

**Kenmerkende waarden
Kustwateren en Grote
Rivieren**



Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren

ir. D. Dillingh

1207509-000

Titel

Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1207509-000	1207509-000-ZKS-0010	79

Trefwoorden

Kenmerkende waarden, waternormalen, slotgemiddelden, havengetallen, gemiddelde getijkrommen, LAT, OLA, OLR, OLW, werklijnen, betrekkinglijnen overschrijdingsfrequenties hoogwaterstanden, onderschrijdingsfrequenties laagwaterstanden.

Samenvatting


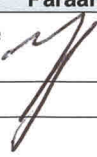

Beschrijving en afleiding van de "kenmerkende waarden", zoals gemiddeld hoog- en laagwater (slotgemiddelden), gemiddelde getijkrommen, LAT (Lowest Astronomical tide), afvoeren en overschrijdingsfrequenties van hoogwater en onderschrijdingsfrequenties van laagwater.

Dit rapport beschrijft de wijze waarop de kenmerkende waarden voor de kustwateren opnieuw zijn berekend. Het betreft de slotgemiddelden 2011.0, havengetallen, duur rijzing en duur daling, overschrijdingsfrequenties van hoogwaterstanden en onderschrijdingsfrequenties van laagwaterstanden. Daarbij is uitvoerig aandacht besteed aan de invloed van de wijziging van het NAP in 2005 en aan de wijze van trendbepaling.

Het is in het kader van het onderhavige project niet mogelijk de kenmerkende waarden voor de grote rivieren te actualiseren. Wel is geïnventariseerd wat er thans beschikbaar is en worden berekeningswijzen voorgesteld.

Het bepalen van de kenmerkende waarden is al een lange periode niet uitgevoerd. Zo hebben de laatste berekende gemiddelde getijkrommen (RIKZ, 1994) betrekking op de toestand op 1 januari 1991. Gebruikelijk was deze kenmerkende waarden elke 10 jaar vast te stellen en te publiceren in de zogenaamde tienjarige overzichten (TO's), om bruikbare getalswaarden te geven ten behoeve van het beleid en beheer met betrekking tot het Nederlandse oppervlaktewater.

Het laatste tienjarig overzicht, het 14^e in de reeks van tienjarige overzichten, betreft de periode 1981-1990 (RWS, 1994). De kenmerkende waarden zijn sindsdien niet meer geactualiseerd.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Nov. 2013	ir. D. Dillingh		ir. J.G. de Ronde		drs. F.M.J. Hoozemans	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Werkwijze	2
1.4 Afbakening	2
1.5 Leeswijzer	3
2 Begrippen en definities	5
2.1 Algemene begrippen	5
2.2 Evaluatie algemene begrippen	6
2.3 Specifieke definities	7
2.4 Groepen van kenmerkende waarden	9
2.5 Conclusies en aanbevelingen	11
3 Waterstandsdata in de Nederlandse kustwateren	13
3.1 Relatieve zeespiegelstijging	13
3.2 Het Normaal Amsterdams Peil (NAP)	14
3.3 Geologische achtergronden	15
3.4 De NAP-publicatie van 2005	15
3.5 Correctie data voor de NAP-publicatie van 2005	17
3.6 De bepalingwijze van de gemiddelde zeeniveaus	19
3.7 Beschikbaarheid van de data	20
4 Methode trendanalyses kustgebied	25
4.1 De 18,6- jarige cyclus in de tijdreeksen van jaargemiddelde zeeniveaus	25
4.2 Het effect van een periodiek signaal in de tijdreeksen op de lineaire trend	27
4.3 Keuze van de analysemethode	29
4.4 Het effect van een periodiek signaal in de tijdreeksen op de PLSS-trend	31
4.5 Verbeterde analysemethode	32
5 Kenmerkende waarden kustwateren (1): slotgemiddelden 2011.0, havengetallen, duur daling, duur rijzing en LAT	35
5.1 Gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en gemiddelde zeestand	35
5.2 Havengetallen en slotgemiddelden voor springtij en doortij	36
5.2.1 Havengetallen	36
5.2.2 Slotgemiddelden voor springtij en doortij	38
5.2.3 De NAP-aanpassing van 2005 en de havengetalberekening	38
5.3 Duur daling en duur rijzing	38
5.4 Gemiddelde getijkrommen	39
5.5 LAT	39
5.6 Kenmerkende waarden 2001.0	40
6 Kenmerkende waarden kustwateren (2): over- en overschrijdingsfrequenties waterstanden	41
6.1 Inleiding	41
6.2 Overschrijdingsfrequenties hoogwaterstanden voor lagere frequenties	42
6.2.1 Extreme-waardenstatistiek	42

6.2.2	De overschrijdingslijnen en het GPV-model	43
6.2.3	Kenmerkende waarden	44
6.3	Overschrijdingswaarden hoogwaterstanden voor hogere frequenties	45
6.4	Onderschrijdingswaarden laagwaterstanden voor alle frequenties.	47
7	Rivierengebied	49
7.1	Inleiding	49
7.2	Hydraulische randvoorwaarden	49
7.3	Overschrijdingsfrequenties waterstanden	51
7.3.1	Betrekkinglijnen Maas	51
7.3.2	Betrekkinglijnen Rijn (+ -takken)	52
7.4	OLA en OLR	53
7.5	Aanbevelingen	53
8	Benedenrivierengebied	55
8.1	Inleiding	55
8.2	Gemiddelde getijkrommen en slotgemiddelden	55
8.3	Toetspeilen	56
8.4	Overschrijdingsfrequenties	56
8.5	OLW 2011.0	57
9	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	59
10	Literatuur	63
	Bijlage(n)	
A	Overzichtskaart peilmeetstations kust en estuaria	67
B	Een beknopte geschiedenis van het NAP	69
C	Berekende 18,6-jarige cycli voor Vlissingen (voorbeeld)	71
D	Correctie knopencyclus voor de zeeniveaus van Vlissingen	72
E	Voorbeelden van PLSS-trendlijnen	73
F	Amplitudes knopencyclus en correcties PLSS-waarden 2010	76
G	Kenmerkende waarden kustwateren (1): slotgemiddelden 2011.0, havengetallen, duur daling, duur rijzing en LAT	77
H	Kenmerkende waarden kustwateren (2): over- en onderschrijdingsfrequenties hoog-respectievelijk laagwaterstanden (afgeronde waarden)	79

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het bepalen van “kenmerkende waarden” voor waterkwantiteit (waterstanden en afvoeren) en van specifieke kengetallen voor het getij (o.a. gemiddelde hoog- en laagwaterstanden, havengetallen en gemiddelde getijkrommen) is o.a. van belang voor het ontwerpen van velerlei waterbouwkundige constructies, het bepalen van werkbare omstandigheden en het bepalen van de ligging van de momentane kustlijn. Gebruikelijk was deze waarden elke 10 jaar vast te stellen en te publiceren in de zogenaamde tienjarige overzichten (TO's), om bruikbare karakteristieken te geven ten behoeve van het beleid en beheer met betrekking tot het Nederlandse oppervlaktewater.

De laatste vaststelling van deze waarden heeft grotendeels betrekking op de toestand op 1 januari 1991 (aangeduid als 1991.0).

Door reorganisaties bij de Rijkswaterstaat, waarbij in 2007 o.a. de Waterdienst en de Data-ICT-Dienst zijn ontstaan en RIKZ en RIZA werden opgeheven, is de vaststelling van de kenmerkende waarden min of meer tussen wal en schip terecht gekomen. Zo ontbreekt de vaststelling voor de toestand op 1 januari 2001. Inmiddels zijn in 2013 Waterdienst en Data-ICT-dienst ook al weer verdwenen en opgegaan in de nieuwe diensten RWS Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) respectievelijk RWS Centrale Informatievoorziening (CIV).

Het laatste tienjarig overzicht, het 14^e in de reeks van tienjarige overzichten, betreft de periode 1981-1990 (RWS, 1994). Veel waarden, die met de 10-jarige cyclus van de TO's opnieuw werden berekend, zijn sindsdien niet meer geactualiseerd.

Het niet beschikbaar zijn van deze informatie geeft steeds groter problemen. Steeds vaker wordt op een ad hoc manier in deze behoefte voorzien of wordt gewerkt met verouderde informatie.

Ook zijn er belangrijke ontwikkelingen geweest, zoals de aanpassing van het NAP op 1 januari 2005, die van invloed zijn op de tijdreeksen op basis waarvan de kenmerkende waarden worden berekend, en zijn nieuwe analysetechnieken beschikbaar.

Er is daarom dringend behoefte aan een nieuwe vaststelling van de kenmerkende waarden voor de toestand op 1 januari 2011.

1.2 Doelstelling

Met de “oude” kennis en productiemethodieken kunnen de kenmerkende waarden opnieuw worden berekend. Dat geeft mogelijk uitkomsten met onzekerheid over de kwaliteit. Gezien het belang van de kenmerkende waarden in de primaire processen van Rijkswaterstaat (veiligheid) is dit geen wenselijke situatie.

De doelstelling van het project is het beoordelen van de bestaande methodieken, het adviseren over verbeteringen, het afstemmen met andere projecten waarin kenmerkende waarden worden geproduceerd, zoals het WTI-project (Wettelijk Toets Instrumentarium, waarbinnen de hydraulische randvoorwaarden voor het toetsen van waterkeringen worden geproduceerd) en het beoordelen van de resultaten, voor zover deze berekend kunnen worden gedurende de looptijd van het onderhavige onderzoek.

De doelstelling van de rapportage is het vastleggen van de rekenmethode van de (berekende) kenmerkende waarden en het adviseren over de manier waarop de (niet berekende) kenmerkende waarden kunnen worden berekend of verkregen.

1.3 Werkwijze

De kenmerkende waarden voor het kustgebied werden traditioneel berekend en vastgesteld door de landelijke specialistische dienst, terwijl voor het rivierengebied veel rekenwerk werd gedaan door de betrokken regionale diensten, met name de relaties tussen de rivierafvoer en de waterstand bij Lobith voor de Rijn en bij Borgharen dorp voor de Maas, en de betrekkinglijnen voor de waterstanden tussen deze stations en de stroomafwaarts gelegen meetstations.

De volgende activiteiten worden onderscheiden:

1. Bestudering van de huidige methodieken aan de hand van bestaande rapportages;
2. Het doen van voorstellen voor verbetering, waar nodig;
3. Het interviewen van enkele op het vakgebied deskundige Deltares-medewerkers en RWS-medewerkers;
4. Beoordelen van de door de DID berekende kenmerkende waarden ;
5. Aandacht voor de afstemming met de hydraulische randvoorwaarden.

Deltares en RWS hebben intensief samengewerkt bij de productie van de kenmerkende waarden voor het kustgebied.

Namens de Rijkswaterstaat werd overlegd met Peter Heinen van RWS WVL en Guus Zijdenbos van RWS CIV. Veel rekenwerk werd uitgevoerd door RWS CIV. Veel informatie kon worden verkregen uit memo's en werkdocumenten van Koos Doekes van RWS WVL.

Er kon met voordeel gebruik gemaakt worden van parallel lopend onderzoek naar veranderingen in gemiddelde zeeniveaus in de Nederlandse kustwateren (Dillingh, 2013).

In het licht van de benodigde inspanning voor het berekenen van de kenmerkende waarden voor het gebied en het daarvoor benodigde ontwikkeltraject, was het niet meer mogelijk gedurende het onderhavige project ook nieuwe kenmerkende waarden voor het (boven)rivierengebied en het benedenrivierengebied af te leiden. Voor deze gebieden moest worden volstaan met een inventarisatie van rekenmethoden en uitgevoerde berekeningen door regionale RWS-diensten.

1.4 Afbakening

De kenmerkende waarden voor het rivierengebied en het benedenrivierengebied beperken zich voornamelijk tot een overzicht van wat er op dit moment beschikbaar is. Een uitwerking zoals voor de kustwateren bleek niet mogelijk in het onderhavige project. Afhankelijk van de bevindingen kan bij Rijkswaterstaat de discussie gevoerd worden welke kenmerkende waarden in de toekomst centraal gepubliceerd worden op de betreffende rws-webpagina's en welke dienst voor de productie ervan verantwoordelijk is.

De kenmerkende waarden beperken zich in het onderhavige onderzoek tot slotgemiddelden, havengetallen, waterstanden bij een aantal over- en onderschrijdingsfrequenties, en een aantal specifieke kenmerkende waarden (LAT, duur rijzing, duur daling, OLA, OLR en OLW).

In de vroegere tienjarige overzichten werden overzichten van maandwaarden (hoogste, gemiddelde en laagste dagwaarde) over de tienjarige periode, en van jaarwaarden en tienjaarlijkse waarden gegeven. Deze waarden worden hier buiten beschouwing gelaten, evenals hoogste en laagste gemeten waarden. Dergelijke kenmerkende waarden kunnen indien gewenst vrij eenvoudig uit de databestanden van Rijkswaterstaat worden gehaald en/of berekend (Helpdesk Water van Rijkswaterstaat).

Het Merengebied (IJsselmeer, Markermeer, Volkerak-Zoommeer) is buiten beschouwing gebleven.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt eerst de veelheid aan bestaande definities en begrippen besproken.

