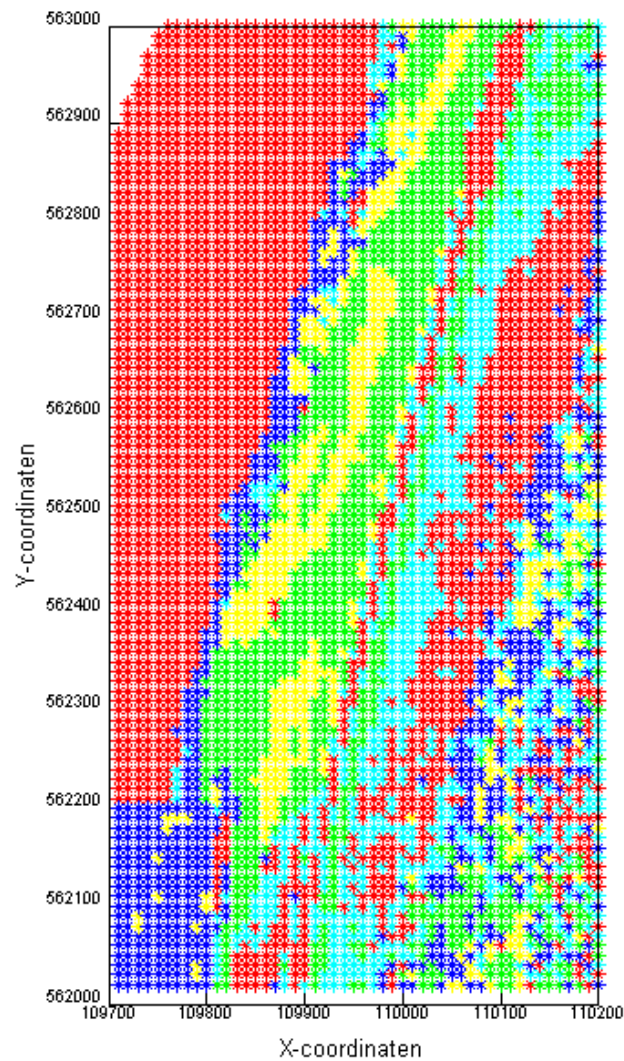


Volumebepaling van zandsuppleties op Texel aan de hand van tijdreeksen van laseraltimetrie data

Eindrapport



Rinske van Gosliga
Februari 2004

Voorwoord

Dit rapport is geschreven in het kader van het 4e jaars vak 'Research Project' van de studie Geodesie aan de TU Delft. Het doel van dit vak is het uitvoeren van een technisch onderzoek, waarmee het een voorbereiding op onder andere het afstudeeronderzoek is. Het onderzoek dat in dit rapport centraal staat, maakt deel uit van een project over de mogelijkheden om veranderingen in het landoppervlak te detecteren en te classificeren met behulp van laserdata. Dit project wordt uitgevoerd door de sectie Mathematische Geodesie en Puntbepaling (MGP) van de afdeling Geodesie.

Het onderzoeksdoel in dit rapport is het in kaart brengen van zandsuppleties op de zuidwestkust van Texel. Als gevolg van deze zandsuppleties kan de hoogte plaatselijk veranderen, hetgeen door middel van airborne laseraltimetriedata (data ingewonnen met behulp van een vliegtuig) gedetecteerd kan worden. Vervolgens wordt van de zandsuppleties de tijd, locatie en het volume bepaald.

Aan het einde van het onderzoek is ontdekt dat er een fout is gemaakt in de berekeningen. Hierdoor zijn de resultaten zoals vermeld in het rapport niet geheel juist. Echter, verwacht wordt dat de werkelijke resultaten niet veel zullen afwijken van de vermelde resultaten.

Via deze weg wil ik mijn begeleider Roderik Lindenbergh hartelijk bedanken voor zijn adviezen tijdens de uitvoering van het onderzoek. Hij heeft er mede voor gezorgd dat ik goede resultaten heb bereikt, onderbouwde conclusies heb kunnen trekken en nuttige aanbevelingen heb kunnen doen.

Rinske van Gosliga
9 februari 2004

Samenvatting

Het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) heeft in de afgelopen jaren zandsuppleties laten uitvoeren ter behoud van de Nederlandse kust, zo ook voor de zuidwestkust van Texel. De Adviesdienst Geoinformatie en ICT van Rijkswaterstaat (AGI) heeft daarnaast in de periode 1996-2001 hoogtemetingen uitgevoerd met behulp van airborne laseraltimetrie (data ingewonnen met behulp van een vliegtuig) boven een gedeelte van de zuidwestkust van Texel.

In samenhang hiermee, voert de sectie Mathematische Geodesie en Puntbepaling (MGP) van de afdeling Geodesie een project uit naar de mogelijkheden om veranderingen in het landoppervlak te detecteren en te classificeren met behulp van laserdata. Het in dit rapport beschreven onderzoek maakt hier deel van uit. Het onderzoek wordt uitgevoerd omdat er in Nederland weinig ervaring is met de verwerking van laserdata die ingewonnen zijn in een dynamisch gebied, zoals het kustgebied van Nederland.

Het doel van het onderzoek is het in kaart brengen van zandsuppleties op de zuidwestkust van Texel aan de hand van meerdere tijdreeksen van hoogtedata. Als gevolg van de zandsuppleties kan de hoogte plaatselijk veranderen, hetgeen door middel van analyse van airborne laseraltimetriedata gedetecteerd kan worden. Vervolgens kan aan de hand van de hoogteveranderingen de tijd, locatie en het volume van de zandsuppleties bepaald worden.

De hoofdvragen die centraal staan in het onderzoek zijn:

- *Hoe kan uit een tijdreeks van airborne laserdata de tijd, locatie en het volume van zandsuppleties bepaald worden?*
- *Wat is de kwaliteit van de verkregen resultaten en komen zij overeen met de daadwerkelijk uitgevoerde zandsuppleties?*

Om een antwoord op de hoofdvragen te kunnen geven is een programma geschreven in Matlab om de laseraltimetriedata te analyseren. Op basis van de ingewonnen laserdata van de jaren 1996-2001 zijn hoogteveranderingen op een positie (x,y) gemodelleerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van vier verschillende modellen die de werkelijkheid nabootsen; daarnaast is voor elk model een test opgesteld die bepaalt of de positie (x,y) aan het model voldoet. Bij het testen is gebruik gemaakt van de kleinste kwadraten methode, een variantiefactor s^2 en een onbetrouwbaarheidsdrempel a . De modellen geven de volgende situaties weer:

- In de periode 1996-2001 is een positie stabiel gebleven.
- In de periode 1996-2001 is op een positie eenmalig een suppletie uitgevoerd.
- In de periode 1996-2001 is een positie met constante snelheid gezakt.
- In de periode 1996-2001 is een positie met constante snelheid gezakt en is eenmalig een suppletie uitgevoerd.

Het onderzoeksgebied ter grootte van 500 x 1000m is opgedeeld in blokken met verschillende afmetingen, te weten 100 x 100m, 50 x 50m, 20 x 20m en 10 x 10m. Per blok is de gemiddelde hoogte berekend en hierop zijn de verschillende modellen toegepast. Zo is bijvoorbeeld getest of een blok met middelpunt (x,y) in de loop der jaren stabiel is gebleven of dat er tussentijds een suppletie is uitgevoerd. Op het moment dat op een positie een suppletie heeft plaatsgevonden, is de tijd, locatie en het volume van deze suppletie bepaald.

De testresultaten vormen een overzicht van het onderzoeksgebied met daarin aangegeven welke veranderingen de posities in de periode 1996-2001 hebben ondergaan. Daarnaast is het volume van de verschillende suppleties bij elkaar opgeteld. Dit volume is vergeleken met de RIKZ-gegevens over de uitgevoerde suppleties.

Naar aanleiding van de eerste hoofdvraag kan onder andere de conclusie worden getrokken dat het moment waarop een suppletie heeft plaatsgevonden snel kan worden vastgesteld. In dit geval is een suppletie uitgevoerd in 1999.

Echter, de locatie en het volume zijn moeilijker te bepalen. Deze zijn afhankelijk van aannamen omtrent de variantiefactor s^2 en de blok grootte. Zo zijn de locatie en het volume nauwkeuriger te

bepalen bij een kleine blok grootte dan bij een grote blok grootte. Als gevolg hiervan neemt het totale volume van de suppletie ook toe bij afnemende blok grootte.

Tenslotte is het lastig om een goed passend model op te stellen voor de situatie in het kustgebied; de gebruikte modellen zijn benaderingen van de werkelijkheid. Zodra natuurlijke processen op een goed gelijkende wijze gemodelleerd kunnen worden, zijn de locatie en het volume van de zandsuppletie ook met meer zekerheid te bepalen.

Wat betreft de tweede hoofdvraag kan geconcludeerd worden dat de kwaliteit van de resultaten te wensen over laat, omdat deze in grote mate afhankelijk is van de gekozen blok grootte. Ook kan geconcludeerd worden dat de voortplantingswet voor varianties niet kan worden toegepast op de data.

Daarnaast komt het berekende volume van de uitgevoerde zandsuppletie niet overeen met de RIKZ-gegevens. Oorzaken hiervan kunnen onder andere zijn dat in de periode tussen de uitvoering en de meting veel zand is afgeslagen, dat de gesuppleerde hoeveelheid zand verschilt van de indicatie gegeven door het RIKZ, dat het suppletiezand niet gelijkmatig over het onderzoeksgebied verdeeld is, of dat de gebruikte blok grootte niet optimaal is.

Tijdens het onderzoek is een aantal zaken naar voren gekomen die voor verbetering vatbaar zijn. Aan de hand hiervan kan onder andere de aanbeveling worden gedaan om hoogteveranderingen binnen een blok mee te nemen in de berekening. Ook de grootte van de suppletie zal verschillen binnen het blok; hier zou ook rekening mee kunnen worden gehouden. Tenslotte zijn er ook suppleties ontdekt in het duingebied. Aangezien dit een onwaarschijnlijke situatie is, zouden de resultaten hiervoor moeten worden gecorrigeerd.

Inhoudsopgave

| | |
|--|------------|
| Voorwoord | ii |
| Samenvatting | iii |
| 1 Inleiding | 1 |
| 2 Achtergrondinformatie | 2 |
| 2.1 Zandsuppleties | 2 |
| 2.1.1 Overheidsbeleid | 2 |
| 2.1.2 Locatie en grootte uitgevoerde suppleties op Texel | 3 |
| 2.2 Texel: project MGP | 4 |
| 2.2.1 Aanleiding project MGP | 4 |
| 2.2.2 Beperkingen gebruikte data | 5 |
| 2.2.3 Bepaling hoogteveranderingen met behulp van model | 6 |
| 3 Methode voor data-analyse | 7 |
| 3.1 Onderzoeksaanpak | 7 |
| 3.2 Modellen ter bepaling van hoogteveranderingen | 9 |
| 3.2.1 Modellen gebruikt in onderzoek | 9 |
| 3.2.2 Uitvoering van tests | 11 |
| 4 Onderzoeksresultaten | 13 |
| 4.1 Karakterisering zandsuppletie | 13 |
| 4.1.1 Tijd | 13 |
| 4.1.2 Locatie | 13 |
| 4.1.3 Volume | 15 |
| 4.2 Kwaliteit van resultaten | 16 |
| 4.3 Vergelijking met RIKZ gegevens | 18 |
| 5 Conclusies en aanbevelingen | 19 |
| 5.1 Conclusies | 19 |
| 5.1.1 Bepaling van tijd, locatie en volume | 19 |
| 5.1.2 Kwaliteit van resultaten en vergelijking met RIKZ gegevens | 20 |
| 5.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek | 20 |
| Literatuurlijst | 21 |
| Appendix A Programma A | 22 |
| Appendix B Programma B | 26 |
| Appendix C Resultaten uitgevoerde tests | 31 |

1 Inleiding

In de afgelopen jaren zijn in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) zandsuppleties uitgevoerd ter behoud van de Nederlandse kust, zo ook voor de zuidwestkust van Texel. Daarnaast heeft de Adviesdienst Geo-informatie en ICT van Rijkswaterstaat (AGI) in de periode 1996-2001 hoogtemetingen uitgevoerd met behulp van airborne laseraltimetrie boven een gedeelte van de zuidwestkust van Texel.

Aan de hand van de ingewonnen laserdata zijn hoogteveranderingen waar te nemen die plaats hebben gevonden naar aanleiding van de uitgevoerde zandsuppleties. Hiervan zijn vervolgens de tijd, locatie en het volume te bepalen, opdat veranderingen in het landoppervlak in kaart gebracht kunnen worden.

