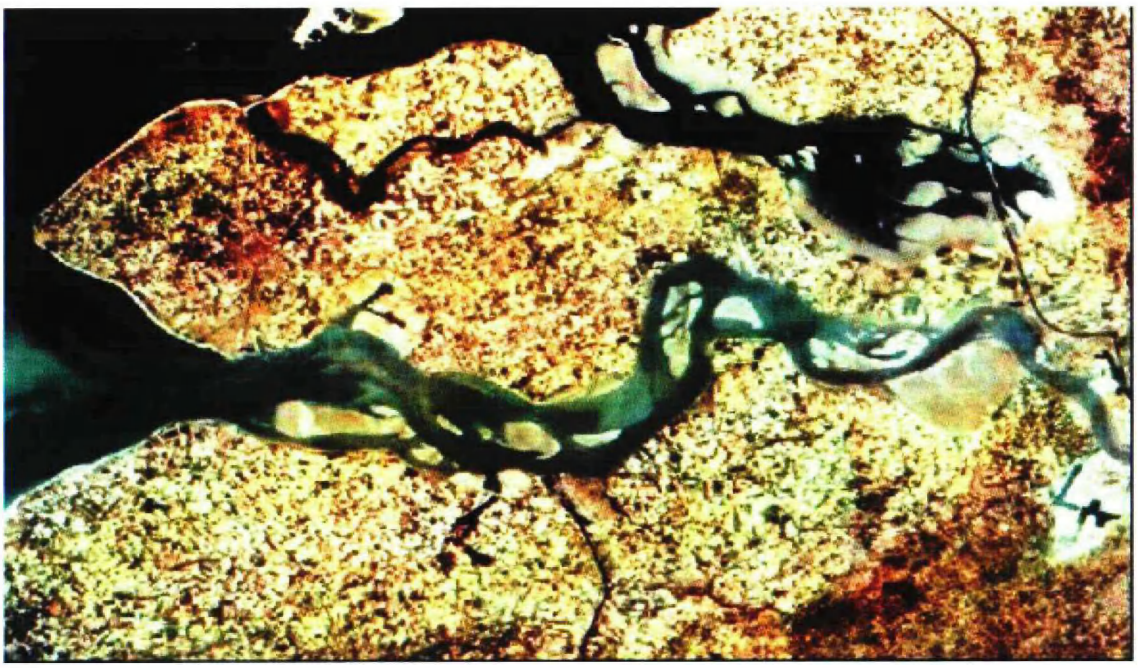
Rapport Tijdreeksanalyse Westerschelde

A.A. Stoorvogel en L.C.G.J.M. Habets

ICTOO
Faculteit Wiskunde en Informatica
Technische Universiteit Eindhoven
Postbus 513
5600 MB Eindhoven

Faculteit Informatietechnologie en Systemen
Technische Universiteit Delft
Postbus 5031
2600 GA Delft

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) in het kader van het project MOVE (MOnitoring VErruiming Westerschelde)



Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ
Bibliotheek (Middelburg)

C-14117 512

Samenvatting

Om de mogelijkheden van data-analyse binnen de Westerscheldeproblematiek te kunnen inschatten zijn voor dit rapport twee pilot-studies uitgevoerd (Hoofdstukken 2 en 3). Hierbij is een keuze gemaakt voor tijdreeksen van fysische grootheden, enerzijds omdat deze als sturend worden verondersteld voor de ecologische ontwikkelingen in de Westerschelde, anderzijds omdat hiervan meer (nauwkeurige) meetgegevens bekend zijn. Om een representatief beeld te krijgen van de potentie van tijdreeksanalyse voor de MOVE-problematiek is gekozen voor tijdreeksen met een vanuit wiskundig oogpunt verschillend karakter:

1. Een regelmatig, en op verschillende vaste locaties gemeten signaal. Hierbij is gekozen voor de waterstanden van de meetstations Bath, Hansweert, Terneuzen, Vlissingen, Cadzand en Westkapelle.
2. Een op zeer veel locaties regelmatig, maar niet frequent gemeten signaal. Hoewel in dit geval de tijdreeksen kort zijn, kan de rijke ruimtelijke structuur hier additioneel inzicht verschaffen. Deze pilot-studie is uitgevoerd met lodingsgegevens van de Westerschelde. Om tot zinvolle resultaten te komen zijn in deze studie bovendien gegevens over bagger-, stort- en zandwinwerkzaamheden verwerkt.

De analyses in deze twee pilot-studies zijn er met name op gericht de gevolgen van de eerdere verruiming van de Westerschelde in de jaren zeventig en de recente verruiming van 1997 waar mogelijk zichtbaar te maken. De directe relevantie van deze analyses voor de MOVE-problematiek is evident. Bovendien kan aan de hand van de bereikte resultaten worden ingeschat hoe kansrijk een uitgebreide data-analyse van andere tijdreeksen kan zijn, om veranderingen in het Westerscheldesysteem te detecteren.

In de eerste pilot-studie is met behulp van waterstandgegevens van 6 meetstations aan de Westerschelde een analyse gemaakt, met als doel om, indien mogelijk, veranderingen in de Westerschelde aan de hand van deze meetgegevens aan te tonen. Voor dit doel zijn in het bijzonder de veranderingen in de tijd van de amplitudes van de verschillende getijden geanalyseerd. De resultaten voor de verschillende meetstations zijn daarna onderling vergeleken. Het verloop in verschillende meetstations toont echter een zeer grote samenhang. In de bestudeerde amplitudeverlopen zijn effecten van de bagger en stortwerkzaamheden niet op overtuigende wijze aangetoond. Het enige twijfelgeval is het getij MU2 (en in mindere mate 2MN2). Echter om die veranderingen echt vast te stellen zal men nog een aantal jaren moeten wachten om de gegevens van die jaren mee te kunnen nemen in de analyse. Daarna kan dan misschien geconcludeerd worden dat de kans groot is dat deze veranderingen het gevolg zijn van de werkzaamheden. Daarnaast is met behulp van ARMA-modellering de voorspelbaarheid van de waterstand in één meetstation aan de hand van de gegevens in een ander station onderzocht. Ook in deze analyse zijn er geen zichtbare veranderingen in het gedrag van de Westerschelde geconstateerd.

In de tweede studie zijn gegevens betreffende de diepte van de Westerschelde geanalyseerd. Lodinggegevens zijn gecombineerd met gegevens over baggeren, storten en zandwinning binnen de Westerschelde. Zeker vergeleken met de waterstandanalyse is de uitkomst van de lodingenanalyse teleurstellend. Een belangrijke oorzaak hiervan is de zeer sporadische meting van de diepte van de Westerschelde. Het lijkt erop dat de dynamica van het systeem veel sneller is dan de tijd tussen opeenvolgende metingen. Er zijn echter ook kritische vragen te stellen bij de kwaliteit van de aangeleverde data, waardoor het riskant is om op basis van deze gegevens harde uitspraken te doen.

Inhoudsopgave

1 Inleiding **5**

1 Het project MOVE 5

2 Doelstellingen van dit rapport 5

3 Opzet van dit rapport 6

2 Tijdreeksanalyse waterstanden **9**

1 Beschikbare data 9

2 Opzet van de studie 10

2.1 Vergelijking met eerdere studies 13

3 Uitvoering van de data-analyse 14

3.1 Data-analyse per meetstation 14

3.2 Data-analyse met gegevens van meerdere meetstations 17

4 Verworpen analysemethoden 19

5 Resultaten 20

5.1 Resultaten data-analyse per meetstation 20

5.2 Vergelijking van het amplitudeverloop in alle meetstations 25

5.3 Vergelijking amplitudeverloop hoogwater in alle meetstations 37

5.4 ARMA-modellering 38

6 Conclusies en aanbevelingen 45

3 Tijdreeksanalyse lodingen **51**

1 Beschikbare data 52

2 Effecten van baggeren, storten en zandwinning 55

3 Verandering in omvang van diepe en ondiepe gebieden 57
4 Conclusies en aanbevelingen 58

4 Conclusies en aanbevelingen overige fysische parameters **61**

Hoofdstuk 1

Inleiding

1 Het project MOVE

Het project MOVE (MOnitoring VErruiming Westerschelde) is een grootschalig opgezet onderzoeksproject en is erop gericht de fysische, chemische en ecologische veranderingen in de Westerschelde in kaart te brengen. Het belangrijkste doel is het signaleren van de effecten van de verruiming 48'-43' van de Westerschelde, zoals deze in 1997 is uitgevoerd. Opdrachtgever voor het project is de Directie Zeeland van Rijkswaterstaat; opdrachtnemer is RIKZ, het Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Eén van de onderdelen van het MOVE-project is het evaluatierapport 2003. Dit evaluatierapport dient verschillende doelen: het verzamelen van gegevens, het daarmee signaleren van ontwikkelingen, het bepalen van de gevolgen van de baggerwerkzaamheden op het Westerscheldesysteem, en de evaluatie van de gevolgen van de verruiming 48'-43' en het daarbij gevoerde bagger-, stort- en zandwinbeleid.

Uit eerdere rapportages is gebleken dat veranderingen in de Westerschelde als gevolg van de verruiming weliswaar aannemelijk zijn, maar waarschijnlijk (nog) niet waarneembaar. Als dit het geval is dan is dit voor beleidsmakers een ongewenste situatie als basis voor de besluitvorming. Daarom wordt in het evaluatierapport 2003 aan dit probleem, namelijk het zichtbaar maken van de veranderingen in de Westerschelde, bijzondere aandacht besteed. Hiervoor kunnen verschillende methodieken worden gehanteerd. In dit rapport wordt slechts één van deze mogelijkheden in detail bestudeerd: de toepassing van tijdreeksanalyse met als doel veranderingen in de morfo- en hydrodynamiek van de Westerschelde te detecteren.

2 Doelstellingen van dit rapport

Binnen het kader van het MOVE-evaluatierapport 2003 is het zo objectief mogelijk bestuderen van de beschikbare monitoringsgegevens een belangrijke taak. Voor dit doel lijkt een wiskundige dataanalyse bijzonder geschikt. Zonder a priori kennis van de morfologische achtergrond van het te bestuderen systeem kunnen met behulp van tijdreeksanalyse veranderingen in de dynamica van het systeem al dan niet worden gedetecteerd. In vergelijking met fysische modellering heeft deze aanpak voor- en nadelen. Zonder gebruikmaking van een goed fysisch model is de kans aantoonbare veranderingen in het systeem te detecteren weliswaar geringer, maar de objectiviteit van deze methode is

groter, juist omdat er geen veronderstellingen en aannamen betreffende te verwachten veranderingen in hydro- en morfodynamiek aan ten grondslag liggen.

Het doel van dit rapport is om de kansen van een uitgebreide data-analyse van de bij RIKZ beschikbare gegevens van de Westerschelde te inventariseren. Vanzelfsprekend ligt hierbij de nadruk op het objectief in kaart brengen van de gevolgen van de verruiming 48'-43', zowel kwalitatief als kwantitatief. Naast deze verkennende studie is ook de evaluatie van het huidige monitoringsprogramma een punt van aandacht. Dit zou kunnen leiden tot aanbevelingen ter verbetering van dit programma. Tenslotte kan een uitgebreide data-analyse ook leiden tot vergroting van de kennis van het Westerscheldesysteem in het algemeen.

Om de mogelijkheden van data-analyse binnen de Westerscheldeproblematiek te kunnen inschatten zijn voor dit rapport twee pilot-studies uitgevoerd (Hoofdstukken 2 en 3). Hierbij is een keuze gemaakt voor tijdreeksen van fysische grootheden, enerzijds omdat deze als sturend worden verondersteld voor de ecologische ontwikkelingen in de Westerschelde, anderzijds omdat hiervan meer (nauwkeurige) meetgegevens bekend zijn. Om een representatief beeld te krijgen van de potentie van tijdreeksanalyse voor de MOVE-problematiek is gekozen voor tijdreeksen met een vanuit wiskundig oogpunt verschillend karakter:

1. Een regelmatig, en op verschillende vaste locaties gemeten signaal. Hierbij is gekozen voor de waterstanden van de meetstations Bath, Hansweert, Terneuzen, Vlissingen, Cadzand en Westkapelle.

2. Een op zeer veel locaties regelmatig, maar niet frequent gemeten signaal. Hoewel in dit geval de tijdreeksen kort zijn, kan de rijke ruimtelijke structuur hier additioneel inzicht verschaffen. Deze pilot-studie is uitgevoerd met lodingsgegevens van de Westerschelde. Om tot zinvolle resultaten te komen zijn in deze studie bovendien gegevens over bagger-, stort- en zandwinwerkzaamheden verwerkt.

De analyses in deze twee pilot-studies zijn er met name op gericht de gevolgen van de eerdere verruiming van de Westerschelde in de jaren zeventig en de recente verruiming van 1997 waar mogelijk zichtbaar te maken. De directe relevantie van deze analyses voor de MOVE-problematiek is evident. Bovendien kan aan de hand van de bereikte resultaten worden ingeschat hoe kansrijk een uitgebreide data-analyse van andere tijdreeksen kan zijn, om veranderingen in het Westerscheldesysteem te detecteren.

3 Opzet van dit rapport

Zoals hiervoor reeds aangegeven bestaat dit rapport grotendeels uit twee deelstudies. De deelstudie "waterstanden" is als volgt:

1. Beschrijving van de beschikbare data

2. Opzet van de studie

3. Technische uitvoering van de studie

4. Verworpen analysemethoden
5. Resultaten
6. Conclusies en aanbevelingen

De meeste van deze punten spreken voor zich. Onder het in punt 4 genoemde kopje "Verworpen analysemethoden" zullen kort enkele alternatieve methoden worden vermeld, die op de betreffende tijdreeksen zijn toegepast, maar die daarbij weinig succesvol bleken. Op deze manier kan vermeden worden dat een alternatieve aanpak die kansrijk lijkt, maar dat in werkelijkheid niet is, meerdere malen vruchteloos wordt beproefd.

De tweede deelstudie "lodingen" is uitgevoerd volgens een minder strak stramien.

Aan iedere pilot-studie is een apart hoofdstuk gewijd. Het rapport wordt afgesloten met het hoofdstuk "Conclusies en aanbevelingen". Behalve een samenvatting van de eerdere conclusies zullen de bevindingen uit de verschillende deelstudies worden gebruikt om de potentie van verdere data-analyse op nog niet bestudeerde tijdreeksen in te schatten. Ook zijn hier aanbevelingen te vinden en een plan van aanpak voor verder onderzoek.

Hoofdstuk 2

Tijdreeksanalyse waterstanden

In deze studie zal de regelmatig gemeten waterstand op verschillende plaatsen in de Westerschelde worden geanalyseerd. Dergelijke tijdreeksanalyses van waterstanden in de Westerschelde zijn ook in het verleden verschillende malen uitgevoerd (zie o.a. [9], [10], [2], [3], en de referenties in deze rapporten, maar deze opsomming is beslist onvolledig). Toch is er een belangrijk verschil tussen de huidige studie en eerdere rapporten, met name qua doelstelling. Het is hier uitdrukkelijk de opzet om na te gaan of een tijdreeksanalyse van waterstanden gebruikt kan worden om veranderingen in de dynamiek van het Westerscheldesysteem (bijvoorbeeld als gevolg van een verruiming) zichtbaar te maken. Daar zowel in het begin van de zeventiger jaren als in 1997 uitgebreide baggerwerkzaamheden in de Westerschelde hebben plaats gehad, vereisen met name mogelijke veranderingen op of kort na deze tijdstippen bijzondere aandacht.

1 Beschikbare data

Rijkswaterstaat beschikt over een grote hoeveelheid data over de waterstand in de Westerschelde. Alle waterstanden zijn gemeten in centimeters t.o.v. NAP. In dit rapport zal gebruik worden gemaakt van de gegevens van de meetstations in (van oost naar west) Bath, Hansweert, Terneuzen, Vlissingen, Cadzand en Westkapelle. Van deze stations zijn zowel regelmatig gemeten waterstanden bekend (o.a. metingen ieder uur of iedere 10 minuten) als de hoogte van hoog- en laagwater met het exacte tijdstip waarop dit werd gemeten. In Tabel 2.1 zijn de door RIKZ aangeleverde data over de hoog- en laagwaterstand gerubriceerd, terwijl in Tabel 2.2 is aangegeven welke regelmatig gemeten data van de waterstand voor analyse beschikbaar zijn. Daarbij dient te worden opgemerkt dat voor de drie-uurs metingen in Hansweert en Vlissingen over de periode 1-1-1950 tot en met 31-12-1970 per 1 januari 1961 het tijdstip van meting met 40 minuten is vervroegd.

De analyse in deze studie is vooral gebaseerd op de data van de waterstanden zoals die sinds 1-1-1971 in alle meetstations éénmaal per uur wordt gemeten, en op de hoog- en laagwaterstanden van deze stations, over de periode dat beide hoog- en laagwaters per dag zijn geregistreerd. De beschikbare 3-uurs data zijn niet geanalyseerd. In dit rapport ontbreekt eveneens een analyse van de 10-minuten gegevens, omdat de hoge meetfrequentie van dit signaal onnodig bleek binnen het kader van dit onderzoek; beschouwd over middellange en lange termijn bevat het waterstandsignaal geen hoogfrequente componenten, en daarom is een meetfrequentie van een uur voldoende om alle aanwezige periodiciteiten te kunnen waarnemen.

Tabel 2.1: Data hoog- en laagwater

	Hoogwater/Laagwater
Bath	1-1-1950 t/m 31-8-1957 1 meting per dag 1-9-1957 t/m 31-12-2000 2 metingen per dag
Hansweert	1-1-1950 t/m 31-12-2000 2 metingen per dag
Terneuzen	1-1-1950 t/m 31-12-2000 2 metingen per dag
Vlissingen	1-1-1950 t/m 31-12-2000 2 metingen per dag
Cadzand	1-1-1950 t/m 31-8-1966 1 meting per dag 1-9-1966 t/m 31-12-2000 2 metingen per dag
Westkapelle	1-1-1950 t/m 30-6-1954 1 meting per dag 1-7-1954 t/m 31-12-2000 2 metingen per dag

Tabel 2.2: Data van frequent gemeten waterstanden

	Meting iedere 3 uur	Meting ieder uur	Meting per 10 minuten
Bath		1-1-1971 t/m 31-12-2001	1-1-1987 t/m 31-12-2001
Hansweert	1-1-1950 t/m 31-12-1970	1-1-1971 t/m 31-12-2001	1-1-1987 t/m 31-12-2001
Terneuzen	1-1-1961 t/m 31-12-1970	1-1-1971 t/m 31-12-2001	1-1-1987 t/m 31-12-2001
Vlissingen	1-1-1950 t/m 31-12-1970	1-1-1971 t/m 31-12-2001	1-1-1987 t/m 31-12-2001
Cadzand		1-1-1971 t/m 31-12-2001	1-1-1987 t/m 31-12-2001
Westkapelle		1-1-1971 t/m 31-12-2001	1-1-1987 t/m 31-12-2001

2 Opzet van de studie

De hoogte van de waterstand wordt bepaald door verschillende factoren. Met name het astronomisch getij, zoals dit in getijdenboekjes wordt weergegeven, is een belangrijke factor, maar ook meteorologische omstandigheden, en de afvoer van afwaterende rivieren en kanalen spelen een rol. In de Westerschelde komt daar nog een ander effect bij: door de vorm van het estuarium treden er met name in het oostelijk deel van de Westerschelde als gevolg van insnoering resonantieverschijnselen op, die het getijdenverschil aanmerkelijk versterken. Zo wordt in Bath het grootste getijdenverschil in Nederland waargenomen.

Getijdenbeweging op zee wordt in eerste instantie veroorzaakt door de beweging van de maan rond de aarde en de aarde rond de zon, en de aantrekkingskrachten die hierbij een rol spelen. Het belangrijkste getij (M2), met ongeveer tweemaal eb en vloed per dag, verklaart al zo'n 60% van de variabiliteit van de waterstand. De waterhoogte bij hoog- en laagwater verandert echter ook periodiek, maar veel trager; de periode van dit dood- en springtij is ongeveer 14 dagen. Behalve deze bekende periodiciteiten is het mogelijk vele andere periodiciteiten uit de waterstandgegevens te isoleren. Op deze manier kan de waterstand gezien worden als een amplitude gemoduleerd signaal. De belangrijkste component bestaat uit de draaggolf met een periode van ongeveer 12 uur en 25 minuten (het M2-getij). De grootte van de amplitude van deze draaggolf verandert echter ook periodiek, en bestaat uit componenten met lagere frequenties. Omdat alle periodiciteiten verklaard worden uit astronomische gegevens zullen in de waterstandgegevens van alle meetstations dezelfde periodiciteiten een rol spelen.

Naast het astronomisch getij bepalen ook de weersomstandigheden en de afvoer van de rivier de Schelde en overige afwaterende kanalen de werkelijke hoogte van de waterstand. Vooral het weer is een belangrijke factor. Zo spelen de luchtdruk en met name de windsnelheid en windrichting een belangrijke rol bij de verhoging of verlaging van de waterstand. Op een vast tijdstip zullen de weersverschillen in het Westerscheldegebied niet erg groot zijn. Vanwege de sterke hydraulische verbondenheid kan men daarom aannemen dat er een sterke correlatie bestaat tussen de meteorologische beïnvloeding van de waterstanden in de verschillende meetstations. Deze correlatie kan worden gebruikt om de waterstand in één meetstation te voorspellen met behulp van de metingen in een ander station.

Als gevolg van insnoering wordt de hoogte van de waterstand ook gedeeltelijk verklaard door resonantieverschijnselen. Dit wordt veroorzaakt door de vorm van het Westerscheldebekken. Hierdoor is het getijverschil (verschil tussen hoog- en laagwater) in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde aanzienlijk groter dan in het westelijk gedeelte. Terwijl de astronomische en meteorologische verklaring van de waterstand volledig bepaald worden door externe omstandigheden, worden resonantieverschijnselen door de Westerschelde zelf gegenereerd. Naar verwachting zullen veranderingen die door bagger- en stortwerkzaamheden in het Westerscheldesysteem ontstaan, met name in deze resonantieverschijnselen tot uiting komen. Daarom wordt in deze studie getracht om, indien mogelijk, juist deze effecten zichtbaar te maken.

Na een eerste bewerking van het gemeten signaal waarbij gemiddelde en lineaire trend uit het signaal worden verwijderd, bestaat de eerste stap uit het in kaart brengen van alle periodiciteiten die in het astronomisch getij een rol spelen. Daartoe wordt een Fouriertransformatie op de waterstandgegevens toegepast. Hiervoor zijn eenmaal per uur gemeten waterstanden het meest geschikt, omdat die over een lange periode bekend zijn, en daarom een hoge resolutie in het frequentiedomein opleveren. Bovendien worden er geen periodiciteiten van minder dan twee uur verwacht, zodat een meetfrequentie van 1 uur snel genoeg is. Uit de Fouriergetransformeerde kan men vervolgens aflezen welke periodiciteiten in de waterstandgegevens voorkomen, en de mate waarin iedere periodiciteit het astronomisch getij bepaalt. Deze periodiciteiten worden ter controle vergeleken met bekende gegevens over het periodieke verloop van de waterstand in de Westerschelde (zie [12]).

Zodra de N belangrijkste periodes $T_1, \ldots, T_N$ bekend zijn, kan op basis van het gemeten signaal achteraf een schatting van het astronomisch verklaarde getij $w_a(t)$ als functie van de tijd t worden berekend:

$$w_a(t) = \sum_{i=1}^{N} A_i \sin(\frac{2\pi}{T_i} t + \varphi_i),$$

waarbij A_i en φ_i respectievelijk de amplitude en de beginfase van het bij periode T_i behorende sinussignaal aangeven. Deze amplitude en beginfaseschattingen bij iedere periode worden zowel gemaakt op basis van alle meetgegevens (ruim 30 jaar) als op de meetgegevens per jaar. Zo wordt het tijdsverloop van de ontwikkeling van de amplitude bij iedere periode in het astronomisch getij gevolgd. Door eenzelfde analyse bij alle meetstations van de Westerschelde uit te voeren, kan de responsie op het astronomisch getij in alle stations worden vergeleken. Veranderingen in de Westerschelde kunnen zichtbaar worden in wijzigingen in de verhouding van de responsie tussen verschillende meetstations op bepaalde frequentiecomponenten in het astronomisch getij.

Voor ieder meetstation kan het verschil tussen de gemeten hoogte $w(t)$ van de waterstand op tijdstip t, en de op basis van een Fourieranalyse geschatte hoogte $w_a(t)$ worden bepaald. Doordat op ieder

tijdstip t de weersomstandigheden in het Westerscheldesysteem grotendeels hetzelfde zullen zijn, zal er een grote correlatie bestaan tussen het niet (astronomisch) verklaarde gedeelte $w(t) - w_a(t)$ van de waterstand in de verschillende meetstations. Deze correlatie kan gebruikt worden om met behulp van een AR, MA of ARMA-model het signaal $w(t) - w_a(t)$ in één station op basis van dit signaal in een ander station te schatten. Op deze manier wordt de niet verklaarde variantie in de waterstandgegevens van het andere station aanzienlijk gereduceerd. De parameters in het gekozen model worden zowel geschat op basis van de waterstandsgegevens over de gehele meetperiode van ruim 30 jaar, als op basis van meetperiodes van 1 jaar. Het verschil in voorspellende waarde van het tijdinvariante en het tijdvariante model, alsmede het verloop van de parameters in het tijdvariante model, geven een indicatie voor de zichtbaarheid van veranderingen die gedurende de meetperiode in de Westerschelde hebben plaats gehad.

Eenzelfde soort analyse als hiervoor beschreven op basis van de eenmaal per uur gemeten waterstand, kan ook worden uitgevoerd met de gegevens van de hoog- en laagwaterstand, voor zover deze gegevens tweemaal daags geregistreerd zijn. Toch zijn hiervoor ook enkele aanpassingen nodig (waarop hierna nader wordt ingegaan), omdat de hoog- en laagwatersignalen een duidelijk ander karakter hebben dan de eenmaal per uur gemeten waterhoogte.

Allereerst is de tijd tussen twee metingen in de hoog- en laagwatergegevens niet constant; als gevolg van weersomstandigheden kan de getijgolf enigszins vervroegd of vertraagd zijn. Dit effect wordt in de analyse niet altijd meegenomen. Zo wordt de Fourieranalyse uitgevoerd alsof de gegevens met regelmatige tussentijden zijn gemeten.

Uit de hoog- en laagwatergegevens is de draaggolf van het getij (het M2-getij met een periode van ongeveer 12 uur en 25 minuten) nagenoeg verwijderd. In deze data zijn daarom ook alleen de grotere periodiciteiten aanwezig. Bovendien manifesteren deze periodiciteiten van het astronomisch getij zich op een meer directe wijze, wat men als volgt kan inzien. Beschouw een amplitude gemoduleerd signaal

$$y(t) = \left(A_0 + A_1 \sin(\frac{2\pi}{T_1}t + \varphi_1)\right) \cdot \sin(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi_0)$$

als model voor de waterstand op tijdstip t. Hierbij is T_0 de periode van de draaggolf (ruim 12 uur), en φ_0 de beginfase. T_1 is de belangrijkste periode van de amplitude-modulatie (ongeveer 14 dagen), met beginfase φ_1. Indien alleen hoog- of alleen laagwaterstanden worden geregistreerd, is slechts het signaal

$$A_0 + A_1 \sin(\frac{2\pi}{T_1}t + \varphi_1)$$

zichtbaar, met als meest prominente periode T_1. In de eenmaal per uur gemeten data is de periode T_0 van de draaggolf het meest belangrijk. Door $y(t)$ niet te schrijven als product maar als som van sinussignalen verkrijgt men

$$y(t) = A_0 \sin(\frac{2\pi}{T_0}t+\varphi_0)+\frac{A_1}{2}\sin((\frac{2\pi}{T_0}-\frac{2\pi}{T_1})t+(\varphi_0-\varphi_1)+\frac{\pi}{2})-\frac{A_1}{2}\sin((\frac{2\pi}{T_0}+\frac{2\pi}{T_1})t+(\varphi_0+\varphi_1)+\frac{\pi}{2}).$$

Daar $T_1 >> T_0$ betekent dit dat de belangrijkste modulatieperiode T_1 in de eenmaal per uur gemeten data niet direct zichtbaar is, maar indirect als een kleine verschuiving van de hoofdfrequentie $\frac{1}{T_0}$. In de hoog- en laagwaterdata daarentegen zal het laagfrequente karakter van de amplitude-modulatie juist direct tot uiting komen.

Uit het onderzoek is gebleken dat de voorspelbaarheid van de hoog- en laagwaterdata beduidend lager is dan de voorspelbaarheid van de eenmaal per uur gemeten waterhoogte. Dit effect is niet onverwacht daar de draaggolf van het M2-getij al zo'n 60% van de variabiliteit van de uurdata verklaart. Het verwijderen van astronomisch bepaalde periodiciteiten uit de hoog- en laagwaterdata is dus veel moeilijker. Het niet astronomisch verklaarde gedeelte van het signaal dat grotendeels aan meteorologische omstandigheden moet worden toegeschreven is derhalve groter. Bovendien zal bij laagwater het effect van de afvoer van de rivier de Schelde het meest zichtbaar zijn. Toch kan de analyse van de resultaten op soortgelijke wijze worden uitgevoerd als voor de uurdata. Eerst wordt het tijdsverloop van de responsies van verschillende meetstations op een gegeven astronomische bepaalde periodiciteit vergeleken, om zo eventuele veranderingen te kunnen detecteren. Vervolgens wordt het niet verklaarde gedeelte van het signaal in het ene station gebruikt om met een AR, MA of ARMA-model het signaal in een ander station te voorspellen. Door tijdinvariante en tijdvariante modellen te vergelijken, zowel wat betreft de voorspellende waarde als het tijdsverloop van de parameters in het model, wordt gepoogd om, indien mogelijk, veranderingen in de Westerschelde zichtbaar te maken.

Opmerking: In deze studie is ARMA modellering uiteindelijk alleen uitgevoerd op basis van de eenmaal per uur gemeten waterstanden. Een soortgelijke analyse kan echter ook op de hoog- en laagwaterdata worden toegepast.

2.1 Vergelijking met eerdere studies

Een getijdenanalyse van de Westerschelde is reeds in eerdere rapporten beschreven. Toch is in deze vroegere studies met name de vraagstelling en ook de gevolgde methodiek verschillend. Zo wordt in [9] over een studie naar het getij in de monding van de Westerschelde gerapporteerd. Deze studie is voornamelijk beschrijvend, en bevat slechts een detailanalyse van twee getijcomponenten: M2 en M4. Bovendien is er geen bijzondere aandacht besteed aan de vraag of er in de Westerschelde in de laatste decennia zichtbare veranderingen zijn opgetreden. Meer aandacht voor een mogelijk verband tussen veranderingen in de waterstand en menselijk ingrijpen in en rondom de Westerschelde is er in de studie [10]. In dit rapport is veiligheid tegen overstromen het belangrijkste punt van zorg. In [10] wordt enerzijds een uitgebreid overzicht gegeven van menselijk ingrijpen in het Westerscheldegebied (o.a. inpolderingen en verruiming van de vaargeul), en anderzijds de veranderingen in de waterstand bestudeerd, gedeeltelijk op basis van data-analyses, gedeeltelijk op basis van een numeriek model. Er wordt echter slechts gewerkt met jaarlijkse gemiddelden van de laagwater-, hoogwater- en zeestand, waardoor er van een gedetailleerde getijanalyse geen sprake is.

De onderhavige studie heeft meer overeenkomsten met [2], een datarapport waarin ook een Fourieranalyse van de waterstand in zes meetstations langs de Westerschelde is uitgevoerd. Deze studie is vooral beschrijvend van aard. Doel van de studie in [2], alsmede van de vervolgstudies in [3] en [11], is het verband tussen tussen veranderingen in het getij en morfologische veranderingen in kaart te brengen. Daarbij gaat men uit van de veronderstelling dat morfologische veranderingen vooral tot uiting zullen komen in de getij-asymmetrie. Deze aanname leidt tot een specifieke keuze van getijcomponenten die in detail bestudeerd worden. Deze keuze van de getijcomponenten en ook de motivatie van die keuze is duidelijk anders dan in het huidige rapport. Bovendien wordt in [2] m.b.v. de geselecteerde getijcomponenten een zogenaamde Principal Component Analysis uitgevoerd, een methodiek die in dit rapport achterwege blijft. De resultaten uit [2] worden in de rapporten [3] en [11] nader uitgewerkt. Zo worden in [3] aan de hand van fysische overwegingen enkele hypothesen opgesteld en getoetst betreffende het verband tussen morfologische veranderingen en getij-asymmetrie. In [11] wordt in hetzelfde kader een theoretisch literatuuronderzoek gepresenteerd, waarvan de resulta-

ten op de Westerschelde worden toegepast.

In vergelijking met de data-analyse in [2] onderscheidt het onderzoek in het huidige rapport zich op enkele punten. Ten eerste is het belangrijkste aandachtspunt om, indien mogelijk, veranderingen in de ontwikkeling van de waterstand zichtbaar te maken. Daarbij is er speciale aandacht voor veranderingen die verband kunnen houden met de recente verruimingen van de Westerschelde. Daartoe zijn, evenals in [2], verschillende getijcomponenten geïsoleerd, en is het amplitudeverloop van deze componenten gevolgd over de periode 1971 tot en met 2001 (het onderzoek in [2] loop tot en met 1997). Vervolgens is met name de tijdsontwikkeling van deze amplitudes tot in detail bestudeerd. Aan dit aspect is in [2] veel minder aandacht besteed. Tenslotte wordt in de huidige studie gepoogd, om met behulp van ARMA-modellering het niet astronomisch verklaarde gedeelte van het signaal in een meetstation met behulp van de gegevens in een ander meetstation te verklaren. Ook deze ARMA-modellering is niet in de eerder genoemde studies uitgevoerd.

3 Uitvoering van de data-analyse

De tijdreeksen van de waterstand zijn geanalyseerd met behulp van het programma-pakket MATLAB (Registered Trademark van The Math Works Inc., Natick, MA, USA). Hiervoor zijn verschillende MATLAB-routines geschreven, waarvan de code als bijlage is ingesloten (zie Appendices A.1.1, A.1.2 en A.1.3).

De data-analyse valt in twee delen uiteen. Het eerste deel bestaat uit een analyse per meetstation van het daar aanwezige astronomische getij. In het tweede deel worden meerdere stations tegelijkertijd bekeken, zowel om de effecten van het astronomisch getij in verschillende stations te vergelijken, als om meteorologische aspecten in het gemeten getij te modelleren.

3.1 Data-analyse per meetstation

De beschrijving van de data-analyse per station is gebaseerd op de tijdreeks van eenmaal per uur gemeten waterstanden, gemeten tussen 1 januari 1971 en 31 december 2001. Een soortgelijke analyse kan op de hoog- en laagwaterdata worden toegepast.

3.1.1 Verwijdering van gemiddelde en trend

Uit het waargenomen waterstandsignaal $W(t)$ wordt ten behoeve van de (Fourier)analyse eerst het gemiddelde en de lineaire trend verwijderd. Daartoe wordt $W(t)$ geschreven als

$$W(t) = a + b \cdot t + w(t),$$

waarbij a de gemiddelde waterstand voorstelt, en b de gemiddelde stijging van de waterstand, bijvoorbeeld als gevolg van zeespiegelrijzing. De numerieke waarden van a en b worden bepaald met de kleinste kwadraten methode; in het algoritme wordt hiervoor de MATLAB-functie "`detrend`" gebruikt. De numerieke waarden van a en b zullen klein zijn, en leveren doorgaans weinig informatie. De resterende component $w(t)$ is voor data-analyse veel interessanter, omdat dit signaal nog alle componenten van het getij bevat. Daarom zal het signaal $w(t)$ ook wel het getijdensignaal worden genoemd.

3.1.2 Fouriertransformatie

De complexe Fouriergetransformeerde van het signaal $w(t)$ wordt bepaald met de MATLAB-functie "`fft`". Deze functie is een implementatie van het Fast Fourier Transform-algoritme. De verkregen resolutie Δf in het frequentiedomein bedraagt

$$\Delta f = \frac{1}{\text{lengte van het waarnemingstijdvak}}.$$

De meettijd voor de uurdata beloopt 31 jaren. Als tijdseenheid wordt de dag aangehouden, zodat de eenheid van frequentie $\frac{1}{\text{dag}}$ is. De resolutie (stapgrootte) in het frequentiedomein bedraagt dan $8.832 \cdot 10^{-5}\ \frac{1}{\text{dag}}$.

3.1.3 Schatting van periodiciteiten

De waarde van de Fouriergetransformeerde berekend met het `fft` algoritme is bijna overal nagenoeg 0, behalve in een aantal discreet gelokaliseerde pieken. De lokaties van de hoogste pieken corresponderen met de frequenties van de dominante periodiciteiten in het signaal. Met de voor deze studie geschreven MATLAB-functie "`zoekpieken`" (zie Appendix A.1.1) is de lokalisatie van deze pieken geautomatiseerd. Gegeven de positieve gehele getallen N en m, een rij van frequenties en een rij van daarbij horende waardes van de Fouriergetransformeerde, bepaalt `zoekpieken` de N frequenties met de in absolute waarde grootste Fouriergetransformeerde. Om te voorkomen dat pieken, die niet exact op één frequentiepunt zijn gelokaliseerd, maar over meer naast elkaar gelegen frequentiepunten zijn verdeeld, meerdere malen worden geselecteerd, wordt in het zoekproces niet alleen het frequentiepunt beschouwd waar de piekwaarde optreedt, maar ook de naburige m frequentiepunten. De uiteindelijke piekfrequentie wordt tenslotte bepaald als een gewogen gemiddelde; daarbij is het gewicht, dat aan ieder van de beschouwde frequentiepunten wordt toegekend, de absolute waarde van de Fouriergetransformeerde in het betreffende punt.

3.1.4 Schatting van beginfases en amplitudes

Zodra de N belangrijkste frequenties $f_1, \ldots, f_N$ van het getijdensignaal $w(t)$ zijn geschat, kan het daarmee astronomisch verklaarde gedeelte $w_a(t)$ van het getij worden bepaald. Deze functie wordt gegeven door

$$(2.1)\quad w_a(t) = \sum_{i=1}^{N} A_i \sin(2\pi f_i t + \varphi_i),$$

waarbij A_i de amplitude van het bij frequentie f_i horende sinus-signaal aangeeft, en φ_i de bijbehorende beginfase. De waarden van A_i en φ_i worden geschat met een kleinste kwadraten methode. Met formule (2.1) is dit niet direct mogelijk, omdat de parameters A_i en f_i niet lineair in formule (2.1) voorkomen. Daarom herschrijft men formule (2.1) als

$$(2.2)\quad w_a(t) = \sum_{i=1}^{N} B_i \sin(2\pi f_i t) + C_i \cos(2\pi f_i t).$$

In formule (2.2) komen de parameters $B_1, \ldots, B_N$ en $C_1, \ldots, C_N$ wel lineair voor, en zijn derhalve eenvoudig met een kleinste kwadraten methode te schatten. Tenslotte verkrijgt men de amplitudes en beginfases in (2.1) via de formules

$$A_i = \sqrt{B_i^2 + C_i^2}, \qquad (i = 1, \ldots, N),$$

en

$$\sin(\varphi_i) = \frac{C_i}{A_i}, \quad \cos(\varphi_i) = \frac{B_i}{A_i}, \qquad (i = 1, \ldots, N).$$

Door vergelijking van de signalen $w(t)$ en $w_a(t)$ wordt berekend welk percentage van de variantie van $w(t)$ door de astronomische getijcomponenten met frequenties $f_1, \ldots, f_N$ wordt verklaard. Het aantal benodigde frequenties N wordt nu zo gekozen dat vergroting van N geen significante verbetering oplevert in de verklarende waarde van het bijbehorende signaal $w_a(t)$.

3.1.5 Herschatting van de periodiciteiten

Zoals reeds eerder is aangegeven bedraagt de resolutie van de berekende Fouriergetransformeerde $8.832 \cdot 10^{-5}\ \frac{1}{\text{dag}}$. Naast de gewogen middeling kan door een kleine aanpassing deze nauwkeurigheid worden vergroot. Allereerst wordt voor ieder jaar in de periode 1971-2001 met de in paragraaf 3.1.4 beschreven methode een schatting van amplitudes en beginfases gemaakt, gebaseerd op de waterstandgegevens van dat jaar. Behalve duidelijk waarneembare veranderingen in de jaarlijkse amplitudes, blijken de jaarlijks gemeten beginfases veelal een duidelijk lineair verloop te kennen:

$$\varphi_i(t) \approx \alpha_i + \beta_i t.$$

De waardes van α_i en β_i zijn met een kleinste kwadraten criterium eenvoudig te schatten. Voor het op jaarlijkse schattingen gebaseerde signaal $w_a(t)$ geldt nu

$$w_a(t) = \sum_{i=1}^{N} A_i(t) \sin(2\pi f_i t + \alpha_i + \beta_i t) = \sum_{i=1}^{N} A_i(t) \sin(2\pi (f_i + \frac{\beta_i}{2\pi})t + \alpha_i).$$

Blijkbaar kan de oorspronkelijk geschatte frequentie f_i beter met de waarde $\frac{\beta_i}{2\pi}$ gecorrigeerd worden. Daarbij moet echter wel worden gecontroleerd of de term $\frac{\beta_i}{2\pi}$ inderdaad kleiner is dan de resolutie $8.832 \cdot 10^{-5}\ \frac{1}{\text{dag}}$. Mocht de waarde van $\frac{\beta_i}{2\pi}$ namelijk beduidend groter zijn, dan is het onwaarschijnlijk dat deze fase-verschuiving voortvloeit uit een onnauwkeurige schatting van de frequentie, maar wijzen de data erop dat in de loop der jaren bij deze frequentie daadwerkelijk een faseverschuiving is opgetreden.

In het gebruikte algoritme wordt, indien de geschatte correctieterm kleiner is dan de resolutie in het frequentiedomein, deze correctie van de frequentie uitgevoerd. Indien de geschatte correctieterm groter is dan de resolutie, wordt de geschatte correctieterm niet gebruikt. In plaats daarvan wordt de MATLAB-functie "`fminbnd`" toegepast om de nauwkeurigheid van de geschatte frequentie verder te vergroten.

In [12] zijn voor verschillende meetstations langs de Westerschelde de belangrijkste 94 periodiciteiten van de per uur gemeten waterstand bepaald. Daarom worden de geschatte periodiciteiten (na correctie) ook met de gegevens uit [12] vergeleken, en eventuele afwijkingen geregistreerd.

3.1.6 Herschatting tijdvariante amplitudes

Met de gecorrigeerde periodiciteiten wordt de berekening van amplitudes en beginfases, zoals aangegeven in Paragraaf 3.1.4 herhaald, met dien verstande dat deze schattingen bepaald worden met de waterstandgegevens van één jaar, over de periode 1971-2001. Dit levert opnieuw een jaarlijkse schatting van beginfase en amplitude op, waarbij men mag verwachten dat de geschatte beginfases nagenoeg constant zullen zijn; het verloop in de fases is immers gebruikt om de periodiciteiten nauwkeuriger te schatten. Wel zal er een tijdsverloop in de bij iedere frequentie geschatte amplitude aanwezig zijn. Bovendien wordt bepaald welk percentage van de variantie van het getijdensignaal $w(t)$ op basis van gecorrigeerde frequenties en met tijdvariante amplitudes en beginfases kan worden verklaard. Dit percentage moet hoger zijn dan het percentage vóór frequentiecorrectie.

3.2 Data-analyse met gegevens van meerdere meetstations

De analyse in Paragraaf 3.1 van ieder afzonderlijk meetstation resulteert per station in de volgende gegevens:

1. gemiddelde waterhoogte (in cm t.o.v. NAP) en gemiddelde stijging van de waterstand (in cm per jaar),
2. belangrijkste N periodiciteiten in de waterstandgegevens,
3. bij iedere periodiciteit een jaarlijkse schatting van de amplitude van het corresponderende sinusvormige signaal.

3.2.1 Vergelijking en keuze periodiciteiten

In ieder van de zes meetstations zullen de meest prominente periodiciteiten in het getijdensignaal $w(t)$ hetzelfde zijn; ze worden immers verklaard door het astronomisch getij. Indien echter veel frequentiecomponenten in de analyse zijn meegenomen (d.w.z. als N relatief groot is), is de detaillering van de analyse zo groot, dat ook frequentiecomponenten met een relatief lage amplitude in de beschouwing worden betrokken. De significantie van dergelijke frequenties is natuurlijk veel geringer dan van frequenties die met een grote amplitude corresponderen. Bij grote N is het mogelijk dat in verschillende meetstations getijde-frequenties met een kleine amplitude niet met elkaar overeenstemmen: frequentie f_i hoort in station A wel tot de N frequenties met de grootste amplitude, maar in station B niet. Dat betekent niet, dat frequentie f_i niet in het signaal van station B voorkomt, maar daar bijvoorbeeld pas op plaats $N+2$ staat. Dit fenomeen treedt met name op als er rond frequentie f_N verschillende andere frequentiecomponenten in het signaal aanwezig zijn met nagenoeg dezelfde amplitude. Een inventarisatie van de in ieder meetstation bepaalde frequenties is dus noodzakelijk voor een vergelijking tussen de meetstations; er moet een keuze worden gemaakt welke frequenties verder geanalyseerd zullen worden. In deze studie wordt gekozen voor de N belangrijkste frequenties $f_1, \ldots, f_N$ zoals die met de waterstandgegevens in Bath bepaald zijn, omdat in Bath de getijdeslag het grootst is, en derhalve veranderingen in het getij hier wellicht het eerst zichtbaar worden.

3.2.2 Vergelijking van amplitudeverloop per frequentie

Voor ieder meetstation worden eerst op basis van de nu gefixeerde frequenties $f_1, \ldots, f_N$ de berekeningen uit Paragraaf 3.1.6 herhaald. Dit levert voor iedere frequentie en ieder meetstation een tijdsafhankelijke schatting van de amplitude op. Voor alle meetstations wordt dit amplitudeverloop in één figuur getekend. Vervolgens worden deze grafieken op de volgende criteria beoordeeld:

1. Aanwezigheid van een periodiciteit van 18.6 jaar, zoals die in de literatuur (zie bijvoorbeeld [9, p. 9]) wordt beschreven. (Gevolg van de verandering van de helling van de baan van de maan t.o.v. de aarde). Hiertoe wordt met de MATLAB-functie "`fminbnd`" een schatting gemaakt van de in het amplitudeverloop zichtbare periodiciteit.

2. Relatieve verandering van het verloop van de amplitude-grafiek van één meetstation ten opzichte van een ander meetstation. Een dergelijke verandering zou namelijk verklaard kunnen worden door veranderingen in het Westerscheldesysteem. Om relatieve veranderingen van de grafieken ten opzichte van elkaar beter te kunnen beoordelen, worden de gegevens per meetstation genormaliseerd (op gemiddelde 0 en variantie 1 m.b.v. de MATLAB-functie "`prestd`").

3.2.3 ARMA-modellering op basis van het niet-verklaarde gedeelte van het signaal

Hiertoe worden twee meetstations bestudeerd, met bijbehorende getijdensignalen $w_1(t)$ en $w_2(t)$. Uit beide signalen worden eerst de N belangrijkste periodiciteiten beschouwd. Dit leidt tot schattingen $w_{a,1}(t)$ en $w_{a,2}(t)$ voor de waterstand in de stations 1 en 2, op basis van de meegenomen periodiciteiten. Het niet-verklaarde restsignaal is $r_1(t) = w_1(t) - w_{a,1}(t)$ in station 1, en $r_2(t) = w_2(t) - w_{a,2}(t)$ in station 2. Dit restsignaal wordt in belangrijke mate beïnvloed door meteorologische omstandigheden, omdat de astronomische component reeds grotendeels uit het signaal is verwijderd.

Daar op een vast tijdstip de weersomstandigheden in alle meetstations vergelijkbaar zullen zijn, zal er een verband bestaan tussen het signaal $r_1(t)$ in station 1 en signaal $r_2(t)$ in station 2. Dit verband kan met een ARMA (Auto Regressive Moving Average) model worden gemodelleerd.

Een ARMA (p, q, r)-model voor een systeem met ingang $u(t)$ en uitgang $y(t)$ wordt gegeven door de formule

$$y(t)+a_1y(t-1)+\cdots+a_py(t-p) = b_1u(t-1)+\cdots+b_qu(t-q)+e(t)+c_1e(t-1)+\cdots+c_re(t-r),$$

waarbij $e(t)$ een ruissignaal voorstelt. De parameters $a_1, \ldots, a_p, b_1, \ldots, b_q, c_1, \ldots, c_r$ worden zo gekozen dat het ruissignaal $e(t)$ zo klein mogelijk is. Daarbij dient men na te gaan dat het berekende model stabiel is, d.w.z. als het systeem niet geëxciteerd wordt, zal de uitgang $y(t)$ onafhankelijk van de begintoestand naar 0 convergeren. In een geschikt model zal het geschatte ruissignaal bovendien witte ruis moeten benaderen. De coëfficiënten $c_1, \ldots, c_r$ zijn immers toegevoegd om kleuring van de ruis in de modellering te betrekken. Indien $q = 0$ wordt het systeem niet door de ingang beïnvloed, en spreekt men van een autoregressief (AR) model. Als $p = 0$, en $y(t)$ alleen bepaald wordt door ingang u en ruisterm e, heet het model een moving average (MA) model.

ARMA-modellering wordt toegepast op de signalen $r_1(t)$ en $r_2(t)$, waarbij het signaal van het meest westelijk gelegen meetstation als ingang dient, en het signaal in het meest oostelijk gelegen station als uitgang. Na een geschikte keuze van de parameters (p, q, r) (trial and error), worden met de MATLAB-functie "`armax`" de parameters $a_1, \ldots, a_p, b_1, \ldots, b_q, c_1, \ldots, c_r$ berekend, zowel op

basis van de totale meetperiode 1971-2001 (tijdinvariant model) als op basis van meetperioden ter lengte van een jaar (tijdvariant model). Het verschil in de verklaarde variantie in het tijdvariante en tijdinvariante model, alsmede de grootte van het tijdsverloop van de parameters in het tijdvariante model, geven aan in hoeverre een verandering in de Westerschelde in deze data zichtbaar is.

De in deze paragraaf beschreven analyse is in eerste instantie uitgevoerd voor de volgende stations

1. Ingang: Westkapelle, Uitgang: Bath,
2. Ingang: Hansweert, Uitgang: Bath,
3. Ingang: Cadzand, Uitgang: Terneuzen.

Bovendien wordt in deze analyse het meetstation Lichteiland Goeree, een meetstation buiten de Westerschelde, als voorspeller voor Bath meegenomen:

4. Ingang: Lichteiland Goeree, Uitgang: Bath.

Op deze manier kan gemakkelijker een onderscheid gemaakt worden tussen algemene veranderingen in de waterstand voor de kust van Zuidwest Nederland, en veranderingen die specifiek zijn voor de Westerschelde.

3.2.4 ARMA-modellering op basis van het getijdensignaal

Als aanvulling op de ARMA-modellering van Paragraaf 3.2.3 wordt ook direct op basis van de getijdensignalen $w_1(t)$ en $w_2(t)$ een ARMA-model aangepast. In dit geval zijn de belangrijkste periodiciteiten niet uit het signaal verwijderd, maar worden binnen het ARMA-model gemodelleerd. De verklaarde variantie van deze modellering wordt vergeleken met de eerdere strategie.

4 Verworpen analysemethoden

Het waterstandsignaal met de eenmaal per uur gemeten data heeft het karakter van een amplitude gemoduleerd signaal. De draaggolf met periode T_0 wordt gevormd door het M2-getij, en alle andere periodiciteiten kunnen worden beschouwd als periodiciteiten van de amplitude modulatie. Het amplitude gemoduleerd signaal wordt in dit geval gekarakteriseerd door

$$(2.3)\quad y(t) = \left(A_0 + \sum_{i=1}^{K} A_i \sin(\frac{2\pi}{T_i}t + \varphi_i) \right) \cdot \sin(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi_0),$$

waarbij $T_1, \ldots, T_K$ de periodiciteiten van de amplitude modulatie voorstellen, met bijbehorende beginfasen $\varphi_1, \ldots, \varphi_K$.

Het waterstandsignaal $y(t)$ in (2.3) kan herschreven worden als som van sinussignalen:

$$\begin{aligned} y(t) &= A_0 \sin(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi_0) + \sum_{i=1}^{K} \frac{A_i}{2} \sin((\frac{2\pi}{T_0} - \frac{2\pi}{T_i})t + (\varphi_0 - \varphi_i) + \frac{\pi}{2}) \\ &\quad - \sum_{i=1}^{K} \frac{A_i}{2} \sin((\frac{2\pi}{T_0} + \frac{2\pi}{T_i})t + (\varphi_0 + \varphi_i) + \frac{\pi}{2}). \end{aligned} \tag{2.4}$$

Hieruit volgt dat periodiciteiten in de amplitude modulatie niet overeenkomen met de periodiciteiten die uit de Fouriergetransformeerde van het eenmaal per uur gemeten waterstandsignaal worden verkregen. Een periode $T_i >> T_0$ in de amplitude modulatie geeft aanleiding tot frequenties

$$\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} = \frac{T_i - T_0}{T_i T_0} \text{ en } \frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_i} = \frac{T_i + T_0}{T_i T_0}$$

in de Fouriergetransformeerde van het signaal $y(t)$.

Een alternatief voor de uitgevoerde analyse bestaat uit een aanpak die nauwer bij het amplitude gemoduleerd karakter van het waterstandsignaal aansluit. Door in de Fouriergetransformeerde naar het verschil tussen de hoofdfrequentie (behorende bij periodiciteit T_0) en de nabij gelegen frequentiecomponenten te kijken, wordt een schatting gemaakt van de periodiciteiten van de amplitude modulatie. Vervolgens wordt formule (2.4) gebruikt om m.b.v. een kleinste kwadraten methode schattingen te maken van de amplitudes $A_0, A_1, \ldots, A_K$ en de beginfases $\varphi_0, \varphi_1, \ldots, \varphi_K$. Deze schattingsmethode levert echter geen bevredigende resultaten op. Ten eerste is het verklarend vermogen van deze analyse minder groot, ondanks het feit dat minstens zoveel parameters worden geschat. Een tweede probleem doet zich voor in de schattingsmethodiek. Hiervoor wordt het probleem getransformeerd naar een kleinste kwadraten probleem, door de introductie van een groot aantal nieuwe parameters. Bij het oplossen van het kleinste kwadraten probleem zijn deze parameters allemaal vrij, maar in werkelijkheid zijn ze onderling gerelateerd via de amplitude modulatie van formule (2.4). Nadat de waarde van de parameters is bepaald, dient men dus na te gaan of de uitkomsten voldoen aan de overige eisen die aan de parameters zijn gesteld. Op dit punt blijken theorie en praktijk niet goed met elkaar in overeenstemming. De op amplitude modulatie geënte methode leidt dus tot teleurstellende resultaten, en is derhalve in de uiteindelijke analyse van de waterstandgegevens niet gebruikt.

5 Resultaten

5.1 Resultaten data-analyse per meetstation

De in Paragraaf 3.1 beschreven analyse is uitgevoerd voor de meetstations Bath, Hansweert, Terneuzen, Vlissingen, Cadzand en Westkapelle, zowel op de ieder uur gemeten waterstanden over de periode 1-1-1971 tot en met 31-12-2001, als op de hoog- en laagwaterstanden. In deze laatste twee gevallen is alleen de meetperiode meegenomen waarvoor er twee metingen per dag geregistreerd zijn (vergelijk Tabel 2.1). De numerieke resultaten van deze analyses zijn verzameld in Appendix A.2.

Tabel 2.3: Lineaire trend in de waterstand (in centimeter per jaar)

	uurdata	hoogwater	laagwater
Bath	0.2154	0.5982	−0.3843
Hansweert	0.4713	0.4274	0.1541
Terneuzen	0.2520	0.4597	0.06741
Vlissingen	0.2802	0.3002	0.07293
Cadzand	0.1472	0.2396	0.02215
Westkapelle	0.2868	0.1930	0.1799

5.1.1 Verwijdering van de trend

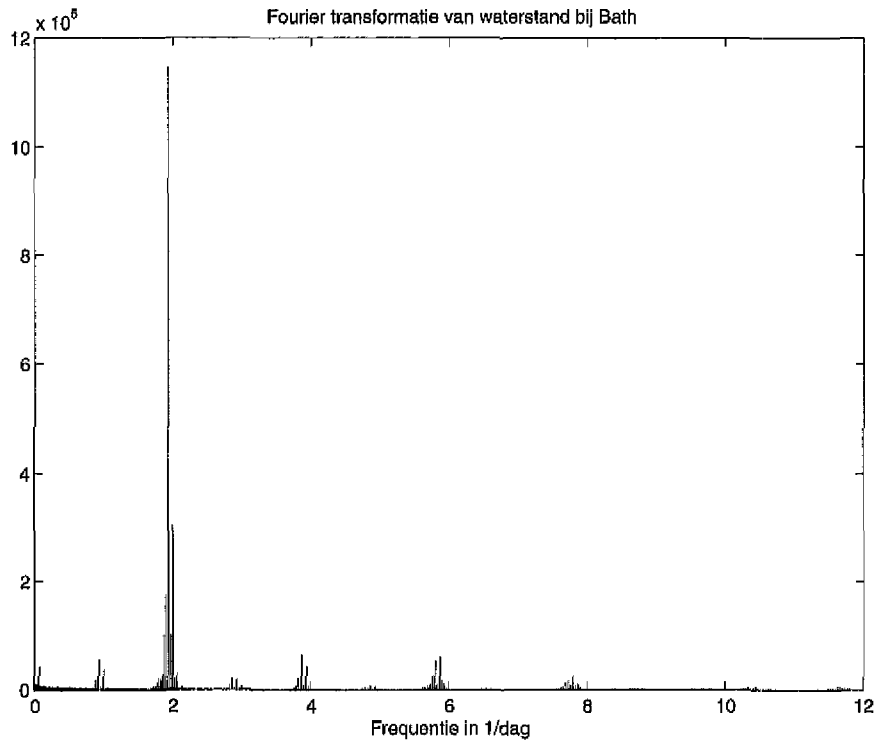
De eerste stap in de analyse is het gereedmaken van de data voor uitvoering van Fouriertransformatie. Hiertoe worden gemiddelde en trend uit de betreffende signalen verwijderd. Een overzicht van de berekende lineaire trends in de waterstanden is gegeven in Tabel 2.3.