De hoofdstukken 3 t/m 6 richten zich op de kenmerkende waarden voor de kustwateren. In hoofdstuk 3 wordt uitvoerig ingegaan op het meten van de waterstanden en de beschikbaarheid van de data. Daarna wordt in Hoofdstuk 4 de gekozen methode voor het analyseren van trends in jaargemiddelde zeeniveaus (hoogwater, gemiddelde zeestand en laagwater) toegelicht, van belang voor het berekenen van slotgemiddelden. In hoofdstuk 5 en 6 wordt de vaststelling van de onderscheiden kenmerkende waarden toegelicht. De waarden zelf zijn opgenomen in de bijlagen G en I.

In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de kenmerkende waarden voor het rivierengebied, en in hoofdstuk 8 op die van het benedenrivierengebied.

Het rapport eindigt met een aantal conclusies en aanbevelingen.

2 Begrippen en definities

Bestudering van de tienjarige overzichten (TO's), de Gemiddelde Getijkromme 1991.0 (RIKZ, 1994) en de website www.rws.nl levert een veelheid aan begrippen. In deze paragraaf worden deze begrippen genoemd en wordt getracht een voorstel voor een eenduidige lijst van te hanteren begrippen en definities te formuleren. Vooral de betekenis van de algemene begrippen zijn aan verandering onderhevig geweest. De specifieke begrippen zijn constanter in de tijd.

2.1 Algemene begrippen

In de laatste twee TO's, (DGW, 1989) en (RWS, 1994), en op de website www.rws.nl wordt een aantal algemene begrippen gebruikt die hier zullen worden besproken.

Geaggregeerde waarde – een statistische grootheid die een groep waarnemingen op zinnvolle wijze samenvat. De groep waarnemingen bestaat meestal uit alle gevalideerde waarden op één locatie betreffende één parameter in een tijdvak van een maand, kalenderjaar of decennium. De meest voor de hand liggende statistische gegevens zijn hoogste, laagste en gemiddelde waarde.

Kenmerkende waarde – een representatieve waarde voor een bepaalde grootheid op een bepaalde plaats.

Maatgevende waarde – plaatselijk peil of plaatselijke afvoer met een vastgestelde gemiddelde overschrijdingsfrequentie, op basis waarvan primaire waterkeringen worden gedimensioneerd.

Kengetallen – de belangrijkste eigenschappen van een reeks waarden (statistiek). Een kengetal drukt een karakteristiek van een verdeling uit in een getal. Voorbeelden van kengetallen zijn centrum- en spreidingsmaten, zoals gemiddelde en standaardafwijking.

Waternormalen – statistische kengetallen voor waterstanden en afvoeren voor het ontwerpen en aanleggen van waterstaatswerken, het bepalen van hydraulische randvoorwaarden voor waterkeringen, voor trendanalyses en voor de ondersteuning van klimaatonderzoek (www.rws.nl). Gesteld wordt dat waternormalen standaardwaarden zijn voor waterstanden en afvoeren, vergelijkbaar met de normale waarden voor luchttemperatuur die het KNMI hanteert.

Normalen – gemiddelde waarden over een lang tijdsverloop (meteorologie). De periode is door de WMO (World Meteorological Organisation van de United Nations) vastgesteld op 30 jaar. Formeel is het laatste tijdvak waarover normalen zijn berekend dat van 1961-1990. Het volgende officiële tijdvak is dat van 1991-2020. Sommige instituten, zoals het KNMI, kiezen ervoor tussentijdse balansen (1971-2000, 1981-2010) op te maken in verband met het warmere klimaat van de laatste jaren (bron: www.knmi.nl).

Slotgemiddelde – waarde van een grootheid op een bepaald tijdstip (meestal het slot van een decennium) volgens een meerjarige trendlijn, na correctie voor zowel korte toevallige schommelingen als meerjarige astronomische fluctuaties. Slotgemiddelde 2011.0 betekent:

kenmerkend voor de toestand begin 2011. De slotgemiddelden worden dus berekend voor de periode rond de jaarovergang 31 december - 1 januari.

2.2 Evaluatie algemene begrippen

Geconstateerd kan worden dat er in het verleden algemene begrippen gehanteerd zijn die elkaar voor een groot deel overlappen. Het is aan te bevelen om tot een eenduidige set van begrippen te komen, die zo consistent mogelijk zijn met de betekenis buiten het kennisgebied van de waterkwantiteit.

Geaggregeerde waarden zijn bedoeld om reeksen met veel getallen samen te vatten door middel van een paar kenmerkende waarden, zoals gemiddelde, hoogste en laagste. Ze werden veel gebruikt in de vroegere jaarboeken en in de tienjarige overzichten. Dergelijke getallen zijn geschikt als referentie voor andere kenmerkende waarden.

Het begrip kenmerkende waarde is heel algemeen. Een synoniem is karakteristieke waarde. Ze kunnen gebruikt worden voor elke waarde die volgt uit een bewerking van de betrokken dataset en iets zinnigs zegt over de "toestand" waarin het betrokken watersysteem zich bevindt.

Het begrip kengetal wordt in eerste instantie geassocieerd met een telefoonnummer. Verder wordt het veel gebruikt als verhoudingscijfer in de context van financieel-economische gegevens. De in paragraaf 2.1 gegeven definitie van kengetal volgt niet uit een zoeksessie op internet en uit woordenboeken. Het is typisch een definitie die bij de Rijkswaterstaat in gebruik is. In het Rijkswaterstaat Standaardvoorschrift (RWSV) "Procedure berekenen kengetallen Fysica" van mei 2006 wordt onder kengetallen fysica verstaan:

- Mediane waarde (50-percentiel)
- 90-percentiel
- 99-percentiel
- Minimum waarde
- Maximum waarde
- Gemiddelde

Het is afhankelijk van de parameter welke kengetallen worden berekend. Standaardafwijkingen worden meestal niet berekend.

De maatgevende waarde is een speciaal geval van een kenmerkende waarde, namelijk een waterstand of rivierafvoer met een bepaalde door de Waterwet opgelegde overschrijdingsfrequentie (norm). In die zin zou het een normaalwaarde genoemd kunnen worden (normaal in de betekenis van als norm dienend).

Het begrip waternormalen is geïnspireerd op het begrip normalen zoals dat in de meteorologie gebruikt wordt, maar wijkt daar in betekenis aanzienlijk van af. De waternormalen zoals die nu te vinden zijn op www.rws.nl zijn niet gerelateerd aan een periode van 30 jaar en omvatten veel meer dan alleen gemiddelde waarden. Het begrip "normaal" uit de meteorologie komt nog het meest overeen met het hierboven beschreven begrip "geaggregeerde waarde" en "kengetal" over een periode van 30 jaar.

Het begrip "slotgemiddelde" wordt op www.rws.nl in zeer algemene zin gebruikt, niet alleen bij door het getij beïnvloede gegevens. Opmerkelijk is dat alle op te vragen bladzijden (inmiddels verwijderd) worden gepresenteerd onder de noemer "slotgemiddelden 1991.0", ook van

bijvoorbeeld de afvoeren bij Lith, en niet onder de noemer “normalen” (Dillingh, 2010b). Van het Merengebied waren geen waternormalen op te halen.

Hier wordt voorgesteld het begrip slotgemiddelden te reserveren voor de aan het astronomische getij gerelateerde parameters, zoals gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater, gemiddelde zeestand en havengetal. Deze werden vanouds elke tien jaar geactualiseerd in verband met zeespiegelstijging en getijverandering. De gemiddelde getijkrommen zelf zijn geen getallen en dus geen slotgemiddelden in strikte zin, maar krijgen wel een aanduiding als 1991.0, etc., omdat ze in dat geval gelden voor de toestand in het begin van 1991. Ze zijn wel gebaseerd op de slotgemiddelden. Het voordeel van deze reservering is dat meteen duidelijk is waarover men het heeft bij gebruik van de term slotgemiddelden.

De begrippen kenmerkende waarde of karakteristieke waarde dekken beter de lading van wat nu wordt aangeduid met waternormalen. Kenmerkende waarden geven in feite precies wat beoogd wordt: de beschrijving van de kenmerkende eigenschappen van een watersysteem. Er wordt dan ook voorgesteld het begrip “kenmerkende waarde” weer in te voeren in plaats van “waternormalen”. Slotgemiddelden, kengetallen en alle andere gepresenteerde grootheden vallen dan onder de noemer kenmerkende waarden. Dit voorstel is in de titel van het onderhavige rapport reeds doorgevoerd.

2.3 Specifieke definities

Hieronder volgen in alfabetische volgorde voor een goed begrip nog een aantal specifieke definities van grootheden die voorkomen in de huidige “waternormalen”, het TO 1981-1990 en het rapport “Gemiddelde Getijkromme 1991.0”, naast de al genoemde algemene definities in paragraaf 2.1.1.

Afvoerkromme – grafische voorstelling van het gemiddelde verband tussen plaatselijke waterstand en afvoer, vaak aangeduid als QH-relatie. Tegenwoordig wordt de afvoerkromme voor de Rijn als Qf-relatie aangeduid, en berekend volgens een methode, waarbij expliciet rekening wordt gehouden met de optredende bodemdaling in de Rijntakken, het stuwbeheer en het verschijnsel hysteresis (een hogere afvoer bij een toenemende waterstand dan bij een afnemende waterstand bij dezelfde waterstand). De f staat voor “functie” (Van Vuuren et al., 1999).

Basispeil - extreem hoge waterstand in het getijgebied met (per definitie) een overschrijdingsfrequentie van 1/10000 per jaar.

Betrekkinglijn – grafische voorstelling die de samenhang tussen gegevens van verschillende peilmeetstations aangeeft (tegenwoordig ook digitaal beschikbaar).

Daling – hoogteverschil tussen een hoogwater en het er opvolgende laagwater.

Doodtij – getijfase waarbij de invloed van de zon die van de maan verzwakt

Gemiddeld hoog-/laagwater – het gemiddelde van alle hoog-/laagwaters over een zekere periode (meestal een jaar of een maand)

Gemiddeld tij – de getijden ongeveer halverwege de tijdstippen van springtij en doortij.

Grensafvoer – de afvoer die op de Maas bij meetpunt Sint Pieter in Maastricht (vóór de uitvoering van de Maaswerken was dat meetpunt Borgharen dorp) c.q. de Bovenrijn te Lobith gemiddeld eens per twee jaar door een topafvoer wordt bereikt of overschreden.

Grensafvoerpeil – het plaatselijk peil bij meetpunt Sint Pieter in Maastricht (vóór de uitvoering van de Maaswerken was dat meetpunt Borgharen dorp) respectievelijk Lobith, dat volgens de geldende afvoerkrommen overeenkomt met de grensafvoer; voor de overige rivierstations het plaatselijk peil dat volgens de geldende betrekkinglijnen overeenkomt met het betreffende grensafvoerpeil van Sint Pieter respectievelijk Lobith.

Grenspeil – plaatselijk peil in het getijgebied dat door een hoogwater gemiddeld eens per 2 jaar wordt bereikt of overschreden.

Halftij – het gemiddelde van gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater

HAT (Highest Atronomical Tide) - het maximum van de hoogwatervoorspellingen in de huidige hydrologische toestand, berekend over een periode van 19 jaar, waarmee dus een hele cyclus van de nodale getijcomponent wordt beschouwd.

Havengetal (ook wel: gemiddeld havengetal) – het gemiddelde van alle maansverlopen over een zekere periode (zie ook bij *maansverloop*). Het getal vormt een tijdsaanduiding voor het optreden van een hoogwater respectievelijk laagwater op een bepaalde locatie, niet in uren (MET of GMT), omdat dat tijdstip steeds verschuift, maar ten opzichte van de maansculminatie van de meridiaan van 5° OL. Er zijn havengetallen voor hoogwater en voor laagwater. De uitdrukking *gemiddeld havengetal* wordt wel gebruikt om onderscheid te maken met havengetallen voor verschillende fasen van het getij (springtij, doottij, etc.)

LAT (Lowest Astronomical Tide) – het minimum van de laagwatervoorspellingen in de huidige hydrologische toestand, berekend over een periode van 19 jaar, waarmee dus een hele cyclus van de nodale getijcomponent wordt beschouwd. Het LAT 2006 is de opvolger van het LLWS als basis voor de reductievlakken van de zeekaarten.

LLWS (Laaglaagwaterspring) – het peil dat, tot de invoering hiervoor van het LAT, diende als basis voor de reductievlakken van zeekaarten. Het is een peil dat slechts zelden wordt overschreden. Het LLWS 1985 is berekend als het gemiddelde over 1980...1984 van het laagste opgetreden springlaagwater van elke maand. Per springtij gelden twee laagwaters als springlaagwater.

Maansverloop – tijdsverschil tussen de maansdoorgang door de plaatselijke meridiaan en het eerstvolgende hoog- respectievelijk laagwater. Voor Nederland wordt de meridiaan van 5° oosterlengte aangehouden.

