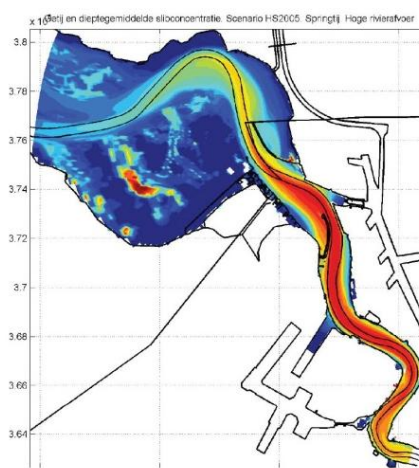


Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie



LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid

Data-analyse waterstanden Westerschelde


Basisrapport grootschalige ontwikkeling G-1


01 oktober 2013

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerpen, België

: + 32 3 270 92 95


: + 32 3 235 67 11


Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Deltares

Adres: Rotterdamseweg 185, 2600 MH Delft, Nederland

: + 31 (0)88 335 8273


: +31 (0)88 335 8582


Email: info@deltares.nl

Website: www.deltares.nl

Svašek Hydraulics BV

Adres: Schiehaven 13G, 3024 EC Rotterdam, Nederland

: +31 10 467 13 61


: +31 10 467 45 59


Email: info@svasek.com

Website: www.svasek.com

ARCADIS Nederland BV

Adres: Nieuwe Stationsstraat 10, 6811 KS Arnhem, Nederland

: +31 (0)26 377 89 11

: +31 (0)26 377 85 60

Email: info@arcadis.nl

Website: www.arcadis.nl

Document Identificatie

Titel	Data-analyse waterstanden Westerschelde
Project	Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie
Opdrachtgever	Afdeling Maritieme Toegang - Tavernierkaai 3 - 2000 Antwerpen
Bestek nummer	16EF/2010/14
Documentref	I/RA/11387/12.296/GVH
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11387 - Instandhouding Vaarpassen Schelde\10-Rap\Op te leveren rapporten\Oplevering 2013.10.01\werkdocumenten\G-1 - Data-analyse waterstanden Westerschelde_v2.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	28/11/2012	Finaal	Z. B. Wang	H.Winterwerp	M. Taal
1.1	31/03/2013	Klaar voor revisie	Z. B. Wang	H.Winterwerp	M. Taal
2.0	01/10/2013	FINAAL	Z. B. Wang	H.Winterwerp	M. Taal

Verdeellijst

1	Analoog	Youri Meersschaut
1	Digitaal	Youri Meersschaut

Fourieranalyse waterstanden Westerschelde

Rapport G-1, LTV Veiligheid en Toegankelijkheid



Titel
Fourieranalyse waterstanden Westerschelde

Opdrachtgever
LTV




Project
1204686-000

Pagina's
22

Trefwoorden
Westerschelde, Data analyse, Getij

Samenvatting

De gegevens van waterstanden gemeten bij verschillende stations langs de Westerschelde sinds 1971 zijn geanalyseerd door Fourier series van achtereenvolgende perioden met een lengte van ongeveer 25 uur. Met de resultaten zijn twee aspecten van de getijbeweging in het estuarium bekeken: de voortplanting en amplificatie van het dubbeldaagse getij, en de asymmetrie van het getij of wel vervorming van de getijgolf in het estuarium.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	sept. 2013	prof. dr. ir. Z.B. Wang		prof. dr. ir. J.C. Winterwerp		drs. F.M.J. Hoozemans	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doelstellingen en leeswijzer	2
2 Gebruikte gegevens en methode van analyse	3
2.1 Gebruikte gegevens	3
2.2 Methode van analyse	5
3 Resultaten van de analyse	6
3.1 Resultaten per station	6
3.2 Amplificatie en voortplanting van het getij binnen het estuarium	10
3.3 Asymmetrie van het getij	16
4 Conclusies en aanbevelingen	21
4.1 Samenvatting conclusies	21
4.2 Aanbevelingen	22
5 Referenties	23

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Vanuit het beheer bestaat de behoefte om meer inzicht te krijgen in de effecten van menselijk ingrijpen in het Schelde-estuarium ten gunste van de veiligheid, toegankelijkheid en de natuurlijkheid van het systeem. Om uitspraken te kunnen doen over effecten van menselijk ingrijpen is het noodzakelijk om meer inzicht in de natuurlijke processen in het Schelde-estuarium te verkrijgen. Het programma 'LTV-Veiligheid en Toegankelijkheid' probeert hier zo goed mogelijk aan tegemoet te komen. Een deel van het programma richt zich op de grootschalige waterbeweging en sedimenthuishouding. Deze spelen een belangrijke rol voor alle functies in het Schelde-estuarium, denk aan Toegankelijkheid (onderhoudsbaggerwerk en stortbeleid), Natuurlijkheid (ontwikkeling morfologische elementen) en Veiligheid (ontwikkeling hoogwaters). Het is ook van belang voor het inrichten van een (grensoverschrijdend) sedimentbeheer dat alle drie deze functies zo goed mogelijk bedient.

De beheersvragen zijn door de VNSC samengebracht. Voor de rapportages over grootschalige waterbeweging en sedimenthuishouding zijn er twee samenhangende sets vragen vanuit: (i) het Nederlandse Deltaprogramma, over sedimentbehoefte en (ii) over de ontwikkeling van het getij. Deze worden verderop kort toegelicht.

De beheersvragen die te maken hebben met de grootschalige waterbeweging en sedimenthuishouding worden samengevat als:

'Hoe kunnen de menselijke ingrepen in en rondom het Schelde Estuarium worden aangestuurd / bijgestuurd om de grootschalige sedimenthuishoudingen te beïnvloeden ten gunste van de veiligheid, toegankelijkheid en natuurlijkheid van het systeem?'

Het gaat hierbij om zowel het estuarium als de kust, dus het kustsysteem. De ingrepen waarop gedoeld wordt zijn zandwinning, baggeren en storten, natuurherstelprojecten en kustonderhoud.

Vragen van Nederlandse deltaprogramma, over sedimentbehoefte en sedimentbeheer

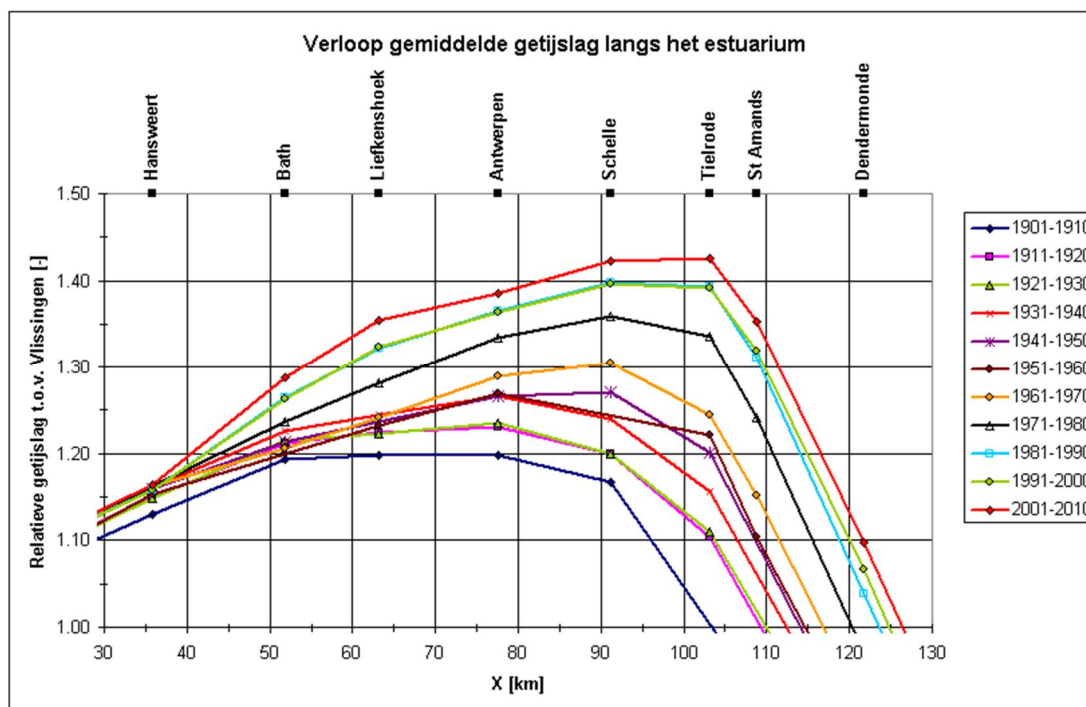
Een belangrijke reden voor het onderzoek naar grootschalig gedrag van het Schelde-estuarium zijn de beheersvragen vanuit het Nederlandse deltaprogramma. Hiervoor is kennis nodig over de ontwikkeling van het estuarium op de langere tijdschaal, in samenhang met de kust. De veiligheid op de lange termijn, met behoud van functies, staat daarbij hoog op de agenda. Hierbij horen de vragen V1, V5 en V7 van de VNSC:

- Op welke tijdschaal zullen binnen het estuarium de veranderde stroming en de zandvoorraden in evenwicht zijn?
- Hoe belangrijk is sedimenttransport via de monding van het estuarium voor de ontwikkeling van de Voordelta? Zijn er relaties met de andere Deltabekkens?
- Wat is het effect van zeespiegelstijging op de sedimentbalans tussen de Voordelta en de Deltawateren? Wat is het effect van maatregelen?

Vragen over de ontwikkeling van het getij

Het getij in het Schelde-estuarium ontwikkelt zich al heel lang in een minder gunstige richting. De maximale getijslag (het verschil tussen laag- en hoogwater) is, zie Figuur 1.1, toegenomen en heeft zich stroomopwaarts verplaatst. De stromingen door de geulen en over de intergetijdengebieden werden tegelijkertijd sterker. Ook de verschillen tussen de stroming tijdens eb en vloed veranderden. Dat laatste betekent dat de transporten van zand en slib

kunnen zijn veranderd, met elk hun eigen gevolgen voor de LTV-functies en de ontwikkeling van de bodem.



Figuur 1.1: De verandering van de amplificatie van de getijslag tijdens de laatste eeuw, van west naar oost langs de Schelde. De piek is hoger en meer landinwaarts (zie LTV V&T, rapport G-8)

Deze rapportage gaat in op de ontwikkeling van het getij, net als LTV-V&T-rapport G-8 en bestudeert dagelijkse waterstanden. Samenhangende beantwoording van de beheervragen, vanuit de kennis van de grootschalige waterbeweging en sedimenthuishouding gebeurt in rapport LTV V&T G-13).