De tabel kent enkele opvallende uitkomsten. De berekende trends in het hoogwater voldoen het meest aan de verwachting: hoe oostelijker in de Westerschelde, des te groter is de trend. De trends in de uurdata vertonen één uitschieter. Terwijl alle andere waarden rond de 0.2 cm/jaar liggen, bedraagt de trend in Hansweert het dubbele, namelijk 0.4713 cm/jaar. Hoewel deze observatie meer aandacht verdient, wordt hij in deze studie verder buiten beschouwing gelaten. Ook de trends in het laagwater vertonen verrassende resultaten; ondanks zeespiegelrijzing is de trend in Bath negatief. Ook hierop wordt in deze studie niet verder ingegaan.

5.1.2 Fouriertransformatie en keuze van het aantal periodiciteiten

Nadat het gemiddelde en de trend uit het signaal verwijderd zijn, wordt op het resterende signaal Fouriertransformatie toegepast. Het resultaat voor de uurdata in Bath is weergegeven in Figuur 2.1. (Eenzelfde analyse kan vanzelfsprekend ook op de hoog- en laagwaterdata worden toegepast). In Figuur 2.1 is duidelijk te zien dat de belangrijkste frequentiecomponenten rond de 2/dag liggen, maar ook bij veelvouden daarvan (hogere harmonischen). Om het gedrag rond 2 beter te kunnen bestuderen, is in Figuur 2.2 op dit gebied ingezoomd. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de Fouriergetransformeerde is opgebouwd uit een groot aantal discrete pieken. Dit geeft aan dat het oorspronkelijke signaal inderdaad beschouwd kan worden als een som van sinusfuncties met verschillende amplitudes, beginfases en periodiciteiten. Deze periodiciteiten zijn af te lezen uit de Fouriergetransformeerde.

Om vast te stellen welke periodiciteiten en hoeveel periodiciteiten in de analyse worden meegenomen (het getal N uit Paragraaf 3.1.4), voert men eerst de analyse van paragraaf 3.1.4 uit voor verschillende waarden van N. Voor ieder van deze waarden wordt ook berekend welk percentage van de variabiliteit van het signaal door de N belangrijkste periodiciteiten van het signaal wordt verklaard. Doorgaans wordt het getal N bepaald als het kleinste getal waarbij het toevoegen van een volgende periodiciteit weinig zin heeft, omdat de additionele verklarende waarde van deze $N+1$-e periodiciteit relatief veel kleiner is dan de additionele verklarende waarde van de N-e periodiciteit. Deze vuistregel blijkt voor de waterstandreeksen weinig op te leveren. Voor de uurdata zijn 4 periodiciteiten al genoeg om ongeveer 70% van het signaal te verklaren, terwijl de volgende 10 periodiciteiten slechts nog een extra 10% hieraan toevoegen. Desondanks is er bij deze minder belangrijke periodiciteiten geen echt



Figuur 2.1: Fouriergetransformeerde van de eenmaal per uur gemeten waterstand in Bath

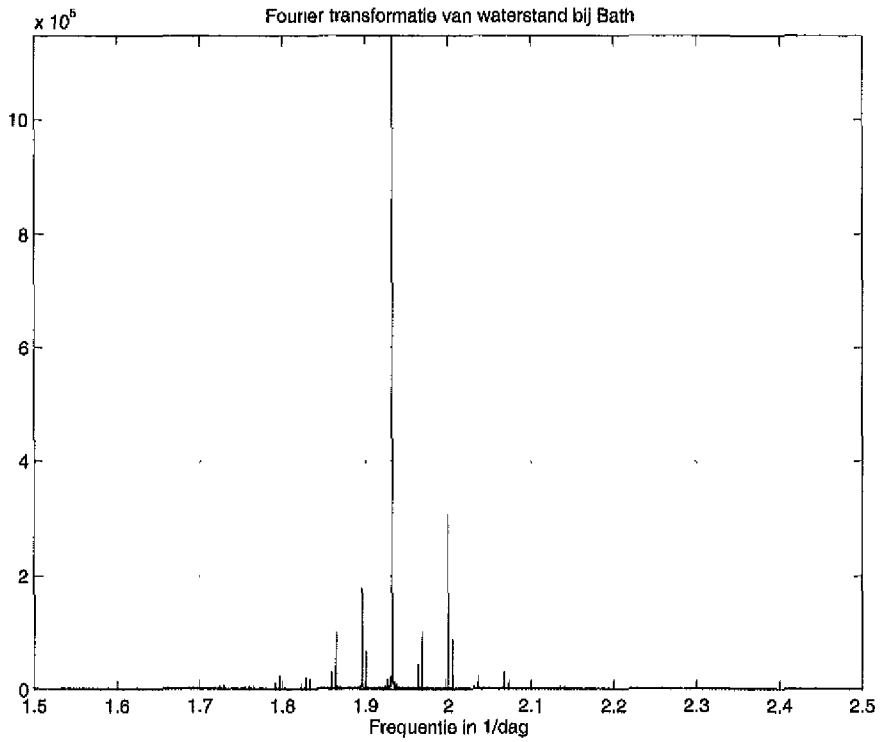
breekpunt te herkennen; iedere volgende periodiciteit levert een kleine, maar ongeveer even grote bijdrage in de vergroting van de verklaarde variabiliteit.

Voor de uurdata is uiteindelijk een keuze gemaakt om met $N = 15$ periodiciteiten te werken. Hoewel in [12] sprake is van 94 periodiciteiten, is dat getal voor deze studie veel te groot. Bovendien leveren de additionele 79 periodiciteiten nauwelijks een bijdrage in de verklaarde variabiliteit (samen ongeveer 2%). Om na te gaan of de keuze voor $N = 15$ erg gevoelig is, is de analyse ook een keer uitgevoerd voor $N = 30$ periodiciteiten, zonder een wezenlijk verschil in resultaten.

De voorspelling van hoog- en laagwaterstanden blijkt op basis van enkele periodiciteiten veel moeilijker uit te voeren; de resterende variabiliteit is hier veel hoger dan in de uurdata. Dit is niet onverwacht omdat de hoog- en laagwaterdata alleen worden gemeten wanneer de draaggolf haar maximum resp. minimum bereikt, en daardoor veel gevoeliger zijn voor ruis. Uiteindelijk is zowel voor het hoogwater als het laagwater voor $N = 7$ gekozen; het toevoegen van meer periodiciteiten heeft nauwelijks invloed op de voorspellende waarde van het model. Desondanks wordt door 7 periodiciteiten slechts zo'n 40% van de variabiliteit van het hoogwater en zo'n 20% van de variabiliteit van het laagwater verklaard. Opnieuw blijkt met name de laagwaterstand erg moeilijk te voorspellen.

5.1.3 Bepaling en vergelijking van de belangrijkste periodiciteiten

Na Fouriertransformatie kunnen m.b.v. de MATLAB-routine "`zoekpieken`" de belangrijkste periodiciteiten in het waterstandsignaal eenvoudig worden geïsoleerd. Wanneer vervolgens voor de



Figuur 2.2: Fouriergetransformeerde van de eenmaal per uur gemeten waterstand in Bath (detail)

uurdata de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten in de zes meetstations worden vergeleken, zijn er grote overeenkomsten (zie Appendix A.2). Het is interessant om te kijken als we iets zien of dit zich beperkt tot de Westerschelde. Om die reden is bij de vergelijking tussen de 6 stations als vergelijking toegevoegd dezelfde karakteristiek voor Scheveningen. Het is duidelijk dat als iets gezien wordt dat zich ook voordoet in Scheveningen dat dit dan een oorzaak heeft die niets met de Westerschelde te maken heeft. In alle stations behalve Bath worden dezelfde 15 periodiciteiten als belangrijkste periodiciteiten waargenomen. In Bath komen 14 van deze periodiciteiten voor, maar is één van de minder belangrijke periodiciteiten vervangen door een andere. In Tabel 2.4 zijn alle frequenties opgevoerd, waarbij is aangegeven welke frequenties in sommige stations lichte afwijkingen vertonen. Deze afwijkingen zijn echter erg klein, en vallen binnen de meetnauwkeurigheid. De volgorde van de frequenties in Tabel 2.4 is de volgorde van belangrijkheid zoals die in Bath is gemeten.

De gemeten frequenties in de uurdata zijn ook vergeleken met de resultaten in [12], om na te gaan of deze studie dezelfde $N = 15$ belangrijkste frequenties oplevert. De afwijkingen blijken minimaal. Ten eerste zijn de getalswaarden identiek, afgezien van enkele afwijkingen van 0.00001 die binnen de meetnauwkeurigheid vallen. Bovendien blijken in ieder meetstation 14 van de 15 frequenties overeen te komen. In [12] behoort echter het getij NLK2, met een frequentie van 1.85907/dag, in ieder meetstation tot de belangrijkste 15 frequenties, terwijl dit getij niet in Tabel 2.4 voorkomt. Ten opzichte van [12] is in de huidige studie het getij NLK2 in Bath vervangen door K1, in Hansweert en Terneuzen door SA, en in Vlissingen, Cadzand en Westkapelle door LABDA2.

Deze kleine variatie in de bepaling van de $N = 15$ belangrijkste frequentie-componenten in het getij is niet verontrustend. Zoals eerder is opgemerkt is in deze waterstandanalyse moeilijk exact vast te

Tabel 2.4: 15 belangrijkste frequenties in uurdata (in 1/dag)

Frequentie	Getij	Afwijking
1.93227	M2	
2.00000	S2	
1.89598	N2	
1.96857	2MN2	−0.00001
1.86455	MU2	
2.00547	K2	
1.90084	NU2	
3.86454	M4	+0.00001
5.86455	2MS6	
0.92954	O1	
5.79682	M6	
3.93227	MS4	+0.00001
0.06773	SM	Alleen in Bath
1.96371	LABDA2	
1.00274	K1	
0.00273	SA	Alleen niet in Bath

stellen hoeveel frequentiecomponenten in de analyse meegenomen dienen te worden. Bij een keuze van $N = 15$ wordt de scheidslijn gelegd bij een frequentie waarvan de bijbehorende sinusfunctie een amplitude heeft van 5 tot 7 centimeter. Er blijken echter verschillende andere getijcomponenten aanwezig te zijn, waarvan de amplitude nagenoeg even groot is. In zulke gevallen heeft de gekozen rekenmethode (bepaling van de amplitude bij een frequentie over een korte of lange tijdhorizon) invloed op de bepaling van de laatsten van de $N = 15$ belangrijkste frequenties. Enige variatie tussen verschillende meetstations en tussen verschillende studies is dan ook goed verklaarbaar, temeer daar de amplitudes bij de al dan niet verkozen periodiciteiten nagenoeg hetzelfde zijn. Vergroting van de waarde van N, het aantal meegenomen frequentiecomponenten, zal de variatie in de gekozen frequentiecomponenten niet verminderen. Omdat de verklaarde variabiliteit van het signaal als functie van het aantal meegenomen periodiciteiten geen duidelijk breekpunt vertoont, zal ook bij grotere N hetzelfde probleem ontstaan, maar dan op een ander amplitudeniveau.

In het vervolg van deze studie is er voor gekozen om wat de uurdata betreft verder te werken met de $N = 15$ belangrijkste frequentiecomponenten, zoals die in Bath gemeten zijn (zie Tabel 2.4). In het bijzonder wordt het getij SM dus wel, en het getij SA niet in de vervolganalyse meegenomen.

Voor de hoogwatergegevens is er voor gekozen $N = 7$ periodiciteiten uit de data te isoleren. Deze keuze is tot stand gekomen na enige experimenten, waarbij ook andere waarden van N zijn bekeken. De exacte resultaten van de analyse per meetstation zijn opgenomen in Appendix A.2; in Tabel 2.5 zijn de belangrijkste 7 frequenties samengevat. Opnieuw is bij de volgorde van de opsomming van de frequenties dezelfde volgorde aangehouden zoals die in Bath werd vastgesteld.

Uit Tabel 2.5 blijkt dat de 5 belangrijkste frequenties in alle meetstations langs de Westerschelde worden gemeten. Bij de overige 2 frequentiecomponenten is er een lichte variatie tussen de verschillende meetstations. Een vergelijking met resultaten uit eerdere rapporten, zoals bij de uurdata, is in dit geval niet uitgevoerd.

Tabel 2.5: 7 belangrijkste frequenties in hoogwaterdata (in 1/dag)

Frequentie	Aanwezigheid
0.06773	overal
0.03629	overal
0.07320	overal
0.92954	overal
0.13545	overal
0.14093	alleen in Bath en Hansweert
0.93501	overal, behalve in Hansweert en Cadzand
0.00274	overal, behalve in Bath
0.00019	alleen in Cadzand

Tabel 2.6: 7 belangrijkste frequenties in laagwaterdata (in 1/dag)

Frequentie	Aanwezigheid
0.06773	overal
0.92954	overal
0.00274	overal
0.03629	overal
0.07320	overal
0.00021	alleen in Bath en Hansweert
0.13546	overal
0.89324	alleen in Terneuzen en Vlissingen
0.00031	alleen in Cadzand
0.00028	alleen in Westkapelle

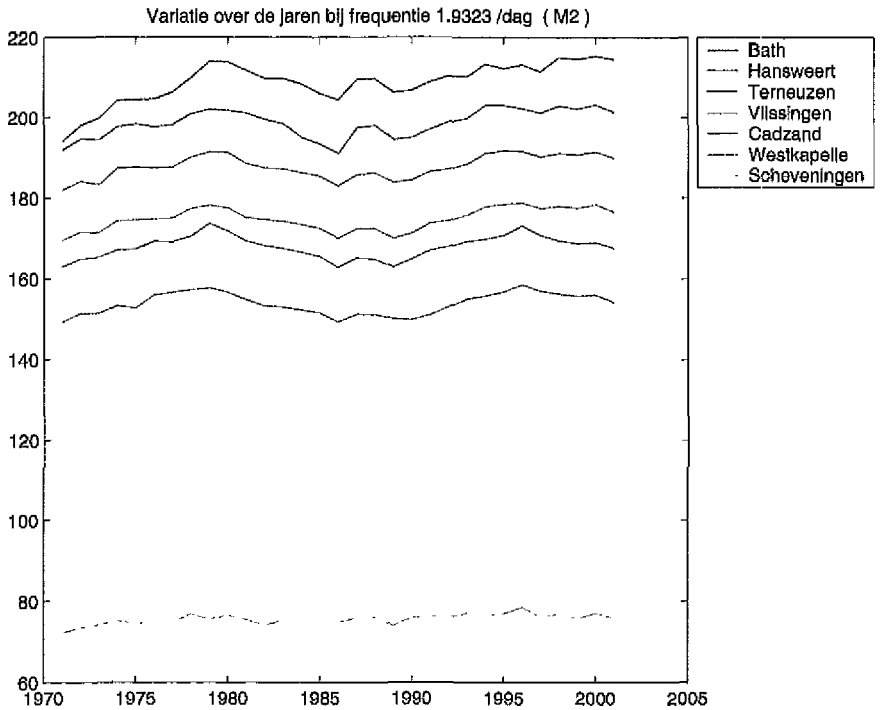
Ook bij de laagwatergegevens is gezocht naar de belangrijkste $N = 7$ periodiciteiten in de data. Voor de exacte resultaten per meetstation wordt verwezen naar Appendix A.2; in Tabel 2.6 zijn deze nogmaals samengevat.

Opnieuw blijken 6 van de 7 belangrijkste frequenties overal in de Westerschelde te worden gemeten. Bovendien zijn deze frequenties hetzelfde als in de hoogwaterdata. Alleen bij de bepaling van de laatste frequentie is er enige variatie tussen de verschillende meetstations.

5.2 Vergelijking van het amplitudeverloop in alle meetstations

De resultaten uit Paragraaf 5.1.3 tonen aan dat de getijdegolf in alle meetstations is samengesteld uit nagenoeg dezelfde frequentiecomponenten. Deze N belangrijkste frequenties (met $N = 15$ voor de uurdata en $N = 7$ voor hoog- en laagwater) kunnen daarom gefixeerd worden. Zoals reeds vermeld, is er in deze studie voor gekozen de N belangrijkste frequentiecomponenten te fixeren, zoals die met de meetgegevens in Bath zijn bepaald.

Men kan nu de getijdegolf zoals die vanaf de Noordzee de Westerschelde binnenkomt zien als een ingangssignaal, dat grotendeels is samengesteld uit de N vastgestelde frequentiecomponenten. Iedere component zal door de vorm van de Westerschelde in meerdere of mindere mate versterkt of verzwakt



Figuur 2.3: Amplitudeverloop van het M2-getij

worden. Door nu het tijdsverloop van de responsie van de Westerschelde op een vaste frequentiecomponent in alle meetstations te bestuderen, kunnen veranderingen in de responsie worden gedetecteerd. Relatieve wijzigingen in de responsie tussen verschillende meetstations vormen een aanwijzing voor verandering van het getij als gevolg van veranderingen in de Westerschelde.

In deze paragraaf wordt per meetstation op basis van de uurdata voor ieder jaar van 1971 tot en met 2001 m.b.v. een kleinste kwadratencriterium (zie Paragraaf 3.1.4) een schatting gemaakt van de amplitudes van de sinussignalen behorende bij de $N = 15$ gefixeerde frequenties. Vervolgens worden per frequentie de resultaten van alle meetstations in één figuur weergegeven; zo wordt het tijdsverloop van de amplitude in ieder meetstation bij een vaste frequentiecomponent zichtbaar. Deze $N = 15$ figuren zijn in Appendix A.4.2 als bijlage opgenomen. In Paragraaf 5.3 zal met de hoogwatergegevens eenzelfde analyse uitgevoerd worden.

5.2.1 Het M2-getij

In Figuur 2.3 is het tijdsverloop van de amplitude van het M2-getij (de veruit belangrijkste frequentiecomponent) nogmaals weergegeven. In alle stations is ongeveer hetzelfde verloop zichtbaar, maar op een ander niveau. Allereerst is het duidelijk dat de amplitude van het M2-getij oostelijk in de Westerschelde steeds groter wordt. Dit effect laat zich door insnoering eenvoudig verklaren. Opvallend is dat de amplitude van het M2-getij niet constant is, maar enigszins van de tijd afhangt. Deze golvende beweging is in alle meetstations hetzelfde. Zelfs een verstoring in het gelijkmatige gedrag, zoals in 1986/87 lijkt te zijn opgetreden, is in alle meetstations zichtbaar. Er is dus een sterke correlatie tussen

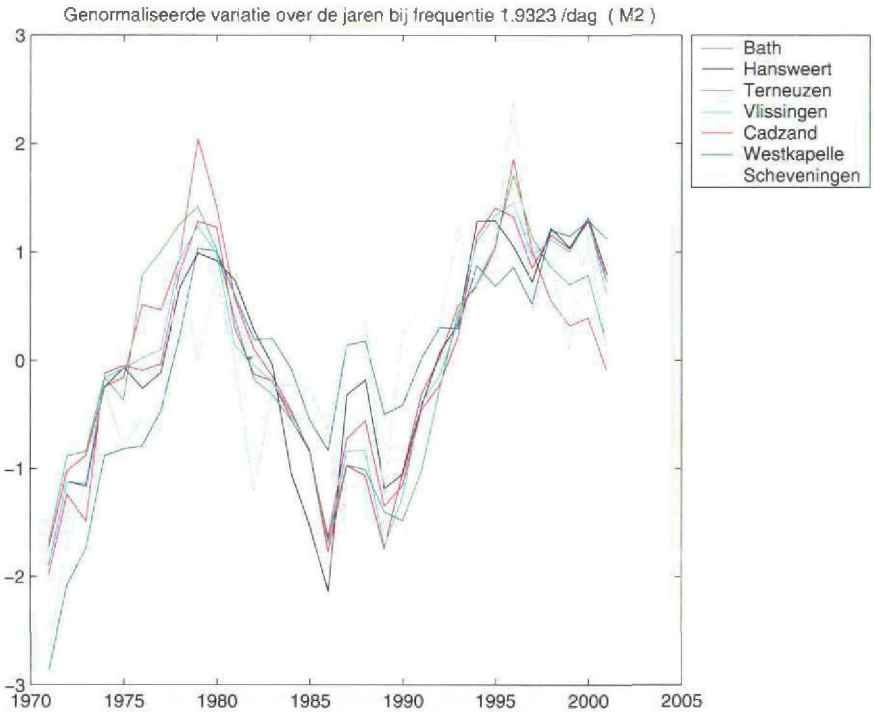
het amplitudeverloop in de verschillende meetstations.

Een mogelijke verklaring voor het sterk gecorreleerde tijdsverloop van de amplitudes is dat veranderingen in de Westerschelde zich in ruimtelijke zin grootschalig manifesteren, d.w.z. overal in het gebied in meer of mindere mate zichtbaar zijn. Zoals te zien in figuur 2.3, zijn de waarnemingen in Scheveningen veel vlakker. Deze hypothese is moeilijk te onderbouwen, omdat niet duidelijk is of de tijdvariatie voortkomt uit lokale veranderingen in de Westerschelde of uit algemene veranderingen op de hele Noordzee. Een andere verklaring voor het tijdvariabele gedrag van de amplitudes is namelijk dat de amplitude van het ingangssignaal, de M2-getij component die vanuit de Noordzee de Westerschelde binnenkomt, eenzelfde soort tijdvariabel gedrag vertoont. Deze veronderstelling lijkt aannemelijker en is bovendien eenvoudig te verifiëren door de gegevens van meetstations verder op de Noordzee, of eventueel elders aan de Nederlandse kust in de analyse te betrekken. Bovendien blijkt uit de analyse dat de verklaarde variantie van een model met jaarlijks variabele beginfase en amplitude-componenten slechts ongeveer 0.5% groter is dan de verklaarde variantie van een model met constante beginfases en amplitudes. Deze observatie lijkt niet te wijzen op grote veranderingen van het M2-getij in de Westerschelde.

Het tijdsverloop van de amplitude van het M2-getij in de zes meetstations langs de Westerschelde is wel geschikt om eventuele relatieve veranderingen van de responsie op het getij in verschillende meetstations op te sporen. Dergelijke relatieve wijzigingen in de responsie vormen een aanwijzing voor lokale veranderingen in de Westerschelde. Relatieve wijzigingen in de responsie van verschillende meetstations zijn in Figuur 2.3 nauwelijks af te lezen. Daarom wordt het amplitudeverloop van ieder station genormaliseerd: het gemiddelde van de amplitude (door de tijd) wordt naar 0 verschoven, en de variantie wordt op 1 gezet. Op die manier ontstaat Figuur 2.4.

In Figuur 2.4 is duidelijk te zien dat alle stations een periodiek verloop vertonen. Wellicht is dit een aanwijzing voor een 18.6-jarige cyclus, zoals die in de literatuur bekend is (zie bijv. [9, p. 9]), en verklaard wordt door de verandering van de helling van de baan van de maan met eveneens een periode van 18.6 jaar. Een verandering in de verhouding tussen de meetstations is nauwelijks vast te stellen. Alleen in het begin van de jaren '70 lijkt Bath achter te blijven bij de andere stations. Dit zou een gevolg van de verruiming van de Westerschelde in die jaren kunnen zijn, maar om hierover zekerheid te krijgen, zou men ook waterstandgegevens van voor 1971 in de analyse moeten betrekken. Over deze periode zijn echter geen uurdata beschikbaar. Samenvattend komt men tot de conclusie dat er onvoldoende aanwijzingen zijn dat door verruiming van de Westerschelde het M2-getij lokaal dan wel globaal is veranderd. Het is aardig om te zien dat na schaling, Scheveningen min of meer het zelfde gedrag vertoont als de andere 6 stations. Dit geeft aan dat het gedrag in ieder geval in grote mate bepaald wordt door factoren buiten de Westerschelde. Opvallend is wel dat volgens RIKZ het M2-getij vanaf 1996 zou moeten dalen en dat in die periode de meetstations aan de oostkant van de Westerschelde relatief achterblijven vergeleken met Scheveningen en de meetstations in het westen van de Westerschelde.

De analyse van de overige 14 getij-componenten die in deze studie worden beschouwd kan op soortgelijke wijze als het M2-getij worden uitgevoerd. Om de beschrijving wat te vereenvoudigen zijn verschillende getij-componenten met overeenkomstig gedrag in groepen ingedeeld.



Figuur 2.4: Relatief amplitudeverloop van het M2-getij

5.2.2 Getij-componenten met een 18.6-jarige cyclus (K2, O1 en M6)

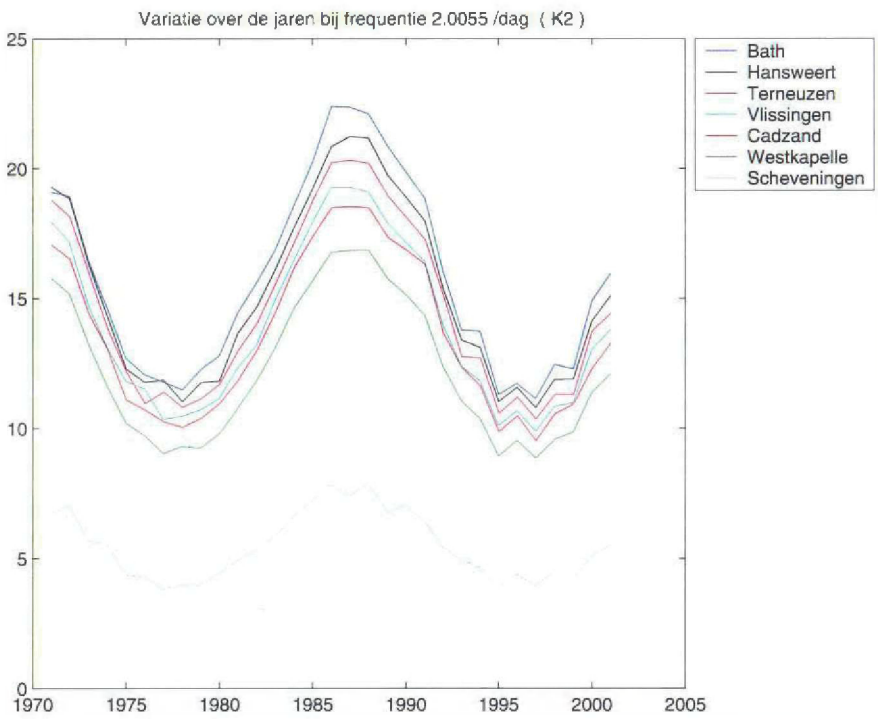
Om na te gaan welke getij-componenten de in de literatuur bekende 18.6-jarige cyclus vertonen, wordt door aanpassing van een sinusfunctie de periodiciteit van het amplitudeverloop geschat. Vervolgens wordt bepaald welk gedeelte van de variabiliteit van het amplitudeverloop door deze optimale periodiciteit wordt verklaard. De getijden waarvoor de verklarende waarde meer dan 10% bedraagt zijn in Tabel 2.7 weergegeven. De getallen in deze tabel zijn gebaseerd op de uurdata gemeten in Bath.

Als vuistregel kan men stellen dat een getij een 18.6-jarige cyclus vertoont indien het amplitudeverloop een periodiciteit bezit van ongeveer 18.6 jaar, en deze periodiciteit een groot gedeelte van de variabiliteit van de amplitude verklaart. Het getij K2 is hiervan het duidelijkste voorbeeld, maar ook de getijden O1 en M6 vallen onder deze noemer. Twijfelgeval is het getij S2, met een geschatte periode van 20.1 jaar, die ruim 45% van de variabiliteit verklaart. Het getijde M2 en ook K1 vallen buiten deze categorie, voornamelijk omdat de geschatte periodes te weinig verklaren van de variabiliteit van de bijbehorende amplitude-signalen.

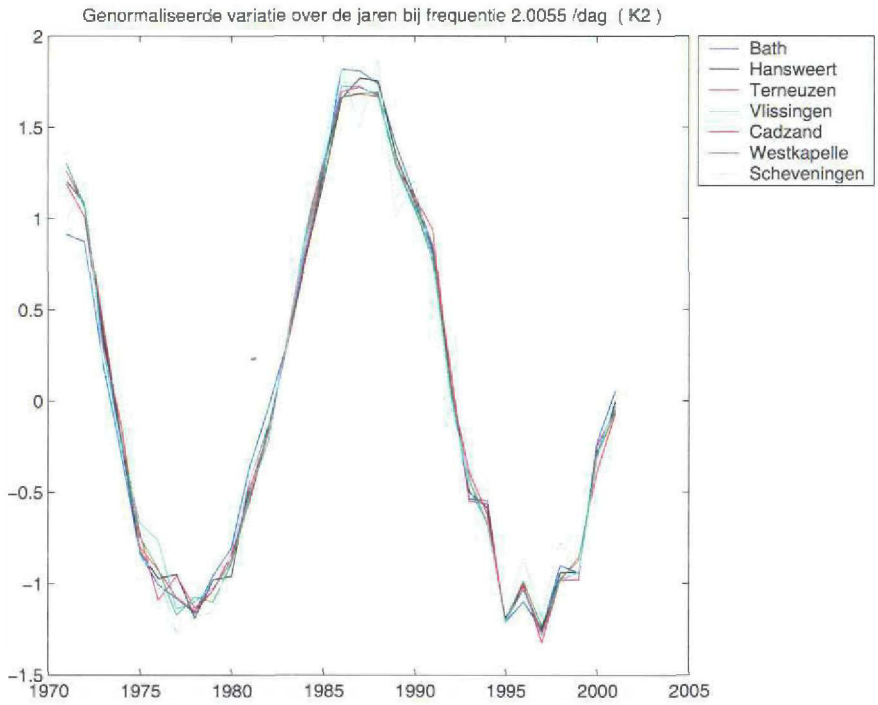
Als representant van deze groep met vergelijkbaar gedrag wordt het getij K2 gekozen (zie Figuur 2.5). Het meest opvallende facet in deze grafiek is het grote en systematische tijdsverloop van de amplitudes. In alle meetstations is dit gedrag hetzelfde. Alleen is in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde het K2-getij iets sterker dan in het westen. Na normalisatie van de amplitudes (zie Figuur 2.6) is dit laatste facet niet meer zichtbaar; er is dan nauwelijks nog verschil te zien tussen de zes meetstations van de Westerschelde. Het opvallende tijdsverloop van de amplitudes daarentegen komt na de normalisatie nog meer tot uitdrukking. Tenslotte is in Figuur 2.7 het amplitudeverloop

Tabel 2.7: Periodiciteit in amplitudeverloop in Bath

Getij	Periode	Verklaarde variantie
M2	17.01 jaar	32.06%
S2	20.1 jaar	45.82%
2MN2	9.895 jaar	12.89%
K2	18.57 jaar	73.38%
NU2	16.66 jaar	14.79%
M4	24.02 jaar	26.19%
O1	17.94 jaar	59.05%
M6	17.88 jaar	57.66%
MS4	23.3 jaar	32.74%
K1	18.62 jaar	26.99%



Figuur 2.5: Amplitudeverloop van het K2-getij



Figuur 2.6: Relatief amplitudeverloop van het K2-getij

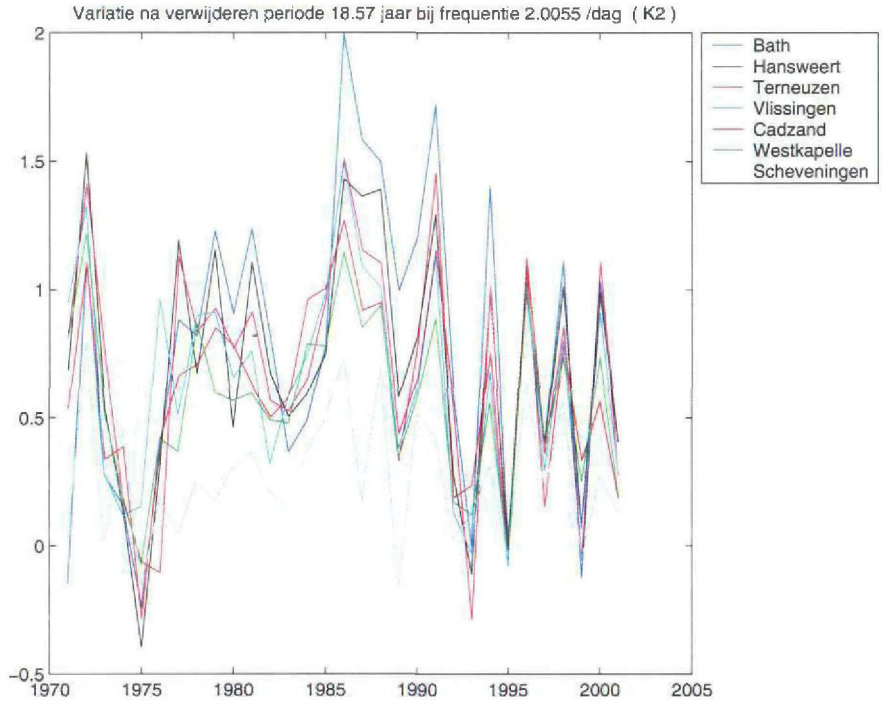
weergegeven, na verwijdering van de periodiciteit van 18.57 jaar. In deze grafiek is weinig systematiek meer te ontdekken, maar wel is het niveau van het amplitudeverloop met ongeveer een factor 10 teruggebracht (oorspronkelijk tussen 10 en 20 centimeter; na verwijdering van de periodiciteit tussen -0.5 en 2 centimeter).

Daar een 18.6-jarige cyclus een bekend verschijnsel is, veroorzaakt door de verandering van de helling van de baan van de maan, en met name uit Figuur 2.6 blijkt dat het K2-getijde in alle meetstations relatief gezien hetzelfde gedrag vertoont, geeft het amplitudeverloop van het K2-getijde geen enkele aanwijzing, noch lokaal noch globaal, voor mogelijke veranderingen in de Westerschelde.

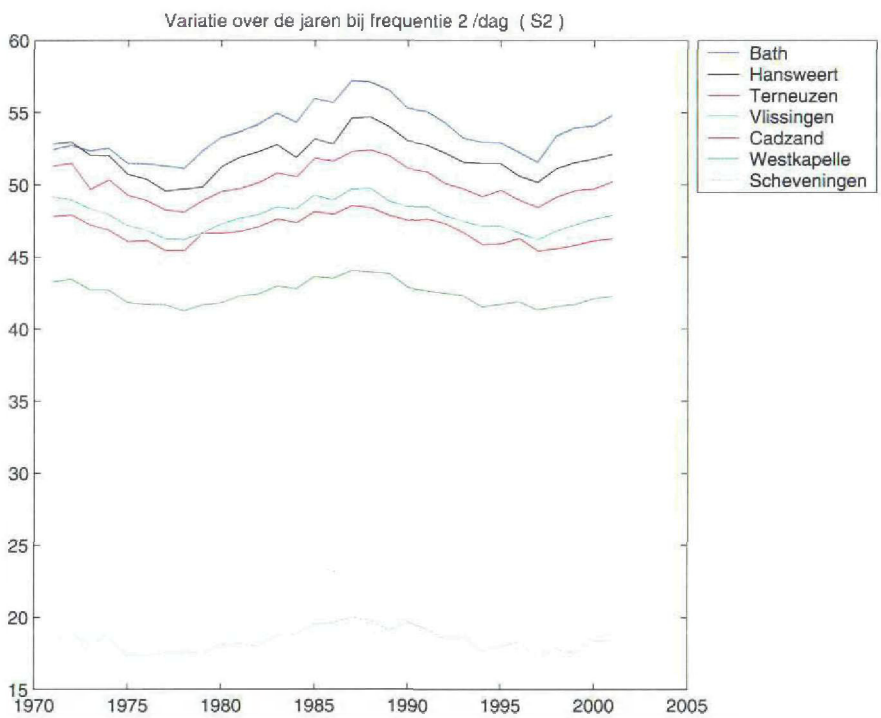
De getijden O1 en M6 vertonen eenzelfde soort gedrag als het getijde K2, met dien verstande dat de 18.6-jarige periodiciteit in deze getijden wat minder prominent aanwezig is (zie de figuren in Appendix A.4.2). Toch geeft ook het amplitudeverloop van deze getijden geen enkele aanwijzing voor eventuele veranderingen in de Westerschelde. Zeker omdat blijkt dat ook in Scheveningen een vergelijkbaar gedrag is waargenomen.

5.2.3 Het S2-getij

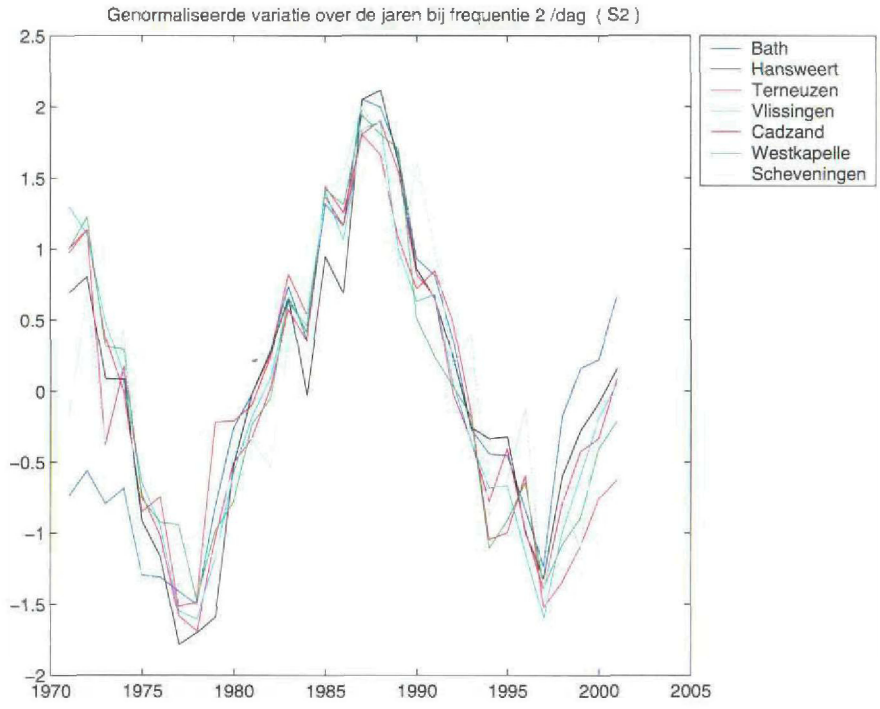
In Figuur 2.8 is het amplitudeverloop van het S2-getij uitgezet. Op het oog lijkt ook dit getijde een periodiciteit van 18.6 jaren te bevatten, hoewel de resultaten in Tabel 2.7 deze aanname in eerste instantie niet lijken te ondersteunen. Een andere verklaring voor het amplitudeverloop zou namelijk een verruiming van de Westerschelde kunnen zijn. In alle meetstations neemt de amplitude van het S2-getij aan het einde van de zeventiger jaren, dus aan het einde van de eerste verruiming, toe, om na 1987



Figuur 2.7: Amplitudeverloop van het K2-getij na verwijdering periodiciteit



Figuur 2.8: Amplitudeverloop van het S2-getij

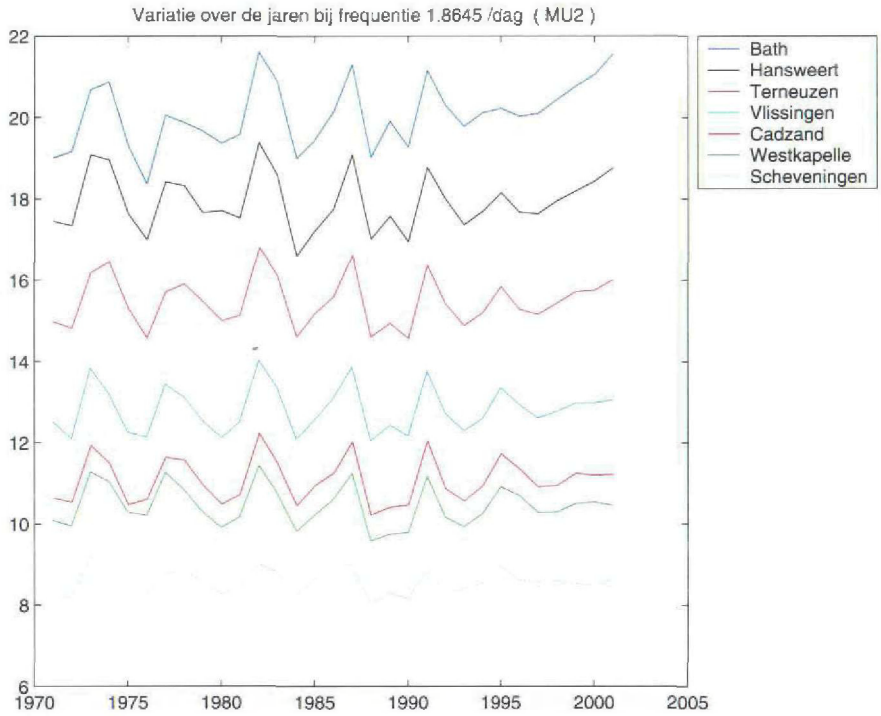


Figuur 2.9: Relatief amplitudeverloop van het S2-getij

weer af te nemen. Vanaf 1997, dus bij de tweede verruiming neemt de amplitude opnieuw toe. Deze hypothese wordt echter weersproken door de data van Scheveningen die een vergelijkbaar gedrag vertoont en dus lijkt het toch waarschijnlijker dat dit weer door factoren buiten de Westerschelde wordt veroorzaakt.

Als het amplitudeverloop van het S2-getij een gevolg is van de verruiming van de Westerschelde, dan heeft deze verandering in ruimtelijke zin grootschalige effecten, want dan is ze waarneembaar in alle meetstations langs de Westerschelde. Figuur 2.8 geeft immers aan dat eenzelfde effect in alle meetstations zichtbaar is. Dit wordt nog eens bevestigd in Figuur 2.9, waarin het genormaliseerde amplitudeverloop is uitgezet. Er zijn geen duidelijke wijzigingen in de verhoudingen tussen de meetstations; wellicht is alleen bij Bath het S2-getij relatief wat sterker geworden. Dit verschil is echter zo klein, dat men niet kan spreken over lokale veranderingen van het gedrag van het S2-getij. Dit maakt verruiming van de Westerschelde als oorzaak van veranderingen in het S2-getij zeer onwaarschijnlijk, omdat men daarvan met name lokale veranderingen verwacht. De hypothese dat de verandering van het S2-getij veroorzaakt zou worden door verruiming is eenvoudig te toetsen door ook het amplitudeverloop van het S2-getij in een meetstation buiten de Westerschelde te analyseren. Als het amplitudeverloop van het S2-getij in dit buitenstation hetzelfde is als in de stations langs de Westerschelde, dan is er geen enkele aanleiding om aan te nemen dat dit amplitudeverloop veroorzaakt is door een verandering (in het bijzonder een verruiming) in de Westerschelde.

Opmerking: Daar het amplitudeverloop van het S2-getij in Bath t.o.v. de andere meetstations een licht afwijkend gedrag laat zien, lijkt Bath niet de juiste representant om na te gaan of het amplitudeverloop een 18.6-jarige cyclus vertoont. Het verdient derhalve aanbeveling om met de gegevens van een ander station, of m.b.v. het relatieve amplitudeverloop, nogmaals te verifiëren of de variatie in de



Figuur 2.10: Amplitudeverloop van het MU2-getij

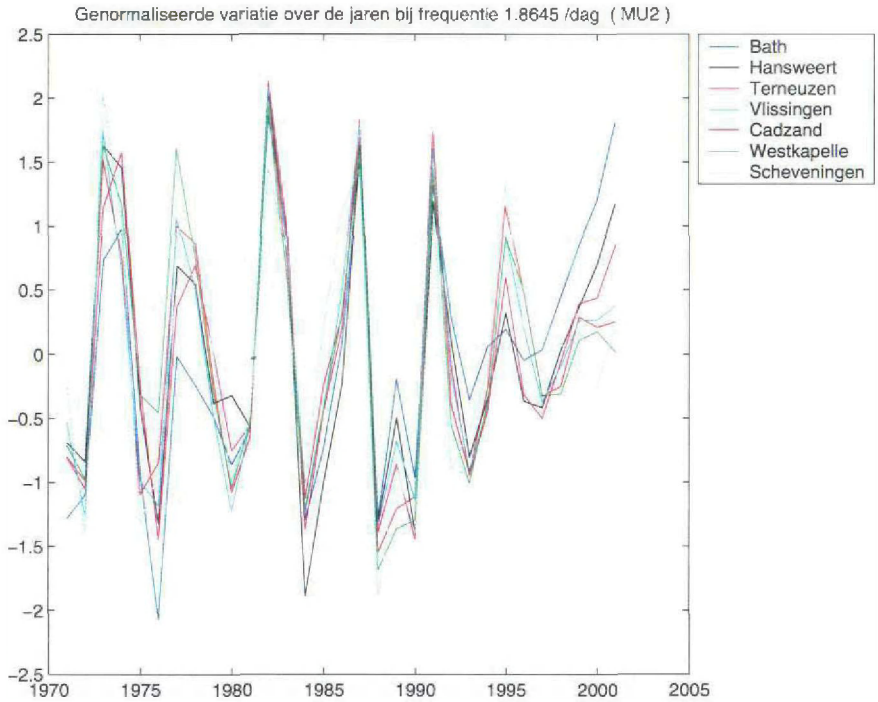
amplitude van het S2-getij toch veroorzaakt wordt door de in de literatuur bekende 18.6-jarige cyclus.

5.2.4 De getijden MU2, 2MN2 en NU2

Het amplitudeverloop van de getijden MU2, 2MN2 en NU2 is vergelijkbaar; voor de beschrijving van het amplitudeverloop van deze getijden, is MU2 als representant gekozen. Het amplitudeverloop van MU2 is gegeven in Figuur 2.10; in Appendix A.4.2 zijn de corresponderende figuren voor 2MN2 en NU2 weergegeven.

Ook de amplitude van het MU2-getij is groter naarmate men oostelijker in de Westerschelde komt. Alle meetstations vertonen door de tijd echter soortgelijk gedrag. Door de jaren is er een variatie in amplitude van 1 tot 2 centimeter (van west naar oost). Bovendien vertoont het gedrag een zeker periodiek karakter met een periode van ongeveer 4.5 jaar. In [2, p. 6-1] wordt dezelfde observatie beschreven, zowel voor het getij MU2 als het getij 2MN2. Vanaf 1997, het jaar van de laatste verruiming van de Westerschelde, lijkt het amplitudeverloop van het MU2-getij zich qua gedrag enigszins te wijzigen. In het westen (Westkapelle, Cadzand) blijft de amplitude van het MU2-getij ongeveer gelijk, terwijl zij in het oosten van de Westerschelde groter wordt. Dit wordt bevestigd door de data van Scheveningen die in de laatste jaren ook relatief vlak is.

De verandering van het patroon in het amplitudeverloop van het MU2-getij is ook herkenbaar na normalisatie van de amplitudegegevens (zie Figuur 2.11). Vanaf 1997 lopen de verschillende meetstations verder uiteen. Toch is het moeilijk deze verandering met zekerheid aan de verruiming van de Westerschelde toe te schrijven. Daarvoor is meer onderzoek noodzakelijk. Door analyse van een

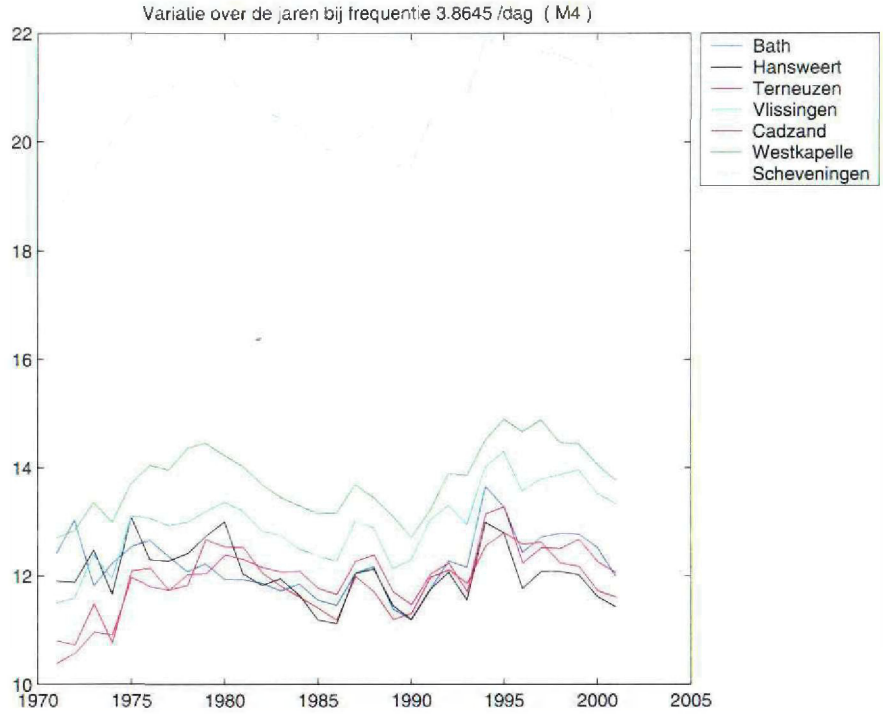


Figuur 2.11: Relatief amplitudeverloop van het MU2-getij

meetstation buiten de Westerschelde zoals Scheveningen zien we dat de meeste fluctuaties ook op de Noordzee waarneembaar zijn. Dit geldt echter niet voor de laatste jaren waar binnen de Westerschelde een sterke stijging plaatsvindt die in het westen van de Westerschelde en in Scheveningen niet waarneembaar is. De tijdspanne van 4 jaar is echter te kort om een trendbreuk in de amplitude te kunnen vaststellen; men zou nog enkele jaren moeten meten om te verifiëren of het bekende patroon zich al dan niet herstelt. Tenslotte dient men zich te realiseren dat de waargenomen verandering, zelfs in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde, slechts zeer gering is en in een grootte-orde van enkele procenten ligt. Daarom is het nu veel te voorbarig, dit effect aan de verruiming van de Westerschelde toe te schrijven; het lijkt minstens zo aannemelijk dat hier sprake is van natuurlijke schommelingen. Pas over enkele jaren kan beter vastgesteld worden of er sprake is van een echte trendbreuk met het verleden.

Het gedrag van het amplitudeverloop van het getij 2MN2 is vergelijkbaar met MU2, maar is qua veranderingen minder uitgesproken. Ook het amplitudeverloop van het getijde NU2 laat steeds een lichte variatie rond een gemiddelde waarde zien, maar van een duidelijke periodiciteit is hier geen sprake. Vanaf 1998 vertoont de amplitude van het NU2-getij een stijgende tendens. Veranderingen in de relatieve verhoudingen tussen de meetstations zijn echter niet waarneembaar. Lokale veranderingen in de Westerschelde zijn aan beide getijden (2MN2 en NU2) niet zichtbaar; om globale veranderingen vast te stellen zou weer een buitenstation in de analyse betrokken moeten worden.

Opmerking: In [2, p. 2-4] wordt aangegeven dat de getijcomponenten MU2 en 2MN2 indicatoren kunnen zijn voor lokale veranderingen in niet-lineair gedrag. In dit verband wordt ook het getij 2SM2 genoemd. Voor verdere achtergronden wordt verwezen naar [6]. Waar in [2, p. 2-4] geen directe verandering in de getijcomponenten MU2 en 2MN2 zichtbaar is, lijkt de onderhavige studie in een



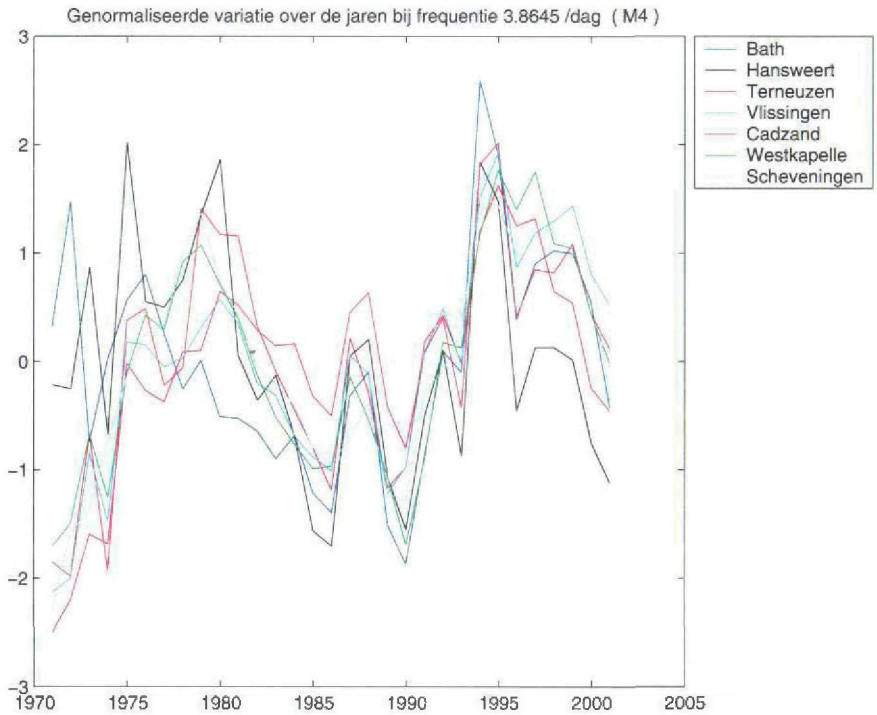
Figuur 2.12: Amplitudeverloop van het M4-getij

andere richting te wijzen. Derhalve is er alle reden het mogelijke verband tussen de getijcomponenten MU2 en 2MN2 enerzijds, en lokale veranderingen in niet-lineair gedrag van het getij anderzijds, nader te onderzoeken.

5.2.5 De getijden M4 en MS4

In tegenstelling tot de andere 13 getijden in deze analyse, hebben de getijden M4 en MS4 niet de hoogste amplitude in het oosten, maar in het westen van de Westerschelde. Het amplitudeverloop van beide getijden is vergelijkbaar, al speelt het zich af op een ander niveau. Hieronder zal verder alleen M4 besproken worden.

In Figuur 2.12 is het amplitudeverloop van het getij M4 weergegeven. De amplitudes laten lichte schommelingen zien, maar opvallender is, dat dit getij in Westkapelle en Vlissingen het sterkst is. De periode van het M4-getij is een hogere harmonische van de periode van het M2-getij, de draaggolf van de getijdenbeweging. Het M4-getij beschrijft dus vooral de vorm van de getijdegolf van tweemaal eb en vloed per dag. Blijkbaar is deze vorm niet overal in de Westerschelde hetzelfde, en vertonen met name Westkapelle en Vlissingen hierin een afwijkend gedrag. Veranderingen tussen verschillende meetstations door de jaren heen zijn nauwelijks waarneembaar, ook niet in het genormaliseerde amplitudeverloop van Figuur 2.13. Alleen lijkt het M4-getij in Hansweert ten opzichte van de andere meetstations in de loop der tijd wat zwakker te worden. Na 1997 vertonen alle amplitudes een lichte daling, maar voordat dit effect aan een verruiming zou kunnen worden toegeschreven, dient eerst een vergelijking met een meetstation buiten de Westerschelde te worden gemaakt. Bovendien zijn meet-



Figuur 2.13: Relatief amplitudeverloop van het M4-getij

gegevens over een langere tijd noodzakelijk om na te gaan of deze geringe variaties niet het gevolg zijn van een 18.6-jarige cyclus.

M4 en M6 zijn getijden die feitelijk gekoppeld zijn aan de periodiciteit behorende bij het M2 getij. Het M4 en M6 getij verklaren de afwijkingen van een perfect sinusoïdaal gedrag van de periodiciteit behorende bij het M2 getij. Het valt op dat in het oosten van de Westerschelde het M4 getij relatief klein is vergeleken met het westen van de Westerschelde en Scheveningen. Voor het M6 getij (bekeken in subsectie 5.2.2) is dit precies omgekeerd. Dit geeft aan dat er een duidelijk andere vorm van het getij wordt waargenomen in het oosten van de Westerschelde vergeleken met het westen van de Westerschelde en een buitenstation zoals Scheveningen. In de loop van de jaren is dit patroon echter niet veranderd.

5.2.6 De getijden N2, 2MS6, SM, LABDA2, K1

De amplitudeverlopen van de getijden N2, 2MS6, SM, LABDA2 en K1 (zie Appendix A.4.2) leveren niet veel informatie op. Al deze getijden zijn wat amplitude betreft het sterkst in het oostelijk gedeelte van de Westerschelde. Qua grootte van de amplitude speelt alleen het getijde N2 een belangrijke rol. Gedurende de jaren laat dit getijde weliswaar een lichte variatie rond het gemiddelde zien, maar echte veranderingen zijn niet zichtbaar. De amplitude van het getijde 2MS6 beweegt zich op een veel bescheidener niveau. Dit getijde lijkt vanaf 1971 in Hansweert en Cadzand relatief zwakker te zijn geworden. In absolute zin zijn de afwijkingen echter gering (ongeveer 0.5 cm) en daarom onvoldoende als aanwijzing voor een verandering. Het amplitudeverloop van de getijden SM en

vooral K1 is erg grillig, en biedt daarom nauwelijks houvast voor zinvolle conclusies. LABDA2 tenslotte toont hetzelfde beeld als N2: variatie rond een gemiddelde (dat veel kleiner is dan van het N2-getij), maar geen waarneembare veranderingen in de verhoudingen tussen de verschillende meetstations.