OLA (Overeengekomen Lage Afvoer) – oorspronkelijk de afvoer van de Rijn te Lobith die gemiddeld gedurende twintig ijsvrije dagen per jaar niet werd bereikt, nadien vastgesteld op een vaste waarde van 984 m³/s. In 2002 is deze waarde in het kader van een afstemming met Duitsland bijgesteld tot 1020 m³/s.

OLR (Overeengekomen Lage Rivierstand) – plaatselijk peil, overeenkomend met het OLA te Lobith, voor stations op de Bovenrijn, de IJssel en de Waal t/m Tiel. Het dient als reductievlak voor diepteaanduidingen op rivierkaarten.

OLW (Overeengekomen Lage Waterstand) – reductievlak voor Nederlandse kaarten voor de benedenrivieren. De onderschrijdingsfrequentie ervan vormt een geleidelijke overgang van die van het OLR-vlak van de bovenrivieren tot die van het LAT (voorheen LLWS) aan de riviermond.

Ontwerppeil – oorspronkelijk een extreem hoge waterstand in het getijgebied met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan de voor de betreffende waterkering gestelde wettelijke norm. Het ontwerppeil vormde het uitgangspunt voor de verbetering van een primaire hoogwaterkering in het getijgebied aan het begin van de planperiode (zie ook maatgevende waarde). Opm.: tegenwoordig wordt hiervoor meestal het begrip toetspeil gebruikt. Onder ontwerppeil wordt dan verstaan het toetspeil plus de toeslagen voor toekomstige stijging van het gemiddelde hoogwater en voor onzekerheid in de waarde van het toetspeil (robuust ontwerpen).

Rijzing – hoogteverschil tussen een laagwater en een er op volgend hoogwater.

Springtij – getijfase waarbij de invloed van de zon die van de maan versterkt

Tijverschil – verschil tussen gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater

Toetspeil – waterstand behorend bij de normfrequentie van de betreffende waterkering, die bij de toetsing wordt gebruikt.

2.4 Groepen van kenmerkende waarden

Veel van de genoemde informatie werd geproduceerd door het toenmalige RIKZ in samenwerking met het RIZA. De dienstonderdelen die destijds verantwoordelijk waren voor inhoud en productie zijn later ondergebracht bij de Waterdienst (WD) en de Data-ICT-Dienst (DID) van RWS en tegenwoordig bij de diensten RWS Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) en RWS Centrale Informatievoorziening (CIV).

De meeste kenmerkende waarden werden standaard na afloop van een decennium berekend en gepubliceerd. Ze zijn geldig voor het eind van dat decennium (of het begin van het volgende). Dat betreft slotgemiddelden en kenmerkende waarden voor afvoeren en waterstanden. Het TO 1981-1990 is het veertiende en tevens laatste TO in de reeks van tienjarige overzichten. Ook betrekkinglijnen, QH-relaties en OLR werden in het verleden 10-jaarlijks berekend.

Niet alle gegeven informatie werd geproduceerd op initiatief van de voormalige WD of DID (daarvoor RIKZ en RIZA). Het vroegere LLWS, tegenwoordig het LAT, werd en wordt berekend op verzoek van de Dienst der Hydrografie van het Ministerie van Defensie. Een nieuwe berekening wordt gevraagd als er nieuwe zeekaarten geproduceerd moeten worden.

Het OLA is voor het laatst in 2002 bijgesteld door de dienst RWS Oost-Nederland, in samenwerking met haar Duitse zusterorganisatie. De bijbehorende waarden voor het OLR van de Rijn en haar takken worden bepaald door RWS Oost-Nederland. Het OLW voor het benedenrivierengebied wordt berekend door RWS WVL na een verzoek van RWS Oost-Nederland daartoe.

QH- en Qf-relaties (afvoerkrommen) en betrekkinglijnen worden bepaald door RWS Oost-Nederland en RWS Zuid-Nederland voor de Rijn (+-takken) respectievelijk de Maas.

Vanwege grote ingrijpende programma's (Ruimte voor de Rivier en Maaswerken) verandert er zoveel, dat een 10-jaarlijkse aanpassing conform de frequentie van de vroegere TO's onvoldoende is. De bepaling geschiedt thans dan ook vaker, voor de Maas zelfs jaarlijks en voor de Rijn (+-takken) tweejaarlijks. Als de rivieren zich hebben aangepast aan de nieuwe situatie na uitvoering van de programma's Ruimte voor de Rivier en Maaswerken, kan weer worden gedacht aan een 10-jaarlijkse bepaling. Het gaat hier bij de informatievoorziening vooral om de gevolgen van de nieuwe lijnen voor de kenmerkende waterstanden en niet zozeer om de lijnen zelf.

Toetspeilen en maatgevende waarden voor de rivierafvoeren worden bepaald in het kader van de zesjaarlijkse (voorheen was dat vijfjaarlijks) toetsing van de primaire waterkeringen volgens de Waterwet van 2009. Daartoe worden door de RWS de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) en het Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV) elke zes jaar geactualiseerd. Het eerste hydraulische randvoorwaarden boek verscheen in 1996 en betrof de toetsperiode 1995-2001. Later verschenen nog het HR2001 en het HR2006.

De vraag kan gesteld worden of de toetspeilen wel moeten worden opgenomen in de tabellen voor de kenmerkende waarden. Hier volgt een aantal overwegingen om dat niet te doen.

- De kenmerkende waarden beogen het watersysteem te karakteriseren. Het toetspeil is gericht op de waterkering en wordt gegeven per onderscheiden dijkvak. Een toetspeil voor een meetpaal is op zich niet erg zinvol.
- Er kan verschil bestaan tussen de waarde bij de normfrequentie bij het station en het toetspeil bij de nabij gelegen waterkering. Dat kan een fysische oorzaak hebben, bijvoorbeeld omdat een meetpaal een grotere afstand heeft tot de waterkering. Vooral in het kustgebied komt dat voor.
- Niet altijd leiden geactualiseerde waarden tot nieuwe hydraulische randvoorwaarden. Er kunnen beleidsmatige redenen zijn om hydraulische randvoorwaarden niet elke 6 jaar aan te passen. De berekende geactualiseerde waarden ten behoeve van de HR2011 zijn bijvoorbeeld nooit formeel hydraulische randvoorwaarden geworden.
- Soms worden alleen voor bepaalde regio's de hydraulische randvoorwaarden geactualiseerd en voor andere regio's gelijk gehouden aan de vorige hydraulische randvoorwaarden.
- Sommige meetlocaties liggen aan meer dan één dijkkring met elk een verschillende normfrequentie.
- In het rivierengebied worden thans grote projecten uitgevoerd (Ruimte voor de rivier, Maaswerken). Daardoor veranderen de actuele waterstanden behorende bij een bepaalde waarde voor de afvoer bij Lobith of Sint Pieter voortdurend tot het watersysteem weer min of meer in evenwicht is. Andere gebruikers dan de waterkeringbeheerder zijn meer geïnteresseerd in deze actuele kenmerkende waarden voor de waterstanden. Die zullen dan ook vaker moeten worden herberekend. Het is niet erg werkbaar om toetspeilen jaarlijks of tweejaarlijks aan te passen.

Willen de kenmerkende waarden actueel zijn, dan zal geaccepteerd moeten worden dat er verschil kan bestaan tussen het toetspeil en de waarde op de meest nabije meetlocatie voor gelijke normfrequentie. Om verwarring te voorkomen wordt aanbevolen de toetspeilen niet in de tabellen voor de kenmerkende waterstanden op te nemen, maar daarvoor te verwijzen naar de hydraulische randvoorwaardenboeken. Wel wordt (als referentie) aanbevolen om actuele waterstanden voor de meetlocaties te geven voor de relevante normfrequenties van de toetspeilen. Het is wel van belang die kenmerkende waarden echt actueel te houden.

In het voorgaande kunnen in hoofdlijnen vier groepen informatie worden onderscheiden:

- Informatie die in beginsel standaard elke tien jaar wordt geproduceerd door de dienst RWS WVL in samenwerking met RWS CIV (slotgemiddelde), voortvloeiend uit de monitoringprogramma's (MWTL);
- Informatie die niet elke tien jaar, maar wel periodiek wordt geproduceerd, zoals de hydraulische randvoorwaarden (WTI-project: toetspeilen, overschrijdingsfrequenties kustgebied, e.d.);
- Informatie die niet periodiek, maar ad hoc op verzoek wordt geproduceerd (LAT, OLW, OLR);
- Informatie die naar behoefte door de regionale RWS-diensten wordt geproduceerd (QH- en Qf-relaties, betrekkinglijnen en overschrijdingsfrequenties rivierstanden).

2.5 Conclusies en aanbevelingen

Bestudering van de laatste tienjarige overzichten (TO's) in boekvorm, de publicatie Gemiddelde Getijkromme 1991.0 en de website www.rws.nl leverde een veelheid aan begrippen op, die niet altijd logisch of met elkaar in overeenstemming waren.

Voorgesteld wordt het begrip "slotgemiddelde" te reserveren voor die kenmerkende waarden die volgen uit een trendberekening en die geldig zijn voor het eind van de periode waarover de trend is berekend (of het begin van de periode daarna), zoals bijvoorbeeld gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en gemiddelde zeestand.

Eveneens wordt voorgesteld het begrip "kenmerkende waarden" weer in te voeren in plaats van "waternormalen". Slotgemiddelden, "kengetallen", en alle andere gepresenteerde grootheden vallen dan onder de noemer "kenmerkende waarden".

Het TO 1981-1990 en de waternormalen van de website www.rws.nl stammen nog uit de tijd dat de Wet op de Waterkering van 1996 (later opgegaan in de Waterwet van 2009) nog niet van kracht was en er dus nog niet periodiek boeken met hydraulische randvoorwaarden verschenen. De huidige informatie is verouderd en dient dringend geactualiseerd te worden.

Het nadeel van de tienjaarlijkse overzichten in boekvorm was dat informatie die tussentijds werd geproduceerd pas in het volgende overzicht kon worden opgenomen. Nu is de papieren uitgave van de tienjarige overzichten al vervangen door haar elektronische tegenhanger: de huidige "waternormalen" van www.rws.nl. In beginsel kunnen die geactualiseerd worden zodra er nieuwe waarden beschikbaar zijn. Tot op heden is dat slechts beperkt gebeurd. Dat betekent dat overschrijdingsfrequenties van waterstanden niet meer overeenkomen met de overschrijdingsfrequenties zoals die thans berekend en verspreid worden voor de Maas en de Rijn (+ takken) met behulp van nieuwe afvoerkrommen en betrekkinglijnen. De beschikbare slotgemiddelden 1991.0 zijn inmiddels ruim twintig jaar oud. Gemiddelde getijgegevens, die gebruikt worden bij het ontwerpen van allerlei waterbouwkundige constructies, zijn ook verouderd. Dit is een ongewenste situatie.

Aanbevolen wordt de informatievoorziening van de kenmerkende waarden steeds zo actueel mogelijk te houden en zo te organiseren dat elk type kenmerkende waarde op tijd wordt vernieuwd en beschikbaar gesteld. Het streven naar gemeenschappelijke periodes is niet nodig. Het is gewenst van elk type kenmerkende waarde, als dat mogelijk is, aan te geven tot wanneer deze geldig is. Het is daarmee voor de lezer meteen duidelijk of een waarde verouderd is en hoe lang.

Dat betekent o.a.:

- Elke tien jaar slotgemiddelden en havengetallen berekenen;
- Overschrijdingsfrequenties van waterafvoeren en/of over- en onderschrijdingsfrequenties van waterhoogten aanpassen zodra ze zijn geactualiseerd. Dat kan zijn met de cyclus van de hydraulische randvoorwaarden voor de waterkeringen, maar soms ook vaker, zoals thans voor de Maas en de Rijn (+-takken). Ze dienen altijd voorzien te worden van het jaar waarvoor ze zijn bepaald en hoelang ze geldig zijn;
- Toetspeilen niet meer opnemen. Deze zijn niet altijd in overeenstemming met de actuele waterhoogten behorende bij de normoverschrijdingsfrequenties voor de waterkeringen. Aanbevolen wordt voor de meetlocaties waarden op te nemen behorende bij de relevante normfrequenties;
- Niet-periodieke informatie, zoals OLA, OLR, OLW en LAT, aanpassen zodra er nieuwe waarden beschikbaar zijn. Ze blijven geldig tot er nieuwe waarden bepaald zijn.

3 Waterstandsdata in de Nederlandse kustwateren

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op wat er nu eigenlijk gemeten wordt en hoe de door Rijkswaterstaat beschikbaar gestelde bestanden voor het kustgebied tot stand zijn gekomen. Dit hoofdstuk is voor de zelfstandige leesbaarheid van het onderhavige rapport overgenomen uit Dillingh (2013), welke studie parallel liep met onderhavige studie.

