	Bijlage	21
7.1	Definities van RMS en standaard deviatie.....	21
7.2	Definities van correlatiecoëfficiënt en informatieverlies	21
7.3	Informatieverlies in 1991 – 2000	22
7.4	Informatieverlies in de tijd	24

1 Inleiding

In het kader van de Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL) wordt door RIKZ het monitoringprogramma Ligging Kust en Zeebodem uitgevoerd. Dit meetprogramma heeft als doel de veranderingen van de kustligging en de ontwikkelingen van de morfologie van de zeebodem in beeld te brengen. De metingen zijn te verdelen in de kustmetingen en de vaklodingen.

Regelmatig worden de monitoringprogramma's geëvalueerd. Op dit moment wordt gewerkt aan de evaluatie van de fysische meetprogramma's. In het kader van deze evaluatie worden de vaklodingen statistisch geanalyseerd. De vraagstelling is het optimaliseren in tijd en/of ruimte van het meetprogramma. Voor de ontwikkeling van de methode en inzicht in de bruikbaarheid van de statistische analyse is vak 3 in de Westerschelde gebruikt. Voor dit onderzoek zijn de jaarlijkse gegevens van 1991 t/m 2000 beschikbaar. Het gaat om de gebiedsdekkende rasters van 20 bij 20 meter. De punten (dieptewaarden) uit dit raster worden in dit rapport aangeduid als gridwaarden.

De gridwaarden zijn geïnterpoleerde waarden van het gebied gegenereerd met het interpolatieprogramma Digipol (TNO). Door de ruimtelijke interpolatie kunnen in elk punt van het gebied diepteverschillen bepaald worden en de dynamiek in de ruimte en de tijd zichtbaar gemaakt worden. De ruimtelijke dynamiek wordt in beeld gebracht door grotere dan de gebruikelijke raaiafstanden te simuleren en de geïnterpoleerde waarden met elkaar te vergelijken.

Op de dieptemetingen wordt correlatie-analyse toegepast. Dit geeft inzicht in de mate van lineaire afhankelijkheid tussen de metingen. Vervolgens wordt het informatieverlies geschat als het meetprogramma in de tijd en ruimte wordt uitgedund. Op basis van de correlatie-analyse en het informatieverlies kunnen uitspraken worden gedaan over de meetfrequentie in de tijd en de ruimte.

Voor de uitvoering van de opdracht is het Matlab-programma vak3 ontwikkeld. Het programma geeft inzicht in de resultaten van de correlatie-analyses en informatieverlies door het geven van grafische presentaties. De software is dusdanig gebruiksvriendelijk gemaakt, dat onderzoekers bij RIKZ gemakkelijk inzicht krijgen in de resultaten en zelf grafische presentaties kunnen maken.

Het onderzoek bestaat uit vier onderdelen welke in vier hoofdstukken zijn uitgewerkt. In hoofdstuk 2 worden de meetgegevens verwerkt en een eerste analyse wordt gemaakt op basis van grafische presentaties van de metingen. In hoofdstuk 3 worden de verschilkaarten van het TNO-onderzoek gereproduceerd. In hoofdstuk 4 zijn correlatie-analyses in de tijd en de ruimte uitgevoerd. In hoofdstuk 5 wordt het informatieverlies berekend in de tijd en de ruimte. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies en aanbevelingen gegeven. In de Bijlage worden tenslotte nog enkele grafieken en tabellen met resultaten gegeven.

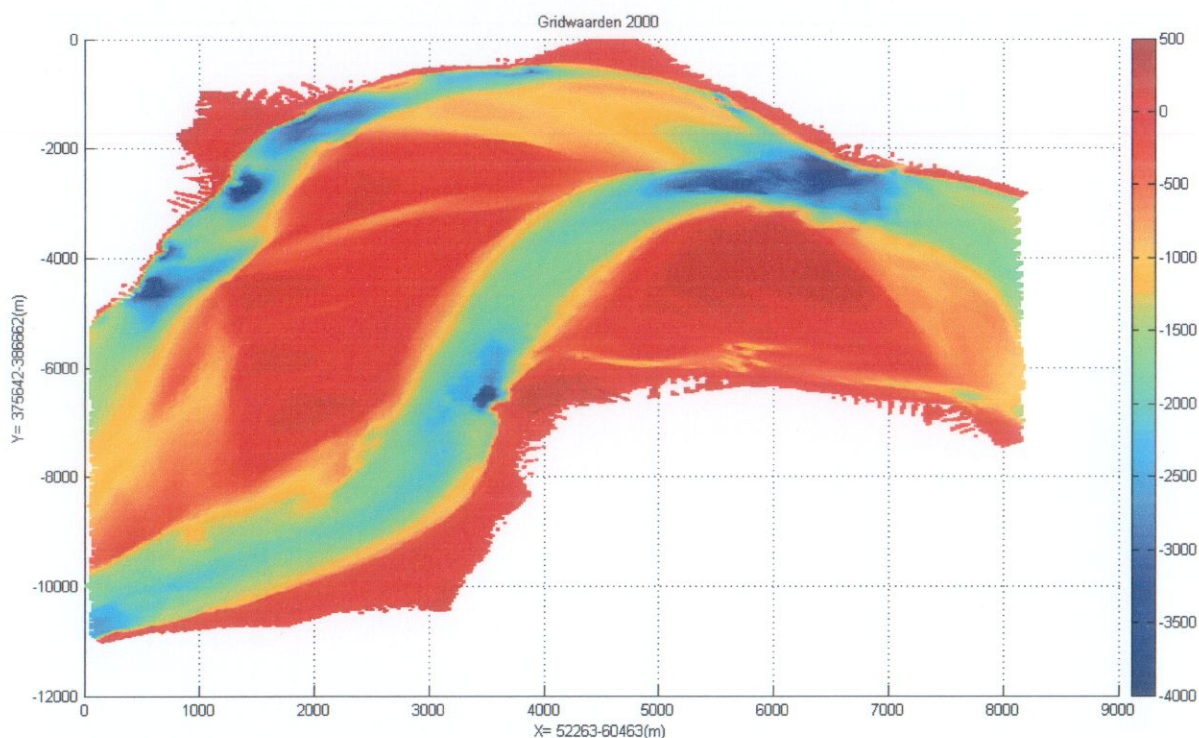
2 De verwerking van de data

Door RIKZ is op een CD-rom de data geleverd betreffende vak3 van de Westerschelde van 1991 t/m 2000. Geleverd zijn:

- De geïnterpoleerde dieptewaarden in de bestanden *.int van 1991 t/m 1999 op basis van meetgegevens van raaien om de 100 meter. De interpolaties zijn uitgevoerd met het programma Digipol.
- De geïnterpoleerde dieptewaarden in de bestanden vak3_1.int, vak3_2.int, vak3_3.int en vak4_1.int van 2000 op basis van meetgegevens van raaien om de 100, 200, 300 en 400 meter

In bovenstaande bestanden zijn de geïnterpoleerde gegevens gegeven van dit gebied. De gegevens betreffen gebiedsdekkende informatie op een raster van 20 bij 20 meter. Alle bovenstaande bestanden bestaan dus uit matrices van 411 bij 552 waarden.

Vak3 betreft het gebied [52263:60477,375642:386675] (in meters). In figuur 1 is een presentatie van het gebied gegeven. In de figuur zijn de x- en y coördinaten van het gebied gegeven. De kleurenbalk geeft de koppeling van de kleur met de dieptes in centimeters.



Figuur 1: de dieptes van de gridwaarden in 2000, waarbij raaien om de 100 meter zijn gevaren

In figuur 1 zijn duidelijke de ondiepe en de diepe en de ondiepe plekken zichtbaar. De dieptes variëren van 500 tot -4000 cm. De gridwaarden zijn berekend door interpolatie uit de meetgegevens van raaien om de 100 meter gevaren.