5.3 Vergelijking amplitudeverloop hoogwater in alle meetstations

Het analyseren van het amplitudeverloop van de belangrijkste getijdencomponenten in de waterstand kan natuurlijk ook gedaan worden op basis van hoogwatergegevens. Deze zijn van 1966 tot en met 2000 voor alle meetstations bekend. Appendix A.4.3 bevat grafieken van de amplitudeverlopen van de belangrijkste 7 frequentiecomponenten zoals die in Bath zijn gemeten (zie Tabel 2.5), alsmede grafieken van de genormaliseerde amplitudeverlopen. Over het algemeen is de variatie in deze amplitudeverlopen over de jaren een stuk groter dan voor de amplitudeverlopen die op de uurgegevens gebaseerd zijn. Deze grilligheid is ook te verwachten, daar er in vergelijking met de uurdata per jaar natuurlijk beduidend minder hoogwatergegevens beschikbaar zijn, en deze hoogwatergegevens bovendien gevoeliger zijn voor ruis. Mede daardoor biedt deze frequentie-analyse van de hoogwaterdata geen aanknopingspunten voor goed onderbouwde conclusies over veranderingen in de Westerschelde.

De belangrijkste frequentiecomponent van het hoogwater bedraagt 0.067727 per dag. De amplitudes bij deze frequenties zijn in alle meetstations 40 tot 47 centimeter, met een geringe variatie van ongeveer 5 centimeter. Opvallend is dat de amplitude van deze component in Hansweert doorgaans het laagste is; de gebruikelijke volgorde dat van west naar oost versterking van het getij optreedt is hier dus verstoord. Een systematische verandering van het amplitudeverloop door de jaren heen, of een relatieve wijziging tussen meetstations onderling, is niet vast te stellen, ook niet als naar het genormaliseerde amplitudeverloop wordt gekeken.

De tweede frequentiecomponent bedraagt 0.036291 per dag. De amplitudeverlopen in de verschillende meetstations laten hier een veel onvoorspelbaarder verloop zien. Er is sprake van relatief grote schommelingen van zo'n 6 centimeter, rond een gemiddelde van 16 tot 18 centimeter. Opnieuw is deze frequentiecomponent in Hansweert relatief het zwakst. Aanwijzingen voor systematische veranderingen zijn niet aanwezig.

Het amplitudeverloop bij frequentie 0.073204 per dag laat door de tijd grote verschillen zien: het beweegt zich van 1966 tot 2000 tussen de 5 en ruim 18 centimeter. In de zeventiger jaren lijkt de amplitude bij deze frequentiecomponent te dalen, maar vanaf 1978 tot 1990 is er sprake van een forse stijging. Daarna is het amplitudeverloop onduidelijk. In de amplitudeverhoudingen tussen de meetstations lijkt in de loop der jaren niet veel veranderd. Er is geen aanleiding om aan te nemen dat het gesignaleerde amplitudeverloop gerelateerd is aan veranderingen in de Westerschelde. Daarvoor zou eerst een vergelijking moeten worden gemaakt met de hoogwaterstanden in een meetstation buiten de Westerschelde. Bovendien wijst de grote variatie in de jaarlijkse amplitudeschattingen van de hoogwatergegevens erop, dat deze schattingen niet erg betrouwbaar zijn. Dit maakt het onmogelijk op basis van deze gegevens goed onderbouwde conclusies te trekken.

De frequentie 0.92954 per dag in het hoogwater is exact dezelfde als die van het getij O1 in de uurgegevens. In Paragraaf 5.2.2 is reeds vastgesteld dat dit getij een 18.6-jarige cyclus vertoont. In de hoogwatergegevens is dit fenomeen opnieuw goed zichtbaar. Omdat ook in de verhoudingen tussen de meetstations onderling geen wezenlijke veranderingen zichtbaar zijn, is er geen enkele aanwijzing voor veranderingen in de Westerschelde.

Het amplitudeverloop bij frequentie 0.13545 per dag laat een sterk wisselend beeld zien. Er is een grote en snelle variatie rond een gemiddelde van 5 tot 7 centimeter, met afwijkingen van zo'n 2 centimeter. In 1995 is er sprake van een uitschieter met een voor deze frequentie ongewoon lage amplitude. Systematische veranderingen zijn echter niet te ontdekken.

Bij frequentie 0.14093 per dag is er sprake van nog grotere schommelingen in de jaarlijkse amplitudeschattingen. In Bath lopen die zelfs uiteen tussen 1.5 en 8.5 centimeter, zonder dat er sprake is van een systematisch patroon. Het lijkt er dus op dat de amplitude bij deze frequentie zeer moeilijk te fitten is. Daarom is het niet mogelijk om aan de hand van dit amplitudeverloop tot goed onderbouwde conclusies over de Westerschelde te komen.

Voor de laatste frequentie van 0.93501 per dag, komt men tot nagenoeg dezelfde conclusie. Alleen speelt het amplitudeverloop zich hier binnen een nog kleinere, maar relatief brede band af. In dit geval treedt er echter in 1990/91 een forse verlaging van de amplitude op, waarna de amplitude zich op een lager niveau lijkt te stabiliseren. Omdat alles zich echter afspeelt bij relatief kleine amplitudes, en de opgetreden verschillen in absolute zin ook erg klein zijn, kunnen hieraan geen harde conclusies worden verbonden.

Opmerking: Omdat een vergelijking van het amplitudeverloop van de belangrijkste getijcomponenten in het hoogwater geen aanknopingspunten opleverde voor mogelijke conclusies aangaande zichtbare veranderingen in de Westerschelde, is er in deze studie van afgezien een soortgelijke analyse op de laagwaterdata uit te voeren.

5.4 ARMA-modellering

Nadat de belangrijkste periodiciteiten in het getijdensignaal zijn beschouwd, blijkt het resterende deel van het signaal in de verschillende meetstations sterk gecorreleerd te zijn. Dit hangt samen met het feit dat een belangrijk deel van de verstoring van het astronomisch getij veroorzaakt wordt door weersinvloeden, en op een vast tijdstip de meteorologische omstandigheden overal in het Westerscheldegebied vergelijkbaar zullen zijn. Om de samenhang tussen de waterstand in verschillende meetstations te modelleren wordt gebruik gemaakt van een aantal ARMA-modellen, waarbij de meetgegevens in het meest westelijk gelegen station steeds als ingang dienen, en de meetgegevens in het meest oostelijk gelegen station als uitgang.

In het algemeen wordt een ARMA (p, q, r)-model voor een systeem met ingang $u(t)$ en uitgang $y(t)$ gegeven door

$$y(t)+a_1y(t-1)+\cdots+a_py(t-p) = b_1u(t-1)+\cdots+b_qu(t-q)+e(t)+c_1e(t-1)+\cdots+c_re(t-r),$$

waarbij $e(t)$ een ruissignaal voorstelt. Dee parameters $a_1, \ldots, a_p, b_1, \ldots, b_q$ en $c_1, \ldots, c_r$ zó worden gekozen zodanig dat het ruissignaal (in absolute waarde) zo klein mogelijk is. Merk op dat de term $b_0u(t)$ niet in het model voorkomt. Dit betekent dat de waarde van $y(t)$ bepaald wordt door waarden van u en y uit het verleden, zodat er daadwerkelijk sprake is van een model met voorspellend karakter.

In deze studie worden alleen ARMA-modellen geschat op basis van de eenmaal per uur gemeten gegevens. Na enig experimenteren is ervoor gekozen om steeds de volgende twee modellen te bestuderen:

(a) Een ARMA (3, 5, 1)-model,

(b) Een (AR)MA (0, 3, 0)-model.

Model (a) wordt zowel direct voor het gehele getijdensignaal bepaald, als voor het resterende signaal na verwijdering van de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten. Model (b) wordt alleen voor het resterende signaal na verwijdering van de belangrijkste $N = 15$ periodiciteiten geschat, maar in dit geval wordt er een onderscheid gemaakt tussen een tijdinvariant en een tijdvariant model. In het eerste geval zijn de parameters bepaald op basis van de meetgegevens over de gehele meetperiode van ruim 30 jaar; in het tweede geval worden de parameters voor ieder jaar afzonderlijk geschat. Vanzelfsprekend mag men in dit tweede geval betere voorspellingen verwachten. De grootte van de toename van het verklarend vermogen van een tijdvariant model t.o.v. een tijdinvariant model, alsmede de grootte van het tijdsverloop van de geschatte parameters in een tijdvariant model geven aan of een tijdvariant model boven een tijdinvariant model te prefereren is. Indien een tijdvariant model aantoonbaar betere resultaten geeft dan een tijdinvariant model, vormt dit een sterke aanwijzing voor veranderingen die gedurende de meetperiode in de Westerschelde zijn opgetreden.

De hierboven beschreven stappen in een ARMA-modellering zijn uitgevoerd voor 4 paren van meetstations, waarbij de waterstandgegevens van één station als ingangssignaal dienen, en de meetgegevens van het tweede station als uitgang:

1. Ingang: Westkapelle; Uitgang: Bath,
2. Ingang: Hansweert; Uitgang: Bath,
3. Ingang: Cadzand; Uitgang : Terneuzen,
4. Ingang: Lichteiland Goeree; Uitgang: Bath.

In het vierde geval is dus ook een meetstation van buiten de Westerschelde in de analyse meegenomen, voornamelijk om een beter idee te krijgen van de nauwkeurigheid, die met een analyse m.b.v. ARMA-modellering bereikt kan worden. Bovendien kan op deze manier wellicht worden bepaald of gesignaleerde veranderingen specifiek op de Westerschelde betrekking hebben, of passen in een algemeen beeld dat op het gehele kustgebied van Zuidwest Nederland van toepassing is.

In de volgende subsectie zal het ARMA (3, 5, 1)-model en het MA (0, 3, 0)-model voor het eerste ingangs- uitgangspaar (Westkapelle, Bath) uitvoerig worden toegelicht. In de daaropvolgende subsectie worden de andere drie ingangs- uitgangsparen in veel korter bestek behandeld.

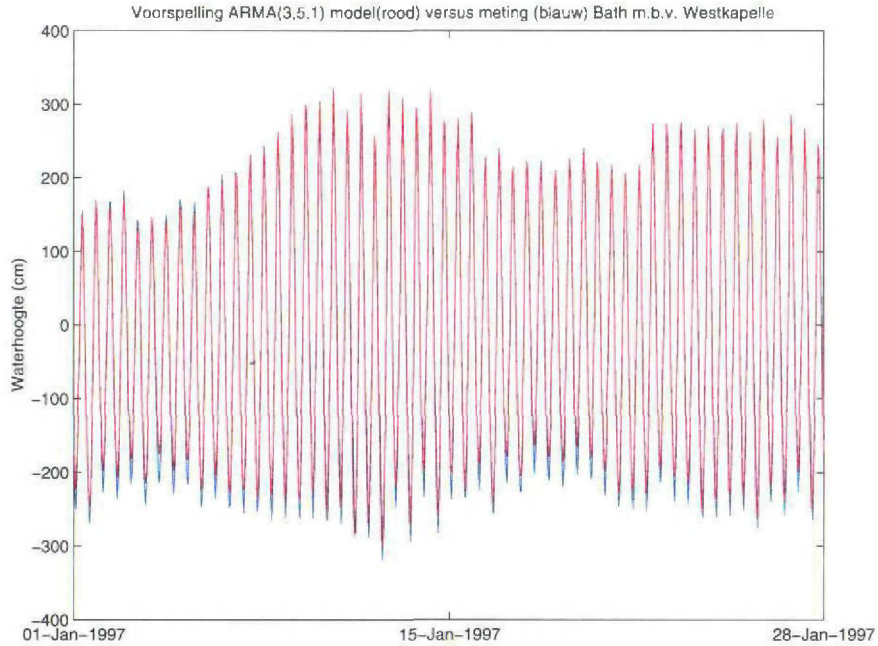
5.4.1 ARMA-modellen voor Westkapelle $\longrightarrow$ Bath

Om de waterstand bij Bath (uitgangssignaal $y(t)$) te voorspellen aan de hand van de gegevens in Westkapelle (ingangssignaal $u(t)$), zijn vier verschillende mogelijkheden doorgerekend.

Als eerste optie is een ARMA (3, 5, 1)-model bepaald, waarbij gewerkt is met de waterstandgegevens waaruit alleen de trend verwijderd is, maar niet de belangrijkste periodiciteiten. Met behulp van de MATLAB-functie "`armax`" is het volgende model bepaald:

$$y(t) - 0.595y(t-1) + 0.167y(t-2) - 0.0112y(t-3) = \tag{2.5}$$

$$0.4172u(t-1) + 0.7164u(t-2) - 0.473u(t-3) - 0.01823u(t-4) + 0.01071u(t-5) +$$



Figuur 2.14: Voorspelling van de waterstand in Bath op basis van de waterstand in Westkapelle m.b.v. een ARMA (3, 5, 1)-model

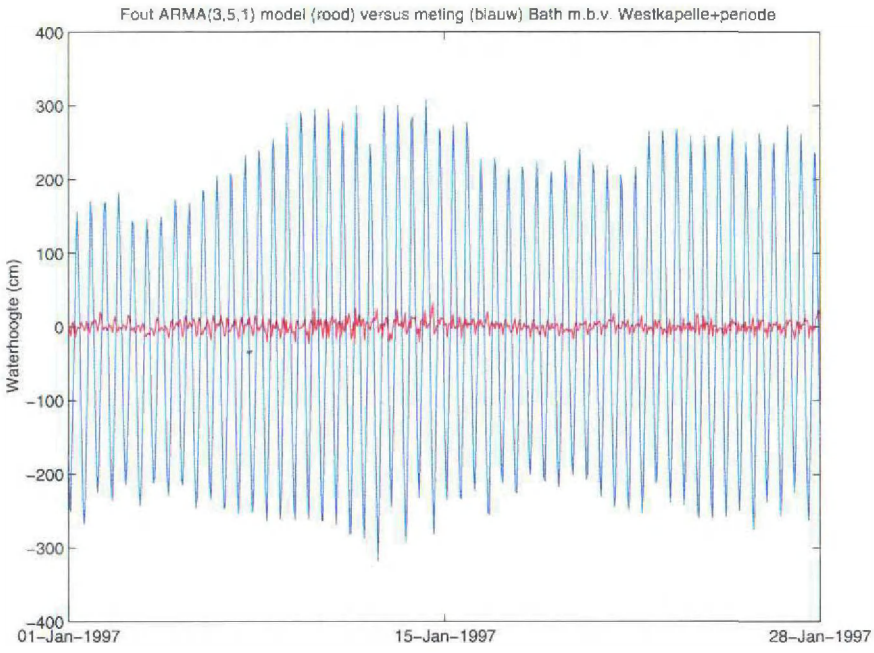
$$+e(t) + 0.2552e(t-1),$$

waarbij de tijd t in uren gemeten wordt. Het verkregen model is stabiel: indien zowel het ingangssignaal $u(t)$ als het foutsignaal $e(t)$ voor alle tijden $t \geq 0$ de waarde 0 aanneemt, zal de uitgang $y(t)$ voor $t \to \infty$ naar 0 convergeren, wat de beginwaarden voor y ook mogen zijn. Bovendien heeft het model (2.5) reeds een vrij hoge verklarende waarde: slechts 10.78% van de oorspronkelijke variantie blijft onverklaard. In Figuur 2.14 is op basis van deze modellering zowel de daadwerkelijk gemeten als de voorspelde waterstand weergegeven voor de periode 1 januari 1997 tot en met 28 januari 1997. Uit de figuur blijkt dat de voorspelling over het algemeen zeer goed is, behalve wat betreft de hoogte van het laagwater.

Eenzelfde analyse kan worden uitgevoerd met de waterstandsignalen waaruit de belangrijkste $N = 15$ periodiciteiten reeds verwijderd zijn. Het (3, 5, 1) model voor deze restsignalen, bepaald met de MATLAB-functie "`armax`", is

$$\begin{aligned}(2.6)\quad & y(t) - 1.481y(t-1) + 0.5536y(t-2) - 0.07069y(t-3) = \\ & 0.3886u(t-1) + 0.3893u(t-2) - 1.247u(t-3) + 0.437u(t-4) + 0.03389u(t-5) + \\ & +e(t) - 0.9816e(t-1).\end{aligned}$$

Merk op dat de ingang $u(t)$ in formule (2.6) een ander signaal is als de ingang $u(t)$ in formule (2.5). In (2.5) stelt $u(t)$ de waterstand in Westkapelle voor, na verwijdering van de trend, en in (2.6) het restsignaal in Westkapelle, d.w.z. het waterstandsignaal na verwijdering van zowel de trend als de belangrijkste $N = 15$ periodiciteiten. Hetzelfde geldt voor het uitgangssignaal $y(t)$: in (2.5) stelt dit de waterstand in Bath voor na verwijdering van de trend, in (2.6) zijn zowel trend als $N = 15$

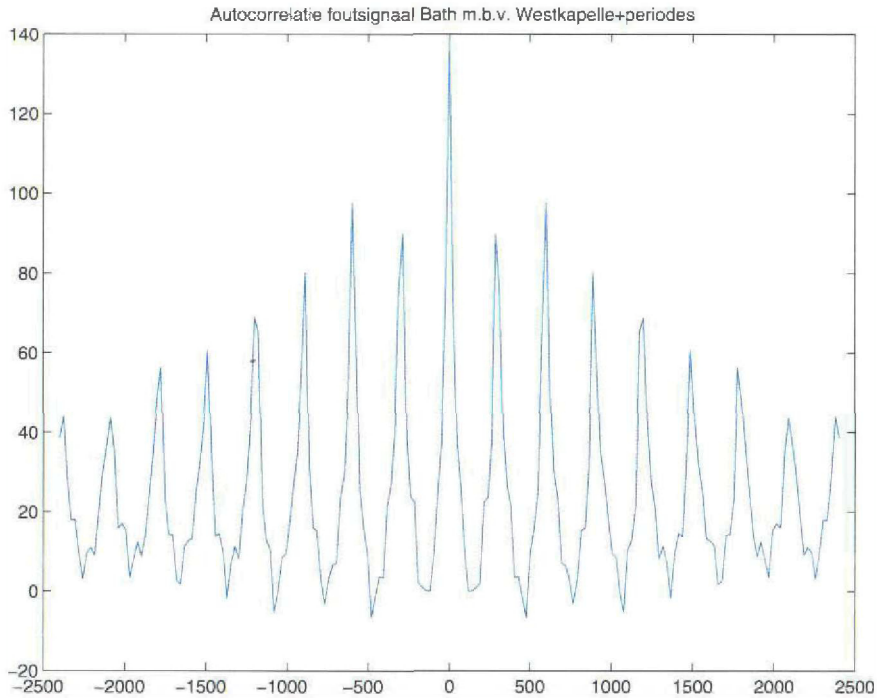


Figuur 2.15: Waargenomen waterstand in Bath en fout in voorspelling op basis van 15 periodiciteiten en de waterstand in Westkapelle

periodiciteiten verwijderd. Het ARMA-model (2.6) is stabiel, en heeft een relatief grote voorspellende waarde voor het restsignaal $y(t)$ in Bath: nagenoeg 65% van de variantie van dit signaal wordt door het model verklaard. Het ARMA-model (2.6) en de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten samen laten slechts 7.315% van de variantie van het getijdensignaal in Bath onverklaard. Met dit vrij eenvoudige ARMA-model blijkt dus dat nog veel winst behaald wordt t.o.v. een model waarin alleen de in het signaal aanwezige periodiciteiten worden verwerkt. Met name weersinvloeden kunnen met een ARMA-model gemakkelijker gemodelleerd worden; in een Fourieranalyse daarentegen worden deze effecten juist uitgemiddeld.

Om de fout in de gemaakte schatting van de waterstand (op basis van modellering met 15 periodiciteiten en een ARMA (3, 5, 1) model op het restsignaal) en de daadwerkelijk gemeten waterstand beter te kunnen vergelijken, zijn in Figuur 2.15 deze waarden uitgezet, eveneens over de periode 1 januari 1997 tot en met 28 januari 1997. De getekende schattingsfout is hierbij niet gelijk aan het signaal $e(t)$ in model (2.6), maar het verschil tussen de gemeten waterstand en de op basis van 15 periodiciteiten en model (2.6) voorspelde waterstand.

Het foutsignaal in Figuur 2.15 lijkt echter niet de karakteristieken van witte ruis te bezitten, maar vertoont een zeker periodiek karakter. Om dit nader te onderzoeken is in Figuur 2.16 de autocorrelatie van de schattingsfout getekend. In geval van witte ruis zou deze autocorrelatie slechts één piek bij $\tau = 0$ vertonen, en voor grote tijdverschillen τ snel naar 0 afnemen. Van een dergelijk beeld is in Figuur 2.16 geen sprake. Hoewel bij grote tijdverschillen de autocorrelatie inderdaad veel kleiner wordt, laat de autocorrelatiefunctie meerdere pieken zien, op vaste afstanden van elkaar. Dit duidt erop dat het foutsignaal nog een periodiciteit bevat. Wellicht kan dit verklaard worden met de relatief slechte voorspelling van het laagwater waarin een systematische fout voorkomt: het laagwater is



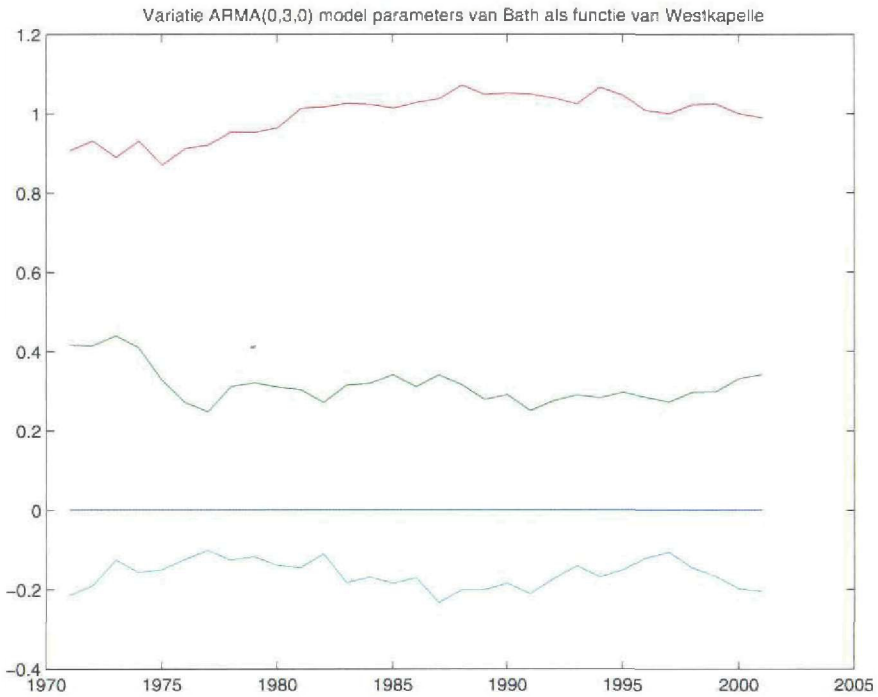
Figuur 2.16: Autocorrelatie foutsignaal in Bath op basis van 15 periodiciteiten en de waterstand in Westkapelle

meestal lager dan met het model voorspeld wordt. Verder onderzoek lijkt hier daarom mogelijkheden te bieden; een nauwkeurige modellering van de schattingsfout als functie van de tijd zou zowel tot betere laagwaterschattingen kunnen leiden, als tot een nieuw foutsignaal, dat wel als witte ruis geïnterpreteerd kan worden. Deze detailanalyse van het foutsignaal valt echter buiten het bestek van deze pilot-studie.

Als derde optie wordt een ARMA $(0, 3, 0)$ model beschouwd, een zuiver MA-model, waarvan de parameters in eerste instantie geschat worden op basis van waterstandgegevens in Westkapelle (ingang $u(t)$) en Bath (uitgang $y(t)$), waaruit zowel de trend als de belangrijkste $N = 15$ periodiciteiten zijn verwijderd. Het model heeft dus de vorm

$$y(t) = b_1 u(t-1) + b_2 u(t-2) + b_3 u(t-3) + e(t). \tag{2.7}$$

Het restsignaal $y(t)$ in Bath op tijdstip t wordt derhalve geschat met behulp van het gemeten restsignaal u in Westkapelle van de drie voorafgaande uren. $e(t)$ stelt de fout voor die bij deze procedure wordt gemaakt. Nadat de parameters b_1, b_2, b_3 m.b.v. de MATLAB-functie "`armax`" zijn geschat op basis van de volledige tijdreeksen ter lengte van 31 jaar, blijkt het MA $(0, 3, 0)$-model 35.19% van de variantie van het restsignaal in Bath onverklaard te laten. Indien de analyse van de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten gecombineerd wordt het MA $(0, 3, 0)$-model blijft slechts 7.345% van de variantie van de waterstand in Bath onverklaard. Hoewel het hiervoor bestudeerde ARMA $(3, 5, 1)$-model een beduidend grotere complexiteit heeft, blijkt het veel eenvoudiger MA $(0, 3, 0)$-model nagenoeg even goede voorspellingen op te leveren. Dit maakt het MA $(0, 3, 0)$-model een aantrekkelijkere kandidaat voor verdere studie.



Figuur 2.17: Tijdsverloop parameters in MA (0, 3, 0)-model voor voorspelling van het restsignaal in Bath op basis van het restsignaal in Westkapelle

Als vierde model wordt het tijdinvariante MA (0, 3, 0)-model tijdvariant gemaakt. De parameters b_1, b_2, b_3 in model (2.7) worden niet slechts eenmaal geschat op basis van de waarnemingen in de afgelopen 31 jaar, maar voor ieder van deze 31 jaren afzonderlijk, op basis van de meetgegevens van dat jaar. Op die manier ontstaat een tijdvariant MA (0, 3, 0)-model, en kunnen aan de hand van het tijdsverloop van de geschatte parameters eventuele veranderingen in de Westerschelde worden gedetecteerd. In Figuur 2.17 is derhalve de variatie van de geschatte parameters over de tijd uitgezet.

Van een spectaculair tijdsverloop is in Figuur 2.17 geen sprake. Alle parameters variëren licht rondom een vast gemiddeld niveau. Bovendien is het verklarend vermogen van dit tijdvariante model nauwelijks groter dan het verklarend vermogen van het tijdinvariante model. Tijdvariant blijft 34.99% van het restsignaal in Bath onverklaard tegen 35.19% voor het tijdinvariante model. Indien ook de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten worden meegenomen en vergeleken wordt met het getijdensignaal in Bath, zijn deze percentages niet verklaarde variantie respectievelijk 7.304% (tijdvariant) en 7.345% (tijdinvariant). Hoewel de gevoeligheid van de modelkwaliteit voor veranderingen in de modelparameters niet is onderzocht, en zeker nadere studie verdient, geven bovenstaande resultaten aan dat het geschatte tijdvariante model geen verbetering is t.o.v. het geschatte tijdinvariante model. Er is dus geen enkele aanwijzing dat de manier waarop de waterstand in Bath kan worden voorspeld aan de hand van de gegevens in Westkapelle in de laatste 31 jaar wezenlijk is veranderd. Indien veranderingen in de Westerschelde, en dan met name lokale veranderingen tussen Westkapelle en Bath, zichtbaar zouden zijn in de waterstanden, dan kan men aannemen dat een tijdvariant MA-model voor de restsignalen betere resultaten zou opleveren dan een tijdinvariant model. Hiervan is echter geen sprake. Derhalve geeft deze analyse geen aanwijzing voor zichtbare veranderingen in de waterstand.

5.4.2 ARMA-modellen voor andere meetstations

De analyse van enkele ARMA-modellen zoals uitgevoerd met de metingen in Westkapelle als ingang en Bath als uitgang, kan voor andere meetstations op soortgelijke wijze uitgevoerd worden. Zoals eerder vermeld zijn voor deze studie ook de volgende ingangs- uitgangsparen bekeken: Hansweert $\longrightarrow$ Bath, Cadzand $\longrightarrow$ Terneuzen, Lichteiland Goeree $\longrightarrow$ Bath. De exacte resultaten van deze analyses met de bijbehorende figuren zijn in de Appendices A.3 en A.4.4 als bijlage ingesloten.

Bij deze drie analyses neemt de voorspelling van Bath op basis van Lichteiland Goeree een bijzondere plaats in, niet alleen omdat Lichteiland Goeree buiten de Westerschelde ligt, maar ook omdat de meetgegevens van dit station niet over de gehele meetperiode van 1971 tot en met 2001 bekend zijn. Op Lichteiland Goeree is de waterstand pas sinds 1986 ieder uur gemeten. De analyses waarin dit station een rol speelt zijn derhalve uitgevoerd over de periode 1986 tot en met 2001.

Het algemene beeld dat uit alle analyses naar voren komt is nagenoeg hetzelfde:

- Met een relatief eenvoudig ARMA-model is een groot gedeelte van de variabiliteit van de waterstand in het uitgangsmeetstation te verklaren op basis van metingen in het ingangsstation. Dit geldt ook als gewerkt wordt met de restsignalen verkregen na verwijdering van de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten.
- Indien meetstations dichter bij elkaar liggen is het verklarend vermogen van het bijbehorende ARMA-model groter.
- In vergelijking met tijdinvariante MA-modellen is het verklarend vermogen van tijdvariante MA-modellen niet wezenlijk groter.

Ter onderbouwing van bovenstaande beweringen is in Tabel 2.8 voor de behandelde ingangs- uitgangsparen de niet verklaarde variantie (in procenten) van de verschillende ARMA-modellen weergegeven. Hierbij zijn gegevens van de volgende ARMA-modellen opgevoerd:

1 ARMA (3, 5, 1)-model op basis van het signaal waaruit alleen de trend verwijderd is.

2 ARMA (3, 5, 1)-model op basis van het restsignaal, d.w.z. het signaal waaruit zowel de trend als de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten zijn verwijderd.

   (a) Percentage onverklaarde variantie van het restsignaal.

   (b) Percentage onverklaarde variantie van het waterstandsignaal na verwerking van $N = 15$ periodiciteiten en de voorspelling van het restsignaal.

3 Tijdinvariant MA (0, 3, 0)-model van het restsignaal.

   (a) Percentage onverklaarde variantie van het restsignaal.

   (b) Percentage onverklaarde variantie van het waterstandsignaal na verwerking van $N = 15$ periodiciteiten en de voorspelling van het restsignaal.

4 Tijdvariant MA (0, 3, 0)-model van het restsignaal.

   (a) Percentage onverklaarde variantie van het restsignaal.

Tabel 2.8: Niet verklaarde variantie in ARMA-modellen in procenten van de totale variantie

Ingang ⟶ Uitgang	1	2a	2b	3a	3b	4a	4b
Westkapelle ⟶ Bath	10.78	35.04	7.32	35.19	7.35	34.99	7.30
Hansweert ⟶ Bath	8.99	32.34	6.75	31.03	6.48	30.76	6.42
Cadzand ⟶ Terneuzen	6.02	22.68	4.77	22.83	4.80	22.74	4.78
Goeree ⟶ Bath	16.21	46.19	9.63	46.34	9.67	46.29	9.66

(b) Percentage onverklaarde variantie van het waterstandsignaal na verwerking van $N = 15$ periodiciteiten en de voorspelling van het restsignaal.

De percentages in Tabel 2.8 geven aan dat de waterstanden aan de kust van Zuidwest Nederland in het algemeen, en binnen de Westerschelde in het bijzonder een sterke samenhang vertonen. Zo verklaart zonder verdere analyse een eenvoudig ARMA-model al ruim 80% van de variantie van de waterstand in Bath op basis van de meetgegevens van Lichteiland Goeree. Toch zijn de percentages van Goeree ⟶ Bath moeilijk met de percentages voor de andere meetstations te vergelijken; voor Goeree ⟶ Bath is de analyse uitgevoerd over de meetperiode 1986 tot en met 2001, terwijl in de andere gevallen de meetperiode tweemaal zo lang was: van 1971 tot en met 2001.

Uit Tabel 2.8 blijkt ook dat een ARMA (3, 5, 1)-model op basis van de gemeten waterstanden waaruit zowel de trend als de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten zijn verwijderd nauwelijks betere resultaten geeft dan een tijdinvariant of tijdvariant MA (0, 3, 0)-model op basis van dezelfde gegevens. In het geval Hansweert ⟶ Bath is het ARMA (3, 5, 1)-model zelfs slechter, ondanks het feit dat dit model meer parameters bevat. Dit is alleen te verklaren uit het feit dat de doelfunctie voor beide modellen niet te vergelijken is. De norm van het signaal $e(t)$ wordt weliswaar in beide gevallen geminimaliseerd, maar voor het MA (0, 3, 0)-model is $e(t)$ het echte foutsignaal, terwijl voor een ARMA (3, 5, 1)-model ook de waarde van $e(t-1)$ in de te minimaliseren doelfunctie verdisconteerd wordt.

In alle analyses komt een MA (0, 3, 0)-model als beste keuze naar voren. Daarbij is er qua niet verklaarde variantie weinig verschil tussen het tijdinvariante en het tijdvariante model. Ook het geringe tijdsverloop van de geschatte parameters laat zien dat een tijdvariant model in geen van de vier bestudeerde gevallen enige meerwaarde heeft. Lokale veranderingen in de Westerschelde, die met name tot uiting zouden kunnen komen in een zich wijzigend verband tussen de waterstanden in verschillende meetstations, zijn met deze analyses derhalve niet gedetecteerd.

6 Conclusies en aanbevelingen

In deze pilot-studie is met behulp van waterstandgegevens van 6 meetstations aan de Westerschelde een analyse gemaakt, met als doel om, indien mogelijk, veranderingen in de Westerschelde aan de hand van deze meetgegevens aan te tonen. De gekozen analysemethode berust op twee pijlers:

(1) Analyse van het tijdsverloop van de amplitudes behorende bij de belangrijkste periodiciteiten in het getij.

(2) ARMA-modellering (tijdinvariant/tijdvariant) van de waterstand, zowel vóór als na verwijdering van de belangrijkste periodiciteiten.

Voor beide onderzoeksvarianten worden hieronder de bevindingen met bijbehorende aanbevelingen beschreven.

Ad (1): Analyse amplitudeverloop

De getijdengolf die vanaf de Noordzee de Westerschelde binnendringt kan worden beschouwd als een som van sinussignalen met verschillende frequenties, fases en amplitudes. Door de vorm van de Westerschelde, en met name vanwege insnoeringseffecten, is de responsie op dit ingangssignaal in ieder meetstation en voor iedere frequentie anders. De metingen laten duidelijk zien dat de meest prominente frequenties overal in de Westerschelde behouden blijven, maar dat de amplitudes per meetstation sterk kunnen verschillen (in Bath is er als gevolg van insnoering sprake van een veel grotere versterking dan in Westkapelle). In deze studie is het amplitudeverloop van de responsie voor de 6 meetstations in Tabel 2.2 over de periode 1971-2001 bij 15 frequenties (zie Tabel 2.4) gevolgd op basis van eenmaal per uur gemeten waterhoogtes. In deze amplitudeverlopen kunnen veranderingen in de Westerschelde zichtbaar worden door veranderingen door de tijd van de responsie in het algemeen, en van responsieverhoudingen tussen verschillende meetstations in het bijzonder.

Conclusies:

- Alle amplitudes laten een zeker tijdsverloop zien. Voor de ene frequentie is dit erg grillig, bij een andere frequentie vertoont het veel systematiek. Het verloop in verschillende meetstations toont echter een zeer grote samenhang. De meest waarschijnlijke oorzaak hiervan is dat de amplitudes van verschillende getijcomponenten ook op de Noordzee eenzelfde soort variatie over de tijd vertonen (variatie aan de ingang). Deze hypothese is getoetst door in de analyse ook de waterstandgegevens van een meetstation op de Noordzee te betrekken: Scheveningen. Dit station is gekozen omdat het enerzijds zo ver buiten de Westerschelde ligt dat van lokale beïnvloeding door de Westerschelde geen sprake kan zijn, anderzijds dient de afstand tot de Westerschelde zo klein te zijn dat de weersomstandigheden bij dit station vergelijkbaar zijn met die in de Westerschelde. De amplitudes in dit buitenstation vertonen voor een groot deel een soortgelijk tijdsverloop als de stations in de Westerschelde. Dit tijdsverloop is dan ook toe te schrijven aan natuurlijke variatie op de Noordzee. In gevallen waar dit niet het geval is, wordt het tijdsverloop van de amplitudes wellicht veroorzaakt door veranderingen in de Westerschelde, die in dat geval globaal, dat wil zeggen langs de gehele Westerschelde, zichtbaar zijn. De onderbouwing van een dergelijke vergaande hypothese vraagt echter om nader onderzoek. Hierbij zou gedacht kunnen worden aan het koppelen van de veranderingen in de waterstanden en de bodemprofielen bekend uit de lodingen aan een fysisch model van de getijden om te kijken of de bodemprofielen qua veranderingen consistent zijn. Het grote probleem hierbij is de karakteristieken van de bodem die een rol spelen bij het getij en slechts zeer beperkt bekend zijn. Het S2-getij speelt een belangrijke rol omdat veranderingen in het gedrag van de amplitude van het S2-getij lijken samen te vallen met baggerwerkzaamheden in de Westerschelde. Anderzijds kan dit ook veroorzaakt worden door de in de literatuur bekende 18.6-jarige cyclus. Vanwege de grootte van de amplitude, verdient het S2-getij binnen dit kader bijzondere aandacht. Hetzelfde geldt voor M2, het belangrijkste getij. Weliswaar vertoont het amplitudeverloop van M2 geen duidelijke trendverandering, maar door de grootte van de amplitude bepaalt dit getij in sterke mate de hoogte van de waterstand. In beide gevallen vertoont Scheveningen in grote mate hetzelfde gedrag en derhalve is het onwaarschijnlijk dat dit is toe te wijzen aan effecten van de verdieping. De enige uitzondering zou kunnen zijn dat voor het M2 getij in de laatste jaren de daling van de amplitude in de oostkant van de Westerschelde enigszins achter lijkt te lopen bij de westelijke meetlocaties en Scheveningen. Een daling (zoals in het

westen) is volgens RIKZ te verwachten op basis van astronomische gegevens.

- Wijzigingen in de systematiek van het amplitudeverloop alsmede in de amplitudeverhoudingen tussen verschillende meetstations kunnen wijzen op lokale veranderingen in de Westerschelde. In de bestudeerde amplitudeverlopen zijn zulke veranderingen niet op overtuigende wijze aangetoond. Het enige twijfelgeval is het getij MU2 (en in mindere mate 2MN2). Volgens [2, p. 2-4] en [6] zou dit eventueel kunnen wijzen op lokale veranderingen in niet-lineair gedrag. Vanaf 1997 lijkt niet alleen de systematiek in het verloop van dit getij veranderd, maar is het getij in het oosten van de Westerschelde ook relatief sterker geworden. Toch is het nu te vroeg hier vergaande conclusies aan te verbinden. Eerst dient het amplitudeverloop nog minstens drie tot vier jaar gevolgd te worden, om na te gaan of de gesignaleerde tendens zich voortzet, of dat het oude patroon zich herstelt. Mocht er al sprake zijn van een zichtbare verandering, dan dient men zich te realiseren dat de invloed op de gemeten waterhoogte uiterst gering is; zelfs in Bath is er dan slechts sprake van verhoging van de amplitude van het MU2-getij van enkele centimeters. Het is dan echter de vraag waar deze verhoging op duidt (eventueel een indicator voor andere veranderingen).

- De analyse van amplitudeverlopen is niet alleen met de eenmaal per uur gemeten gegevens uitgevoerd, maar ook met de gemeten hoogwaterstanden. Zoals verwacht mag worden, is op basis van geschatte periodiciteiten, fases en amplitudes de hoogwaterstand veel slechter voorspelbaar dan de eenmaal per uur gemeten waterhoogten. Ook de amplitudes behorende bij de belangrijkste periodiciteiten vertonen een grilliger tijdsverloop dan bij de eenmaal per uur gemeten data. Daarom biedt deze analysemethode voor de hoogwaterdata geen aankopingspunten voor goed onderbouwde conclusies betreffende veranderingen in de Westerschelde.

Ad (2): ARMA-modellering

Nadat de analyse van de belangrijkste periodiciteiten onder (1) is uitgevoerd, kunnen deze uit de waterstandsignalen worden verwijderd. In de verschillende meetstations bestaat er dan een sterke correlatie tussen de resterende signalen. Weersinvloeden spelen hierin een belangrijke rol, omdat deze in het algemeen de nominale waterstand in alle meetstations op dezelfde manier zullen verstoren. Een nauwkeuriger analyse is dus mogelijk door m.b.v. ARMA-modellen het verband tussen de restsignalen (of het oorspronkelijke signaal) in kaart te brengen. Veranderingen in de Westerschelde komen tot uiting in het verschil tussen tijdinvariante en tijdvariante modellen, zowel wat betreft het verklarend vermogen van het model, als in het tijdsverloop van de daarin geschatte modelparameters.

Conclusies:

- De in deze studie bepaalde ARMA-modellen werken zeer goed om een aanzienlijk gedeelte van de variantie van het restsignaal in het ene station (uitgang) te verklaren aan de hand van het restsignaal in het andere station (ingang). In combinatie met de analyse in (1) kan daarmee een groot gedeelte (ruim 90%) van de variantie in de oorspronkelijke waterstandgegevens worden verklaard. Alleen rondom het laagwaterniveau blijkt de op deze wijze voorspelde waterstand minder goede schattingen op te leveren.

- De in deze studie gebruikte tijdvariante MA-modellen blijken qua verklarend vermogen nauwelijks beter te zijn dan de corresponderende tijdinvariante modellen. Ook het tijdsverloop van de geschatte parameters in het tijdvariante model is gering. Deze analyse biedt derhalve geen enkele aanwijzing voor mogelijke veranderingen in de Westerschelde.

De ARMA-modellering is in deze studie niet toegepast op de hoog- en laagwaterdata. Omdat hoog- en vooral laagwaterstanden moeilijker voorspelbaar zijn dan de eenmaal per uur gemeten waterstand, verdient het aanbeveling ook voor deze tijdreeksen na te gaan of ARMA-modellering tot een aanzienlijke verhoging van het verklarend vermogen van het totale model kan leiden.

Tot slot zij opgemerkt dat zowel de analyse van amplitudeverlopen bij verschillende periodiciteiten onder (1) als de ARMA-modellering onder (2) met name geschikt zijn om de responsie van lineaire systemen te beschrijven. Niet-lineair gedrag is binnen dit kader veel lastiger te modelleren. Toch zouden niet-lineaire effecten een rol kunnen spelen in het gedrag van de laagwaterhoogte. Wellicht verklaart dit waarom de gehanteerde analysemethode juist hier tot relatief slechte voorspellingen leidt. Anderzijds wordt door experts op het gebied van fysische modellering van de Westerschelde verwacht, dat, voor zover veranderingen in de Westerschelde de waterstand beïnvloeden, dit met name in de laagwaterstand tot uiting zal komen ([7]). Om tot een betere verklaring van de laagwatergegevens te komen lijkt de ontwikkeling van een nauwkeurig fysisch model onontbeerlijk. Waarschijnlijk zal dit model niet-lineaire componenten bevatten. Met de beschikbare laagwaterdata kan men vervolgens niet alleen de geldigheid van dit model valideren, maar ook meer inzicht verkrijgen in de vraag of mogelijke veranderingen in de Westerschelde in de laagwaterdata zichtbaar gemaakt kunnen worden.

Voorlopige eindconclusie

Met de analyses in deze pilot-studie is op dit moment geen zichtbare verandering van de waterstand geconstateerd als gevolg van veranderingen in de Westerschelde. Deze conclusie heeft echter een voorlopig karakter omdat ze met nader onderzoek, zoals hierna in de aanbevelingen gespecificeerd, verder onderbouwd dient te worden.

Samenvatting aanbevelingen

- Gedurende een periode van 3 tot 4 jaar dient de amplitude van het MU2-getij (en eventueel 2MN2) nauwgezet gevolgd te worden om na te gaan of er een verandering is opgetreden in de systematiek van het tijdsverloop van de amplitude van deze getijcomponent. De referenties [2, p. 2-4] en [6] zouden in dit kader nader bestudeerd moeten worden om te begrijpen wat dit kan zeggen over het niet-lineair gedrag. Daarnaast is het verstandig ook het S2- en M2-getij met speciale aandacht te volgen omdat eventuele veranderingen van deze getijcomponenten grote invloed zouden hebben op de ontwikkeling van de waterstand.
- De ARMA-modellen zoals gebruikt bij de analyse van de eenmaal per uur gemeten waterhoogte, dienen ook op de hoog- en laagwaterdata te worden toegepast, om na te gaan in hoeverre deze methodiek van nut is om het verklarend vermogen van de in deze studie gebruikte modellen voor hoog- en laagwater te verbeteren.
- Een combinatie van fysische modellering en data-analyse, toegepast op de laagwaterdata, kan tot meer inzicht en betere voorspelling van het laagwater leiden.
- Naast amplitudes kan men ook de faseverschuivingen van de verschillende getijden in kaart brengen. Dit geeft informatie over looptijden en snelheid van de getijgolf en kan daarmee iets zeggen over veranderingen in de morfologie van de Westerschelde.

Additionele aanbeveling door ir. B.G.T.M. Peters, RIKZ

- Alhoewel het amplitudeverloop van M2 vanaf 1997 slechts een vooralsnog tijdelijk afwijkend verloop in het oosten van de Westerschelde laat zien dat nog niet significant afwijkt, is het

volgens het RIKZ toch interessant om te onderzoeken. Dit omdat het RIKZ op basis van astronomische factoren (18.6 jaar cyclus) in 1997 een daling zou verwachten. Deze treedt vrijwel niet op in het oosten maar wel richting zee; er kan dus sprake zijn van een ontwikkeling die zo sterk is dat hij de natuurlijke verdere ontwikkeling domineert. Ook hier zullen de data van komende jaren moeten worden bestudeerd om na te gaan of dit een trend is die doorzet.

Hoofdstuk 3

Tijdreeksanalyse lodingen

In deze studie zal gekeken worden naar de gegevens die verkregen zijn over de diepte van de bodem van de Westerschelde. Hierbij is de diepte van de bodem bepaald in centimeters ten opzichte van NAP in een rooster van 20 bij 20 meter. Deze lodinggegevens willen we combineren met de gegevens over baggeren, storten en zandwinning binnen de Westerschelde.

Vergeleken met de waterstanden die in Hoofdstuk 2 zijn bekeken, vereist dit een heel ander type analyse. De verschillen zijn:

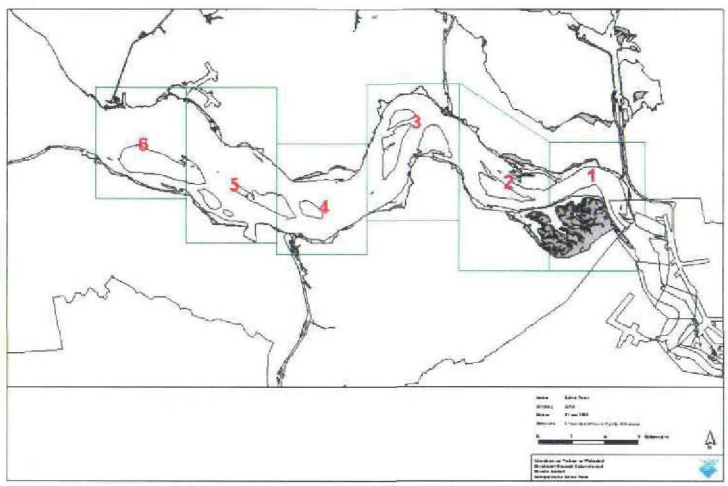
- De waterstanden zijn geanalyseerd met behulp van de periodiciteiten (getijden) die zich in de gegevens bevinden. De bodemstructuur vertoont (volgens RIKZ) op sommige plaatsen ook wel enigszins een periodiek gedrag maar dit is veel minder duidelijk zichtbaar en minder over bekend.
- De lodingen leveren per meting een twee-dimensionale structuur op. De diepte in een specifiek punt bij een volgende meting zal afhangen van de diepte van de bodem bij de vorige meting maar niet alleen in het punt zelf maar ook van de diepte van de bodem in een omgeving van dit punt. Dit soort structuren zitten niet in 1-dimensionale data als waterstanden.
- De waterstanden worden vaak gemeten en dit is niet het geval bij de lodingen. Het is al bijzonder als er twee keer per jaar wordt gemeten. Ook zijn de metingen van de lodingen zeer onregelmatig gemeten (variërend van 6 maanden tot meerdere jaren tussen opeenvolgende metingen).

In vergelijking met de waterstanden zijn de lodinggegevens veel lastiger te analyseren. De verdieping van de vaargeul zelf is in de lodinggegevens weliswaar direct waar te nemen, de lange termijn effecten ten gevolge van de verdieping op de morfologie van de Westerschelde kennen een grote tijdschaal. Dus waarschijnlijk zijn de effecten van de laatste verdieping nog niet zichtbaar in de lodinggegevens, die van de verdieping in de jaren '70 mogelijk wel. De vraag is echter of er voldoende frequent gemeten wordt om die te kunnen waarnemen, bovendien spelen er ook natuurlijke processen zoals zeespiegelstijging, die kunnen interacteren met mogelijke morfologische gevolgen van de verdieping. De veranderingen in de bodemligging kunnen niet goed geanalyseerd worden zonder de gegegevens van baggeren, storten en zandwinning erbij te betrekken. Door die extra gegevens mee te nemen, kunnen hopelijk de (natuurlijke) morfologische veranderingen worden vastgesteld. Het belang van het detecteren van morfologische veranderingen kan bovendien informatie opleveren over de vraag of

het meergeulen systeem van de Westerschelde behouden blijft en of de morfologische dynamiek van het systeem verandert.

1 Beschikbare data

De gegevens van de lodingen zijn verdeeld over zes vakken in de Westerschelde zoals aangegeven in Figuur 3.1.

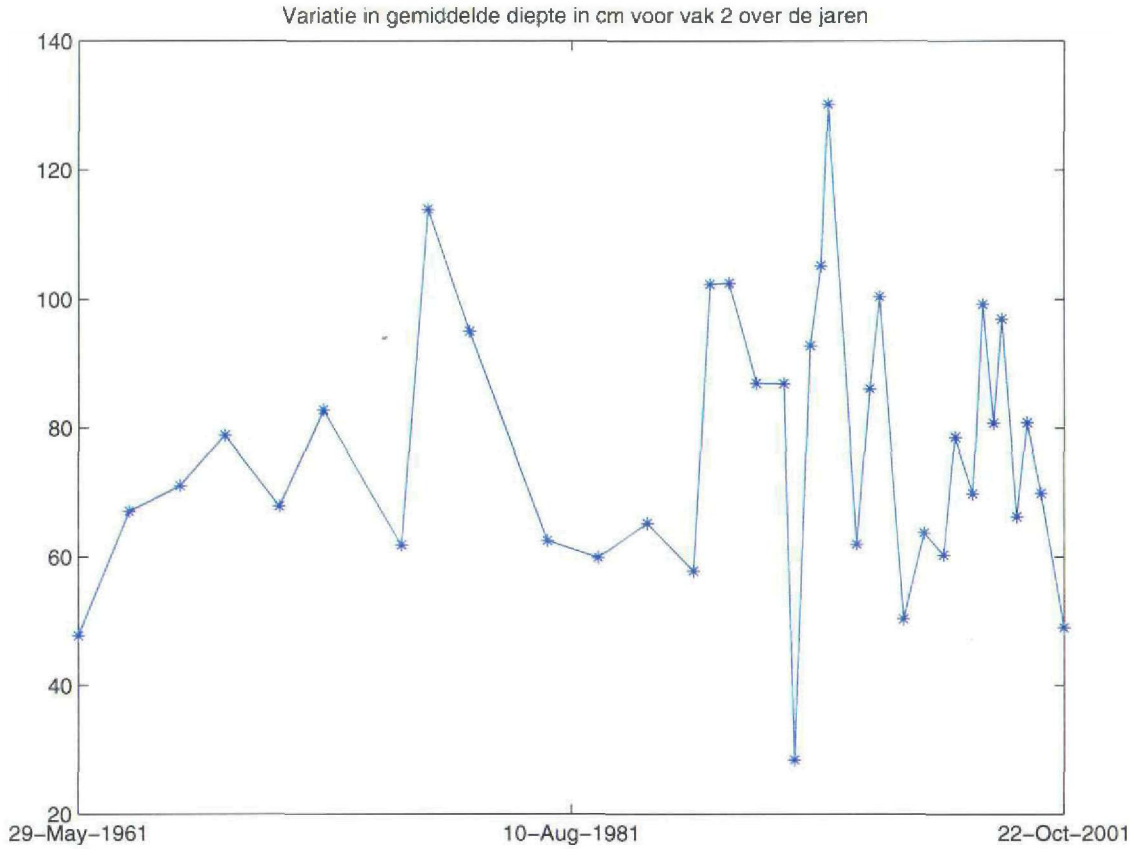


Figuur 3.1: Onderverdeling van de Westerschelde in 6 vakken

Binnen elk vak worden de gegevens aangeleverd in een rooster van 20 bij 20 meter. Alhoewel elk vak een afmeting heeft van 411 bij 585 datapunten, zijn een groot deel van de datapunten niet beschikbaar. Meestal omdat deze datapunten zich op het land bevinden. Echter ook gebieden binnen de Westerschelde zijn soms niet gemeten omdat ze ten tijde van de meting drooggevallen zijn of te ondiep voor een meting. Deze datapunten waar niet gemeten is zijn gecodeerd met een diepte van -9999 cm. De metingen zijn onregelmatig gemeten zoals blijkt uit de tabellen 1 tot en met 6 in Appendix B. Een ander probleem is dat de metingen niet instantaan worden uitgevoerd maar vaak enige tijd duren, variërend van 3 dagen tot bijna 3 maanden.

De bagger- en stortgegevens zijn tweeledig. Per jaar zijn gebieden gegeven waarbinnen een bepaalde hoeveelheid is gebaggerd dan wel gestort. Er is niets bekend over de distributie van het baggeren dan wel storten binnen die gegeven gebieden. Voor de zandwinning is de commerciële zandwinning op dezelfde manier beschreven. Echter de zandwinning door de overheid is beschreven door een specifieke locatie en de hoeveelheid die is gewonnen. Of die zandwinning nu rond dat punt plaats vindt met een straal van 20 meter of 500 meter is in de aangeleverde data niet geregistreerd. Wij gaan bij de analyse uit van een gebied van 100 bij 100 meter. Dit is echter een vrij willekeurige keuze. Op de meegeleverde CD staat in Quicktime movie formaat (`vak1.mov`–`vak6.mov`) voor de 6 vakken het verloop van de diepte van de Westerschelde getekend.

We kijken eerst naar de orde van grootte van de veranderingen in de diepte van de bodem van de Westerschelde. In figuur (3.2) is die verandering aangegeven voor vak 2. Voor de andere vakken is



Figuur 3.2: Gemiddelde verandering per jaar in cm van de diepte van de Westerschelde binnen vak 2

een vergelijkbaar plaatje opgenomen in appendix B. We zien dat in vak 2 de variatie per jaar van de lodinggegevens erg groot zijn en veel groter dan a priori verwacht. Het lijkt of er veel meer fluctuatie in de grafiek zit in de laatste jaren. Dit is echter een vertekend beeld omdat er in de laatste jaren meer metingen zijn gedaan. Een ster geeft in de grafiek een meting aan en de lijn verbindt deze metingen. Hieruit is duidelijk te zien dat er in de laatste jaren veel meer metingen zijn. Maar zelfs als we meenemen dat er meer metingen zijn in de laatste jaren is het toch wel een feit dat er in deze grafiek in ieder geval meer fluctuatie is waar te nemen in de afgelopen jaren al is die moeilijk aan een specifieke activiteit toe te wijzen.

De eerste stap is om te kijken of we deze grote variatie van circa 80 cm op jaarbasis kunnen verklaren. We bekijken twee specifieke (extreme) gevallen om inzicht te verkrijgen. We vergelijken de metingen in vak 1 rond 22 mei 1998 en rond 11 november 1998. Als we de metingen in de buurt van een punt in de zuidwesthoek van vak 1 bekijken zien we dat de metingen rond 22 mei 1998 opleveren:

```
-684  -635  -573  -494  -415
-614  -532  -497  -1866 -282
-487  -1156 -3316 -150  -156
-1814 -981  -147  -145  -151
-148  -148  -134  -147  -141
```

en de metingen rond 11 november 1998 leveren op:

```
NaN  -591  -515  -470  -424
NaN   NaN  -498  -323  -296
NaN   NaN  -221  -206  -192
NaN   NaN  -143  -141  -143
NaN   NaN   NaN  -143  -130
```

Merk op dat deze metingen de diepte in cm aangeven ten opzichte van NAP en dat NaN aangeeft dat er geen meting is gedaan. Het is duidelijk dat hier iets vreemds aan de hand is. Er is hier een punt dat in een half jaar maar liefst 31 meter dieper is geworden. Terwijl andere punten daaromheen relatief weinig veranderen. Het is duidelijk dat we deze meting van 33 meter diepte moeten wantrouwen. Er zijn naar onze inschatting dus metingen die incorrect zijn. Dit moet verder worden onderzocht.