3.1 Relatieve zeespiegelstijging

Absolute zeespiegelstijging is de werkelijke verhoging van de zeespiegel ten opzichte van het centrum van de aarde door vermeerdering van de hoeveelheid water in de oceanen, wijzigingen in de bodem van de oceaانبekkens en uitzetting als gevolg van temperatuurstijging. Relatieve zeespiegelstijging is de stijging van de zeespiegel ten opzichte van een referentievlak, en is dus de lokale som van de werkelijke zeespiegelstijging en de daling (meestal in de Nederlandse situatie) van het referentievlak. Dat referentievlak kan bijvoorbeeld de hoogte van het maaiveld van het achterland zijn, maar ook het aan het land verbonden nationale of lokale referentievlak. In Nederland is het NAP (Normaal Amsterdams Peil) het nationale referentievlak (zie paragraaf 3.2). Ten opzichte van dit referentievlak worden al gedurende ruim 300 jaar waterstanden gemeten.

Als men de werkelijke (absolute) zeespiegelstijging wil weten ter plaatse van een peilmeetstation moet men dus loskomen van het landgebonden referentievlak. Tegenwoordig kan dat door gebruik te maken van navigatiesatellieten, bijvoorbeeld GPS (Global Positioning System). Hiermee kan de verticale beweging van het referentievlak worden bepaald. In de wereld wordt dat dan ook in toenemende mate toegepast. Vanaf 1993 zijn meetgegevens van de zeespiegel beschikbaar vanuit satellieten. Satellieten meten het wateroppervlak ten opzichte van hun positie in hun omloopbaan in een ellipsoïde. De gevonden stijgsnelheden zijn dus absoluut. De satellietmetingen zijn echter minder geschikt om te bepalen wat er langs een kust aan de hand is. Dat heeft te maken met de "footprint" op het aardoppervlak van het signaal dat de satelliet uitzendt. Die footprint is al gauw enige tientallen kilometers groot, waardoor langs de kust de satellietmetingen worden vervuild, omdat het vaste land binnen de footprint valt. Peilmeetstations geven daar dus de beste informatie.

Het begrip gemiddelde zeespiegel kent geen eenduidige definitie. Afhankelijk van het doel en de lengte van de beschikbare meetreeks wordt gemiddeld over één of meer getijdycyli, een maand, een jaar of nog langer. Gebruikelijk in studies over zeespiegelstijging is middeling over een kalenderjaar. Er zijn echter ook nog natuurlijke klimaatschommelingen en astronomische getijdycyli met langere perioden. Dat betekent dat langere meetreeksen dan deze perioden nodig zijn om deze cycli te kunnen identificeren. Dat is wel van belang om te voorkomen dat een waargenomen versnelde zeespiegelstijging ten onrechte wordt toegeschreven aan een versterkt broeikas effect.

Met het middelen van beschikbare en geschikte metingen van de zeespiegel over een kalenderjaar worden tijdreeksen van jaargemiddelde zeestanden verkregen. Over het algemeen laten dergelijke tijdreeksen behoorlijke fluctuaties zien van jaar tot jaar. Onder zeespiegelstijging wordt hier verstaan de helling van de trendlijn door de jaargemiddelde zeestanden. Met deze trendlijn worden de toevallige en astronomisch bepaalde fluctuaties zo goed mogelijk uitgefilterd.

3.2 Het Normaal Amsterdams Peil (NAP)

Het nationale referentievlak voor de hoogteligging op het land, het NAP (Normaal Amsterdams Peil), is formeel vastgelegd door de halve bolvormige bovenkant van een bronzen bout in de kop van een 22 m lange op een pleistocene zandlaag gefundeerde betonpaal onder de Dam in Amsterdam. Voor de landelijke verspreiding van het NAP-vlak bestaat een netwerk van ondergrondse merken (regionale referentiepunten). Dit zijn palen of buizen die in geologisch stabiele gebieden heel goed in het pleistoceen gefundeerd zijn en waarvan de hoogten zijn bepaald met een zogenaamde primaire waterpassing. Er wordt nog onderscheid gemaakt tussen zogenaamde primaire en secundaire ondergrondse merken. Een primair ondergronds merk bestaat uit een groepje van vier zuilen van beton of graniet op een betonnen fundering met een onderlinge afstand van 10-20m. Ze zijn geplaatst in de periode 1926-1940 (2e Nauwkeurigheidswaterpassing, zie ook bijlage B). Een secundair ondergronds merk bestaat uit een enkele paal. De hoogten van de gewone peilmerken (ca. 30.000) voor het dagelijks gebruik, en aangebracht in bestaande bouwwerken waarvan de fundering niet altijd stabiel is, worden door middel van waterpassingen afgeleid uit de hoogten van ondergrondse merken.

In en rond peilmeetstations langs kust, estuaria, meren en grote rivieren zijn de afgelopen decennia (vanaf halverwege de 60'er jaren) nulpalen geplaatst, bedoeld als een stabiel referentiepunt voor de waterstandsmetingen. Deze nulpalen zijn gefundeerd op het pleistoceen en vervullen dus dezelfde functie als de ondergrondse merken. Ze maken deel uit van het primaire net van het NAP. De instandhouding van het NAP is thans ondergebracht bij de dienst Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening (CIV). Begin 2004 kende het primaire net van het NAP 362 hoofdpunten: 295 ondergrondse merken en 67 nulpalen (De Bruijne et al., 2005).

De onderlinge hoogteverschillen van de ondergrondse merken worden bepaald met een zogenaamde primaire waterpassing, meestal aangeduid met nauwkeurigheidswaterpassing (NWP). Na de 4e NWP (1965-1978) werd het al eerder vermoede bestaan van bewegingen aangetoond. Na analyse van de resultaten van de 5e NWP (1996-1999) is vast komen te staan dat er verschillen bestaan tussen de formeel bestaande hoogtes van de ondergrondse merken en de werkelijke hoogtes uit de recente metingen ten opzichte van het NAP. De oorzaak hiervan wordt voornamelijk gezocht in de onderlinge beweging van de ondergrondse merken, al kunnen ook fouten in de nauwkeurigheidswaterpassingen mogelijk een (kleine) rol gespeeld hebben.

Omdat de bestaande situatie ongewenst was, werd besloten een nieuwe NAP-publicatie uit te brengen, die de werkelijke hoogteverschillen in Nederland weer correct weergeeft (Brand et al, 2004). Op 1 januari 2005 is de nieuwe NAP-publicatie ingevoerd en zijn de hoogtes van de NAP-bouten en -peilmerken aangepast, ook die van bovengenoemde bout onder de Dam in Amsterdam. De publicatie verloopt volledig via internet (www.rdnap.nl). In bijlage B wordt een beknopte geschiedenis gegeven van het NAP.

Over de afgelopen 100 jaar wordt langs de Nederlandse kust een gemiddelde zeespiegelstijging ten opzichte van het NAP gemeten van gemiddeld bijna 20 cm/eeuw. De bodembeweging van de bovenkant van het pleistoceen zit dus impliciet in de meetreeksen. Hoeveel die precies bedraagt is niet helemaal duidelijk en is per station verschillend, maar is langs de Nederlandse kust niet meer dan hooguit 2-4 cm per eeuw (daling) met een lokaal maximum van ca. 10 cm/eeuw (bv. door de gaswinning in Noord-Holland, zie Barends et al., 2008).

3.3 Geologische achtergronden

Om te kunnen beschikken over een plausibele geologische verklaring voor de bewegingen van de ondergrondse merken van het NAP is samenwerking gezocht met de geologische wereld (o.a. Kooi et al, 1998).

Grofweg zijn drie soorten geologische processen verantwoordelijk voor de beweging van de ondergrond: compactie, isostasie en tektoniek. Daarnaast heeft lokaal de delfstoffenwinning invloed en, afhankelijk van het type ondergronds merk, de negatieve kleeft door zettingen van holocene lagen. Negatieve kleeft is de neerwaarts gerichte schuifkracht op een fundering als gevolg van het zakken van de grond eromheen.

Compactie is de dikteverandering van lagen, bijvoorbeeld als gevolg van belasting, verandering van de stijghoogte van het grondwater of delfstoffenwinning (olie, gas). Vooral de compactie van Tertiaire kleipakketten, dus onder de pleistocene zanden gelegen, speelt een rol bij de huidige bodemdaling door hun grote dikte en langzame ontwatering. De bijdrage hiervan aan de huidige bodemdaling in het Nederlandse kustgebied wordt thans op basis van modelberekeningen geschat op 0,4 tot 1,2 cm per eeuw (Barends et al, 2008, bijdrage Kooi).

Isostasie betreft het evenwicht van de lithosfeer (aardkorst en onderliggende ca. 100 km dikke buitenste schil van de aardmantel) en de onderliggende minder harde asthenosfeer. Belangrijk voor Nederland is de belastingverlaging door het afsmelten van de ijskappen aan het eind van de laatste ijstijd, waardoor Scandinavië nog steeds wordt opgeheven en Nederland deels daalt, en de extra belasting door de ermee samenhangende zeespiegelstijging. Een veel gebruikte term in dit kader was "post glacial rebound", maar tegenwoordig wordt vooral de term "glacial isostatic adjustment" (GIA) gebruikt. Ook afgezette dikke sedimentpakketten vormen een belasting voor de lithosfeer. Voor de Nederlandse kust wordt de bijdrage van de isostasie aan de bodemdaling geschat op 1 tot 3 cm/eeuw.

Tektoniek tenslotte heeft betrekking op de interne vervormingen van de lithosfeer, die al dan niet langs breuklijnen plaatsvinden, als gevolg van de dynamiek in het binnenste van de aarde.

3.4 De NAP-publicatie van 2005

De nieuwe NAP-publicatie van 2005 heeft gevolgen voor de tijdreeksen van de verschillende zeeniveaus. De nulpalen bij de peilmeetstations hebben alle formeel per 1 januari 2005 een nieuwe NAP-hoogte gekregen. Dat betekent dus dat er dan in beginsel een discontinuïteit optreedt in de hoogtegegevens van de waterstanden, die niets te maken heeft met veranderingen in de waterstanden zelf, maar alleen veroorzaakt wordt door een verandering in de lokale waarde van de hoogte van het referentievlak. De veranderingen in de NAP-waarden voor de (buiten op de) nulpalen van de peilmeetstations langs de kust zijn gegeven in Tabel 3.1.

Figuur 3.1 geeft de hoogteverschillen van alle punten van het primaire net vóór en na de NAP-publicatie van 1-1-2005. In de figuur komt goed tot uiting dat Nederland in grote lijn afloopt in de richting van de Noordzee, volgens een kanteling om een noordoost-zuidwest gerichte as. Daar bovenop zijn ook kleinschaliger bewegingen te zien waarin bekende tektonische structuren te herkennen zijn, zoals de Peelhorst, de Roerdalslenk en het

Zuiderzeebassin. Recente bodemdaling vanwege de gaswinning in Groningen is in Figuur 3.1 buiten beschouwing gelaten.

Tabel 3.1 Hoogtewijzigingen van de nulpalen bij de kuststations met ingang van 1 januari 2005 (data geleverd door RWS)

Station	1 ^o waterpassing nulpaal	Hoogte t.o.v. oude NAP [mm]	Hoogte t.o.v. nieuwe NAP [mm]	verschil [mm]
Bath	29-8-1992	4106,4	4089,3	-17,1
Bergse Diepsluis west	15-2-1989	7363,1	7348,3	-14,8
Brouwershavense Gat 08	1-1-1978	2963,1	2933,9	-29,2
Cadzand	8-1-1988	6070,0	6042,6	-27,4
Delfzijl	1-1-1978	4285,3	4277,1	-8,2
Den Helder	15-6-1970	6270,7	6253,9	-16,8
Den Oever	1-1-1981	4940,7	4915,4	-25,3
Eemshaven	1-1-1978	3791,4	3781,4	-10,0
Haringvliet 10	27-9-1984	829,0	808,0	-21,0
Hansweert	1-1-1965	4758,7	4744,8	-13,9
Harlingen	1-1-1966	6992,5	6986,0	-6,5
Hoek van Holland	1-1-1969	4854,8	4827,1	-27,7
Huibertgat	15-9-1982	2651,8	2635,0	-16,8
IJmuiden	1-1-1980	4471,3	4449,5	-21,8
Kornwerderzand	1-1-1981	5268,0	5270,5	2,5
Krammersluizen west	7-9-1992	6011,0	6001,8	-9,2
Lauwersoog	1-1-1969	6948,5	6936,0	-12,5
Nes	7-4-1986	3772,2	3761,1	-11,1
Nieuwe Statenzijl	5-12-1994	8060,9	8057,7	-3,2
Oudeschild	15-6-1970	6738,3	6718,0	-20,3
Petten	20-9-1997	6584,1	6553,0	-31,1
Roompot binnen	8-1-1988	5936,0	5906,4	-29,6
Roompot buiten	8-1-1988	5936,0	5906,4	-29,6
Scheveningen	15-6-1970	6502,0	6489,8	-12,2
Schiermonnikoog	11-3-1986	2355,9	2346,2	-9,7
Stavenisse	1-1-1982	7161,2	7140,8	-20,4
Terneuzen	1-1-1967	7319,1	7298,0	-21,1
Terschelling Noordzee	19-9-1989	3527,9	3503,6	-24,3
Texel Noordzee	19-9-1989	2661,1	2642,4	-18,7
Vlieland haven	1-1-1981	6818,4	6796,7	-21,7
Vlissingen	31-8-1982	4699,8	4670,1	-29,7
Westkapelle	1-1-1979	7503,7	7481,9	-21,8
West-Terschelling	15-6-1970	6764,2	6742,8	-21,4
Wierumergronden	15-9-1982	2651,8	2635,0	-16,8