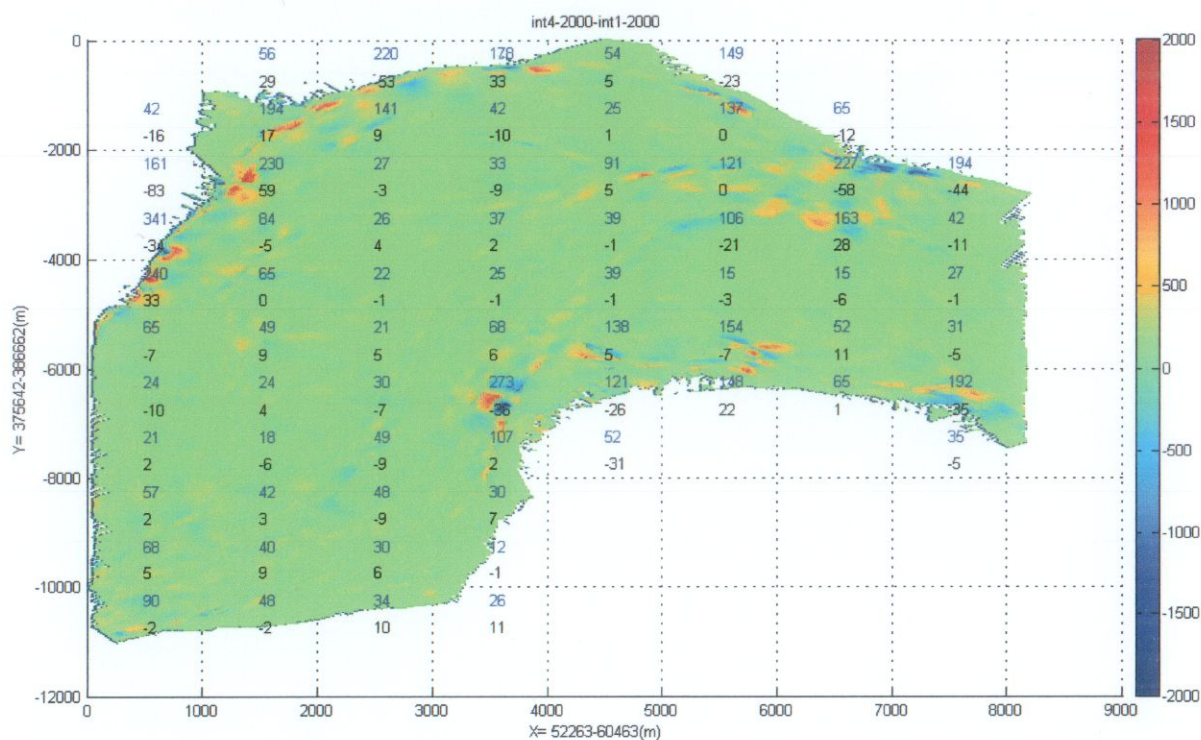
Het inlezen van de bestanden is uitgevoerd in Matlab. Het formaat van alle bovengenoemde bestanden is hetzelfde. Het uitvoeren van bewerkingen zoals verschillen, gemiddelde kwadratische verschillen, standaard deviaties en correlaties zijn goed uit te voeren.

3 Reproductie de resultaten van het TNO-onderzoek

Door TNO zijn een aantal grafische presentaties/dieptekaarten gegeven met daarin de waarden voor de gemiddelde verschillen en de gemiddelde kwadratische verschillen (RMS). In Matlab zijn de resultaten van het TNO-onderzoek gereproduceerd.

De gemiddelde verschillen zijn gereproduceerd. De RMS-waarden uit het TNO-onderzoek konden niet gereproduceerd worden. De gegeven RMS-waarden kwamen wel exact overeen met de berekende standaard deviaties, de gemiddelde kwadratische verschillen gecorrigeerd voor het gemiddelde. De definities van de RMS en de standaard deviatie van de verschillen zijn gegeven in Bijlage 7.1. De gegeven waarden in het TNO-onderzoek blijken afrondingen te zijn naar het getal het dichtst bij nul.

In onderstaande grafiek is een grafische presentatie gegeven van de resultaten voor de berekende gemiddelde verschillen en de standaard deviaties. De waarden betreffen een cel van 1000 bij 1000 meter. In elke cel is de bovengelige waarde de standaard deviatie (blauw) en de ondergelegen waarde in de cel de gemiddelde waarde (zwart). Als voorbeeld is genomen de verschillen tussen de gridwaarden van 100 en 400 meter raaien in 2000. De kleuren in de figuur zijn een maat voor de diepteverschillen. De eenheid in de figuur is cm.



Figuur 2: verschillen in 2000 tussen de interpolaties met raaien om de 400 meter en 100 meter

Door figuur 2 te vergelijken met figuur 1 van hoofdstuk 2 blijkt dat de grootste verschillen zijn aan de randen van het gebied en langs de geulen. Al zitten de meeste verschillen rond nul de maximale verschillen zijn -2000 en 2000 cm.

4 Correlatie-analyses

In dit hoofdstuk zijn de correlaties berekend van de interpolaties in de ruimte en in de tijd. Het toepassen van correlatie-analyses geeft een indicatie voor de mate van lineaire afhankelijkheid tussen de meetreeksen in de ruimte en in de tijd. Grote correlaties kunnen aanleiding geven tot het verlagen van de meetfrequentie. Kleine correlaties kunnen aanleiding geven tot het verhogen van de meetfrequentie. In de Bijlage 7.2 is de definitie voor de correlatiecoëfficiënt gegeven.

Een correlatiecoëfficiënt is indicatief voor de optimalisatie van de meetfrequentie. Hoe groter de correlatie hoe kleiner het informatieverlies bij het verkleinen van de meetfrequentie in de tijd en in de ruimte. Voor de rasters met dieptewaarden betekent een hoge correlatie dat de dieptewaarden sterk met elkaar gerelateerd zijn. In de ruimte betekent dit dat dieptewaarden van een cel goed uit naast gelegen cellen te schatten zijn. In de tijd betekent dit dat dezelfde cel bemeten op een ander tijdstip (in dit geval een jaar) veel informatie bevat om een goede schatting te geven. Het informatieverlies is dan relatief klein als één van cellen niet meer bemeten zou worden.

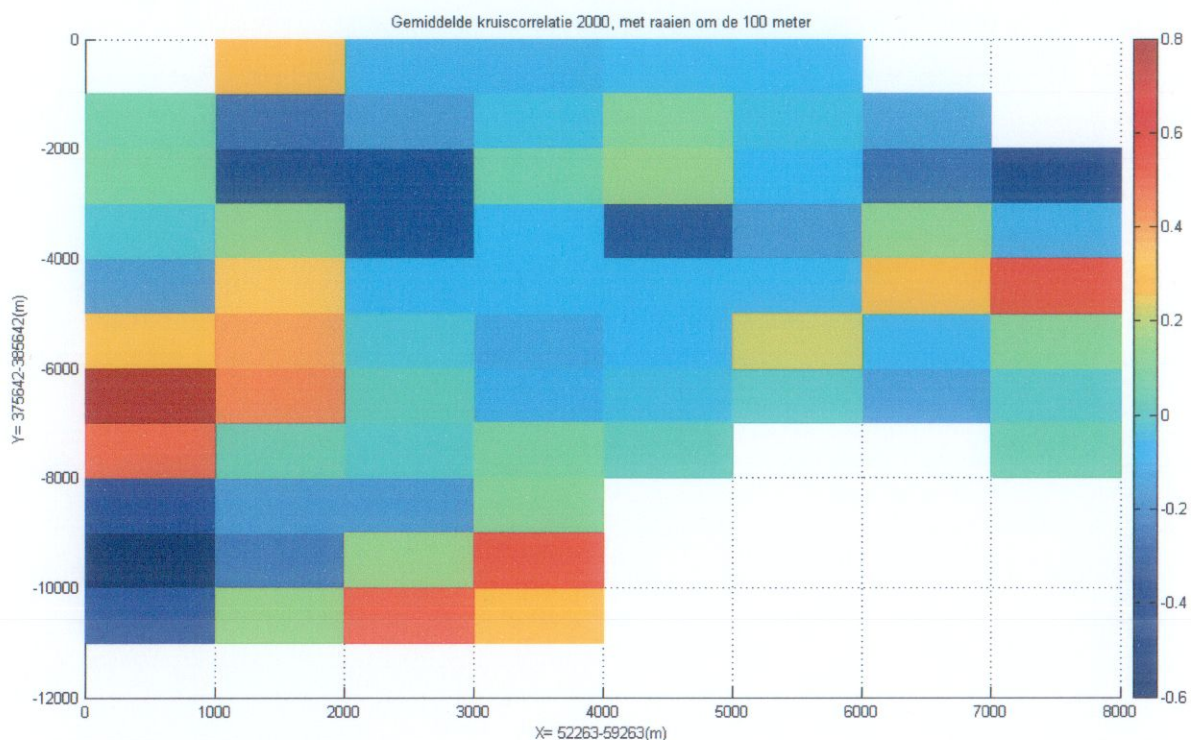
In paragraaf 4.1 zijn de correlaties-analyses gegeven in de ruimte en in paragraaf 4.2 zijn de correlaties-analyses gegeven in de tijd.

4.1 Correlaties in de ruimte

Voor het bepalen van de correlatiefuncties in de ruimte worden naast elkaar gelegen cellen met elkaar vergeleken. De kruiscorrelatie geeft informatie over de veranderlijkheid in het gebied. De correlatiefuncties in de ruimte zijn een maat voor welke cellen in de ruimte vergelijkbaar zijn afhankelijk van de celgrootte en de verschillende gebieden. De correlatie-analyse is daarmee indicatief voor de optimalisatie van de meetfrequentie in de ruimte.

Berekend worden de kruiscorrelaties van de dieptewaarden per cel voor verschillende celgroottes. De gemiddelde kruiscorrelatie wordt bepaald van een cel met zijn (maximaal vier) naast elkaar gelegen cellen, door gridwaarden met elkaar te vergelijken. In figuur 3 is de grafische presentatie gegeven van de berekende kruiscorrelatie van het jaar 2000 bij een celgrootte van 1000 bij 1000 meter. Omdat de gridwaarden betrekking hebben op een rastergrootte van 20 bij 20 meter, zitten er in een cel van 1000 bij 1000 meter 2500 dieptewaarden.