1.2 Doelstellingen en leeswijzer

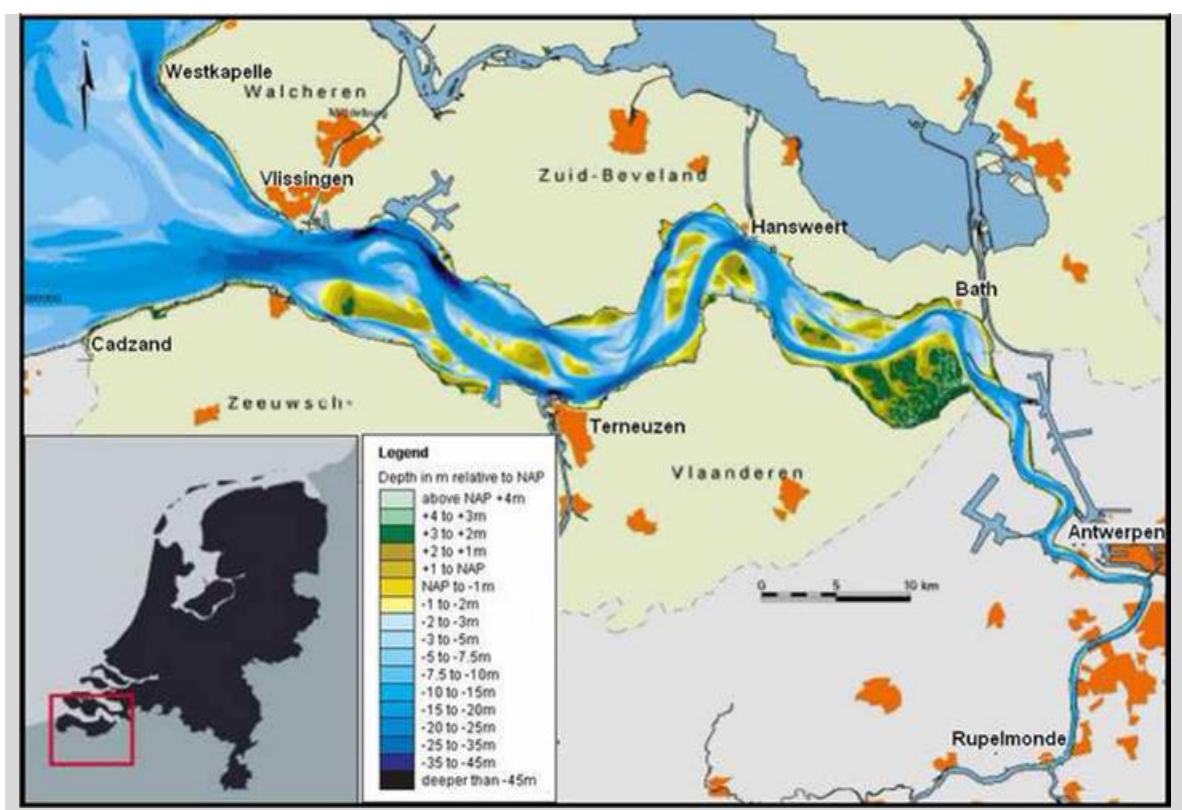
Dit rapport beschrijft de resultaten van één van de uitgevoerde activiteiten: analyse van de gegevens van waterstanden. Tot deze activiteit is besloten omdat de getijbeweging in het estuarium instantaan reageert op de morfologische veranderingen. De analyse is bedoeld om de veranderingen in de voortplanting en de vervorming van de getijgolf in het estuarium in detail te bepalen. De geconstateerde veranderingen zullen in LTV-V&T-rapport G-13 worden gerelateerd aan de morfologische veranderingen.

In het volgende hoofdstuk worden eerst de gebruikte gegevens en de methode van analyse beschreven. In Hoofdstuk 3 worden de resultaten van de analyse gerapporteerd en de conclusies van de analyse worden samengevat in hoofdstuk 4.

2 Gebruikte gegevens en methode van analyse

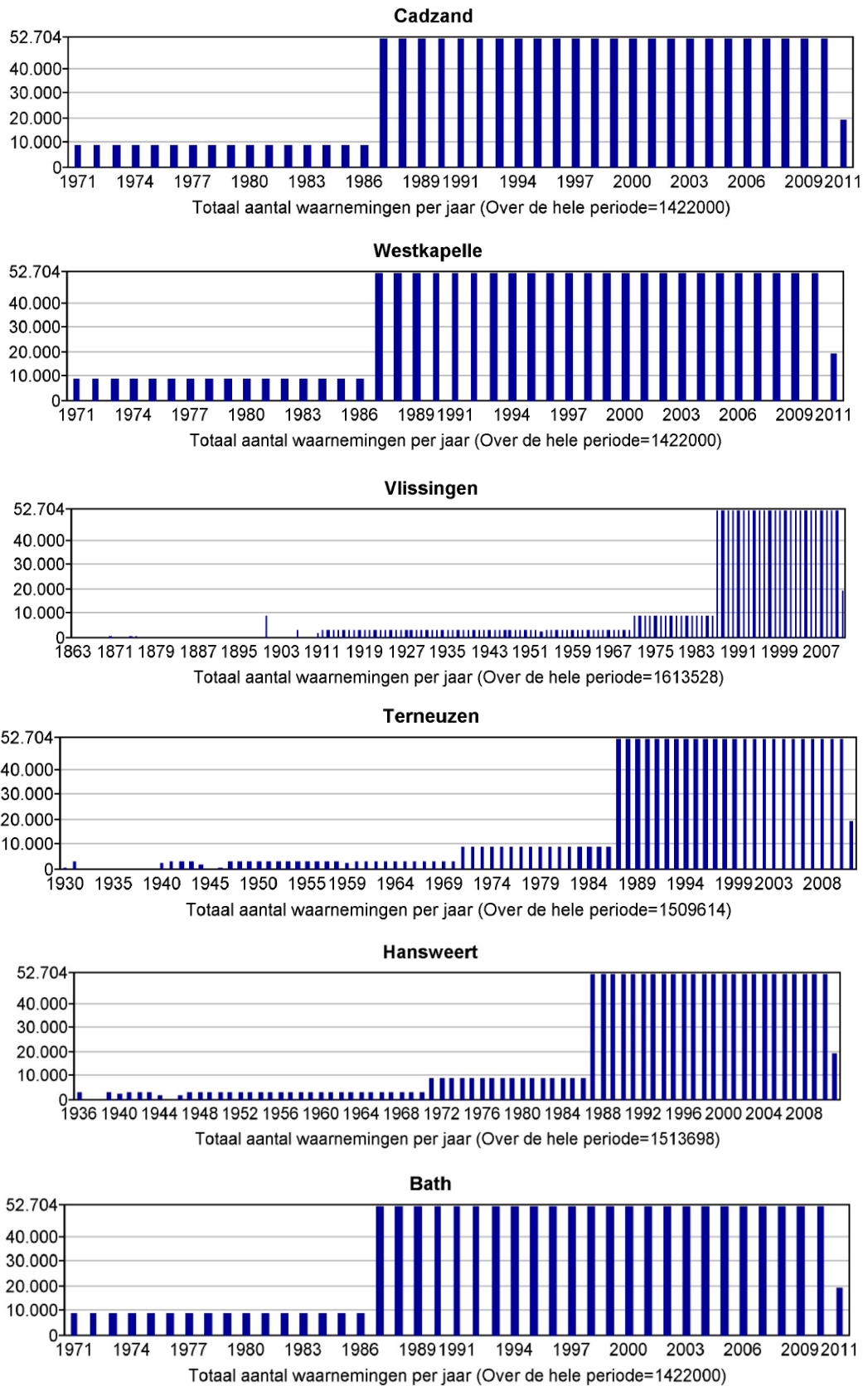
2.1 Gebruikte gegevens

In de huidige analyse zijn de waterstanden gebruikt die zijn gemeten bij 6 beschikbare stations langs de Westerschelde en het mondinggebied: Cadzand, Westkapelle, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Bath, zie Figuur 2.1.



Figuur 2.1. Schelde estuarium en locaties waterstandstations.

Op de zes stations zijn de metingen niet gelijk begonnen. De data beschikbaarheid is weergegeven in Figuur 2.2. Bij Vlissingen zijn waarnemingen vanaf de 19^e eeuw beschikbaar. Bij Bath is dit pas vanaf 1971. In de loop van de tijd is het tijdsinterval van waarnemingen kleiner geworden. Bij de oudste gegevens zijn alleen hoog- en laagwater bekend terwijl de meeste recente waarnemingen een tijdsinterval van 10 minuten hebben. Voor alle stations geldt dat in de periode tussen 1 januari 1971 t/m 31 december 1986 waarnemingen met een tijdsinterval van 1 uur beschikbaar zijn en vanaf 1 januari 1987 waarnemingen met een tijdsinterval van 10 minuten. Daarom is besloten de analyse te beginnen vanaf 1 januari 1971. De gegevens zijn gedownload van de internetsite van Rijkswaterstaat (<http://live.waterbase.nl/>).



Figuur 2.2 Aantal waarnemingen in het betreffende jaar bij de verschillende stations.

2.2 Methode van analyse

De dataset per station is een tijdserie. Voor de periode 1971-1986 wordt de tijdserie verdeeld in perioden van 25 uur. Voor iedere periode van 25 uur wordt een Fourier series bepaald. De analyse levert voor iedere 25 uur, de gemiddelde waterstand a_0 , de amplitudes en fasen van enkeldaagse (a_1 en f_1), dubbeldaagse (a_2 en f_2), viermaaldaagse (a_4 en f_4), en zesmaaldaagse (a_6 en f_6) componenten van het getij. Vanaf 1987 is dezelfde analyse gedaan maar dan voor iedere 24 uur en 50 minuten.

De voortplanting en amplificatie van het getij binnen het estuarium wordt geanalyseerd door de resultaten van twee stations met elkaar te vergelijken. Dit wordt gedaan door de amplitudeverhouding en het faseverschil tussen de twee stations van een bepaalde component te bepalen.

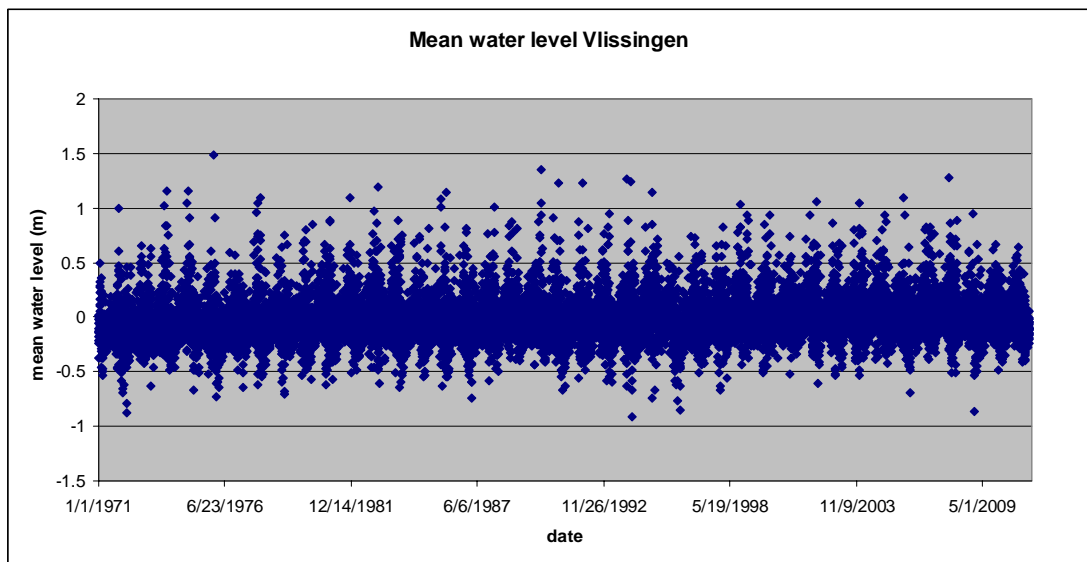
Er wordt gekeken naar twee aspecten, de amplificatie en de asymmetrie van het getij. Voor de amplificatie wordt vooral de amplitude van de dubbeldaagse getijcomponent beschouwd. Voor de asymmetrie wordt vooral het relatieve faseverschil tussen de viermaaldaagse en dubbeldaagse getijcomponenten ($f_4 - 2f_2$) beschouwd.