Het onderzoek wordt uitgevoerd omdat er in Nederland weinig ervaring is met de verwerking van laserdata die ingewonnen zijn in een dynamisch gebied. Door middel van dit onderzoek kan de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de laseraltimetriedata worden getest. Afhankelijk van de resultaten kan laseraltimetrie in de toekomst op grotere schaal worden ingezet in dynamische gebieden zoals het Nederlandse kustgebied.

Het doel van het onderzoek is de bepaling van de tijd, locatie en het volume van zandsuppleties op de zuidwestkust van Texel. In dit rapport wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- *Hoe kan uit een tijdreeks van airborne laserdata de tijd, locatie en het volume van zandsuppleties bepaald worden?*
- *Wat is de kwaliteit van de verkregen resultaten en komen zij overeen met de daadwerkelijk uitgevoerde zandsuppleties?*

Op basis van de ingewonnen laserdata worden hoogteveranderingen gemodelleerd met behulp van het computerprogramma Matlab. Aan de hand van de waargenomen veranderingen kunnen zandsuppleties ontdekt worden en vervolgens kunnen hiervan de tijd, locatie en het volume bepaald worden.

De te analyseren dataset is door het AGI reeds voorbereid. De behaalde onderzoeksresultaten en de kwaliteit hiervan hangen hierdoor mede af van deze uitgevoerde bewerkingen.

Om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag wordt in hoofdstuk 2 allereerst ingegaan op de beleidsvoering inzake zandsuppleties als ook op de karakteristieken van de reeds uitgevoerde zandsuppleties. Vervolgens wordt inzicht gegeven in het project dat momenteel wordt uitgevoerd door de sectie MGP. Hierna wordt in hoofdstuk 3 de gehanteerde data-analysemethode besproken. In hoofdstuk 4 wordt antwoord gegeven op de vragen hoe de karakteristieken van de zandsuppletie bepaald kunnen worden en wat de kwaliteit van de onderzoeksresultaten is. Daarnaast worden in hoofdstuk 4 de behaalde onderzoeksresultaten vergeleken met de gegevens van de daadwerkelijk uitgevoerde zandsuppleties. Tenslotte worden in hoofdstuk 5 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

2 Achtergrondinformatie

In hoofdstuk 2 wordt enige achtergrondinformatie gegeven over zandsuppleties in het algemeen en de zandsuppleties uitgevoerd op Texel in het bijzonder. Daarnaast wordt ingegaan op het project dat is uitgevoerd door de sectie Mathematische Geodesie en Puntbepaling (MGP), afdeling Geodesie, TU Delft (Lindenbergh en Hanssen, 2003). In paragraaf 2.1 wordt zowel ingegaan op de beleidsvoering inzake zandsuppleties als ook op de karakteristieken van de reeds uitgevoerde zandsuppleties. Vervolgens worden in paragraaf 2.2 delen van het project besproken dat uitgevoerd is door de sectie MGP.

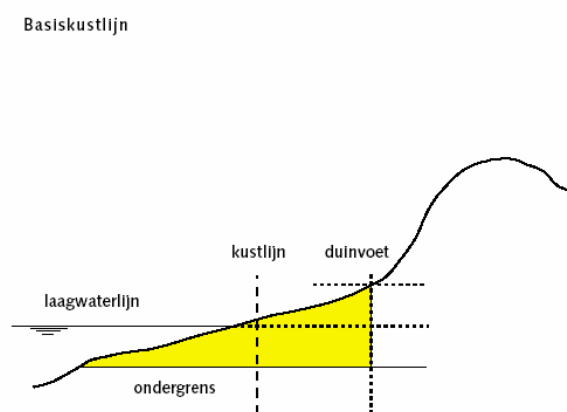
2.1 Zandsuppleties

In deze paragraaf wordt ingegaan op de beleidsvoering rondom en de uitvoering van zandsuppleties. Hiervoor is onder andere gebruikgemaakt van informatie uit de derde Kustnota van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Daarnaast is er informatie ingewonnen bij een medewerker van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (Spanhoff, 2003).

2.1.1 Overheidsbeleid

Het huidige beleid van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat is gericht op het 'dynamisch handhaven' van de Nederlandse kust. Dit beleid heeft tot doel de structurele achteruitgang van de kust (verschuiving van kustlijn en duinenrij landinwaarts) te voorkomen en zo Nederland te beschermen voor overstromingen. De kustlijn wordt voornamelijk op zijn plaats gehouden met behulp van zandsuppleties; hierdoor wordt voorkomen dat de duinen structureel smaller worden en natuurwaarden in het duingebied verloren gaan.

Een belangrijk instrument voor de uitvoering van het beleid is de basiskustlijn. Deze basiskustlijn komt overeen met de gemiddelde kustlijn in 1990. De ligging van de kustlijn is ongeveer gelijk aan de laagwaterlijn (zie figuur 2.1). Sinds 1990 worden alle veranderingen van de kustlijn ten opzichte van deze basiskustlijn in kaart gebracht. Op de plaatsen waar grote veranderingen hebben plaatsgevonden ten opzichte van de basiskustlijn, kunnen desgewenst suppleties worden uitgevoerd, zowel op het strand als onder water.

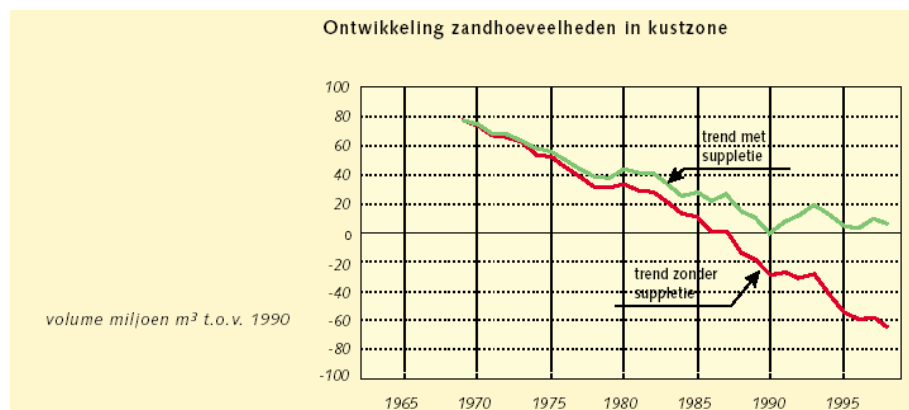


Figuur 2.1: Ligging kustlijn, basiskustlijn is de gemiddelde kustlijn in 1990

Als gevolg van de toenemende zeespiegelstijging (ca. 20 cm/eeuw) zijn meer en grotere suppleties nodig. De suppleties zijn nodig zowel om de huidige zandverliezen aan te vullen als ook om met de zee mee te groeien. De suppletiehoeveelheden zijn afhankelijk van de mate van zeespiegelstijging, echter de onzekerheidsmarge rondom de te suppleren hoeveelheden is groot. Momenteel wordt ongeveer 12 miljoen m³ zand per jaar gesuppleerd in Nederland (met een onzekerheidsmarge van +/-

50%), men verwacht dat deze hoeveelheid in 2050 zal zijn opgelopen tot ongeveer 19 miljoen m³ +/- 50%!

In figuur 2.2 is duidelijk zichtbaar hoe de zandhoeveelheden in de kustzone zich ontwikkelen zowel met als zonder uitvoering van suppleties.



Figuur 2.2: Ontwikkeling zandhoeveelheden in kustgebied Nederland

2.1.2 Locatie en grootte uitgevoerde suppleties op Texel

In de periode 1979-2002 zijn op Texel meerdere zandsuppleties uitgevoerd ter handhaving van de basiskustlijn (3^e Kustnota, 2003 en Spanhoff, 2003). Tabel 2.1 is opgesteld door het RIKZ; hierin is aangegeven welke hoeveelheden zand op welke locatie gesuppleerd moeten worden door uitvoerende instanties. De daadwerkelijke hoeveelheden gesuppleerd zand zijn alleen bekend bij de regionale uitvoerende instanties, helaas is het niet mogelijk gebleken deze gegevens in bezit te krijgen.

Tabel 2.1: Uitgevoerde zandsuppleties op Texel in periode 1979-2002

| Kustvak | Gebied | Begindatum | Einddatum | Begin RSP | Eind RSP | Soort suppletie | Hoeveelheid (m3) |
|---------|----------------|------------|-----------|-----------|----------|---------------------|------------------|
| Texel | Eierland | 09 1979 | 11 1979 | 25.6 | 31.2 | strandsuppletie | 3089668 |
| Texel | De Koog | 07 1984 | 12 1984 | 18.13 | 24 | strandsuppletie | 3021115 |
| Texel | Eierland | 06 1985 | 09 1985 | 25.4 | 30.4 | strandsuppletie | 2849721 |
| Texel | Eierland | 06 1990 | 11 1990 | 25.6 | 30.61 | strandsuppletie | 2543022 |
| Texel | De Koog | 04 1991 | 09 1991 | 18.13 | 23.4 | strandsuppletie | 2008898 |
| Texel | Texel-zuidwest | 04 1993 | 07 1993 | 12.1 | 18.13 | strandsuppletie | 2245231 |
| Texel | Texel-zuidwest | 04 1994 | 05 1994 | 9.3 | 12.1 | strandsuppletie | 761204 |
| Texel | Eierland | 05 1994 | 08 1994 | 25.4 | 28.2 | strandsuppletie | 1331225 |
| Texel | Eierland | 04 1995 | 05 1995 | 28.2 | 29.6 | strandsuppletie | 835000 |
| Texel | Eierland | 01 1995 | 12 1995 | 30 | 30.6 | strandsuppletie | 300000 |
| Texel | De Koog | 06 1996 | 08 1996 | 15.26 | 18.73 | strandsuppletie | 1490561 |
| Texel | De Koog | 06 1996 | 08 1996 | 22.11 | 23.4 | strandsuppletie | 493317 |
| Texel | Texel-zuidwest | 01 1997 | 12 1997 | 10.38 | 11.43 | strandsuppletie | 340038 |
| Texel | De Koog | 01 1997 | 12 1997 | 18.78 | 20.91 | strandsuppletie | 658846 |
| Texel | Eierland | 07 1999 | 10 1999 | 26 | 28.6 | strandsuppletie | 1219174 |
| Texel | Texel-noord | 07 2000 | 07 2000 | 25.5 | 27.8 | strandsuppletie | 883683 |
| Texel | Texel-zuid | 04 2000 | 06 2000 | 10.01 | 11.98 | strandsuppletie | 357020 |
| Texel | Texel-zuidwest | 04 2000 | 06 2000 | 12.98 | 16.44 | strandsuppletie | 701731 |
| Texel | De Koog | 04 2000 | 06 2000 | 17.03 | 18.33 | strandsuppletie | 245223 |
| Texel | De Koog | 01 2002 | 12 2002 | 17 | 23 | onderwatersuppletie | 5300000 |

RSP= Rijksstrandpaal

Slechts de suppleties uitgevoerd in het gebied Texel-zuidwest zijn relevant voor het onderzoek, dit is het kustgebied dat in het onderzoek centraal staat (zie figuur 2.3). Tevens zijn alleen de suppleties uitgevoerd tussen 1996 en 2001 van belang, aangezien in deze periode de laseraltimetriedata die

onderzoeksgebied ligt tussen de x-coördinaten 109700 en 110200 en tussen de y-coördinaten 562000 en 563000. Er is gekozen voor een betrekkelijk klein gebied, omdat er met grote hoeveelheden data gewerkt wordt en op deze wijze de rekentijd enigszins beperkt kan blijven.

Elke tijdreeks van hoogtedata bestaat uit een serie punten op dezelfde positie (x,y) waarvan de hoogte (z) in de opeenvolgende jaren verandert. Deze veranderingen kunnen twee verschillende oorzaken hebben: meet- en procesfouten of een daadwerkelijke verandering van het oppervlak. Het scheiden van beide genoemde oorzaken om zodoende iets te kunnen zeggen over de daadwerkelijke deformatie, beslaat een groot gedeelte van het onderzoek. Bij het detecteren van de deformatie moeten aannamen gedaan worden omtrent de veranderingen. Er moet immers vastgesteld worden vanaf welke hoogteverandering gesproken wordt over deformatie van het oppervlak.

Daarnaast moet voor de detectie van hoogteveranderingen en suppleties een model worden opgezet dat test of de hoogte verandert als functie van de tijd. In het project van MGP is een aantal toetsen genoemd dat uitgevoerd kan worden om te bepalen of de hoogte verandert. In het onderzoek beschreven in dit rapport is een aantal van deze tests toegepast. In hoofdstuk 3 wordt meer uitgebreid op deze tests ingegaan.