In figuur 3 zijn de kruiscorrelaties gegeven van jaar 2000. De kleurenbalk geeft de koppeling van de kleur met de kruiscorrelatiecoëfficiënt. De kruiscorrelaties liggen tussen – 0.6 en 0.8. De grootste kruiscorrelaties in absolute zin (rood en blauw) worden gevonden aan de rand van het gebied en bij de geulen. Hier zijn ook de veranderingen in de dieptes het grootst. Bij de groene en licht blauwe cellen zijn de kruiscorrelaties in absolute zin het



Figuur 3: gemiddelde kruiscorrelatie tussen cellen van 1000 bij 1000 meter

kleinst. Deze cellen zijn het moeilijkst te schatten uit de naast gelegen cellen. Deze cellen komen minder in aanmerking om minder te bemeten dan de overige cellen. In de cellen aan de randen van het gebied is ook het aantal metingen voor het bepalen van de gemiddelde kruiscorrelatie het kleinst en daarmee de onnauwkeurigheid het grootst. Op basis van de kruiscorrelaties van figuur 3 van de 1000 bij 1000 cellen zijn er geen conclusies te geven betreffende de minimalisatie van de meetfrequentie in de ruimte. Een goede meetstrategie zou zijn het gebied onder te verdelen in deelgebieden en de meetfrequentie te laten afhangen van kwaliteiten van de cellen in een deelgebied.

In tabel 2 zijn de gemiddelde kruiscorrelaties gegeven voor de verschillende jaren bij verschillende celgroottes. Elke waarde in de tabel is het gemiddelde over het hele gebied van alle gemiddelde kruiscorrelaties van de cellen, zoals gegeven in figuur 3, bij een bepaalde celgrootte en een bepaald jaar. De celgrootte is 100 bij 100, 200 bij 200, .. en 1300 bij 1300 meter. In de linker kolom zijn de namen gegeven van de databestanden int-1991.. int4-2000. In de bestanden int-<jaartal> zijn de geïnterpoleerde waarden gegeven van dat jaar. In de bestanden int<1,2,3 en 4>-2000 zijn de geïnterpoleerde waarden gegeven op basis van meetgegevens van raaien om de 100, 200, 300 en 400 meter.

Tabel 2: kruiscorrelaties voor 1991- 2000 bij verschillende celgrootte

Celgrootte Jaar	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	0.56	0.43	0.32	0.19	0.06	-0.05	-0.09
int-1992	0.54	0.42	0.33	0.19	0.07	-0.03	-0.09
int-1993	0.52	0.42	0.32	0.19	0.08	-0.02	-0.08

Celgrootte Jaar	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1994	0.56	0.45	0.34	0.20	0.08	-0.02	-0.08
int-1995	0.54	0.44	0.34	0.20	0.08	-0.00	-0.08
int-1996	0.54	0.42	0.33	0.21	0.10	0.02	-0.07
int-1997	0.54	0.40	0.29	0.19	0.09	0.01	-0.04
int-1998	0.54	0.41	0.32	0.22	0.10	0.02	-0.07
int-1999	0.55	0.43	0.33	0.23	0.10	0.03	-0.07
int1-2000	0.56	0.44	0.35	0.24	0.10	0.03	-0.07
int2-2000	0.57	0.45	0.36	0.25	0.11	0.04	-0.07
int3-2000	0.57	0.45	0.37	0.25	0.11	0.04	-0.07
int4-2000	0.56	0.45	0.36	0.25	0.12	0.04	-0.07

Uit tabel 2 blijkt duidelijk hoe afhankelijk van de celgrootte de gemiddelde kruiscorrelatie tussen naast elkaar gelegen cellen afneemt. Duidelijke positieve kruiscorrelaties zijn er bij van celgroottes van 100 bij 100 t/m 500 bij 500 meter. Zoals figuur 3 al aangeeft blijkt dat bij een celgrootte van 1000 bij 1000 meter de gemiddelde kruiscorrelatie bijna nul is geworden.

4.2 Correlaties in de tijd

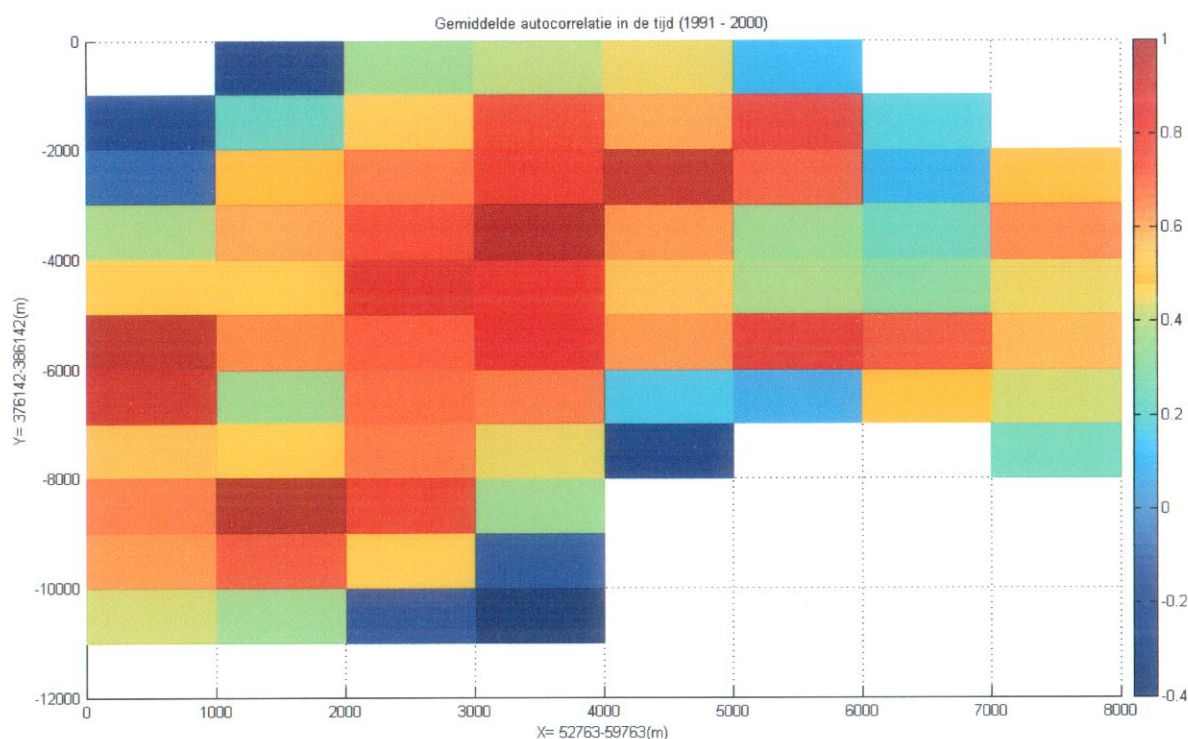
De correlatiefuncties in de tijd geven een indruk voor de vergelijkbaarheid van dezelfde cel in de tijd. Een grote autocorrelatie betekent dat opeenvolgende dieptemetingen in de tijd sterk lineair met elkaar gerelateerd zijn. De autocorrelatie-analyse is daarmee indicatief voor de optimalisatie van de meetfrequentie in de tijd.



Figuur 4: tijdreeksen van 1991 – 2000 van de cellen rond x-positie 58763

In figuur 4 zijn een aantal tijdreeksen gegeven van gemiddelde dieptes van een aantal cellen. De celgrootte is 1000 bij 1000 meter. Voor het bepalen van de autocorrelatiefuncties in de tijd worden voor elk rasterpunt (20 bij 20 meter), de gridwaarden, tijdreeksen bepaald. Omdat er alleen gegevens zijn van 1991 t/m 2000, bestaan de tijdreeksen uit 10 gridwaarden. De gridwaarden zijn bepaald door interpolatie op basis van de dieptegegevens van raaien om de 100 meter. De rode grafieken geven het 95% betrouwbaarheidsinterval rond het gemiddelde berekend op basis van de gridwaarden in de cel. De blauwe grafieken geven de minimale en maximale dieptes in de cel. In figuur 4 is te zien hoe de gemiddelde diepte, de minimale en de maximale diepte is veranderd gedurende 1991-2000. Uit figuur 4 blijkt uit de 95% betrouwbaarheidsintervallen rond de gemiddelde diepte, de minima en de maxima van een cel, dat binnen een cel de gridwaarden sterk in waarde kunnen variëren. De tijdreeksen van figuur 4 betreffen de tweede kolom van rechts in figuur 5.

Van alle vergelijkbare gridwaarden van opeenvolgende jaren worden de autocorrelatiecoëfficiënten bepaald. Vervolgens worden de autocorrelatiecoëfficiënten gemiddeld per cel. In figuur 5 is de grafische presentatie gegeven van de gemiddelde



Figuur 5: de gemiddelde autocorrelatie in de tijd

autocorrelatiecoëfficiënten van de cellen, waarbij de celgrootte 1000 bij 1000 meter is. De autocorrelatie ligt tussen -0.4 en 1 . Uit de figuur blijkt dat de autocorrelaties erg groot zijn in het midden van het gebied. Dit betekent dat de waterbodems in deze cellen door de tijd niet veel veranderd zijn. De gemiddelde niveau's zouden wel veranderd kunnen zijn. Aan de randen van het gebied is de autocorrelatie (donker blauw) in enkele cellen kleiner dan nul. De grootste veranderingen in de tijd blijken dus aan de rand van het gebied te zijn.

5 Informatieverlies in de ruimte en de tijd

Informatieverlies is gedefinieerd als de variantie van de schattingsfout gedeeld door de variantie van het te schatten signaal. Waarbij de schattingsfout het verschil is tussen de modelwaarde en de werkelijke waarde. De modelwaarde wordt bepaald door lineaire interpolatie. In de Bijlage 7.2 is de definitie voor het informatieverlies gegeven.