Het is bekend dat de hierboven genoemde parameters vaak een sterke springtij - doottij variatie vertonen. Om de scatters t.g.v. deze variatie uit te filteren wordt in enkele grafieken ook het lopende gemiddelde van een bepaalde parameter over 57 perioden bepaald.

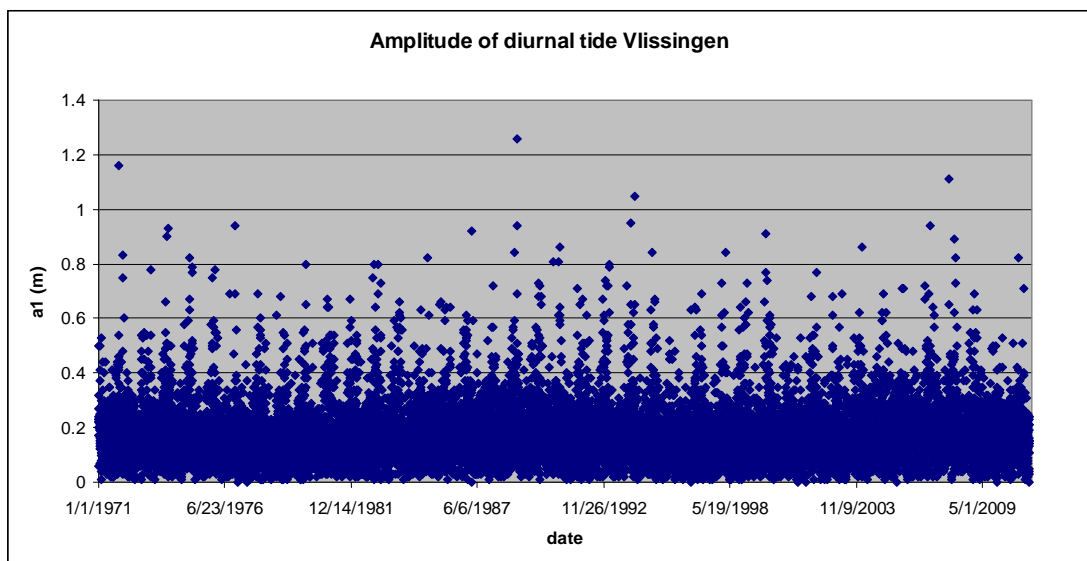
3 Resultaten van de analyse

3.1 Resultaten per station

De Fourier series levert per station de gemiddelde waterstand, de amplitudes en fasen van de enkel-, dubbel-, viermaal- en zesmaaldaagse getijdcomponenten. Voor het station Vlissingen zijn de resultaten van de amplitudes van de verschillende componenten gegeven in Figuur 3.1 t/m 3.5. Elke stip representeert een periode van 25 uur of 24 uur, 50 minuten.

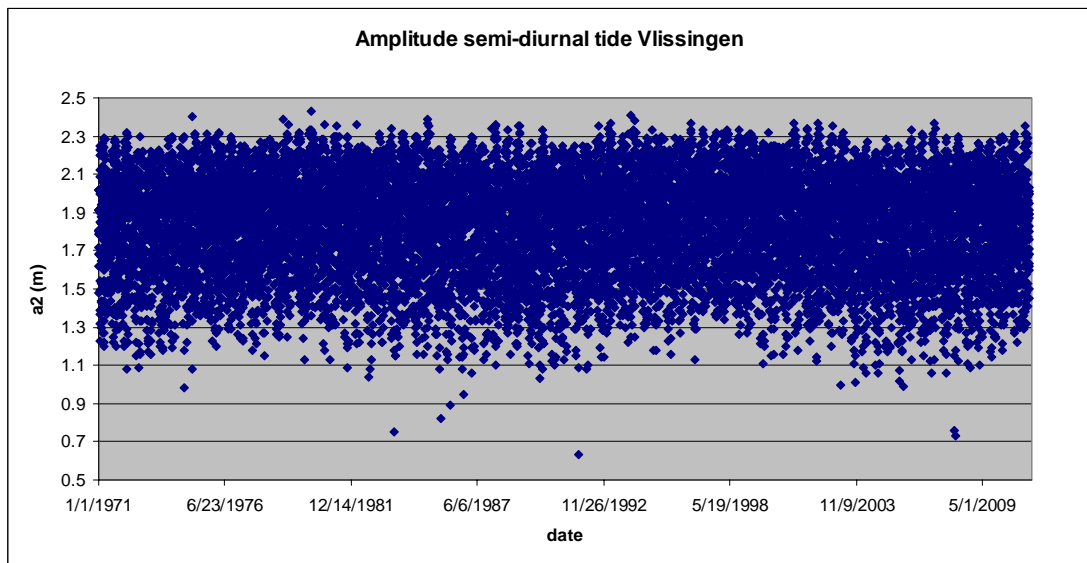


Figuur 3.1 Gemiddelde water stand bij Vlissingen.

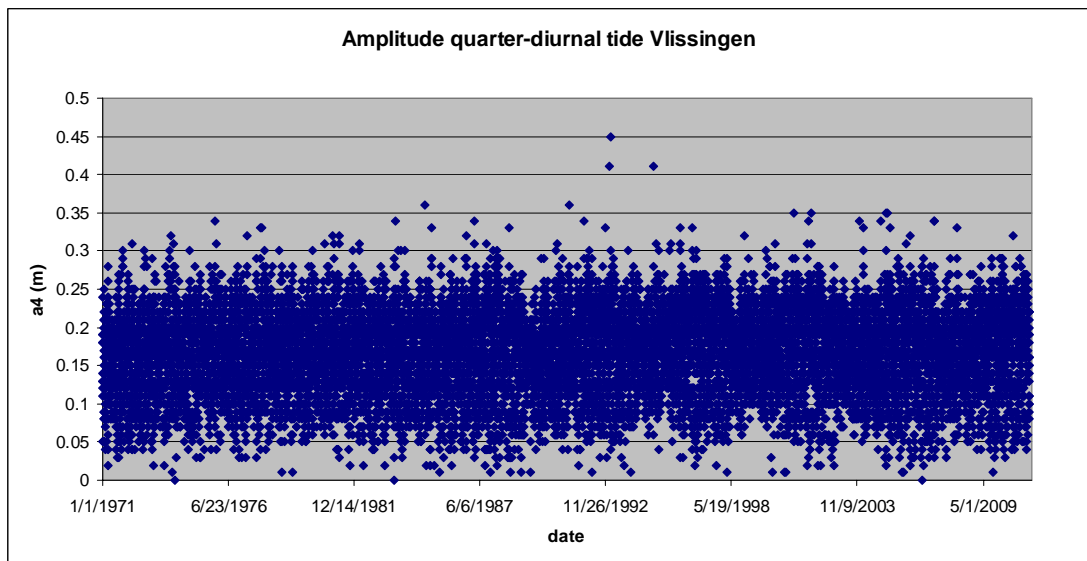


Figuur 3.2 Amplitude van enkeldaagse getij.

Opvallend is dat de gemiddelde waterstand een sterke variatie in de tijd vertoont. Uit Fig.3.1 is een seizoensvariatie te halen, vanwege de duidelijk herkenbare frequentie in de variatie met een periode van een jaar. Opvallender is dat een dergelijke variatie ook in de amplitude van het enkeldaagse getij zit (Fig.3.2). Een verklaring hiervoor is dat meteorologische invloeden (windopzet) variatie van de waterstand met een frequentie dicht bij die van het enkeldaagse getij veroorzaken. Verder laat de amplitude van het enkeldaagse getij de 18.6-jarige variatie zien, veel duidelijker zichtbaar dan bij het dubbeldaagse getij (Fig.3.3).

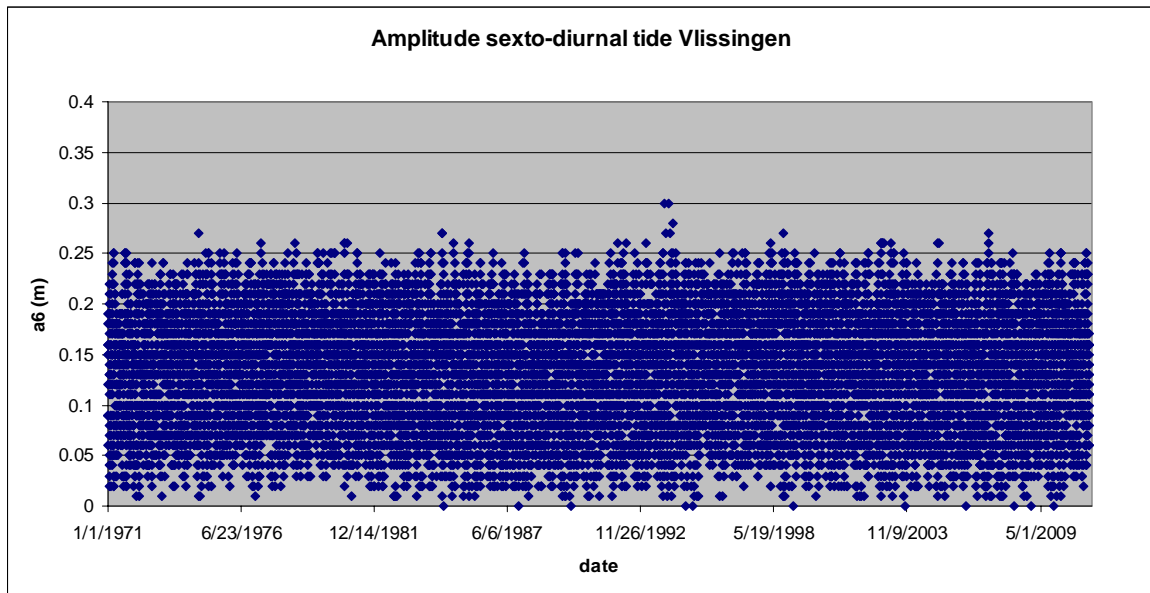


Figuur 3.3 Amplitude van dubbeldaagse getij.