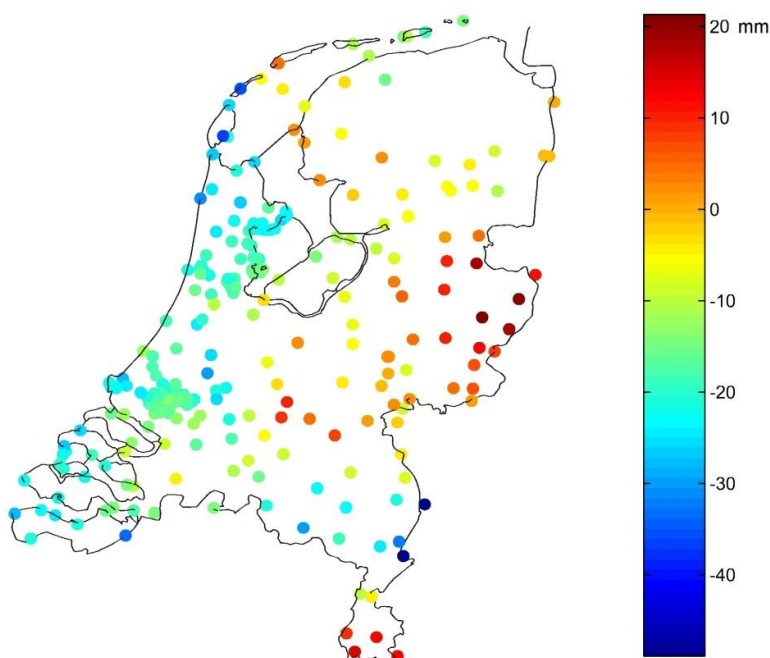
Opmerkingen:

De stations Nes en Schiermonnikoog hebben geen nulpaal. De hoogtewijzigingen zijn ontleend aan die van het dichtstbijzijnde ondergrondse merk van RWS CIV, vergelijkbaar met een nulpaal, maar verder van het peilmeetstation.

De hoogtewijzigingen van de meetpalen Haringvliet 10, Texel Noordzee, Terschelling Noordzee en Wierumergronden zijn ontleend aan respectievelijk paal 42F101 en de punten 1D002, 9B075 en 0G083.

Het huidige NAP (dus van na 2005) is opgehangen aan een cluster van stabiele ondergrondse merken op de Veluwe (Brand, 2002). De overige ondergrondse merken en nulpalen worden hierop aangesloten, ook die van Amsterdam. Uit studies is gebleken dat de verticale beweging van deze stabiele ondergrondse merken op de Veluwe ten opzichte van het middelpunt van de aarde nagenoeg nul is (zie bijvoorbeeld Dillingh et al, 2010a).

Permanente GPS-metingen en zwaartekrachtmetingen moeten deze conclusie nog onderbouwen. De tijdreeksen daarvoor zijn echter nog te kort voor een betrouwbare uitspraak.



Figuur 3.1. De verschillen tussen de hoogten van het primaire net voor en na de NAP-publicatie van 1-1-2005. De figuur geeft een redelijke indicatie voor de relatieve bewegingen die hebben plaats gevonden (Barends et al, 2008, blz. 38).

3.5 Correctie data voor de NAP-publicatie van 2005

Behalve Kornwerderzand hebben alle nulpalen van de peilmeetstations in het kustgebied (zie tabel 3.1) formeel een lagere NAP-hoogte gekregen op 1 januari 2005. Dat betekent dus dat de (NAP-bouten op de) nulpalen een lagere hoogte hebben gekregen ten opzichte van de stabiele ondergrondse merken op de Veluwe, waaraan het NAP thans is opgehangen. Door deze NAP aanpassing hebben de waterstanden, en dus ook de gemiddelde zeeniveaus (hoogwater, laagwater, gemiddelde zeestand) vanaf 2005 een lagere waarde. Dergelijke aanpassingen van het NAP beïnvloeden de resultaten van trendanalyses op de tijdreeksen van de gemiddelde zeeniveaus.

Voor zo zuiver mogelijke tijdreeksen voor trendanalyses zijn de jaargemiddelde zeeniveaus van vóór 2005 gecorrigeerd voor het effect van de NAP-publicatie van 2005 door bij de waarden van vóór 2005 het verschil volgens de laatste kolom van Tabel 3.1 op te tellen, inclusief het teken (+ of -). Dat betekent dus dat de waarden van vóór 2005 verlaagd zijn (behalve voor Kornwerderzand).

Voor elk meetpunt zijn nu jaargemiddelde zeeniveaus verkregen ten opzichte van de bovenkant van het pleistoceen. Dat geldt in ieder geval vanaf de plaatsing van de lokale nulpaal; daarvóór is dat minder duidelijk en helaas niet meer te achterhalen. De bewegingen van de bovenkant van het pleistoceen zijn niet gestopt met de aanpassing van 2005.

In 2005 zijn de lokale NAP-waarden weer op elkaar afgestemd tot één NAP-vlak. Daarna zullen ze weer langzaam uit elkaar gaan tot de volgende correctieslag. De stijgsnelheden van de gemiddelde zeeniveaus die worden afgeleid uit de gecorrigeerde tijdreeksen leveren dus niet de snelheid ten opzichte van het NAP zoals dat is opgehangen aan een cluster van stabiele ondergrondse merken op de Veluwe, maar ten opzichte van wat op de lokale nulpaal is aangegeven en dus ten opzichte van de lokale bovenkant van het pleistoceen.

De uitspraak dat we in Nederland onze waterstanden meten ten opzichte van het NAP verdient dus enige nuancering en moet in het licht worden gezien van wat hier over het NAP gezegd is.

Opgemerkt moet worden dat in de praktijk de nieuwe merkhoogten van de nulpalen pas werden toegepast bij de eerstvolgende nulpuntsverificatie van het betreffende peilmeetstation, en daarbij werden verwerkt in de procedure zoals die gebruikelijk is voor voldoende grote verschillen. Deze verschillen worden uitgesmeerd over een langere periode en in hele cm's vanaf het begin van het jaar tot de verstelling van het nulpunt. Dit is voor elk meetpunt verschillend en moeilijk terug te berekenen. Om die reden is hier als vereenvoudigd model aangenomen dat de jaargemiddelde standen voor alle stations met ingang van 2005 een sprong vertonen die gelijk is aan de voor dat station geldende NAP-hoogtewijziging.

Pogingen in het verleden om van alle peilmeetstations langs de kust de tijdreeksen van jaargemiddelde zeestanden vóór het plaatsen van de nulpalen te corrigeren voor bodemdaling zijn gestrand om de volgende redenen:

1. In de loop der jaren zijn de peilmeetstations steeds via andere peilmerken aan het NAP-net aangesloten. Er zijn niet veel identieke punten te vinden, d.w.z. trajecten die gedurende langere tijd meerdere malen zijn gemeten, waardoor een deformatie-analyse zou kunnen worden uitgevoerd;
2. De eerste ondergrondse merken werden in het oosten van het land geplaatst, omdat daar het stabiele pleistoceen dicht aan het oppervlak ligt. In de loop van de jaren zijn er steeds meer ondergrondse merken in het westen geplaatst, die daarmee vastleggingpunt voor de peilmeetstations werden. De peilmeetreeksen geven daardoor in de loop van de jaren het zeeniveau t.o.v. steeds andere ondergrondse merken tot het plaatsen van de nulpalen bij de stations.
3. Het idee dat het pleistoceen perfect stabiel zou zijn heeft ertoe geleid dat er relatief weinig is gewaterpast. Er zijn daarom weinig gegevens beschikbaar voor een goede analyse.
4. De originele waterpasgegevens van de periode 1926 tot ongeveer 1970 zijn niet in digitale vorm beschikbaar: staan op microfilm of zijn niet meer te vinden.

Voor de verbetering van de kwaliteit van de trendanalyses in de toekomst wordt aanbevolen de waterhoogten niet alleen t.o.v. het NAP op te slaan, maar ook t.o.v. de NAP-bout zelf in de nulpalen. Voor trendanalyses is een dergelijke reeks zuiverder en niet iedereen is zich bewust van de veranderingen in het NAP. Het is dus van groot belang alle veranderingen van de NAP-bout van zo'n nulpaal goed bij te houden en vast te leggen.

De PSMSL (Permanent Service for Mean for Mean Sea Level), een instantie in Engeland, die gegevens van gemiddelde zeestanden verzameld over de hele wereld, reduceert geleverde data tot een gemeenschappelijk referentievlak dat overal ongeveer 7000 mm beneden de gemiddelde zeespiegel ligt. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de geschiedenis van het lokale referentievlak, bij voorkeur een bout in een rots, doorgegeven door de data leverende instantie. Men spreekt dan van RLR-data (Revised Local Reference). Deze data zijn geschikt voor trendanalyses en tijdreeksanalyses. Zonder deze geschiedenis informatie krijgen de data de kwalificatie "Metric only" en worden ze niet geschikt bevonden voor tijdreeks- en

trendanalyses. De door Nederland geleverde meetreeksen behoorden tot voor kort bij de “Metric only” data. Dat was jammer, want Nederland heeft lange peilmeetreeksen, en de peilmeetstations en de bijbehorende gegevensverwerking zijn van zeer hoge kwaliteit. Sinds het doorgeven van de NAP-wijzigingen van 2005 aan de PSMSL hebben de Nederlandse data na datamodellering door de PSMSL alsnog “RLR”-status gekregen.

Nederland kent langs de kust geen rotsen, maar de bouten in de nulpalen vervullen dezelfde rol. Het is dan ook aan te bevelen om naast de hoogten ten opzichte van het NAP, die altijd gewenst zullen blijven, ook waterstanden te meten en op te slaan ten opzichte van de bouten in de nulpalen. Deze reeksen worden dan niet “vervuild” door aanpassingen van de NAP-hoogten. Nog beter is het om de peilmeetstations, in ieder geval de hoofdpeilmeet-stations, ook te voorzien van permanente GPS-hoogtemetingen, dan wel op een andere manier in de absolute hoogtemeting daarvan te voorzien.

In Saarloos (1951) werd al opgemerkt dat “wil men een plaatselijk bodemdalingsgetal leren kennen (DD: ten opzichte van de gemiddelde zeespiegel) dan heeft men de waterstanden nodig aan peilschalen, die onwrikbaar in de bodem zijn bevestigd en die hun onwrikbare stand tot in een verre toekomst behouden”.

3.6 De bepalingwijze van de gemiddelde zeeniveaus

In de loop van de jaren zijn de gemiddelde zeestanden op verschillende manieren berekend. Achtereenvolgens kunnen genoemd worden:

1. Halftijstanden plus een correctie
2. 6-uurlijkse standen (2, 8, 14 en 20 uur)
3. 3-uurlijkse standen (2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23 uur)
4. Alle uurstanden
5. Alle 10-minutenstanden

Ad 1. Voordat de peilmeetstations rond 1884 uitgerust werden met een peilschrijver, waardoor het verloop van de waterstand met behulp van een pen op een langzaam draaiende trommel, waarop een registratieblad was bevestigd, werd overgebracht, werden waterstanden door een waarnemer afgelezen van een peilschaal en werden de gemiddelde zeestanden berekend uit de waargenomen daghoog- en daglaagwaters (waargenomen tussen 6 en 18 uur). Alle daghoogwaters en daglaagwaters in een jaar werden gemiddeld. Het verschil tussen deze gemiddelden was de gemiddelde halftijstand. Hierop werd een (per station verschillende) correctie toegepast voor het bepalen van de gemiddelde zeestand, afhankelijk van de lokale vorm van de getijkromme. In de periode 1921...1935 werden voor een aantal stations de gemiddelde zeestanden ook nog berekend uit halftijstanden met een correctie, waarbij de halftijstanden werden berekend uit alle hoog- en laagwaters (dag en nacht), ondanks dat er registraties en dus uurwaarnemingen beschikbaar waren.

Ad 2. In de periode 1884...1922 werden de gemiddelde zeestanden hoofdzakelijk bepaald uit vier waarnemingen per dag die werden afgelezen van de registratiebladen voor de tijdstippen 2, 8, 14 en 20 uur. Alle waarden werden over een kalenderjaar gemiddeld.

Ad 3. In de periode 1931...1970 werden de gemiddeld zeestanden over het algemeen bepaald uit acht waarnemingen per dag, afgelezen van de registratiebladen op de tijdstippen 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 en 23 uur.

Ad 4. Van alle getijstations zijn de registratiebladen vanaf 1-1-1971 gedigitaliseerd op uurwaarden. Deze waarden, 24 per etmaal, zijn opgeslagen in elektronische bestanden. Jaargemiddelde zeestanden kunnen hiermee eenvoudig worden berekend door middeling over alle beschikbare uurwaarden.

Ad 5. In 1987 zijn de peilschrijvers vervangen door digitale niveaumeters, waarmee de inwinning van tienminutengemiddelden van de waterstanden volledig automatisch geschiedt. Sindsdien worden jaargemiddelde waterstanden berekend uit alle tienminutengemiddelden.