Voor het bepalen van het informatieverlies in de tijd worden de (gemiddelde) dieptewaarden van een cel van een jaar geschat door interpolatie (de modelwaarde) uit de dieptewaarden van dezelfde cel uit andere jaren. Door om het jaar gridwaarden te schatten door interpolatie wordt een meetfrequentie van 2 jaar gesimuleerd. Op identieke wijze kan de meetfrequentie van 3, 4 en 5 jaar gesimuleerd worden voor het bepalen van het informatieverlies.

Van bijzondere betekenis voor het informatieverlies in de ruimte zijn de gridwaarden van het jaar 2000, waarbij op basis van raaien om de 100, 200, 300 en 400 meter geïnterpoleerd is. Voor het bepalen van het informatieverlies worden de (gemiddelde) dieptewaarden van een cel met gridwaarden van raaien om de 100 meter geschat uit de gridwaarden van raaien om de 200, 300 en 400 meter gevaren.

Het informatieverlies in de ruimte kan ook geschat worden door dieptewaarden in cellen te schatten uit naburige cellen. Met deze methode kan een halvering van de meetfrequentie in de ruimte gesimuleerd worden. In de Bijlage 7.3 is het informatieverlies gegeven voor 1991 t/m 2000. Het informatieverlies betreft dan het schatten van de gemiddelde diepte van een cel uit de gemiddelde dieptes van naburige cellen.

5.1 Informatieverlies in de ruimte voor 2000

In het onderstaande is het informatieverlies berekend in de ruimte voor 2000. Het informatieverlies betreft het schatten van de gemiddelde gridwaarde van een cel, waarbij om de 100 meter raaien zijn gevaren. De schattingsfouten zijn de gemiddelde verschillen tussen de gridwaarden van een cel bij de raaien om de 200, 300 en 400 meter en de raaien om de 100 meter. In figuur 2 zijn de verschillen gegeven van de gridwaarden van 100 en 400 meter raaien.

In tabel 3 is het gemiddelde informatieverlies van het gebied gegeven. In de linker kolom zijn de namen gegeven van de drie databestanden int2-2000, int3-2000 en int4-2000. De celgrootte varieert van 100 tot 1300 meter en bevat resp. 5x5 tot 65x65 gridwaarden.

Tabel 3 : het informatieverlies (%) voor 2000 bij verschillende celgroottes

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int2-2000	0.27	0.14	0.09	0.06	0.11	0.02	0.06
int3-2000	0.69	0.37	0.23	0.16	0.12	0.08	0.14
int4-2000	1.16	0.66	0.51	0.41	0.16	0.18	0.22

Uit tabel 3 blijkt duidelijk dat het informatieverlies voor het schatten van de gemiddelde diepte toeneemt naarmate de meetfrequentie in de ruimte afneemt (er minder raaien worden gevaren). Bij een celgrootte van 1000 bij 1000 meter is het informatieverlies bij raaien om de 200 meter 0.02%, bij raaien om de 300 meter 0.08% en bij raaien om de 400 meter 0.18%. Omdat de variantie van de dieptewaarden bij een bepaalde celgrootte altijd dezelfde is, geldt dat de verhouding van de variantie van de schattingsfouten voor celgrootte 1000 bij 1000 1:4:9 is. Het informatieverlies neemt af bij celgroottes van 100 bij 100 t/m 500 bij 500 meter. De waarden voor het informatieverlies voor verschillende celgrootte zijn moeilijk met elkaar te vergelijken. In ieder geval blijkt het moeilijker te zijn de gemiddelde diepte van een kleine cel te schatten dan van een grote.

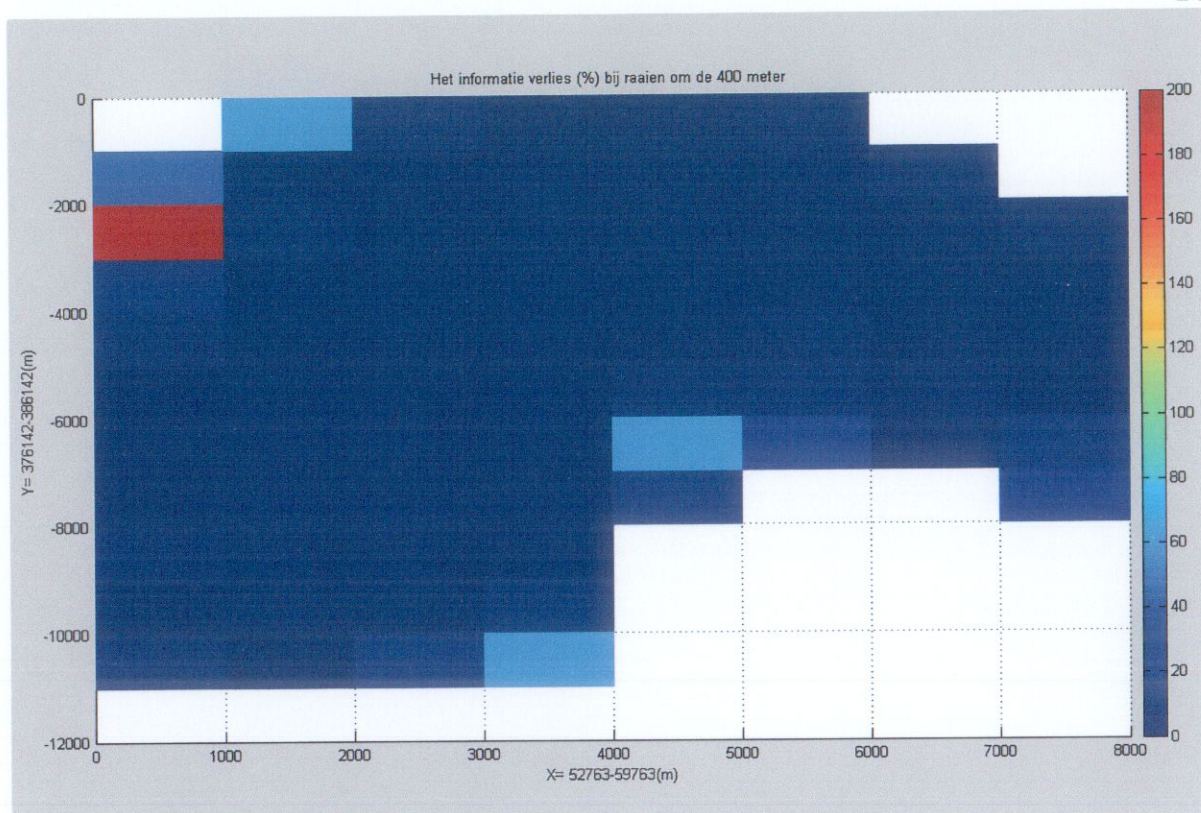
In tabel 4 zijn de gemiddelde schattingsfouten gegeven voor de gemiddelde dieptes van de cellen bij raaien om de 100 meter, vanuit cellen van raaien om de 200, 300 of 400 meter.

Tabel 4 : de gemiddelde schattingsfouten (in cm) voor 2000 bij verschillende celgroottes

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int2-2000	-0.94	-1.09	-1.15	-1.63	-2.60	-1.36	-2.41
int3-2000	-5.15	-5.17	-4.74	-5.99	-6.80	-4.81	-7.71
int4-2000	-3.06	-3.51	-3.91	-5.66	-4.31	-5.73	-7.14

Duidelijk is dat de gemiddelde schattingsfout toeneemt naarmate de meetfrequentie in de ruimte afneemt. De gemiddelde schattingsfouten bij raaien gevaren om de 300 en 400 meter zijn duidelijk groter (in absolute zin) dan bij raaien om de 200 meter. Uit het informatieverlies van tabel 3 en de gemiddelde schattingsfout van tabel 4 blijkt dat de gemiddelde diepte van een cel, waarbij er minder raaien zijn gevaren, goed is te schatten.

In figuur 6 wordt een grafische presentatie gegeven van het informatieverlies (%) waarbij de gridwaarden van raaien om de 100 meter worden geschat uit de gridwaarden bij raaien om de 400 meter. De celgrootte is 1000 bij 1000. Uit de figuur blijkt dat het informatieverlies het grootst is bij de randen van het gebied. Bij de randen bevinden zich ook de geulen. Een extreme waarde is te vinden in $x=500$, $y=-2500$.



Figuur 6: het informatieverlies (%) van dieptewaarden bij een celgrootte van 1000 bij 1000

5.2 Informatieverlies in de tijd

Voor het bepalen van het informatieverlies in de tijd worden de gemiddelde diepte van een cel van het voorgaande jaar en het volgende jaar bepaald. De schattingsfout is het verschil tussen de gemiddelde van deze twee gemiddelde diepten minus de gemiddelde diepte van de gridwaarden van de cel, welke geschat moet worden. In tabel 5 is het gemiddelde informatieverlies gegeven voor 1991 – 2000. In de linker kolom zijn de namen gegeven van de databestanden voor de jaren. Het informatieverlies betreft een simulatie van de meetfrequentie van één maal per twee jaar. De schatting van de gemiddelde dieptewaarden van een cel van 1991 en 2000 zijn de gemiddelde dieptewaarden van resp. 1992 en 1999, aangezien de dieptewaarden van het vorige en het volgende jaar niet beschikbaar zijn.