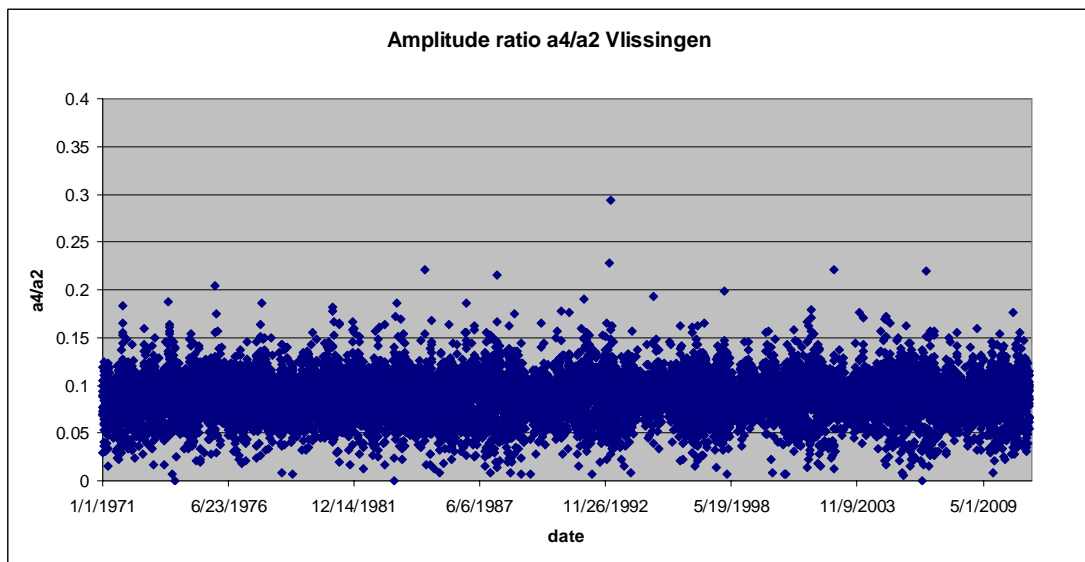


Figuur 3.4 Amplitude van viermaaldaagse getij.

De variatie van de amplitude van het dubbeldaagse getij laat in Fig.3.3 een grote variatie zien. Dit komt door dat de variatie gedomineerd wordt door de springtij – doodtij variatie. Hetzelfde geldt voor het viermaaldaagse getij (fig.3.4) en het zesmaaldaagse getij (Fig.3.5).



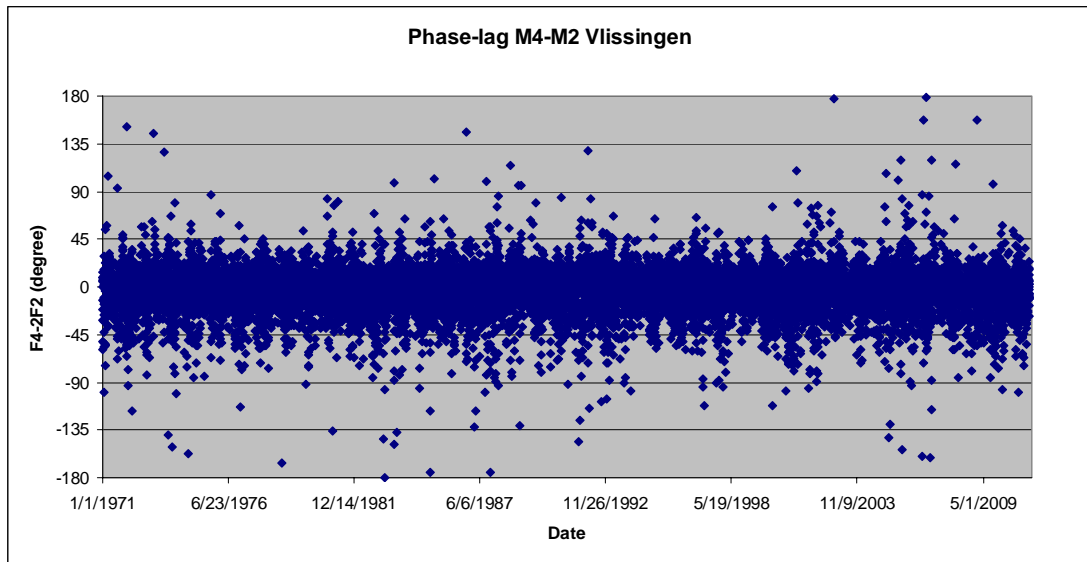
Figuur 3.5 Amplitude van zesmaaldaagse getij.



Figuur 3.6 Amplitudeverhouding tussen viermaal- en dubbeldaagse getij.

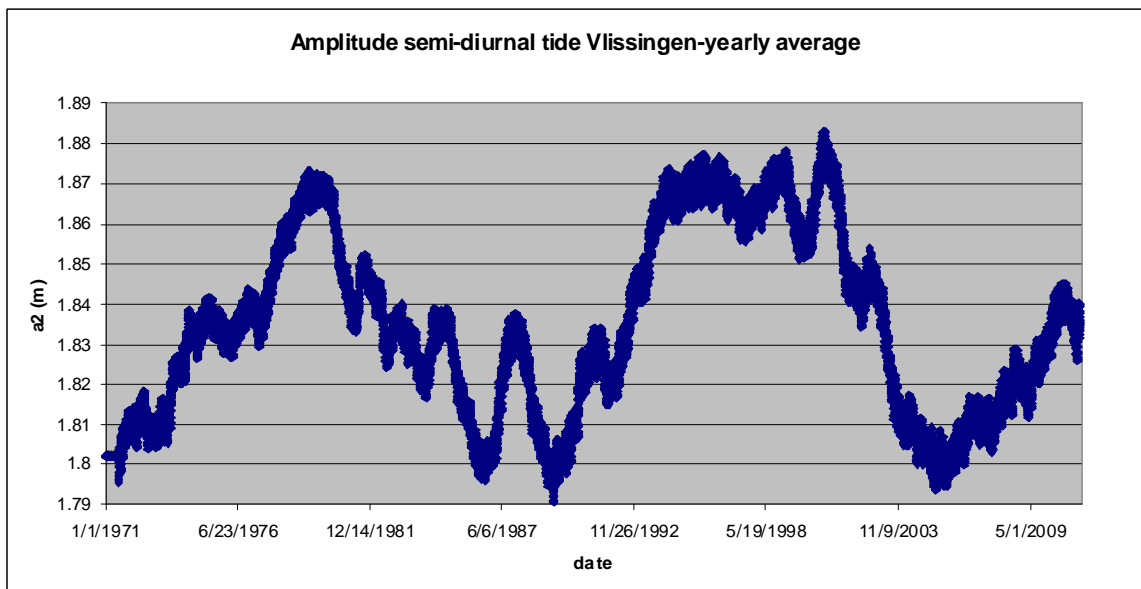
Een eigenschap van het getij die belangrijk is voor het sedimenttransport is de getijasymmetrie. Deze kan worden uitgedrukt in de relatie tussen de viermaal- en dubbeldaagse getijcomponenten, de amplitudeverhouding (Fig.3.6) en het relatieve faseverschil (Fig.3.7). Opgemerkt wordt dat het weinig zin heeft de fasen van de individuele componenten uit de Fourieranalyse te tonen, omdat die vooral de variatie t.g.v. de

faseverschuiving door een klein verschil tussen de echte getijperiode en de gebruikte periode van de analyse laat zien. Een beschouwing van het relatieve faseverschil zoals in Fig.3.7 heeft wel zin, want deze leert ons iets over de getij-asymmetrie.



Figuur 3.7 Relatief faseverschil tussen viermaaldaags en dubbeldaags getij.

Figuur 3.8 laat zien dat de amplitude van het dubbeldaagse getij een 18.6 jarige variatie vertoont, al is het relatief veel zwakker dan die van het enkeldaagse getij (Fig.3.2).



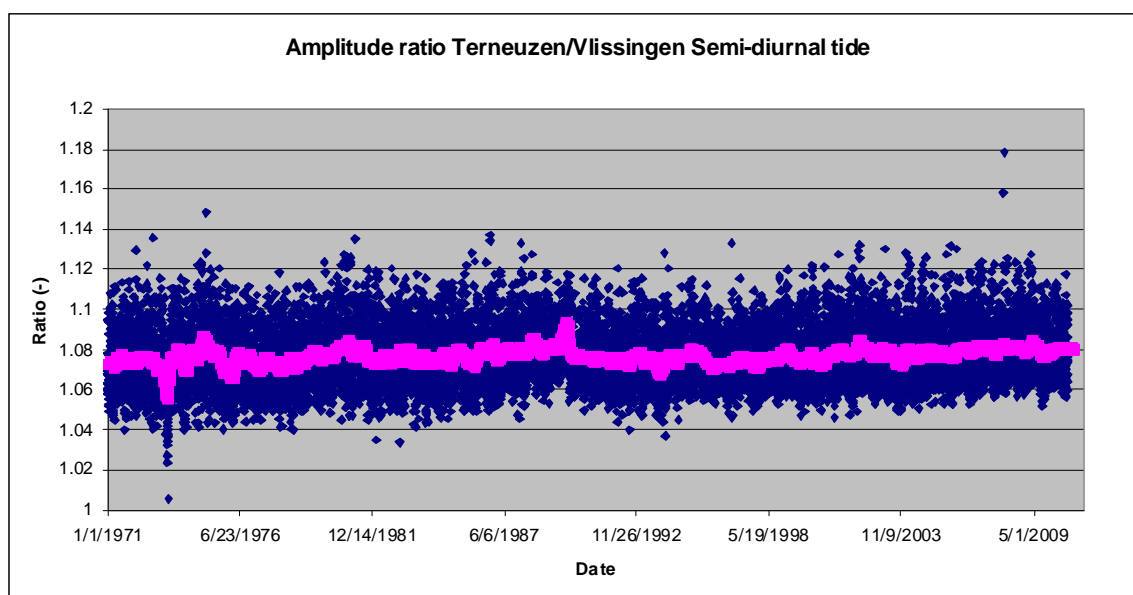
Figuur 3.8 Lopend gemiddelde van de amplitude van het dubbeldaagse getij met een middelingsperiode van 1 jaar.

3.2 Amplificatie en voortplanting van het getij binnen het estuarium

De variaties van de verschillende eigenschappen van het getij zoals in de vorige paragraaf beschreven, zijn in belangrijke mate astronomisch van oorsprong. Ook spelen de meteorologische factoren een rol. Vooral voor de stations in het mondinggebied hebben de variaties niet veel te maken met de morfologische ontwikkelingen in het estuarium. Om signalen van morfologische veranderingen te detecteren uit de waterstandgegevens moeten wij kijken naar de veranderingen van het getij langs het estuarium. In deze paragraaf kijken wij naar de amplificatie en de voortplanting van het getij binnen het estuarium.

Voor de beschouwingen nemen wij het station Vlissingen als referentie. De amplificatie van het getij wordt geanalyseerd door de verhouding tussen de amplitudes van het dubbeldagse getij op twee stations te bekijken. Voor de voortplanting van het getij kijken wij naar het faseverschil tussen twee stations van het dubbeldagse getij. Bij de grafische presentatie van de resultaten (Fig.3.9 t/m 3.14) worden behalve de waarden uit de Fourieranalyse (blauwe punten) ook de lopende gemiddelden, over 57 perioden (paarse punten), getoond. De middeling filtert de springtij – doodtij variatie uit.