Laten we nu eens naar een gebied in het centrum van vak 1 kijken. We zien hier weer grote verschillen in een heel korte tijd. De metingen rond 22 mei 1998 leveren op:

```
-1581 -1505 -1406 -1320 -1173 -1025 -995
-1543 -1460 -1297 -1134 -997  -860  -665
-1351 -1244 -1054 -864  -704  -545  -454
-1054 -868  -676  -516  -449  -409  -363
-754  -487  -435  -397  -363  -356  -349
-483  -373  -364  -361  -353  -355  -355
-392  -362  -358  -359  -365  -363  -363
```

en de metingen rond 11 november 1998 leveren op:

```
-1713 -1608 -1503 -1410 -1319 -1252 -1146
-1669 -1552 -1494 -1406 -1315 -1223 -1115
-1596 -1560 -1443 -1325 -1179 -1041 -887
-1392 -1427 -1257 -1115 -948  -810  -590
-1199 -1188 -1042 -885  -733  -634  -534
-972  -974  -876  -745  -613  -585  -488
-758  -737  -692  -504  -497  -456  -463
```

Het gemiddelde verschil in dit gebied tussen de twee metingen is 3.26 meter. Dit is onwaarschijnlijk groot. Zeker omdat in dat stuk van de Westerschelde geen baggerwerkzaamheden hebben plaatsgevonden. Als we de nieuwe meting van 11 november 1998 echter 40 meter opschuiven krijgen we voor dit gebied de volgende metingen:

```
-1596 -1560 -1443 -1325 -1179 -1041 -887
-1392 -1427 -1257 -1115 -948  -810  -590
-1199 -1188 -1042 -885  -733  -634  -534
-972  -974  -876  -745  -613  -585  -488
-758  -737  -692  -504  -497  -456  -463
-598  -497  -395  -396  -415  -424  -452
-409  -377  -345  -362  -398  -433  -449
```

en is het gemiddelde verschil met de meting van 22 mei nog maar 80 cm. Dit roept de vraag op of er tussen deze opeenvolgende metingen verschuivingen zijn opgetreden. Bovenstaande gevallen zijn extreem maar toch roept dit een vraag op naar de nauwkeurigheid van de data zowel bij de positiebepaling van de meting als de feitelijke waarde die gemeten is. Op de meegeleverde CD staan in Quicktime movie formaat (`diffvak1.mov`–`diffvak6.mov`) de verandering van de diepte van de bodem in de Westerschelde voor de 6 vakken getekend. We zien in de legenda bij die filmpjes dat de diepteveranderig kan pieken tot 60 meter diepteverandering op jaarbasis. Dit komt dan door een diepteverandering zoals hierboven beschreven van meer dan 30 meter in een half jaar die derhalve een verandering op jaarbasis van 60 meter oplevert. Dit is natuurlijk onmogelijk en daarom dienen deze metingen dan ook gewantrouwd te worden.

In deze movies staan de stort, bagger en zandwinning vakken ook aangegeven. Zwart staat voor baggervakken, magenta staat voor stortvakken en blauwgrijs staat voor vakken gebruikt voor zandwinning.

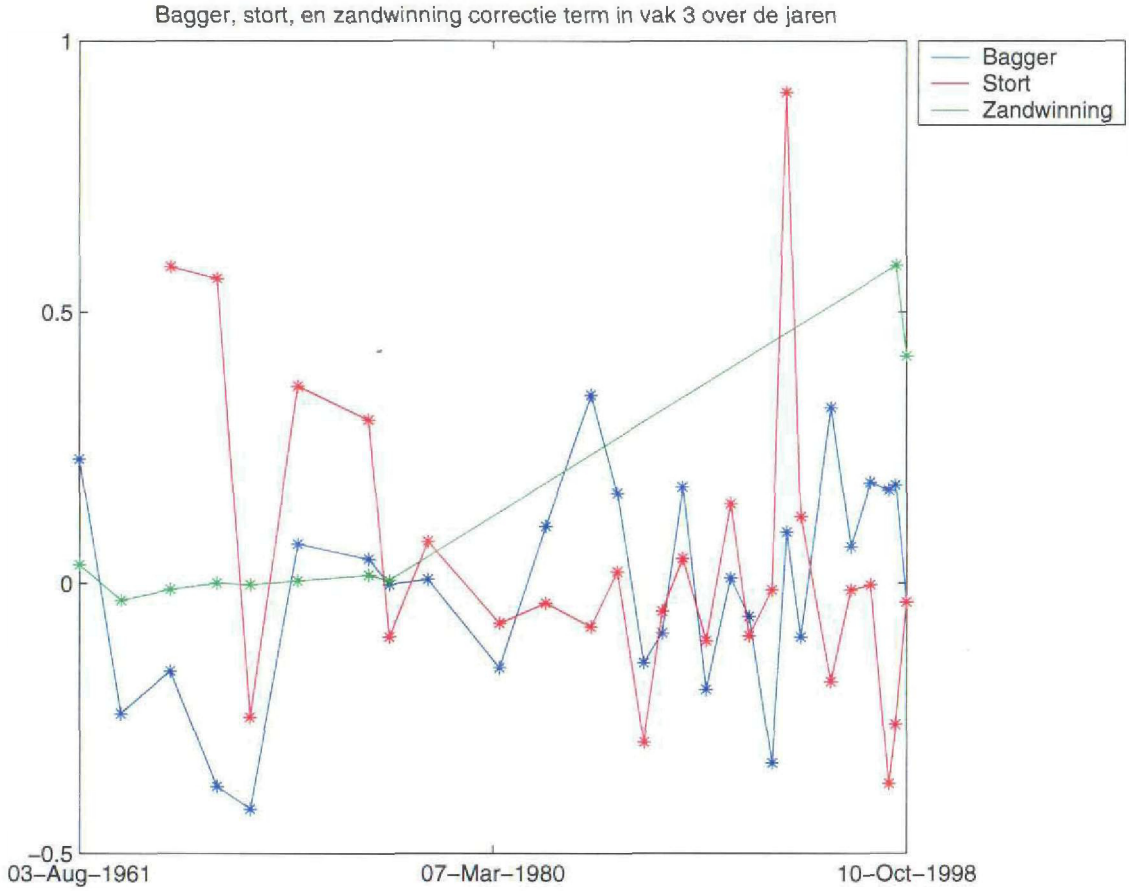
2 Effecten van baggeren, storten en zandwinning

In Figuur 3.3 zien we de effecten van baggeren, storten en zandwinning in vak 3. In Appendix B staan vergelijkbare plaatjes voor de andere vakken. De grafieken in 3.3 laten het volgende zien. Als gevolg van baggeren zou men verwachten dat de gemiddelde diepte omlaag gaat. Hetzelfde geldt natuurlijk bij zandwinning. Aan de andere kant verwacht men bij stort dat de gemiddelde diepte omhoog gegaan is. Als we 10 m^3 zand storten op 100 m^2 dan verwachten we een stijging van de bodem met 10cm. In de plaatjes staat de feitelijke stijging van de bodem gedeeld door deze verwachte stijging getekend:

$$\text{Correctiefactor} = \text{Verandering in diepte} \cdot \frac{\text{Oppervlak stortvak}}{\text{Baggerhoeveelheid}}$$

Baggerhoeveelheid gedeeld door het oppervlak van het stortvak is natuurlijk de verwachte gemiddelde stijging in het stortvak als er geen sedimenttransport met de omgeving plaatsvindt. Dit vergelijken we met de werkelijke verandering in de diepte. Omdat we normaliseren op basis van de hoeveelheid die we storten per m^2 zou dit betekenen dat we in het plaatje bij de stort correctiewaarde van 1 waarnemen. Nemen we echter 0.5 waar, dan stijgt de bodem slechts de helft van wat men zou verwachten op basis van alleen het storten. Dit betekent dat de andere helft van het gestorte materiaal door de Westerschelde al uit het stortvak is afgevoerd naar een locatie buiten het gespecificeerde stortvak. Wat we echter zien is dat we zelfs negatieve waarden tegenkomen. Dit laatste betekent dat ondanks de stort in een gebied de bodem daalt en de natuurlijke fluctuaties die optreden binnen de gemeten tijdsperiode tegengesteld zijn aan de ingreep. De afvoer van de Westerschelde uit het stortvak is dan groter dan de hoeveelheid materiaal die is gestort in de Westerschelde. Tot slot willen we nog duidelijk maken dat we hier alleen kijken naar de effecten binnen de gebieden waar we weten dat gestort wordt. Dus we kijken niet naar de zandbalans over het hele vak maar alleen naar de deelvakken waar volgens de door RIKZ verstrekte gegevens wordt gestort. We zien dezelfde resultaten bij de zandwinning en bagger alleen daar wordt natuurlijk verwacht dat de bodem daalt en we verwachten dus een correctieterm van -1. Hier zien we echter ook dat, ondanks het feit dat er gebaggerd wordt dan wel zand gewonnen, de bodem toch hoger is geworden. Ook hier geldt weer dat we ons beperken tot de gebieden waar volgens de gegevens wordt gebaggerd dan wel zandwinning plaats vindt en dat we niet naar het hele vak kijken.

De hiervoor beschreven effecten wijzen erop dat de dynamica van de Westerschelde veel sneller is



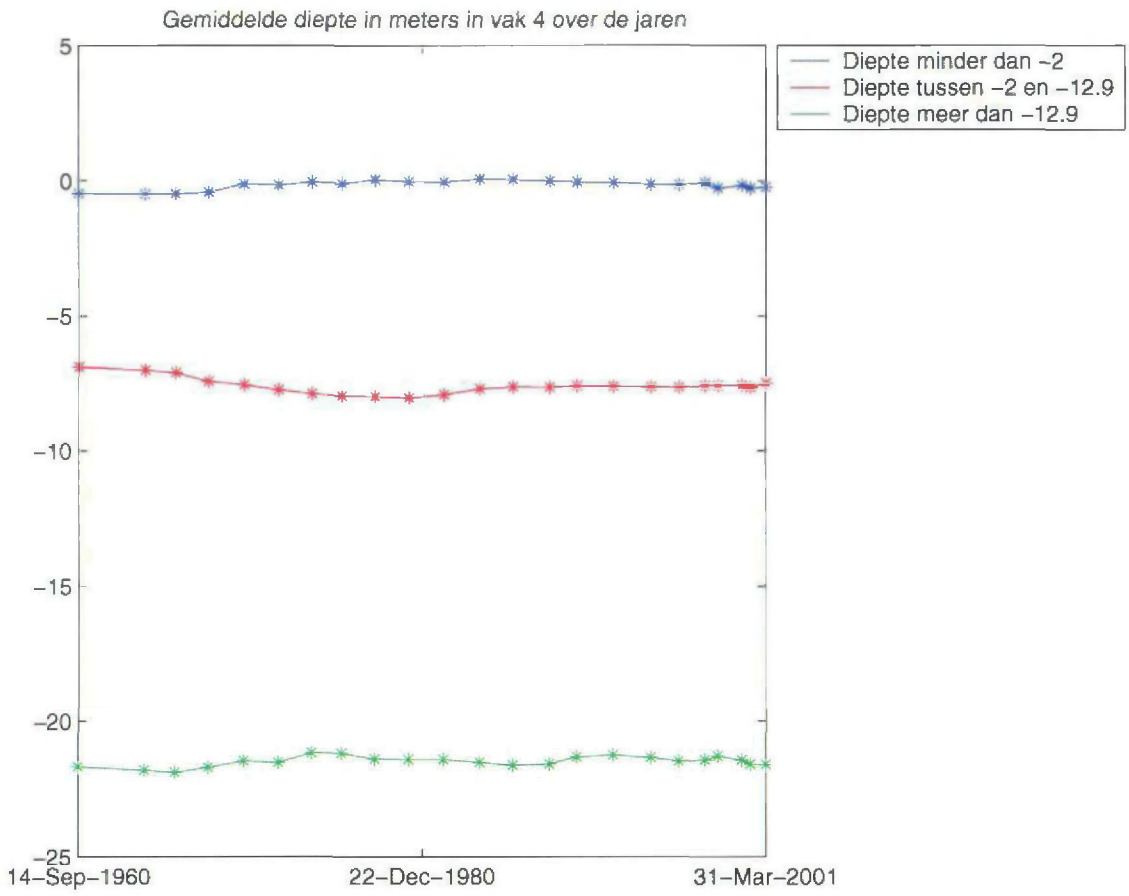
Figuur 3.3: Correctiewaarden voor effecten bagger, stort en zandwinningen op de diepte van de Westerschelde binnen vak 3

dan de periode waarin gemeten wordt. Per slot van rekening zou je bij een stort verwachten eerst een afname van de diepte te zien die dan (in sommige gevallen) in de loop der tijd ongedaan gemaakt door sedimenttransport binnen de Westerschelde. Wij zien echter in een aantal gevallen niet dat er eerst een afname plaats vindt en dat wijst erop dat we de dynamica van dit proces niet hebben kunnen waarnemen door het beperkte aantal metingen. Er wordt maximaal 2 keer per jaar gemeten. Echter we zien dat in een periode van 6 maanden de gemiddelde diepte flink kan veranderen zoals bijvoorbeeld blijkt uit Figuur 3.2 voor vak 2 en voor de andere vakken zoals gepresenteerd in Appendix B. Deze directe veranderingen lijken dominanter dan de effecten van stort en bagger.

Daarnaast is er natuurlijk bij onderhoud baggerwerkzaamheden de bedoeling dat de diepte gehandhaaft blijft en dat de natuurlijke processen die het gebied ondieper maken worden tegengegaan. Dit betekent dat het uitgangspunt is om ervoor te zorgen dat de diepte van dit gebied op constante hoogte blijft. Met andere woorden, we zijn bezig de natuurlijke processen, die er toe leiden dat er weer een drempel ontstaat, tegen te werken terwijl de doelstelling feitelijk is om net genoeg te baggeren om te voorkomen dat het ter plekke te ondiep wordt.

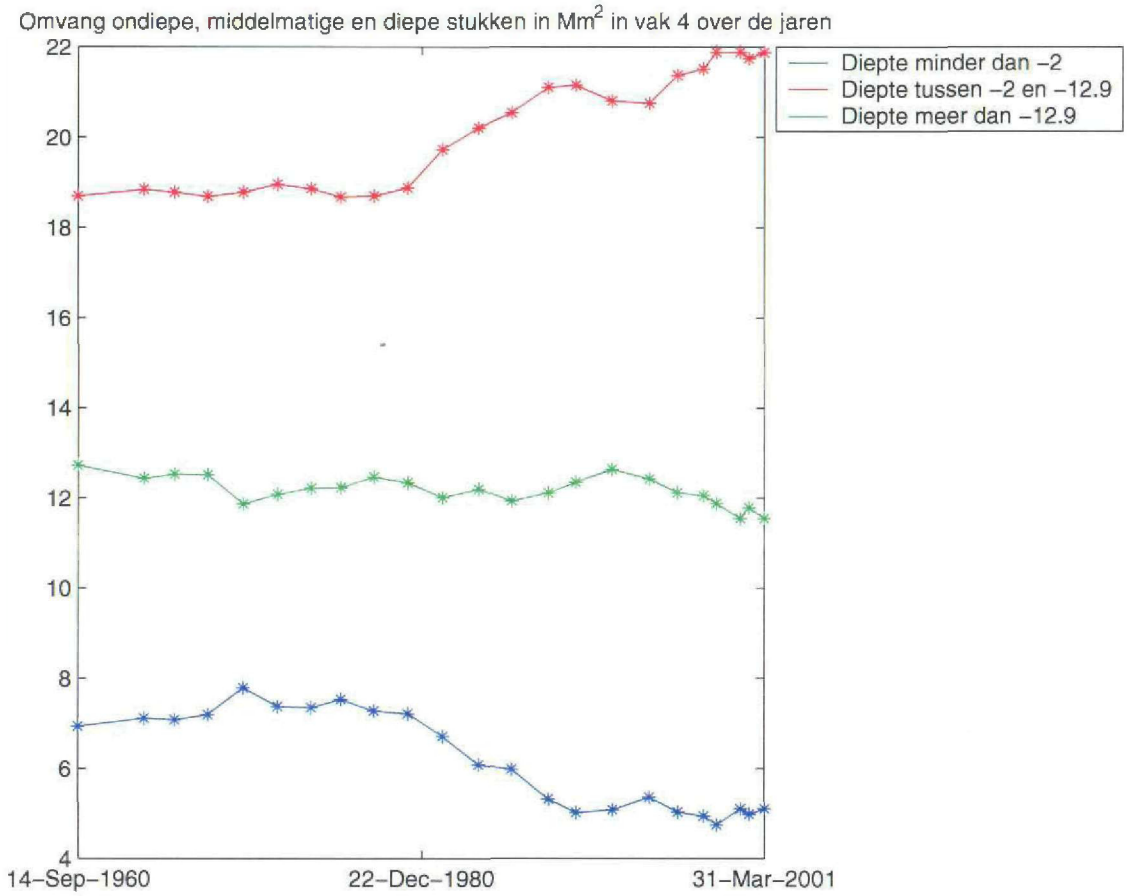
3 Verandering in omvang van diepe en ondiepe gebieden

Vanuit een ecologisch oogpunt bezien is het belangrijk om na te gaan hoe het oppervlak van de Westerschelde die minder dan twee meter diep is over de jaren verandert. Daarnaast is het interessant om te kijken hoe groot de fractie van de Westerschelde is die dieper is dan 43 voet omdat dit dan geschikt is voor de huidige scheepvaart. In figuur 3.5 zien we hoe de omvang van diepe, middelmatig diepe, en ondiepe gebieden is veranderd over de jaren in vak 4. De verdeling in diepe, middelmatig diepe, en ondiepe gebieden wordt bepaald ten opzichte van NAP. Voor de andere vakken staan deze gegevens in Appendix B. Daarnaast kijken we in Figuur 3.4 voor vak 4 naar de gemiddelde diepte van die drie categoriën. Vergelijkbare grafieken voor de 5 andere vakken staan weer in Appendix B. Wat we helaas moeilijk kunnen meenemen zijn gebieden waar na verloop van tijd niet meer gemeten kan worden omdat het gebied te ondiep is geworden. We weten namelijk niet zeker of dit de enige reden is waarom niet meer gemeten wordt. Zeker in vak 1 zijn er punten die eerst nog meer dan 10 meter diep waren en bij een volgende meting niet meer meegenomen worden.



Figuur 3.4: Gemiddelde diepte t.o.v. NAP van ondiepe, middelmatige diepe en diepe gebieden in de Westerschelde binnen vak 4

Tot slot kunnen we ook per vak kijken naar de gemiddelde diepte per vak. Deze is aangegeven in



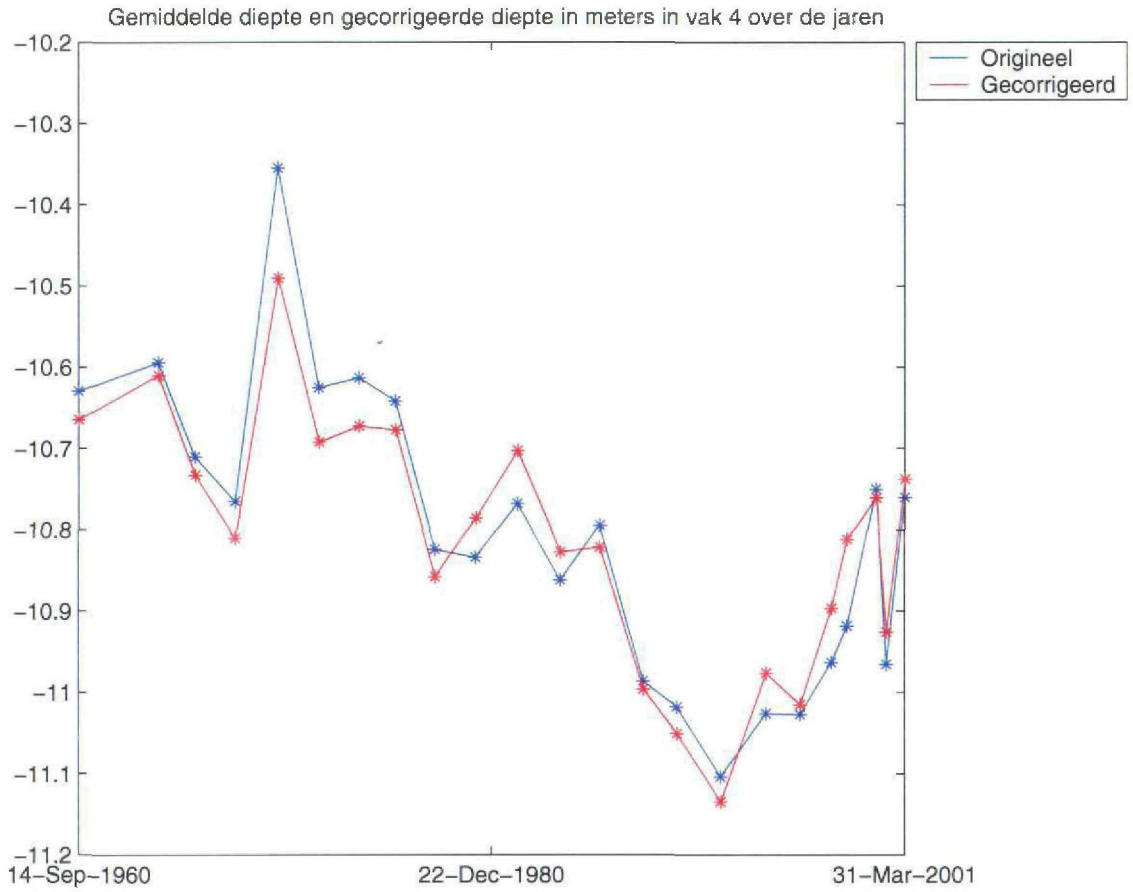
Figuur 3.5: Omvang van ondiepe, middelmatige diepe en diepe gebieden in de Westerschelde binnen vak 4

Figuur 3.6. Als we naar de gemiddelde diepte in een vak kijken dan verwachten we natuurlijk dat het dieper wordt door de bagger werkzaamheden en de zandwinning. Daarentegen wordt verwacht dat het minder diep wordt door de stortwerkzaamheden. Als we hierop corrigeren zouden we kunnen verwachten dat dit een rechte lijn oplevert (zonder variatie in de gemiddelde diepte). Dit is duidelijk niet zo en geeft aan dat de gemiddelde diepte verandert door de aan- dan wel afvoer van zand uit de andere vakken. Of er in het gehele estuarium zandimport of zandexport is, kunnen we bepalen door de oppervlakte onder de grafieken. Dit kunnen we natuurlijk ook per vak doen.

4 Conclusies en aanbevelingen

Zeker vergeleken met de waterstandanalyse van hoofdstuk 2 heeft de lodingen analyse niet echt veel opgeleverd. De vraag is natuurlijk wat de oorzaak is van dit teleurstellende resultaat.

De eerste vraag is de kwaliteit van de data. Gemiddelde variaties van meer dan 50 centimeter per jaar zijn erg groot en er zijn flinke uitschieters. In een aantal vakken blijkt 5% van de data op jaarbasis



Figuur 3.6: Gemiddelde diepte en gecorrigeerde diepte binnen vak 4

meer dan 4 meter te variëren. De grote vraag is of dit een gevolg is van fouten in de data. Zoals aangegeven zien we dat soms een verschil grotendeels kan worden verklaard door een verschuiving in de data. Zijn er fouten gemaakt in de locatie van de metingen? Sommige uitschieters zijn zo groot dat dit wel haast meetfouten moeten zijn (31 meter verandering in een half jaar). We moeten dus de kwaliteit van de metingen controleren.

Daarnaast blijkt in het algemeen dat er in een jaar veel verandert in de Westerschelde. Alhoewel een deel misschien veroorzaakt wordt door meetfouten lijkt het er toch op dat de bodem dynamica zeer actief is en snel verandert. Doordat de metingen zo ver uit elkaar liggen qua tijd is het zeer moeilijk om de dynamica van de Westerschelde te doorgronden op basis van de metingen.

ARMA-achtige modellen proberen in deze context de veranderingen te verklaren op basis van meer dan alleen vorige metingen in dezelfde lokatie. Meegenomen wordt ook de ruimtelijke structuur. Om die modellen goed te fitten wordt er meestal van uitgegaan dat de nieuwe waarneming bepaald kan worden uit de vorige meting in een lokale omgeving rond het punt waar we bezig zijn. Echter het blijkt overduidelijk uit de analyse dat op het moment van de loding de effecten van bijvoorbeeld bagger en stort al sterk verspreid zijn over de Westerschelde en niet lokaal bepaald worden. Dit blijkt uit de plaatjes voor die correctiefactoren (zie bijvoorbeeld Figuur 3.3) waarbij we zien dat tussen

opeenvolgende metingen de lokale effecten van de stort of bagggeractiviteiten al grotendeels worden gecompenseerd door het sedimenttransport binnen de Westerschelde. Door dit globale karakter werken dit soort ARMA-achtige modellen hier niet.

Als we kijken naar de gemiddelde diepte dan kunnen we dit nog verfijnen door de diepte van -12.9 meter (43 voet) te vervangen door de vaarwegdiepte die in de verschillende jaren nagestreefd werd. In de laatste 5 jaar geldt een andere vaarwegdiepte als daarvoor en in de zeventiger jaren werd weer een andere (minder diepe) vaarwegdiepte nagestreefd. Is de oppervlakte die de scheepvaart in de loop der tijd ter beschikking had, groter of kleiner geworden dan wel gelijk gebleven.

Zo zou je kunnen zien wat het oppervlakte is dat de scheepvaart in de loop der tijd ter beschikking had, groter, kleiner, dan wel gelijk is gebleven. Met andere woorden welke gebruiksfunctie is ten koste van welke gegaan?

Het is moeilijk de dynamica van de Westerschelde te doorgronden met behulp van de lodinggegevens. Dat wil natuurlijk niet zeggen dat de gegevens op zich niet bruikbaar zijn. Door koppeling aan de waterstanden kan wellicht de veiligheid tegen overstromingen in kaart worden gebracht. Op soortgelijke manier kan ook de natuurlijkheid van de Westerschelde of haar toegankelijkhied bestudeerd worden. Het blijft echter buitengewoon lastig om toekomstige ontwikkelingen te voorspellen omdat daarvoor inzicht in de dynamica nodig is en die is met de gehanteerde analysemethode, en zeker ook door de beperkte hoeveelheid data, moeilijk te begrijpen.

Hoofdstuk 4

Conclusies en aanbevelingen overige fysische parameters

In Sectie 6 van Hoofdstuk 2 en Sectie 4 van Hoofdstuk 3 zijn de conclusies voor respectievelijk de waterstandanalyse en de lodinganalyse gepresenteerd. Hier willen wij aangeven op basis van de gedane studie welke potentie de overige fysische parameters hebben voor statistische analyse. Die overige parameters zijn:

- Zoutgehalte,
- Stroomsnelheden/debieten,
- Sediment samenstelling,
- Lichtinstraling, extinctie, doorzicht.

De eerste parameter met veel potentie is de meting van het zoutgehalte. Dit is, evenals de waterstanden, vaak en regelmatig gemeten. De interessante vraag die opkomt is of deze metingen minder beïnvloed worden door externe factoren zoals bijvoorbeeld het weer. De waterstanden vertonen regelmatig veranderingen in de amplitude van de getijden die ook in het buitenstation Scheveningen nog waar te nemen zijn. Gevoelsmatig zijn deze veranderingen gedeeltelijk veroorzaakt door astronomische factoren maar korte termijn fluctuatie zijn waarschijnlijk vaak het gevolg van weersinvloeden al hebben we hier geen directe bewijzen voor. We hopen dat het zoutgehalte hier minder door wordt beinvloed. Een belangrijke hypothese in MOVE betreffende zoutgehalte zegt dat extreme zoutgehaltes niet veranderen ten gevolge van de verdieping. Het is de vraag of dit door de meetgegevens wordt bevestigd.

Een tijdreeksanalyse van stroomsnelheden en/of debietmetingen kan weliswaar worden uitgevoerd, maar deze parameters worden relatief zelden en onregelmatig gemeten, en worden bovendien sterk beïnvloed door het getij. Daarnaast hebben we ook nog eens een grote meetonnauwkeurigheid. We verwachten niet dat een dergelijke analyse bruikbare resultaten zal opleveren. Statistische technieken kunnen natuurlijk wel worden toegepast maar de metingen bevatten waarschijnlijk niet genoeg informatie om tot duidelijke resultaten te komen. De enige mogelijkheid die we zien is het combineren van deze data met de lodingen en na te gaan of de metingen samen meer informatie opleveren. Dit is echter erg lastig om uit te voeren en men zal daarbij gebruik moeten maken van fysische modellen.

De sedimentsamenstelling bevat natuurlijk ook informatie die interessant kan zijn maar die is nog maar heel weinig gemeten. Vanzelfsprekend kunnen de metingen uit 1997 en 2000 wel vergeleken worden om te zien of hier veranderingen in waar te nemen zijn. We kunnen op basis hiervan waarschijnlijk alleen hopen tot een gemotiveerd advies komen ten aanzien van een goede monitoring van deze gegevens in de toekomst.

Een verdere parameter die interessant is voor verdere studie is het doorzicht. Doorzicht wordt bepaald door kleur en concentratie gesuspendeerd materiaal. Deze parameter wordt niet vaak gemeten (grote gaten) maar kan duidelijk als indicator dienen voor veranderingen in de Westerschelde. Hoeveel dit oplevert zal een analyse moeten uitwijzen.

Welke ecologische parameters beschikbaar zijn voor verdere data-analyse is ons op dit moment niet precies bekend, maar vanzelfsprekend kan onderzoek op dit gebied tot nieuwe inzichten leiden. Zeker omdat ecologische parameters heel direct gekoppeld zijn aan het vraagstuk van het MOVE project. De gevolgen op het ecologisch systeem van (verdere) verdieping is in dat opzicht een belangrijke vraagstelling. De analyse van ecologische parameters is lastig omdat de kwaliteit van de meting vaak niet hoog is en veranderingen vaak door verschillende externe factoren kunnen worden beïnvloed. We denken dus eerder aan de analyse van de bodem van de Westerschelde waarbij het ecologische aspect direct wordt beïnvloed door de Westerschelde dan aan bijvoorbeeld de analyse van aantallen vogels omdat veranderingen daar heel sterk door externe factoren kunnen worden gestuurd. We hebben op dit moment echter onvoldoende kennis om dit goed te kunnen beoordelen.

Appendix A.1.1

Deze appendix bevat de programmatekst van de volgende, in het kader van dit onderzoek ontwikkelde, MATLAB-functies:

- `sinus.m`, ten behoeve van het fitten van een som van sinussignalen met voorgeschreven periodes op een gegeven signaal,
- `zoekpieken.m`, voor het bepalen van de frequenties waarbij de Fouriergetransformeerde van een signaal de hoogste pieken vertoont,
- `amplifase2.m`, ter bepaling van het verloop van beginfase en amplitude van een sinussignaal op basis van een opsplitsing van de tijdas.

sinus.m

```
function [varreduction,a,b,err,pred] = sinus(time,y1,tau)
%
%  [varreduction,a,b,err,pred] = sinus(t1,y1,tau)
%
%  Fit a sinusoid with periods in the vector tau to y1.
%
%  y1(k) = a(1) sin((2*pi/tau(1)) * t1(k) ) + b(1) cos((2*pi/tau(1))* t1(k))
%        + a(2) sin((2*pi/tau(2)) * t1(k) ) + b(2) cos((2*pi/tau(2))* t1(k)) + ... +
%        + a(n) sin((2*pi/tau(n)) * t1(k) ) + b(n) cos((2*pi/tau(n))* t1(k)) + err
%
%  which results in a variance reduction of 'varreduction' with error signal 'err' and prediction 'pred'
%
m=length(y1);
omega=2*pi./tau;

[ee,ff]=size(time);
if ee>ff,
    time=time';
    y1=y1';
end

n=length(tau);
for i=1:n,
    sinvec(i,:)=sin(time*omega(i));
    cosvec(i,:)=cos(time*omega(i));
end

A=[sinvec*sinvec'  sinvec*cosvec' ; cosvec*sinvec' cosvec*cosvec'];
B=[sinvec*y1'; cosvec*y1'];
v=inv(A)*B;
a=v(1:n)';
b=v(n+1:2*n)';
pred=a*sinvec+b*cosvec;
err=y1-pred;

errvariance=norm(err);
signalvariance=norm(y1);
varreduction=errvariance/signalvariance;
if ee>ff,
    pred=pred';
    err=err';
    y1=y1';
end
```

zoekpieken.m

```
function peakfreq = zoekpieken(rijhoogte,rijfreq,N,m)

% De functie zoekpiek zoekt de N hoogste waarden uit de rij rijhoogte,
% en slaat de bijbehorende frequenties op in peakfreq. Indien twee hoge
% waardes in rijindex m of minder verschillen, worden deze pieken als een
% piek gezien, en wordt de frequentie bepaald als een gewogen gemiddelde.
% Aangenomen wordt dat de rijen rijhoogte en rijfreq dezelfde lengte
% hebben, en dat de stapgrootte in rijfreq constant is

peakfreq = [];
if size(rijfreq)~=size(rijhoogte),
    rijfreq=rijfreq';
end

[hoogte,I]=sort(rijhoogte);
for k=1:N,
    index0 = I(end);
    rijkort=I(abs(I-index0)>m);
    indices=I(abs(I-index0)<=m);
    t = sum(rijhoogte(indices).*rijfreq(indices))/sum(rijhoogte(indices));
    peakfreq = [peakfreq,t];
    I = rijkort;
end;
```

amplifase2.m

```
function[ampl,phase,tijd,variance] = amplifase2(time,y1,tau0,N)

% Verdeel het signaal in N stukken en schat voor
% op basis van ieder gedeelte de beginfase en
% amplitude

[ee,ff]=size(time);
if ee>ff
    time = time';
    y1 = y1';
end

M = length(time);
lengte = floor(M/N);

ampl=[]; phase=[]; tijd=[];variance=[];
for k=1:N,
    begin = 1 + (k-1)*lengte;
    eind = k*lengte;
    [varred,a,b,err,pred] = sinus(time(begin:eind),y1(begin:eind),tau0),
    ampl = [ampl,(sqrt(a.^2 + b.^2))'];
    phase = [phase,(angle(a + sqrt(-1)*b))'];
    tijd = [tijd,(time(begin)+time(eind))/2];
    variance = [variance,varred];
end;
```

Appendix A.1.2

Deze appendix bevat de programmatekst van de volgende, in het kader van dit onderzoek ontwikkelde, MATLAB-scripts:

- `analyse1uur.m`, voor analyse van de eenmaal per uur gemeten data op basis van Fouriertransformatie, en het fitten van de belangrijkste periodiciteiten,
- `analyse1HW.m`, voor analyse van de hoogwaterdata op basis van Fouriertransformatie, en het fitten van de belangrijkste periodiciteiten,
- `analyse1LW.m`, voor analyse van de laagwaterdata op basis van Fouriertransformatie, en het fitten van de belangrijkste periodiciteiten.

analyse1uur.m

```
% Gebruikte hulp routines:
%
% zoekpieken
% amplifase2
% sinus
% sinusalt

clear all
close all

diary off
!del Bath.txt
diary Bath.txt

% inlezen van uurdata waterhoogten bij Bath

load Bath-uur
fprintf('Uur data van Bath is beschikbaar vanaf %s tot en met %s.\n',...
    datestr(Bath11.date(1),1),datestr(Bath11.date(end),1))
fprintf('Uur data bevat %7.0f datapunten\n',length(Bath11.date))
a=max(diff(Bath11.date))-min(diff(Bath11.date));
fprintf('Variatie in de bemonsteringsperiode is %4.4g\n\n',a)

if a>1e-7,
    error('Dit programma gebruikt een uniforme bemonstering en die is niet beschikbaar')
end

% Data tekenen op 2 niveaus van inzoomen
figure(1)
plot(Bath11.date,Bath11.data)
set(gca,'XTick',[7.30995e5 7.309975e5 7.31e5])
datetick('x',1,'keepticks')
ylabel('Waterhoogte in cm')
title('Waterniveau bij Bath')
axis([7.30995e5 7.31e5 min(Bath11.data) max(Bath11.data)])
print -depsc Bath-uur1.eps

figure(2)
plot(Bath11.date,Bath11.data)
set(gca,'XTick',[7.3095e5 7.30975e5 7.31e5])
datetick('x',1,'keepticks')
ylabel('Waterhoogte in cm')
title('Waterniveau bij Bath')
axis([7.3095e5 7.31e5 min(Bath11.data) max(Bath11.data)])
print -depsc Bath-uur2.eps

% timestep is sampling time
timestep=(max(diff(Bath11.data))+min(diff(Bath11.date)))/2;  % in days
uur=1/24;
minuut=uur/60;

% gemiddelde en trend uit de data verwijderen

Bath11.detrend=detrend(Bath11.data);
a=length(Bath11.detrend);
% trend uitrekenen in centimeters per jaar
trend=24*60*minuut*(Bath11.data(a)-Bath11.detrend(a)-Bath11.data(1)+Bath11.detrend(1))/...
    (Bath11.date(a)-Bath11.date(1));
fprintf('Trendverloop waterstand is %4.4g cm/jaar.\n',365*trend)
fprintf('Gemiddelde waterstand is %4.4g cm\n\n',mean(Bath11.data))

%Fourier transformeren

L=length(Bath11.date);
Bath11.frequency=fft(Bath11.detrend)*timestep;
% Lengte van meetinterval uitrekenen in dagen
T=(Bath11.date(end)-Bath11.date(1));
% De frequentie-as bepalen in (Hz) per dag (aantal volledige periodes per dag)
Bath11.w=0:1/T:(L-1)/T;
figure(3)
plot(Bath11.w(1:round(L/2)),abs(Bath11.frequency(1:round(L/2))))
title('Fourier transformatie van waterstand bij Bath')
xlabel('Frequentie in 1/dag')
print -depsc Bath-uur3.eps

fprintf('De stapgrootte in de Fouriertransformatie is %6.4g\n\n',1/T)

figure(4)
plot(Bath11.w(1:round(L/2)),abs(Bath11.frequency(1:round(L/2))))
title('Fourier transformatie van waterstand bij Bath')
xlabel('Frequentie in 1/dag')
axis([1.5 2.5 0 max(abs(Bath11.frequency))])
grid
print -depsc Bath-uur4.eps

% positie bepaling van de pieken in de Fouriertransformatie

% We bepalen N peaken die minstens 6 bemonsteringstappen van elkaar verwijderd zijn.
```

```
N=15;
peaks=zoekpieken(abs(Bath11.frequency(1:floor(L/2))),abs(Bath11.w(1:floor(L/2))),N,6);
periods=1./peaks;

%
tic
[Bath11.ampl,Bath11.fase,Bath11.tijd]=amplifase2(Bath11.date,Bath11.detrend,periods,20);
toc3=toc;
% fases aanpassen zodat bij pi en -pi geen sprongen optreden
%fprintf('Het berekenen van de fase correcties kost %3.3g seconden\n\n',toc3)

Bath11.fase = unwrap(Bath11.fase,[],2);

% correcties op de periodes gaan uitvoeren

Bath11.fasedetrend=detrend(Bath11.fase')';
Bath11.fasetrend=Bath11.fase-Bath11.fasedetrend;
Bath11.fasetrend1=(Bath11.fasetrend(:,end)-Bath11.fasetrend(:,1))/(Bath11.tijd(end)-Bath11.tijd(1));

peaksnew = peaks+Bath11.fasetrend1'/(2*pi);
periodsnew = 1./peaksnew;

correcties = Bath11.fasetrend1'/(2*pi);

fprintf('De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting\n\n')
fprintf('Frequentie %9.4e  wordt gecorrigeerd met %+12.4e\n',[peaks ; correcties])
fprintf('\n')

for i=1:N
    if abs(correcties(i))>1/T,
        figure(1000+i)
        plot(str2num(datestr(Bath11.tijd,10)),Bath11.fase(i,:))
        title(['Faseverloop voor correctie in Bath bij frequentie ' num2str(peaks(i),5) ' gaat fout'])
        print('-depsc',['Batherror' num2str(i) '.eps'])
        a=fminbnd('sinusalt',peaks(i)-2/T,peaks(i)+2/T,[],Bath11.date,...
            Bath11.detrend);
        peaksnew(i)=a; periodsnew(i)=1/a;
        fprintf('Een optimalisatie past frequentie %9.7g aan tot %9.7g\n',peaks(i),peaksnew(i))
        fprintf('met een bemonstering van %9.7\n\n',1/T)
    end
end

for i=1:N,
    [b(i),ak,bk]=sinus(Bath11.date,Bath11.detrend,periodsnew(1:i));
end
fprintf('Variantiereductie als functie van het aantal meegenomen periodes\n\n')
fprintf(' %3.0f       %4.4f\n',[1:N ; 100*b])
fprintf('\n')

tic
a=sinus(Bath11.date,Bath11.detrend,periods);
toc1=toc;
tic
[b,ak,bk]=sinus(Bath11.date,Bath11.detrend,periodsnew);
toc2=toc;

fprintf('Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is %3.3g %%\n',100*a)
fprintf('Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is %3.3g %%\n\n',100*b)
%fprintf('Bovenstaande twee fits kosten ongeveer %3.3g seconden\n\n',(toc1+toc2)/2)

a=load('../Harmonische Componenten/Bath00.txt');
cRIKZ=sortrows(a,2);
periodsRIKZ=360./(cRIKZ(end-N+1:end,1)'*24);
peaksRIKZ=1./periodsRIKZ;

c=[peaksnew' sqrt(ak.^2 + bk.^2)'];
cRIKZ=[peaksRIKZ' cRIKZ(end-N+1:end,2)];
cRIKZ=cRIKZ(end:-1:1,:);

fprintf('Belangrijkste %2.0f frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)\n\n',N)
fprintf('      %9.5f          %8.4f\n',c')
fprintf('\n\nBelangrijkste %2.0f frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting RIKZ)\n\n',N)
fprintf('      %9.5f          %8.4f\n',cRIKZ')
fprintf('\n')

% Optimaal verwijderen van M (<N) sinusoidale signalen uit een stuk van de tijdreeks.

M=10;
Start='1-1-1997';
Stop='1-1-1998';

if M>N,
    fprintf('Aantal frequenties voor de fit aangepast van %2.0f naar %2.0f\n\n',M,N)
    M=min(M,N);
end
[a,b]=max(Bath11.date>=datenum(Start));
Strt=b;
[a,b]=max(Bath11.date>=datenum(Stop));
Stp=b-1;

figure(5)
[varred,ak,bk,err,pred]=sinus(Bath11.date(Strt:Stp),Bath11.detrend(Strt:Stp),periodsnew(1:M));
```

```
plot(Bath11.date(Strt:Stp),Bath11.detrend(Strt:Stp))
hold on;
plot(Bath11.date(Strt:Stp),pred(1:(Stp-Strt+1)),'red')
set(gca,'XTick',[Bath11.date(Strt) Bath11.date(round((Strt+Stp)/2)) Bath11.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title('Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van de waterhoogte bij Bath')
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc Bath-uur5.eps

% Teken k dagen voorspelling en werkelijke waarde van de waterhoogte bij Bath
k=28;

figure(6)
[a,b]=max(Bath11.date>=datenum(Start)+k);
Stp=b-1;
plot(Bath11.date(Strt:Stp),Bath11.detrend(Strt:Stp))
hold on;
plot(Bath11.date(Strt:Stp),pred(1:(Stp-Strt+1)),'red')
set(gca,'XTick',[Bath11.date(Strt) Bath11.date(round((Strt+Stp)/2)) Bath11.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title('Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van de waterhoogte bij Bath')
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc Bath-uur6.eps

if strcmp('Bath',['Ba' 'th'])
    periodsN=periodsnew;
    peaksN=peaksnew;
    save frequencies periodsN peaksN
else
    load frequencies
end

n=round((Bath11.date(end)-Bath11.date(1))/365);
tic
[Bathfreq.ampl,Bathfreq.fase,Bathfreq.tijd,variance]=amplifase2(Bath11.date,Bath11.detrend,periodsN,n);
Bathfreq.periods=periodsN';
Bathfreq.peaks=peaksN';
toc3=toc;
save Bathfreq Bathfreq
%fprintf('Het berekenen van de fase en amplitudes kost %3.3g seconden\n\n',toc3)

fprintf('Resterende variantie geoptimaliseerd per jaar\n\n',N)
fprintf('      %5.2f%%          %4.0f\n',[100*variance' str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10))]')
fprintf('\n')

M = length(Bath11.date);
lengte = floor(M/n);
tot=0;
for k=1:n,
    begin = 1 + (k-1)*lengte,
    eind = k*lengte;
    tot=tot+variance(k)^2*norm(Bath11.detrend(begin:eind))^2;
end;
fprintf('Resterende variantie met jaarlijks variërende amplitude en fase is %4.4g%%\n\n',...
    100*sqrt(tot)/norm(Bath11.detrend(1:eind)))

[b,ak,bk,Bathanal.err,Bathanal.pred]=sinus(Bath11.date,Bath11.detrend,periodsN);
Bathanal.date=Bath11.date;
Bathanal.data=Bath11.detrend;
save Bathanal Bathanal

fprintf('Resterende variantie met vaste amplitude en fase is %4.4g%%\n\n',100*b)

diary off
```

analyse1HW.m

```
% Gebruikte hulp routines:
%
% zoekpieken
% amplifase2
% sinus
% sinusalt

clear all
close all

diary off
!del BathHW.txt
diary BathHW.txt

% inlezen van hoogwater/laagwater waterhoogten bij Bath

load BathHWLW
fprintf('Hoogwater data van Bath is beschikbaar vanaf %s tot en met %s.\n',...
    datestr(BathHW.date(1),1),datestr(BathHW.date(end),1))
fprintf('Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf %s\n',...
    datestr(BathHW1.date(1),1))
fprintf('Hoogwater data bevat %7.0f datapunten\n',length(BathHW1.date))
a=max(diff(BathHW1.date))-min(diff(BathHW1.date));
fprintf('Variatie in de bemonsteringsperiode is %4.4g\n\n',a)


% Data tekenen op 2 niveaus van inzoomen
figure(1)
plot(BathHW1.date,BathHW1.data)
set(gca,'XTick',[730000 730150 730300])
datetick('x',1,'keepticks')
ylabel('Waterhoogte in cm')
title('Hoogwaterniveau bij Bath')
axis([730000 730300 min(BathHW1.data) max(BathHW1.data)])
print -depsc Bath-HW1.eps

figure(2)
plot(BathHW1.date,BathHW1.data)
set(gca,'XTick',[730000 730050 730100])
datetick('x',1,'keepticks')
ylabel('Waterhoogte in cm')
title('Hoogwaterniveau bij Bath')
axis([730000 730100 min(BathHW1.data) max(BathHW1.data)])
print -depsc Bath-HW2.eps

% timestep is sampling time
timestep=(max(diff(BathHW1.date))+min(diff(BathHW1.date)))/2;  % in days
uur=1/24;
minuut=uur/60;

% gemiddelde en trend uit de data verwijderen

BathHW1.detrend=detrend(BathHW1.data);
a=length(BathHW1.detrend);
% trend uitrekenen in centimeters per jaar
trend=24*60*minuut*(BathHW1.data(a)-BathHW1.detrend(a)-BathHW1.data(1)+BathHW1.detrend(1))/...
    (BathHW1.date(a)-BathHW1.date(1));
fprintf('Trendverloop hoogwater is %4.4g cm/jaar.\n',365*trend)
fprintf('Gemiddelde hoogwater is %4.4g cm\n\n',mean(BathHW1.data))

%Fourier transformeren

L=length(BathHW1.date);
BathHW1.frequency=fft(BathHW1.detrend)*timestep;
% Lengte van meetinterval uitrekenen in dagen
T=(BathHW1.date(end)-BathHW1.date(1));
% De frequentie-as bepalen in (Hz) per dag (aantal volledige periodes per dag)
BathHW1.w=0:1/T:(L-1)/T;
figure(3)
plot(BathHW1.w(1:round(L/2)),abs(BathHW1.frequency(1:round(L/2))))
title('Fourier transformatie van hoogwater bij Bath')
xlabel('Frequentie in 1/dag')
print -depsc Bath-HW3.eps
fprintf('De stapgrootte in de Fouriertransformatie is %6.4g\n\n',1/T)

figure(4)
plot(BathHW1.w(1:round(L/2)),abs(BathHW1.frequency(1:round(L/2))))
title('Fourier transformatie van hoogwater bij Bath')
xlabel('Frequentie in 1/dag')
axis([0 0.2 0 max(abs(BathHW1.frequency))])
grid
print -depsc Bath-HW4.eps

% positie bepaling van de pieken in de Fouriertransformatie

% We bepalen N peaken die minstens 6 bemonsteringstappen van elkaar verwijderd zijn.

N=7;
peaks=zoekpieken(abs(BathHW1.frequency(1:floor(L/2))),abs(BathHW1.w(1:floor(L/2))),N,6);
```

```
periods=1./peaks;

%
tic
[BathHW1.ampl,BathHW1.fase,BathHW1.tijd]=amplifase2(BathHW1.date,BathHW1.detrend,periods,20);
toc3=toc;
% fases aanpassen zodat bij pi en -pi geen sprongen optreden
%fprintf('Het berekenen van de fase correcties kost %3.3g seconden\n\n',toc3)

BathHW1.fase = unwrap(BathHW1.fase,[],2);

% correcties op de periodes gaan uitvoeren

BathHW1.fasedetrend=detrend(BathHW1.fase')';
BathHW1.fasetrend=BathHW1.fase-BathHW1.fasedetrend;
BathHW1.fasetrend1=(BathHW1.fasetrend(:,end)-BathHW1.fasetrend(:,1))/(BathHW1.tijd(end)-BathHW1.tijd(1));

correcties = BathHW1.fasetrend1'/(2*pi);
peaksnew = peaks+BathHW1.fasetrend1'/(2*pi);
periodsnew = 1./peaksnew;

fprintf('De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting\n\n')
fprintf('Frequentie %9.4e  wordt gecorrigeerd met %+12.4e\n',[peaks ; correcties])
fprintf('\n')

for i=1:N
    if abs(correcties(i))>1/T,
        figure(1000+i)
        plot(str2num(datestr(BathHW1.tijd,10)),BathHW1.fase(i,:))
        title({'Faseverloop HW in Bath voor correctie bij frequentie ' num2str(peaks(i),5) ' gaat fout'})
        print('-depsc',['BathHWerror' num2str(i) '.eps'])
        a=fminbnd('sinusalt',peaks(i)-2/T,peaks(i)+2/T,[],BathHW1.date,...
            BathHW1.detrend);
        peaksnew(i)=a; periodsnew(i)=1/a;
        fprintf('Een optimalisatie past frequentie %9.7g aan tot %9.7g\n',peaks(i),peaksnew(i))
        fprintf('met een bemonstering van %9.7g\n\n',1/T)

    end
end
tic
a=sinus(BathHW1.date,BathHW1.detrend,periods);
toc1=toc;
tic
[b,ak,bk]=sinus(BathHW1.date,BathHW1.detrend,periodsnew);
toc2=toc;

fprintf('Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is %3.3g %%\n',100*a)
fprintf('Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is %3.3g %%\n\n',100*b)
%fprintf('Bovenstaande twee fits kosten ongeveer %3.3g seconden\n\n',(toc1+toc2)/2)


c=[peaksnew' sqrt(ak.^2 + bk.^2)'];

fprintf('Belangrijkste %2.0f frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)\n\n',N)
fprintf('      %9.5f          %8.4f\n',c')
fprintf('\n')

% Optimaal verwijderen van M (<N) sinusoidale signalen uit een stuk van de tijdreeks.

M=10;
Start='1-1-1997';
Stop='1-1-1998';

if M>N,
    fprintf('Aantal frequenties voor de fit aangepast van %2.0f naar %2.0f\n\n',M,N)
    M=min(M,N);
end
[a,b]=max(BathHW1.date>=datenum(Start));
Strt=b;
[a,b]=max(BathHW1.date>=datenum(Stop));
Stp=b-1;

figure(5)
[varres,ak,bk,err,pred]=sinus(BathHW1.date(Strt:Stp),BathHW1.detrend(Strt:Stp),periodsnew(1:M));

plot(BathHW1.date(Strt:Stp),BathHW1.detrend(Strt:Stp))
hold on;
plot(BathHW1.date(Strt:Stp),pred(1:(Stp-Strt+1)),'red')
set(gca,'XTick',[BathHW1.date(Strt) BathHW1.date(round((Strt+Stp)/2)) BathHW1.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title('Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van de hoogwater bij Bath')
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc Bath-HW5.eps

% Teken k dagen voorspelling en werkelijke waarde van de waterhoogte bij Bath
k=28;

figure(6)
[a,b]=max(BathHW1.date>=datenum(Start)+k);
Stp=b-1;
plot(BathHW1.date(Strt:Stp),BathHW1.detrend(Strt:Stp))
hold on;
```

```
plot(BathHW1.date(Strt:Stp),pred(1:(Stp-Strt+1)),'red')
set(gca,'XTick',[BathHW1.date(Strt) BathHW1.date(round((Strt+Stp)/2)) BathHW1.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title('Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van het hoogwater bij Bath')
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc Bath-HW5.eps

if strcmp('Bath',['Ba' 'th'])
    periodsHW=periodsnew;
    peaksHW=peaksnew;
    save frequenciesHW periodsHW peaksHW
else
    load frequenciesHW
end

n=round((BathHW1.date(end)-BathHW1.date(1))/365);
tic
[BathfreqHW.ampl,BathfreqHW.fase,BathfreqHW.tijd,variance]=amplifase2(BathHW1.date,BathHW1.detrend,periodsHW,n);
BathfreqHW.periods=periodsHW';
BathfreqHW.peaks=peaksHW';
toc3=toc;
save BathfreqHW BathfreqHW
%fprintf('Het berekenen van de fase en amplitudes kost %3.3g seconden\n\n',toc3)


fprintf('Belangrijkste %2.0f frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar\n\n',N)
fprintf('      %5.2f%%          %4.0f\n',[100*variance' str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10))]')
fprintf('\n')

diary off
```

analyse1LW.m

```
% Gebruikte hulp routines:
%
% zoekpieken
% amplifase2
% sinus
% sinusalt

clear all
close all

diary off
!del BathLW.txt
diary BathLW.txt

% inlezen van hoogwater/laagwater waterhoogten bij Bath

load BathHWLW
fprintf('Laagwater data van Bath is beschikbaar vanaf %s tot en met %s.\n',...
    datestr(BathLW.date(1),1),datestr(BathLW.date(end),1))
fprintf('Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf %s\n',...
    datestr(BathLW1.date(1),1))
fprintf('Laagwater data bevat %7.0f datapunten\n',length(BathLW1.date))
a=max(diff(BathLW1.date))-min(diff(BathLW1.date));
fprintf('Variatie in de bemonsteringsperiode is %4.4g\n\n',a)


% Data tekenen op 1 niveau van inzoomen
figure(1)
plot(BathLW1.date,BathLW1.data)
set(gca,'XTick',[730000 730150 730300])
datetick('x',1,'keepticks')
ylabel('Waterhoogte in cm')
title('Laagwaterniveau bij Bath')
axis([730000 730300 min(BathLW1.data) max(BathLW1.data)])
print -depsc Bath-LW1.eps

figure(2)
plot(BathLW1.date,BathLW1.data)
set(gca,'XTick',[730000 730050 730100])
datetick('x',1,'keepticks')
ylabel('Waterhoogte in cm')
title('Laagwaterniveau bij Bath')
axis([730000 730100 min(BathLW1.data) max(BathLW1.data)])
print -depsc Bath-LW2.eps

% timestep is sampling time
timestep=(max(diff(BathLW1.date))+min(diff(BathLW1.date)))/2;  % in days
uur=1/24;
minuut=uur/60;

% gemiddelde en trend uit de data verwijderen

BathLW1.detrend=detrend(BathLW1.data);
a=length(BathLW1.detrend);
% trend uitrekenen in centimeters per jaar
trend=24*60*minuut*(BathLW1.data(a)-BathLW1.detrend(a)-BathLW1.data(1)+BathLW1.detrend(1))/...
    (BathLW1.date(a)-BathLW1.date(1));
fprintf('Trendverloop laagwater is %4.4g cm/jaar.\n',365*trend)
fprintf('Gemiddelde laagwater is %4.4g cm\n\n',mean(BathLW1.data))

%Fourier transformeren

L=length(BathLW1.date);
BathLW1.frequency=fft(BathLW1.detrend)*timestep;
% Lengte van meetinterval uitrekenen in dagen
T=(BathLW1.date(end)-BathLW1.date(1));
% De frequentie-as bepalen in (Hz) per dag (aantal volledige periodes per dag)
BathLW1.w=0:1/T:(L-1)/T;
figure(3)
plot(BathLW1.w(1:round(L/2)),abs(BathLW1.frequency(1:round(L/2))))
title('Fourier transformatie van laagwater bij Bath')
xlabel('Frequentie in 1/dag')
print -depsc Bath-LW3.eps

fprintf('De stapgrootte in de Fouriertransformatie is %6.4g\n\n',1/T)

figure(4)
plot(BathLW1.w(1:round(L/2)),abs(BathLW1.frequency(1:round(L/2))))
title('Fourier transformatie van laagwater bij Bath')
xlabel('Frequentie in 1/dag')
axis([0 0.2 0 max(abs(BathLW1.frequency))])
grid
print -depsc Bath-LW4.eps

% positie bepaling van de pieken in de Fouriertransformatie

% We bepalen N peaken die minstens 6 bemonsteringsstappen van elkaar verwijderd zijn.

N=7;
```

```
peaks=zoekpieken(abs(BathLW1.frequency(1:floor(L/2))),abs(BathLW1.w(1:floor(L/2))),N,6);
periods=1./peaks;

%
tic
(BathLW1.ampl,BathLW1.fase,BathLW1.tijd]=amplifase2(BathLW1.date,BathLW1.detrend,periods,20);
toc3=toc;
% fases aanpassen zodat bij pi en -pi geen sprongen optreden
%fprintf('Het berekenen van de fase correcties kost %3.3g seconden\n\n',toc3)

BathLW1.fase = unwrap(BathLW1.fase,[],2);

% correcties op de periodes gaan uitvoeren

BathLW1.fasedetrend=detrend(BathLW1.fase')';
BathLW1.fasetrend=BathLW1.fase-BathLW1.fasedetrend;
BathLW1.fasetrend1=(BathLW1.fasetrend(:,end)-BathLW1.fasetrend(:,1))/(BathLW1.tijd(end)-BathLW1.tijd(1));

peaksnew = peaks+BathLW1.fasetrend1'/(2*pi);
periodsnew = 1./peaksnew;
correcties = BathLW1.fasetrend1'/(2*pi);

fprintf('De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting\n\n')
fprintf('Frequentie %9.4e  wordt gecorrigeerd met %+12.4e\n',(peaks ; correcties])
fprintf('\n')

for i=1:N
    if abs(correcties(i))>1/T,
        figure(1000+i)
        plot(str2num(datestr(BathLW1.tijd,10)),BathLW1.fase(i,:))
        title(['Faseverloop LW in Bath voor correctie bij frequentie ' num2str(peaks(i),5) ' gaat fout'])
        print('-depsc',['BathLWerror' num2str(i) '.eps'])
        a=fminbnd('sinusalt',peaks(i)-2/T,peaks(i)+2/T,[],BathLW1.date,...
            BathLW1.detrend);
        peaksnew(i)=a; periodsnew(i)=1/a;
        fprintf('Een optimalisatie past frequentie %9.7g aan tot %9.7g\n',peaks(i),peaksnew(i))
        fprintf('met een bemonstering van %9.7g\n\n',1/T)

    end
end

tic
a=sinus(BathLW1.date,BathLW1.detrend,periods);
toc1=toc;
tic
(b,ak,bk)=sinus(BathLW1.date,BathLW1.detrend,periodsnew);
toc2=toc;

fprintf('Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is %3.3g %%\n',100*a)
fprintf('Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is %3.3g %%\n\n',100*b)
%fprintf('Bovenstaande twee fits kosten ongeveer %3.3g seconden\n\n',(toc1+toc2)/2)


c=[peaksnew' sqrt(ak.^2 + bk.^2)'];

fprintf('Belangrijkste %2.0f frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)\n\n',N)
fprintf('      %9.5f          %8.4f\n',c')
fprintf('\n')

% Optimaal verwijderen van M (<N) sinusoidale signalen uit een stuk van de tijdreeks.

M=10;
Start='1-1-1997';
Stop='1-1-1998';

if M>N,
    fprintf('Aantal frequenties voor de fit aangepast van %2.0f naar %2.0f\n\n',M,N)
    M=min(M,N);
end
[a,b]=max(BathLW1.date>=datenum(Start));
Strt=b;
[a,b]=max(BathLW1.date>=datenum(Stop));
Stp=b-1;

figure(5)
[varred,ak,bk,err,pred]=sinus(BathLW1.date(Strt:Stp),BathLW1.detrend(Strt:Stp),periodsnew(1:M));

plot(BathLW1.date(Strt:Stp),BathLW1.detrend(Strt:Stp))
hold on;
plot(BathLW1.date(Strt:Stp),pred(1:(Stp-Strt+1)),'red')
set(gca,'XTick',[BathLW1.date(Strt) BathLW1.date(round((Strt+Stp)/2)) BathLW1.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title('Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van de laagwater bij Bath')
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc Bath-LW5.eps

% Teken k dagen voorspelling en werkelijke waarde van de waterhoogte bij Bath
k=28;

figure(6)
[a,b]=max(BathLW1.date>=datenum(Start)+k);
Stp=b-1;
```

```
plot(BathLW1.date(Strt:Stp),BathLW1.detrend(Strt:Stp))
hold on;
plot(BathLW1.date(Strt:Stp),pred(1:(Stp-Strt+1)),'red')
set(gca,'XTick',[BathLW1.date(Strt) BathLW1.date(round((Strt+Stp)/2)) BathLW1.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title('Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van het laagwater bij Bath')
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc Bath-LW6.eps

if stromp('Bath',['Ba' 'th'])
    periodsLW=periodsnew;
    peaksLW=peaksnew;
    save frequenciesLW periodsLW peaksLW
else
    load frequenciesLW
end

n=round((BathLW1.date(end)-BathLW1.date(1))/365);
tic
[BathfreqLW.ampl,BathfreqLW.fase,BathfreqLW.tijd,variance]=amplifase2(BathLW1.date,BathLW1.detrend,periodsLW,n);
BathfreqLW.periods=periodsLW';
BathfreqLW.peaks=peaksLW';
toc1=toc;
save BathfreqLW BathfreqLW
%fprintf('Het berekenen van de fase en amplitudes kost %3.3g seconden\n\n',toc3)


fprintf('Belangrijkste %2.0f frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar\n\n',N)
fprintf('      %5.2f%%          %4.0f\n',[100*variance' str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10))]')
fprintf('\n')

diary off
```

Appendix A.1.3

Deze appendix bevat de programmatekst van de volgende, in het kader van dit onderzoek ontwikkelde, MATLAB-scripts:

- `waterstand.m`, voor de analyse van het amplitudeverloop van de belangrijkste periodiciteiten in de waterstandgegevens. Dit is uitgevoerd voor:

  1. de eenmaal per uur gemeten waterstanden,
  2. de hoogwaterstanden.