Tabel 5 : het informatieverlies (%) voor 1991-2000 bij verschillende celgroottes

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	0.62	0.48	0.39	0.37	0.39	0.50	1.57
int-1992	0.43	0.33	0.25	0.24	0.44	0.26	0.77
int-1993	0.41	0.30	0.21	0.15	0.31	0.15	0.40
int-1994	0.55	0.47	0.40	0.42	0.56	0.61	1.21
int-1995	0.68	0.50	0.39	0.31	0.18	0.16	0.25
int-1996	0.44	0.32	0.23	0.18	0.14	0.14	0.06
int-1997	0.48	0.36	0.29	0.32	0.48	1.02	1.33
int-1998	0.28	0.18	0.14	0.11	0.14	0.09	0.15
int-1999	0.27	0.18	0.13	0.10	0.17	0.08	0.12
int-2000	0.83	0.64	0.50	0.40	0.48	0.31	0.35

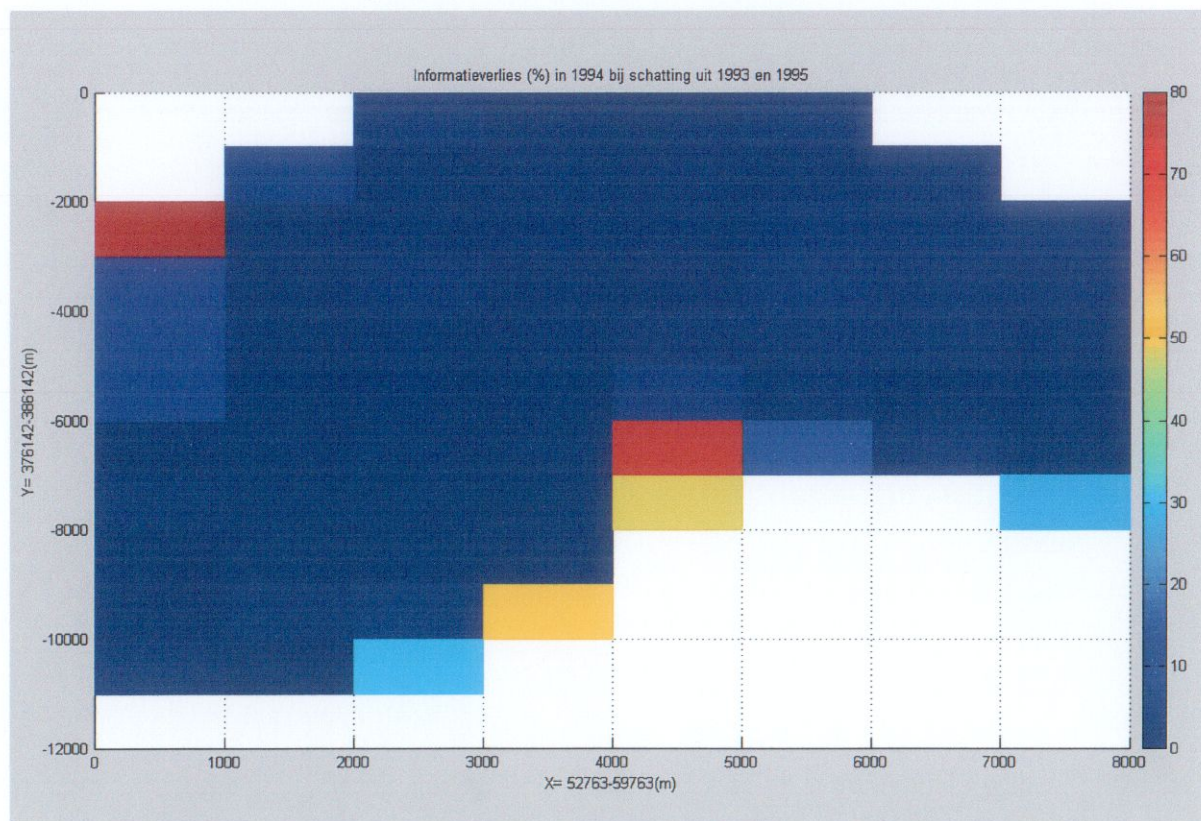
In tabel 6 zijn de gemiddelde schattingsfouten gegeven voor de gemiddelde dieptes van de cellen vanuit het voorgaande en volgende jaar.

Tabel 6 : de gemiddelde schattingsfouten (cm) 1991-2000 bij verschillende celgroottes

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	-3.34	-2.74	-2.69	-1.41	-2.75	-3.41	-6.95
int-1992	0.37	0.85	2.30	3.06	6.35	9.96	11.34
int-1993	5.68	5.75	5.27	6.49	8.14	7.75	10.93
int-1994	-4.81	-3.48	-1.70	0.85	5.70	9.67	16.08
int-1995	1.20	1.39	1.71	2.95	3.77	6.82	8.78
int-1996	-2.25	-2.13	-1.43	-0.74	-0.39	-0.66	-1.91
int-1997	5.26	5.80	6.17	6.22	6.44	16.36	2.31
int-1998	0.41	0.91	1.39	3.16	5.03	6.00	6.35
int-1999	-5.19	-5.05	-4.93	-4.03	-1.23	-1.16	0.63
int-2000	6.48	6.60	6.69	6.06	2.80	2.98	1.15

Uit tabel 6 blijkt dat in het ene jaar de gemiddelde schattingsfouten bij de verschillende celgroottes positief zijn en het andere jaar negatief. Dit betekent dat er kwalitatieve verschillen zijn tussen jaren.

In figuur 7 wordt het informatieverlies (%) gegeven waarbij de gridwaarden van het jaar 1994 worden geschat uit het voorgaande (1993) en het volgende jaar (1995). De celgrootte is 1000 bij 1000.



Figuur 7: het informatieverlies (%) van dieptewaarden in 1994 bij een celgrootte van 1000 bij 1000

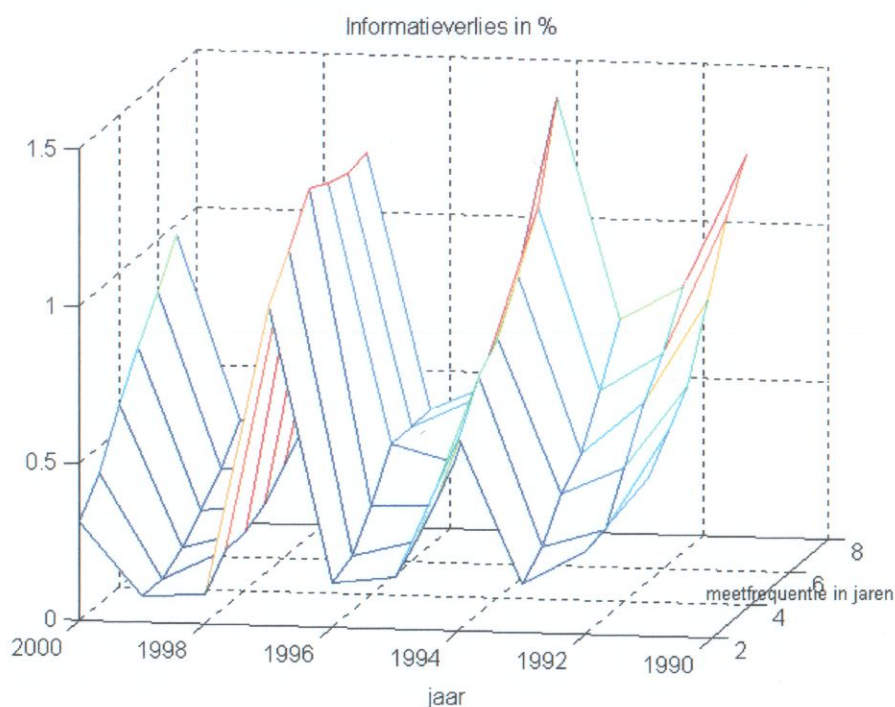
Uit figuur 7 blijkt dat het informatieverlies het grootst is aan de randen van het gebied. Een extreme waarde is te vinden in de cel ($x=500$, $y=-1500$) en ($x=4500$, $y=-6500$).

In de Bijlage is het informatieverlies gegeven en de schattingsfouten bij de simulatie van een meetfrequentie van één maal per twee jaar t/m één maal zes jaar vergelijkbaar met tabel 5 en tabel 6. In tabel 7 zijn de resultaten voor de simulatie van een meetfrequentie van één maal per twee jaar t/m één maal per vijf jaar. De celgrootte is 1000 bij 1000 meter.

Tabel 7 : informatieverlies (%) en gemiddelde schattingsfouten (cm) 1991-2000 bij verschillende meetfrequentie

Meetfrequentie Naam	2		3		4		5	
int-1991	0.50	-3.41	0.60	6.15	0.69	9.78	0.91	13.63
int-1992	0.26	9.96	0.28	13.55	0.43	18.15	0.58	20.47
int-1993	0.15	7.75	0.22	14.19	0.34	16.40	0.41	16.23
int-1994	0.61	9.67	0.75	13.71	0.83	14.71	0.97	15.49
int-1995	0.16	6.82	0.23	7.74	0.29	9.66	0.37	12.55
int-1996	0.14	-0.66	0.17	5.63	0.28	9.05	0.43	12.27
int-1997	1.02	16.36	1.14	22.45	1.29	27.19	1.25	27.57
int-1998	0.09	6.00	0.18	11.83	0.19	12.90	0.22	14.08
int-1999	0.08	-1.16	0.09	-1.51	0.13	0.85	0.20	2.51
int-2000	0.31	2.98	0.42	3.08	0.58	1.80	0.71	3.41

In tabel 7 is duidelijk te zien dat het informatieverlies toeneemt en vaak ook de schattingsfout. In figuur 8 is de grafische presentatie gegeven van het informatieverlies bij meetfrequenties van 2 t/m 7 jaar. Opmerkelijk zijn opnieuw de jaarlijkse verschillen.