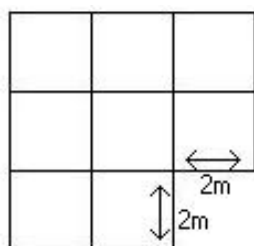
2.2.2 Beperkingen gebruikte data

De laseraltimetriedata waarmee gewerkt wordt, zijn afkomstig van de Adviesdienst Geo-informatie en ICT van Rijkswaterstaat (AGI). De AGI heeft de data na de inwinning enigszins voorbewerkt; de gegevens waarmee gewerkt wordt, zijn hierdoor niet origineel. Daarnaast zijn de data behept met fouten; zowel fouten als gevolg van het stochastische karakter van de waarnemingen, als ook systematische fouten ten gevolge van bijvoorbeeld een slechte calibratie van de laser. Dit betekent dat de Ausgangssituatie niet optimaal is en de data bewerkt moeten worden alvorens berekeningen uit te kunnen voeren. Hieronder zal een aantal van de nadelige eigenschappen van de data worden genoemd en daarbij zal verteld worden wat voor bewerkingen op de data zijn uitgevoerd zodat er toch volwaardig mee gewerkt kan worden.

In de periode van 1996 tot en met 2001 zijn met behulp van laseraltimetrie hoogtes bepaald op verschillende locaties. Om te kunnen bepalen of een punt in hoogte is veranderd, is het handig dat de ingewonnen hoogtes elk jaar op dezelfde posities zijn bepaald. Echter, dit is niet het geval met de AGI-resultaten.

Ten eerste zijn er niet elk jaar evenveel hoogtes bepaald, in 1998 is op ongeveer 300.000 posities gemeten terwijl in 2001 op 3.000.000 posities is gemeten, zo zijn ten tweede de hoogtes niet elk jaar op dezelfde positie bepaald; hoogtes zijn op willekeurige posities ingewonnen. Vergelijking van de hoogtes wordt hierdoor ingewikkeld.

Om toch een vergelijking te kunnen maken van de hoogtes in de verschillende jaren, om zodanig hoogteveranderingen te kunnen detecteren, is door MGP een grid opgesteld ter grootte van het gebied (1500 x 3000m), elke cel van het grid heeft een afmeting van 2 x 2m (zie figuur 2.4).



Figuur 2.4: Voorbeeld grid, gebruikt bij interpolatie hoogtedata

Op elk 'kruispunt' in het grid is via interpolatie van de ingewonnen data een hoogte bepaald. Hierdoor is voor elk jaar op dezelfde positie een hoogte bekend, opdat hoogteveranderingen kunnen worden bepaald. Deze gridvorming met behulp van interpolatie heeft echter als nadeel dat de nauwkeurigheid verslechtert, immers er wordt niet gewerkt met de originele data.

Om te kunnen bepalen wanneer een zekere verandering van de hoogte daadwerkelijk het gevolg is van een zandsuppletie, moeten enkele parameters worden gekozen. Zo moet er uit de data worden afgeleid wanneer een hoogteverandering wordt gezien als onnatuurlijke verandering en wanneer een hoogteverandering het gevolg is van meet- of procesfouten. Kortom, er moeten aannamen worden gedaan voor de toegestane variantie s^2 . De bepaling van deze parameter is in dit onderzoek tamelijk willekeurig, terwijl de parameter behoorlijke invloed op de berekening heeft. Door het vaststellen van de parameter voor onder andere de variantiefactor s^2 , wordt dan ook de kwaliteit van de resultaten beïnvloed. Op de bepaling van de variantiefactor wordt uitgebreid ingegaan in hoofdstuk 3.

2.2.3 Bepaling hoogteveranderingen met behulp van model

In het project van MGP is een aantal tests beschreven dat gebruikt kan worden om hoogtevariëaties op een positie te bepalen, die plaats hebben gevonden ten gevolge van bijvoorbeeld een zandsuppletie. De tests hebben twee duidelijke doelen, te weten het detecteren wat voor soort deformatie heeft plaatsgevonden en daarnaast het detecteren van de grootte van de deformatie.

Bij het uitvoeren van de tests is gebruik gemaakt van verschillende modellen, zoals een model dat test of een positie stabiel is of bijvoorbeeld een model dat test of een suppletie met grootte s is uitgevoerd. Deze modellen en bijbehorende tests worden in hoofdstuk 3 besproken, omdat deze ook gebruikt zijn in het uitgevoerde onderzoek.

3 Methode voor data-analyse

In hoofdstuk 3 wordt inzicht gegeven in de methodes die gebruikt zijn om de tijdreeksen van laseraltimetriedata te analyseren. Eerst wordt in paragraaf 3.1 de aanpak van het onderzoek beschreven. Vervolgens worden in paragraaf 3.2 de modellen besproken die gebruikt zijn in het onderzoek. In dit hoofdstuk is gebruik gemaakt van de boeken *'Adjustment Theory'* en *'Testing Theory'* (Teunissen, 2000).

3.1 Onderzoeksaanpak

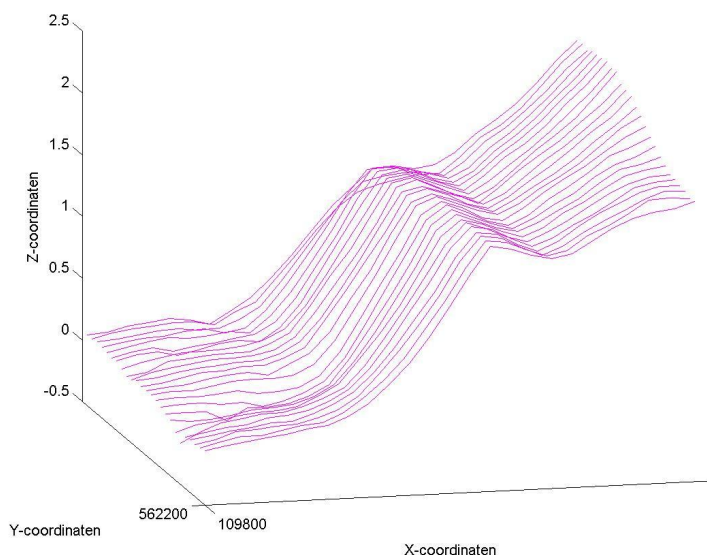
In deze paragraaf wordt beschreven welke stappen zijn genomen in het onderzoek. Het onderzoek kan opgedeeld worden in een aantal onderdelen, te weten:

- visualisatie van de data;
- bepaling gemiddelde hoogtes;
- uitvoering tests;
- bepaling volume zandsuppletie.

Deze onderdelen zullen nu afzonderlijk worden toegelicht.

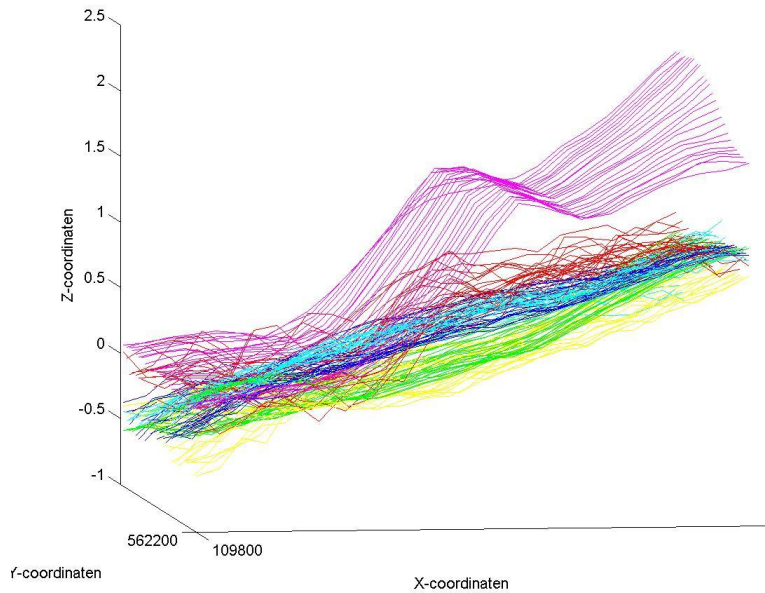
a. Visualisatie van de data

De visualisatie van de data is het meest omvangrijke onderdeel van het onderzoek. Om de laseraltimetriedata te kunnen visualiseren is een programma geschreven in Matlab. Na het schrijven hiervan is het mogelijk om de laseraltimetriedata van bijvoorbeeld het jaar 2000 in een grafiek weer te geven. Dit gebeurt met hoogteprofielen tussen posities met dezelfde y-coördinaat en veranderende x-coördinaten. De grootte van het weer te geven gebied is handmatig in te voeren. Een voorbeeld hiervan is het hoogtemodel van het jaar 2000, weergegeven in figuur 3.1.



Figuur 3.1: Hoogteprofiel 2000 ($x=109800-109850$, $y=562200-562250$)

Naast de weergave van een hoogtemodel per jaar, is het ook mogelijk om in één grafiek meerdere hoogtemodellen van opeenvolgende jaren weer te geven. Op deze wijze is vergelijking van de data 'met het blote oog' mogelijk. Zo laat figuur 3.2 zien dat tussen de meting in 1999 (lichtblauwe hoogteprofiel) en de meting in 2000 (paarse hoogteprofiel) een duidelijke hoogteverandering heeft plaatsgevonden. Deze verandering zou het gevolg kunnen zijn van een uitgevoerde zandsuppletie.

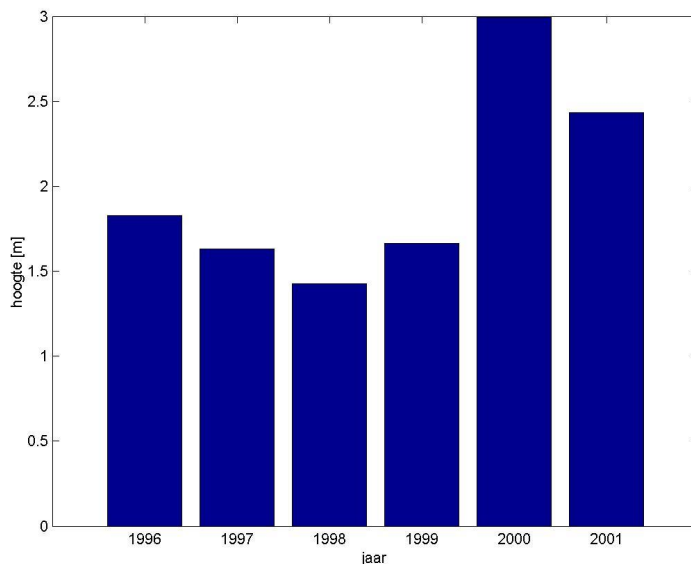


Figuur 3.2: Hoogteprofielen 1996-2001 ($x=109800-109850$, $y=562200-562250$)

b. Bepaling gemiddelde hoogte

Na visualisatie van de data, is getracht de gemiddelde hoogte van een bepaald gebied te berekenen. Het gebied van $500 \times 1000\text{m}$ is opgedeeld in vierkante blokjes van verschillende grootte, te weten $100 \times 100\text{m}$, $50 \times 50\text{m}$, $20 \times 20\text{m}$ en $10 \times 10\text{m}$. Door gebruik te maken van verschillende blokgroottes kan de nauwkeurigheid gekwalificeerd worden.

In het Matlabprogramma kan de blok grootte worden aangegeven en aansluitend wordt de gemiddelde hoogte in dat blok berekend. Hierbij is geen rekening gehouden met veranderingen binnen het blok. De gemiddelde hoogte in een blok komt beter overeen met de werkelijkheid naarmate de blok grootte kleiner wordt, echter de rekentijd neemt dan ook toe. De gemiddelde hoogtes per jaar worden in een histogram weergegeven, zoals te zien in figuur 3.3. Een grote verandering van de gemiddelde hoogte per jaar zou kunnen duiden op een uitgevoerde zandsuppletie. Op deze wijze kan een idee worden verkregen van het jaar waarin een zandsuppletie is uitgevoerd.



Figuur 3.3: Histogram gemiddelde hoogte op Texel 1996-2001 ($x=109950-110000$, $y=562650-562700$)

c. Uitvoering tests

In het onderzoek is gebruik gemaakt van modellen die statistisch bepalen of een zandsuppletie is uitgevoerd en/of de hoogte met constante snelheid is toe- of afgenomen. Deze modellen zijn geprogrammeerd in Matlab en daarna toegepast op de data verkregen na de bepaling van de gemiddelde hoogte. De modellen worden uitgebreid beschreven in paragraaf 3.2.

Gebruikmakend van de informatie over de uitgevoerde zandsuppleties op Texel (paragraaf 2.1.2) en uit de geprogrammeerde grafieken en histogrammen, zijn verschillende situaties te onderscheiden:

1. De hoogte van het blok met middelpunt (x,y) verandert niet.
2. De hoogte van het blok met middelpunt (x,y) verandert in jaar X vanwege suppletie s , vervolgens blijft de hoogte gelijk.
3. De hoogte van het blok met middelpunt (x,y) verandert met constante snelheid v .
4. De hoogte van het blok met middelpunt (x,y) verandert met constante snelheid v en verandert daarnaast ook in jaar X vanwege suppletie s .