  Bovendien worden in `waterstand.m` verschillende (AR)MA modellen bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van enkele hulpscripts, allen van hetzelfde type. Een voorbeeld daarvan is het script `BathWestkapelle.m`.

- `BathWestkapelle.m`, waarin enkele (AR)MA-modellen zoals beschreven in Hoofdstuk 2, Paragraaf 5.4, worden doorgerekend, waarbij de eenmaal per uur gemeten waterstand in Westkapelle als ingang dient, en de eenmaal per uur gemeten waterstand in Bath als uitgang.

waterstand.m

```
close all
clear all

%analyseBath; analyseCadzd; analyseHanswt; analyseTernzn; analyseVlis; analyseWestkple
%analyseHWBath; analyseHWCadzd; analyseHWHanswt; analyseHWTernzn; analyseHWVlis; analyseHWWestkple
%analyseLWBath; analyseLWCadzd; analyseLWHanswt; analyseLWTernzn; analyseLWVlis; analyseLWWestkple

!del waterstand.txt
diary waterstand.txt

load Bathfreq
load Cadzdfreq
load Hanswtfreq
load Ternznfreq
load Vlisfreq
load Westkplefreq

N=length(Bathfreq.peaks);

a=norm(Bathfreq.periods-Cadzdfreq.periods);
b=norm(Bathfreq.periods-Hanswtfreq.periods);
c=norm(Bathfreq.periods-Ternznfreq.periods);
d=norm(Bathfreq.periods-Vlisfreq.periods);
e=norm(Bathfreq.periods-Westkplefreq.periods);
if (a ~=0 | b~=0 | d~=0 | d~=0 | e~=0 ),
error('The periods should all be the same')
end

Totampl=[Bathfreq.ampl;Cadzdfreq.ampl;Hanswtfreq.ampl;Ternznfreq.ampl;Vlisfreq.ampl;Westkplefreq.ampl];
Totfase=[Bathfreq.fase;Cadzdfreq.fase;Hanswtfreq.fase;Ternznfreq.fase;Vlisfreq.fase;Westkplefreq.fase];

[a,b]=size(Bathfreq.ampl);
Detrendampl=Totampl-mean(Totampl')'*ones(1,b);

[frequentie,naam]=xlsread('../Harmonische Componenten/test.xls');
periodes=360./(frequentie(:,1)*24);
frequenties=1./periodes;
for i=1:N
    aa=figure(i);
    set(aa,'Position',[296 354 660 420]);
    b=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),Bathfreq.ampl(i,:));
    hold on
c=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),Cadzdfreq.ampl(i,:),'red');
h=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),Hanswtfreq.ampl(i,:),'black');
t=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),Ternznfreq.ampl(i,:),'magenta');
v=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),Vlisfreq.ampl(i,:),'cyan');
w=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),Westkplefreq.ampl(i,:),'green');
a=['Waterstand' num2str(i) '.eps'];
    [avf,bvf]=min(abs(Bathfreq.peaks(i)-frequenties));
    if avf>1e-5,
       fprintf('Geen goede fit voor frequentie gevonden in de door RIKZ verstrekte lijst\n')
       fprintf('De frequentie is %8.6g en de beste fit is gelijk aan %8.6g\n\n',Bathfreq.peaks(i),frequenties(bvf))
    end
    title(['Variatie over de jaren bij frequentie ',num2str(Bathfreq.peaks(i),5),' /dag' ...
            '  ( ' char(naam(bvf)) ' )'])
    legend([b,h,t,v,c,w],'Bath','Hansweert','Terneuzen','Vlissingen','Cadzand','Westkapelle',-1)
print( i, '-depsc',a)
hold off
    a=fminbnd('sinusalt',0,25,[],atr2num(datestr(Bathfreq.tijd,10))',...
            Bathfreq.ampl(i,:)-mean(Bathfreq.ampl(i,:)));
    b=sinus(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10))',Bathfreq.ampl(i,:)-mean(Bathfreq.ampl(i,:)),a);
    if b < 0.9,
        fprintf('De frequentie %6.4g (%s) bevat een periode van %6.4g jaar\n',...
            Bathfreq.peaks(i),char(naam(bvf)),a)
        fprintf('die %6.4g %% van de variantie verklaart.\n',100-b*100)
        fprintf('De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath\n\n')
        aa=figure(i+N+1234);
        set(aa,'Position',[296 354 660 420]);
        [xxx,yyy,zzz,xx]=sinus(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10))',Bathfreq.ampl(i,:)-mean(Bathfreq.ampl(i,:)),a);
        b=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),xx);
        hold on
        [xxx,yyy,zzz,xx]=sinus(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10))',Cadzdfreq.ampl(i,:)-mean(Cadzdfreq.ampl(i,:)),a);
c=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),xx,'red');
        [xxx,yyy,zzz,xx]=sinus(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10))',Hanswtfreq.ampl(i,:)-mean(Hanswtfreq.ampl(i,:)),a);
h=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),xx,'black');
        [xxx,yyy,zzz,xx]=sinus(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10))',Ternznfreq.ampl(i,:)-mean(Ternznfreq.ampl(i,:)),a);
t=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),xx,'magenta');
        [xxx,yyy,zzz,xx]=sinus(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10))',Vlisfreq.ampl(i,:)-mean(Vlisfreq.ampl(i,:)),a);
v=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),xx,'cyan');
        [xxx,yyy,zzz,xx]=sinus(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10))',Westkplefreq.ampl(i,:)-mean(Westkplefreq.ampl(i,:)),a);
w=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),xx,'green');
aa=['Waterstand18jaar' num2str(i) '.eps'];
        title(['Variatie na verwijderen periode ' num2str(a,4) ' jaar bij frequentie ',num2str(Bathfreq.peaks(i),5),...
                ' /dag' '  ( ' char(naam(bvf)) ' )'])
        legend([b,h,t,v,c,w],'Bath','Hansweert','Terneuzen','Vlissingen','Cadzand','Westkapelle',-1)
        print(i+N+1234, '-depsc',aa)
    end
end
```

```
for i=1:N
    aa=figure(i+N);
    set(aa,'Position',[296 354 660 420]);
    b=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),prestd(Bathfreq.ampl(i,:)));
    hold on
c=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),prestd(Cadzdfreq.ampl(i,:)),'red');
h=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),prestd(Hanswtfreq.ampl(i,:)),'black');
t=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),prestd(Ternznfreq.ampl(i,:)),'magenta');
v=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),prestd(Vlisfreq.ampl(i,:)),'cyan');
w=plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),prestd(Westkplefreq.ampl(i,:)),'green');
a=['WaterstandC' num2str(i) '.eps'];
    [avf,bvf]=min(abs(Bathfreq.peaks(i)-frequenties));
    if avf>1e-5,
       fprintf('Geen goede fit voor frequentie gevonden in de door RIKZ verstrekte lijst\n')
       fprintf('De frequentie is %8.6g en de beste fit is gelijk aan %8.6g\n\n',Bathfreq.peaks(i),frequenties(bvf))
    end
    title({['Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie ',num2str(Bathfreq.peaks(i),5),...
           ' /dag' '  ( ' char(naam(bvf)) ' )']})
    legend([b,h,t,v,c,w],'Bath','Hansweert','Terneuzen','Vlissingen','Cadzand','Westkapelle',-1)
print(i+N, '-depsc',a)
hold off
end

clear all
close all

load BathfreqHW
load CadzdfreqHW
load HanswtfreqHW
load TernznfreqHW
load VlisfreqHW
load WestkplefreqHW

p=min([length(BathfreqHW.tijd),length(CadzdfreqHW.tijd),length(HanswtfreqHW.tijd),...
    length(TernznfreqHW.tijd),length(VlisfreqHW.tijd),length(WestkplefreqHW.tijd)]);

CadzdfreqHW.tijd=CadzdfreqHW.tijd(:,(end-p+1):end);
CadzdfreqHW.ampl=CadzdfreqHW.ampl(:,(end-p+1):end);
CadzdfreqHW.fase=CadzdfreqHW.fase(:,(end-p+1):end);

HanswtfreqHW.tijd=HanswtfreqHW.tijd(:,(end-p+1):end);
HanswtfreqHW.ampl=HanswtfreqHW.ampl(:,(end-p+1):end);
HanswtfreqHW.fase=HanswtfreqHW.fase(:,(end-p+1):end);

TernznfreqHW.tijd=TernznfreqHW.tijd(:,(end-p+1):end);
TernznfreqHW.ampl=TernznfreqHW.ampl(:,(end-p+1):end);
TernznfreqHW.fase=TernznfreqHW.fase(:,(end-p+1):end);

VlisfreqHW.tijd=VlisfreqHW.tijd(:,(end-p+1):end);
VlisfreqHW.ampl=VlisfreqHW.ampl(:,(end-p+1):end);
VlisfreqHW.fase=VlisfreqHW.fase(:,(end-p+1):end);

WestkplefreqHW.tijd=WestkplefreqHW.tijd(:,(end-p+1):end);
WestkplefreqHW.ampl=WestkplefreqHW.ampl(:,(end-p+1):end);
WestkplefreqHW.fase=WestkplefreqHW.fase(:,(end-p+1):end);

BathfreqHW.tijd=BathfreqHW.tijd(:,(end-p+1):end);
BathfreqHW.ampl=BathfreqHW.ampl(:,(end-p+1):end);
BathfreqHW.fase=BathfreqHW.fase(:,(end-p+1):end);

figure(100001)
plot(1:34,[BathfreqHW.tijd(end-33:end); CadzdfreqHW.tijd(end-33:end);HanswtfreqHW.tijd(end-33:end);...
    TernznfreqHW.tijd(end-33:end);VlisfreqHW.tijd(end-33:end);WestkplefreqHW.tijd(end-33:end)])
title('Tijdstippen vergelijken van hoogwater data op 6 lokaties ')

N=length(BathfreqHW.peaks);

a=norm(BathfreqHW.periods-CadzdfreqHW.periods);
b=norm(BathfreqHW.periods-HanswtfreqHW.periods);
c=norm(BathfreqHW.periods-TernznfreqHW.periods);
d=norm(BathfreqHW.periods-VlisfreqHW.periods);
e=norm(BathfreqHW.periods-WestkplefreqHW.periods);
if (a ~=0 | b~=0 | d~=0 | d~=0 | e~=0 ),
error('The periods should all be the same')
end

Totampl=[BathfreqHW.ampl;CadzdfreqHW.ampl;HanswtfreqHW.ampl;TernznfreqHW.ampl;VlisfreqHW.ampl;WestkplefreqHW.ampl];
Totfase=[BathfreqHW.fase;CadzdfreqHW.fase;HanswtfreqHW.fase;TernznfreqHW.fase;VlisfreqHW.fase;WestkplefreqHW.fase];

[a,b]=size(BathfreqHW.ampl);
Detrendampl=Totampl-mean(Totampl')'*ones(1,b);

for i=1:N
    aa=figure(i);
    set(aa,'Position',[296 354 660 420]);
    b=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),BathfreqHW.ampl(i,:));
    hold on
c=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),CadzdfreqHW.ampl(i,:),'red');
h=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),HanswtfreqHW.ampl(i,:),'black');
t=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),TernznfreqHW.ampl(i,:),'magenta');
v=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),VlisfreqHW.ampl(i,:),'cyan');
w=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),WestkplefreqHW.ampl(i,:),'green');
```

```
a=['WaterstandHW' num2str(i) '.eps'];
    title(['Variatie hoogwater over de jaren bij frequentie ',num2str(BathfreqHW.peaks(i),5),' /dag'])
    legend([b,h,t,v,c,w],'Bath','Hansweert','Terneuzen','Vlissingen','Cadzand','Westkapelle',-1)
print( i, '-depsc',a)
hold off
end

for i=1:N
    aa=figure(i+N);
    set(aa,'Position',[296 354 660 420]);
    b=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),prestd(BathfreqHW.ampl(i,:)));
    hold on
c=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),prestd(CadzdfreqHW.ampl(i,:)),'red');
h=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),prestd(HanswtfreqHW.ampl(i,:)),'black');
t=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),prestd(TernznfreqHW.ampl(i,:)),'magenta');
v=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),prestd(VlisfreqHW.ampl(i,:)),'cyan');
w=plot(str2num(datestr(BathfreqHW.tijd,10)),prestd(WestkplefreqHW.ampl(i,:)),'green');
a=['WaterstandHWC' num2str(i) '.eps'];
    title(['Genormaliseerde variatie hoogwater over de jaren bij frequentie ',num2str(BathfreqHW.peaks(i),5),...
        ' /dag'])
    legend([b,h,t,v,c,w],'Bath','Hansweert','Terneuzen','Vlissingen','Cadzand','Westkapelle',-1)
print(i+N, '-depsc',a)
hold off
end

clear all

load BathfreqLW
load CadzdfreqLW
load HanswtfreqLW
load TernznfreqLW
load VlisfreqLW
load WestkplefreqLW

p=min([length(BathfreqLW.tijd),length(CadzdfreqLW.tijd),length(HanswtfreqLW.tijd),...
    length(TernznfreqLW.tijd),length(VlisfreqLW.tijd),length(WestkplefreqLW.tijd)]);
figure(100001)
plot(1:34,[BathfreqLW.tijd(end-33:end); CadzdfreqLW.tijd(end-33:end);HanswtfreqLW.tijd(end-33:end);...
    TernznfreqLW.tijd(end-33:end);VlisfreqLW.tijd(end-33:end);WestkpiefreqLW.tijd(end-33:end)])
title('Tijdstippen vergelijken van hoogwater data op 6 lokaties ')

CadzdfreqLW.tijd=CadzdfreqLW.tijd(:,(end-p+1):end);
CadzdfreqLW.ampl=CadzdfreqLW.ampl(:,(end-p+1):end);
CadzdfreqLW.fase=CadzdfreqLW.fase(:,(end-p+1):end);

HanswtfreqLW.tijd=HanswtfreqLW.tijd(:,(end-p+1):end);
HanswtfreqLW.ampl=HanswtfreqLW.ampl(:,(end-p+1):end);
HanswtfreqLW.fase=HanswtfreqLW.fase(:,(end-p+1):end);

TernznfreqLW.tijd=TernznfreqLW.tijd(:,(end-p+1):end);
TernznfreqLW.ampl=TernznfreqLW.ampl(:,(end-p+1):end);
TernznfreqLW.fase=TernznfreqLW.fase(:,(end-p+1):end);

VlisfreqLW.tijd=VlisfreqLW.tijd(:,(end-p+1):end);
VlisfreqLW.ampl=VlisfreqLW.ampl(:,(end-p+1):end);
VlisfreqLW.fase=VlisfreqLW.fase(:,(end-p+1):end);

WestkplefreqLW.tijd=WestkplefreqLW.tijd(:,(end-p+1):end);
WestkplefreqLW.ampl=WestkplefreqLW.ampl(:,(end-p+1):end);
WestkplefreqLW.fase=WestkplefreqLW.fase(:,(end-p+1):end);

BathfreqLW.tijd=BathfreqLW.tijd(:,(end-p+1):end);
BathfreqLW.ampl=BathfreqLW.ampl(:,(end-p+1):end);
BathfreqLW.fase=BathfreqLW.fase(:,(end-p+1):end);

N=length(BathfreqLW.peaks);

a=norm(BathfreqLW.periods-CadzdfreqLW.periods);
b=norm(BathfreqLW.periods-HanswtfreqLW.periods);
c=norm(BathfreqLW.periods-TernznfreqLW.periods);
d=norm(BathfreqLW.periods-VlisfreqLW.periods);
e=norm(BathfreqLW.periods-WestkplefreqLW.periods);
if (a ~=0 | b~=0 | d~=0 | d~=0 | e~=0 ),
error('The periods should all be the same')
end

Totampl=[BathfreqLW.ampl;CadzdfreqLW.ampl;HanswtfreqLW.ampl;TernznfreqLW.ampl;VlisfreqLW.ampl;WestkplefreqLW.ampl];
Totfase=[BathfreqLW.fase;CadzdfreqLW.fase;HanswtfreqLW.fase;TernznfreqLW.fase;VlisfreqLW.fase;WestkplefreqLW.fase];

[a,b]=size(BathfreqLW.ampl);
Detrendampl=Totampl-mean(Totampl')'*ones(1,b);

for i=1:N
    aa=figure(i);
    set(aa,'Position',[296 354 660 420]);
    b=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),BathfreqLW.ampl(i,:));
    hold on
c=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),CadzdfreqLW.ampl(i,:),'red');
h=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),HanswtfreqLW.ampl(i,:),'black');
t=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),TernznfreqLW.ampl(i,:),'magenta');
v=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),VlisfreqLW.ampl(i,:),'cyan');
w=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),WestkplefreqLW.ampl(i,:),'green');
```

```
a=['WaterstandLW' num2str(i) '.eps'];
    title(['Variatie laagwater over de jaren bij frequentie ',num2str(BathfreqLW.peaks(i),5),' /dag'])
    legend([b,h,t,v,c,w],'Bath','Hansweert','Terneuzen','Vlissingen','Cadzand','Westkapelle',-1)
print( i, '-depsc',a)
hold off
end

for i=1:N
    aa=figure(i+N);
    set(aa,'Position',[296 354 560 420]);
    b=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),prestd(BathfreqLW.ampl(i,:)));
    hold on
c=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),prestd(CadzdfreqLW.ampl(i,:)),'red');
h=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),prestd(HanswtfreqLW.ampl(i,:)),'black');
t=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),prestd(TernznfreqLW.ampl(i,:)),'magenta');
v=plot(str2num(datestr(BathfreqLW tijd,10)),prestd(VlisfreqLW.ampl(i,:)),'cyan');
w=plot(str2num(datestr(BathfreqLW.tijd,10)),prestd(WestkplefreqLW.ampl(i,:)),'green');
a=['WaterstandLWC' num2str(i) '.eps'];
    title(['Genormaliseerde variatie laagwater over de jaren bij frequentie ',num2str(BathfreqLW.peaks(i),5),. .
           ' /dag'])
    legend([b,h,t,v,c,w],'Bath','Hansweert','Terneuzen','Vlissingen','Cadzand','Westkapelle',-1)
print(i+N, '-depsc',a)
hold off
end

BathWestkapelle
BathHansweert
TerneuzenCadzand

load Goeree-uur
    load Bathanal
a=length(Goeree11.date);
Bathanal.date=Bathanal.date(end-a+1:end);
Bathanal.data=Bathanal.data(end-a+1:end);
Bathanal.err=Bathanal.err(end-a+1:end);
Bathanal.pred=Bathanal.pred(end-a+1:end);
!cp Bathanal.mat Bathanal2.mat
    save Bathanal Bathanal

Goeree11.detrend=detrend(Goeree11.data);

load frequencies

[b,ak,bk,Goereeanal.err,Goereeanal.pred]=sinus(Goeree11.date,Goeree11.detrend,periodsN);
Goereeanal.date=Goeree11.date;
Goereeanal.data=Goeree11.detrend;
save Goereeanal Goereeanal

BathGoeree

diary off
```

BathWestkapelle.m

```
clear all

load Bathanal
load Westkpleanal

a=length(Westkpleanal.data)
Bathanal.date=Bathanal.date(end-a+1:end);
Bathanal.data=Bathanal.data(end-a+1:end);
Bathanal.err=Bathanal.err(end-a+1:end);
Bathanal.pred=Bathanal.pred(end-a+1:end);

data=iddata(Bathanal.data,Westkpleanal.data,1/24);
set(data,'Outputname','Waterstand Bath');
set(data,'Inputname','Waterstand Westkapelle');
set(data,'TimeUnit','dag');
set(data,'OutputUnit','cm');
set(data,'InputUnit','cm');
data
tic
p=3;q=5;r=1;
M=armax(data,[p q r 1])
a=toc;
%fprintf('Het berekenen van een ARMA model kost %3.3g seconden\n\n',a)
u = iddata([],Westkpleanal.data,1/24);
set(u,'Inputname','Waterstand Westkapelle'),
set(u,'TimeUnit','dag');
set(u,'InputUnit','cm');
y=sim(M,u);
Bathanal.pred2=y.OutputData,
ff=norm(Bathanal.pred2-Bathanal.data)/norm(Bathanal.data);
fprintf('Resterende variantie met een ARMA(%1.1g,%1.1g,%1.1g) model is %4.4g %%\n',p,q,r,100*ff)
fprintf('met behulp van oorspronkelijke data (periodiciteiten niet uitgehaald)\n\n')
A=M.a;B=M.b;C=M.c;
aa=roots(A);
fprintf('Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is %8.5g.\n\n',max(abs(aa)))

data=iddata(Bathanal.err,Westkpleanal.err,1/24);
set(data,'Outputname','Schattingsfout waterstand Bath');
set(data,'Inputname','Schattingsfout waterstand Westkapelle');
set(data,'TimeUnit','dag');
set(data,'OutputUnit','cm');
set(data,'InputUnit','cm');
data
tic
p=3;q=5;r=1;
M=armax(data,[p q r 1])
a=toc;
%fprintf('Het berekenen van een ARMA model kost %3.3g seconden\n\n',a)
u = iddata([],Westkpleanal.err,1/24);
set(u,'Inputname','Schattingsfout waterstand Westkapelle');
set(u,'TimeUnit','dag');
set(u,'InputUnit','cm');
y=sim(M,u);
Bathanal.pred3=Bathanal.pred+y.OutputData;
ff=norm(y.OutputData-Bathanal.err)/norm(Bathanal.err);
fprintf('Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(%1.1g,%1.1g,%1.1g) model\n',p,q,r)
fprintf('met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is %4.4g %%\n\n',100*ff)

A=M.a;B=M.b;C=M.c;
aa=roots(A);
fprintf('Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is %8.5g.\n\n',max(abs(aa)))

ff=norm(Bathanal.pred3-Bathanal.data)/norm(Bathanal.data);
fprintf('Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(%1.1g,%1.1g,%1.1g) model\n',p,q,r)
fprintf('ten opzichten van de oorspronkelijke data\n')
fprintf('en gebruik makend van geschatte periodiciteiten is %4.4g %%\n\n',100*ff)

Start='1-1-1997';
Stop='1-1-1998';

[a,b]=max(Bathanal.date>=datenum(Start));
Strt=b;
[a,b]=max(Bathanal.date>=datenum(Stop));
Stp=b-1;

figure(211)

plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.data(Strt:Stp))
hold on;
plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.pred2(Strt:Stp),'red')
set(gca,'XTick',[Bathanal.date(Strt) Bathanal.date(round((Strt+Stp)/2)) Bathanal.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title(['Voorspelling ARMA(' num2str(p) ',' num2str(q) ',' num2str(r) ...
       ') model(rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Westkapelle'])
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc WaterstandBW1.eps

% Teken k dagen voorspelling en werkelijke waarde van de waterhoogte bij Bath
k=28;
```

```
figure(212)
[a,b]=max(Bathanal.date>=datenum(Start)+k);
Stp=b-1;
plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.data(Strt:Stp))
hold on;
plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.pred2(Strt:Stp),'red')
set(gca,'XTick',[Bathanal.date(Strt) Bathanal.date(round((Strt+Stp)/2)) Bathanal.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title(['Voorspelling ARMA(' num2str(p) ',' num2str(q) ',' num2str(r) ...
       ') model(rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Westkapelle'])
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc WaterstandBW2.eps

Bathanal.error=Bathanal.data-Bathanal.pred2;
Bathanal.error2=Bathanal.data-Bathanal.pred3;

Start='1-1-1997';
Stop='1-1-1998';

[a,b]=max(Bathanal.date>=datenum(Start));
Strt=b;
[a,b]=max(Bathanal.date>=datenum(Stop));
Stp=b-1;

figure(213)

plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.data(Strt:Stp))
hold on;
plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.error(Strt:Stp),'red')
set(gca,'XTick',[Bathanal.date(Strt) Bathanal.date(round((Strt+Stp)/2)) Bathanal.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title(['Fout ARMA(' num2str(p) ',' num2str(q) ',' num2str(r) ..
       ') model (rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Westkapelle'])
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc WaterstandBW3.eps

figure(2131)

plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.data(Strt:Stp))
hold on;
plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.error2(Strt:Stp),'red')
set(gca,'XTick',[Bathanal.date(Strt) Bathanal.date(round((Strt+Stp)/2)) Bathanal.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title(['Fout ARMA(' num2str(p) ',' num2str(q) ',' num2str(r) ...
       ') model (rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Westkapelle+periode'])
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc WaterstandBW3a.eps

% Teken k dagen voorspelling en werkelijke waarde van de waterhoogte bij Bath
k=28;

figure(214)
[a,b]=max(Bathanal.date>=datenum(Start)+k);
Stp=b-1;
plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.data(Strt:Stp))
hold on;
plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.error(Strt:Stp),'red')
set(gca,'XTick',[Bathanal.date(Strt) Bathanal.date(round((Strt+Stp)/2)) Bathanal.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title(['Fout ARMA(' num2str(p) ',' num2str(q) ',' num2str(r) ...
       ') model (rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Westkapelle'])
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc WaterstandBW4.eps

figure(2141)
[a,b]=max(Bathanal.date>=datenum(Start)+k);
Stp=b-1;
plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.data(Strt:Stp))
hold on;
plot(Bathanal.date(Strt:Stp),Bathanal.error2(Strt:Stp),'red')
set(gca,'XTick',[Bathanal.date(Strt) Bathanal.date(round((Strt+Stp)/2)) Bathanal.date(Stp)])
datetick('x',1,'keepticks')
title(['Fout ARMA(' num2str(p) ',' num2str(q) ',' num2str(r) ...
       ') model (rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Westkapelle+periode'])
ylabel('Waterhoogte (cm)')
print -depsc WaterstandBW4a.eps

data=iddata(Bathanal.err,Westkpleanal.err,1/24);
set(data,'Outputname','Schattingsfout waterstand Bath');
set(data,'Inputname','Schattingsfout waterstand Westkapelle');
set(data,'TimeUnit','dag');
set(data,'OutputUnit','cm');
set(data,'InputUnit','cm');
tic
p=0;q=3;r=0;
M=armax(data,[p q r 1]);
u = iddata([],Westkpleanal.err,1/24);
set(u,'Inputname','Schattingsfout waterstand Westkapelle');
set(u,'TimeUnit','dag');
set(u,'InputUnit','cm');
y=sim(M,u);
```

```
variance=norm(Bathanal.err-y.Outputdata)^2;
ff=sqrt(variance)/norm(Bathanal.err);
fprintf('Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(%1.1g,%1.1g,%1.1g) model\n',p,q,r)
fprintf('met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is %4.4g %%\n\n',100*ff)
ff2=sqrt(variance)/norm(Bathanal.data);
fprintf('Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(%1.1g,%1.1g,%1.1g) model\n',p,q,r)
fprintf('en gebruik makend van de periodiciteiten is %4.4g %%\n\n',100*ff2)

n=round((Bathanal.date(end)-Bathanal.date(1))/365);
M = length(Bathanal.date);
lengte = floor(M/n);
A=[];B=[];C=[];variance=0;variance2=0;

Bathfreq.tijd=[];
for k=1:n,
    begin = 1 + (k-1)*lengte;
    eind = k*lengte;
    data=iddata(Bathanal.err(begin:eind),Westkpleanal.err(begin:eind),1/24);
set(data,'Outputname','Schattingsfout waterstand Bath');
set(data,'Inputname','Schattingsfout waterstand Westkapelle');
set(data,'TimeUnit','dag');
set(data,'OutputUnit','cm');
set(data,'InputUnit','cm');
tic
p=0;q=3;r=0;
    M=armax(data,[p q r 1]);
u = iddata([],Westkpleanal.err(begin:eind),1/24);
set(u,'Inputname','Schattingsfout waterstand Westkapelle');
set(u,'TimeUnit','dag');
set(u,'InputUnit','cm');
y=sim(M,u);
    Bathfreq.tijd=[Bathfreq.tijd (Bathanal.date(begin)+Bathanal.date(eind))/2];
    Bathanal.pred3=Bathanal.pred(begin:eind)+y.OutputData;
    variance=variance+norm(Bathanal.err(begin:eind)-y.Outputdata)^2;
    A=[A ; M.a ];
    B=[B ; M.b ];
    C=[C ; M.c ];
end;
ff=sqrt(variance)/norm(Bathanal.err);
ff2=sqrt(variance)/norm(Bathanal.data);
fprintf('Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(%1.1g,%1.1g,%1.1g) model\n',p,q,r)
fprintf('met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is %4.4g %%\n\n',100*ff)
fprintf('Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(%1.1g,%1.1g,%1.1g) model\n',p,q,r)
fprintf('en gebruik makend van de periodiciteiten is %4.4g %%\n\n',100*ff2)

figure(215)
plot(str2num(datestr(Bathfreq.tijd,10)),B)
title(['Variatie ARMA(' num2str(p) ',' num2str(q) ',' num2str(r) ...
       ') model parameters van Bath als functie van Westkapelle'])
print -depsc WaterstandBW5.eps

figure(216)
sampletime=1/24;
auto=xcorr(Bathanal.error,100,'unbiased');
plot(-100/sampletime:1/sampletime:100/sampletime,auto)
title('Autocorrelatie foutsignaal Bath m.b.v. Westkapelle')
print -depsc WaterstandBW6.eps

figure(217)
sampletime=1/24;
auto=xcorr(Bathanal.error2,100,'unbiased');
plot(-100/sampletime:1/sampletime:100/sampletime,auto)
title('Autocorrelatie foutsignaal Bath m.b.v. Westkapelle+periodes')
print -depsc WaterstandBW6a.eps

figure(218)
sampletime=1/24;
auto=xcorr(Bathanal.data,100,'unbiased');
plot(-100/sampletime:1/sampletime:100/sampletime,auto)
title('Autocorrelatie corspronkelijke tijdreeks Bath')
print -depsc WaterstandBW7.eps

clear all
```

Appendix A.2

Deze appendix bevat de uitvoer van de scripts `analyse1uur.m`, `analyse1HW.m` en tenslotte `analyse1LW.m`, met daarin een bepaling van de belangrijkste periodiciteiten in de waterstandgegevens (inclusief een vergelijking met bekende gegevens uit [12]), en schattingen van de door deze periodiciteiten verklaarde varianties. De analyses zijn achtereenvolgens uitgevoerd voor de eenmaal *per uur gemeten waterstand*, de *hoogwaterstand*, en de *laagwaterstand* in de volgende meetstations:

1. Bath,
2. Hansweert,
3. Terneuzen,
4. Vlissingen,
5. Cadzand,
6. Westkapelle.

Uur data van Bath is beschikbaar vanaf 01-Jan-1971 tot en met 31-Dec-2001.
Uur data bevat 271752 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 1.164e-010

Trendverloop waterstand is 0.2154 cm/jaar.
Gemiddelde waterstand is 13.87 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 8.832e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 1.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -3.5221e-006
Frequentie 2.0000e+000 wordt gecorrigeerd met -3.6298e-006
Frequentie 1.8960e+000 wordt gecorrigeerd met +5.9361e-006
Frequentie 1.9686e+000 wordt gecorrigeerd met +4.8523e-006
Frequentie 1.8645e+000 wordt gecorrigeerd met +4.0106e-006
Frequentie 2.0055e+000 wordt gecorrigeerd met -6.7096e-005
Frequentie 1.9008e+000 wordt gecorrigeerd met +2.1247e-005
Frequentie 3.8645e+000 wordt gecorrigeerd met -5.5588e-006
Frequentie 5.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -1.7123e-005
Frequentie 9.2952e-001 wordt gecorrigeerd met +1.5072e-005
Frequentie 5.7968e+000 wordt gecorrigeerd met -1.0042e-005
Frequentie 3.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -2.7662e-006
Frequentie 6.7733e-002 wordt gecorrigeerd met -6.7205e-006
Frequentie 1.9637e+000 wordt gecorrigeerd met +1.5192e-005
Frequentie 1.0028e+000 wordt gecorrigeerd met -2.7797e-005

Variantiereductie als functie van het aantal meegenomen periodes

1	39.6271
2	31.8369
3	28.2368
4	27.1326
5	25.6661
6	24.7621
7	24.1465
8	23.5439
9	22.9703
10	22.5298
11	21.8544
12	21.5930
13	21.3350
14	21.0796
15	20.8749

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 23.3 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 20.9 %

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

1.93227	208.7804
2.00000	53.6436
1.89598	33.4334
1.96857	17.7805
1.86455	20.0111
2.00547	15.3542
1.90084	12.4791
3.86454	12.1905
5.86455	11.7479
0.92954	10.1796
5.79682	12.4508
3.93227	7.6627
0.06773	7.5679
1.96371	7.4842
1.00274	6.6631

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting RIKZ)

1.93227	213.5680
2.00000	54.7070
1.89598	33.4300
1.86455	21.2490
1.96857	18.4650
2.00548	16.7200
3.86455	12.3350
1.90084	12.2680
5.79682	12.2340
5.86455	11.8230
0.92954	10.7830
1.85907	8.1820
1.96371	8.1420
3.93227	7.4270
0.06773	7.2160

Resterende variantie geoptimaliseerd per jaar

18.89%	1971
20.37%	1972
22.76%	1973
22.55%	1974
18.40%	1975
19.99%	1976
20.13%	1977
18.65%	1978
19.45%	1979
19.30%	1980
20.39%	1981
20.47%	1982
21.50%	1983
21.13%	1984
20.09%	1985
22.68%	1986
19.32%	1987
21.36%	1988
19.19%	1989
23.12%	1990
21.01%	1991
19.47%	1992
21.86%	1993
20.32%	1994
21.26%	1995
20.00%	1996
18.87%	1997
20.29%	1998
20.07%	1999
18.65%	2000
19.01%	2001

Resterende variantie met jaarlijks variërende amplitude en fase is 20.38%

Resterende variantie met vaste amplitude en fase is 20.87%

Hoogwater data van Bath is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 31-Aug-1957
Hoogwater data bevat 30585 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.7049

Trendverloop hoogwater is 0.5982 cm/jaar.
Gemiddelde hoogwater is 263.6 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 6.318e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7724e-002 wordt gecorrigeerd met +2.9795e-006
Frequentie 3.6280e-002 wordt gecorrigeerd met +1.1851e-005
Frequentie 7.3227e-002 wordt gecorrigeerd met -2.2903e-005
Frequentie 9.2952e-001 wordt gecorrigeerd met +1.7162e-005
Frequentie 1.3544e-001 wordt gecorrigeerd met +1.0645e-005
Frequentie 1.4095e-001 wordt gecorrigeerd met -1.7618e-005
Frequentie 9.3504e-001 wordt gecorrigeerd met -2.2887e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 59.9 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 57.5 %

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

0.06773	46.0043
0.03629	18.0980
0.07320	10.6188
0.92954	7.3190
0.13545	6.7293
0.14093	3.8697
0.93501	2.9073

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar 7

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

54.79%	1958
53.96%	1959
54.28%	1960
57.67%	1961
63.79%	1962
57.87%	1963
56.75%	1964
54.58%	1965
57.09%	1966
58.33%	1967
52.83%	1968
52.39%	1969
55.06%	1970
51.90%	1971
59.01%	1972
54.01%	1973
59.83%	1974
60.48%	1975
56.95%	1976
52.36%	1977
56.25%	1978
54.50%	1979
59.66%	1980
55.18%	1981
52.65%	1982
58.90%	1983
56.86%	1984
55.21%	1985
59.05%	1986
50.99%	1987
51.76%	1988
52.66%	1989
52.77%	1990
56.43%	1991
53.10%	1992
57.93%	1993
59.03%	1994
58.03%	1995
56.93%	1996
58.46%	1997
57.31%	1998
53.98%	1999
51.87%	2000

```
Laagwater data van Bath is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 30-Aug-1957
Laagwater data bevat   30586 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.5875

Trendverloop laagwater is -0.3843 cm/jaar.
Gemiddelde laagwater is -211.5 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 6.318e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7736e-002  wordt gecorrigeerd met -1.0756e-005
Frequentie 9.2955e-001  wordt gecorrigeerd met -1.7194e-005
Frequentie 2.7094e-003  wordt gecorrigeerd met +2.3627e-005
Frequentie 3.6287e-002  wordt gecorrigeerd met +4.9030e-006
Frequentie 7.3243e-002  wordt gecorrigeerd met -4.2283e-005
Frequentie 2.4047e-004  wordt gecorrigeerd met +1.3888e-004
Frequentie 1.3544e-001  wordt gecorrigeerd met +1.9370e-005

Een optimalisatie past frequentie 0.0002404739 aan tot 0.0002106466
met een bemonstering van 6.317518e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 79.2 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 74.6 %

Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

        0.05773          25.4817
        0.92954          16.2282
        0.00273           9.8014
        0.03629          12.0455
        0.07320           7.2337
        0.00021           0.9713
        0.13545           4.6617

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar  7

Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

      76.15%          1958
      70.24%          1959
      72.81%          1960
      71.51%          1961
      76.11%          1962
      72.47%          1963
      63.13%          1964
      74.66%          1965
      71.76%          1966
      71.31%          1967
      68.31%          1968
      65.32%          1969
      70.53%          1970
      63.54%          1971
      66.75%          1972
      71.87%          1973
      70.42%          1974
      71.66%          1975
      73.96%          1976
      58.34%          1977
      74.64%          1978
      61.87%          1979
      68.03%          1980
      73.24%          1981
      69.29%          1982
      74.21%          1983
      72.17%          1984
      68.81%          1985
      67.90%          1986
      68.69%          1987
      69.18%          1988
      62.34%          1989
      73.37%          1990
      67.95%          1991
      71.97%          1992
      74.49%          1993
      72.92%          1994
      71.37%          1995
      66.65%          1996
      68.88%          1997
      73.23%          1998
      69.94%          1999
      67.38%          2000
```

Uur data van Hanswt is beschikbaar vanaf 01-Jan-1971 tot en met 31-Dec-2001.
Uur data bevat 271752 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 1.164e-010

Trendverloop waterstand is 0.4713 cm/jaar.
Gemiddelde waterstand is 6.432 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 8.832e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 1.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -1.8258e-006
Frequentie 2.0000e+000 wordt gecorrigeerd met -4.3939e-006
Frequentie 1.8960e+000 wordt gecorrigeerd met +5.3797e-006
Frequentie 1.9686e+000 wordt gecorrigeerd met +4.9398e-006
Frequentie 1.8645e+000 wordt gecorrigeerd met +4.3134e-006
Frequentie 2.0055e+000 wordt gecorrigeerd met -6.2507e-005
Frequentie 1.9008e+000 wordt gecorrigeerd met +2.1700e-005
Frequentie 3.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -8.9787e-006
Frequentie 9.2952e-001 wordt gecorrigeerd met +1.6605e-005
Frequentie 5.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -1.4724e-005
Frequentie 5.7968e+000 wordt gecorrigeerd met -6.1475e-006
Frequentie 1.9637e+000 wordt gecorrigeerd met +9.1628e-006
Frequentie 3.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -9.5786e-006
Frequentie 1.0028e+000 wordt gecorrigeerd met -2.5857e-005
Frequentie 2.7483e-003 wordt gecorrigeerd met -1.7065e-005

Variantiereductie als functie van het aantal meegenomen periodes

1	39.3911
2	31.2061
3	27.4579
4	26.3812
5	25.0459
6	24.0929
7	23.4978
8	22.8312
9	22.3254
10	21.9011
11	21.4346
12	21.1822
13	20.9059
14	20.6696
15	20.4296

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 22.1 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 20.4 %

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

1.93227	198.5172
2.00000	51.9081
1.89598	32.0194
1.96857	16.4441
1.86455	17.8988
2.00547	14.7806
1.90084	11.4954
3.86455	12.0026
0.92954	10.3216
5.86455	9.3578
5.79682	9.7111
1.96371	7.0834
3.93228	7.3639
1.00274	6.7699
0.00273	6.7791

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting RIKZ)

1.93227	201.3850
2.00000	52.4570
1.89598	31.8730
1.86455	18.6180
1.96857	16.9740
2.00548	15.8780
3.86455	11.4410
1.90084	11.2080
0.92954	10.9190
5.79682	9.1670
5.86455	9.0130
1.85907	7.6600
1.96371	7.5630
3.93227	6.7590
1.00274	6.6900

Resterende variantie geoptimaliseerd per jaar

18.44%	1971
19.73%	1972
21.88%	1973
22.06%	1974
18.10%	1975
19.97%	1976
19.62%	1977
18.21%	1978
19.70%	1979
19.10%	1980
20.49%	1981
19.61%	1982
21.58%	1983
20.94%	1984
19.82%	1985
22.34%	1986
19.20%	1987
21.15%	1988
19.06%	1989
23.04%	1990
21.00%	1991
19.25%	1992
21.40%	1993
19.84%	1994
20.69%	1995
19.76%	1996
18.51%	1997
19.96%	1998
19.89%	1999
18.31%	2000
18.77%	2001

Resterende variantie met jaarlijks variërende amplitude en fase is 20.08%

Resterende variantie met vaste amplitude en fase is 20.53%

Hoogwater data van Hanswt is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950
Hoogwater data bevat 35995 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.1354

Trendverloop hoogwater is 0.4274 cm/jaar.
Gemiddelde hoogwater is 233.9 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 5.368e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7737e-002 wordt gecorrigeerd met -1.0380e-005
Frequentie 3.6288e-002 wordt gecorrigeerd met +2.9811e-006
Frequentie 7.3220e-002 wordt gecorrigeerd met -1.7394e-005
Frequentie 9.2956e-001 wordt gecorrigeerd met -2.7849e-005
Frequentie 1.3545e-001 wordt gecorrigeerd met +9.8253e-007
Frequentie 1.4093e-001 wordt gecorrigeerd met -3.9072e-006
Frequentie 2.7353e-003 wordt gecorrigeerd met +9.7577e-007

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 67.1 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 61.2 %

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

0.05773	40.2043
0.03629	15.9344
0.07320	9.2616
0.92954	7.7598
0.13545	6.3793
0.14093	3.6237
0.00274	3.1638

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar 7

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

60.17%	1950
55.89%	1951
58.49%	1952
60.24%	1953
66.87%	1954
62.02%	1955
60.24%	1956
57.20%	1957
57.00%	1958
60.58%	1959
56.47%	1960
65.51%	1961
63.97%	1962
60.41%	1963
59.85%	1964
60.03%	1965
60.19%	1966
58.56%	1967
54.89%	1968
56.92%	1969
56.13%	1970
55.39%	1971
61.64%	1972
59.34%	1973
65.61%	1974
56.20%	1975
59.90%	1976
58.45%	1977
58.49%	1978
59.09%	1979
62.51%	1980
60.79%	1981
56.31%	1982
59.85%	1983
59.77%	1984
60.61%	1985
62.46%	1986
53.45%	1987
55.84%	1988
56.75%	1989
58.82%	1990
61.07%	1991
57.92%	1992
62.08%	1993
62.07%	1994
61.68%	1995
61.08%	1996
60.00%	1997
62.67%	1998
58.14%	1999
58.26%	2000

```
Laagwater data van Hanswt is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950
Laagwater data bevat   35994 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.175

Trendverloop laagwater is 0.1541 cm/jaar.
Gemiddelde laagwater is -209.1 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 5.368e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7737e-002  wordt gecorrigeerd met -1.0616e-005
Frequentie 9.2955e-001  wordt gecorrigeerd met -1.1550e-005
Frequentie 3.6296e-002  wordt gecorrigeerd met -3.8869e-006
Frequentie 2.7302e-003  wordt gecorrigeerd met +5.8322e-006
Frequentie 7.3235e-002  wordt gecorrigeerd met -3.5393e-005
Frequentie 1.3544e-001  wordt gecorrigeerd met +1.3377e-005
Frequentie 2.2202e-004  wordt gecorrigeerd met -7.6198e-005

Een optimalisatie past frequentie 0.0002220222 aan tot 0.0001966756
met een bemonstering van 5.368482e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 75.5 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 70.9 %

Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

        0.06773          29.0524
        0.92954          17.1993
        0.03629          13.1165
        0.00274          10.1327
        0.07320           8.0929
        0.13546           5.1240
        0.00020           1.2471

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar  7

Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

      63.69%          1950
      62.57%          1951
      64.33%          1952
      69.27%          1953
      70.26%          1954
      64.03%          1955
      66.75%          1956
      66.63%          1957
      70.02%          1958
      65.09%          1959
      69.79%          1960
      65.77%          1961
      76.11%          1962
      59.95%          1963
      64.61%          1964
      69.76%          1965
      65.24%          1966
      66.89%          1967
      62.62%          1968
      66.20%          1969
      68.30%          1970
      61.40%          1971
      58.69%          1972
      69.19%          1973
      63.54%          1974
      65.74%          1975
      67.83%          1976
      66.77%          1977
      67.02%          1978
      64.84%          1979
      68.30%          1980
      68.36%          1981
      65.84%          1982
      71.60%          1983
      68.10%          1984
      65.57%          1985
      65.67%          1986
      65.99%          1987
      65.89%          1988
      59.79%          1989
      70.24%          1990
      65.44%          1991
      68.91%          1992
      73.69%          1993
      69.59%          1994
      70.10%          1995
      64.08%          1996
      65.52%          1997
      71.86%          1998
      68.99%          1999
      62.90%          2000
```

Uur data van Ternzn is beschikbaar vanaf 01-Jan-1971 tot en met 31-Dec-2001.
Uur data bevat 271752 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 1.164e-010

Trendverloop waterstand is 0.252 cm/jaar.
Gemiddelde waterstand is 5.092 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 8.832e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 1.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -1.7424e-006
Frequentie 2.0000e+000 wordt gecorrigeerd met -1.8569e-006
Frequentie 1.8960e+000 wordt gecorrigeerd met +5.8547e-006
Frequentie 1.9686e+000 wordt gecorrigeerd met +4.4454e-006
Frequentie 2.0055e+000 wordt gecorrigeerd met -6.3953e-005
Frequentie 1.8645e+000 wordt gecorrigeerd met +2.7706e-006
Frequentie 3.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -8.2194e-006
Frequentie 1.9008e+000 wordt gecorrigeerd met +2.7447e-005
Frequentie 9.2952e-001 wordt gecorrigeerd met +1.7901e-005
Frequentie 5.8645e+000 wordt gecorrigeerd met -1.6921e-005
Frequentie 3.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -1.0240e-005
Frequentie 5.7968e+000 wordt gecorrigeerd met -7.3204e-006
Frequentie 1.0028e+000 wordt gecorrigeerd met -2.6643e-005
Frequentie 2.7376e-003 wordt gecorrigeerd met -5.2675e-006
Frequentie 1.9637e+000 wordt gecorrigeerd met +1.5291e-005

Variantiereductie als functie van het aantal meegenomen periodas

1	39.8532
2	31.4323
3	27.6622
4	26.6801
5	25.7530
6	24.6217
7	23.9166
8	23.3536
9	22.8108
10	22.3689
11	22.0574
12	21.6012
13	21.3545
14	21.1150
15	20.8789

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 22.6 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 20.9 %

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

1.93227	187.6226
2.00000	50.1123
1.89598	30.5282
1.96856	14.9442
2.00547	14.2658
1.86455	15.4426
3.86455	11.9687
1.90084	10.5541
0.92954	10.2402
5.86455	9.1419
3.93227	7.6101
5.79682	9.1297
1.00274	6.6589
0.00273	6.5198
1.96371	6.4413

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting RIKZ)

1.93227	189.7530
2.00000	50.3700
1.89598	30.3430
1.86455	15.9310
2.00548	15.4270
1.96857	15.2230
3.86455	12.0700
0.92954	10.7850
1.90084	10.2640
5.86455	9.1980
5.79682	9.0320
3.93227	7.3050
1.85907	7.1060
1.96371	6.8660
1.00274	6.6300

Resterende variantie geoptimaliseerd per jaar

18.78%	1971
20.08%	1972
22.90%	1973
22.22%	1974
18.50%	1975
20.04%	1976
20.18%	1977
18.54%	1978
20.00%	1979
19.80%	1980
20.97%	1981
20.21%	1982
21.96%	1983
21.34%	1984
20.17%	1985
22.89%	1986
19.58%	1987
21.39%	1988
19.53%	1989
23.45%	1990
21.58%	1991
19.97%	1992
22.01%	1993
20.61%	1994
21.29%	1995
20.23%	1996
18.95%	1997
20.69%	1998
20.56%	1999
19.10%	2000
19.47%	2001

Resterende variantie met jaarlijks variërende amplitude en fase is 20.59%

Resterende variantie met vaste amplitude en fase is 21.02%

Hoogwater data van Ternzn is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950
Hoogwater data bevat 35995 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.15

Trendverloop hoogwater is 0.4597 cm/jaar.
Gemiddelde hoogwater is 220.9 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 5.368e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7738e-002 wordt gecorrigeerd met -1.0894e-005
Frequentie 3.6289e-002 wordt gecorrigeerd met +2.6031e-006
Frequentie 7.3220e-002 wordt gecorrigeerd met -1.8165e-005
Frequentie 9.2956e-001 wordt gecorrigeerd met -2.5625e-005
Frequentie 1.3545e-001 wordt gecorrigeerd met -2.2963e-006
Frequentie 2.7291e-003 wordt gecorrigeerd met +6.9585e-006
Frequentie 9.3505e-001 wordt gecorrigeerd met -3.3194e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 64.1 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 57 %

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

0.06773	43.6679
0.03629	17.1240
0.07320	10.0594
0.92954	5.9891
0.13545	5.9071
0.00274	3.6058
0.93501	3.5399

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar 7

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

55.64%	1950
54.61%	1951
57.95%	1952
55.36%	1953
64.87%	1954
56.74%	1955
58.33%	1956
53.56%	1957
53.38%	1958
56.99%	1959
53.90%	1960
61.07%	1961
60.15%	1962
57.21%	1963
56.72%	1964
55.47%	1965
55.63%	1966
55.13%	1967
51.65%	1968
53.06%	1969
52.79%	1970
50.76%	1971
57.31%	1972
56.90%	1973
61.68%	1974
51.77%	1975
54.29%	1976
53.94%	1977
54.61%	1978
54.53%	1979
58.38%	1980
56.36%	1981
52.39%	1982
55.89%	1983
54.46%	1984
55.02%	1985
56.92%	1986
50.68%	1987
51.29%	1988
52.68%	1989
54.11%	1990
57.26%	1991
53.05%	1992
58.06%	1993
56.33%	1994
57.07%	1995
56.63%	1996
54.75%	1997
57.38%	1998
52.33%	1999
53.15%	2000

Laagwater data van Ternzn is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950
Laagwater data bevat 35994 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.4708

Trendverloop laagwater is 0.06741 cm/jaar.
Gemiddelde laagwater is -193.7 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 5.368e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7737e-002 wordt gecorrigeerd met -1.1241e-005
Frequentie 9.2955e-001 wordt gecorrigeerd met -1.0495e-005
Frequentie 3.6294e-002 wordt gecorrigeerd met -1.8402e-006
Frequentie 2.7196e-003 wordt gecorrigeerd met +1.5443e-005
Frequentie 7.3233e-002 wordt gecorrigeerd met -3.3569e-005
Frequentie 1.3544e-001 wordt gecorrigeerd met +1.4182e-005
Frequentie 8.9331e-001 wordt gecorrigeerd met +2.8379e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 75.4 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 69.8 %

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

0.05773	28.5170
0.92954	17.9986
0.03629	13.1982
0.00274	9.4248
0.07320	8.0077
0.13546	4.4842
0.89324	4.6895

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar 7

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

63.26%	1950
61.79%	1951
68.36%	1952
68.41%	1953
69.09%	1954
64.39%	1955
66.49%	1956
66.62%	1957
69.49%	1958
64.78%	1959
69.99%	1960
64.78%	1961
74.91%	1962
60.13%	1963
64.72%	1964
68.57%	1965
64.08%	1966
66.28%	1967
62.44%	1968
67.15%	1969
68.75%	1970
62.37%	1971
60.03%	1972
70.06%	1973
64.59%	1974
66.62%	1975
70.03%	1976
67.57%	1977
68.22%	1978
65.10%	1979
68.21%	1980
68.13%	1981
66.74%	1982
72.14%	1983
68.86%	1984
64.75%	1985
65.56%	1986
65.58%	1987
66.13%	1988
59.98%	1989
70.39%	1990
64.17%	1991
68.91%	1992
73.38%	1993
69.62%	1994
70.31%	1995
63.86%	1996
64.55%	1997
71.44%	1998
69.11%	1999
62.83%	2000

Uur data van Vlis is beschikbaar vanaf 01-Jan-1971 tot en met 31-Dec-2001.
Uur data bevat 271752 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 1.164e-010