Figuur 8: het informatieverlies voor de verschillende jaren als functie van de meetfrequentie

6 Conclusies

In het kader van de Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL) wordt door RIKZ het monitoringprogramma Ligging Kust en Zeebodem uitgevoerd. Dit meetprogramma heeft als doel de veranderingen van de kustligging en de ontwikkelingen van de morfologie van de zeebodem in beeld te brengen. De metingen zijn te verdelen in de kustmetingen en de vaklodingen.

Regelmatig worden de monitoringprogramma's geëvalueerd. Op dit moment wordt gewerkt aan de evaluatie van de fysische meetprogramma's. In het kader van deze evaluatie worden de vaklodingen statistisch geanalyseerd. De vraagstelling is het optimaliseren in tijd en/of ruimte van het meetprogramma. Voor de ontwikkeling van de methode en inzicht in de bruikbaarheid van de statistische analyse is vak 3 in de Westerschelde gebruikt. Voor dit onderzoek zijn de jaarlijkse gegevens van 1991 t/m 2000 beschikbaar. Het gaat om de gebiedsdekkende rasters van 20 bij 20 meter. De punten (dieptewaarden) uit dit raster worden in dit rapport aangeduid als gridwaarden.

Voor het uitvoeren van het statistisch onderzoek zijn correlatie-analyses toegepast en het informatieverlies is geschat door het simuleren van het verlagen van de meetfrequentie. Het informatieverlies is daarbij gedefinieerd als de variantie van de schattingsfout gedeeld door de variantie van het te schatten signaal, de gridwaarden.

Het onderzoek omvat vier onderdelen:

1. Verwerking en visuele interpretatie van de dieptewaarden
2. Reproductie van het TNO-onderzoek
3. Correlatie-analyses in de tijd en in de ruimte
4. Bepaling informatieverlies in de tijd en in de ruimte

Het eerste onderdeel van het onderzoek betreft de verwerking en interpretatie van alle gridwaarden. Voor de verwerking en de presentatie van de gridwaarden is het Matlab-programma vak3 ontwikkeld. De verwerking van de gridwaarden was goed uit te voeren en van de gridwaarden zijn met vak3 fraaie drie en twee dimensionale presentaties te maken.

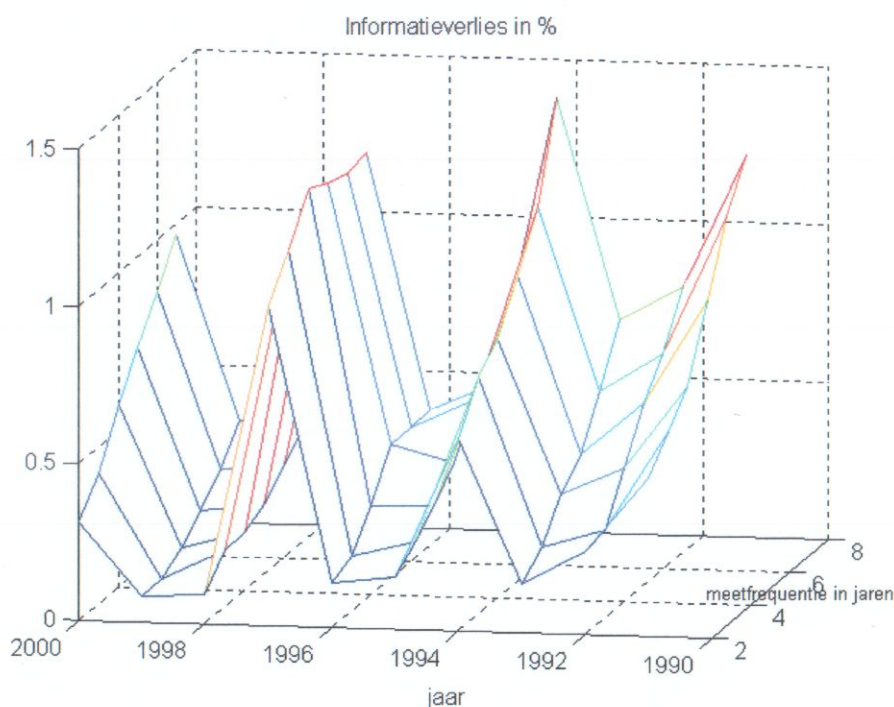
In onderdeel twee zijn de presentaties van het TNO-onderzoek gereproduceerd. De presentaties met gemiddelde verschillen van de gridwaarden en standaard deviaties in cellen van 1000 bij 1000 meter zijn gereproduceerd.

In onderdeel drie zijn de correlatie-analyses op de dieptewaarden uitgevoerd in de tijd en in de ruimte. Voor het bepalen van de correlaties in de ruimte worden naast elkaar gelegen cellen met verschillende celgroottes met elkaar vergeleken. De kruiscorrelatie tussen cellen neemt duidelijk af naarmate de celgrootte groter wordt. Duidelijke positieve kruiscorrelaties zijn er bij een celgrootte van 100 bij 100 t/m 500 bij 500 meter. Bij een celgrootte van 1000 bij 1000 meter is de gemiddelde kruiscorrelatie bijna nul geworden.

Uit de autocorrelaties van de tijdreeksen van de dieptewaarden blijkt dat de autocorrelaties erg groot zijn in het midden van het gebied. Aan de randen van het gebied is de autocorrelatie het kleinst. De grootste veranderingen in de tijd blijken dus aan de randen van het gebied te zijn. Aan de rand van het gebied zijn ook de geulen.

Voor het jaar 2000 is het informatieverlies in de ruimte bepaald, waarbij de gevaren raaien om de 100, 200, 300 en 400 meter zijn. Het informatieverlies betreft het schatten van de gemiddelde gridwaarde van een cel, waarbij de raaien om de 100 meter zijn gevaren. Het informatieverlies neemt duidelijk toe naarmate er minder raaien gevaren worden. Bij een celgrootte van 1000 bij 1000 meter is het informatieverlies bij raaien om de 200 meter 0.02%, bij raaien om de 300 meter 0.08% en bij raaien om de 400 meter 0.18%. Ook neemt de gemiddelde schattingsfout toe naarmate er minder raaien gevaren worden.

Voor het bepalen van het informatieverlies in de tijd worden de gemiddelde gridwaarden van een cel van een jaar geschat door interpolatie uit de gridwaarden van dezelfde cel uit andere jaren. Door om het jaar waarden te schatten door interpolatie wordt een meetfrequentie van 2 jaar gesimuleerd. In figuur 9 is de grafische presentatie gegeven van het informatieverlies bij meetfrequenties van 2 t/m 7 jaar. De celgrootte is 1000 bij 1000 meter. Opmerkelijk zijn de jaarlijkse verschillen.



Figuur 9: het informatieverlies voor de verschillende jaren als functie van de meetfrequentie

In tabel 8 is het gemiddelde informatieverlies en het gemiddelde van de schattingsfouten van alle jaren gegeven voor verschillende simulaties van de meetfrequentie.

Tabel 8 : gemiddelde informatieverlies (%) en gemiddelde schattingsfouten (cm) bij verschillende meetfrequentie

Meetfrequentie	2	3	4	5	6
Informatieverlies	0.33	0.40	0.50	0.61	0.71
Schattingsfout	5.43	9.68	12.05	13.82	14.86

Zowel het informatieverlies als de gemiddelde schattingsfouten worden groter naarmate de meetfrequentie kleiner wordt. Het informatieverlies is dus groter bij een halvering van de meetfrequentie in de tijd dan bij een halvering van de meetfrequentie in de ruimte.

7 Bijlage

In de Bijlage zijn de definities gegeven voor de correlatiecoëfficiënt en het informatieverlies en een aantal extra tabellen en grafische presentaties gegeven.

7.1 Definities van RMS en standaard deviatie

De RMS-waarde van metingen is het kwadratische gemiddelde van metingen:

$$RMS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2$$

De standaard deviatie van metingen is het kwadratische gemiddelde van metingen minus de gemiddelde waarde:

$$Std = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j)^2$$

In hoofdstuk 3 zijn de x_i verschilmetingen van de gridwaarden van een cel.

7.2 Definities van correlatiecoëfficiënt en informatieverlies

De correlatiecoëfficiënt geeft de mate van lineaire afhankelijkheid aan tussen twee variabelen. Een positieve correlatiecoëfficiënt houdt in dat als de ene variabele relatief groot (of klein) is dan is de andere ook relatief groot (of klein) t.o.v. het gemiddelde. Een negatieve correlatiecoëfficiënt houdt in dat als de ene variabele relatief groot (of klein) is dan is de andere relatief klein (of groot) t.o.v. het gemiddelde.