De vier geschetste situaties zijn onderzocht met behulp van de in paragraaf 3.2 beschreven modellen en tests.

d. Bepaling volume zandsuppletie

Nadat deze tests zijn uitgevoerd, kan aangegeven worden in welk jaar een zandsuppletie heeft plaatsgevonden en op welke locatie. Vervolgens kan ook het volume van de zandsuppletie bepaald worden. Het volume van de zandsuppletie is afhankelijk van de afmetingen van het blok en van de grootte van suppletie s . Dit volume wordt uiteindelijk bepaald door de grootte van het blok te vermenigvuldigen met de grootte van suppletie s . Zodoende zal een zandsuppletie, bepaald in een blok met blok grootte $50 \times 50\text{m}$ en met $s = 1.0\text{m}$, een volume hebben van $50 \times 50 \times 1 = 2500\text{m}^3$.

Het totale volume van de zandsuppletie uitgevoerd in het gebied van $500 \times 1000\text{m}$ kan tenslotte vergeleken worden met de gegevens van het RIKZ.

3.2 Modellen ter bepaling van hoogteveranderingen

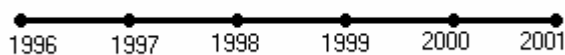
In deze paragraaf worden de modellen besproken die gebruikt zijn in het onderzoek ter bepaling van hoogteveranderingen. Achtereenvolgens zullen de modellen worden besproken behorende bij de vier verschillende situaties geschetst in paragraaf 3.1, te weten de stabiliteitstest (situatie 1), de eenmalige suppletietest (situatie 2), de constante snelheidstest (situatie 3) en de gecombineerde suppletie/constante snelheidstest (situatie 4). Bij de bepaling van de hoogteveranderingen wordt gebruik gemaakt van de kleinste kwadratenmethode.

3.2.1 Modellen gebruikt in onderzoek

In het onderzoek is uitgegaan van vier verschillende modellen die berekenen of de hoogte van een blok met bepaalde afmetingen veranderd is of niet. De modellen worden hieronder één voor één toegelicht.

Stabiliteitstest

De stabiliteitstest is de eenvoudigste test; het model test of een hoogte op een bepaalde positie (x,y) stabiel is gebleven in opeenvolgende jaren (t_1 t/m t_m), zie figuur 3.4.



Figuur 3.4: Model stabiliteitstest

In deze test is de hoogte h de enige parameter, h is de gemiddelde hoogte in een blok.

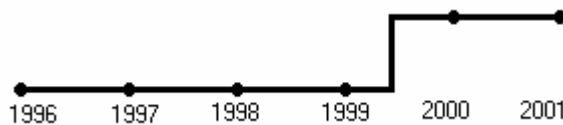
De vector van waarnemingen \underline{h} , de A-matrix en de vector van onbekenden \underline{x} , zien er als volgt uit:

$$\underline{h} = \begin{pmatrix} h_{t_1} \\ h_{t_2} \\ \mathbf{M} \\ h_{t_m} \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \mathbf{M} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \underline{x} = (h)$$

Als een hoogtewaarneming bijvoorbeeld veel afwijkt van de hoogtes in de andere jaren zal de test een negatieve uitkomst geven, de test wordt dan verworpen.

Eenmalige suppletietest

Een uitbreiding van de stabiliteitstest is de eenmalige suppletietest. De eenmalige suppletietest test of een suppletie met grootte s is uitgevoerd na tijdstip t_i maar vóór tijdstip t_{i+1} (zie figuur 3.5).



Figuur 3.5: Model eenmalige suppletietest

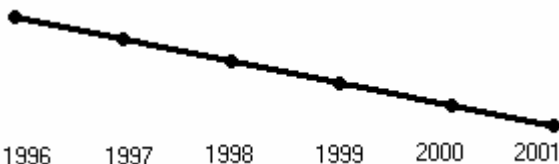
De parameter h is de gemiddelde hoogte in het blok vóór uitvoering van de suppletie, de parameter s geeft de extra hoogte weer die door de suppletie is veroorzaakt. De test ziet er in dit geval als volgt uit:

$$\underline{h} = \begin{pmatrix} h_{t_1} \\ \mathbf{M} \\ h_{t_i} \\ h_{t_{i+1}} \\ \mathbf{M} \\ h_{t_m} \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad \underline{x} = \begin{pmatrix} h \\ s \end{pmatrix}$$

De parameter s geeft de 'extra' hoogte weer die door de suppletie is veroorzaakt. Op het moment dat $s = 0$ is het model gelijk aan dat van de stabiliteitstest.

Constance snelheidtest

De constante snelheidstest test of de hoogte op positie (x,y) verandert met constante snelheid, door een lijn te trekken door de punten (t_i, h_{t_i}) . In het onderzoek is uitgegaan van een 'constante zakking', dus de hoogte neemt af naarmate de tijd vordert.



Figuur 3.6: Model constante snelheidstest

De test ziet er dan als volgt uit:

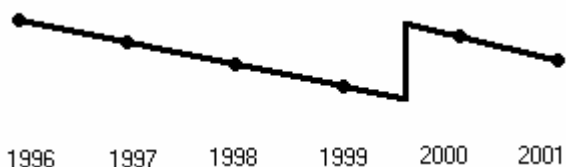
$$\underline{h} = \begin{pmatrix} h_{t_1} \\ h_{t_2} \\ \mathbf{M} \\ h_{t_m} \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} t_1 & 1 \\ t_2 & 1 \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ t_m & 1 \end{pmatrix}, \quad \underline{x} = \begin{pmatrix} v \\ h \end{pmatrix}$$

Bovenstaande test komt overeen met de natuurkundige vergelijking: $x(t) = v \cdot t + x(0)$

De parameter v geeft de toe- of afname van de hoogte per jaar weer, terwijl h de beginhoogte geeft. Op het moment dat $v = 0$ is de constante snelheidstest gelijk aan de stabiliteitstest.

Gecombineerde suppletie/constante snelheidstest

Deze gecombineerde test bekijkt of de hoogte op positie (x,y) verandert met constante snelheid en of daarnaast een suppletie s is uitgevoerd in jaar X .



Figuur 3.7: Model suppletie/constante snelheidstest

De onderstaande A-matrix geldt voor een situatie waarin een suppletie heeft plaatsgevonden na de metingen in 1999 en vóór de metingen in 2000. De vector van waarnemingen \underline{h} en de vector van onbekenden \underline{x} gelden echter voor elke situatie.

$$\underline{h} = \begin{pmatrix} h_{t_1} \\ h_{t_2} \\ \mathbf{M} \\ h_{t_m} \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 1 \\ 4 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad \underline{x} = \begin{pmatrix} v \\ h \\ s \end{pmatrix}$$

De parameter v geeft de helling van de lijn terwijl h de beginhoogte geeft, s geeft de grootte van de suppletie.

3.2.2 Uitvoering van tests

Bij de uitvoering van de tests beschreven in paragraaf 3.2.1 wordt gebruik gemaakt van de kleinste kwadraten methode. Voordat deze methode op de modellen kan worden toegepast, moet een aantal aannames worden gedaan ten aanzien van de variantiefactor s^2 en de onbetrouwbaarheidsdrempel a .

Aannames voor variantiefactor en onbetrouwbaarheidsdrempel

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 moet een aanname worden gedaan over de toegestane hoogteverandering per jaar als gevolg van systematische fouten (verkeerd afgesteld meetinstrument) of stochastische verschijnselen (meetruis). Voor deze variantiefactor s^2 is een grootte gekozen van $s^2 = 0.3m$. Deze aanname is gebaseerd op het project uitgevoerd door de sectie MGP (Lindenbergh en Hansen, 2003). De variantiefactor geldt als de test wordt uitgevoerd in één gridpunt. In dit onderzoek is de test echter uitgevoerd over meerdere gridpunten, bijvoorbeeld in een blok van 20x20m. In dit geval wordt de variantiefactor, na toepassing van de voortplantingswet, $s^2 = s^2/n = 0.3/n$. Hierin is n het aantal gridpunten in het blok.

De keuze van de onbetrouwbaarheidsdrempel $a = 0.005$ is gebaseerd op voorgaande onderzoeken. De bepaling van de kritieke waarde k_a is afhankelijk van het aantal $m-n$ vrijheidsgraden en de gewenste onbetrouwbaarheidsdrempel a . In dit onderzoek is gekozen voor een onbetrouwbaarheidsdrempel $a = 0.005$, via de c^2 -verdeling volgt dan dat $k_a = 16.7496$ als $q = m - n = 1$.

Toepassing kleinste kwadratenmethode

Nadat de aannames gedaan zijn, kunnen de tests worden uitgevoerd. Hierbij worden de A-matrices gebruikt die beschreven zijn in paragraaf 3.2.1, deze zijn dus verschillend per test. Achtereenvolgens worden, gebruikmakend van de kleinste kwadraten methode, in een test de volgende berekeningen uitgevoerd:

$\hat{\underline{x}} = (A^* Q_h^{-1} A)^{-1} A^* Q_h^{-1} \underline{h}$; de parameter $\hat{\underline{x}}$ geeft de geschatte waarde van de vector \underline{x} , deze vector bevat bijvoorbeeld de variabelen hoogte h en suppletiegrootte s .

$\hat{h} = A \hat{\underline{x}}$; de geschatte hoogtes \hat{h} van het blok in de jaren t_1 t/m t_m .

$\hat{\underline{e}} = \underline{h} - \hat{h}$; de parameter $\hat{\underline{e}}$ geeft het verschil tussen de geschatte hoogtes in de jaren t_1 t/m t_m en de waargenomen hoogtes.

$T_{q=m-n} = \hat{\underline{e}}^* Q_h^{-1} \hat{\underline{e}}$; aan de hand van de toetsgroottheid $T_{q=m-n}$ wordt bekeken of een model voldoet aan de werkelijke situatie.

$T_{q=m-n}/k_a$; deze verhouding wordt het toetsquotiënt genoemd.

De uitkomst van de berekeningen is de verhouding $T_{q=m-n}/k_a$. Als dit toetsquotiënt kleiner of gelijk aan 1 is, wordt de toets aanvaard. Dit betekent in het geval van de stabiliteitstest dat de positie (x,y) stabiel is gedurende de periode 1996-2001, er heeft in die periode dus geen suppletie plaatsgevonden. In het geval dat $T_{q=m-n}/k_a$ groter is dan 1, wordt de toets verworpen.

De vergelijking van de toetsquotiënten van de verschillende tests gebeurt tegelijkertijd. Van alle tests wordt de toetsquotiënt bepaald, deze toetsquotiënten worden met elkaar vergeleken. De test met de kleinste toetsquotiënt wordt vervolgens geaccepteerd, mits deze kleiner of gelijk is aan 1. Als alle toetsquotiënten groter zijn dan 1, wordt geen enkele test geaccepteerd en zal verder onderzoek moeten plaatsvinden.

In appendix A en B zijn de testprocedures, zoals deze zijn geprogrammeerd in Matlab, terug te vinden. Het programma in appendix A test op stabiliteit, eenmalige suppletie en constante snelheid. Hierop test het programma in appendix B ook, maar dat test daarnaast ook op eenmalige suppletie gecombineerd met constante snelheid. In tabel 3.1 is weergegeven welke tests in de twee programma's worden uitgevoerd.

Tabel 3.1: Tests uitgevoerd per programma

| Beschreven tests | Programma A | Programma B |
|------------------|--|--|
| | stabiliteit eenmalige suppletie constante snelheid | stabiliteit eenmalige suppletie constante snelheid eenmalige suppletie/constante snelheid |

4 Onderzoeksresultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken die zijn behaald in het onderzoek. In paragraaf 4.1 wordt gesproken over de gemodelleerde zandsuppletie. In paragraaf 4.2 wordt vervolgens ingegaan op de kwaliteit van de resultaten. Tenslotte worden de resultaten in de derde paragraaf vergeleken met de informatie van het RIKZ over de uitgevoerde zandsuppleties, zoals vermeld in hoofdstuk 2.

4.1 Karakterisering zandsuppletie

In deze paragraaf worden de resultaten besproken die betrekking hebben op de zandsuppletie die in dit onderzoek in kaart is gebracht. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de tijd waarop de zandsuppletie is uitgevoerd (paragraaf 4.1.1), de locatie van de zandsuppletie (paragraaf 4.1.2) en het volume van de zandsuppletie (paragraaf 4.1.3).

4.1.1 Tijd

Bij aanvang van het onderzoek was al snel duidelijk dat er waarschijnlijk alleen een suppletie is uitgevoerd na de meting in 1999 en voor de meting in 2000. Voor het gemak is aangenomen dat deze suppletie is uitgevoerd in 1999. Bovenstaande kon opgemaakt worden uit de gegevens van het RIKZ over de uitvoering van de suppleties en de gestorte hoeveelheden zand in deze periode. Om zekerheid te krijgen over het jaar waarin de suppletie heeft plaats gevonden, is een test uitgevoerd.