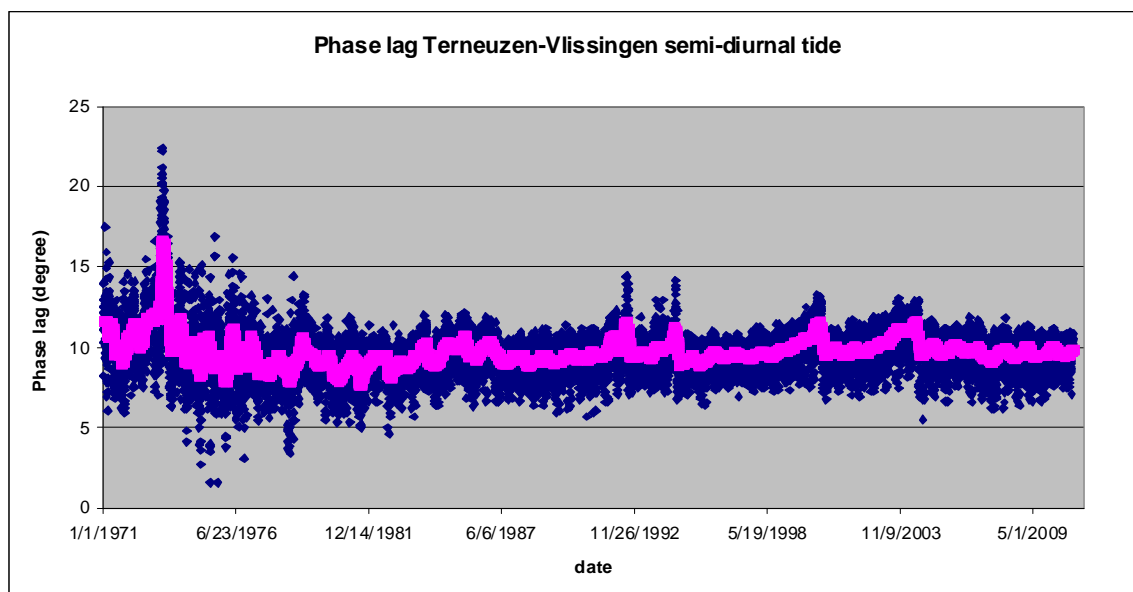
Vergelijking station Terneuzen



Figuur 3.9 Verhouding tussen de amplitudes van het dubbeldagse getij Terneuzen / Vlissingen.

De amplificatie van het getij tussen Terneuzen en Vlissingen vertoont een licht stijgende trend in de tijd (Fig.3.9). De geleidelijk stijgende trend wordt enkele keer afgebroken door een plotseling daling, waardoor het totale effect van de stijgende trend veel minder wordt.

Het faseverschil van het dubbeldagse getij tussen Terneuzen en Vlissingen, een mate voor de looptijd van het getij tussen de twee stations, vertoont een afnemende trend in de eerste helft van jaren zeventig. Daarna blijft het min of meer constant in de tijd over de hele periode beschouwd (lange-termijn trend). Meer in detail kenmerkt de variatie een aantal perioden van geleidelijk licht stijgende trend gevolgd door een plotseling daling. Afwijkend is de meeste recente periode na de laatste daling (net voor 2005) waarin de trend licht dalend is in tegenstelling tot de voorgaande perioden. Over de hele periode is er een kleine afname.

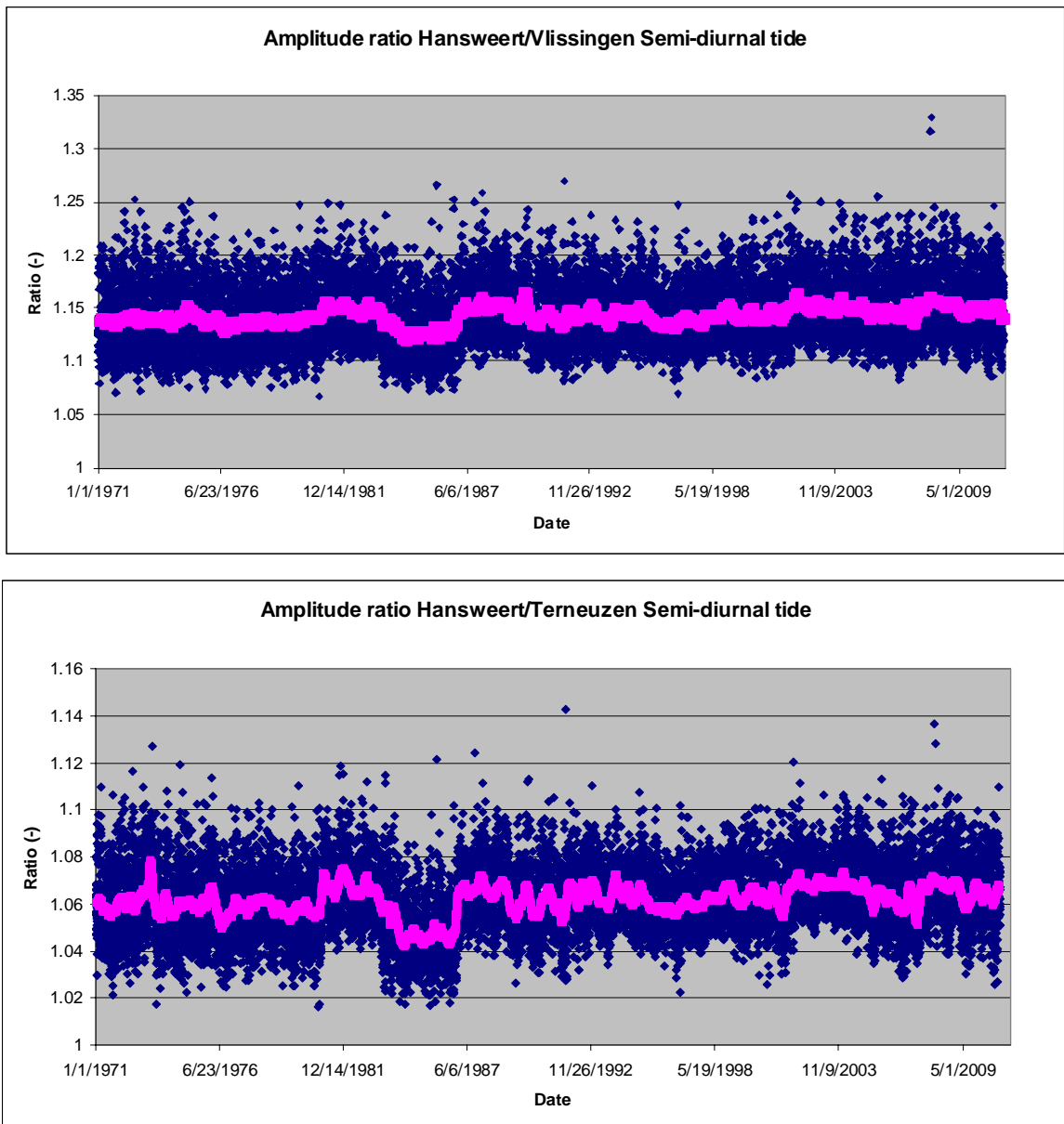


Figuur 3.10 faseverschil van het dubbeldagse getij tussen Terneuzen en Vlissingen.

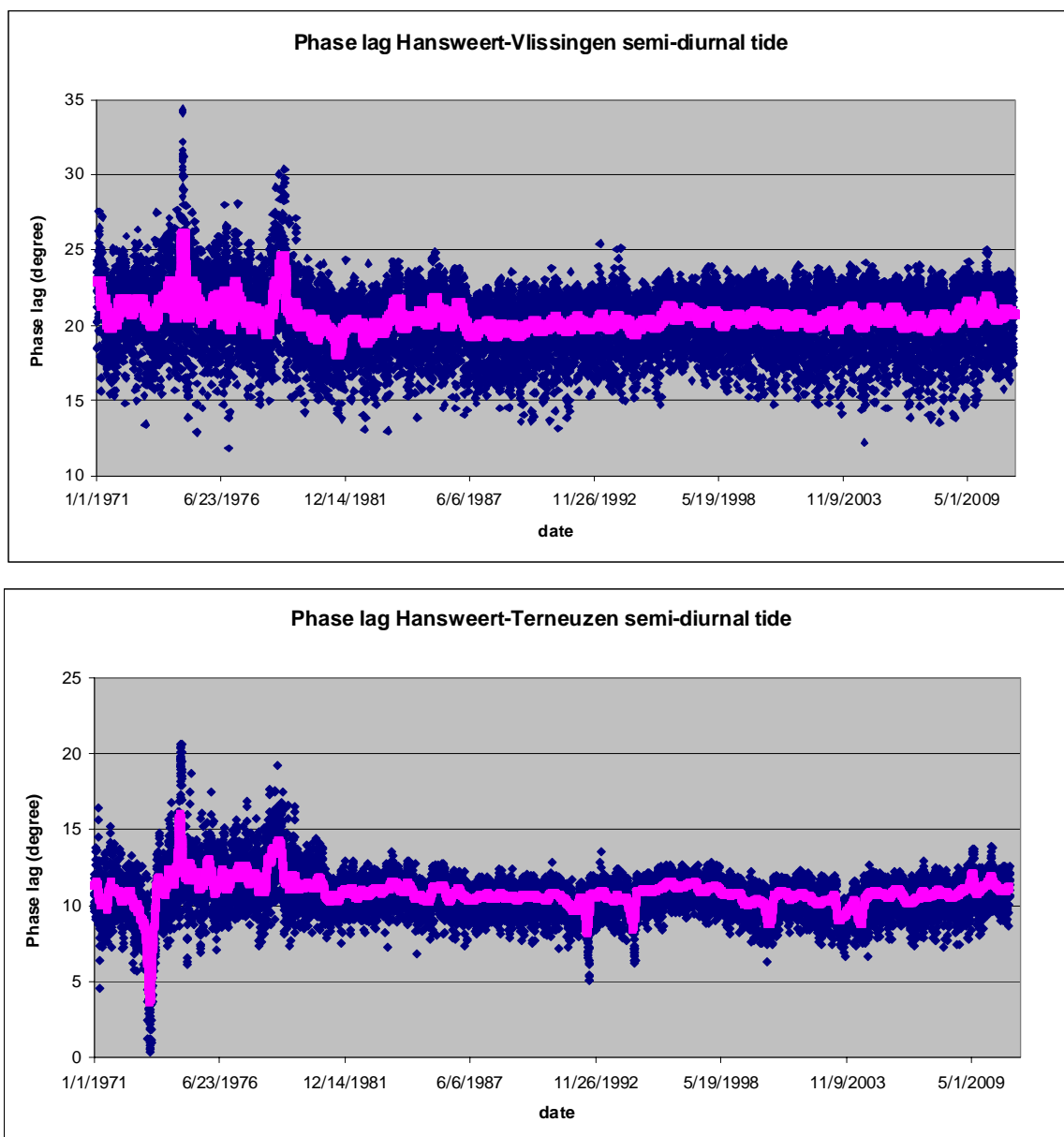
Vergelijking station Hansweert

De amplificatie van het getij bij Hansweert t.o.v. Vlissingen (Fig.3.11) vertoont een kleine stijging over de analyseperiode. Ook hier is er sprake van wat korte-termijn-fluctuaties. Het meest opvallend is een 'dip' in de periode van een paar jaar in midden jaren tachtig. Dit is even duidelijk in de amplitudeverhouding tussen Hansweert en Terneuzen, een indicatie dat de oorzaak hiervan waarschijnlijk in de ontwikkelingen in het gebied tussen Terneuzen en Hansweert ligt. Een waarschijnlijke oorzaak ligt in de werken aan het kanaal door Zuid-Beveland in die periode, waardoor de komberging tijdelijk werd vergroot.