De correlatie coëfficiënt tussen twee (scalaire) grootheden is gedefinieerd als:

$$\rho(x1, x2) = cov(x1, x2) / \sqrt{var(x1) \cdot var(x2)}$$

Als zowel $x1$ als $x2$ zwak-stationair zijn, dan hebben beide grootheden een constant gemiddelde en de autocorrelatie van de grootheden tussen twee tijdstippen is dan alleen afhankelijk van het tijdsverschil:

$$\rho_{x1x2}(s) = cov(x1(k), x2(k-s)) / \sqrt{var(x1(k)) \cdot var(x2(k-s))}$$

met: $cov(x1(k), x2(k-s)) = E[x1(k) - E[x1(k)]] \cdot [x2(k-s) - E[x2(k-s)]]$

- $var(x1(k)) = cov(x1(k), x1(k))$
- $E[x1] = 1/n \cdot \sum_{k=1}^n x1(k)$

Het informatieverlies is gedefinieerd als de verhouding variantie van de modelruis/schattingsfouten (w) en de variantie van de te beschrijven variabele/dieptewaarden (y):

$$I = \text{var}(w(k)) / \text{var}(y(k)) \cdot 100\%$$

In het geval van een meetnetoptimalisatie kunnen meetfrequenties in de tijd en ruimte verminderd worden als met een bepaald model de dieptemetingen goed geschat kunnen worden. De schattingsfout is het verschil tussen de gemeten diepte en een modelwaarde. Verschillende modellen zijn mogelijk: lineaire interpolatie, lineair regressie model, een neurale netwerk, enz. Algemeen geldt:

$$y(k) = \text{model}(k) + w(k)$$

Beschouw nu de correlatiecoëfficiënt tussen de gemeten diepte en een modelwaarde, waarbij is verondersteld dat de modelruis onafhankelijk is van het model:

$$\rho(y, \text{model}) = \text{cov}(y, \text{model}) / \sqrt{\text{var}(y) \cdot \text{var}(\text{model})} = \text{cov}(\text{model} + w, \text{model}) / \sqrt{\text{var}(y) \cdot \text{var}(\text{model})}$$

$$\rho(y, \text{model}) = \text{cov}(\text{model}, \text{model}) / \sqrt{\text{var}(y) \cdot \text{var}(\text{model})} = \sqrt{\text{var}(\text{model}) / \text{var}(y)}$$

$$\rho(y, \text{model}) = \sqrt{(\text{var}(y) - \text{var}(w)) / \text{var}(y)} = \sqrt{(1 - \text{var}(w)) / \text{var}(y)}$$

Er geldt dus het kwadraat van de correlatiecoëfficiënt is $1 - I$ – het informatieverlies:

$$\rho^2(y, \text{model}) \cdot 100\% = 1 - I$$

7.3 Informatieverlies in 1991 – 2000

Voor het bepalen van het informatieverlies in de ruimte moet de schattingsfout bepaald door dieptewaarden te schatten uit naburige dieptewaarden. Het informatieverlies betreft het schatten van de gemiddelde diepte van een cel. De schatting is door interpolatie. In tabel 9 is het gemiddelde informatieverlies gegeven voor de verschillende jaren bij verschillende celgrootte. De celgrootte varieert van 100 bij 100, 200 bij 200, .. en 1300 bij 1300 meter. In de linker kolom zijn de namen gegeven van de databestanden int-1991.. int4-2000. In de bestanden int-<jaartal> zijn de geïnterpoleerde waarden gegeven van dat jaar. In de bestanden int<1,2,3 en 4>-2000 zijn de geïnterpoleerde waarden gegeven op basis van meetgegevens van raaien om de 100, 200, 300 en 400 meter.

Tabel 9: informatieverlies (%) voor 1991- 2000 bij verschillende celgroottes

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
Int-1991	2.15	8.66	16.90	41.66	79.66	106.73	143.49
Int-1992	2.12	8.22	16.11	42.61	78.41	114.51	140.66
Int-1993	2.12	8.13	16.04	38.92	77.25	102.66	133.19

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
Int-1994	2.01	7.96	15.52	39.40	76.74	102.75	130.94
Int-1995	1.96	7.50	14.45	37.04	70.14	99.02	132.56
Int-1996	2.00	7.49	14.51	35.97	67.75	99.26	132.14
Int-1997	2.10	7.64	14.67	37.30	66.88	106.93	138.88
Int-1998	1.92	7.20	13.76	34.39	67.22	97.19	130.67
Int-1999	1.82	6.89	13.66	34.68	68.23	97.36	133.06
Int1-2000	1.74	6.57	12.58	32.02	68.26	88.78	127.32
Int2-2000	1.59	6.38	12.22	31.36	65.80	88.49	126.15
Int3-2000	1.54	6.15	12.56	30.96	66.07	91.37	125.72
Int4-2000	1.31	5.89	11.78	30.24	62.46	90.63	124.15

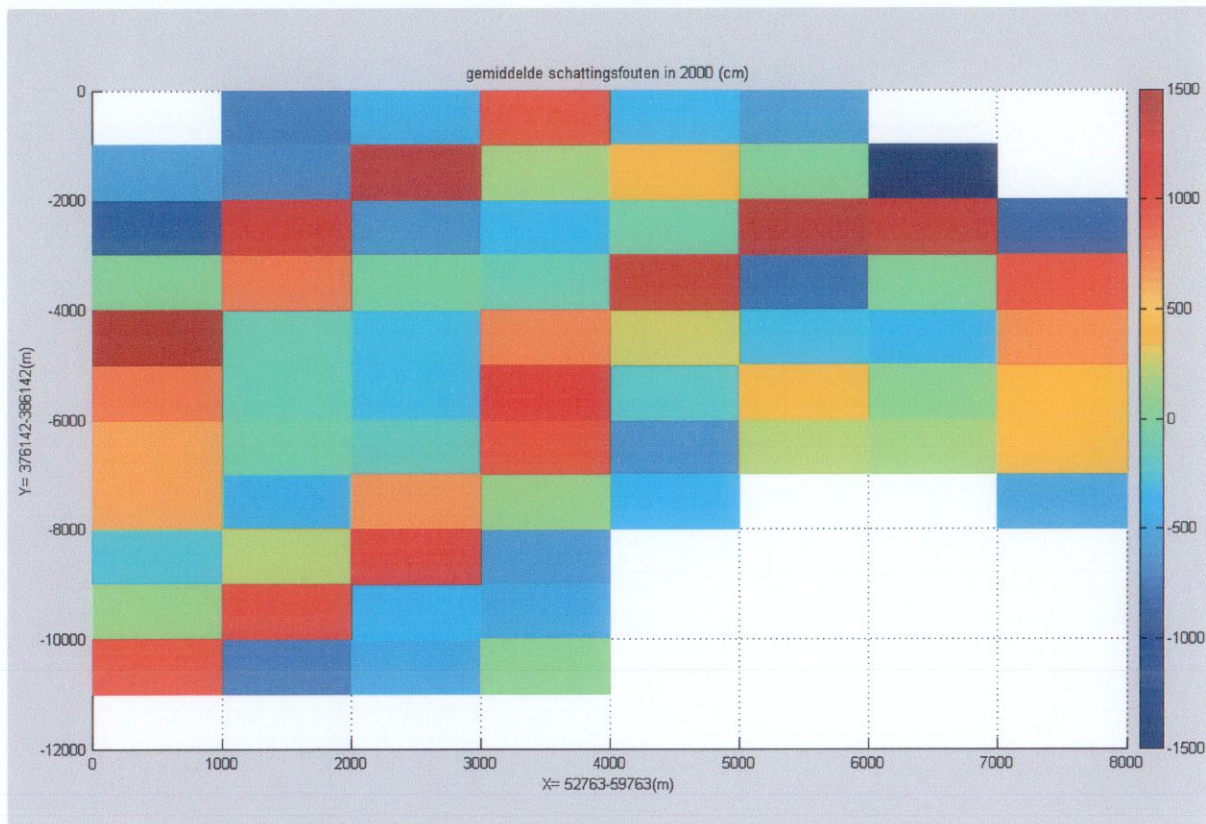
Duidelijk is in de tabel te zien hoe het informatieverlies toeneemt naarmate de celgrootte toeneemt. De verschillen in het informatieverlies tussen de verschillende jaren zijn aanmerkelijk kleiner dan het informatieverlies bij grotere celgrootte. Het informatieverlies bij een celgrootte van 1000 bij 1000 is ongeveer 100%. Bij de bepaling van het informatieverlies wordt er van uitgegaan dat de schattingsfouten gemiddeld nul zijn. Dit is niet het geval, zoals is weergegeven in tabel 4.

In tabel 10 zijn de gemiddelde schattingsfouten gegeven voor de gemiddelde dieptes van de cellen vanuit naburige cellen.

Tabel 10 : de gemiddelde schattingsfouten (cm) voor 1991-2000 bij verschillende celgroottes

Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
Int-1991	-6.37	-26.10	-45.54	-91.83	-78.12	-75.73	-59.04
Int-1992	-5.54	-24.15	-43.84	-94.78	-83.62	-107.42	-75.41
Int-1993	-5.14	-22.64	-42.64	-84.67	-88.85	-91.99	-49.78
Int-1994	-4.97	-21.78	-41.94	-85.66	-88.12	-82.07	-37.02
Int-1995	-4.78	-20.07	-38.62	-83.04	-76.47	-76.35	-70.91
Int-1996	-4.48	-18.46	-36.40	-75.28	-68.71	-89.65	-69.97
Int-1997	-5.72	-21.39	-39.14	-75.28	-68.87	-91.74	-87.11
Int-1998	-4.48	-19.43	-35.56	-74.36	-71.68	-101.61	-65.54
Int-1999	-4.51	-18.58	-34.76	-74.21	-69.63	-104.03	-74.38
Int1-2000	-4.52	-18.20	-33.82	-71.76	-83.63	-89.71	-70.79
Int2-2000	-4.76	-18.50	-34.34	-72.03	-81.47	-91.25	-71.45
Int3-2000	-4.07	-17.77	-35.74	-72.26	-85.09	-98.98	-72.93
Int4-2000	-3.59	-17.62	-33.72	-71.31	-75.17	-95.10	-67.66

De gemiddelde schattingsfouten van Vak3 zijn altijd negatief. Dit betekent dat de gemiddelde diepte van een cel gemiddeld onderschat wordt uit naburige cellen. In de onderstaande figuur zijn de schattingsfouten gegeven voor het jaar 2000 bij een celgrootte van 1000 bij 1000 meter.