Voor de jaren 1996-2000 is programma A doorlopen dat test op zowel stabiliteit, als eenmalige suppletie, als constante snelheid (zie tabel 3.1). Hierbij is ervan uitgegaan dat achtereenvolgens in 1996, 1997, 1998, 1999 en 2000 een suppletie is uitgevoerd. Bovendien is uitgegaan van een blokgrootte van 50 x 50m en $a = 0.005$. Een van de uitkomsten die het programma geeft, is het volume van een ontdekte suppletie, deze resultaten staan in tabel 4.1.

Tabel 4.1: Volume zandsuppletie per jaar

| Jaar van suppletie | Volume van suppletie [m ³] |
|--------------------|--|
| 1996 | 26470 |
| 1997 | 13448 |
| 1998 | 12316 |
| 1999 | 52142 |
| 2000 | 0 |

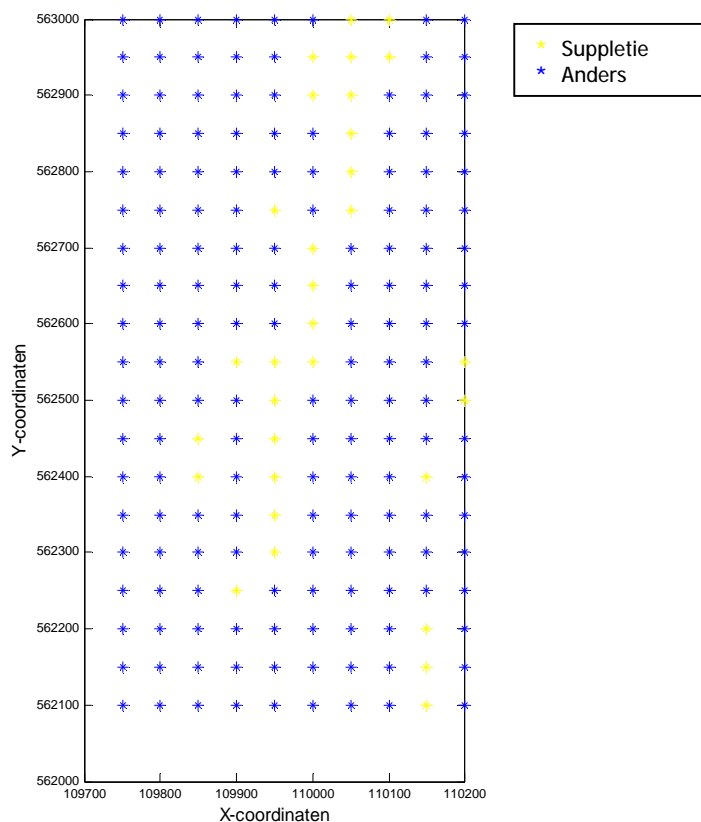
Uit tabel 4.1 blijkt duidelijk dat de hoeveelheden gesuppleerd zand in 1996, 1997, 1998 en 2000 veel kleiner zijn dan in 1999. Hieruit kan opgemaakt worden dat in 1999 een suppletie is uitgevoerd, terwijl in de andere jaren sprake is geweest van natuurlijke aanvoer van zand.

4.1.2 Locatie

De bepaling van de locatie van de zandsuppletie is gedaan aan de hand van verschillende blokgroottes: 100 x 100m, 50 x 50m, 20 x 20m en 10 x 10m. Hoe kleiner de blokgrootte, des te nauwkeuriger de locatie van de in 1999 uitgevoerde zandsuppletie te bepalen is. Echter, een kleine blokgrootte heeft als nadeel dat de rekentijd erg lang wordt. Daarom is de locatie alleen bepaald met een blokgrootte van 10 x 10m in de tests die hoogstwaarschijnlijk het beste bij de werkelijkheid passen.

Uiteindelijk is gebleken dat het resultaat van programma B, dat tegelijkertijd test op stabiliteit, eenmalige suppletie, constante snelheid en gecombineerde suppletie/constante snelheid (met een suppletie in 1999), het meest nauwkeurig is. Door het toevoegen van de gecombineerde suppletie/constante snelheidtest aan het programma, wordt rekening gehouden met de natuurlijke afslag van zand en daarnaast ook met een mogelijk uitgevoerde zandsuppletie. Kortom, programma B sluit het beste aan bij de natuurlijke situatie. Een overzicht van de resultaten van alle uitgevoerde tests is terug te vinden in appendix C.

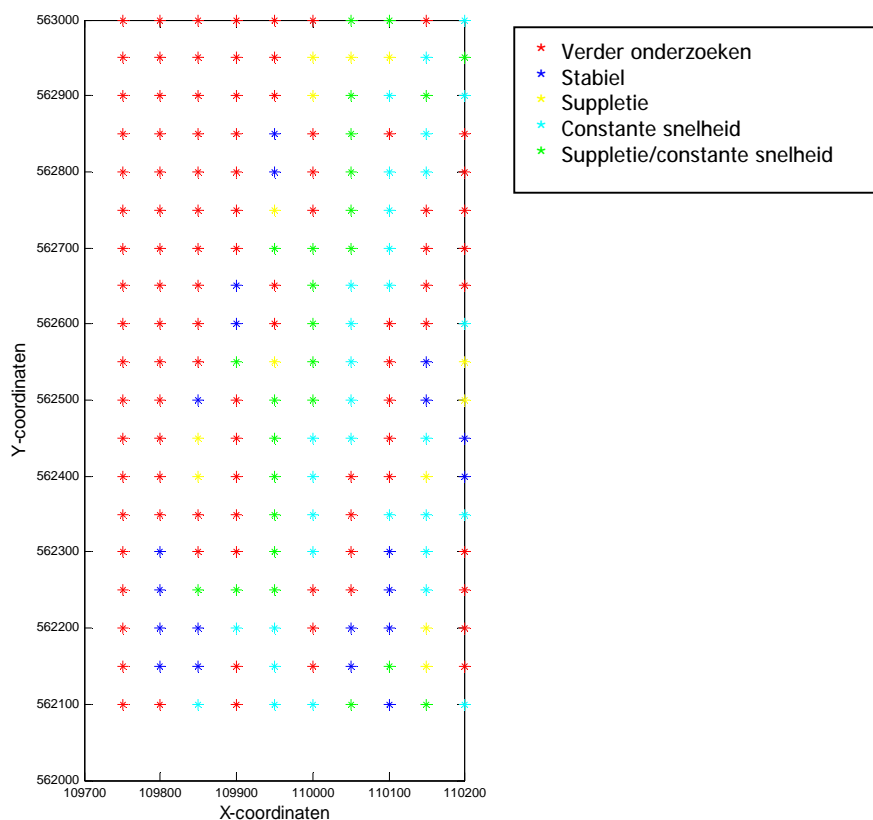
In figuur 4.1 is aangegeven op welke posities zand is gesuppleerd en op welke posities niet. Deze figuur is het resultaat van programma A met de parameters $a = 0.005$ en met een blok grootte van 50 x 50m.



Figuur 4.1: Resultaat programma A, blok 50 x 50m

In figuur 4.2 is aangegeven welke veranderingen op de verschillende posities hebben plaatsgevonden. Zo kan een positie een deformatie hebben ondergaan (ten gevolge van een zandsuppletie) maar is het ook mogelijk dat de positie stabiel is gebleven. Figuur 4.2 is het resultaat van programma B, waarbij getest is met $a = 0.005$ en met een blok grootte van 50 x 50m.

In de figuren 4.1 en 4.2 is geen rekening gehouden met de daadwerkelijke topografische ligging. Zoals is op te maken uit figuur 2.3 bevinden zich in het onderzoeksgebied duinen. Veranderingen die in het duingebied ontdekt worden, zijn hoogstwaarschijnlijk niet het gevolg van een uitgevoerde suppletie. Echter, in figuur 4.1 zijn in het gebied waar deze duinen zich bevinden (rechtsonder in de figuur) wel suppleties aangegeven. Voor deze situatie zou in een verder onderzoek een correctie kunnen worden uitgevoerd.



Figuur 4.2: Resultaat programma B, blok 50 x 50m

4.1.3 Volume

De bepaling van het volume van de zandsuppletie hangt af van de resultaten van twee tests, te weten de suppletietest en de gecombineerde suppletie/constante snelheidtest. In deze tests wordt getoetst of een suppletie is uitgevoerd; als een suppletie wordt ontdekt, wordt vervolgens het volume van het blok met de suppletie berekend.

Aangezien programma A niet test op de combinatie suppletie/constante snelheid terwijl programma B dit wel doet, leveren beide programma's verschillende resultaten op wat betreft het volume van de zandsuppletie. Dit is duidelijk waarneembaar in tabel 4.2, in deze tabel staan de resultaten van de programma's A en B bij wisselende blokgroottes en onbetrouwbaarheidsdrempels.

Tabel 4.2: Volume zandsuppletie bij verschillende blokgroottes

| | Onbetrouwbaarheids-drempel | Volume [m ³] Blokgrootte 100x100m | Volume [m ³] Blokgrootte 50x50m | Volume [m ³] Blokgrootte 20x20m | Volume [m ³] Blokgrootte 10x10m |
|-------------|----------------------------|---|---|---|---|
| Programma A | $a = 0.005$ | 35949 | 52142 | 68105 | 76310 |
| Programma B | $a = 0.005$ | 39843 | 65699 | 85359 | 114493 |
| Programma A | $a = 0.05$ | 29379 | 37493 | 60719 | 70343 |
| Programma B | $a = 0.05$ | 47073 | 49692 | 85207 | 103624 |

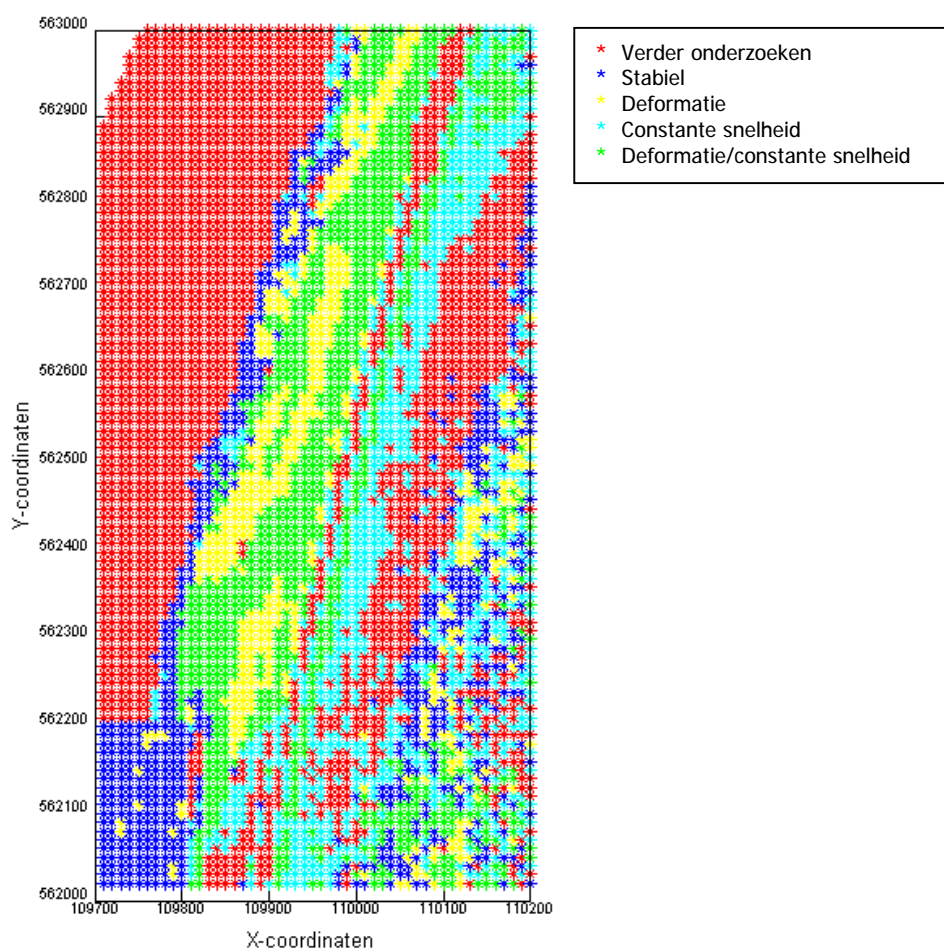
Uit tabel 4.2 blijkt dat bij een afnemende blokgrootte het volume [m³] toeneemt. Hieruit volgt de verwachting dat het volume van de zandsuppletie het nauwkeurigste te bepalen is bij een blokgrootte van 10 x 10m. In een volgend onderzoek zou kunnen worden gekeken naar het volume van de zandsuppletie bij nog kleinere blokken van bijvoorbeeld 5 x 5m of 2 x 2m, vanwege de lange rekentijd is hier in dit onderzoek niet naar gekeken.