Het zal duidelijk zijn dat de huidige bepalingwijze van de gemiddelde zeestanden uit tienminutengemiddelde waarden de meest nauwkeurige is. De berekende waarden uit de uurstanden en 3-uurlijkse standen blijken volgens vergelijkend onderzoek goed met elkaar overeen te komen, die uit 6-uurlijkse standen zijn wat minder nauwkeurig. Het minst nauwkeurig zijn de gemiddelde zeestanden berekend uit halftijstanden. Voor meer informatie wordt verwezen naar De Ronde (1982 en 1983) en naar Van den Hoek Ostende en Van Malde (1989).

De gemiddelde hoog- en laagwaterstanden zijn vanaf ongeveer 1884 berekend uit de standen voor hoog- en laagwaters welke werden afgelezen van de registratiebladen. Daarvóór (peilschalen) werden ze berekend uit alleen de daghoogwaters en daglaagwaters.

3.7 Beschikbaarheid van de data

In Dillingh (2013) worden voor de meetlocaties in de kustwateren grafieken gegeven voor alle beschouwde tijdreeksen van gemiddelde zeestand, gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en tijverschil, en van de bijbehorende berekende trendlijnen. Een paar voorbeelden staan in Bijlage E. Voor de overige grafieken wordt verwezen naar het genoemde rapport.

Voor een aantal stations lopen de tijdreeksen van gemiddelde zeestanden vanaf 1971, terwijl de reeksen voor gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater veel verder teruggaan. Dat is het geval voor de stations Bath, Cadzand, Westkapelle, Stavenisse, Scheveningen, Petten-Zuid, Den Oever en Oudeschild.

Tot en met 1970 werden van met een peilschrijver uitgeruste waterstandsmeeptunten in het getijgebied in beginsel alleen de tijden en standen van hoog- en laagwaters opgeslagen, naast de uurstanden 4 of 8 maal per dag. Hiaten werden opgevuld met peilschaalwaarnemingen en geïnterpoleerde standen.

Vanaf 1934 werden maand- en jaargemiddelden aangeleverd aan de al eerder genoemde PSMSL (Van vóór 1934 zijn ook jaargemiddelden bekend voor deze stations). De voor Nederland oorspronkelijk hiervoor geselecteerde stations waren Delfzijl, Harlingen, West-Terschelling, Den Helder, IJmuiden, Hoek van Holland, Hellevoetsluis, Brouwershaven, Zierikzee en Vlissingen. De berekeningswijzen zijn beschreven in paragraaf 3.6.

De overgang van het aflezen van 6-uurlijkse standen naar 3-uurlijkse standen werd mede ingegeven door de dataleveranties aan de PSMSL. Naast de daarvoor geselecteerde stations werden de standen ook voor een aantal andere stations 3-uurlijks afgelezen in verband met het uitvoeren van harmonische getij-analyses.

Van de stations waarvan de gemiddelde zeestanden beschikbaar zijn vanaf 1971, terwijl de reeksen voor gemiddeld hoogwater en laagwater veel verder teruggaan, zijn geen of vrijwel geen digitale equidistante tijdreeksen beschikbaar. Het toevoegen van data berekend uit halftijstanden met een correctie voor de vorm van de getijkromme zou eigenlijk niets

toevoegen uit wat men al kan afleiden uit de tijdreeksen van gemiddeld hoog- en laagwater. Bovendien wordt de periode waarover dezelfde correctie terug in de tijd zou moeten worden toegepast vaak veel groter dan destijds bij de samenstelling van het PSMSL-bestand. De lokale correctie ten gevolge van wijzigingen in de getijkromme kan op een termijn van decennia wel enkele cm's verlopen.

Veel van deze stations zijn relatief kort geleden met een peilschrijver uitgerust, bijvoorbeeld Stavenisse pas in 1956, waardoor het alsnog digitaliseren van lange reeksen equidistante data niet eens mogelijk is.

Cadzand

Bij Cadzand wijken de perioden van de hiaten voor de gemiddelde zeestand af van die van de gemiddelde laagwaterstand.

Cadzand behoorde niet tot de locaties waarvoor vanaf 1934 data aan de PSMSL zijn geleverd. Wel zijn er ooit jaargemiddelden berekend uit 6-uurlijkse standen t/m 1920. Op de oude meetlocatie (tegen de oostelijke vleugelmuur van de uitwateringsluis "De Wielingen") werd de registratie bij laag water geleidelijk onbetrouwbaarder. In 1966 werd een nieuwe meetpaal in gebruik genomen.

Terneuzen

Bij Terneuzen ontbreken de gemiddelde zeestanden voor de jaren 1920 t/m 1939 en 1944 t/m 1946, terwijl die voor de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden wel beschikbaar zijn. Terneuzen is geen PSMSL-locatie, maar er waren ooit wel jaargemiddelden berekend uit de 6-uursstanden t/m 1920. De gemiddelden over 1944 t/m 1946 ontbreken wegens te grote onvolledigheid.

Stavenisse

De waterstanden bij Stavenisse zijn vanaf 1976 tot 1987 sterk beïnvloed door de Oosterscheldewerken. De bouw van de Philipsdam begon eind 1976 met de aanleg van een werkeiland op de Plaat van Vliet. Het sluzencomplex (de Krammersluizen) was in 1983 gereed. Begin 1987 was de dam gereed en werd hij officieel geopend. In 1983 was de Markiezaatskade klaar. De bouw van de Oesterdam startte in 1979 met de aanleg van een werkeiland en werkhaven voor de Bergse Diepsluis. In 1986 kwam de Oesterdam gereed. De Oosterscheldekering werd "geopend" in 1986.

Scheveningen

In Scheveningen werd pas in 1961 een Meetpunt van Rijkswaterstaat gerealiseerd. Oudere data zijn afkomstig van het vroegere gemeentelijke peilmeetstation bij de sluis. De data van hoog- en laagwaterstanden werden in tabelvorm aan RWS geleverd. RWS beschikt dus niet over de registraties van vóór die tijd.

Petten zuid

De beschikbare tijdreeksen voor gemiddeld hoog- en laagwater van Petten-zuid tonen twee hiaten. Ze zijn een samenvoeging van drie verschillende reeksen. De oudste reeksen betreffen de jaren 1863 t/m 1953. Het zijn peilschaalwaarnemingen van daghoogwaters en daglaagwaters. In 1988 doken ze op uit een archief in Noord-Holland. Ze zijn gebruikt in het werk van Saarloos (1951), maar nooit vermeld in publicaties van Rijkswaterstaat, zoals de Jaarboeken der Waterhoogten. Over de wijze van handhaven van het NAP is niets bekend. In de tweede periode van 1964 t/m 1973 heeft er een peilschrijver gestaan ter hoogte van het reactorcentrum. Vanaf 1977 werkt de nieuwe opstelling (meetpaal), Petten zuid genoemd, omdat de peilschrijver al werd aangeduid met Petten.

Vlieland haven

Vlieland haven vertoont ten opzichte van de andere Waddenstations een zeer snelle stijging van het gemiddelde laagwater over de periode van ca. 1880 tot ca. 1920. Daarna is er een hiaat tot 1941. De oude peilschrijver (tot 1920) en de nieuwe peilschrijver (vanaf november 1940) stonden op dezelfde locatie.

De registratie van de oude was onbetrouwbaar rond laagwater en de afwijking werd steeds groter. Daarom zijn vanaf 1922 alleen nog daghoogwaters bewerkt. Bij de reeksen van jaargemiddelden zijn als leidraad de oude Tienjarige Overzichten gebruikt (geldt overigens voor alle stations). Als daarin jaargemiddelden waren gepubliceerd zijn ze in de tijdreeksen opgenomen, ook als bekend was dat ze onbetrouwbaar waren.

Nieuwe Statenzijl

Voor Nieuwe Statenzijl zijn alleen jaargemiddelde hoogwaterstanden beschikbaar. Jaargemiddelde laagwaterstanden konden niet berekend worden omdat de laagwaters over het algemeen niet of niet goed gemeten kunnen worden wegens droogval. Het gevolg is dat ook gemiddelde zeestanden en gemiddelde tijverschillen niet berekend konden worden.

Vlissingen en IJmuiden

Vlissingen en IJmuiden laten beide een afwijkend verloop zien vóór ca. 1885, zowel voor de gemiddelde zeestanden als voor de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden. De oorzaak van dit afwijkend verloop is niet gedocumenteerd en niet bekend. Het zou kunnen zijn dat er een verband is met het einde van de eerste Nauwkeurigheidswaterpassing (1875-1885, zie bijlage B).

Als er sprake is van een verandering in het lokale referentievlak zou de sprong in de onderscheiden zeeniveaus even groot moeten zijn en zou het tijverschil niet beïnvloed mogen worden. Verderop in dit rapport wordt hierop verder ingegaan. Een andere mogelijkheid is een lokale verandering in de hydrologische omstandigheden door uitgevoerde werken en/of de verplaatsing van de meetopstelling.

Delfzijl

Voor het statistisch onderzoek naar de overschrijdingsfrequentie van extreme stormvloedstanden waren voor Delfzijl continue data beschikbaar vanaf 1 maart 1881 t/m 31 december 1985 (Dillingh et al, 1993). De thans beschikbare reeksen gaan veel verder terug, tot 1824.

In 1988 werden, in zijn speurtocht naar oude peilschaalwaarnemingen, door Van den Hoek Oostende in het Rijksarchief van Groningen, tabellen met peilschaalwaarnemingen (hoog- en laagwaters overdag) van enkele meetpunten in het noordoosten van het land uit de jaren 1824 tot 1877 gevonden, die destijds bij Rijkswaterstaat niet bekend waren. Het bestaan ervan was aan het licht gekomen via het werk van G.A. Venema (Vloed en eb langs de Groningse kust, 1860). Deze data zijn gedigitaliseerd en omgerekend naar het NAP (het oudste deel ook naar cm's) door Koos Doekes van de Rijkswaterstaat. Ook de reeks gemiddelde zeestanden is door hem verlengd door herleiding uit daghalftij. Vanwege het onzekere karakter hiervan – de periode waarover de herleiding is bepaald is pas het eind van de 19^e eeuw – is deze uitgebreide reeks niet aan de PSMSL geleverd. Er is geen publicatie bekend waarin dit staat gedocumenteerd.

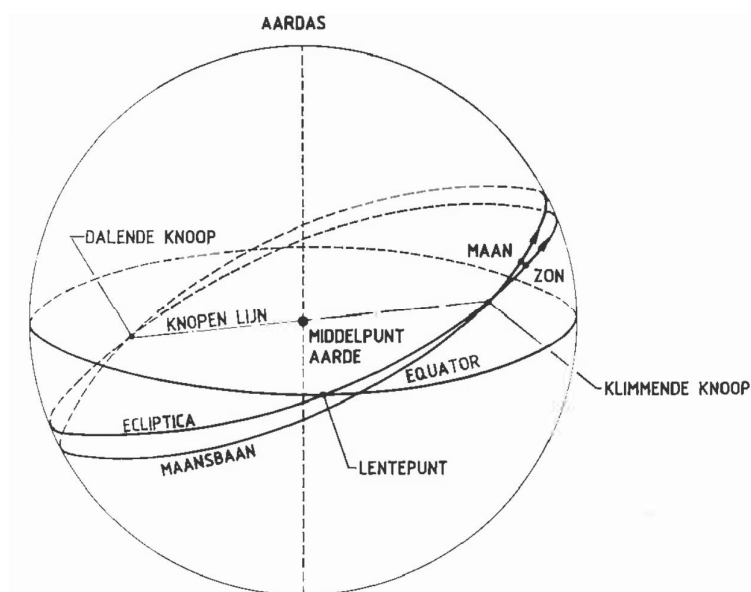
4 Methode trendanalyses kustgebied

Dit hoofdstuk gaat over de wijze waarop de trends in de tijdreeksen van gemiddelde zeeniveaus zijn berekend. Een belangrijk punt van aandacht is de correctie voor de 18,6-jarige cyclus in de tijdreeksen. Dit hoofdstuk is voor de zelfstandige leesbaarheid van het onderhavige rapport eveneens grotendeels overgenomen uit Dillingh (2013).

4.1 De 18,6- jarige cyclus in de tijdreeksen van jaargemiddelde zeeniveaus

In Dillingh et al (2010) werd bestudeerd hoe lang de tijdreeksen van de gemiddelde zeestand moesten zijn voor een betrouwbare schatting van de zeespiegelstijging. Daarvoor werd het belangrijk gevonden om deze tijdreeksen te corrigeren voor een in de reeksen aangetoonde 18,6-jarige getijcyclus (de zogenaamde knopencyclus), welke een astronomische oorsprong heeft.