Figuur 10: De schattingsfouten van een cel in 2000 bij een celgrootte van 1000 bij 1000 meter

In de figuur is te zien bij de rode en blauwe cellen waar de gemiddelde diepte wordt overschat en waar onderschat. Duidelijk is dat bij de geulen de schattingsfouten in absolute zin het grootst zijn. De schattingsfouten variëren van -1500 tot 1500 cm.

7.4 Informatieverlies in de tijd

Vergelijkbaar met paragraaf 5.2 zijn hier tabellen gegeven voor het informatieverlies in de tijd. In paragraaf 5.2 betrof het de simulatie van de meetfrequentie van één keer per twee jaar in de onderstaande tabellen zijn de resultaten gegeven bij een meetfrequentie van één keer per drie jaar tot één keer per zes jaar.

Tabel 11: het informatieverlies (%) bij een meetfrequentie van één keer per drie jaar

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	0.75	0.58	0.47	0.44	0.51	0.60	1.67
int-1992	0.49	0.38	0.29	0.28	0.50	0.28	0.88
int-1993	0.43	0.31	0.23	0.19	0.31	0.22	0.53
int-1994	0.50	0.44	0.39	0.45	0.69	0.75	2.04
int-1995	0.74	0.55	0.45	0.35	0.29	0.23	0.39
int-1996	0.45	0.34	0.25	0.21	0.17	0.17	0.10
int-1997	0.56	0.44	0.38	0.43	0.60	1.14	1.56
int-1998	0.32	0.23	0.18	0.16	0.21	0.18	0.34
int-1999	0.31	0.21	0.16	0.11	0.17	0.09	0.11
int-2000	0.99	0.80	0.64	0.52	0.57	0.42	0.44

In tabel 12 zijn de gemiddelde schattingsfouten gegeven.

Tabel 12: de gemiddelde schattingsfouten (cm), meetfrequentie is één keer per drie jaar

Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	-5.02	-3.72	-2.42	1.01	5.62	6.15	6.34
int-1992	1.93	2.38	4.06	5.38	9.17	13.55	15.18
int-1993	5.84	6.20	6.57	8.56	11.91	14.19	18.04
int-1994	-4.40	-2.90	-0.96	2.40	8.73	13.71	22.92
int-1995	-2.15	-1.60	-0.83	1.47	3.73	7.74	10.54
int-1996	-0.53	0.03	1.16	2.66	4.31	5.63	4.91
int-1997	7.31	8.33	9.41	10.46	11.74	22.45	8.57
int-1998	0.84	1.58	2.60	5.53	9.64	11.83	14.11
int-1999	-6.08	-5.88	-5.50	-4.45	-1.89	-1.51	0.52
int-2000	4.73	5.03	5.46	4.94	2.37	3.08	1.71

Tabel 13: het informatieverlies (%) bij een meetfrequentie van één keer per vier jaar

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	0.93	0.74	0.61	0.54	0.62	0.69	1.80
int-1992	0.71	0.56	0.45	0.41	0.57	0.43	0.78
int-1993	0.54	0.41	0.32	0.26	0.41	0.34	0.88
int-1994	0.54	0.48	0.43	0.49	0.75	0.83	2.18
int-1995	0.85	0.64	0.53	0.41	0.34	0.29	0.48
int-1996	0.57	0.45	0.35	0.29	0.29	0.28	0.21
int-1997	0.64	0.52	0.48	0.55	0.73	1.29	1.80
int-1998	0.43	0.32	0.25	0.20	0.23	0.19	0.33
int-1999	0.44	0.34	0.25	0.16	0.22	0.13	0.15
int-2000	1.27	1.05	0.86	0.72	0.70	0.58	0.58

In tabel 14 zijn de gemiddelde schattingsfouten gegeven.

Tabel 14: de gemiddelde schattingsfouten (cm), meetfrequentie is één keer per vier jaar

Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	-3.27	-1.85	-0.33	3.28	9.01	9.78	10.68
int-1992	1.83	2.64	4.63	7.06	13.28	18.15	22.99
int-1993	5.10	5.59	6.12	8.48	12.96	16.40	21.81
int-1994	-4.58	-3.01	-0.97	2.61	9.34	14.71	24.31
int-1995	-2.01	-1.21	-0.30	2.52	6.03	9.66	12.43
int-1996	-0.28	0.55	2.01	4.28	7.68	9.05	8.68
int-1997	7.95	9.31	10.95	13.08	14.93	27.19	13.58
int-1998	1.72	2.45	3.74	6.52	10.77	12.90	15.21
int-1999	-4.60	-4.37	-3.84	-2.78	0.47	0.85	3.58
int-2000	2.80	3.04	3.63	3.08	0.62	1.80	0.90

Tabel 15 : het informatieverlies (%) bij een meetfrequentie van één keer per vijf jaar

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	1.21	1.01	0.85	0.75	0.82	0.91	2.04
int-1992	0.90	0.74	0.61	0.55	0.72	0.58	1.05
int-1993	0.64	0.49	0.40	0.32	0.48	0.41	0.98

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1994	0.64	0.56	0.51	0.57	0.85	0.97	2.39
int-1995	0.93	0.72	0.59	0.46	0.43	0.37	0.59
int-1996	0.68	0.55	0.45	0.41	0.40	0.43	0.35
int-1997	0.66	0.54	0.49	0.53	0.77	1.25	1.75
int-1998	0.56	0.43	0.34	0.27	0.28	0.22	0.35
int-1999	0.60	0.48	0.36	0.25	0.27	0.20	0.20
int-2000	1.51	1.25	1.04	0.86	0.82	0.71	0.69

In tabel 16 zijn de gemiddelde schattingsfouten gegeven.

Tabel 16: de gemiddelde schattingsfouten (cm), meetfrequentie is één keer per vijf jaar

Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	-3.35	-1.58	0.50	4.44	11.72	13.63	15.31
int-1992	1.28	2.19	4.28	7.19	14.69	20.47	27.12
int-1993	3.53	4.09	4.74	7.41	11.91	16.23	21.71
int-1994	-5.07	-3.45	-1.29	2.42	9.49	15.49	24.96
int-1995	-0.78	0.22	1.16	4.43	8.62	12.55	15.30
int-1996	-0.50	0.69	2.39	5.87	10.02	12.27	12.48
int-1997	7.84	9.26	11.08	13.19	15.61	27.57	14.05
int-1998	2.92	3.65	5.05	7.77	12.29	14.08	16.59
int-1999	-3.56	-3.31	-2.36	-1.34	1.86	2.51	4.98
int-2000	3.62	3.84	4.37	3.94	2.24	3.41	3.72

Tabel 17 : het informatieverlies (%) bij een meetfrequentie van één keer per zes jaar

Celgrootte Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	1.45	1.22	1.03	0.92	1.04	1.13	2.56
int-1992	1.06	0.88	0.73	0.65	0.82	0.68	1.18
int-1993	0.79	0.63	0.52	0.43	0.58	0.56	1.15
int-1994	0.76	0.67	0.61	0.69	0.98	1.14	2.58
int-1995	0.97	0.75	0.63	0.51	0.56	0.52	0.75
int-1996	0.75	0.61	0.51	0.44	0.42	0.43	0.34
int-1997	0.73	0.59	0.53	0.55	0.78	1.23	1.74
int-1998	0.72	0.58	0.47	0.36	0.37	0.30	0.40
int-1999	0.78	0.64	0.50	0.35	0.35	0.28	0.24
int-2000	1.71	1.43	1.20	0.99	0.92	0.84	0.79

In tabel 18 zijn de gemiddelde schattingsfouten gegeven.

Tabel 18: de gemiddelde schattingsfouten (cm), meetfrequentie is één keer per zes jaar

Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1991	-4.24	-2.38	-0.13	4.38	12.40	15.43	18.43
int-1992	-0.23	0.77	2.92	6.11	13.63	20.11	27.08
int-1993	2.83	3.47	4.25	7.15	12.01	16.97	22.19
int-1994	-4.79	-3.02	-0.80	3.24	10.77	17.16	26.72
int-1995	-1.36	-0.16	1.13	5.29	11.56	15.54	18.33
int-1996	0.32	1.50	3.19	6.62	10.79	12.97	13.19
int-1997	8.17	9.57	11.39	13.55	15.96	27.78	14.45

Naam	100	200	300	500	800	1000	1300
int-1998	2.77	3.55	5.07	7.87	13.05	14.34	17.04
int-1999	-2.25	-2.01	-0.99	0.05	3.45	3.73	6.53
int-2000	4.35	4.53	5.41	4.96	3.58	4.65	5.06