Tevens wordt een onbetrouwbaarheidsdrempel $a = 0.005$ geprefereerd boven $a = 0.05$ omdat de eerste parameter minder variatie in de waarnemingen toestaat. In tabel 4.2 is het verschil tussen beide parameters duidelijk waarneembaar.

Uit bovenstaande kan worden opgemaakt dat de tweede rij uit tabel 4.2 de beste resultaten geeft. Ik ga er dan ook van uit dat het volume van de zandsuppletie uitgevoerd in 1999 gelijk is aan 114493 m^3 .

In figuur 4.3 is het belangrijkste resultaat van dit onderzoek weergegeven. De figuur toont het resultaat van programma B, uitgevoerd voor $a = 0.005$ en met een blokgrootte van $10 \times 10 \text{ m}$. Zoals eerder vermeld, sluit deze combinatie het beste aan bij de natuurlijke situatie en geeft zij de nauwkeurigste resultaten.

De verschillende kleuren in de figuur geven weer welk model het beste past bij de situatie op die positie (x,y) . In rood zijn de posities weergegeven waar verder onderzoek moet plaatsvinden. Op deze posities is geen van de modellen van toepassing of zijn 'negatieve suppleties' ontdekt. Dit betekent dat een 'suppletie' met negatieve grootte s is ontdekt op die locaties. Deze 'suppleties' zijn hoogstwaarschijnlijk het gevolg van afslag door de zee, verder onderzoek zou hier meer duidelijkheid in kunnen verschaffen.



Figuur 4.3: Resultaat programma B, blok $10 \times 10 \text{ m}$

4.2 Kwaliteit van resultaten

De kwaliteit van de resultaten is afhankelijk van twee zaken, te weten:

- variantiefactor s^2 ;
- onbetrouwbaarheidsdrempel a .

Echter, aan het einde van het onderzoek is ontdekt dat er een fout zit in de geprogrammeerde berekeningen in Matlab, die te maken heeft met de variantiefactor. Daarom wordt eerst aandacht

geschonken aan deze fout, vervolgens worden de variantiefactor en de onbetrouwbaarheidsdrempel besproken.

Fout in berekeningen

In het onderzoek zijn twee fouten gemaakt, beide zijn vooral van invloed op de variantiefactor s^2 . De eerste fout heeft te maken met de berekeningen in Matlab. Tijdens het programmeren is de verkeerde grootte gebruikt, de standaarddeviatie s in plaats van de variantiefactor s^2 .

De tweede fout is gemaakt door de voortplantingswet voor varianties toe te passen. Echter, deze wet mag alleen toegepast worden op data waarvan verwacht wordt dat deze stabiel zijn in de tijd. Aangezien dit niet het geval is met de onderzochte dataset, de data bevat veel systematische fouten, is het niet geoorloofd de voortplantingswet toe te passen op de variantie. Er mag dus niet gerekend worden met een variantie s^2/n , maar er moet gerekend worden met s^2 waarvoor in dit onderzoek geldt: $s^2 = 0.3$.

De combinatie van beide fouten heeft er toe geleid dat in het onderzoek gerekend is met een variantie $\sqrt{s^2/n}$ in plaats van een variantie s^2 . Wat dit betekent voor de resultaten zal hierna worden toegelicht.

Variantiefactor

Voor de variantiefactor is beïnvloed door de fouten die gemaakt zijn in het onderzoek. In tabel 4.3 is weergegeven wat de invloed van de gemaakte fouten is op de varianties bij verschillende blokgroottes.

Tabel 4.3: Grootte van variantie bij verschillende blokgruotte

| Variantie | Blokgruotte 100x100m (n=2500) | Blokgruotte 50x50m (n=625) | Blokgruotte 20x20m (n=100) | Blokgruotte 10x10m (n=25) |
|----------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| s^2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| $\sqrt{s^2/n}$ | 0.011 | 0.022 | 0.055 | 0.11 |
| s^2/n | 0.00012 | 0.00048 | 0.003 | 0.012 |

Uit tabel 4.3 blijkt dat de blokgruotte en bijbehorend aantal gridpunten n een erg grote invloed hebben op de variantie die in de toets gebruikt wordt. Vooral de variantie waarop de voortplantingswet is toegepast is vele malen kleiner dan de originele, te gebruiken variantie. Deze wordt daarnaast ook nog kleiner naar mate n toeneemt, dit kan een extra reden voor de afname van het volume bij grotere blokgruottes.

Het verschil tussen de standaarddeviatie waarop de voortplantingswet is toegepast en de originele variantie is minder groot. Daardoor is het toch mogelijk geweest om de resultaten te behalen zoals weergegeven in de figuren 4.1, 4.2 en 4.3. Desalniettemin komen deze resultaten hoogstwaarschijnlijk niet overeen met de resultaten die behaald zouden zijn met de originele variantie $s^2 = 0.3$; immers, bij een kleiner wordende variantie wordt de toetsgruotte $T_{q=m-n}$ groter. Hierdoor kan minder snel worden voldaan aan de eis $T_{q=m-n}/k_a \leq 1$ en dus wordt de toets minder snel aanvaard. De toets zoals deze is uitgevoerd in dit onderzoek is dan ook te streng geweest, vergeleken met een toets die zou zijn uitgevoerd met de originele variantie $s^2 = 0.3$. Overigens wordt verwacht dat de werkelijke resultaten niet veel zullen afwijken van de resultaten zoals deze zijn vermeld in dit onderzoek. Zoals uit bovenstaande blijkt, zijn de resultaten van het onderzoek sterk beïnvloed door de variantiefactor s^2 . Vanwege de gemaakte fouten is ook de kwaliteit van deze resultaten ver onder de maat.

Onbetrouwbaarheidsdrempel

Naast de variantiefactor s^2 , speelt ook de onbetrouwbaarheidsdrempel a een belangrijke rol in de kwaliteit van de resultaten. De onbetrouwbaarheidsdrempel bepaalt, samen met het aantal vrijheidsgraden, de kritieke waarde k_a waarvoor een test al dan niet wordt geaccepteerd. Zo behoort

bij een onbetrouwbaarheidsdrempel $\alpha = 0.005$ en aantal vrijheidsgraden $q = m - n = 5$, een kritieke waarde $k_\alpha = 16.7496$. En als $\alpha = 0.05$, $q = 5$, kritieke waarde $k_\alpha = 11.0705$.

Hoe kleiner de kritieke waarde, des te groter de verhouding $T_{q=m-n}/k_\alpha$. En hoe groter deze verhouding, des te sneller een toets wordt geaccepteerd. Echter, de toets moet niet te snel worden geaccepteerd, dit gaat immers ten koste van de nauwkeurigheid. Dit betekent dat de verhouding $T_{q=m-n}/k_\alpha$ voldoende klein moet zijn. De resultaten zullen dan ook beter zijn wanneer wordt uitgegaan van een onbetrouwbaarheidsdrempel $\alpha = 0.005$ dan wanneer wordt gekozen voor een onbetrouwbaarheidsdrempel $\alpha = 0.05$.

4.3 Vergelijking met RIKZ gegevens

Het laatste onderdeel van het onderzoek beslaat de vergelijking van de onderzoeksresultaten met de suppletie gegevens van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). De suppletie gegevens van het RIKZ die van toepassing zijn op dit onderzoek, staan in tabel 4.4. Deze tabel is een uitsnede van tabel 2.1.

Tabel 4.4: Uitgevoerde suppletie op onderzoekslocatie

| Kustvak | Gebied | Begindatum | | Einddatum | | Begin RSP | Eind RSP | Soort suppletie | Hoeveelheid (m ³) |
|---------|----------------|------------|------|-----------|------|-----------|----------|-----------------|-------------------------------|
| Texel | Texel-zuidwest | 04 | 2000 | 06 | 2000 | 12.98 | 16.44 | strandsuppletie | 701731 |

RSP= Rijksstrandpaal

Uit tabel 4.4 blijkt dat begin 2000 een zandsuppletie is uitgevoerd met een volume van 701731 m³. Deze zandsuppletie is dezelfde als de in het onderzoek ontdekte suppletie. In het onderzoek is vastgesteld dat de suppletie tussen de metingen in 1999 en 2000 is uitgevoerd, er is aangenomen dat dit in 1999 is gebeurd. Echter nu blijkt dat de suppletie pas in 2000 is uitgevoerd, maar wel voorafgaand aan de metingen van 2000.

Het volume zoals bepaald in het onderzoek is 114493 m³, dit is een stuk minder dan het volume vermeld in tabel 4.4. Een verklaring hiervoor is dat het volume vermeld in tabel 4.4 van toepassing is op het gebied tussen de rijksstrandpalen 12.98 en 16.44, dit komt overeen met een gebied met een lengte van 3.5 km. Het onderzoeksgebied ligt daarentegen ongeveer tussen de rijksstrandpalen 12.89 en 13.92, een gebied met een lengte van 1 km. Het onderzoeksgebied is dus 2/7 deel van het gebied in tabel 4.4. Er van uitgaande dat de hoeveelheid gesuppleerd zand evenredig verdeeld is over de lengte van het gebied, is de hoeveelheid zand in het onderzoeksgebied 2/7 deel van het volume uit tabel 4.4: $2/7 * 701731 = 200495$ m³.

De hoeveelheid zand die is bepaald uit de RIKZ-gegevens, is nog steeds veel groter dan de berekende hoeveelheid. Voor het verschil tussen het berekende volume van de zandsuppletie en de RIKZ-gegevens kunnen de volgende, mogelijke, oorzaken worden genoemd:

1. De datum van meting is niet exact bekend. Het is onduidelijk hoeveel tijd er tussen de uitvoering van de suppletie en de hoogtemeting zit. In de tussenliggende tijd kan een gedeelte van het opgespoten zand afgeslagen zijn waardoor de hoogte is afgenomen.
2. De hoeveelheid zand genoemd in tabel 4.4 is slechts een indicatie van het RIKZ. De uiteindelijke suppletie is uitgevoerd door regionale instanties en niet door het RIKZ. De gegevens van de uitgevoerde suppletie zijn niet bekend bij het RIKZ en het is dan ook mogelijk dat er verschil zit tussen de door het RIKZ geschatte hoeveelheid zand en de opgespoten hoeveelheid zand.
3. De aanname dat de hoeveelheid zand gelijkmatig over het strand verdeeld is, is onjuist. In dat geval is het mogelijk dat er in het onderzoeksgebied minder zand is gesuppleerd dan in de rest van het gebied.
4. De gebruikte blokgroottes zijn niet optimaal. Omdat het volume toeneemt bij afnemende blok grootte (zie paragraaf 4.1.3), is het mogelijk dat bij een blok grootte van 5 x 5m (of kleiner) het volume nog verder toeneemt. Het verschil tussen beide volumes zal dan ook kleiner worden.
5. Zoals in paragraaf 4.2 is genoemd, is de uitgevoerde toets te streng vanwege de te kleine waarde van s^2 . Het is mogelijk dat hierdoor sommige suppleties niet zijn ontdekt en dat als gevolg het totale volume kleiner is dan in de werkelijkheid.

5 Conclusies en aanbevelingen

Naar aanleiding van het onderzoek kunnen enkele conclusies worden getrokken en aanbevelingen worden gedaan voor verder onderzoek. In paragraaf 5.1 komen de conclusies ter sprake en in paragraaf 5.2 komen de aanbevelingen aan bod.

5.1 Conclusies

In het onderzoek is geprobeerd antwoord te krijgen op de volgende twee vragen:

1. *Hoe kan uit een tijdreeks van airborne laserdata de tijd, locatie en het volume van zandsuppleties bepaald worden?*
2. *Wat is de kwaliteit van de verkregen resultaten en komen zij overeen met de daadwerkelijk uitgevoerde zandsuppleties?*

In paragraaf 5.1.1 worden conclusies getrokken ten aanzien van de eerstgenoemde vraag, in paragraaf 5.1.2 staat de tweede vraag centraal.