Het faseverschil tussen Hansweert en Vlissingen (Fig.3.12) vertoont een afname in de jaren zeventig en zeker in de laatste jaren ervan. Daarna is het iets toegenomen met als resultaat dat over de hele periode weinige verandering is opgetreden. Kijken wij naar het faseverschil tussen Hansweert en Terneuzen dan is het beeld ongeveer hetzelfde. Over de hele periode is sprake van een kleine toename.



Figuur 3.11 Verhouding tussen de amplitudes van het dubbeldagse getij Hansweert / Vlissingen (boven) en Hansweert/Terneuzen (onder).

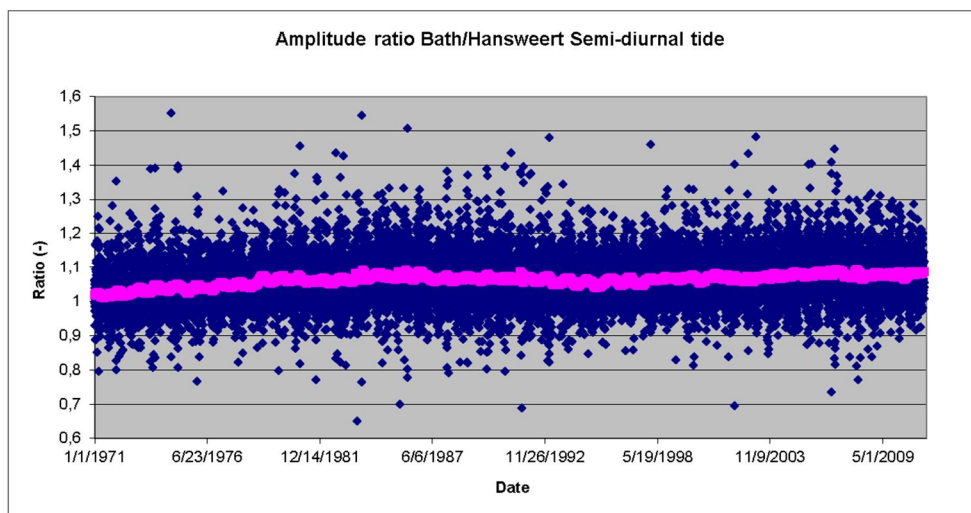
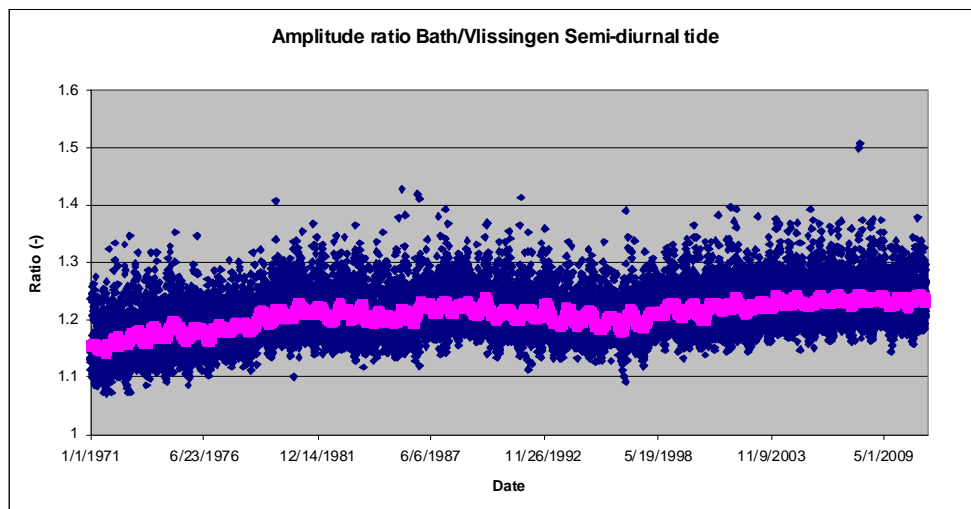


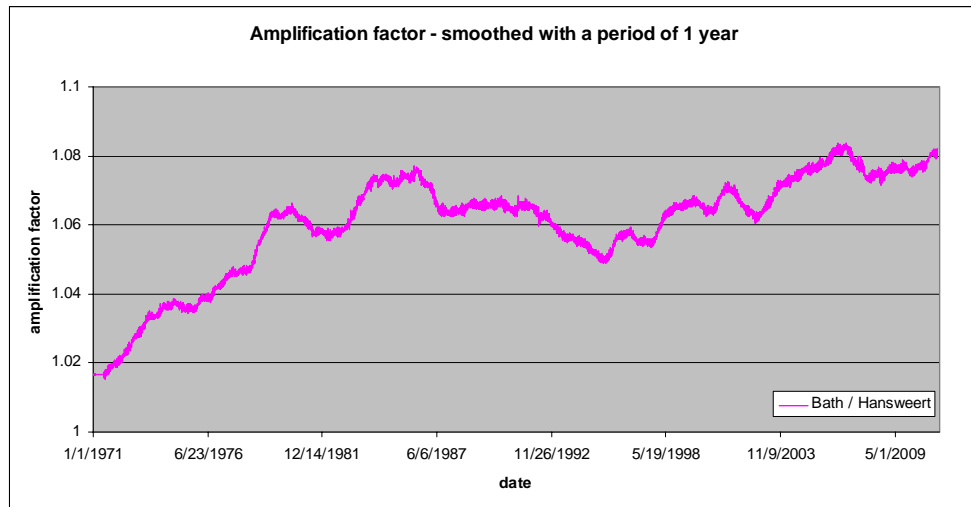
Figuur 3.12 faseverschil van het dubbeldagse getij tussen Hansweert en Vlissingen (boven) en tussen Hansweert en Terneuzen.

Vergelijking station Bath

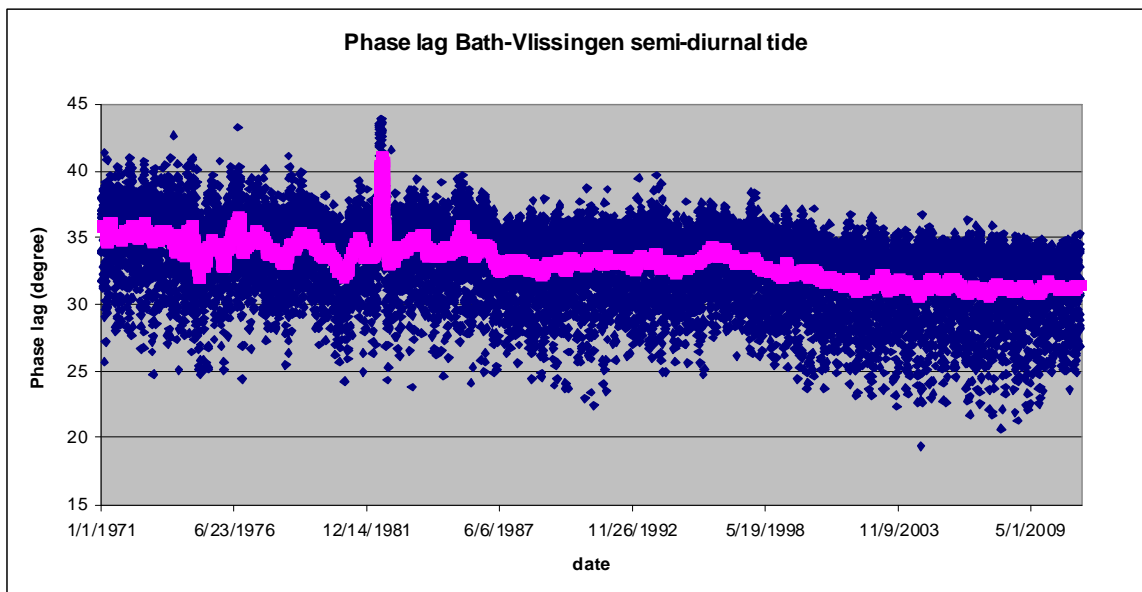
Over de hele analyseperiode vertoont de amplificatie van het getij bij Bath t.o.v. Vlissingen (Fig.3.13) een duidelijke stijging. De stijgende trend is niet hetzelfde over de hele periode. De stijging gebeurt eigenlijk in twee perioden, de jaren zeventig en de recente periode vanaf midden jaren negentig. In de jaren zeventig is de stijging het sterkst. In de tussenliggende periode, begin jaren tachtig tot midden jaren negentig, is er geen duidelijke verandering. Omdat deze waarneming ook gedaan kan worden voor het traject Hansweert-Bath (Fig.3.13-midden en onder) wordt geconcludeerd dat we gevolgen van bodemveranderingen in dat traject zien.

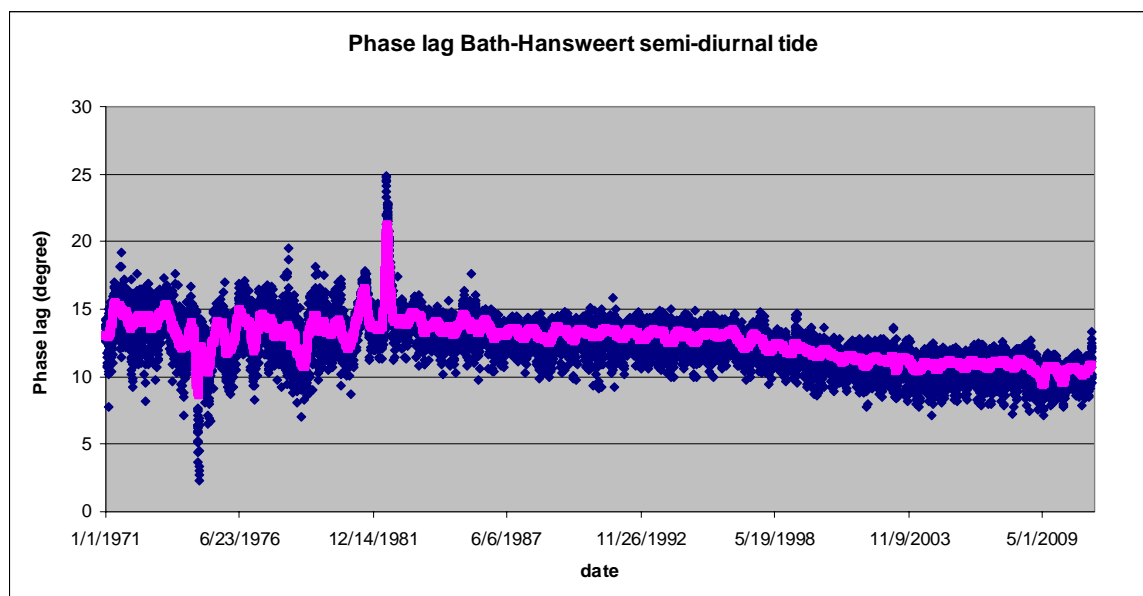
Het faseverschil tussen Bath en Vlissingen vertoont een verlaging over de hele periode. De verlaging gebeurt in drie perioden: een lichte daling in de jaren zeventig, een sterke daling in een korte periode van een paar jaar voor 1987, en een duidelijke daling vanaf midden jaren negentig tot 2002. Opvallend is dat de perioden van sterke verandering van de amplitude-verhouding (Fig.3.13) en die van het faseverschil (Fig.3.14) niet helemaal overeenkomen. Kijken wij naar het faseverschil tussen Bath en Hansweert dan is het beeld anders. De dalende trend is in de jaren tachtig ingegaan en versterkt sinds midden jaren negentig.