Trendverloop waterstand is 0.2802 cm/jaar.
Gemiddelde waterstand is -2.671 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 8.832e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 1.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -2.0482e-006
Frequentie 2.0000e+000 wordt gecorrigeerd met -5.1456e-006
Frequentie 1.8960e+000 wordt gecorrigeerd met +5.0930e-006
Frequentie 2.0055e+000 wordt gecorrigeerd met -6.5418e-005
Frequentie 1.9686e+000 wordt gecorrigeerd met +3.3095e-006
Frequentie 3.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -8.9559e-006
Frequentie 1.8645e+000 wordt gecorrigeerd met +5.0964e-006
Frequentie 9.2952e-001 wordt gecorrigeerd met +1.7163e-005
Frequentie 1.9008e+000 wordt gecorrigeerd met +2.2136e-005
Frequentie 3.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -1.0875e-005
Frequentie 5.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -1.8206e-005
Frequentie 2.7332e-003 wordt gecorrigeerd met +5.2839e-008
Frequentie 5.7968e+000 wordt gecorrigeerd met -9.8204e-006
Frequentie 1.0028e+000 wordt gecorrigeerd met -2.7728e-005
Frequentie 1.9637e+000 wordt gecorrigeerd met +1.4099e-005

Variantiereductie als functie van het aantal meegenomen periodes

1	40.4295
2	31.7787
3	27.9689
4	27.0546
5	26.1482
6	25.2561
7	24.3538
8	23.7592
9	23.2286
10	22.7895
11	22.3265
12	22.0116
13	21.5427
14	21.2643
15	21.0560

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 23 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 21.1 %

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

1.93227	174.8017
2.00000	47.7576
1.89598	28.8286
2.00547	13.5582
1.96856	13.2708
3.86455	12.9433
1.86455	12.7860
0.92954	10.2213
1.90084	9.5438
3.93227	8.5906
5.86455	8.7360
0.00273	7.1374
5.79682	8.6366
1.00274	6.5979
1.96371	5.6738

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting RIKZ)

1.93227	176.9250
2.00000	48.1960
1.89598	28.8890
2.00548	14.5810
1.96857	13.6770
3.86455	13.2900
1.86455	13.1210
0.92954	10.8000
1.90084	9.3080
5.86455	8.8070
5.79682	8.5200
3.93227	8.5110
1.00274	6.5940
1.85907	6.5200
0.00274	6.4750

Resterende variantie geoptimaliseerd per jaar

19.19%	1971
20.32%	1972
22.68%	1973
22.30%	1974
18.99%	1975
20.59%	1976
20.29%	1977
18.95%	1978
20.29%	1979
20.39%	1980
21.41%	1981
20.58%	1982
22.40%	1983
21.73%	1984
20.47%	1985
23.17%	1986
19.85%	1987
21.72%	1988
19.97%	1989
23.84%	1990
22.10%	1991
20.08%	1992
22.41%	1993
20.78%	1994
21.52%	1995
20.48%	1996
19.19%	1997
21.01%	1998
20.89%	1999
19.29%	2000
19.77%	2001

Resterende variantie met jaarlijks variërende amplitude en fase is 20.9%

Resterende variantie met vaste amplitude en fase is 21.37%

Hoogwater data van Vlis is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950
Hoogwater data bevat 35994 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.1868

Trendverloop hoogwater is 0.3002 cm/jaar.
Gemiddelde hoogwater is 200 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 5.368e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7738e-002 wordt gecorrigeerd met -1.1275e-005
Frequentie 3.6291e-002 wordt gecorrigeerd met +1.8738e-007
Frequentie 7.3218e-002 wordt gecorrigeerd met -1.6443e-005
Frequentie 9.2954e-001 wordt gecorrigeerd met -4.7979e-006
Frequentie 1.3545e-001 wordt gecorrigeerd met +7.9828e-007
Frequentie 2.7186e-003 wordt gecorrigeerd met +1.7966e-005
Frequentie 9.3502e-001 wordt gecorrigeerd met -1.3034e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 62 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 54.7 %

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

0.06773	43.8042
0.03629	17.1825
0.07320	10.1636
0.92954	6.5542
0.13545	5.6399
0.00274	4.1499
0.93501	3.3336

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar 7

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

52.19%	1950
49.20%	1951
51.18%	1952
50.13%	1953
62.48%	1954
53.52%	1955
55.93%	1956
51.12%	1957
50.28%	1958
53.24%	1959
49.16%	1960
56.60%	1961
56.71%	1962
55.45%	1963
52.95%	1964
52.48%	1965
51.16%	1966
51.51%	1967
49.57%	1968
51.83%	1969
50.53%	1970
50.05%	1971
56.22%	1972
54.96%	1973
58.49%	1974
50.41%	1975
53.05%	1976
51.40%	1977
52.21%	1978
52.65%	1979
56.70%	1980
54.22%	1981
51.19%	1982
54.69%	1983
53.41%	1984
53.35%	1985
55.03%	1986
49.91%	1987
50.57%	1988
54.76%	1989
53.85%	1990
56.85%	1991
52.59%	1992
56.69%	1993
55.33%	1994
56.59%	1995
55.19%	1996
53.40%	1997
56.89%	1998
52.12%	1999
52.16%	2000

```
Laagwater data van Vlis is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950
Laagwater data bevat   35994 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.2118

Trendverloop laagwater is 0.07293 cm/jaar.
Gemiddelde laagwater is -182.2 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 5.368e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7737e-002  wordt gecorrigeerd met -1.0590e-005
Frequentie 9.2855e-001  wordt gecorrigeerd met -1.1126e-005
Frequentie 3.6296e-002  wordt gecorrigeerd met -3.6138e-006
Frequentie 2.7266e-003  wordt gecorrigeerd met +1.0839e-005
Frequentie 7.3234e-002  wordt gecorrigeerd met -3.4319e-005
Frequentie 1.3544e-001  wordt gecorrigeerd met +1.6546e-005
Frequentie 8.9322e-001  wordt gecorrigeerd met +2.3172e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 74.3 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 68.9 %

Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

        0.06773          28.5605
        0.92954          18.2878
        0.03629          13.2869
        0.00274           9.9201
        0.07320           7.9622
        0.13546           4.1310
        0.89324           4.7883

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar  7

Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

      60.90%          1950
      61.00%          1951
      63.10%          1952
      66.30%          1953
      67.12%          1954
      63.56%          1955
      64.06%          1956
      64.97%          1957
      67.90%          1958
      63.75%          1959
      67.40%          1960
      63.86%          1961
      74.88%          1962
      58.67%          1963
      64.04%          1964
      68.43%          1965
      64.30%          1966
      66.71%          1967
      62.45%          1968
      66.06%          1969
      68.02%          1970
      62.49%          1971
      59.27%          1972
      69.10%          1973
      63.63%          1974
      65.68%          1975
      68.28%          1976
      66.69%          1977
      66.53%          1978
      65.21%          1979
      67.60%          1980
      67.46%          1981
      66.34%          1982
      71.51%          1983
      68.32%          1984
      64.63%          1985
      65.08%          1986
      64.79%          1987
      65.71%          1988
      59.70%          1989
      69.41%          1990
      63.64%          1991
      68.57%          1992
      72.98%          1993
      69.11%          1994
      70.50%          1995
      64.13%          1996
      64.70%          1997
      70.88%          1998
      68.47%          1999
      62.32%          2000
```

Uur data van Cadzd is beschikbaar vanaf 01-Jan-1971 tot en met 31-Dec-2001.
Uur data bevat 271752 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 1.164e-010

Trendverloop waterstand is 0.1472 cm/jaar.
Gemiddelde waterstand is -3.598 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 8.832e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 1.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -2.3161e-006
Frequentie 2.0000e+000 wordt gecorrigeerd met -3.5394e-006
Frequentie 1.8960e+000 wordt gecorrigeerd met +4.5958e-006
Frequentie 2.0055e+000 wordt gecorrigeerd met -6.2010e-005
Frequentie 1.9686e+000 wordt gecorrigeerd met +4.2645e-006
Frequentie 3.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -7.3726e-006
Frequentie 1.8645e+000 wordt gecorrigeerd met +3.2637e-006
Frequentie 9.2952e-001 wordt gecorrigeerd met +1.8778e-005
Frequentie 5.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -1.7453e-005
Frequentie 1.9008e+000 wordt gecorrigeerd met +2.3336e-005
Frequentie 3.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -1.1431e-005
Frequentie 5.7968e+000 wordt gecorrigeerd met -9.9980e-006
Frequentie 2.7422e-003 wordt gecorrigeerd met -8.8431e-006
Frequentie 1.0028e+000 wordt gecorrigeerd met -2.4530e-005
Frequentie 1.9637e+000 wordt gecorrigeerd met +1.1578e-005

Variantiereductie als functie van het aantal meegenomen periodes

1	40.8232
2	31.8811
3	28.0310
4	27.0965
5	26.2732
6	25.4680
7	24.7468
8	24.1185
9	23.5167
10	23.0099
11	22.5741
12	21.9345
13	21.5838
14	21.2940
15	21.1020

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 23 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 21.1 %

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

1.93227	167.7088
2.00000	46.8342
1.89598	27.8964
2.00547	13.1885
1.96856	12.1767
3.86455	11.8594
1.86455	11.0542
0.92954	10.1796
5.86455	9.8379
1.90084	8.9212
3.93227	8.1878
5.79682	9.8021
0.00273	7.1722
1.00274	6.4769
1.96371	5.2402

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting RIKZ)

1.93227	167.4080
2.00000	46.7470
1.89598	27.7310
2.00548	13.7960
1.96857	12.4440
3.86455	11.5220
1.86455	11.3500
0.92954	10.7320
5.86455	9.7130
5.79682	9.4270
1.90084	8.8460
3.93227	7.5850
0.00274	6.7610
1.00274	6.4310
1.85907	6.1080

Resterende variantie geoptimaliseerd per jaar

19.46%	1971
20.61%	1972
22.81%	1973
21.95%	1974
18.92%	1975
20.53%	1976
20.11%	1977
18.70%	1978
20.27%	1979
20.43%	1980
21.32%	1981
20.88%	1982
22.28%	1983
21.95%	1984
20.60%	1985
23.43%	1986
20.22%	1987
21.92%	1988
20.32%	1989
23.82%	1990
22.27%	1991
20.24%	1992
22.57%	1993
20.92%	1994
21.77%	1995
20.49%	1996
19.41%	1997
21.17%	1998
21.11%	1999
19.73%	2000
20.10%	2001

Resterende variantie met jaarlijks variërende amplitude en fase is 21.01%

Resterende variantie met vaste amplitude en fase is 21.49%

```
Hoogwater data van Cadzd is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 30-Aug-1966
Hoogwater data bevat   24235 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.5819

Trendverloop hoogwater is 0.2396 cm/jaar.
Gemiddelde hoogwater is 192.7 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 7.973e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7719e-002  wordt gecorrigeerd met +7.8099e-006
Frequentie 3.6283e-002  wordt gecorrigeerd met +8.8638e-006
Frequentie 7.3196e-002  wordt gecorrigeerd met +7.9298e-006
Frequentie 1.3547e-001  wordt gecorrigeerd met -1.4698e-005
Frequentie 9.2951e-001  wordt gecorrigeerd met +2.4050e-005
Frequentie 2.6714e-003  wordt gecorrigeerd met +5.8468e-005
Frequentie 2.7446e-004  wordt gecorrigeerd met -1.2356e-004

Een optimalisatie past frequentie 0.0002744624 aan tot 0.000190288
met een bemonstering van 7.973115e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 55.5 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 52.2 %

Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

        0.06773          45.2677
        0.03629          17.7589
        0.07320          10.8952
        0.13545           5.1891
        0.92954           6.7632
        0.00273           4.8650
        0.00019           3.4451

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar  7
```

```
Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

        50.96%          1967
        49.58%          1968
        46.88%          1969
        51.44%          1970
        47.93%          1971
        52.71%          1972
        47.71%          1973
        53.23%          1974
        52.88%          1975
        49.60%          1976
        45.10%          1977
        51.25%          1978
        45.60%          1979
        55.78%          1980
        50.07%          1981
        49.93%          1982
        54.57%          1983
        52.72%          1984
        46.87%          1985
        54.26%          1986
        49.03%          1987
        49.30%          1988
        54.12%          1989
        49.26%          1990
        54.91%          1991
        49.31%          1992
        52.33%          1993
        54.44%          1994
        54.62%          1995
        52.54%          1996
        49.60%          1997
        54.45%          1998
        50.66%          1999
        51.38%          2000
```

Laagwater data van Cadzd is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 31-Aug-1966
Laagwater data bevat 24234 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.9792

Trendverloop laagwater is 0.02215 cm/jaar.
Gemiddelde laagwater is -175.9 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 7.974e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7716e-002 wordt gecorrigeerd met +1.0210e-005
Frequentie 3.6288e-002 wordt gecorrigeerd met +3.4747e-006
Frequentie 9.2958e-001 wordt gecorrigeerd met -4.1280e-005
Frequentie 7.3249e-002 wordt gecorrigeerd met -5.2704e-005
Frequentie 2.6875e-003 wordt gecorrigeerd met +4.8097e-005
Frequentie 1.3547e-001 wordt gecorrigeerd met -7.8834e-006
Frequentie 3.1639e-004 wordt gecorrigeerd met +1.3697e-004

Een optimalisatie past frequentie 0.0003163902 aan tot 0.0003120766
met een bemonstering van 7.973762e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 76.1 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 67 %

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

0.06773	30.2324
0.03629	13.9504
0.92954	18.3694
0.07320	8.2963
0.00274	9.1934
0.13546	3.9261
0.00031	0.6440

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar 7

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

64.06%	1967
63.92%	1968
56.84%	1969
65.37%	1970
60.39%	1971
60.03%	1972
62.83%	1973
65.20%	1974
65.74%	1975
66.11%	1976
55.87%	1977
68.13%	1978
58.75%	1979
63.92%	1980
66.26%	1981
65.50%	1982
68.48%	1983
66.18%	1984
58.69%	1985
64.28%	1986
63.90%	1987
61.80%	1988
58.29%	1989
65.69%	1990
63.16%	1991
65.13%	1992
68.25%	1993
67.92%	1994
67.89%	1995
60.62%	1996
60.62%	1997
67.80%	1998
65.57%	1999
61.10%	2000

Uur data van Westkple is beschikbaar vanaf 01-Jan-1971 tot en met 31-Dec-2001.
Uur data bevat 271752 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 1.164e-010

Trendverloop waterstand is 0.2868 cm/jaar.
Gemiddelde waterstand is -5.163 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 8.832e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 1.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -1.7307e-006
Frequentie 2.0000e+000 wordt gecorrigeerd met -1.9350e-006
Frequentie 1.8960e+000 wordt gecorrigeerd met +4.3334e-006
Frequentie 3.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -6.5288e-006
Frequentie 2.0055e+000 wordt gecorrigeerd met -6.2319e-005
Frequentie 1.9686e+000 wordt gecorrigeerd met +3.3510e-006
Frequentie 9.2952e-001 wordt gecorrigeerd met +1.8034e-005
Frequentie 1.8645e+000 wordt gecorrigeerd met +2.8730e-006
Frequentie 3.9323e+000 wordt gecorrigeerd met -1.0426e-005
Frequentie 5.8646e+000 wordt gecorrigeerd met -1.4885e-005
Frequentie 1.9008e+000 wordt gecorrigeerd met +2.5106e-005
Frequentie 2.7454e-003 wordt gecorrigeerd met -1.0932e-005
Frequentie 5.7968e+000 wordt gecorrigeerd met -6.6575e-006
Frequentie 1.0028e+000 wordt gecorrigeerd met -2.9311e-005
Frequentie 1.9637e+000 wordt gecorrigeerd met +1.6111e-005

Variantiereductie als functie van het aantal meegenomen periodes

1	41.8340
2	33.5251
3	29.9699
4	28.8511
5	27.9790
6	27.1671
7	26.4945
8	25.7735
9	25.1943
10	24.6141
11	24.1284
12	23.7062
13	23.0757
14	22.7518
15	22.5733

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 24.2 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 22.6 %

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

1.93227	153.9100
2.00000	42.3939
1.89598	25.4538
3.86455	13.7473
2.00547	11.9317
1.96856	11.3377
0.92954	10.1802
1.86455	10.4011
3.93227	9.2067
5.86455	9.1101
1.90084	8.2460
0.00273	7.6112
5.79682	9.2025
1.00274	6.5291
1.96371	4.8197

Belangrijkste 15 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting RIKZ)

1.93227	154.7200
2.00000	42.6240
1.89598	25.4670
3.86455	13.8050
2.00548	12.7520
1.96857	11.5360
0.92954	10.7870
1.86455	10.6490
5.86455	8.9680
3.93227	8.9020
5.79682	8.8920
1.90084	8.0620
0.00274	7.0600
1.00274	6.4720
1.85907	5.5600

Resterende variantie geoptimaliseerd per jaar

20.84%	1971
21.78%	1972
24.00%	1973
23.70%	1974
20.97%	1975
22.27%	1976
22.08%	1977
20.34%	1978
21.87%	1979
22.16%	1980
22.76%	1981
22.41%	1982
24.17%	1983
23.38%	1984
22.00%	1985
25.07%	1986
21.55%	1987
23.33%	1988
21.71%	1989
25.71%	1990
24.61%	1991
21.90%	1992
24.12%	1993
22.54%	1994
23.00%	1995
21.95%	1996
20.80%	1997
22.66%	1998
22.50%	1999
21.00%	2000
21.47%	2001

Resterende variantie met jaarlijks varierende amplitude en fase is 22.57%

Resterende variantie met vaste amplitude en fase is 23%

Hoogwater data van Westkple is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 29-Jun-1954
Hoogwater data bevat 32824 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.5903

Trendverloop hoogwater is 0.193 cm/jaar.
Gemiddelde hoogwater is 176.2 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 5.887e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7720e-002 wordt gecorrigeerd met +7.0284e-006
Frequentie 3.6287e-002 wordt gecorrigeerd met +4.4284e-006
Frequentie 9.2952e-001 wordt gecorrigeerd met +1.8927e-005
Frequentie 7.3206e-002 wordt gecorrigeerd met -2.8579e-006
Frequentie 1.3544e-001 wordt gecorrigeerd met +1.4952e-005
Frequentie 2.7032e-003 wordt gecorrigeerd met +3.3956e-005
Frequentie 9.3500e-001 wordt gecorrigeerd met +1.4185e-005

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 58.9 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 55.5 %

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

0.06773	41.2301
0.03629	16.2721
0.92954	6.8257
0.07320	9.2445
0.13545	4.7675
0.00274	5.2549
0.93501	3.3103

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar 7

Belangrijkste 7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

60.33%	1954
54.05%	1955
55.07%	1956
50.17%	1957
50.47%	1958
49.82%	1959
51.88%	1960
60.36%	1961
56.16%	1962
52.37%	1963
51.54%	1964
54.59%	1965
54.34%	1966
53.45%	1967
50.58%	1968
52.09%	1969
51.50%	1970
54.81%	1971
49.70%	1972
56.83%	1973
55.96%	1974
57.86%	1975
46.58%	1976
56.62%	1977
50.43%	1978
53.48%	1979
59.57%	1980
52.85%	1981
57.20%	1982
58.61%	1983
51.00%	1984
57.66%	1985
55.00%	1986
50.66%	1987
50.90%	1988
55.84%	1989
57.85%	1990
60.46%	1991
55.38%	1992
56.30%	1993
60.68%	1994
52.42%	1995
55.64%	1996
55.03%	1997
57.16%	1998
55.16%	1999
52.82%	2000

```
Laagwater data van Westkple is beschikbaar vanaf 01-Jan-1950 tot en met 31-Dec-2000.
Uniforme metingen twee keer per dag is beschikbaar vanaf 30-Jun-1954
Laagwater data bevat   32823 datapunten
Variatie in de bemonsteringsperiode is 0.9965

Trendverloop laagwater is 0.1799 cm/jaar.
Gemiddelde laagwater is -159 cm

De stapgrootte in de Fouriertransformatie is 5.887e-005

De correcties in de frequentie op basis van jaarlijkse fase schatting

Frequentie 6.7728e-002  wordt gecorrigeerd met -1.7938e-006
Frequentie 9.2957e-001  wordt gecorrigeerd met -3.7498e-005
Frequentie 3.6288e-002  wordt gecorrigeerd met +3.9496e-006
Frequentie 2.7114e-003  wordt gecorrigeerd met +2.4153e-005
Frequentie 7.3217e-002  wordt gecorrigeerd met -1.7778e-005
Frequentie 1.3544e-001  wordt gecorrigeerd met +1.3040e-005
Frequentie 2.7972e-004  wordt gecorrigeerd met +2.4890e-006

Resterende variantie met frequenties geschat uit FFT is 80.5 %
Resterende variantie met frequenties na correctie op basis van fase trend is 72.2 %

Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende amplitudes (schatting TU/e)

        0.06773          23.6116
        0.92954          17.7922
        0.03629          11.3401
        0.00274           9.5577
        0.07320           6.6176
        0.13546           3.3813
        0.00028           0.4520

Aantal frequenties voor de fit aangepast van 10 naar  7

Belangrijkste  7 frequenties met bijbehorende resterende variantie per jaar

      68.87%          1954
      65.72%          1955
      67.43%          1956
      71.98%          1957
      67.92%          1958
      68.92%          1959
      67.95%          1960
      73.64%          1961
      69.96%          1962
      64.00%          1963
      70.60%          1964
      67.92%          1965
      70.34%          1966
      68.62%          1967
      59.63%          1968
      70.46%          1969
      67.39%          1970
      65.35%          1971
      67.13%          1972
      69.44%          1973
      69.22%          1974
      72.10%          1975
      60.17%          1976
      74.75%          1977
      65.30%          1978
      68.15%          1979
      74.20%          1980
      68.30%          1981
      73.47%          1982
      73.76%          1983
      62.60%          1984
      70.35%          1985
      67.36%          1986
      65.68%          1987
      67.82%          1988
      62.60%          1989
      72.77%          1990
      66.47%          1991
      71.79%          1992
      71.83%          1993
      73.82%          1994
      70.69%          1995
      64.73%          1996
      67.58%          1997
      72.58%          1998
      71.29%          1999
      67.07%          2000
```

Appendix A.3

Deze appendix bevat de uitvoer van het MATLAB-script `waterstand.m`, waarin naast een analyse van het amplitudeverloop van verschillende getijcomponenten ook voor een viertal ingangs-uitgangsparen enkele (AR)MA modellen worden doorgerekend.

```
De frequentie  1.932 (M2) bevat een periode van  17.01 jaar
die  32.06 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath

De frequentie      2 (S2) bevat een periode van   20.1 jaar
die  45.82 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath

De frequentie  1.969 (2MN2) bevat een periode van  9.895 jaar
die  12.89 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath

De frequentie  2.005 (K2) bevat een periode van  18.57 jaar
die  73.38 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath

De frequentie  1.901 (NU2) bevat een periode van  16.66 jaar
die  14.79 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath

De frequentie  3.865 (M4) bevat een periode van  24.02 jaar
die  26.19 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath

De frequentie 0.9295 (O1) bevat een periode van  17.94 jaar
die  59.05 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath

De frequentie  5.797 (M6) bevat een periode van  17.88 jaar
die  57.66 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath

De frequentie  3.932 (MS4) bevat een periode van   23.3 jaar
die  32.74 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath

De frequentie  1.003 (K1) bevat een periode van  18.62 jaar
die  26.99 % van de variantie verklaart.
De periode wordt geschat op basis van het gedrag bij Bath


a =

      271752

Data set with 271752 samples.
Sampling interval: 0.0416667 dag

Outputs                         Unit (if specified)
   Waterstand Bath                 cm

Inputs                          Unit (if specified)
   Waterstand Westkapelle          cm

Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)
A(q) = 1 - 0.595 q^-1 + 0.167 q^-2 - 0.0112 q^-3

B(q) = 0.4172 q^-1 + 0.7164 q^-2 - 0.473 q^-3 - 0.01823 q^-4
                                                + 0.01071 q^-5

C(q) = 1 + 0.2552 q^-1

Estimated using ARMAX from data set data
Loss function 167.132 and FPE 167.143
Sampling interval: 0.0416667 dag

Resterende variantie met een ARMA(3,5,1) model is 10.78 %
met behulp van oorspronkelijke data (periodiciteiten niet uitgehaald)

Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is  0.34673.

Data set with 271752 samples.
Sampling interval: 0.0416667 dag

Outputs                                    Unit (if specified)
   Schattingsfout waterstand Bath             cm

Inputs                                     Unit (if specified)
   Schattingsfout waterstand Westkapelle      cm

Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)
A(q) = 1 - 1.481 q^-1 + 0.5536 q^-2 - 0.07069 q^-3

B(q) = 0.3886 q^-1 + 0.3893 q^-2 - 1.247 q^-3 + 0.437 q^-4 + 0.03389 q^-5

C(q) = 1 - 0.9816 q^-1

Estimated using ARMAX from data set data
Loss function 93.4476 and FPE 93.4538
Sampling interval: 0.0416667 dag

Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(3,5,1) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 35.04 %

Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is  0.99755.

Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(3,5,1) model
ten opzichten van de oorspronkelijke data
en gebruik makend van geschatte periodiciteiten is 7.315 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(0,3,0) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 35.19 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(0,3,0) model
en gebruik makend van de periodiciteiten is 7.345 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(0,3,0) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 34.99 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(0,3,0) model
en gebruik makend van de periodiciteiten is 7.304 %


a =

      271752

Data set with 271752 samples.
Sampling interval: 0.0416667 dag

Outputs                         Unit (if specified)
   Waterstand Bath                 cm
```

```
Inputs                    Unit (if specified)
   Waterstand Hansweert       cm

Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)
A(q) = 1 - 0.3743 q^-1 - 0.1461 q^-2 + 0.488 q^-3

B(q) = 1.258 q^-1 - 0.9326 q^-2 + 0.1034 q^-3 + 0.6852 q^-4
                                                - 0.3362 q^-5


C(q) = 1 + 0.1584 q^-1

Estimated using ARMAX from data set data
Loss function 157.04 and FPE 157.05
Sampling interval: 0.0416667 dag

Resterende variantie met een ARMA(3,5,1) model is 8.986 %
met behulp van oorspronkelijke data (periodiciteiten niet uitgehaald)

Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is  0.81588.

Data set with 271752 samples.
Sampling interval: 0.0416667 dag

Outputs                                 Unit (if specified)
   Schattingsfout waterstand Bath           cm

Inputs                                  Unit (if specified)
   Schattingsfout waterstand Hansweert      cm

Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)
A(q) = 1 - 0.4093 q^-1 - 0.2731 q^-2 + 0.2885 q^-3

B(q) = 1.127 q^-1 - 0.8215 q^-2 - 0.07929 q^-3 + 0.5491 q^-4
                                                - 0.204 q^-5


C(q) = 1 - 0.06715 q^-1

Estimated using ARMAX from data set data
Loss function 87.1602 and FPE 87.166
Sampling interval: 0.0416667 dag

Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(3,5,1) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 32.34 %

Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is  0.66183.

Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(3,5,1) model
ten opzichten van de oorspronkelijke data
en gebruik makend van geschatte periodiciteiten is 6.751 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(0,3,0) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 31.03 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(0,3,0) model
en gebruik makend van de periodiciteiten is 6.478 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(0,3,0) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 30.76 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(0,3,0) model
en gebruik makend van de periodiciteiten is 6.421 %


a =

      271752

Data set with 271752 samples.
Sampling interval: 0.0416667 dag

Outputs                   Unit (if specified)
   Waterstand Ternzn         cm

Inputs                    Unit (if specified)
   Waterstand Cadzand        cm

Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)
A(q) = 1 - 1.248 q^-1 + 0.1906 q^-2 + 0.2796 q^-3

B(q) = 1.158 q^-1 - 1.72 q^-2 + 0.7621 q^-3 - 0.1064 q^-4 + 0.1231 q^-5

C(q) = 1 - 0.6461 q^-1

Estimated using ARMAX from data set data
Loss function 52.0302 and FPE 52.0336
Sampling interval: 0.0416667 dag

Resterende variantie met een ARMA(3,5,1) model is 6.022 %
met behulp van oorspronkelijke data (periodiciteiten niet uitgehaald)

Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is  0.87921.

Data set with 271752 samples.
Sampling interval: 0.0416667 dag

Outputs                                 Unit (if specified)
   Schattingsfout waterstand Ternzn         cm

Inputs                                  Unit (if specified)
   Schattingsfout waterstand Cadzand        cm

Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)
A(q) = 1 + 0.1628 q^-1 - 0.4037 q^-2 - 0.1391 q^-3

B(q) = 1.136 q^-1 - 0.03514 q^-2 - 0.3427 q^-3 - 0.01991 q^-4
                                                - 0.1271 q^-5


C(q) = 1 + 0.475 q^-1

Estimated using ARMAX from data set data
Loss function 34.3712 and FPE 34.3734
Sampling interval: 0.0416667 dag

Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(3,5,1) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 22.68 %

Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is  0.69915.

Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(3,5,1) model
ten opzichten van de oorspronkelijke data
en gebruik makend van geschatte periodiciteiten is 4.765 %
```

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(0,3,0) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 22.83 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(0,3,0) model
en gebruik makend van de periodiciteiten is 4.798 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(0,3,0) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 22.74 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(0,3,0) model
en gebruik makend van de periodiciteiten is 4.779 %

a =

140256

Data set with 140256 samples.
Sampling interval: 0.0416667 dag

Outputs	Unit (if specified)
Waterstand Bath	cm

Inputs	Unit (if specified)
Waterstand Goeree	cm

Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)
A(q) = 1 - 1.577 q^-1 + 1.118 q^-2 - 0.2844 q^-3

B(q) = 1.281 q^-1 - 1.497 q^-2 + 0.5632 q^-3 + 0.3258 q^-4 - 0.3886 q^-5

C(q) = 1 - 0.5408 q^-1

Estimated using ARMAX from data set data
Loss function 366.628 and FPE 366.675
Sampling interval: 0.0416667 dag

Resterende variantie met een ARMA(3,5,1) model is 16.21 %
met behulp van oorspronkelijke data (periodiciteiten niet uitgehaald)

Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is 0.76914.

Data set with 140256 samples.
Sampling interval: 0.0416667 dag

Outputs	Unit (if specified)
Schattingsfout waterstand Bath	cm

Inputs	Unit (if specified)
Schattingsfout waterstand Goeree	cm

Discrete-time IDPOLY model: A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t)
A(q) = 1 - 0.6063 q^-1 + 0.3432 q^-2 - 0.1899 q^-3

B(q) = 1.223 q^-1 - 0.7768 q^-2 + 0.5159 q^-3 - 0.3097 q^-4
- 0.03879 q^-5

C(q) = 1 + 0.1632 q^-1

Estimated using ARMAX from data set data
Loss function 149.911 and FPE 149.931
Sampling interval: 0.0416667 dag

Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(3,5,1) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 46.19 %

Absolute value of maximal eigenvalue of denominator is 0.57954.

Resterende variantie op basis van voorspelling met een ARMA(3,5,1) model
ten opzichten van de oorspronkelijke data
en gebruik makend van geschatte periodiciteiten is 9.634 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(0,3,0) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 46.34 %

Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdinvariant ARMA(0,3,0) model
en gebruik makend van de periodiciteiten is 9.666 %

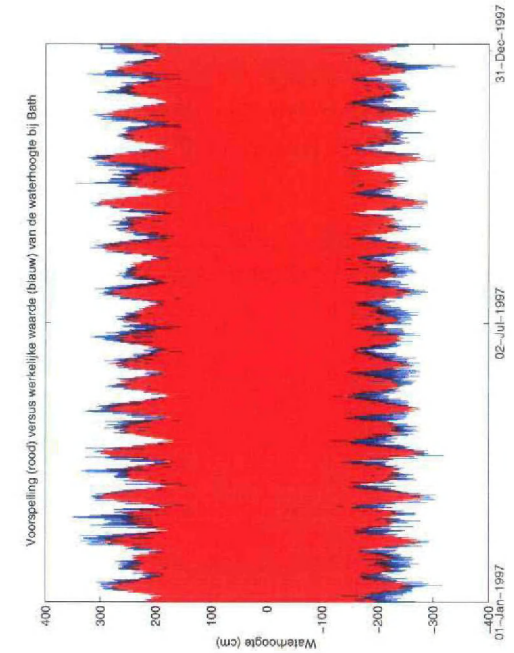
Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(0,3,0) model
met behulp van data waaruit periodiciteiten al zijn verwijderd is 46.29 %

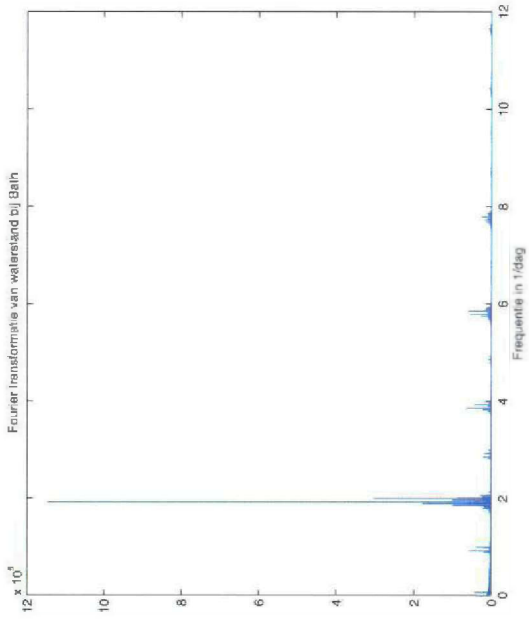
Resterende variantie op basis van voorspelling met een tijdvariabel ARMA(0,3,0) model
en gebruik makend van de periodiciteiten is 9.655 %

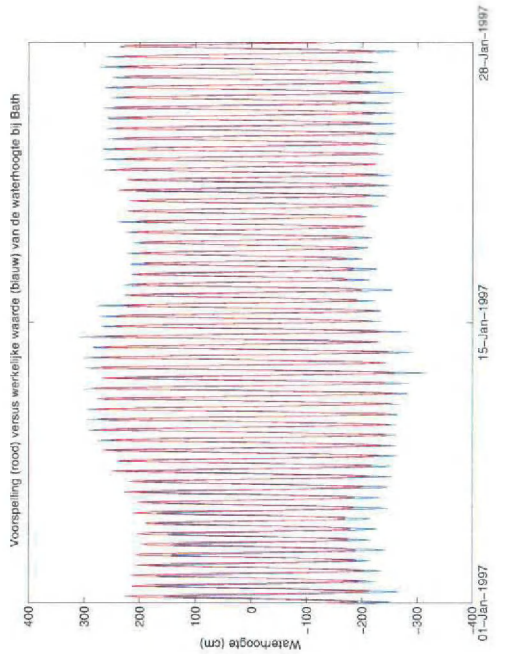
Appendix A.4.1

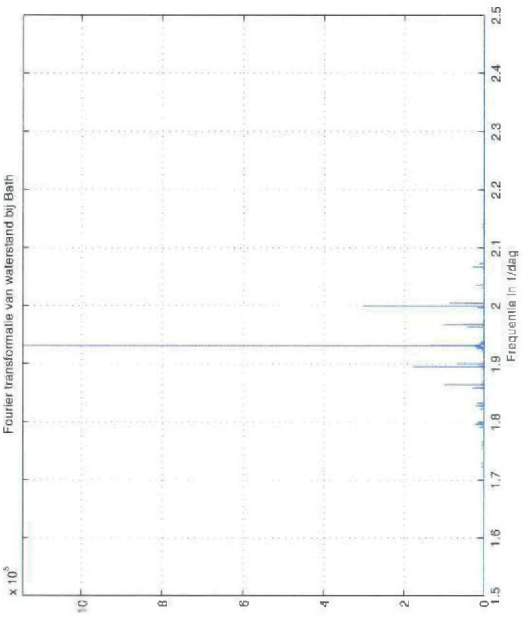
Deze appendix bevat de volgende figuren:

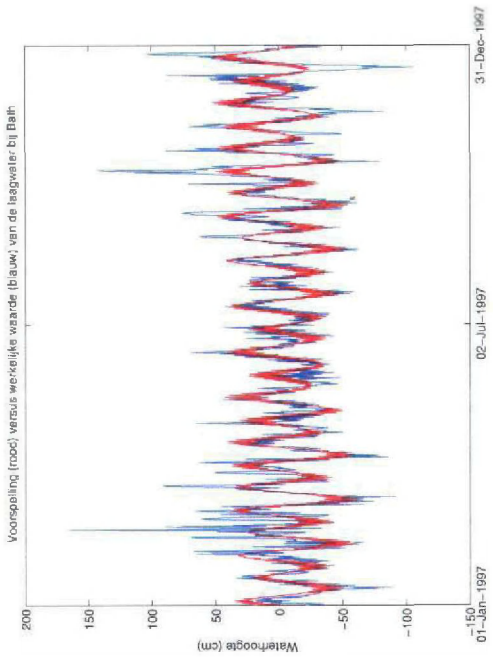
- Fouriergetransformeerde van de uurdata gemeten in Bath (eenmaal volledig, en eenmaal in detail),
- Het eenmaal per uur gemeten waterstandsignaal in Bath, en een voorspelling daarvan op basis van de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten, voor de periodes 1 januari 1997 tot en met 31 december 1997, en 1 januari 1997 tot en met 28 januari 1997.
- De gemeten hoog- en laagwaterstanden in Bath, en een voorspelling daarvan op basis van de belangrijkste $N = 7$ periodiciteiten , voor de periodes 1 januari 1997 tot en met 31 december 1997, en 1 januari 1997 tot en met 28 januari 1997.

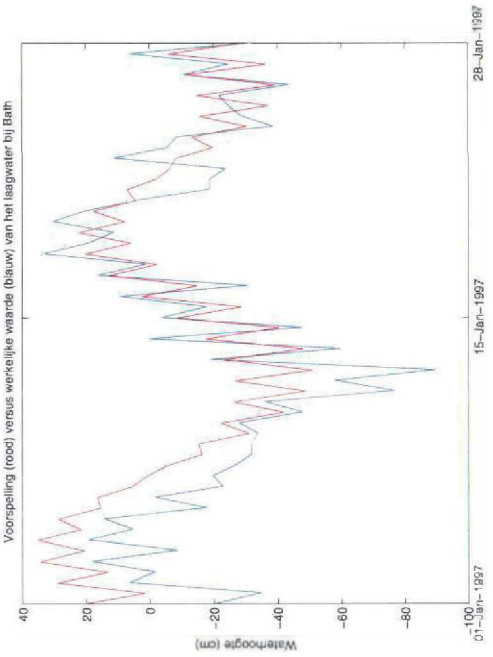

Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van de waterhoogte bij Bath
Waterhoogte (cm)
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
01−Jan−1997
02−Jul−1997
31−Dec−1997

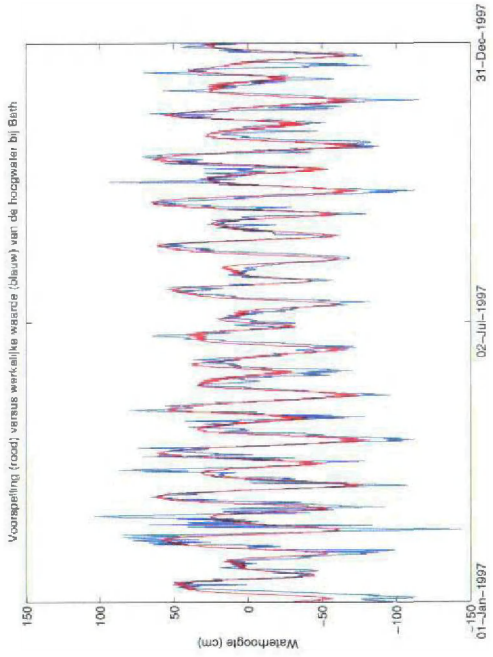

Fourier transformatie van waterstand bij Bath
x 10^5
12
10
8
6
4
2
0
0
2
4
6
8
10
12
Frequentie in 1/dag

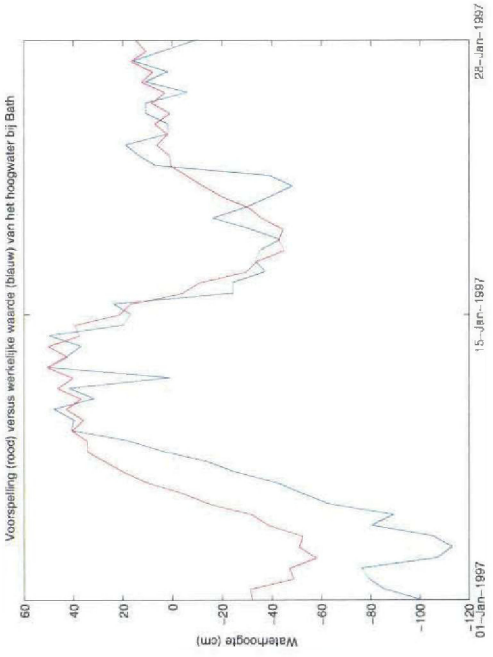

Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van de waterhoogte bij Bath
Waterhoogte (cm)
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997


Fourier transformatie van waterstand bij Bath
x 10^5
10
8
6
4
2
0
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2
2.1
2.2
2.3
2.4
2.5
Frequentie in 1/dag


Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van de laagwater bij Bath
Waterhoogte (cm)
200
150
100
50
0
−50
−100
−150
01−Jan−1997
02−Jul−1997
31−Dec−1997

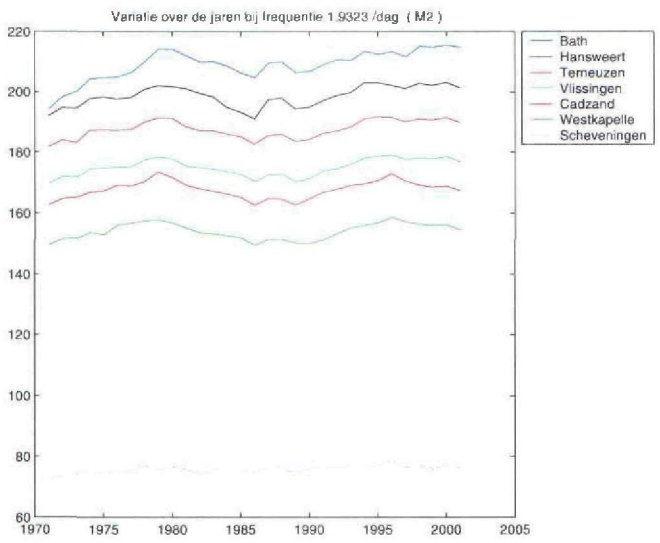

Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van het laagwater bij Bath
Waterhoogte (cm)
40
20
0
−20
−40
−60
−80
−100
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997

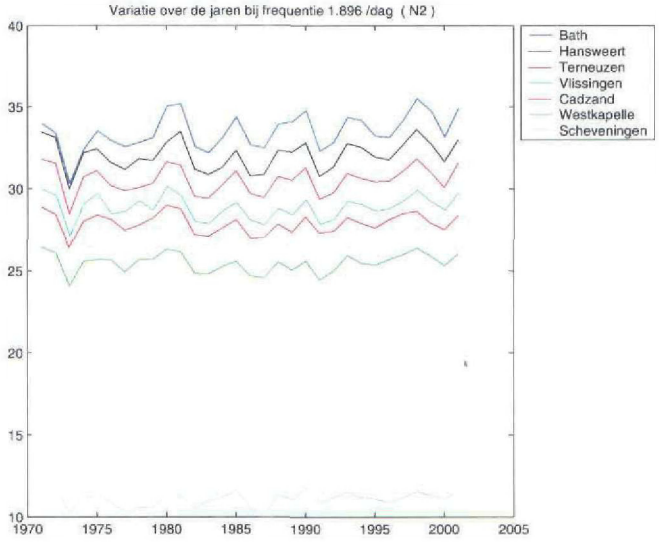

Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van de hoogwater bij Bath
Waterhoogte (cm)
150
100
50
0
−50
−100
−150
01−Jan−1997
02−Jul−1997
31−Dec−1997

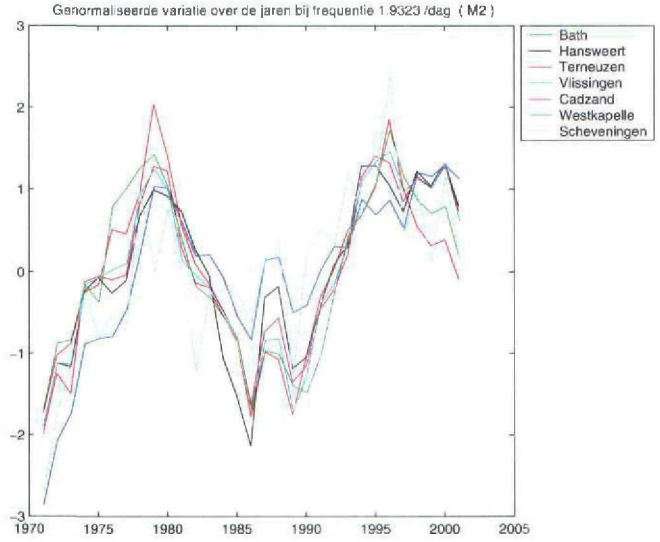

Voorspelling (rood) versus werkelijke waarde (blauw) van het hoogwater bij Bath
Waterhoogte (cm)
60
40
20
0
−20
−40
−60
−80
−100
−120
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997

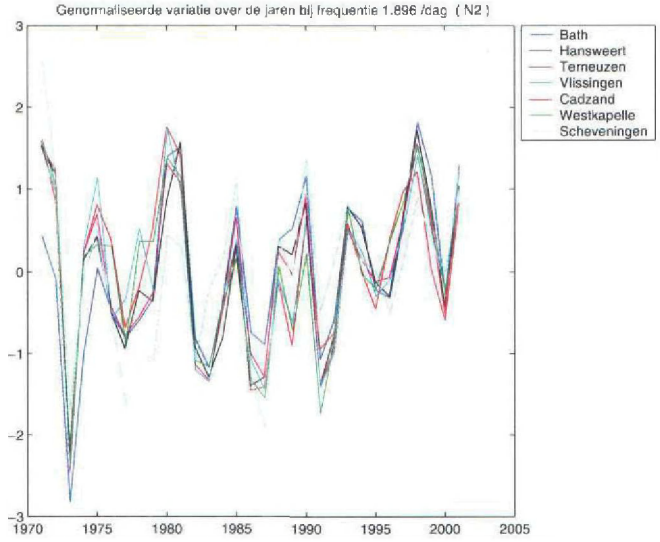
Appendix A.4.2

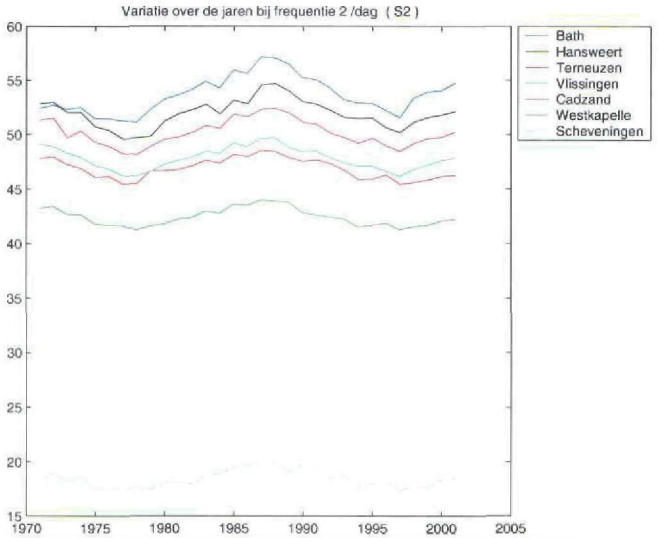
Deze appendix bevat grafieken van het amplitudeverloop in zes meetstations van de $N = 15$ belangrijkste getijcomponenten over de periode 1971 tot en met 2001, op basis van de eenmaal per uur gemeten data. De grafieken zijn tot stand gekomen door middel van een jaarlijkse schatting van de amplitudes. Voor de getijden M2, N2, 2MN2, MU2, NU2, M4, 2MS6, MS4, SM, LABDA2 en K1 zijn zowel het nominale amplitudeverloop als het genormaliseerde verloop uitgezet. Voor de getijden S2, K2, O1 en M6 is naast het nominale en het genormaliseerde amplitudeverloop ook de variatie uitgezet na verwijdering van een periode in het amplitudeverloop met een lengte van ongeveer 18.6 jaar.

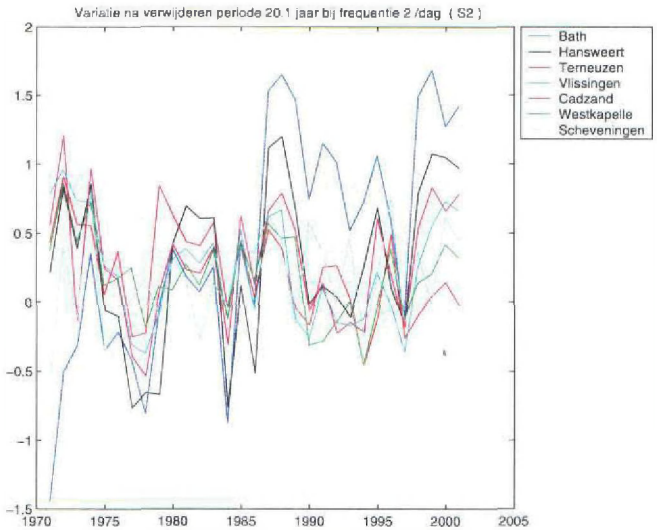

Variatie over de jaren bij frequentie 1.9323 /dag (M2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
220
200
180
160
140
120
100
80
60
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

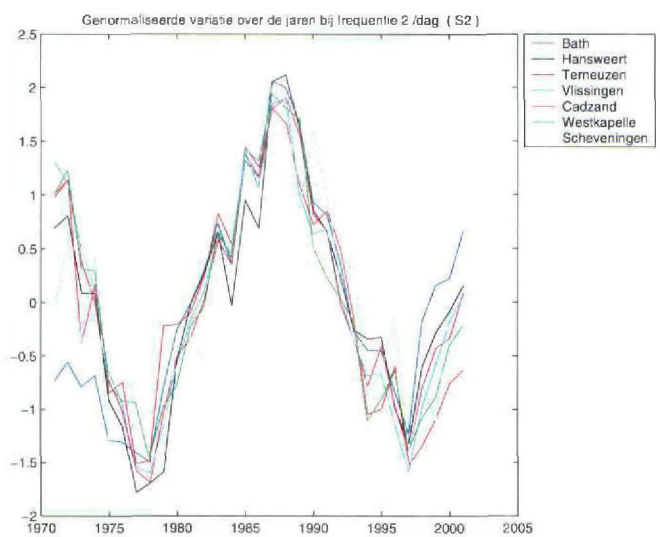

Variatie over de jaren bij frequentie 1.896 /dag (N2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
40
35
30
25
20
15
10
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

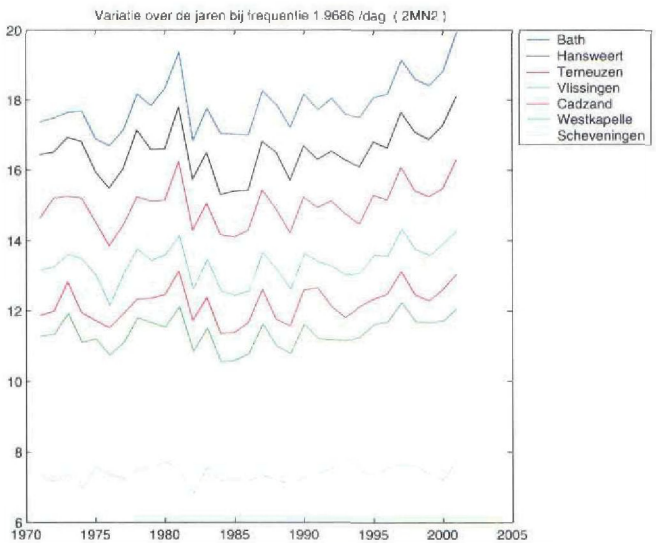

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 1.9323 /dag (M2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
3
2
1
0
−1
−2
−3
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

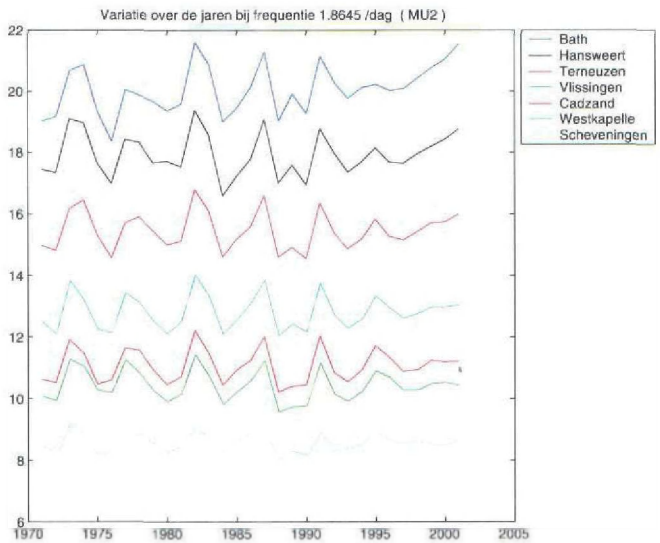

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 1.896 /dag (N2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
3
2
1
0
−1
−2
−3
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

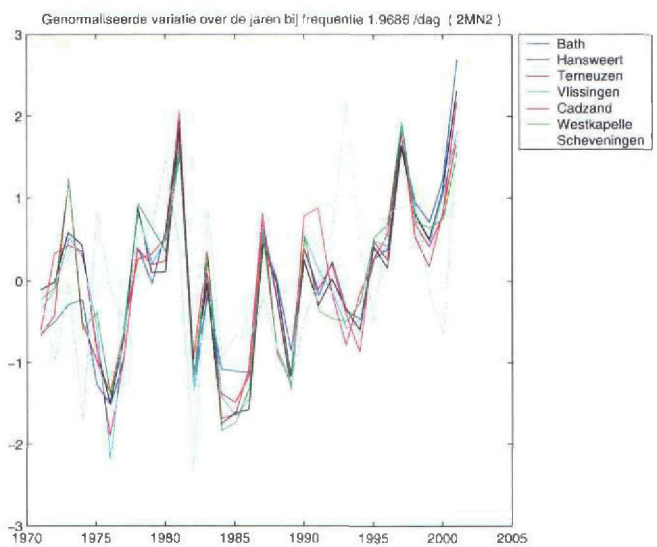

Variatie over de jaren bij frequentie 2 /dag (S2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

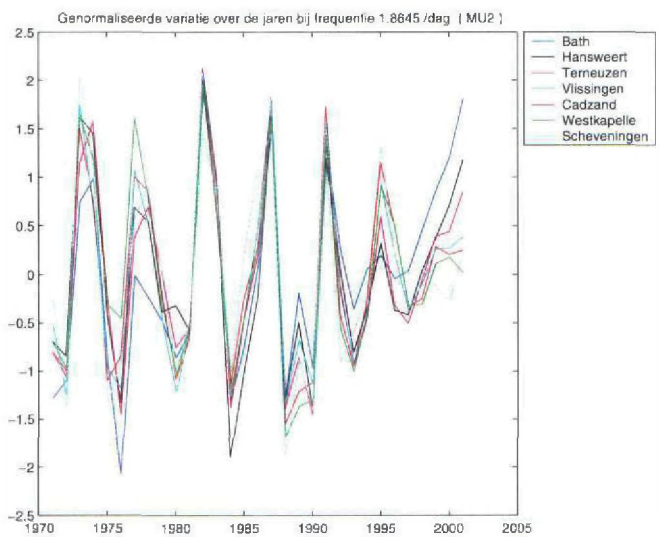

Variatie na verwijderen periode 20.1 jaar bij frequentie 2 /dag (S2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

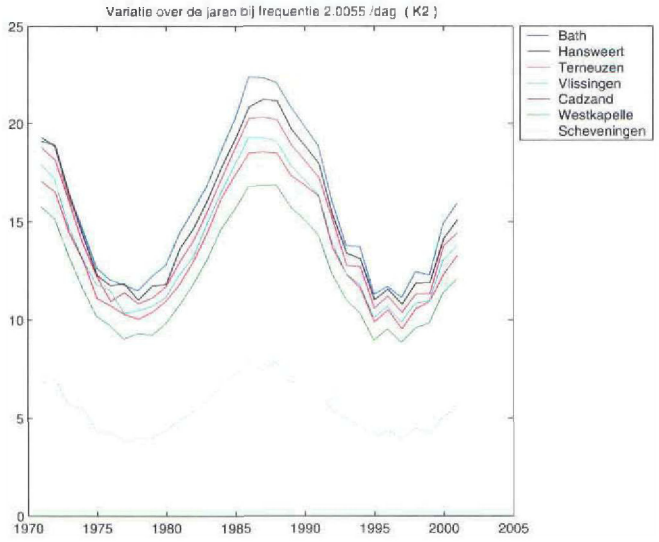

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 2 /dag (S2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

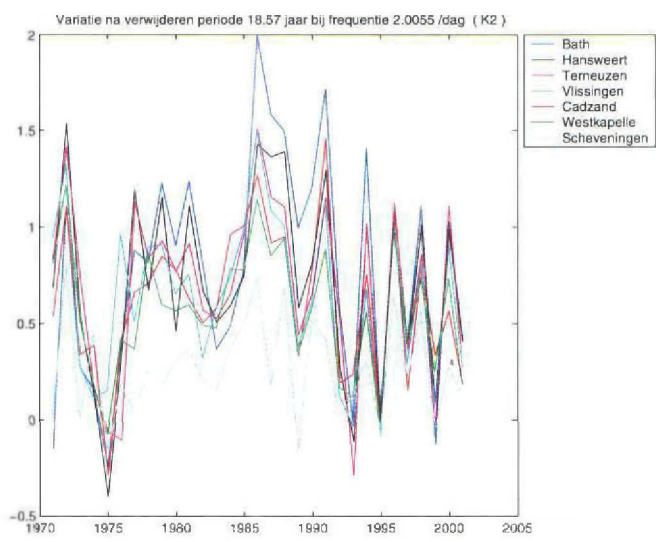

Variatie over de jaren bij frequentie 1.9686 /dag (2MN2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen

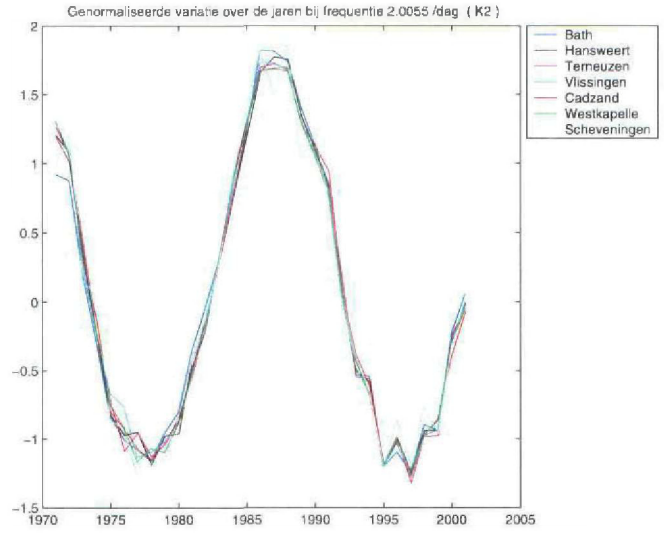

Variatie over de jaren bij frequentie 1.8645 /dag (MU2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen

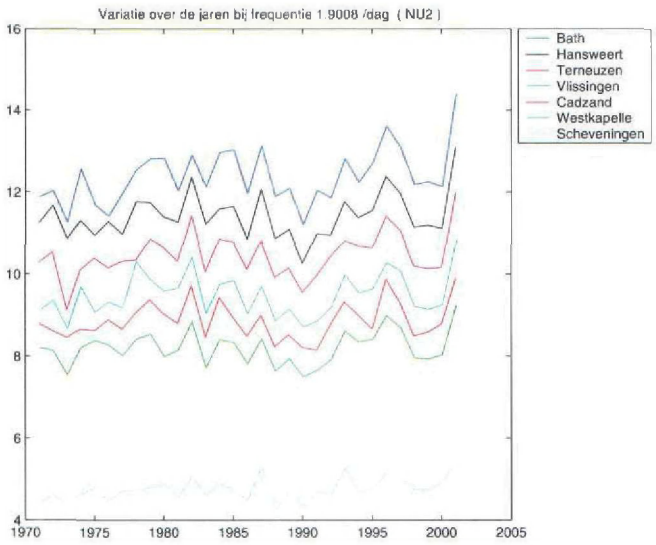

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 1.9686 /dag (2MN2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen

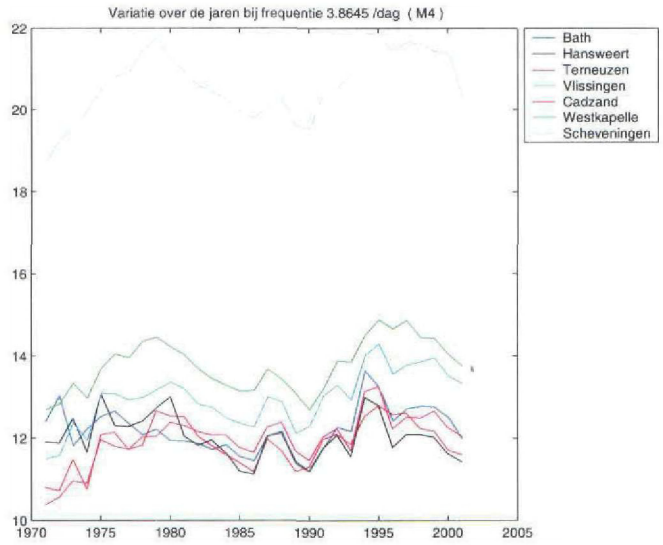

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 1.8645 /dag (MU2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen

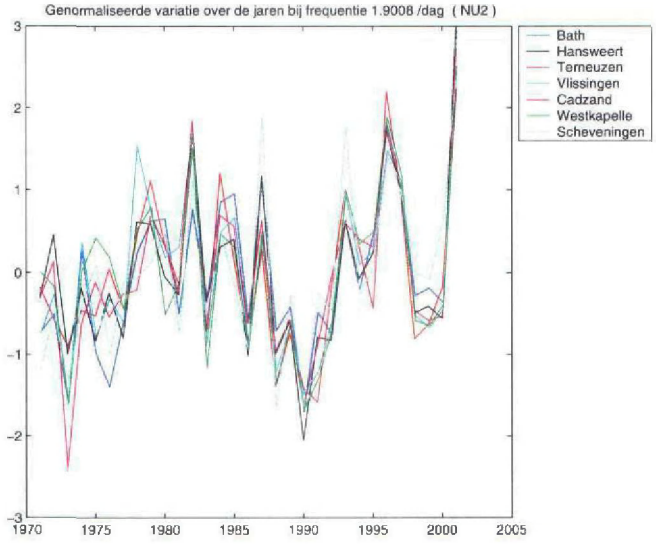

Variatie over de jaren bij frequentie 2.0055 /dag (K2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
25
20
15
10
5
0
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

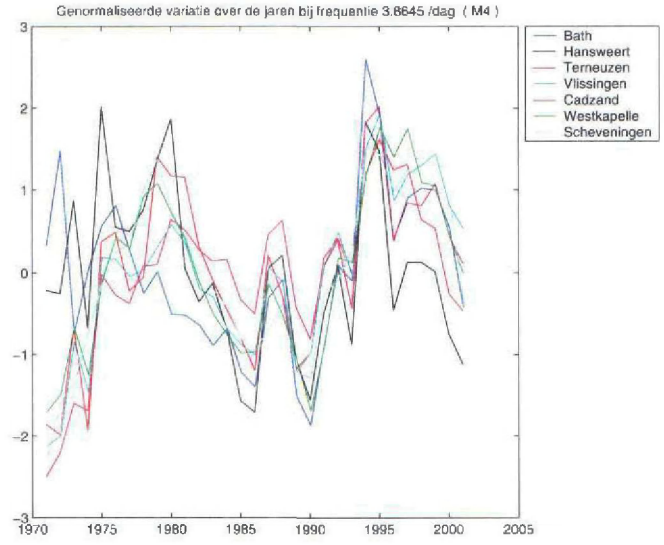

Variatie na verwijderen periode 18.57 jaar bij frequentie 2.0055 /dag (K2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

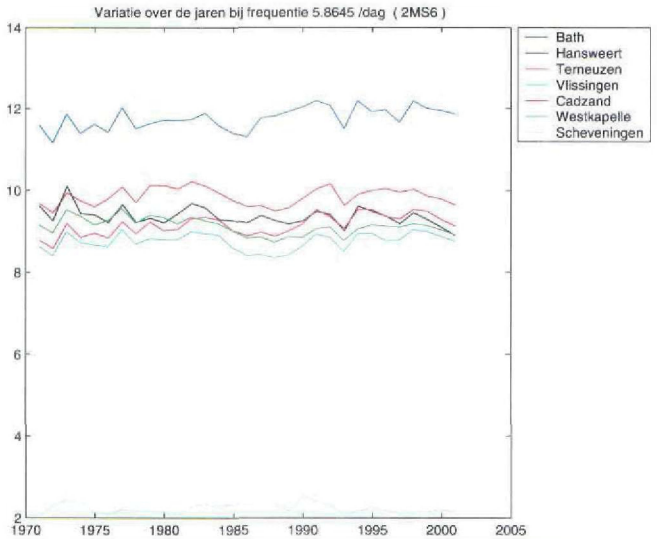

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 2.0055 /dag (K2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

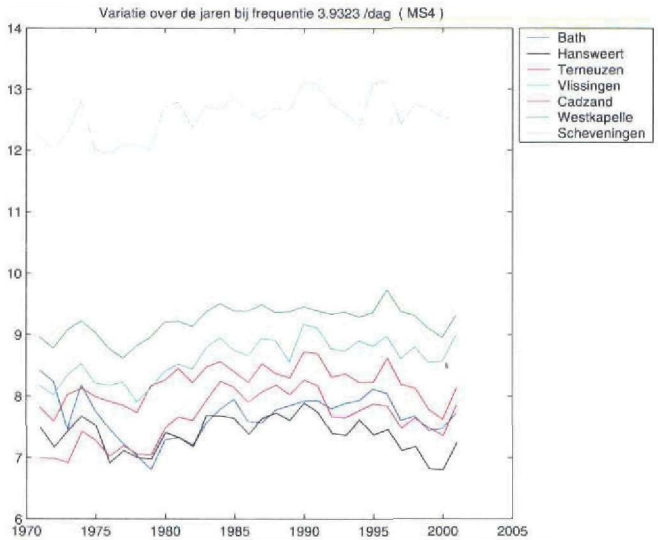

Variatie over de jaren bij frequentie 1.9008 /dag (NU2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
16
14
12
10
8
6
4
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

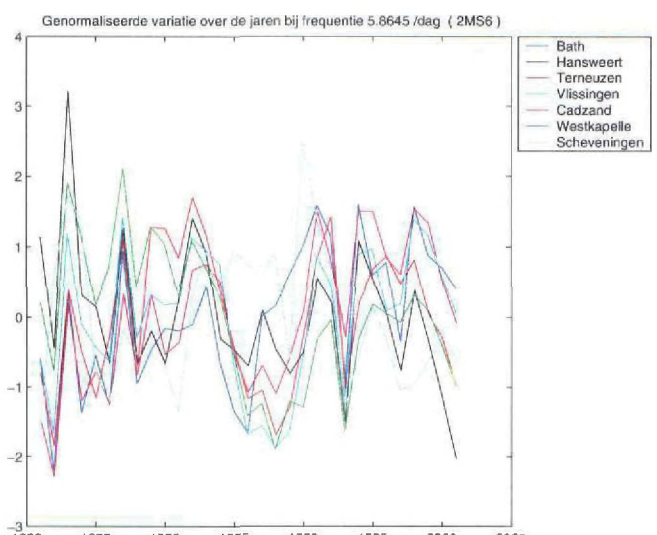

Variatie over de jaren bij frequentie 3.8645 /dag (M4)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
22
20
18
16
14
12
10
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

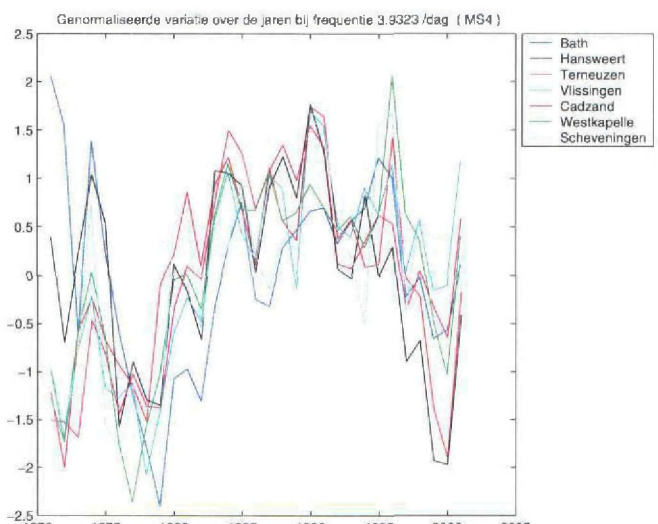

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 1.9008 /dag (NU2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
3
2
1
0
−1
−2
−3
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

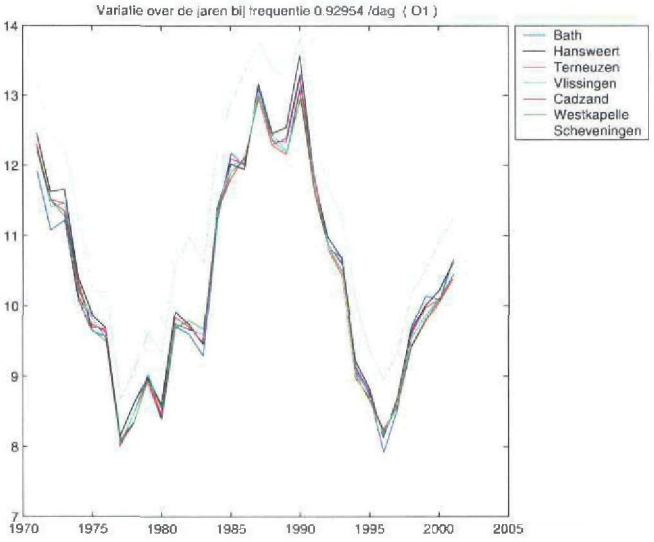

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 3.8645 /dag (M4)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
3
2
1
0
−1
−2
−3
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

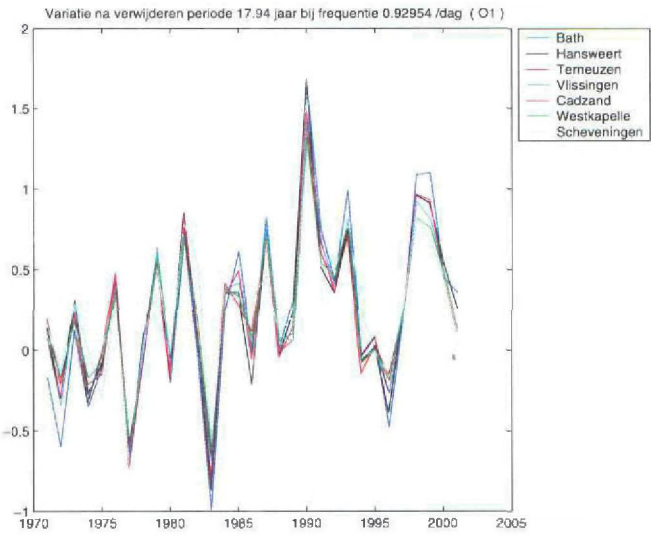

Variatie over de jaren bij frequentie 5.8645 /dag (2MS6)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
14
12
10
8
6
4
2
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

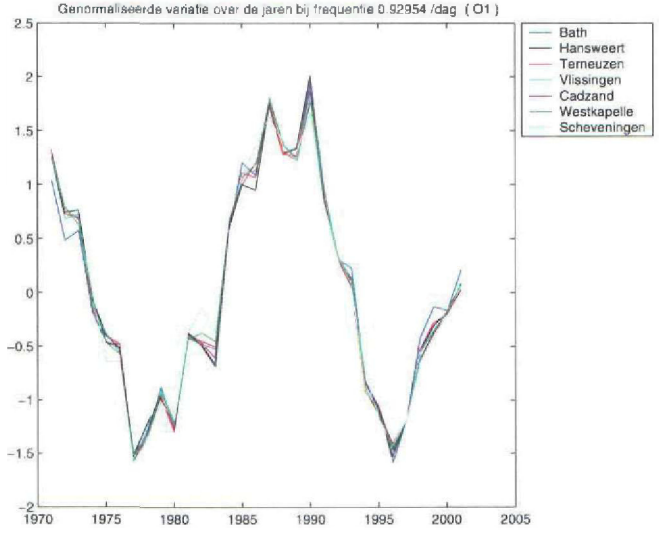

Variatie over de jaren bij frequentie 3.9323 /dag (MS4)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
14
13
12
11
10
9
8
7
6
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

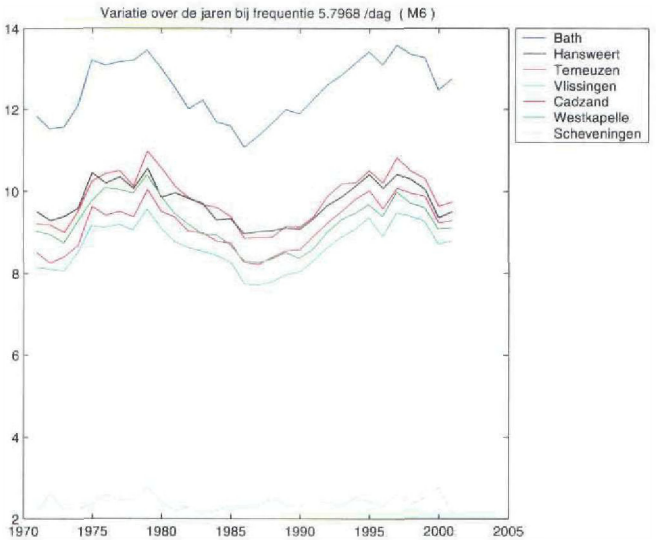

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 5.8645 /dag (2MS6)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
4
3
2
1
0
−1
−2
−3
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

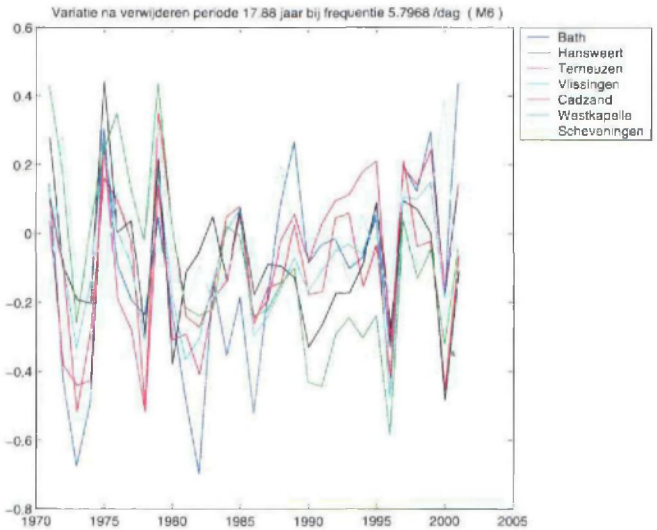

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 3.9323 /dag (MS4)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
−2.5
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

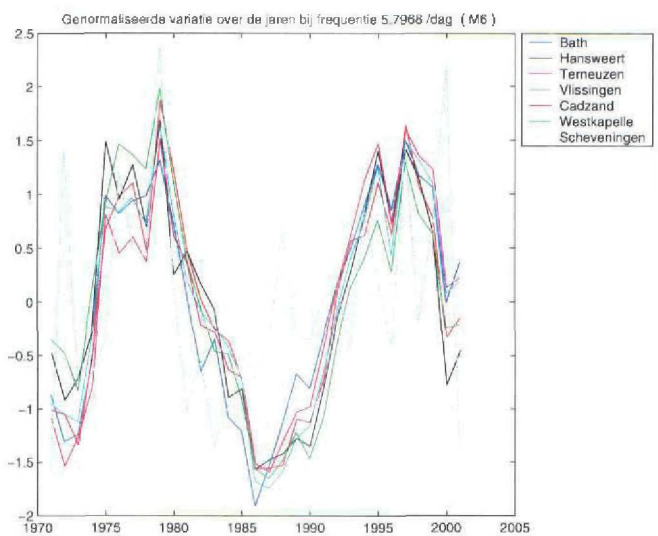

Variatie over de jaren bij frequentie 0.92954 /dag (O1)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
14
13
12
11
10
9
8
7
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

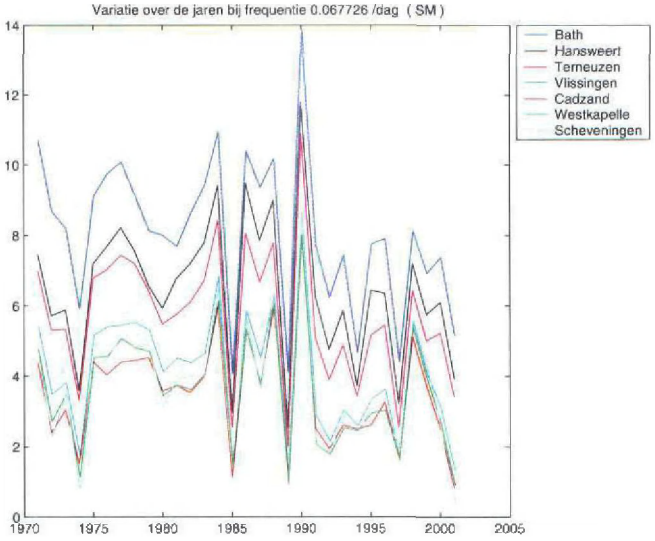

Variatie na verwijderen periode 17.94 jaar bij frequentie 0.92954 /dag (O1)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

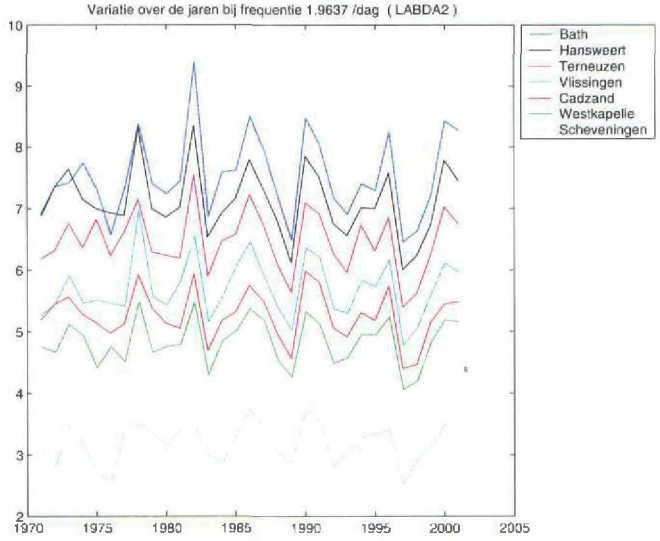

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 0.92954 /dag (O1)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

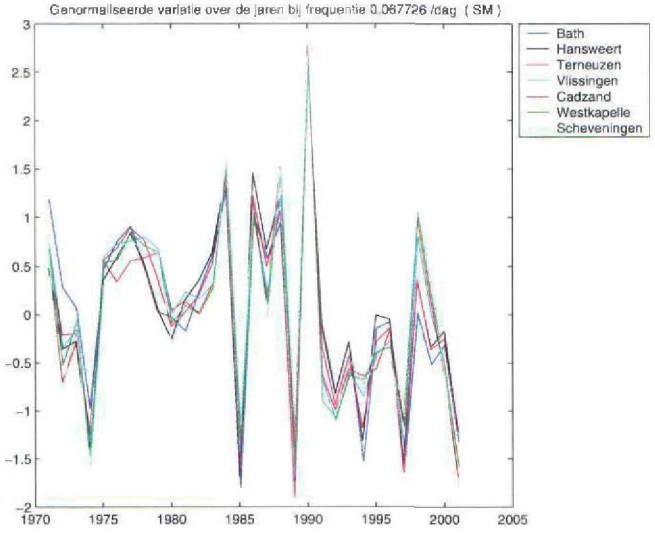

Variatie over de jaren bij frequentie 5.7968 /dag (M6)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
14
12
10
8
6
4
2
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

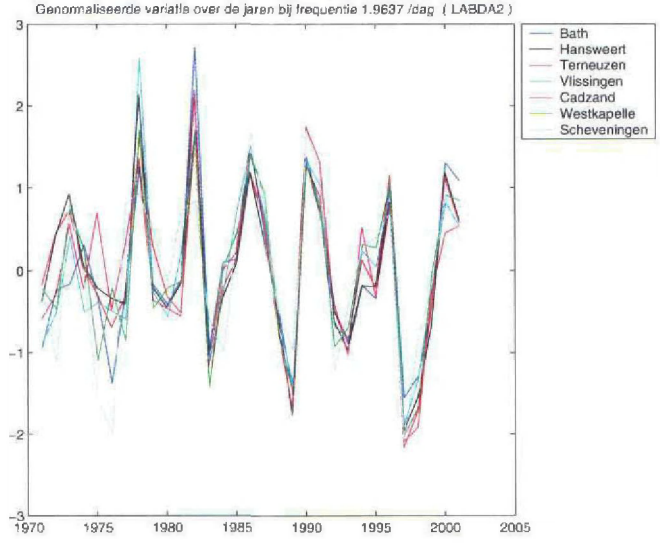

Variatie na verwijderen periode 17.88 jaar bij frequentie 5.7968 /dag (M6)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

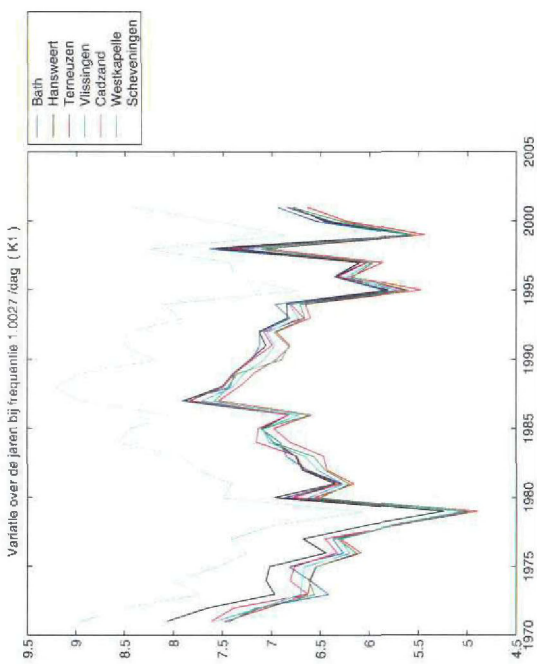

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 5.7968 /dag (M6)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

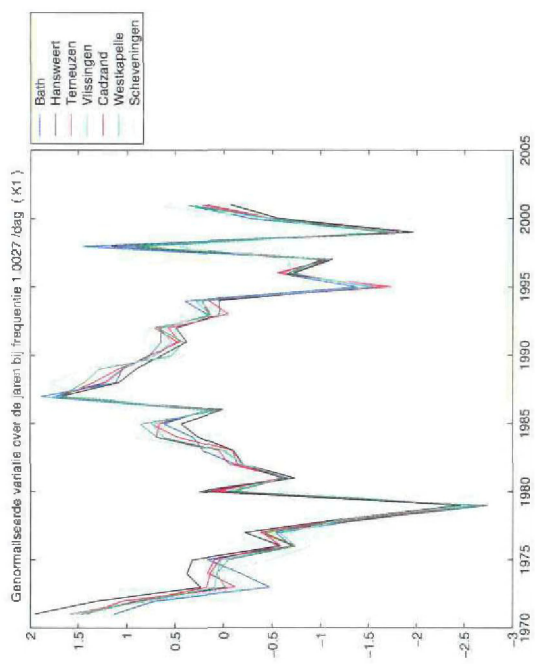

Variatie over de jaren bij frequentie 0.067726 /dag (SM)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
14
12
10
8
6
4
2
0
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005


Variatie over de jaren bij frequentie 1.9637 /dag (LABDA2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005


Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 0.067726 /dag (SM)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

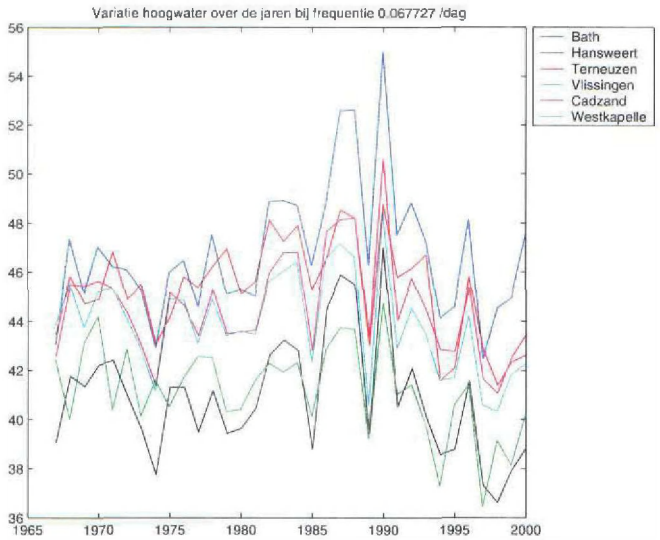

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 1.9637 /dag (LABDA2)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
3
2
1
0
-1
-2
-3
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

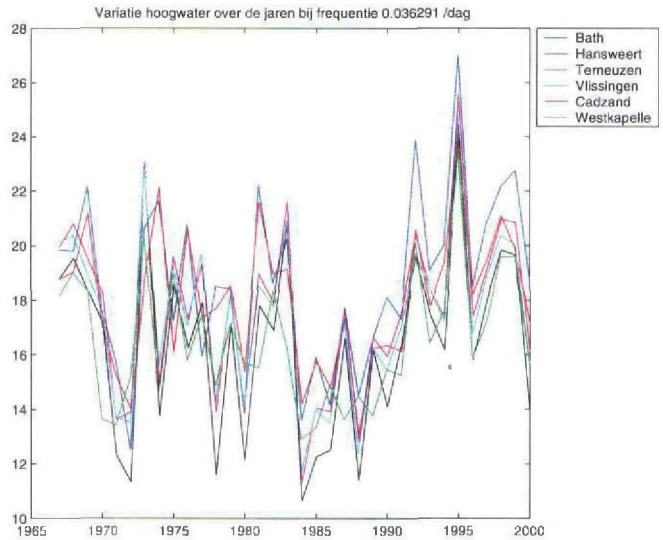

Variatie over de jaren bij frequentie 1.0027 /dag (K1)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
9.5
9
8.5
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

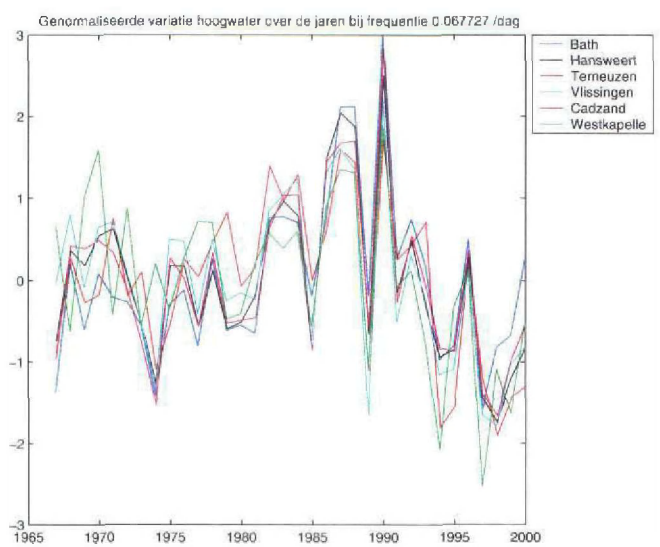

Genormaliseerde variatie over de jaren bij frequentie 1.0027 /dag (K1)
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
Scheveningen
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
-3
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

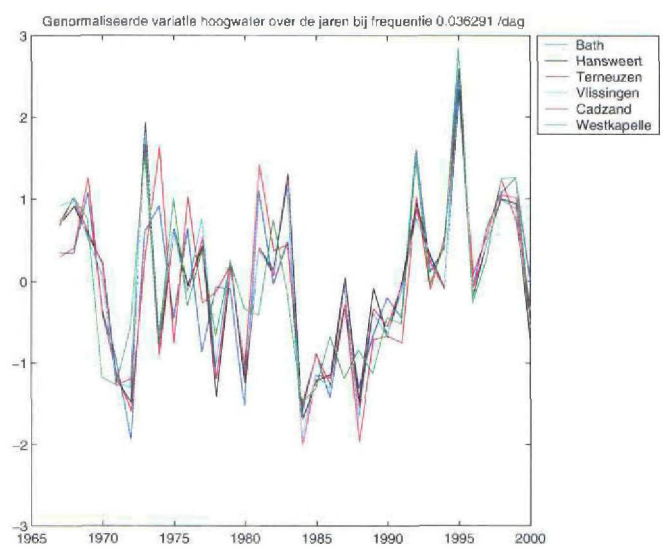
Appendix A.4.3

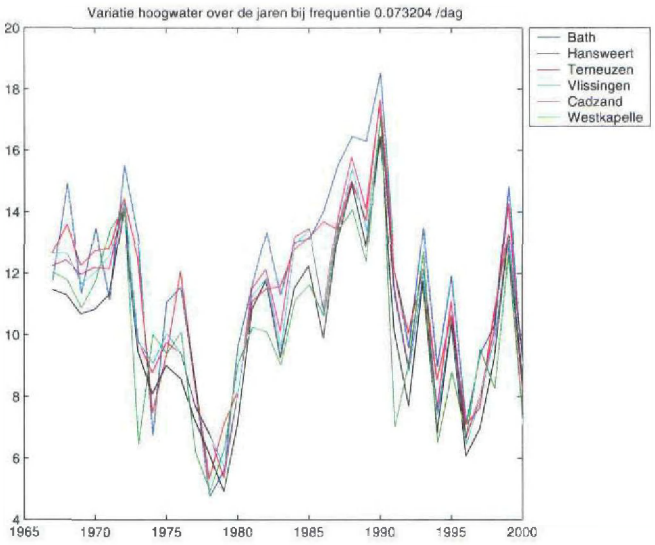
Deze appendix bevat grafieken van het amplitudeverloop in zes meetstations van de $N = 7$ belangrijkste getijcomponenten over de periode 1966 tot en met 2001, op basis van het tweemaal per dag gemeten hoogwater. De grafieken zijn tot stand gekomen door middel van een jaarlijkse schatting van de amplitudes. Voor iedere getijcomponent zijn zowel het nominale amplitudeverloop als het genormaliseerde verloop uitgezet.

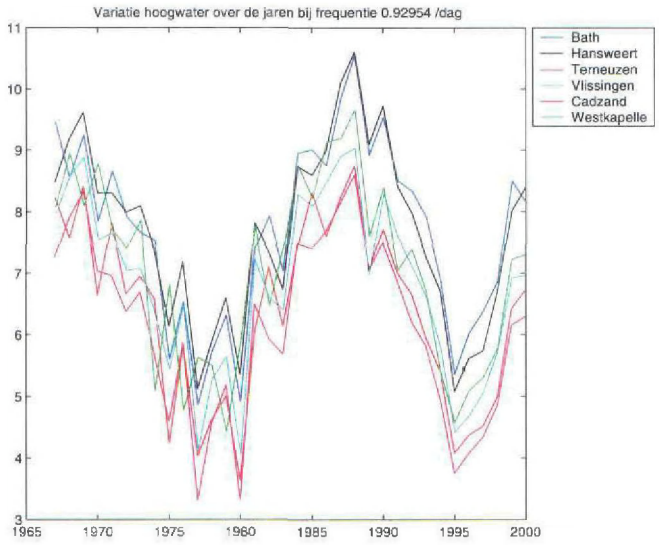

Variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.067727 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
56
54
52
50
48
46
44
42
40
38
36
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000

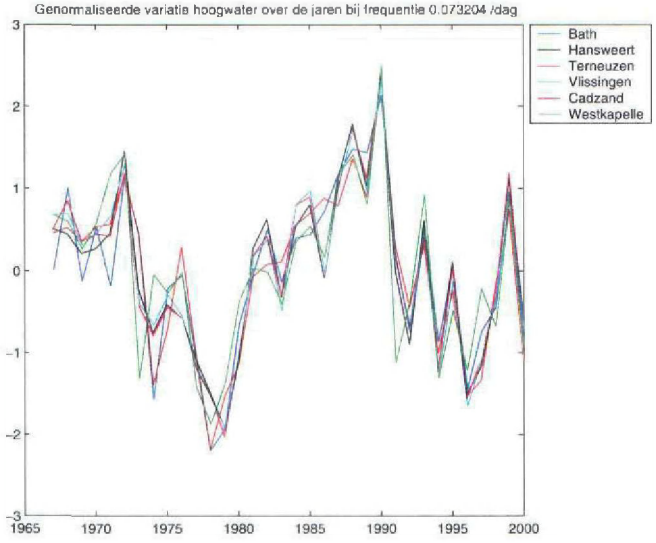

Variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.036291 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000

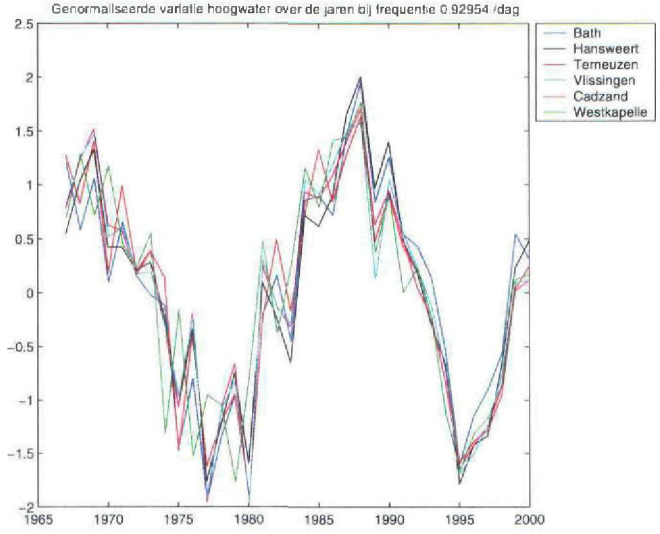

Genormaliseerde variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.067727 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
3
2
1
0
−1
−2
−3
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000

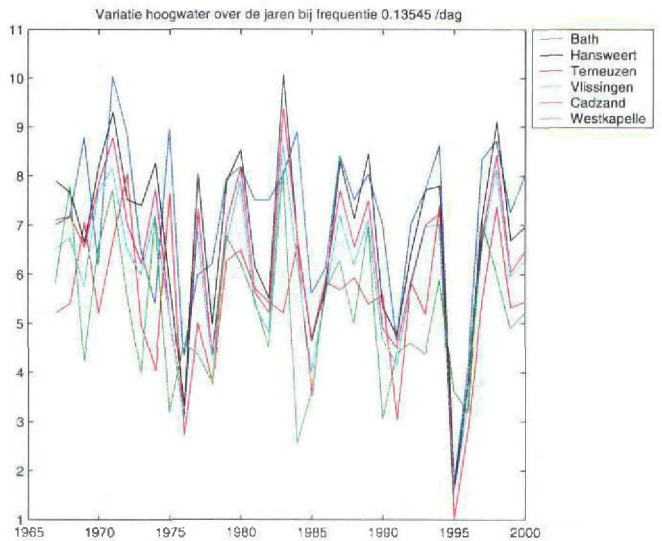

Genormaliseerde variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.036291 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
3
2
1
0
−1
−2
−3
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000

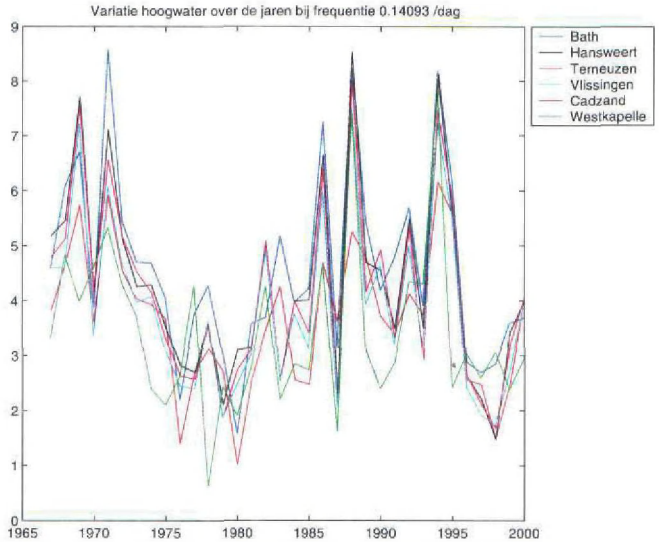

Variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.073204 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
20
18
16
14
12
10
8
6
4
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000

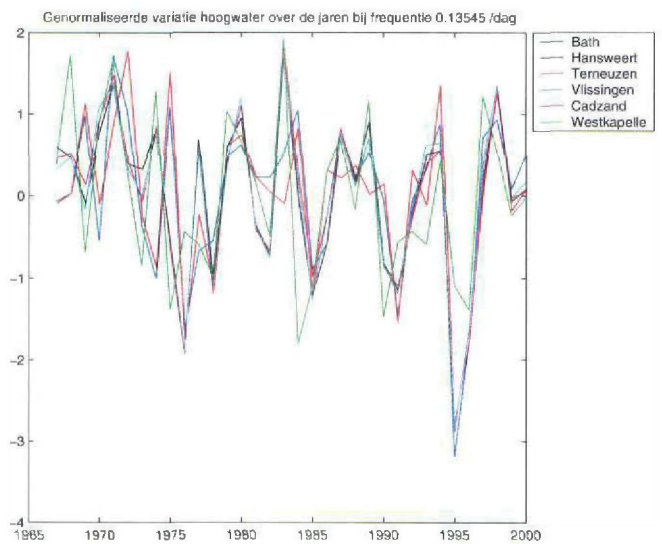

Variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.92954 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
11
10
9
8
7
6
5
4
3
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000

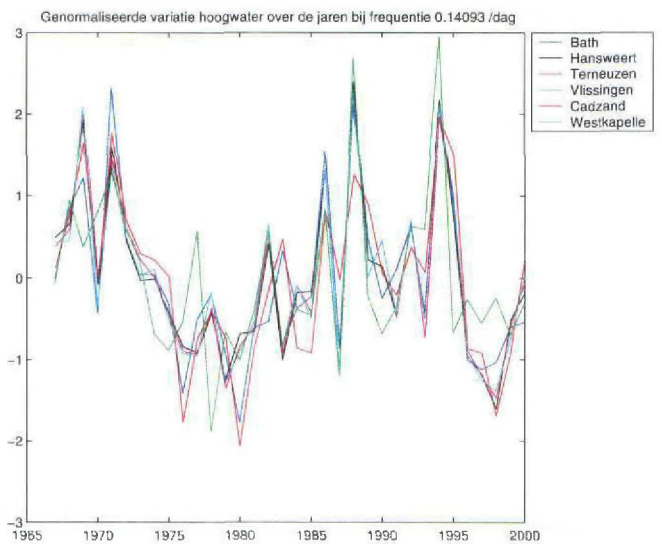

Genormaliseerde variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.073204 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
3
2
1
0
−1
−2
−3
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000

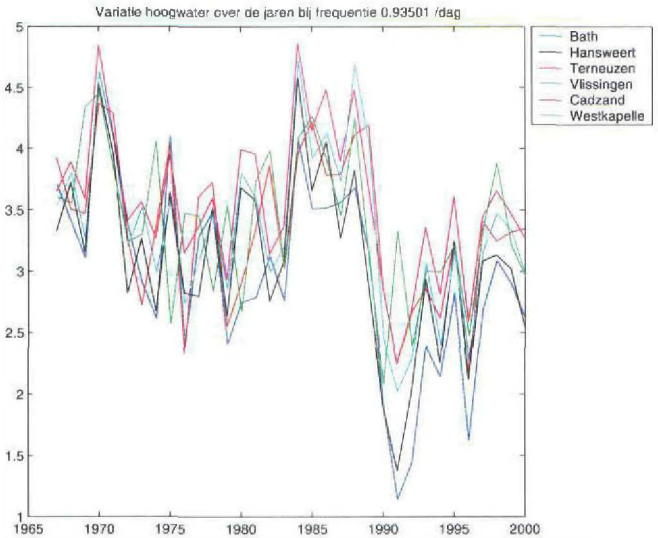

Genormaliseerde variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.92954 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
2.5
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000

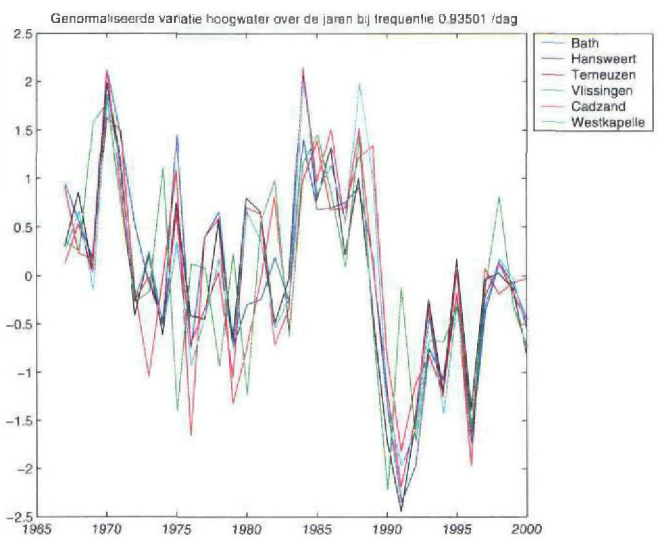

Variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.13545 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle


Variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.14093 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle


Genormaliseerde variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.13545 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle


Genormaliseerde variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.14093 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle


Variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.93501 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000


Genormaliseerde variatie hoogwater over de jaren bij frequentie 0.93501 /dag
Bath
Hansweert
Terneuzen
Vlissingen
Cadzand
Westkapelle
2.5
2
1.5
1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
−2.5
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000

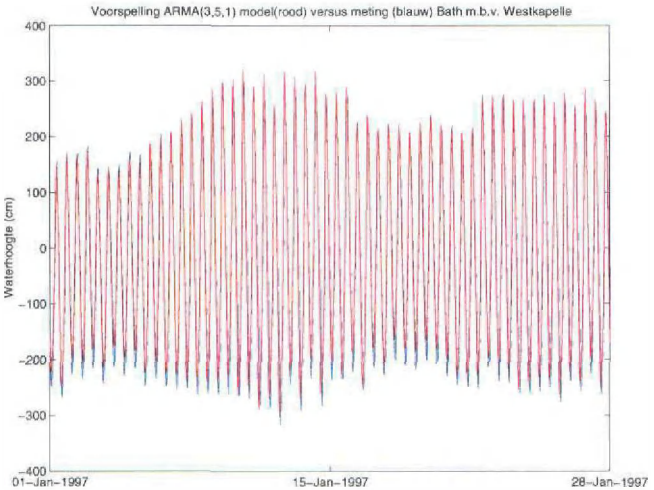
Appendix A.4.4

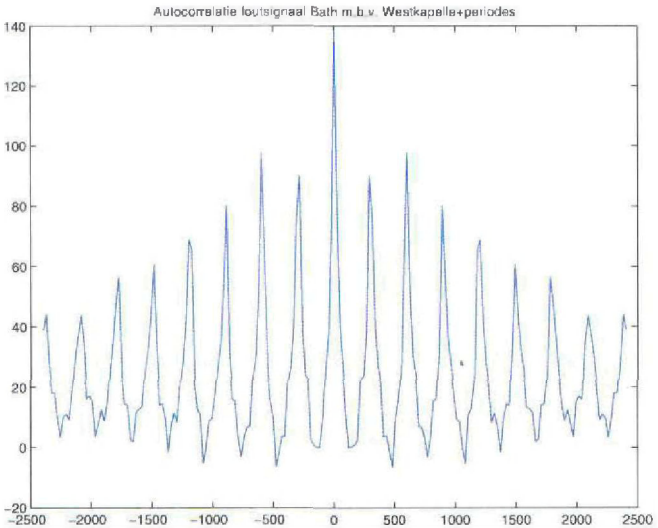
In deze appendix zijn grafisch enkele resultaten weergegeven van (AR)MA modellering op basis van de eenmaal per uur gemeten waterstand voor de volgende ingangs-uitgangsparen:

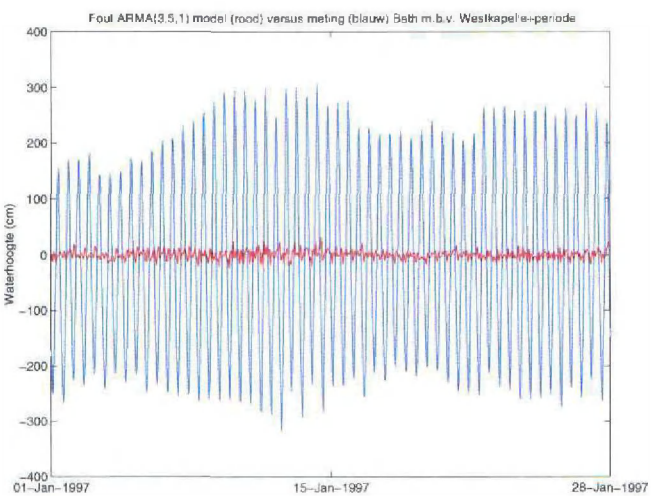
1. Ingang: Westkapelle, Uitgang: Bath,
2. Ingang: Hansweert, Uitgang: Bath,
3. Ingang: Cadzand, Uitgang: Terneuzen,
4. Ingang: Lichteiland Goeree, Uitgang: Bath.

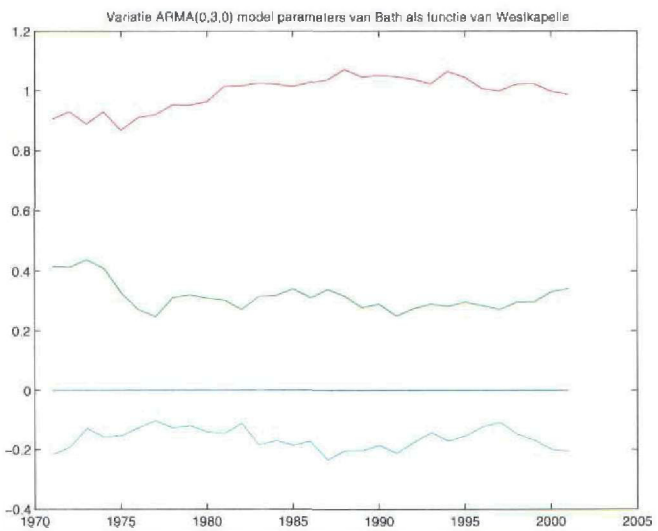
Voor ieder ingangs-uitgangspaar zijn vier grafieken weergegeven:

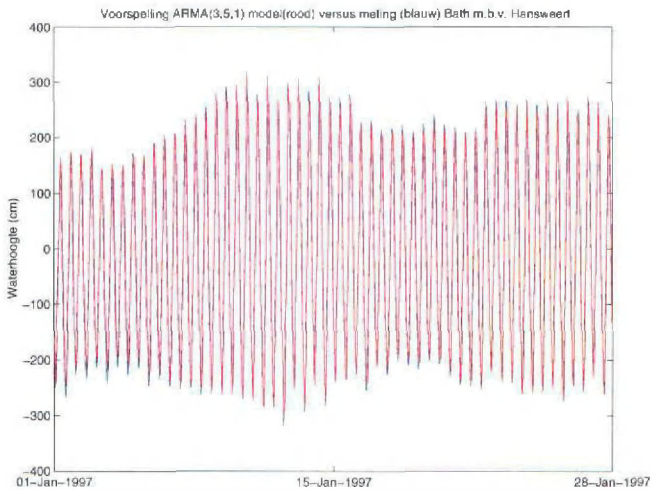
- De eenmaal per uur gemeten waterstand in de uitgang over de periode 1 januari 1997 tot en met 28 januari 1997, en een voorspelling daarvan op basis van een ARMA (3, 5, 1)-model en de gemeten waterstand aan de ingang. In de berekening is zowel bij de in- als de uitgang alleen de trend uit de data verwijderd.
- De eenmaal per uur gemeten waterstand in de uitgang over de periode 1 januari 1997 tot en met 28 januari 1997, en de fout in de voorspelling daarvan op basis van de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten en een ARMA (3, 5, 1)-model op het resterende signaal.
- De autocorrelatie van de fout in het waterstandsignaal gemeten in de uitgang, verkregen op basis van een verklarend model met daarin de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten en een ARMA (3, 5, 1)-model op het resterende signaal.
- Het tijdsverloop van de modelparameters behorende bij een MA (0, 3, 0)-model van het signaal dat resteert na verwijdering van de $N = 15$ belangrijkste periodiciteiten.