Om de 18,6-jarige cyclus te begrijpen wordt gebruik gemaakt van het begrip hemelbol, een fictieve bol met een straal vele malen groter dan die van de aarde, die niet roteert ten opzichte van de sterren, met de aarde meebeweegt en dezelfde equator heeft. Als de zon beschouwd wordt als draaiende om de aarde, dan ligt de projectie van de baan van de zon op de hemelbol in een vlak dat een hoek maakt van $23,5^\circ$ met het equatorvlak van de aarde. Deze cirkelvormige baan wordt de ecliptica genoemd. De declinatie van de zon varieert van $+23,5^\circ$ tot $-23,5^\circ$ met een periode van 1 jaar. De declinatie is de hoek die de lijn door de middelpunten van aarde en hemellichaam (hier dus de zon) maakt met het vlak van de equator. De declinatie is het grootst op de langste dag op het noordelijk halfrond ($+23,5^\circ$, omstreeks 21 juni) en het kleinst ($-23,5^\circ$, omstreeks 22 december) op de kortste dag op het noordelijk halfrond (met dag wordt hier bedoeld de periode dat het licht is).



Figuur 4.1 De snijcirkels gevormd door de doorsnijding van de vlakken van de equator, de ecliptica en de maansbaan met de hemelbol (DGW, 1989).

De plaats van de zon op de ecliptica op het tijdstip dat op het noordelijk halfrond de lente begint, wordt het lentepunt genoemd. Het lentepunt is dus het snijpunt van ecliptica en equator omstreeks 21 maart. De declinatie is dan 0° en dag en nacht duren overal op aarde precies even lang. Dat is natuurlijk ook het geval in het andere snijpunt van equator en ecliptica, het herfstpunt, omstreeks 23 september.

Het vlak van de maansbaan om de aarde maakt een vrij kleine hoek van ongeveer 5° met het vlak van de ecliptica. De snijlijn van deze vlakken wordt de knopenlijn of drakenlijn genoemd. De snijpunten van de maansbaan en de ecliptica zijn de knopen. Het maansbaanvlak draait nu om een as loodrecht op het eclipticavlak, waardoor de knopenlijn rondraait in dat vlak met een periode van 18,6 jaar. De draaiingsrichting van de knopen op de hemelbol is tegengesteld aan die van de zon en de maan.

Dit veroorzaakt een periodieke schommeling in de jaargemiddelde getijamplituden met een cyclus van 18,6 jaar. Tevens geeft dit een periodieke stijgings- en dalingscomponent in de tijdreeksen van de gemiddelde zeespiegel. In Baart et al. (2012) wordt uitgebreid ingegaan op de het effect van de knopencyclus op regionale schattingen voor de zeespiegelstijging.

De invloed van de knopencyclus op de gemiddelde laagwaterstanden is over het algemeen groter dan op de hoogwaterstanden. Omdat de gemiddelde zeestanden worden berekend uit alle gemeten waarden komt de 18,6-jarige cyclus ook in de gemiddelde zeestanden terecht.

Waarom het effect op de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden zo verschillend is, is niet helemaal duidelijk, maar heeft vermoedelijk deels te maken met niet-lineaire interacties in ondiepe randzeeën zoals de Noordzee.

Voor het berekenen van de slotgemiddelden werd vanouds deze deterministische component zo goed mogelijk uit de data verwijderd. De volgende formule werd hierbij toegepast (zie bijvoorbeeld DGW, 1989):

$$y = A.t + B.\sin\left\{\frac{2\pi(t + \varphi)}{18,6}\right\} + C$$

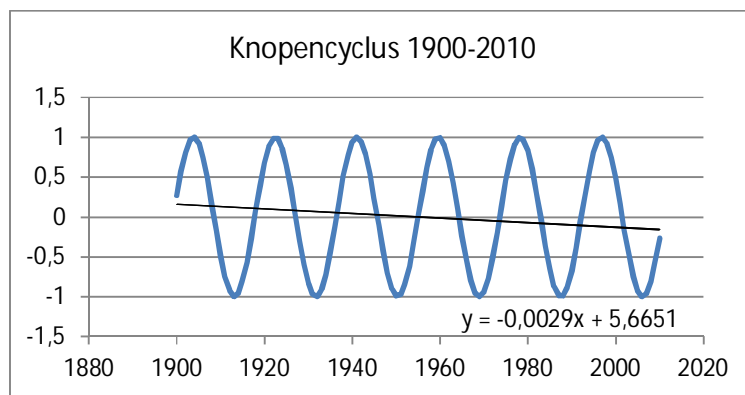
Hierin is t het jaartal. Het rechterlid is de som van een rechte lijn en een sinusoïde met amplitude B en fase φ en is dan ook alleen geschikt voor lineaire of nagenoeg lineaire trendmatige verlopen. De coëfficiënten A , B , C en φ kunnen worden berekend met een kleinste kwadratenaanpassing aan de data. Voor de knopencyclus wordt voor φ in bovenstaande formule ook wel de vaste waarde van -2 jaar aangenomen. Deze waarde is afgeleid voor de 20^e eeuw onder toepassing van een waarde van 18,6 jaar voor de periode van de knopencyclus. In het vervolg zijn deze waarden consequent toegepast. Bijlage B laat zien dat de fase voor Vlissingen (als voorbeeld) in de 20^e eeuw hiermee goed in overeenstemming is met de werkelijkheid. Vooral voor het tijverskil is dit goed zichtbaar. Voor de gemiddelde zeestand is dat minder duidelijk en wordt deze waarde niet altijd toegepast. Toch is er hier voor gekozen dat wel te doen, omdat niet duidelijk is waarom die zou moeten afwijken van die voor tijverskil en hoog- en laagwater.

Opmerking: De vaste waarde van -2 voor φ geldt bij toepassing van de waarde van 18,6 voor de periode van de knopencyclus. Een nauwkeuriger waarde voor deze periode is 18,613 jaar. Toepassing van deze nauwkeuriger waarde in bovenstaande formule zonder aanpassing van de waarde van -2 voor de fase leidt tot een verschuiving van 1,37 jaar (gemiddeld over de periode 1900-2010). Om weer op dezelfde sinusoïde uit te komen dient de fase gewijzigd te worden naar een waarde van $-2+1,37 = -0,63$ (afgerond -1).

In het vervolg zijn voor de periode en de fase de waarden 18,6 (jaren) respectievelijk -2 (jaren) toegepast.

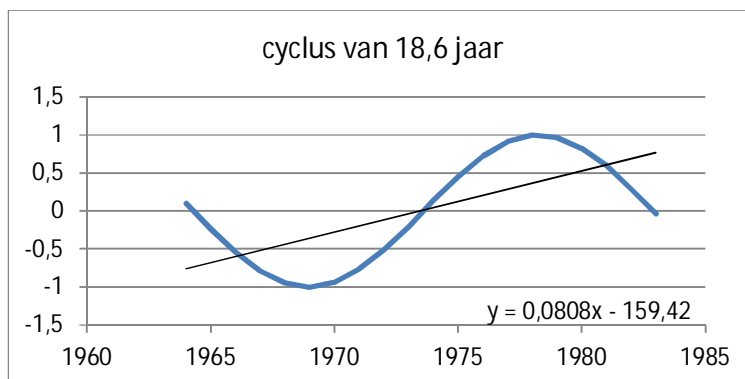
4.2 Het effect van een periodiek signaal in de tijdreeksen op de lineaire trend

Om het effect van een aanwezige sinusvormige component op een lineaire trend te laten zien is in figuur 4.2 een cyclus getekend met een periode van 18,6 jaar over de periode 1900-2010, waarbij de coëfficiënten A en C van bovenstaande formule op 0 zijn gesteld en de coëfficiënten B en φ respectievelijk op 1 en -2 zijn gesteld. De horizontale t-as kan hier dus opgevat worden als de lineaire trendlijn waarop de sinusoïde van de knopencyclus is gesuperponeerd.



Figuur 4.2 De lineaire trend in een knopencyclus over de periode 1900-2010, waarbij de amplitude van het sinusvormige signaal is gesteld op 1.

De lineaire trendlijn, berekend over de beschouwde periode 1900-2010, is in de figuur getekend en wijkt duidelijk af van de horizontale as. De trend als gevolg van alleen de sinusoïde bedraagt voor dit geval 0,0029 “eenheden” per jaar, immers de amplitude is gesteld op 1. In Dillingh et al (2010), paragraaf 2.9, is deze “eenheid” berekend op 1,5 cm voor de gemiddelde tijdreeks van de gemiddelde zeestanden van de zes hoofdstations, overeenkomend met een trend van $0,29 \times 1,5 \approx 0,44$ cm per eeuw. De berekende lineaire trend voor de gemiddelde zeestand over deze periode langs de Nederlandse kust bedraagt gemiddeld 19 cm per eeuw. Hierbij is rekening gehouden met de 18,6-jarige cyclus.

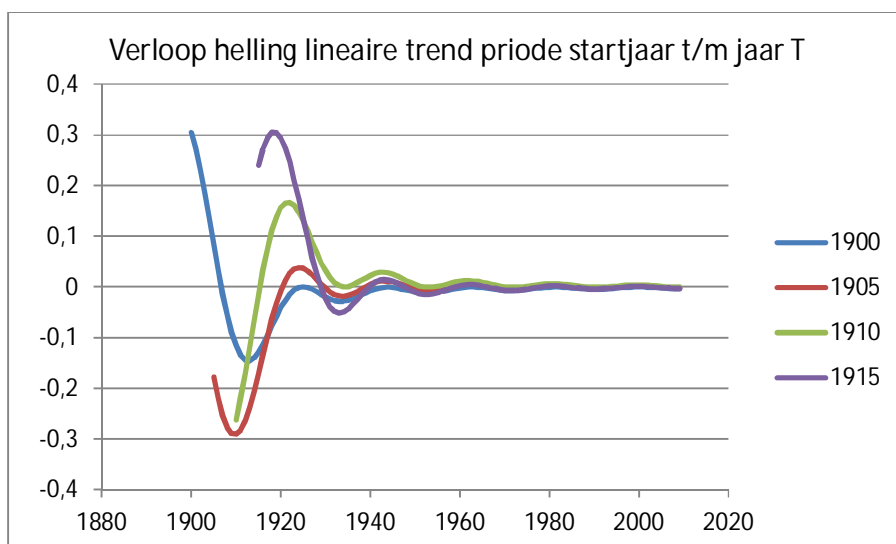


Figuur 4.3 De lineaire trend in een knopencyclus over de periode 1964-1983, waarbij de amplitude van het sinusvormige signaal is gesteld op 1.

In figuur 4.3 is ter illustratie de lineaire trendlijn getekend voor een cyclus van 18,6 jaar over een periode van 19 jaar, waarbij in het startjaar de sinuswaarde vrijwel gelijk aan nul is. Deze figuur laat duidelijk zien wat er met een berekende lineaire trend gebeurt in aanwezigheid van een sinusoïde in het signaal. Uiteraard is de grootte van deze trend afhankelijk van de beginfase.

Naast de beginfase van de sinusoïde hangt de berekende trend ook af van de lengte van de tijdreeks. Om hiervan een indruk te geven zijn in figuur 4.4 verlopen van de lineaire trend getekend, berekend over de periode startjaar t/m jaar T , voor vier verschillende startjaren van de tijdreeks (en dus verschillende beginfase van de sinusoïde).

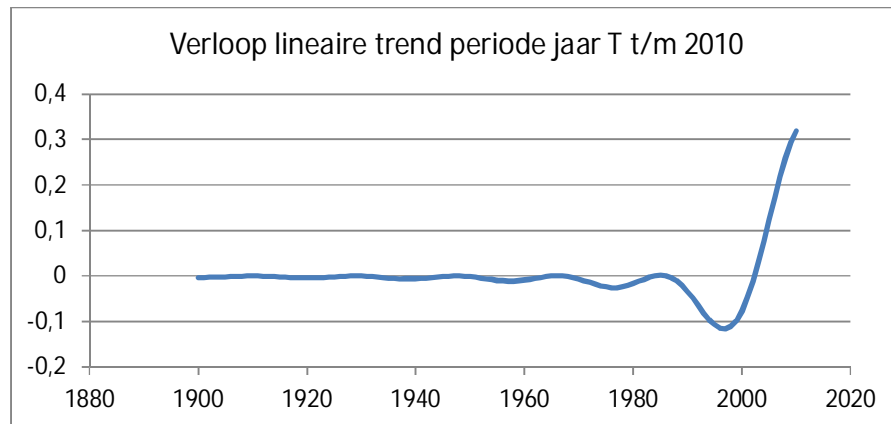
Uit figuur 4.4 valt af te leiden dat voor korte tijdreeksen (korter dan ca. 40 jaar) de berekende lineaire trend sterk kan afwijken van de werkelijke lineaire trend (hier dus gelijk aan 0). Voor tijdreeksen langer dan ca. 50 jaar is het effect van de knopencyclus op de berekende trend voor de praktijk verwaarloosbaar. In beginsel is het mogelijk om voor elke tijdreeks aan de hand van verlopen als in figuur 4.4 de periode te bepalen waarover de trend berekend moet worden om het effect van de cyclus op de berekende lineaire trend te neutraliseren (snijpunten met de t -as).



Figuur 4.4 Verloop van de lineaire trend in een knopencyclus met een amplitude van 1, berekend over de periode vanaf het startjaar t/m jaar T voor 4 verschillende startjaren van de tijdreeks (1900, 1905, 1910 en 1915).