Figuur 3.13 (a,b,c) Verhouding tussen de amplitudes van het dubbeldagse getij Bath / Vlissingen (boven) en Bath/Hansweert (midden en onder).





Figuur 3.14 (a, b) Faseverschil van het dubbeldaagse getij tussen Bath en Vlissingen (a) en tussen Bath en Hansweert (b).

Met betrekking tot de faseverschillen van het dubbeldaagse getij tussen de verschillende stations, die een indicatie geven voor de looptijd het de getijgolf, valt een aantal plotselinge veranderingen in de tijd op:

- Tussen Terneuzen en Vlissingen, begin juni 1973, begin augustus 1992, midden augustus 1994 en begin juni 2000.
- Tussen Hansweert en Vlissingen, midden oktober 1974, eind 1978-begin 1979.
- Tussen Bath en Vlissingen, juli 1982.

Voor de amplificatie van het getij is de periode van kleinere amplitude van het dubbeldaagse getij bij Hansweert, oktober 1984 – oktober 1986, opmerkelijk, met als waarschijnlijke oorzaak de werken aan het kanaal door Zuid-Beveland die de komberging tijdelijk vergrootten. Het verklaren van de waarnemingen met behulp van de morfologische veranderingen vindt verder overigens plaats in LTV-V&T-rapport G-13.

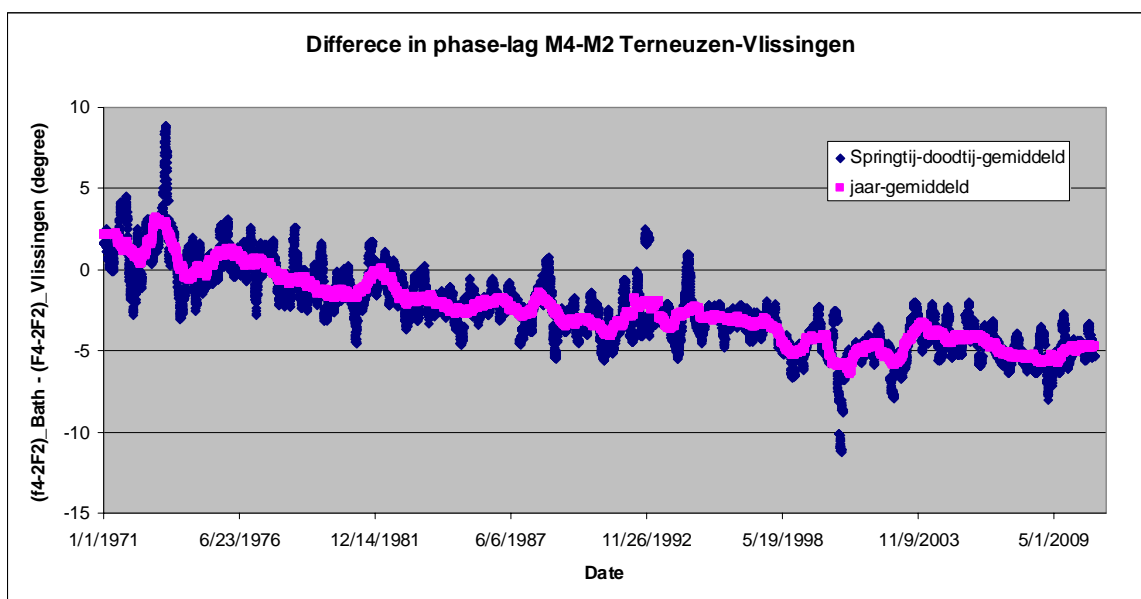
3.3 Asymmetrie van het getij

Voor de asymmetrie van het getij kijken wij naar het relatieve faseverschil tussen viermaal- en dubbeldaagse getij. Een negatieve waarde van dit verschil betekent dat het getij vloeddominant is en een positieve waarde duidt op ebdominantie. Bij Vlissingen is het relatief faseverschil relatief klein en niet veel veranderd in de tijd (Fig.3.7): het schommelt rondom de nul. Met andere woorden, het getij bij Vlissingen is min of meer symmetrisch.

Wij bekijken vooral de verandering van dit relatieve faseverschil binnen het estuarium t.o.v. het referentiestation Vlissingen. Dit geeft (i) informatie over de vervorming van het getij in het gebied tussen Vlissingen en het betreffende station. En omdat het getij bij Vlissingen als symmetrisch kan worden beschouwd geeft het ook (ii) de aard van de getij-asymmetrie bij het betreffende station weer.

Vergelijking station Terneuzen

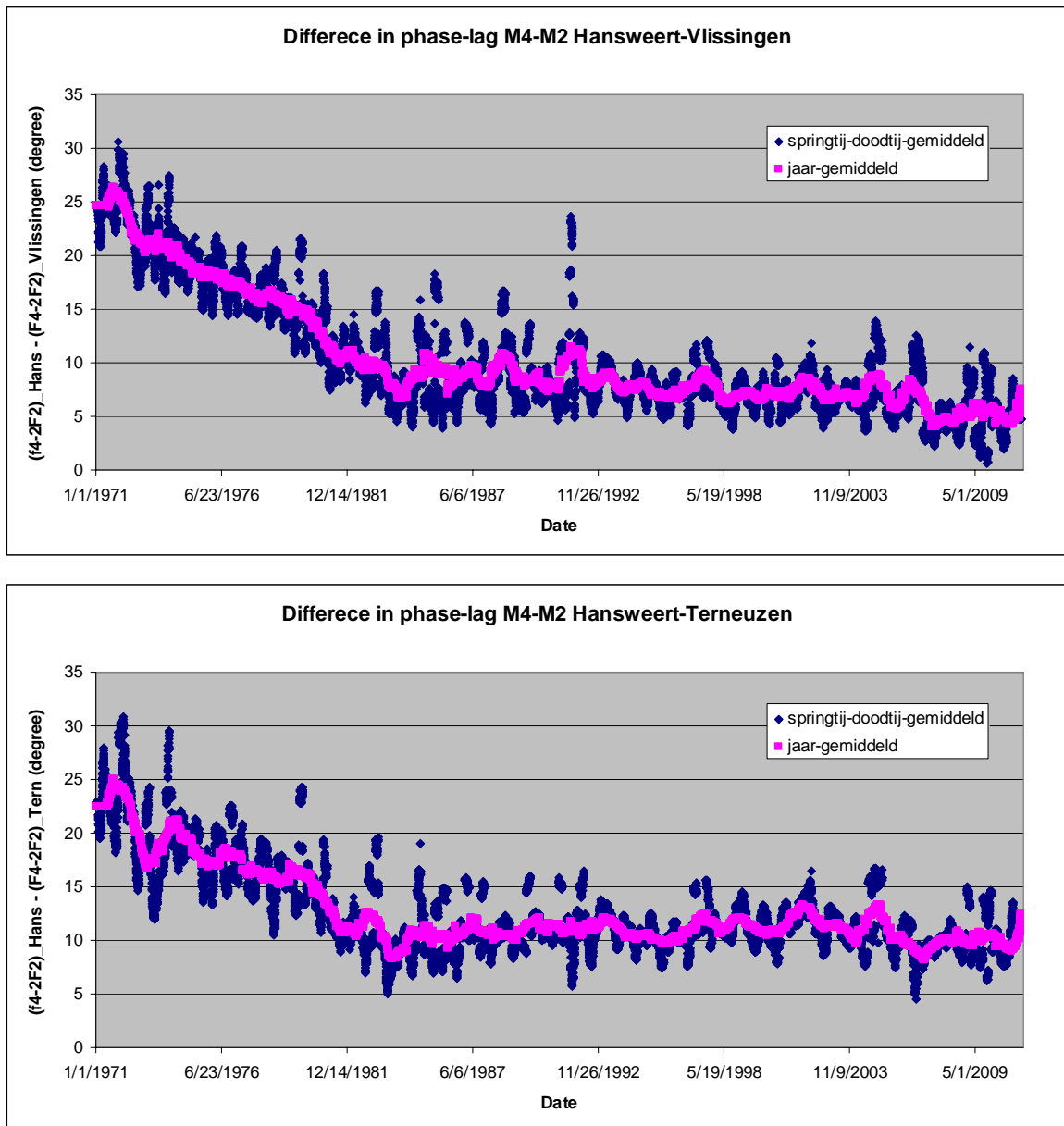
Het verloop in tijd van de verandering van het relatieve fase verschil tussen viermaal- en dubbeldaagse getij tussen Terneuzen en Vlissingen is gegeven in Fig.3.15. Aan begin van de geanalyseerde periode (1971) is het verschil tussen deze twee stations in de ebdominante richting: het getij bij Terneuzen is dan een klein beetje ebdominant(er) dan bij Vlissingen. Aan eind van de periode (2011) is dit echter omgekeerd. Het getij bij Terneuzen is tegenwoordig dus licht vloeddominant. De grootste verandering van de vervorming van getij tussen deze twee stations is in de jaren zeventig en tachtig gebeurd.



Figuur 3.15 Verskil in relatief faseverschil tussen viermaaldaagse en dubbeldaagse getij tussen Terneuzen en Vlissingen.

Vergelijking station Hansweert

Bij Hansweert is het getij ebdominant (Fig.3.16, boven). Aan het begin van de geanalyseerde periode (1971) is de ebdominantie veel sterker dan aan het eind van de periode (2011). De verandering in de tijd is bijna geheel opgetreden in de periode tot midden jaren tachtig. In de periode erna is het min of meer constant gebleven met een licht ebdominantie. Echter aan het eind van de periode, vanaf ongeveer 2006, lijkt het erop dat een nieuwe fase van verandering is ingegaan in de richting van minder ebdominantie / meer vloeddominantie. De verandering in de tijd is voornamelijk het gevolg van de verandering tussen Terneuzen en Hansweert (zie onderste paneel van Fig.3.16)