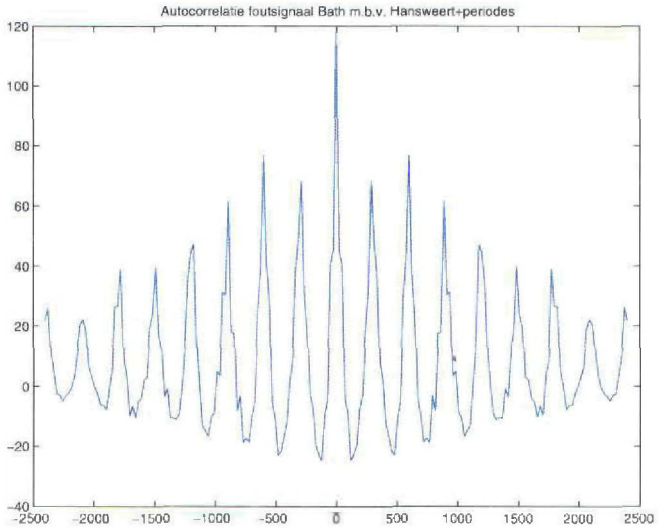

Voorspelling ARMA(3,5,1) model(rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Westkapelle
Waterhoogte (cm)
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
−400
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997

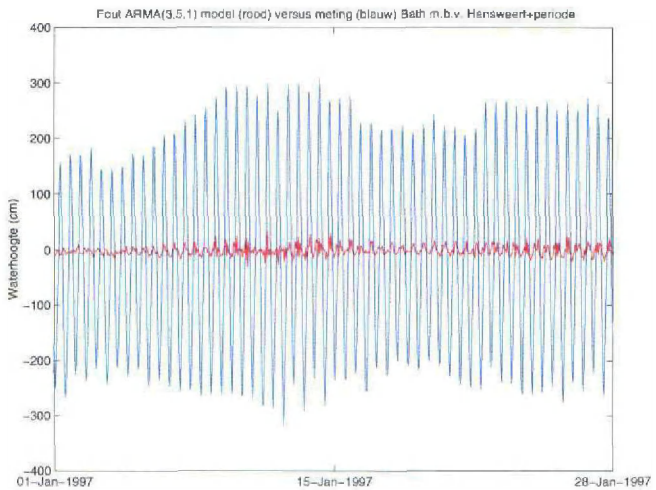

Autocorrelatie foutsignaal Bath m.b.v. Westkapelle+periodes
140
120
100
80
60
40
20
0
−20
−2500
−2000
−1500
−1000
−500
0
500
1000
1500
2000
2500

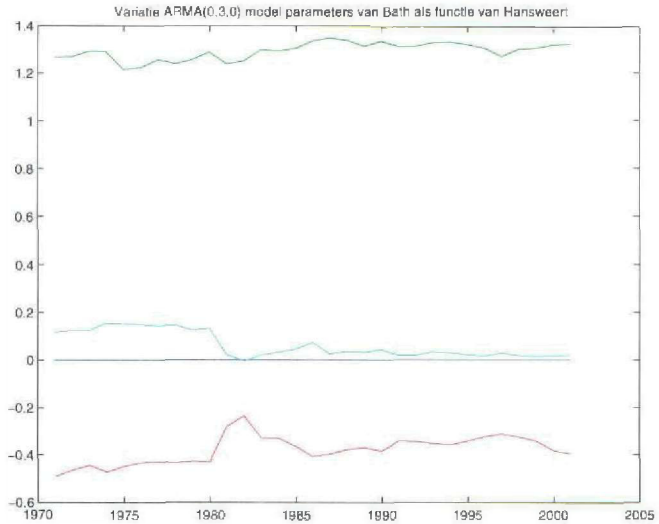

Fout ARMA(3,5,1) model (rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Westkapelle+periode
Waterhoogte (cm)
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
−400
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997

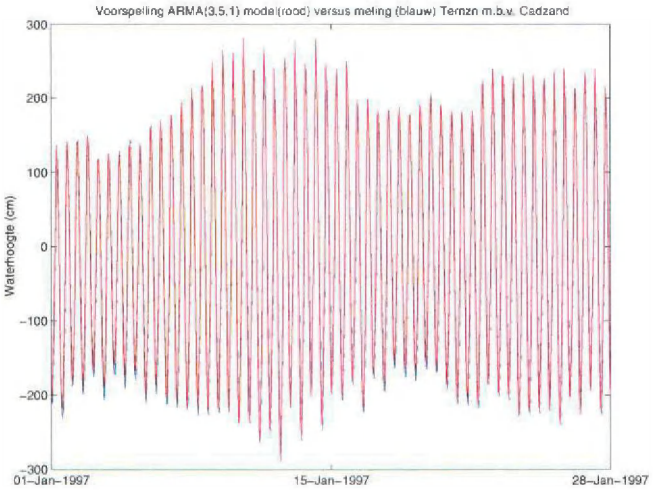

Variatie ARMA(0,3,0) model parameters van Bath als functie van Westkapelle
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−0.2
−0.4
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

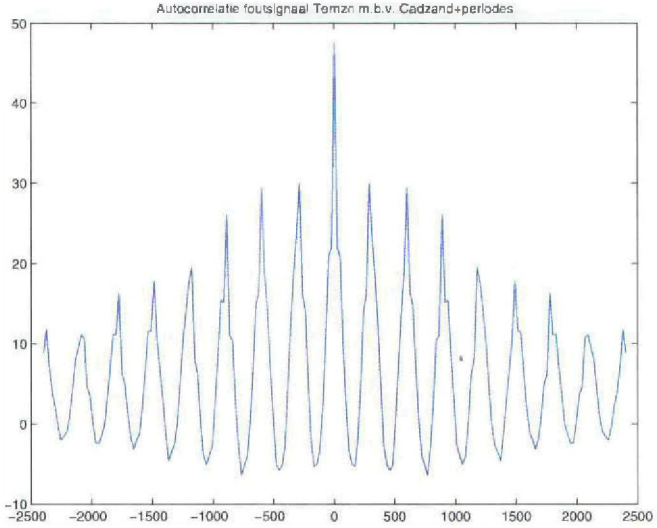

Voorspelling ARMA(3,5,1) model(rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Hansweert
Waterhoogte (cm)
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
−400
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997

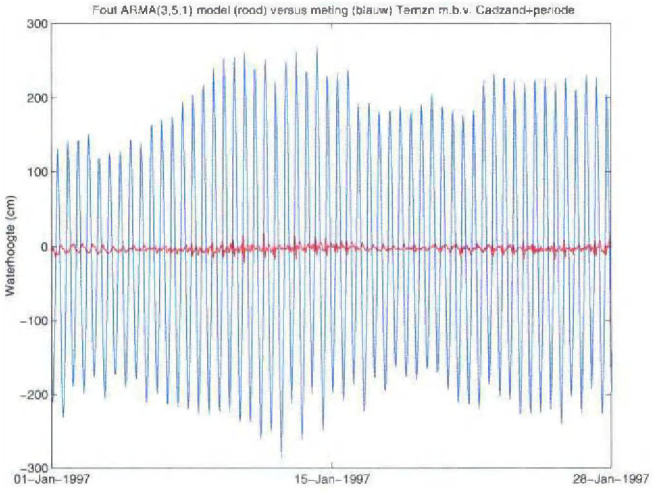

Autocorrelatie foutsignaal Bath m.b.v. Hansweert+periodes
120
100
80
60
40
20
0
−20
−40
−2500
−2000
−1500
−1000
−500
0
500
1000
1500
2000
2500

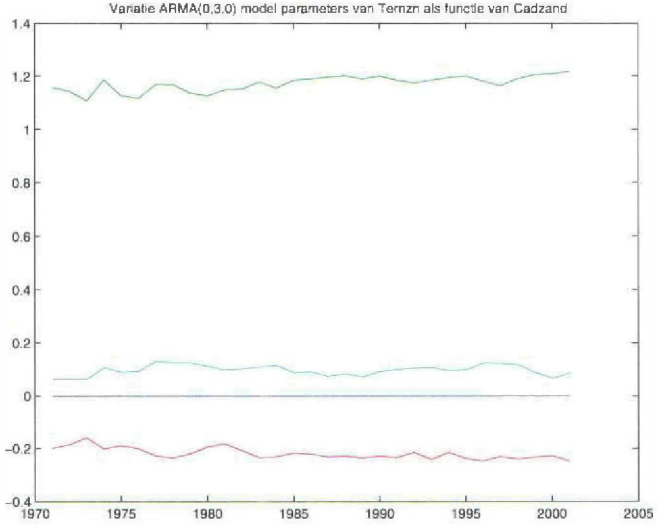

Fout ARMA(3,5,1) model (rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Hansweert+periode
Waterhoogte (cm)
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
−400
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997

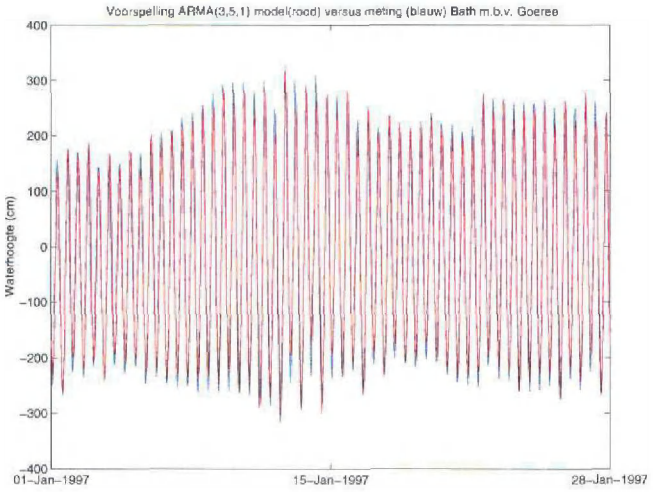

Variatie ARMA(0,3,0) model parameters van Bath als functie van Hansweert
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−0.2
−0.4
−0.6
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005

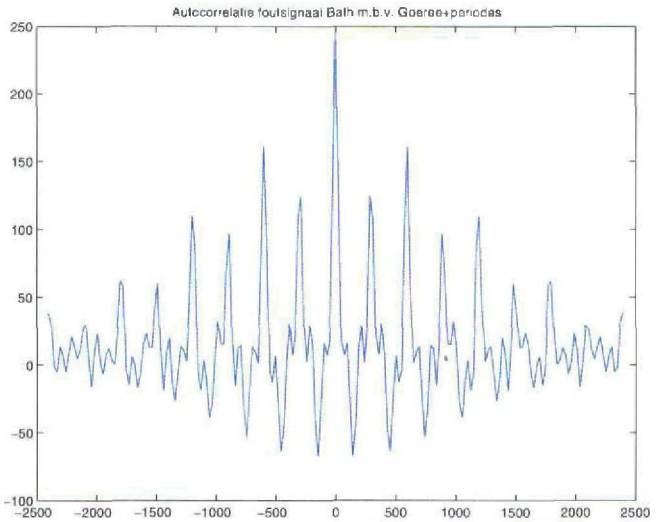

Voorspelling ARMA(3,5,1) model(rood) versus meting (blauw) Temzn m.b.v. Cadzand
Waterhoogte (cm)
300
200
100
0
−100
−200
−300
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997

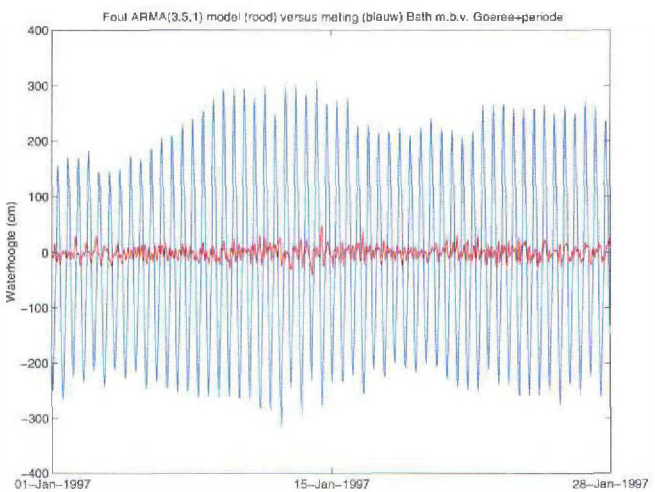

Autocorrelatie foutsignaal Temzn m.b.v. Cadzand+perlodes
50
40
30
20
10
0
−10
−2500
−2000
−1500
−1000
−500
0
500
1000
1500
2000
2500

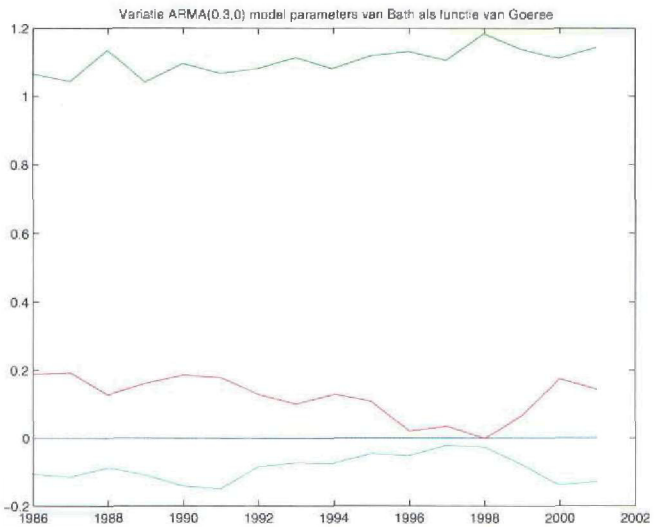

Fout ARMA(3,5,1) model (rood) versus meting (blauw) Temzn m.b.v. Cadzand+periode
Waterhoogte (cm)
300
200
100
0
−100
−200
−300
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997


Variatie ARMA(0,3,0) model parameters van Temzn als functie van Cadzand
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−0.2
−0.4
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005


Voorspelling ARMA(3,5,1) model(rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Goeree
Waterhoogte (cm)
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
−400
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997


Autocorrelatie foutsignaal Bath m.b.v. Goeree+periodes
250
200
150
100
50
0
−50
−100
−2500
−2000
−1500
−1000
−500
0
500
1000
1500
2000
2500


Fout ARMA(3,5,1) model (rood) versus meting (blauw) Bath m.b.v. Goeree+periode
Waterhoogte (cm)
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
−400
01−Jan−1997
15−Jan−1997
28−Jan−1997


Variatie ARMA(0,3,0) model parameters van Bath als functie van Goeree
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−0.2
1986
1988
1990
1992
1994
1996
1998
2000
2002

Appendix B

In deze appendix bekijken we eerst de data waarop de metingen van de lodinggegevens zijn verzameld in tabel 1–6.

In deze appendix zijn daarnaast grafisch weergegeven de gemiddelde variatie per jaar van de diepte van de bodem over de 6 vakken. De verdeling van de Westerschelde in deze 6 vakken is weergegeven in Figuur 3.1.

In Sectie 2 van Hoofdstuk 3 hebben we gekeken naar de effecten van baggeren, stort, en zandwinning. In deze appendix zijn daarnaast grafisch weergegeven de effecten over alle 6 vakken.

In Sectie 3 van Hoofdstuk 3 hebben we gekeken naar de omvang en gemiddelde diepte van ondiepe, middelmatig diepe en diepe gebieden in de Westerschelde per vak. In deze appendix zijn deze gegevens grafisch weergegeven voor alle 6 vakken.

Datum begin	Datum eind	Datum begin	Datum eind
1 juli 1951	31 augustus 1951	23 juli 1990	26 juli 1990
18 april 1955	26 mei 1955	16 januari 1991	23 januari 1991
29 juni 1961	18 augustus 1961	28 januari 1992	6 februari 1992
6 mei 1963	4 juli 1963	8 maart 1993	23 maart 1993
27 juli 1965	7 december 1965	4 oktober 1993	14 oktober 1993
24 april 1967	31 mei 1967	22 februari 1994	10 maart 1994
23 oktober 1969	25 november 1969	3 januari 1995	11 januari 1995
21 september 1971	28 oktober 1971	2 januari 1996	4 januari 1996
22 augustus 1973	9 november 1973	25 november 1996	28 november 1996
27 oktober 1975	4 december 1975	18 april 1997	25 april 1997
26 juli 1977	22 november 1977	14 oktober 1997	2 december 1997
15 september 1980	4 december 1980	12 mei 1998	2 juni 1998
18 november 1982	2 december 1982	5 november 1998	18 november 1998
9 juli 1985	12 september 1985	16 februari 1999	19 februari 1999
29 september 1986	27 november 1986	6 oktober 1999	9 november 1999
5 juni 1987	18 juni 1987	3 maart 2000	13 maart 2000
2 augustus 1988	8 augustus 1988	11 december 2000	14 december 2000
5 april 1989	14 april 1989	6 november 2001	3 december 2001

Tabel 1: Opnamedata voor vak 1

Datum begin	Datum eind	Datum begin	Datum eind
1 juli 1951	1 augustus 1951	3 september 1990	30 oktober 1990
16 mei 1955	18 juni 1955	13 mei 1991	5 juni 1991
28 april 1961	29 juni 1961	4 oktober 1991	22 november 1991
6 mei 1963	9 september 1963	5 februari 1992	18 februari 1992
4 juni 1965	18 oktober 1965	6 april 1993	16 april 1993
21 mei 1967	21 juni 1967	14 oktober 1993	27 oktober 1993
10 juli 1969	15 oktober 1969	7 maart 1994	30 maart 1994
4 mei 1971	26 juli 1971	12 januari 1995	16 mei 1995
30 mei 1974	20 november 1974	9 januari 1996	22 januari 1996
1 juli 1975	12 december 1975	30 oktober 1996	14 november 1996
15 april 1977	20 juli 1977	24 maart 1997	20 mei 1997
1 juli 1980	23 september 1980	17 december 1997	10 februari 1998
1 juli 1982	3 december 1982	2 juni 1998	16 juni 1998
1 augustus 1984	1 december 1984	1 november 1998	3 december 1998
27 juni 1986	7 oktober 1986	1 maart 1999	8 april 1999
5 maart 1987	4 juni 1987	27 oktober 1999	22 november 1999
13 januari 1988	17 februari 1988	6 maart 2000	9 mei 2000
6 maart 1989	20 maart 1989	10 oktober 2000	12 december 2000
23 april 1990	27 april 1990	12 oktober 2001	2 november 2001

Tabel 2: Opnamedata voor vak 2

Datum begin	Datum eind	Datum begin	Datum eind
9 juni 1955	18 augustus 1955	18 oktober 1989	1 november 1989
12 mei 1961	26 oktober 1961	16 november 1990	12 december 1990
16 mei 1963	14 augustus 1963	16 september 1991	10 oktober 1991
25 mei 1965	12 januari 1966	1 september 1992	13 november 1992
17 augustus 1967	20 december 1967	27 april 1993	14 juli 1993
1 februari 1969	1 juli 1969	4 januari 1994	11 februari 1994
19 maart 1971	19 augustus 1971	6 maart 1995	14 augustus 1995
7 juni 1974	22 oktober 1974	16 februari 1996	3 juni 1996
1 mei 1975	30 september 1975	6 februari 1997	21 maart 1997
11 februari 1977	26 mei 1977	4 december 1997	19 januari 1998
2 juni 1980	31 juli 1980	30 maart 1998	18 mei 1998
21 juni 1982	24 augustus 1982	15 september 1998	4 november 1998
21 mei 1984	6 november 1984	5 januari 1999	18 februari 1999
19 september 1985	25 november 1985	31 augustus 1999	8 november 1999
26 november 1986	19 februari 1987	14 februari 2000	6 maart 2000
27 augustus 1987	20 januari 1988	20 september 2000	1 november 2000
23 september 1988	12 oktober 1988	1 oktober 2001	14 november 2001

Tabel 3: Opnamedata voor vak 3

Datum begin	Datum eind	Datum begin	Datum eind
8 juli 1955	15 september 1955	5 maart 1984	18 juli 1984
4 juli 1960	25 november 1960	28 januari 1986	17 juli 1986
1 juli 1964	19 oktober 1964	31 mei 1988	12 juli 1988
29 maart 1966	29 augustus 1966	8 januari 1990	14 maart 1990
5 april 1968	20 juli 1968	1 april 1992	6 april 1992
13 april 1970	22 september 1970	21 juni 1994	8 juli 1994
21 april 1972	21 september 1972	19 februari 1996	1 maart 1996
21 maart 1974	30 september 1974	28 juli 1997	2 oktober 1997
4 maart 1976	29 april 1976	13 mei 1998	26 juni 1998
6 januari 1978	22 mei 1978	28 oktober 1999	9 november 1999
7 januari 1980	8 mei 1980	18 april 2000	25 mei 2000
13 februari 1982	13 mei 1982	22 maart 2001	9 april 2001

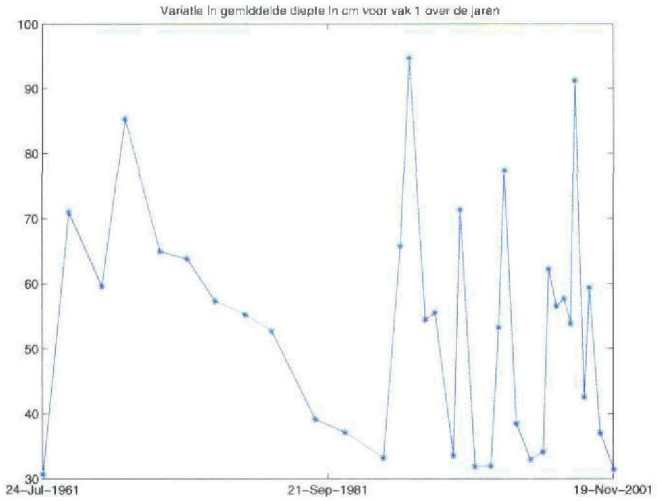
Tabel 4: Opnamedata voor vak 4

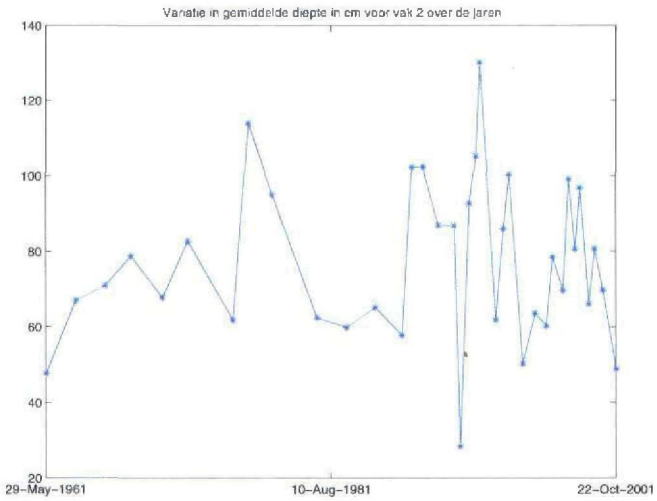
Datum begin	Datum eind	Datum begin	Datum eind
2 augustus 1955	15 november 1955	24 september 1984	22 november 1984
8 maart 1960	14 oktober 1960	7 maart 1986	8 oktober 1986
12 mei 1964	6 juli 1964	18 juli 1988	22 november 1988
4 april 1966	23 september 1966	9 januari 1990	15 maart 1990
29 juli 1968	14 november 1968	5 augustus 1992	16 september 1992
6 januari 1970	22 september 1970	6 juni 1994	8 september 1994
14 mei 1972	11 december 1972	22 februari 1996	6 maart 1996
6 februari 1974	30 september 1974	17 maart 1997	18 augustus 1997
6 januari 1976	19 oktober 1976	16 februari 1998	27 maart 1998
26 januari 1978	18 september 1978	22 maart 1999	3 mei 1999
17 januari 1980	27 mei 1980	5 april 2000	8 mei 2000
1 maart 1982	18 juni 1982	13 februari 2001	12 maart 2001

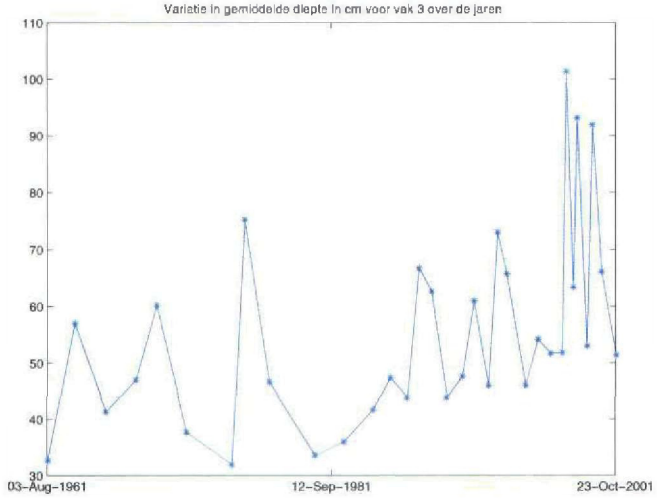
Tabel 5: Opnamedata voor vak 5

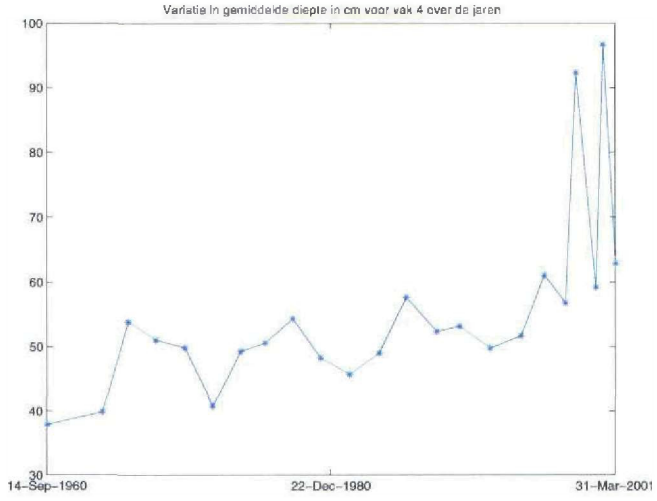
Datum begin	Datum eind	Datum begin	Datum eind
13 juli 1950	13 oktober 1950	1 mei 1984	1 december 1984
22 september 1955	7 december 1955	25 februari 1986	8 juli 1986
16 mei 1960	16 augustus 1960	15 augustus 1988	13 november 1988
13 april 1964	14 november 1964	3 april 1990	21 november 1990
15 maart 1966	20 oktober 1966	27 november 1991	3 januari 1992
4 april 1968	6 augustus 1968	1 februari 1994	26 april 1994
19 januari 1970	3 augustus 1970	5 februari 1996	8 maart 1996
8 augustus 1972	27 oktober 1972	25 juni 1997	20 augustus 1997
7 januari 1974	8 augustus 1974	16 maart 1998	5 augustus 1998
6 januari 1976	27 augustus 1976	22 april 1999	15 juni 1999
17 mei 1978	19 juli 1978	7 juni 2000	15 juni 2000
3 april 1980	29 mei 1980	9 februari 2001	21 februari 2001
5 januari 1982	17 juli 1982		

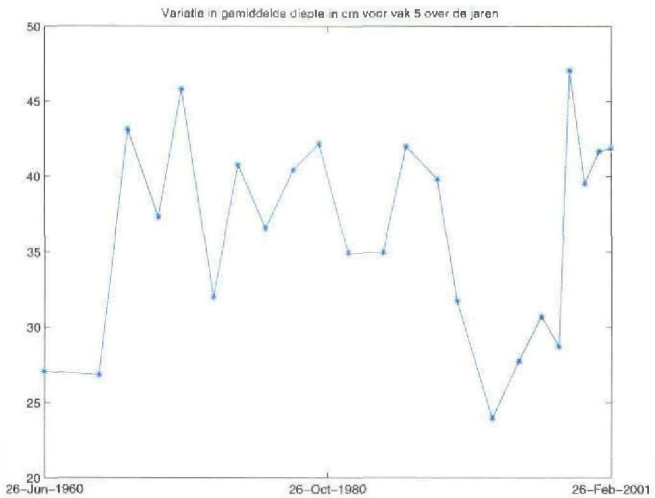
Tabel 6: Opnamedata voor vak 6

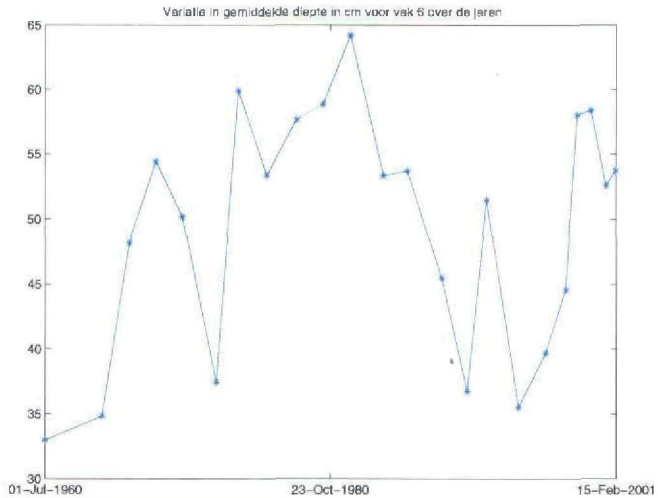

Variatie in gemiddelde diepte in cm voor vak 1 over de jaren
100
90
80
70
60
50
40
30
24-Jul-1961
21-Sep-1981
19-Nov-2001

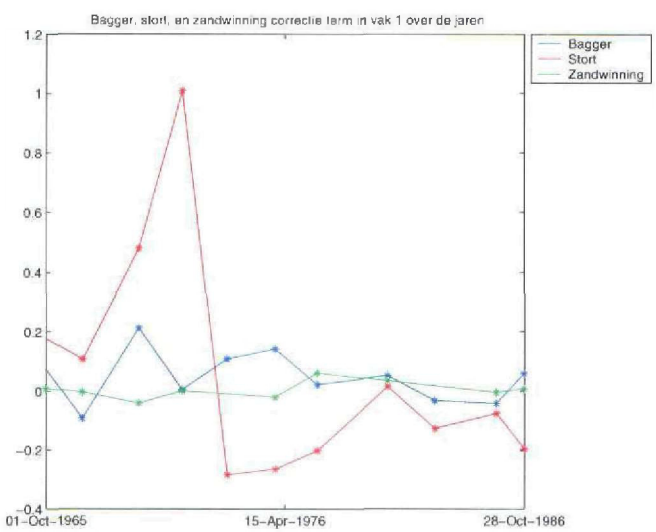

Variatie in gemiddelde diepte in cm voor vak 2 over de jaren
140
120
100
80
60
40
20
29-May-1961
10-Aug-1981
22-Oct-2001

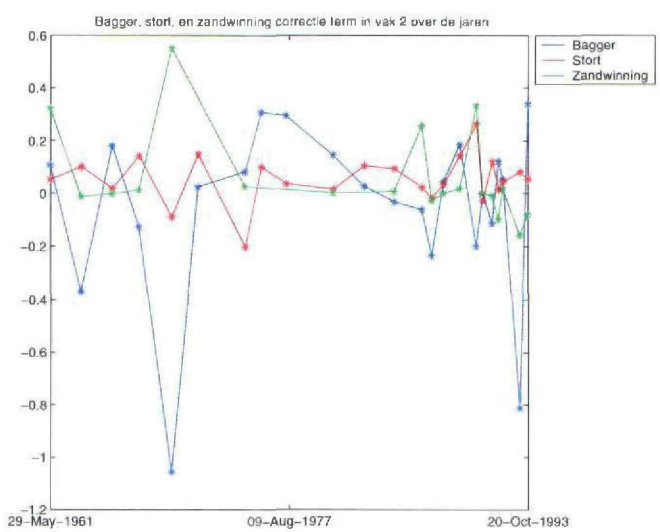

Variatie in gemiddelde diepte in cm voor vak 3 over de jaren
110
100
90
80
70
60
50
40
30
03-Aug-1961
12-Sep-1981
23-Oct-2001

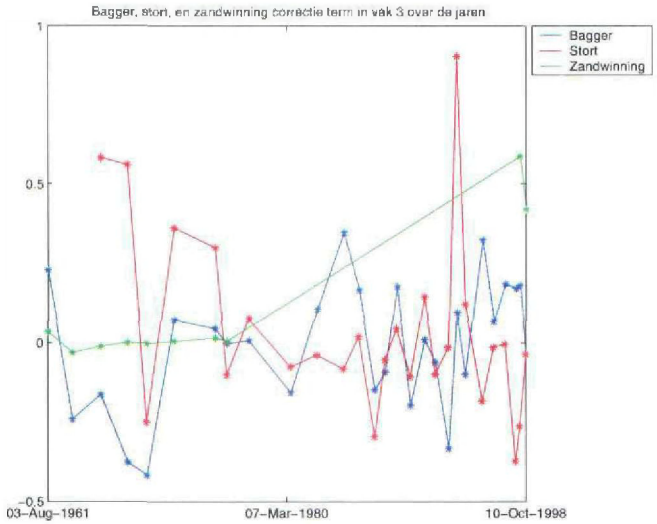

Variatie in gemiddelde diepte in cm voor vak 4 over de jaren
100
90
80
70
60
50
40
30
14-Sep-1960
22-Dec-1980
31-Mar-2001

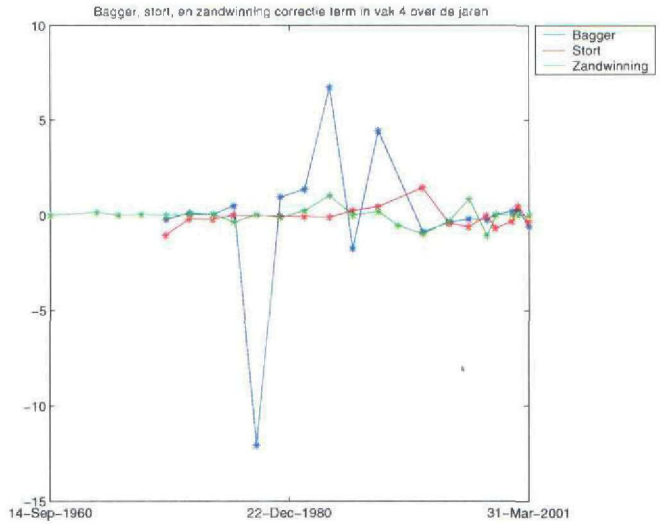

Variatie in gemiddelde diepte in cm voor vak 5 over de jaren
50
45
40
35
30
25
20
26-Jun-1960
26-Oct-1980
26-Feb-2001

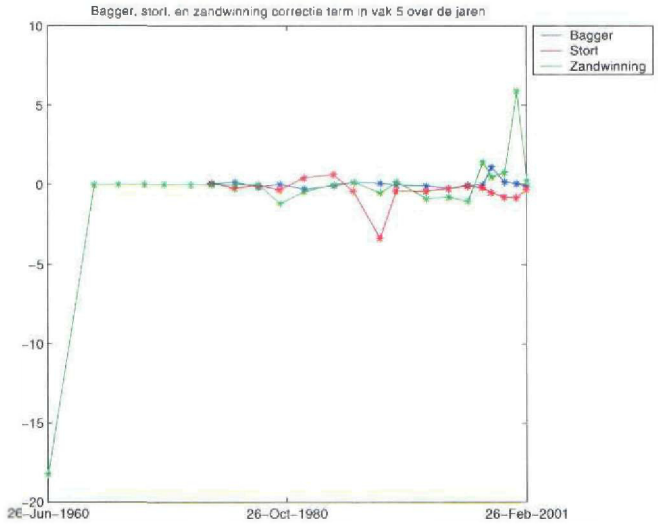

Variatie in gemiddelde diepte in cm voor vak 6 over de jaren
65
60
55
50
45
40
35
30
01-Jul-1960
23-Oct-1980
15-Feb-2001

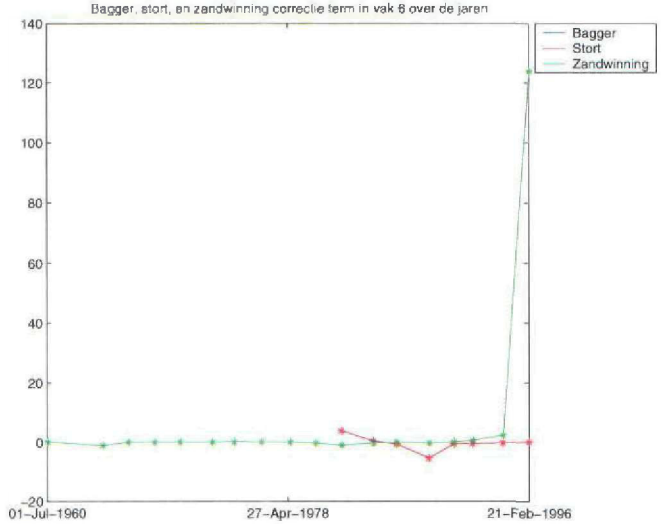

Bagger, storl, en zandwinning correctie term in vak 1 over de jaren
Bagger
Stort
Zandwinning
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
01-Oct-1965
15-Apr-1976
28-Oct-1986

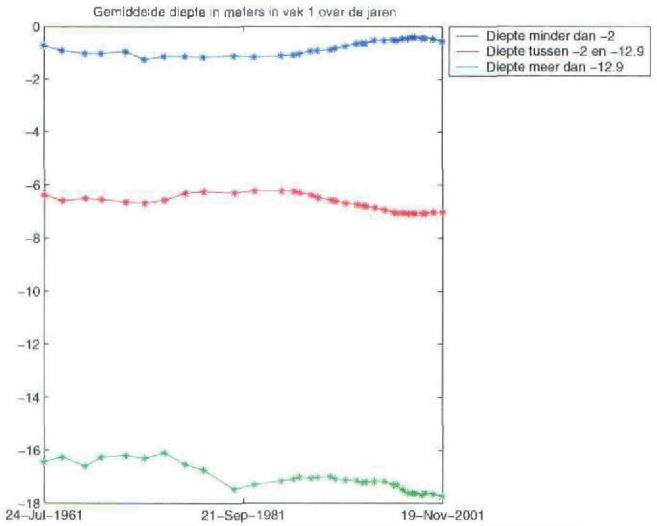

Bagger, storl, en zandwinning correctie term in vak 2 over de jaren
Bagger
Stort
Zandwinning
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1.2
29-May-1961
09-Aug-1977
20-Oct-1993

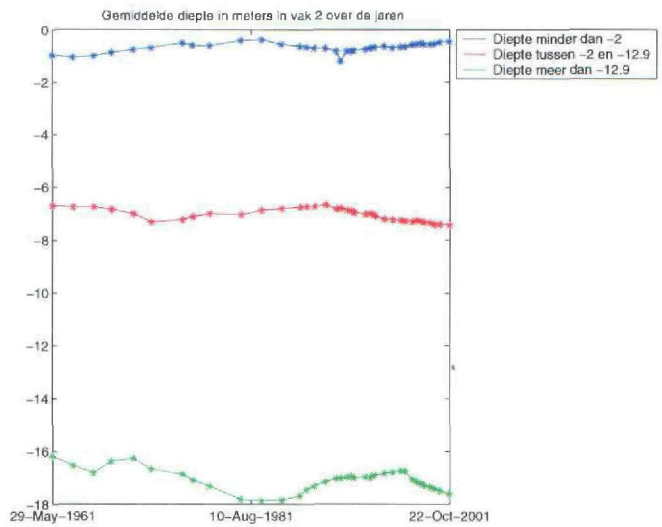

Bagger, stort, en zandwinning correctie term in vak 3 over de jaren
Bagger
Stort
Zandwinning
1
0.5
0
−0.5
03−Aug−1961
07−Mar−1980
10−Oct−1998

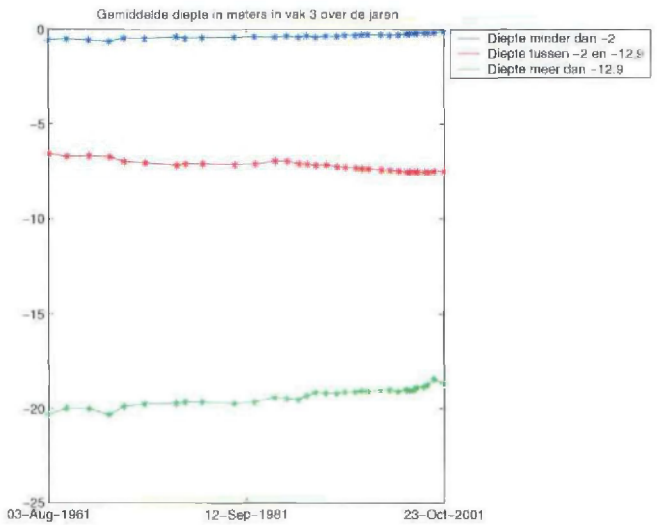

Bagger, stort, en zandwinning correctie term in vak 4 over de jaren
Bagger
Stort
Zandwinning
10
5
0
−5
−10
−15
14−Sep−1960
22−Dec−1980
31−Mar−2001

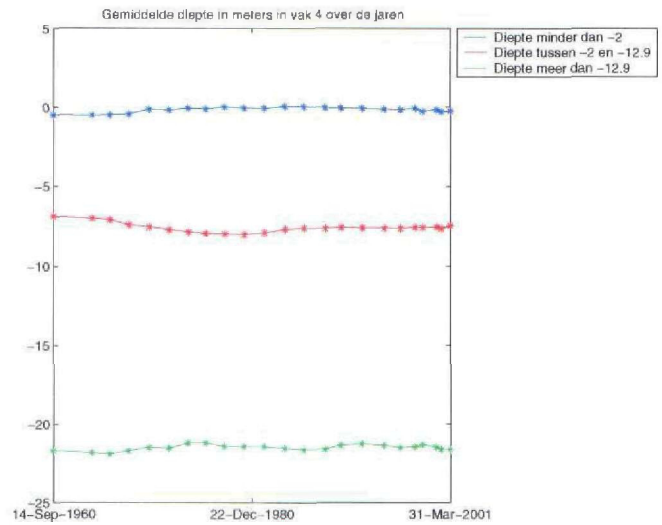

Bagger, stort, en zandwinning correctie term in vak 5 over de jaren
Bagger
Stort
Zandwinning
10
5
0
−5
−10
−15
−20
26−Jun−1960
26−Oct−1980
26−Feb−2001

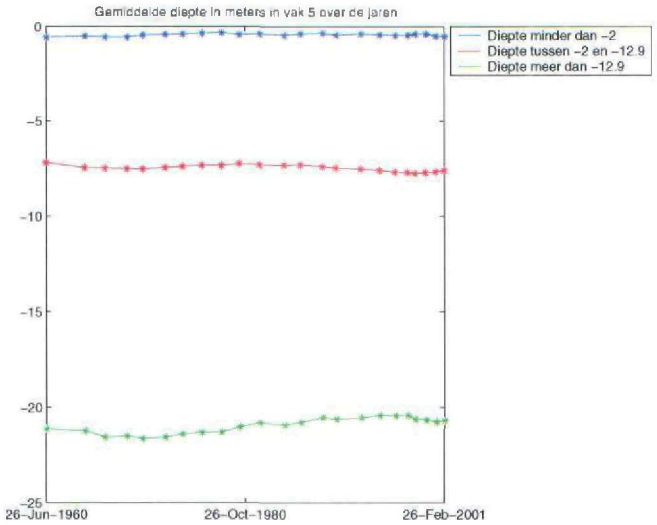

Bagger, stort, en zandwinning correctie term in vak 6 over de jaren
Bagger
Stort
Zandwinning
140
120
100
80
60
40
20
0
−20
01−Jul−1960
27−Apr−1978
21−Feb−1996

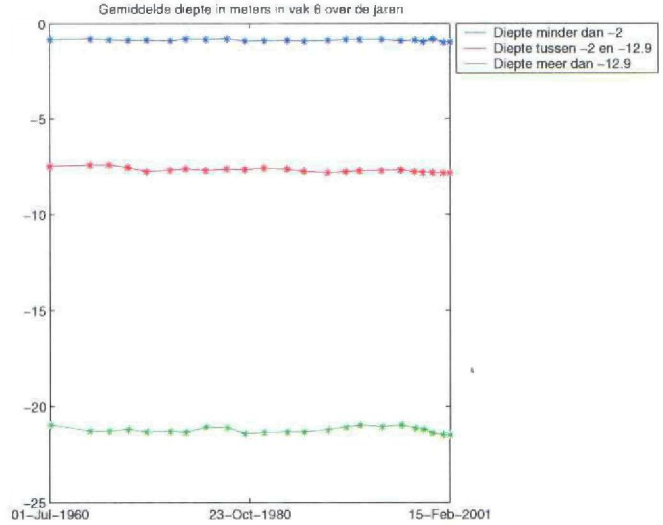

Gemiddelde diepte in meters in vak 1 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
0
−2
−4
−6
−8
−10
−12
−14
−16
−18
24−Jul−1961
21−Sep−1981
19−Nov−2001

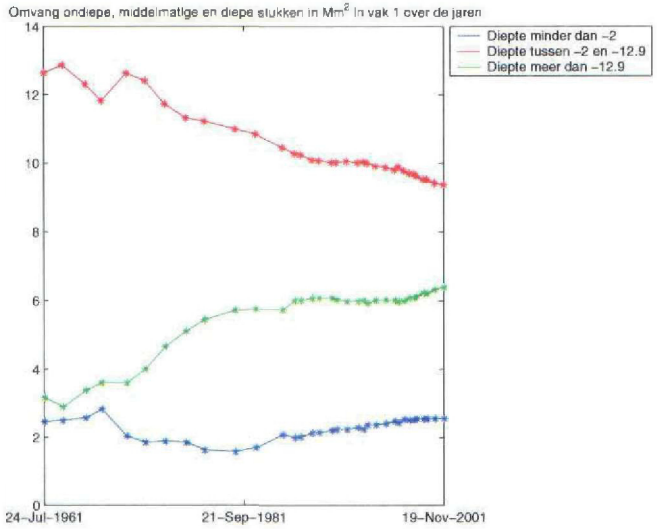

Gemiddelde diepte in meters in vak 2 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
0
−2
−4
−6
−8
−10
−12
−14
−16
−18
29−May−1961
10−Aug−1981
22−Oct−2001

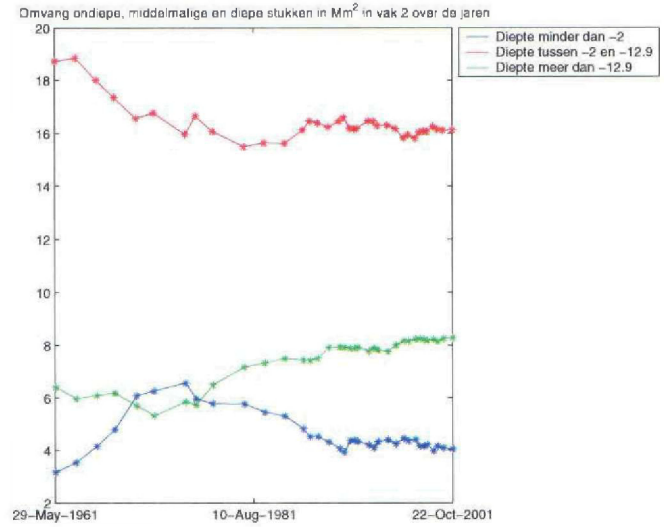

Gemiddelde diepte in meters in vak 3 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
0
−5
−10
−15
−20
−25
03−Aug−1961
12−Sep−1981
23−Oct−2001

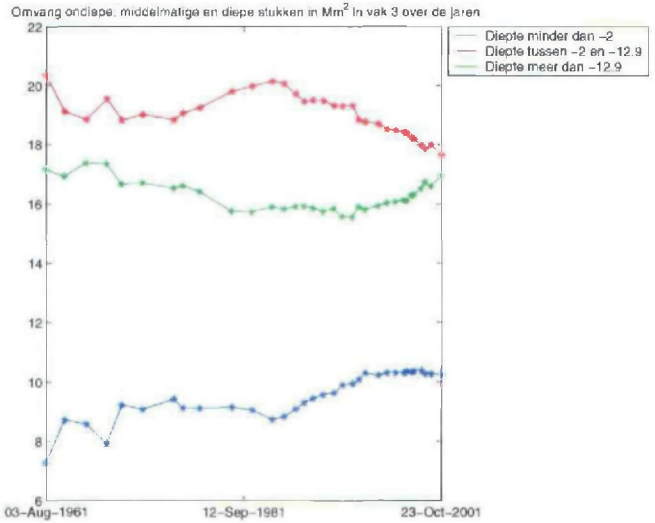

Gemiddelde diepte in meters in vak 4 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
5
0
−5
−10
−15
−20
−25
14−Sep−1960
22−Dec−1980
31−Mar−2001

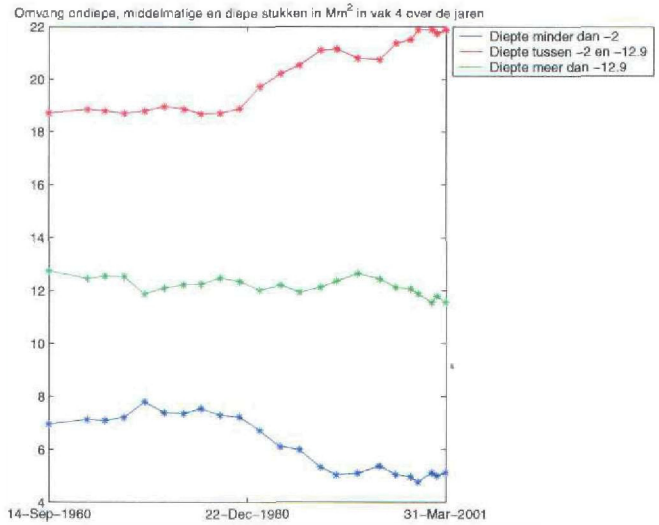

Gemiddelde diepte in meters in vak 5 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
0
−5
−10
−15
−20
−25
26−Jun−1960
26−Oct−1980
26−Feb−2001

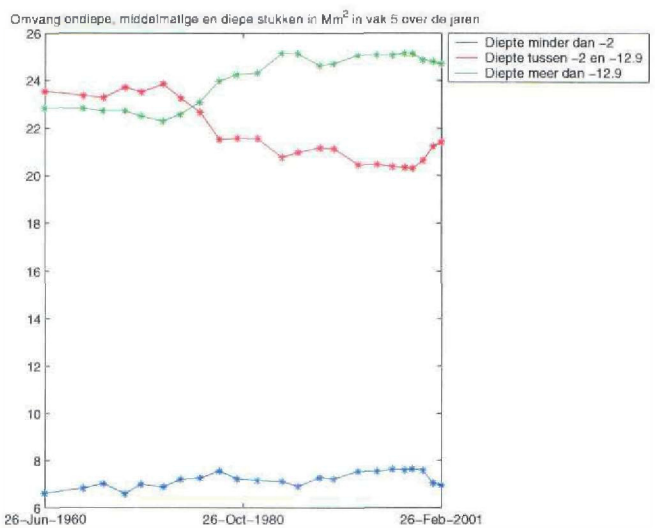

Gemiddelde diepte in meters in vak 6 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
0
−5
−10
−15
−20
−25
01−Jul−1960
23−Oct−1980
15−Feb−2001

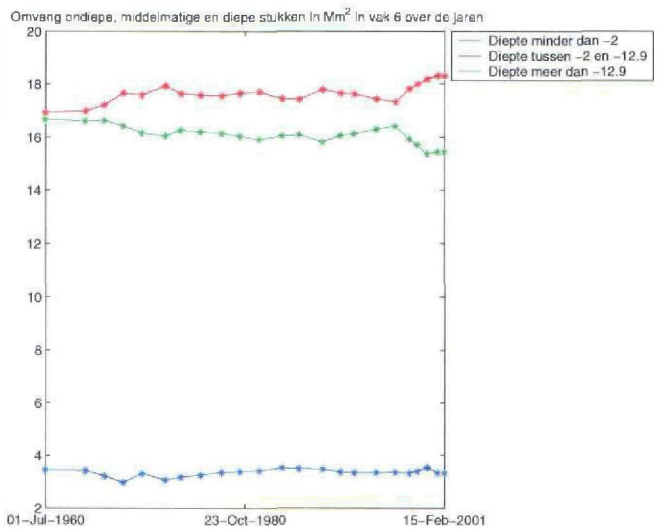

Omvang ondiepe, middelmatige en diepe stukken in Mm^2 in vak 1 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
14
12
10
8
6
4
2
0
24−Jul−1961
21−Sep−1981
19−Nov−2001

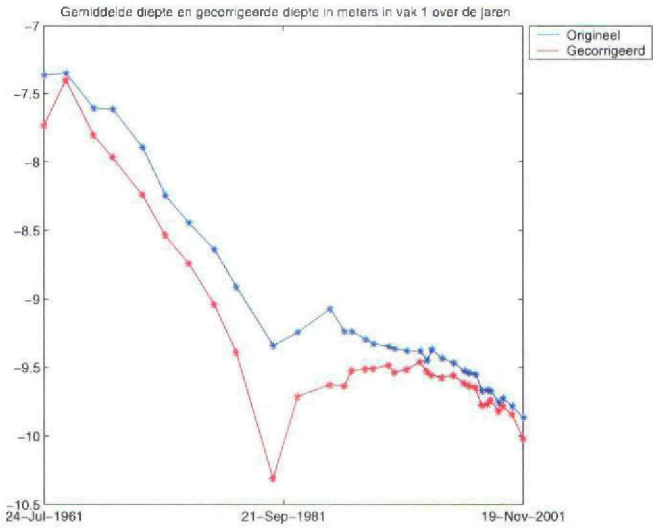

Omvang ondiepe, middelmatige en diepe stukken in Mm^2 in vak 2 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
29−May−1961
10−Aug−1981
22−Oct−2001

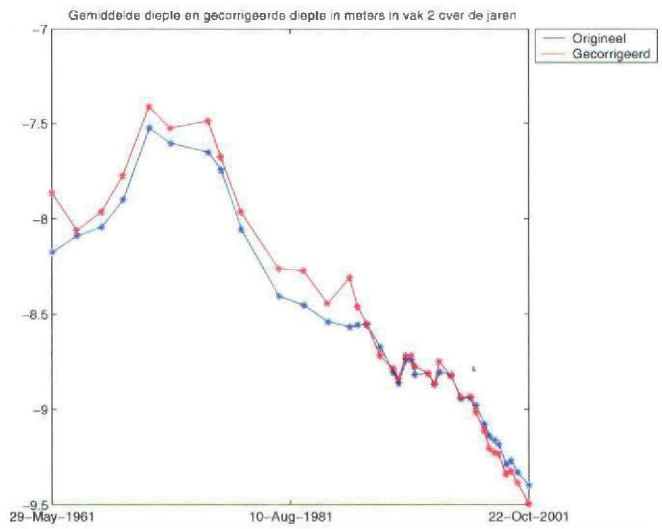

Omvang ondiepe, middelmatige en diepe stukken in Mm^2 in vak 3 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
22
20
18
16
14
12
10
8
6
03−Aug−1961
12−Sep−1981
23−Oct−2001

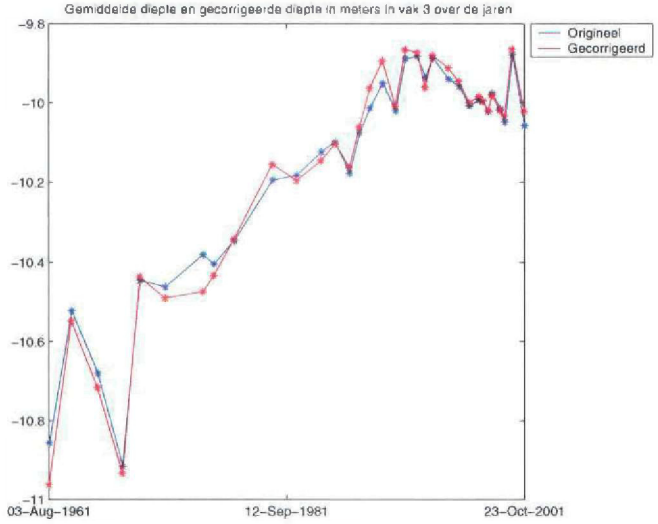

Omvang ondiepe, middelmatige en diepe stukken in Mm^2 in vak 4 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
14−Sep−1960
22−Dec−1980
31−Mar−2001

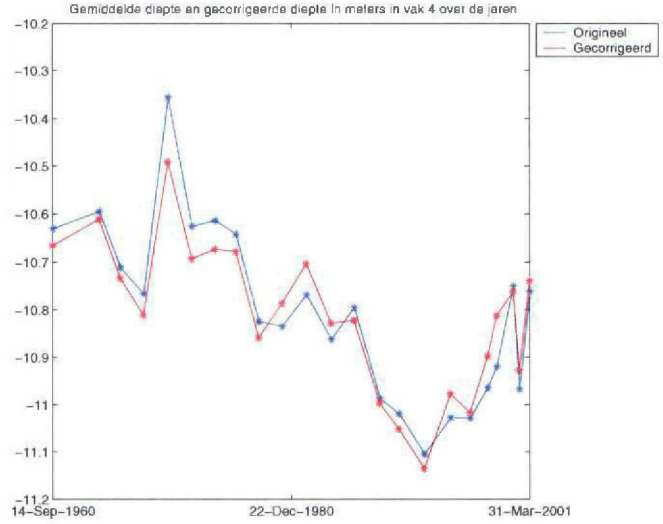

Omvang ondiepe, middelmatige en diepe stukken in Mm^2 in vak 5 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
26−Jun−1960
26−Oct−1980
26−Feb−2001

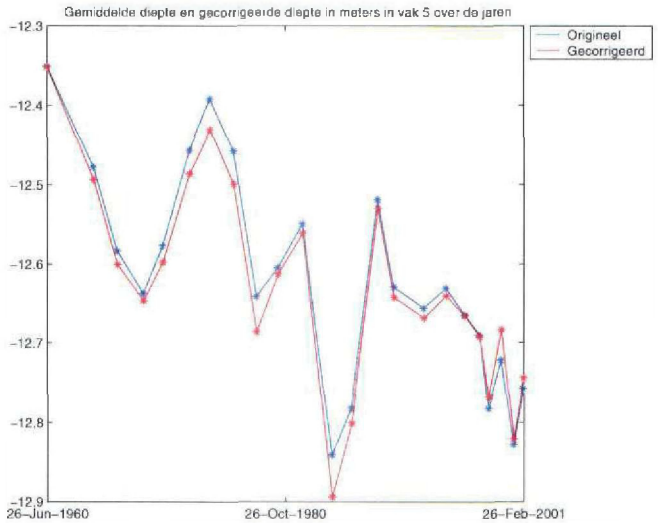

Omvang ondiepe, middelmatige en diepe stukken in Mm^2 in vak 6 over de jaren
Diepte minder dan −2
Diepte tussen −2 en −12.9
Diepte meer dan −12.9
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
01−Jul−1960
23−Oct−1980
15−Feb−2001

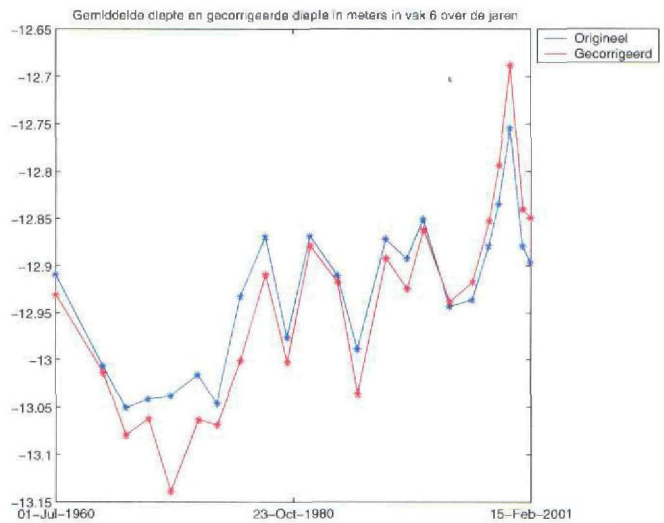

Gemiddelde diepte en gecorrigeerde diepte in meters in vak 1 over de jaren
Origineel
Gecorrigeerd
−7
−7.5
−8
−8.5
−9
−9.5
−10
−10.5
24−Jul−1961
21−Sep−1981
19−Nov−2001


Gemiddelde diepte en gecorrigeerde diepte in meters in vak 2 over de jaren
Origineel
Gecorrigeerd
−7
−7.5
−8
−8.5
−9
−9.5
29−May−1961
10−Aug−1981
22−Oct−2001


Gemiddelde diepte en gecorrigeerde diepte in meters in vak 3 over de jaren
Origineel
Gecorrigeerd
−9.8
−10
−10.2
−10.4
−10.6
−10.8
−11
03−Aug−1961
12−Sep−1981
23−Oct−2001


Gemiddelde diepte en gecorrigeerde diepte in meters in vak 4 over de jaren
Origineel
Gecorrigeerd
−10.2
−10.3
−10.4
−10.5
−10.6
−10.7
−10.8
−10.9
−11
−11.1
−11.2
14−Sep−1960
22−Dec−1980
31−Mar−2001


Gemiddelde diepte en gecorrigeerde diepte in meters in vak 5 over de jaren
Origineel
Gecorrigeerd
-12.3
-12.4
-12.5
-12.6
-12.7
-12.8
-12.9
26-Jun-1960
26-Oct-1980
26-Feb-2001


Gemiddelde diepte en gecorrigeerde diepte in meters in vak 6 over de jaren
Origineel
Gecorrigeerd
-12.65
-12.7
-12.75
-12.8
-12.85
-12.9
-12.95
-13
-13.05
-13.1
-13.15
01-Jul-1960
23-Oct-1980
15-Feb-2001

Bibliografie

[1] B. Dauwe en B. Peters, *Plan van aanpak MOVE/EVALUATIERAPPORT 2003 – Toeleverende studies aan het MOVE Evaluatierapport 2003.* Werkdocument RIKZ/AB/2002.816X, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg, 2002.

[2] H. Gerritsen en H.F.P. van den Boogaard, *Getijanalyse Westerschelde. Datarapport getijkomponenten, toepassing van Principal Component Analysis.* Rapport Z2591, Waterloopkundig Laboratorium | Delft Hydraulics, Delft, 1998. Rapport in opdracht van RIKZ.

[3] H. Gerritsen, Z.B. Wang, A v.d. Weck, *Morfologische interpretatie van de veranderingen in het getij van de Westerschelde.* Rapport Z2671, Waterloopkundig Laboratorium | Delft Hydraulics, Delft, 1999. Rapport in opdracht van RIKZ.

[4] S. Graas, *Verloop van het getijverschil over het Schelde estuarium.* Afstudeerrapport TU Delft, Delft, oktober 2001.

[5] G.-J. Liek, *Monitoring van de effecten van de verruiming 48'-43' – beschrijving van de fysische toestand van de Westerschelde t/m 2000.* Rapport 5, Rapport RIKZ/2001.023, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg, 2001.

[6] B.B. Parker, The relative importance of the various nonlinear mechanisms in a wide range of tidal interactions (review). In: B.B. Parker (Ed.), *Tidal hydrodynamics*, Wiley, New York, 1991. Pagina's 237–268.

[7] T. Pieters, *Het Scheldegetij – beschrijving en analyse van het getij in het Schelde estuarium.* Rapport BGW-0102 in opdracht van RIKZ, juni 2002.

[8] B. Schouwenaar, *Morfologische ontwikkeling Westerschelde 1931-2000.* Werkdocument RIKZ /AB/2001.832x, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Middelburg, 2001.

[9] Ingenieursbureau Svašek B.V., *Getijanalyse Westerscheldemond deel 1.* Project K2000 *KOP, Rotterdam, 1997. Rapport in opdracht van RIKZ.

[10] Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs, *Getijanalyse Westerschelde.* Deventer, 1999. Rapport in opdracht van RIKZ.

[11] Z.B. Wang, C. Jeuken en H.J. de Vriend, *Tidal asymmetry and residual sediment transport in estuaries – A literature study and application to the Western Scheldt.* Waterloopkundig Laboratorium | Delft Hydraulics, Delft, 1999. Rapport in opdracht van RIKZ.

[12] Gegevens over 94 harmonische componenten in de waterstand. Per email aangeleverd door J. Doekes, Rijkswaterstaat RIKZ/ITB.