5.1.1 Bepaling van tijd, locatie en volume

Naar aanleiding van de eerste hoofdvraag kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het *tijdstip* waarop een suppletie is uitgevoerd, is betrekkelijk eenvoudig vast te stellen. Hierbij kan zowel gebruik gemaakt worden van gegevens van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) als van de onderzoeksresultaten. Uit deze gegevens komt snel naar voren in welk periode een suppletie is uitgevoerd. Echter, het bepalen van de precieze datum van de suppletie aan de hand van de laseraltimetriedata is vrijwel onmogelijk; hiervoor zijn te weinig gegevens bekend.
- De bepaling van de *locatie* en het *volume* van de zandsuppletie is niet eenduidig. De geschatte locatie en het geschatte volume zijn afhankelijk van verschillende aannamen, zoals de keuze voor de variantiefactor s^2 en de blok grootte.
- De situatie in het kustgebied is moeilijk in een model te vatten. De in het onderzoek gebruikte modellen zijn slechts abstracties van de werkelijkheid. Hierdoor zijn de berekende locatie en het volume, benaderingen van de werkelijke situatie. Zodra natuurlijke processen op een goed gelijkende wijze gemodelleerd kunnen worden, zijn de locatie en het volume van de zandsuppletie met meer zekerheid te bepalen.
- In het onderzoek is geen rekening gehouden met de topografische situatie in het gebied, zoals de ligging van de duinen. Hierdoor wordt aan sommige posities een verkeerd model toegekend. Het volume wordt dus nauwkeuriger bepaald als met de topografie van het gebied rekening gehouden wordt.
- Er is gebleken dat de locatie en het volume nauwkeuriger bepaald kunnen worden naarmate de blok grootte afneemt. Bij een blok grootte van 10 x 10m zijn de locatie en het volume nauwkeuriger vast te stellen dan bij een blok grootte van 100 x 100m. Tegelijkertijd kan gesteld worden dat het volume toeneemt naarmate de blok grootte afneemt.

5.1.2 Kwaliteit van resultaten en vergelijking met RIKZ gegevens

Naar aanleiding van de tweede hoofdvraag kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De kwaliteit van de resultaten laat te wensen over, omdat deze in grote mate afhankelijk is van de gekozen blok grootte. Met een grote blok grootte kunnen minder nauwkeurige resultaten worden behaald dan met een kleine blok grootte.
- Het toepassen van de voortplantingswet der varianties is in dit onderzoek niet mogelijk. In de laseraltimetrie data zitten veel systematische fouten en daarom mag de voortplantingswet niet worden toegepast op de dataset.
- Het berekende volume van de uitgevoerde zandsuppletie komt niet overeen met de gegevens van het RIKZ. Hieraan kunnen verschillende oorzaken ten grondslag liggen, zoals:
 - In de tijd tussen uitvoering en meting is veel zand afgeslagen.
 - De gesuppleerde hoeveelheid zand verschilt van de indicatie gegeven door het RIKZ.
 - De aanname dat de hoeveelheid zand gelijkmatig over het strand verdeeld is, is onjuist.
 - De gebruikte blok groottes zijn niet optimaal, een blok grootte van 5 x 5m levert waarschijnlijk een groter volume op.
 - De uitgevoerde toets is te streng vanwege een kleine waarde van de variantiefactor.

5.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Tijdens het onderzoek is een aantal zaken naar voren gekomen die voor verbetering vatbaar zijn. Aan de hand hiervan kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- De variantiefactor s^2 is gekozen naar aanleiding van het project van MGP. Echter, voor de onderzochte situatie is een andere variantiefactor misschien wel beter.
- Hoogteveranderingen binnen een blok zijn niet meegenomen; er is uitgegaan van een gemiddelde hoogte. Uitschieters worden hierdoor onderdrukt en geleidelijke overgangen worden over het hoofd gezien. Zo neemt de hoogte vanaf de zee langzaam toe richting de duinen. In een volgend onderzoek zou het verschil in hoogte binnen een blok meegenomen kunnen worden.
- De berekende suppletie wordt toegekend aan het gehele blok terwijl deze waarschijnlijk groter is dicht bij zee dan midden op het strand. Hierdoor wordt het berekende volume beïnvloed. In een vervolgonderzoek zou dit verschil meegenomen kunnen worden.
- Tijdens het onderzoek zijn veel 'negatieve suppleties' ontdekt. Deze suppleties zijn hoogstwaarschijnlijk het gevolg van afslag door de zee. Door deze negatieve suppleties in kaart te brengen zou meer duidelijkheid kunnen worden verkregen over de natuurlijke beweging van het zand in het kuststelsel.
- Er zijn suppleties waargenomen in het duingebied. Dit is onwaarschijnlijk aangezien zandsuppleties enkel worden uitgevoerd op het strand of op de onderwateroever. Daarom zouden deze suppleties uit het resultaat gefilterd moeten worden.

Literatuurlijst

3^e Kustnota: Traditie, Trends en Toekomst. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2000.

Kustlijnkaarten 2003. Den Haag: Rijksinstituut voor Kust en Zee, 2003.

Lindenbergh, R.C., en R. Hanssen, *Eolian deformation detection and modeling using airborne laser altimetry*. In: *2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. cd-rom. Toulouse, 2003, p. 1-4.

Spanhoff, R., Persoonlijke mededeling. 22 oktober 2003.

Teunissen, P.J.G., *Adjustment Theory; an introduction, 1st ed.* Delft: Delft University Press, 2000.

Teunissen, P.J.G., *Testing Theory; an introduction, 1st ed.* Delft: Delft University Press, 2000.


```

        y=y1998;
        z=z1998;
    else
        if filenumber==1999
            x=x1999;
            y=y1999;
            z=z1999;
        else
            if filenumber==2000
                x=x2000;
                y=y2000;
                z=z2000;
            else
                if filenumber==2001
                    x=x2001;
                    y=y2001;
                    z=z2001;
                end
            end
        end
    end
end
end
end
AbsXPointStart=109700+blockindexinxdirection*blokgrootte;
AbsXPointEnd=AbsXPointStart+(blokgrootte-2);
AbsYPointEnd=562000+blockindexinydirection*blokgrootte;
AbsYPointStart=AbsYPointEnd+(blokgrootte-2);
x1=[];
y1=[];
z1=[];
count1=1;
while y(count1)~=AbsYPointStart
    count1=count1+1;
end
while x(count1)~=AbsXPointStart
    count1=count1+1;
end
NumberXCoordinates=(AbsXPointEnd-AbsXPointStart)/2+1;
NumberYCoordinates=(AbsYPointStart-AbsYPointEnd)/2+1;
RecordNew=0;
for YPoint=1:NumberYCoordinates
    LastRecord1=count1+NumberXCoordinates;
    LastRecord2=LastRecord1-1;
    for RecordOld=count1:LastRecord2
        RecordNew=RecordNew+1;
        x1(RecordNew)=x(RecordOld);
        y1(RecordNew)=y(RecordOld);
        z1(RecordNew)=z(RecordOld);
    end
    while y(RecordOld+1)==y(RecordOld)
        RecordOld=RecordOld+1;
    end
    while x(RecordOld)~=AbsXPointStart
        RecordOld=RecordOld+1;
    end
    RecordNew=RecordNew+1;
    x1(RecordNew)=NaN;
    y1(RecordNew)=NaN;
    z1(RecordNew)=NaN;
    count1=RecordOld;
end

if filenumber==1996
    %plot3(x1,y1,z1,'r');
    A1996=[x1; y1; z1].';
    hoogte=0;
    count2=0;
    for i=1:length(z1);
        for j=3;
            if isnan(A1996(i,j))==0;
                hoogte=hoogte+A1996(i,j);
                count2=count2+1;
            end
        end
    end
    zgem1996=hoogte/count2;
else
    if filenumber==1997
        %plot3(x1,y1,z1,'b');
        A1997=[x1; y1; z1].';
        hoogte=0;
        count2=0;
        for i=1:length(z1);
            for j=3;
                if isnan(A1997(i,j))==0;
                    hoogte=hoogte+A1997(i,j);
                    count2=count2+1;
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    zgem1997=hoogte/count2;
else
    if filenumber==1998
        %plot3(x1,y1,z1,'y');
        A1998=[x1; y1; z1].';
        hoogte=0;
        count2=0;
        for i=1:length(z1);
            for j=3;
                if isnan(A1998(i,j))==0;
                    hoogte=hoogte+A1998(i,j);
                    count2=count2+1;
                end
            end
        end
        zgem1998=hoogte/count2;
    else
        if filenumber==1999
            %plot3(x1,y1,z1,'c');
            A1999=[x1; y1; z1].';
            hoogte=0;
            count2=0;
            for i=1:length(z1);
                for j=3;
                    if isnan(A1999(i,j))==0;
                        hoogte=hoogte+A1999(i,j);
                        count2=count2+1;
                    end
                end
            end
            zgem1999=hoogte/count2;
        else
            if filenumber==2000
                %plot3(x1,y1,z1,'m');
                A2000=[x1; y1; z1].';
                hoogte=0;
                count2=0;
                for i=1:length(z1);
                    for j=3;
                        if isnan(A2000(i,j))==0;
                            hoogte=hoogte+A2000(i,j);
                            count2=count2+1;
                        end
                    end
                end
            end
            zgem2000=hoogte/count2;
        else
            if filenumber==2001
                %plot3(x1,y1,z1,'g');
                A2001=[x1; y1; z1].';
                hoogte=0;
                count2=0;
                for i=1:length(z1);
                    for j=3;
                        if isnan(A2001(i,j))==0;
                            hoogte=hoogte+A2001(i,j);
                            count2=count2+1;
                        end
                    end
                end
            end
            zgem2001=hoogte/count2;
        end
    end
end
end
end
end
end
end
end
%hold on
end
%set(gca,'XTick',AbsXPointStart:50:AbsXPointEnd);
%set(gca,'XTickLabel',AbsXPointStart:50:AbsXPointEnd);
%set(gca,'YTick',AbsYPointEnd:50:AbsYPointStart);
%set(gca,'YTickLabel',AbsYPointEnd:50:AbsYPointStart);
%xlabel('X-coordinaten');
%ylabel('Y-coordinaten');
%zlabel('Z-coordinaten');
%hold off
%figure;
%x=[1996 1997 1998 1999 2000 2001];
%y=[zgem1996 zgem1997 zgem1998 zgem1999 zgem2000 zgem2001];
%bar(x,y);

rowindex=blockindexinydirection+1;
columnindex=blockindexinxdirection+1;

%stabiliteitstest

```

```

H=[zgem1996;zgem1997;zgem1998;zgem1999;zgem2000;zgem2001];
A1=[1;1;1;1;1;1];
sigma=0.3;
n=NumberXCoordinates*NumberYCoordinates;
sigmagem=sqrt(sigma)/sqrt(n);
Qh=sigmatgem*eye(6);
xhat1=inv(A1.*inv(Qh)*A1)*(A1.*inv(Qh)*H); %xhat=(h).'
Hhat1=A1*xhat1;
ehat1=H-Hhat1;
Tq1=ehat1.*inv(Qh)*ehat1;
d1=size(A1);
q1=(d1(1,1)-d1(1,2)); %aantal vrijheidsgraden, q=m-n
alfa=0.05;
kalfal=chi2inv(1-alfa,q1);
teststatistic1=Tq1/kalfal;

%eenmalige suppletietest 1999
A2=[1 0;1 0;1 0;1 0;1 1;1 1];
xhat2=inv(A2.*inv(Qh)*A2)*(A2.*inv(Qh)*H); %xhat=(h;s).'
Hhat2=A2*xhat2;
ehat2=H-Hhat2;
Tq2=ehat2.*inv(Qh)*ehat2;
d2=size(A2);
q2=(d2(1,1)-d2(1,2)); %aantal vrijheidsgraden, q=m-n
kalfa2=chi2inv(1-alfa,q2);
teststatistic2=Tq2/kalfa2;

%constante snelheidtest (geen suppletie uitgevoerd)
A3=[0 1;1 1;2 1;3 1;4 1;5 1];
xhat3=inv(A3.*inv(Qh)*A3)*(A3.*inv(Qh)*H); %xhat=(v;h).'
Hhat3=A3*xhat3;
ehat3=H-Hhat3;
Tq3=ehat3.*inv(Qh)*ehat3;
d3=size(A3);
q3=(d3(1,1)-d3(1,2)); %aantal vrijheidsgraden, q=m-n
kalfa3=chi2inv(1-alfa,q3);
teststatistic3=Tq3/kalfa3;

if teststatistic1<teststatistic2 & teststatistic1<teststatistic3
    if teststatistic1 <=1
        F(rowindex,columnindex)=0; %Stabiel
    else
        F(rowindex,columnindex)=3; %Verder onderzoeken
    end
end
if teststatistic2<teststatistic1 & teststatistic2<teststatistic3
    if teststatistic2 <=1
        if xhat2(2,1)>0;
            s=xhat2(2,1);
            newvolume=(blokgrootte^2)*s;
            volume=volume+newvolume
            F(rowindex,columnindex)=1; %Suppletie
            plot2(rowindex,columnindex,'yd');
        else
            F(rowindex,columnindex)=4; %Negatieve suppletie
        end
    else
        F(rowindex,columnindex)=3; %Verder onderzoeken
    end
end
if teststatistic3<teststatistic2 & teststatistic3<teststatistic1
    if teststatistic3 <=1
        F(rowindex,columnindex)=2; %Constate snelheid
    else
        F(rowindex,columnindex)=3; %Verder onderzoeken
    end
end
end
end
TestMatrix=flipud(F)
%Map=flipud(plot2)