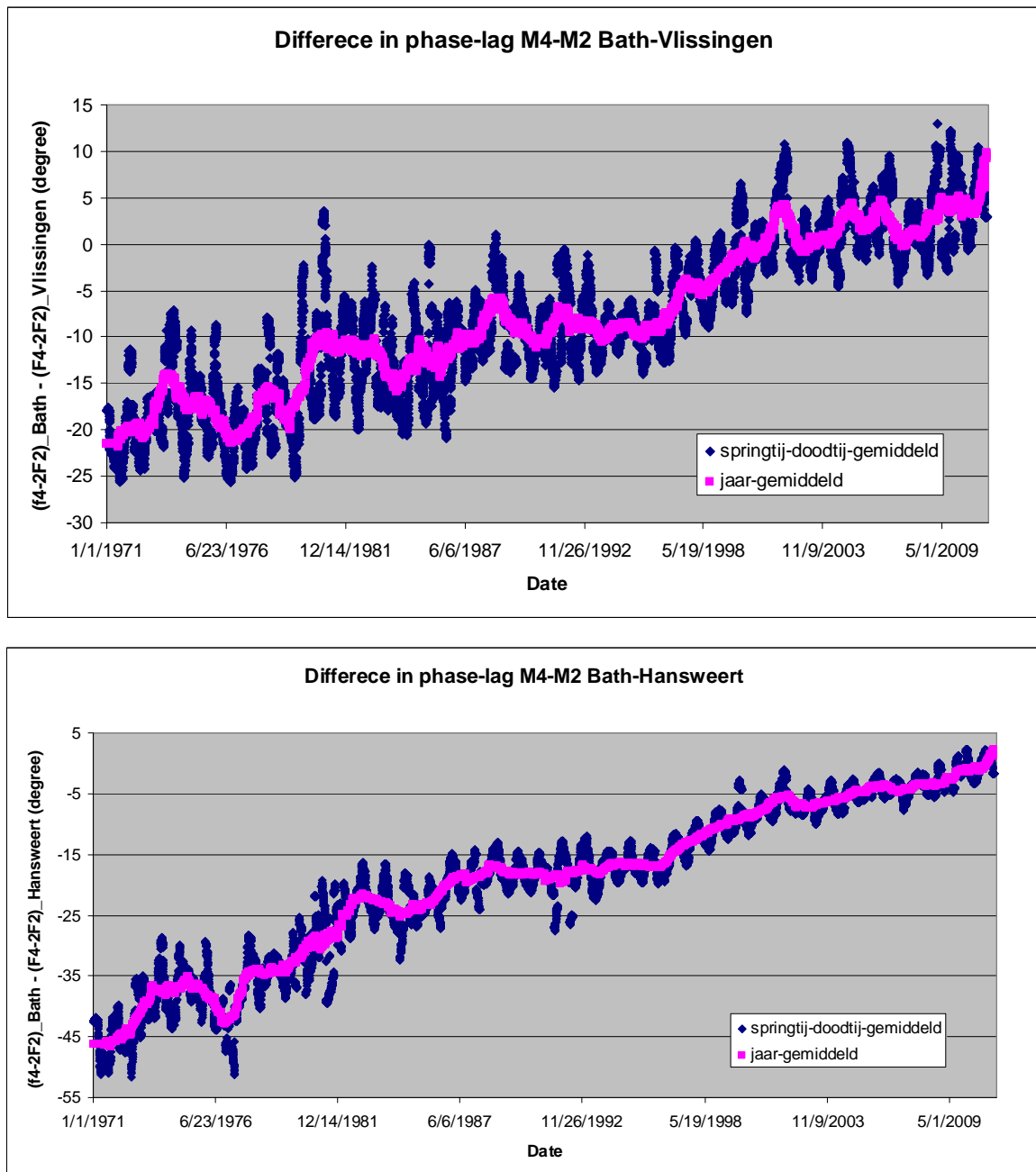


Figuur 3.16 Verschil in relatief faseverschil tussen viermaaldaagse en dubbeldaagse getij tussen Hansweert en Vlissingen (boven) en tussen Hansweert en Terneuzen (onder).

Vergelijking station Bath

Het getij bij Bath is het sterkst veranderd. Het was aan het begin van de periode (1971) vloeddominant maar is tegenwoordig (2011) licht ebdominant (Fig.17, boven). De verandering in de tijd is min of meer lineair. Dit suggereert dat de trend nog steeds gaand is. Kijken wij naar het verschil tussen Bath en Hansweert (Fig.3.17, onder) dan constateren wij dat de vervorming van het getij in het gebied tussen Hansweert en Bath enorm is veranderd in de tijd. In begin jaren zeventig was er een verschil rondom 45° , maar tegenwoordig is het verschil ongeveer nul. Vroeger was het getij bij Hansweert duidelijk ebdominant en bij Bath duidelijk vloeddominant, tegenwoordig is het getij bij beide stations licht ebdominant. De

verandering is min of meer constant gegaan, alleen in een korte periode tussen eind jaren tachtig en begin jaren negentig was er weinig verandering.



Figuur 3.17 Verschil in relatief faseverschil tussen viermaaldaagse en dubbeldaagse getij tussen Bath en Vlissingen (boven) en tussen Bath en Hansweert (onder).

De asymmetrie van het getij bij de verschillende stations binnen het estuarium vertonen duidelijke veranderingen in de tijd. Meest opvallend zijn de veranderingen in het oostelijke deel van het estuarium. Aan het begin van de jaren zeventig vertoonde het getij tegengestelde asymmetrie bij Hansweert en Bath. Bij Hansweert was het ebdominant en bij

Bath vloeddominant. Daarna zijn de veranderingen bij de twee stations in omgekeerde richting gegaan, bij Hansweert wordt het minder ebdominant en bij Bath minder vloeddominant (zelfs licht ebdominant aan het eind). Als gevolg van de veranderingen is de asymmetrie van het getij bij beide stations tegenwoordig ongeveer hetzelfde, licht ebdominant.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Samenvatting conclusies

De gegevens van waterstanden gemeten bij verschillende stations langs de Westerschelde sinds 1971 zijn geanalyseerd door Fourieranalyse van achtereenvolgende perioden met een lengte van ongeveer 25 uur. Met de resultaten zijn twee aspecten van de getijbeweging in het estuarium bekeken: de voortplanting en amplificatie van het dubbeldaagse getij, en de asymmetrie van het getij of wel vervorming van de getijgolf in het estuarium.

Met betrekking tot de voortplanting en amplificatie van het dubbeldaagse getij zijn de volgende conclusies getrokken:

- De amplificatie van het getij laat een stijgende trend in de tijd zien. Dit geldt voor alle stations in het estuarium, maar de grootste verandering treedt op in het oostelijkste deel van het estuarium.
- De toename van de amplificatie van het getij is niet gelijkmatig opgetreden in de tijd. Voor het station Bath, waar de verandering het grootst is, is de toename vooral in twee perioden opgetreden, de jaren zeventig en sinds midden jaren negentig.
- Een opvallend verschijnsel is dat de periode oktober 1984 – oktober 1986 de amplitude van het dubbeldaagse getij bij Hansweert duidelijk kleiner was dan daarvoor en daarna. De waarschijnlijke oorzaak ligt in de werken aan het kanaal door Zuid-Beveland, waardoor de komberging tijdelijk werd vergroot.
- Het faseverschil tussen het oostelijkste station Bath t.o.v. het station Vlissingen bij de monding is afgenomen in de tijd. Dit betekent dat de voortplanting van het getij sneller is geworden in de tijd. De verandering is vooral opgetreden in het oostelijkste deel van het estuarium. Bij de andere twee stations in het estuarium (Terneuzen en Hansweert) is de verandering klein. Bij Terneuzen is er sprake van een kleine afname in de hele periode en bij Hansweert is de totale verandering in de hele periode nihil.
- Ook de verandering van het faseverschil is niet gelijkmatig in tijd geweest. In het oostelijkste deel van het estuarium (tussen Bath en Hansweert) waar de verandering het grootst is, is de afname in de jaren tachtig ingezet en sneller gegaan sinds midden jaren negentig.
- Bij de faseverschillen vallen een aantal plotseling veranderingen in de tijd op:
 - Tussen Terneuzen en Vlissingen, begin juni 1973, begin augustus 1992, midden augustus 1994 en begin juni 2000.
 - Tussen Hansweert en Vlissingen, midden oktober 1974, eind 1978-begin 1979.
 - Tussen Bath en Vlissingen, juli 1982.

Met betrekking tot asymmetrie van het getij zijn de volgende conclusies getrokken:

- Bij het station Vlissingen is er weinig veranderd in de tijd m.b.t. de asymmetrie van het getij. Het getij blijft daar min of meer symmetrisch. Het relatief faseverschil tussen viermaal- en dubbeldaagse getij is ongeveer gelijk aan nul.
- Bij Terneuzen was het getij in begin jaren zeventig licht ebdominant en het veranderd tot licht vloeddominant tegenwoordig. De grootste verandering is opgetreden in de jaren zeventig en tachtig.
- Bij Hansweert was het getij in begin jaren zeventig duidelijk ebdominant. De ebdominantie is snel afgenomen in de periode tot midden jaren tachtig. Daarna is het min of meer constant gebleven met een lichte ebdominantie.
- Bij Bath was het getij in begin jaren zeventig duidelijk vloeddominant. In de hele periode tot nu toe is de vloeddominantie afgenomen en nu is het getij zelfs licht ebdominant

geworden. In het gebied tussen Hansweert en Bath is de vervorming van de getijgolf meest veranderd in de tijd. In begin jaren zeventig vervormt de getijgolf van duidelijk ebdominant bij Hansweert tot duidelijk vloeddominant bij Bath. Tegenwoordig vervormt de getijgolf in dit gebied nog nauwelijks. Bij beide stations toont het getij lichte ebdominantie.

4.2 Aanbevelingen

Dezelfde analyse als beschreven in dit rapport kan ook worden uitgevoerd voor de stations langs de Zeeschelde, als de gegevens beschikbaar zijn. Na een inventarisatie van de verzamelde gegevens van waterstanden gemeten op de stations langs de Zeeschelde is geconcludeerd dat het weinig zin heeft de analyse nu uit te voeren. Alleen voor de stations Antwerpen en Liefkens zijn de tijd series met 10 minuten interval beschikbaar voor de periode 2005-2010 beschikbaar. Voor 6 stations (Schelle, Hemiksen, Antwerpen, Kallo, Liefkens en Zandvliet) zijn tijdseries met een interval van 1 minuut beschikbaar voor het jaar 2006. De analyse voor zo een korte periode (maximaal 5 jaar) zal naar verwachting te weinig opleveren. Daarom wordt aanbevolen meer data te verzamelen voordat dezelfde analyse voor de stations langs de Zeeschelde wordt uitgevoerd. Eventueel kan een aangepaste analyse op basis van de tijdseries van HW-LW worden uitgevoerd. Hiervoor zijn de data in de periode 1971-2010 beschikbaar. Uit de aangepaste analyse minder gedetailleerde maar wel vergelijkbare informatie verkrijgen. Een vergelijking tussen de twee soorten analyse is gegeven in de volgende tabel.

Parameter uit Fourier Series	Parameter uit HW-LW tijd serie	Indicatie voor
Gemiddelde getijslag	Amplitude dubbeldaagse component a_2	Getijslag / amplificatie van getij
Verskil getijslag opeenvolgend getij	Amplitude enkeldaagse component a_1	Dagelijkse ongelijkheid
Verskil HW(/LW) tijd tussen stations	Fase verschil dubbeldaagse getij component	Looptijd getijgolf
Verskil periode van dalend tij en stijgend tij	Amplitudeverhouding en faseverschil tussen viermaaldaagse en dubbeldaagse component	Asymmetrie van getij

5 Referenties

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013:

- Grootschalige sedimentbalans van de Westerschelde. LTV V&T-rapport G-2
- Influence morphology on tide and sand transport. LTV V&T-rapport G-4
- Data-analysis water levels, bathymetry Western Scheldt. LTV V&T-rapport G-5
- Tidal Phenomena in the Scheldt Estuary, part 2. LTV V&T-rapport G-7
- Aanvullend onderzoek historische ontwikkeling getij. LTV V&T-rapport G-8
- Probleemanalyse zandwinning. LTV V&T-rapport G-10
- Synthese en conceptueel model. LTV V&T-rapport G-13