```

Appendix B Programma B

Matlabfile: test voor stabiliteit, suppletie, constante snelheid en gecombineerde suppletie/constante snelheid

```
format long g
clc
clear
%clf
blokgrootte=20;

if blokgrootte==10
    numberofblocksinxdirection=50;
    numberofblocksinydirection=100;
else
    if blokgrootte==20
        numberofblocksinxdirection=25;
        numberofblocksinydirection=50;
    else
        if blokgrootte==50
            numberofblocksinxdirection=10;
            numberofblocksinydirection=20;
        else
            if blokgrootte==100
                numberofblocksinxdirection=5;
                numberofblocksinydirection=10;
            end
        end
    end
end
end
numberofblocksinxdirection=numberofblocksinxdirection-1;
numberofblocksinydirection=numberofblocksinydirection-1;
for filenumber=1996:2001
    filename=['beachgrid' int2str(filenumber) '.asc'];
    grid=load(filename);
    if filenumber==1996
        x1996=grid(:,1);
        y1996=grid(:,2);
        z1996=grid(:,3);
    else
        if filenumber==1997
            x1997=grid(:,1);
            y1997=grid(:,2);
            z1997=grid(:,3);
        else
            if filenumber==1998
                x1998=grid(:,1);
                y1998=grid(:,2);
                z1998=grid(:,3);
            else
                if filenumber==1999
                    x1999=grid(:,1);
                    y1999=grid(:,2);
                    z1999=grid(:,3);
                else
                    if filenumber==2000
                        x2000=grid(:,1);
                        y2000=grid(:,2);
                        z2000=grid(:,3);
                    else
                        if filenumber==2001
                            x2001=grid(:,1);
                            y2001=grid(:,2);
                            z2001=grid(:,3);
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
volume=0;
for blockindexinydirection=1:numberofblocksinydirection
    for blockindexinxdirection=0:numberofblocksinxdirection
        for filenumber=1996:2001
            if filenumber==1996
                x=x1996;
                y=y1996;
                z=z1996;
            else
                if filenumber==1997
```

```

x=x1997;
y=y1997;
z=z1997;
else
if filenumber==1998
x=x1998;
y=y1998;
z=z1998;
else
if filenumber==1999
x=x1999;
y=y1999;
z=z1999;
else
if filenumber==2000
x=x2000;
y=y2000;
z=z2000;
else
if filenumber==2001
x=x2001;
y=y2001;
z=z2001;
end
end
end
end
end
end
AbsXPointStart=109700+blockindexinxdirection*blokgrootte;
AbsXPointEnd=AbsXPointStart+(blokgrootte-2);
AbsYPointEnd=562000+blockindexinydirection*blokgrootte;
AbsYPointStart=AbsYPointEnd+(blokgrootte-2);
x1=[];
y1=[];
z1=[];
count1=1;
while y(count1)~=AbsYPointStart
count1=count1+1;
end
while x(count1)~=AbsXPointStart
count1=count1+1;
end
NumberXCoordinates=(AbsXPointEnd-AbsXPointStart)/2+1;
NumberYCoordinates=(AbsYPointStart-AbsYPointEnd)/2+1;
RecordNew=0;
for YPoint=1:NumberYCoordinates
LastRecord1=count1+NumberXCoordinates;
LastRecord2=LastRecord1-1;
for RecordOld=count1:LastRecord2
RecordNew=RecordNew+1;
x1(RecordNew)=x(RecordOld);
y1(RecordNew)=y(RecordOld);
z1(RecordNew)=z(RecordOld);
end
while y(RecordOld+1)==y(RecordOld)
RecordOld=RecordOld+1;
end
while x(RecordOld)~=AbsXPointStart
RecordOld=RecordOld+1;
end
RecordNew=RecordNew+1;
x1(RecordNew)=NaN;
y1(RecordNew)=NaN;
z1(RecordNew)=NaN;
count1=RecordOld;
end

if filenumber==1996
%plot3(x1,y1,z1,'r');
A1996=[x1; y1; z1].';
hoogte=0;
count2=0;
for i=1:length(z1)
for j=3;
if isnan(A1996(i,j))==0;
hoogte=hoogte+A1996(i,j);
count2=count2+1;
end
end
end
zgem1996=hoogte/count2;
else
if filenumber==1997
%plot3(x1,y1,z1,'b');
A1997=[x1; y1; z1].';
hoogte=0;
count2=0;

```



```

for i=1:length(z1);
    for j=3;
        if isnan(A1997(i,j))==0;
            hoogte=hoogte+A1997(i,j);
            count2=count2+1;
        end
    end
end
zgem1997=hoogte/count2;
else
    if filenumber==1998
        %plot3(x1,y1,z1,'y');
        A1998=[x1; y1; z1].';
        hoogte=0;
        count2=0;
        for i=1:length(z1);
            for j=3;
                if isnan(A1998(i,j))==0;
                    hoogte=hoogte+A1998(i,j);
                    count2=count2+1;
                end
            end
        end
        zgem1998=hoogte/count2;
    else
        if filenumber==1999
            %plot3(x1,y1,z1,'c');
            A1999=[x1; y1; z1].';
            hoogte=0;
            count2=0;
            for i=1:length(z1);
                for j=3;
                    if isnan(A1999(i,j))==0;
                        hoogte=hoogte+A1999(i,j);
                        count2=count2+1;
                    end
                end
            end
            zgem1999=hoogte/count2;
        else
            if filenumber==2000
                %plot3(x1,y1,z1,'m');
                A2000=[x1; y1; z1].';
                hoogte=0;
                count2=0;
                for i=1:length(z1);
                    for j=3;
                        if isnan(A2000(i,j))==0;
                            hoogte=hoogte+A2000(i,j);
                            count2=count2+1;
                        end
                    end
                end
                zgem2000=hoogte/count2;
            else
                if filenumber==2001
                    %plot3(x1,y1,z1,'g');
                    A2001=[x1; y1; z1].';
                    hoogte=0;
                    count2=0;
                    for i=1:length(z1);
                        for j=3;
                            if isnan(A2001(i,j))==0;
                                hoogte=hoogte+A2001(i,j);
                                count2=count2+1;
                            end
                        end
                    end
                    zgem2001=hoogte/count2;
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
%hold on
end
%set(gca,'XTick',AbsXPointStart:50:AbsXPointEnd);
%set(gca,'XTickLabel',AbsXPointStart:50:AbsXPointEnd);
%set(gca,'YTick',AbsYPointEnd:50:AbsYPointStart);
%set(gca,'YTickLabel',AbsYPointEnd:50:AbsYPointStart);
%xlabel('X-coordinaten');
%ylabel('Y-coordinaten');
%zlabel('Z-coordinaten');
%hold off
%figure;
%x=[1996 1997 1998 1999 2000 2001];
%y=[zgem1996 zgem1997 zgem1998 zgem1999 zgem2000 zgem2001];

```

```

%bar(x,y); histogram

rowindex=blockindexinydirection+1;
columnindex=blockindexinxdirection+1;

%stabiliteitstest
H=[zgem1996;zgem1997;zgem1998;zgem1999;zgem2000;zgem2001];
A1=[1;1;1;1;1;1];
sigma=0.3;
n=NumberXCoordinates*NumberYCoordinates;
sigmagem=sqrt(sigma)/sqrt(n);
Qh=sigmatem*eye(6);
xhat1=inv(A1.*inv(Qh)*A1)*(A1.*inv(Qh)*H); %xhat=(h).
Hhat1=A1*xhat1;
ehat1=H-Hhat1;
Tq1=ehat1.*inv(Qh)*ehat1;
d1=size(A1);
q1=(d1(1,1)-d1(1,2)); %aantal vrijheidsgraden, q=m-n
alfa=0.005;
kalfa1=chi2inv(1-alfa,q1);
teststatistic1=Tq1/kalfa1;

%eenmalige suppletietest 1999
A2=[1 0;1 0;1 0;1 0;1 1;1 1];
xhat2=inv(A2.*inv(Qh)*A2)*(A2.*inv(Qh)*H); %xhat=(h;s).
Hhat2=A2*xhat2;
ehat2=H-Hhat2;
Tq2=ehat2.*inv(Qh)*ehat2;
d2=size(A2);
q2=(d2(1,1)-d2(1,2)); %aantal vrijheidsgraden, q=m-n
kalfa2=chi2inv(1-alfa,q2);
teststatistic2=Tq2/kalfa2;

%constante snelheidtest (geen suppletie uitgevoerd)
A3=[0 1;1 2;1 3;1 4;1 5 1];
xhat3=inv(A3.*inv(Qh)*A3)*(A3.*inv(Qh)*H); %xhat=(v;h).
Hhat3=A3*xhat3;
ehat3=H-Hhat3;
Tq3=ehat3.*inv(Qh)*ehat3;
d3=size(A3);
q3=(d3(1,1)-d3(1,2)); %aantal vrijheidsgraden, q=m-n
kalfa3=chi2inv(1-alfa,q3);
teststatistic3=Tq3/kalfa3;

%constante snelheidtest (suppletie uitgevoerd in 1999)
A4=[0 1 0;1 1 0;2 1 0;3 1 0;4 1 1;5 1 1];
xhat4=inv(A4.*inv(Qh)*A4)*(A4.*inv(Qh)*H); %xhat=(v;h;s).
Hhat4=A4*xhat4;
ehat4=H-Hhat4;
Tq4=ehat4.*inv(Qh)*ehat4;
d4=size(A4);
q4=(d4(1,1)-d4(1,2)); %aantal vrijheidsgraden, q=m-n
kalfa4=chi2inv(1-alfa,q4);
teststatistic4=Tq4/kalfa4;

if teststatistic1<teststatistic2 & teststatistic1<teststatistic3 & teststatistic1<teststatistic4
    if teststatistic1 <=1
        F(rowindex,columnindex)=0; %Stabiel
    else
        F(rowindex,columnindex)=3; %Verder onderzoeken
    end
end
if teststatistic2<teststatistic1 & teststatistic2<teststatistic3 & teststatistic2<teststatistic4
    if teststatistic2 <=1
        if xhat2(2,1)>0;
            s=xhat2(2,1);
            newvolume=(blokgrootte^2)*s;
            volume=volume+newvolume
            F(rowindex,columnindex)=1; %Suppletie
        else
            F(rowindex,columnindex)=4; %Negatieve suppletie
        end
    else
        F(rowindex,columnindex)=3; %Verder onderzoeken
    end
end
if teststatistic3<teststatistic2 & teststatistic3<teststatistic1 & teststatistic3<teststatistic4
    if teststatistic3 <=1
        F(rowindex,columnindex)=2; %Constance snelheid
    else
        F(rowindex,columnindex)=3; %Verder onderzoeken
    end
end
if teststatistic4<teststatistic1 & teststatistic4<teststatistic2 & teststatistic4<teststatistic3
    if teststatistic4 <=1
        if xhat4(3,1)>0;
            s=xhat4(3,1);

```

```
        newvolume=(blokgrootte^2)*s;
        volume=volume+newvolume
        F(rowindex,columnindex)=5; %Constante snelheid en suppletie in 1999
    else
        F(rowindex,columnindex)=4; %Negatieve suppletie
    end
else
    F(rowindex,columnindex)=3; %Verder onderzoeken
end
end
end
end
TestMatrix=flipud(F)
```

Appendix C Resultaten uitgevoerde tests

In deze appendix zijn alle resultaten vermeld van de tests die in het onderzoek zijn uitgevoerd.

In tabel C.1 zijn de volumes weergegeven die zijn berekend, met ofwel programma A of programma B, voor de verschillende onbetrouwbaarheidsdrempels, jaren van suppletie en blokgroottes. Als geen volume is weergegeven dan is deze voor betreffende situatie niet bepaald.

Tabel C.1: Volume zandsuppletie voor verschillende onbetrouwbaarheidsdrempels, jaren van suppletie en blokgroottes

| | Onbetrouwbaarheids-drempel | Jaar waarin suppletie heeft plaatsgevonden | Volume [m ³] Blokgrootte 100x100m | Volume [m ³] Blokgrootte 50x50m | Volume [m ³] Blokgrootte 20x20m | Volume [m ³] Blokgrootte 10x10m |
|-------------|----------------------------|--|---|---|---|---|
| Programma A | $a = 0.005$ | 1996 | | 26470 | | |
| Programma A | $a = 0.005$ | 1997 | | 13448 | | |
| Programma A | $a = 0.005$ | 1998 | | 12316 | | |
| Programma A | $a = 0.005$ | 1999 | 35949 | 52142 | 68105 | 76310 |
| Programma A | $a = 0.005$ | 2000 | | 0 | | |
| Programma B | $a = 0.005$ | 1999 | 39843 | 65699 | 85359 | 114493 |
| Programma A | $a = 0.05$ | 1999 | 29379 | 37493 | 60719 | 70343 |
| Programma B | $a = 0.05$ | 1999 | 47073 | 49692 | 85207 | 103624 |