In figuur 4.5 is nogmaals duidelijk aangegeven wat een korte lengte van de tijdreeksen betekent voor het specifieke geval van het onderhavige onderzoek, waarvoor tijdreeksen beschikbaar zijn vanaf een zeker jaar (T) tot en met 2010. De vraag is dan tot hoe ver terug de reeksen moeten gaan om de afwijking in de lineaire trend als gevolg van de 18,6-jarige cyclus te minimaliseren. Daarmee samen hangt de vraag welke tijdreekslengten juist een grote trendafwijking laten zien.

Volgens Figuur 4.5 geven de reeksen met startjaren vóór 1955, in de periodes 1965-1968, 1984-1987 en voor het jaar 2002 een minimale trendafwijking als gevolg van de 18,6-jarige cyclus. De afwijking bij het startjaar 1971 blijft nog binnen de perken.



Figuur 4.5 Verloop van de lineaire trend in de sinusoïde van Figuur 4.2 over de periode vanaf jaar T tot en met jaar 2010.

4.3 Keuze van de analysemethode

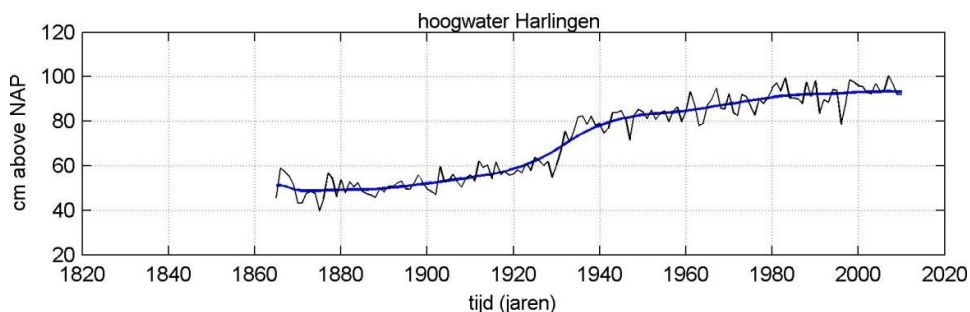
De gemiddelde zeestanden laten zich over het algemeen nog redelijk goed karakteriseren door middel van een lineaire trendlijn, maar voor gemiddelde hoog- en laagwaterstanden en gemiddeld getij is dat veelal niet meer het geval. Een blik op de figuren in bijlage E toont dat wel aan. Een benadering van deze tijdreeksen door een lineaire trendlijn met daarop gesuperponeerd een sinusoïde met een periode van 18,6 jaar is daarom geen begaanbare weg. Hiervoor zullen dus niet-lineaire trendlijnen gezocht moeten worden.

Een lineaire trend geeft een goed beeld van de gemiddelde trend over de geanalyseerde periode. Voor het laten zien van trendfluctuaties binnen deze periode, en dus ook van mogelijke versnellingen aan het einde van de periode, is deze methode minder geschikt.

In Dillingh en Heinen (1994) werd als analysemethode de SSA-methode toegepast. De SSA-methode (Singuliere Spectrum Analyse) biedt de mogelijkheid een tijdreeks uiteen te rafelen in een niet lineaire trend en een aantal periodieke componenten. Bij deze analyse wordt gebruik gemaakt van deelreeksen van de tijdreeks met een gekozen aantal (M) aaneengesloten jaren. M wordt het venster genoemd.

De keuze van het venster M bepaalt de mate waarin de kenmerken van de tijdreeks (trend, periodieke componenten) worden onderscheiden. Voor M moet per tijdreeks een verstandige keuze worden gemaakt door vergelijking van de resultaten bij verschillende vensters.

Voor een eenvoudig begrip kan de toepassing van de SSA-methode voor trendanalyse van de reeksen van jaargemiddelde zeeniveaus gezien worden als een geoptimaliseerde vorm van lopend middelen. In Figuur 4.6 is een voorbeeld gegeven van een SSA-trendlijn voor station Harlingen. Nadelen van de SSA-methode zijn dat de methode niet goed om kan gaan met sprongen in de dataset, zoals in dit voorbeeld voor het hoogwater bij Harlingen. In 1932 is een sprong in het verloop van het gemiddelde hoogwater te zien als gevolg van het gereedkomen van de Afsluitdijk in 1932. Hoe nauwkeuriger men de sprong wil benaderen met de trendlijn, des te kleiner moet het venster M zijn. Dat brengt echter weer met zich mee dat de trendlijn weer meer in detail de kortere fluctuaties in de tijdreeks gaat volgen, wat voor het hier beoogde doel ongewenst is.



Figuur 4.6 SSA-trendlijn gemiddeld hoogwater Harlingen

De SSA-methode vereist ook complete tijdreeksen, dus zonder hiaten. Bij grote hiaten is een SSA-analyse daarom meestal niet erg zinvol. Kleine hiaten kunnen nog wel opgevuld worden, bijvoorbeeld door lineaire interpolatie.

Een goed alternatief is dan de zogenaamde Whittaker smoother, (Dillingh et al, 2010a) en (Eilers, 2003 en 2006). Deze smoother (letterlijk te vertalen als gladstrijker) minimaliseert de volgende *penalized least sum of squares (PLSS)*:

$$Q = \sum_i w_i (y_i - z_i)^2 + \lambda \sum_i (\Delta^2 z_i)^2$$

Hierin is y de meetreeks, geeft w gewichten, die 1 zijn voor jaren met een meetwaarde en 0 als dat niet het geval is (een gat in de waarnemingsreeks), en z de te berekenen trend.

De eerste term van de vergelijking berekent het kwadraat van de verschillen tussen gegevens en trend.

Als z een rechte lijn is, geeft minimalisering van Q de uitkomst volgens een *lineaire regressie*. De tweede term van bovenstaande vergelijking, de penalty (boetefunctie), is een maat voor de "ruwheid" van het verloop van de trendlijn. De notatie $\Delta^2(z)$ betekent $\Delta(\Delta z)$ en dus het tweemaal toepassen van de verschiloperator Δ . Deze differentie van de tweede orde is een numerieke benadering van de tweede afgeleide, die weer een maat is voor de kromming van de functie. De parameter λ in de tweede term van de vergelijking bepaalt de sterkte van de invloed van deze "penalty" op het resultaat. Lagere waarden voor λ leiden tot curven die steeds beter de oorspronkelijke gegevens volgen en dus meer fluctuaties zullen tonen.

Voor $\lambda=0$ wordt de oorspronkelijke datareeks verkregen. Hogere waarden voor λ leiden tot een gladdere trendlijn. Voor $\lambda=\infty$ komt het resultaat exact overeen met een lineaire regressie.

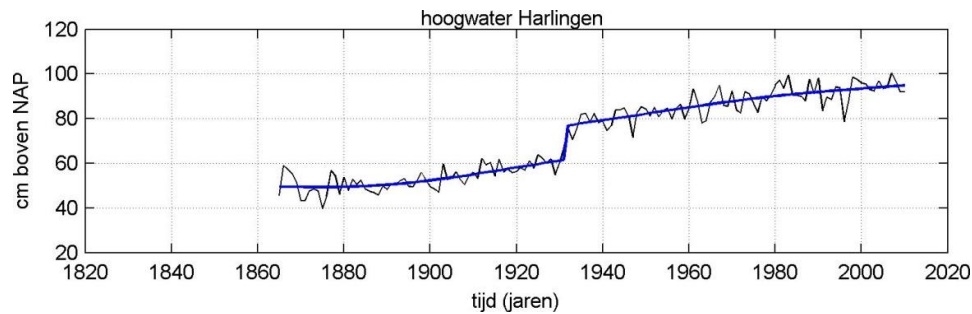
Hier is gekozen voor $\lambda=10^4$. Deze keuze van λ is gebaseerd op het "ingenieursoog" voor ronde waarden van λ (Dillingh et al, 2010a). De gekozen waarde voor λ heeft als resultaat dat trendveranderingen goed gevolgd worden en dat het resultaat niet erg gevoelig is voor toevoeging van een nieuw jaar.

Figuur 4.7 laat als voorbeeld het resultaat zien van de toepassing van de Whittaker smoother op dezelfde tijdreeks van gemiddeld hoogwater voor Harlingen.

De Whittaker smoother kan moeiteloos omgaan met hiaten. Het is ook relatief eenvoudig om een discontinuïteit in de tijdreeks te modelleren. De ontwikkelde software zorgt ervoor dat voor en na de discontinuïteit de helling van de trendlijn gelijk is. Het voordeel hiervan is dat voor het bepalen van gemiddelde stijgsnelheden in beginsel de hele tijdreeks gebruikt kan worden, waarbij eenvoudig gecorrigeerd kan worden voor de sprong.

Het programma berekent zelf de grootte van de sprong. Het jaar van de sprong moet worden opgegeven. Helaas staat de huidige software nog slechts de verwerking van één discontinuïteit per tijdreeks toe. In Bijlage E zijn voorbeelden gegeven van tijdreeksen met

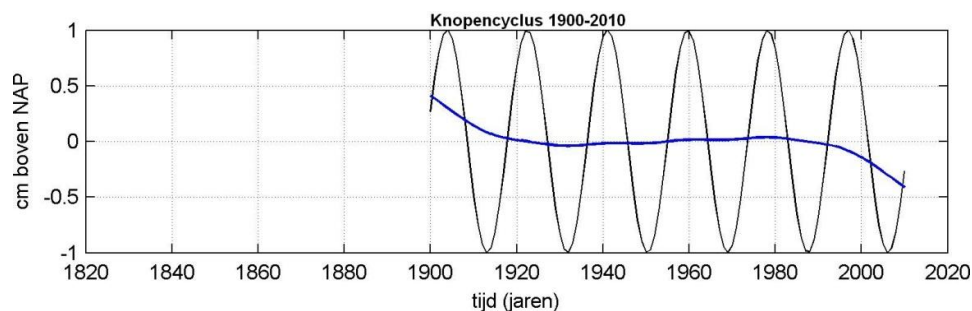
hiaten en met discontinuïteiten. Voor de andere kustlocaties wordt verwezen naar Dillingh (2013).



Figuur 4.7 PLSS-trendlijn gemiddeld hoogwater Harlingen met een sprong in 1932

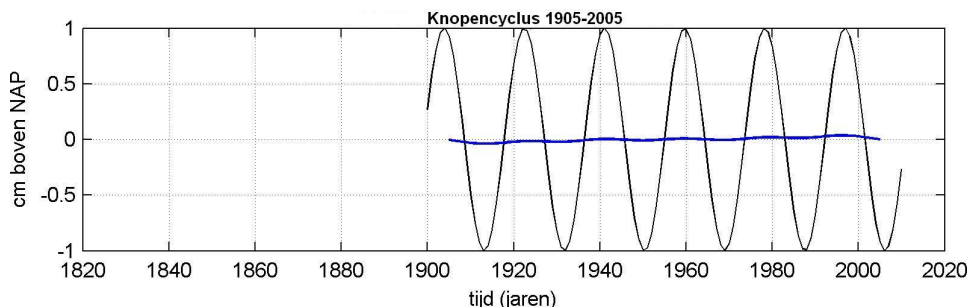
4.4 Het effect van een periodiek signaal in de tijdreeksen op de PLSS-trend

In navolging van de analyse van paragraaf 4.2 van de invloed van de 18,6-jarige cyclus op de helling van een lineaire trendlijn, wordt in deze paragraaf nagegaan wat het effect van deze cyclus is op de met de Whittaker smoother berekende trendlijn. Eerdere toepassing van deze smoother op tijdreeksen van gemiddelde zeestanden (bijvoorbeeld Dillingh et al, 2010a) werd uitgevoerd zonder correctie voor de 18,6-jarige cyclus. Voor tijdreeksen van gemiddelde hoog- en laagwaterstanden is dat zeker noodzakelijk, maar naar de huidige inzichten ook voor de gemiddelde zeestanden, zeker als naar recente stijgsnelheden wordt gekeken. Uitgegaan wordt van de tijdreeks van figuur 4.2: een zuivere sinusoïde met amplitude 1 en een periode van 18,6 jaar over de periode 1900-2010. Het resultaat is te vinden in figuur 4.8.



Figuur 4.8 De PLSS-trendlijn toegepast op een sinusvormige tijdreeks met een periode van 18,6 jaar over de periode 1900-2010.

Wat opvalt is, dat de PLSS-trendlijn aan het begin en einde afwijkt van de horizontale as, en dat in het gebied daartussen de lijn vrijwel horizontaal verloopt en dus goed in staat is de 18,6-jarige cyclus weg te filteren. Als de analyse wordt uitgevoerd over de periode 1905-2005 dan is er een voor dit geval optimaal begin- en eindjaar gevonden voor het wegfilteren van de 18,6-jarige cyclus; zie figuur 4.9. Dat is dus hier het geval als het eerste analysejaar net een jaar na een knopenextreem valt, en het laatste analysejaar net een jaar vóór een knopenextreem valt.



Figuur 4.9 De PLSS-trendlijn toegepast op een sinusvormige tijdreeks met een periode van 18,6 jaar over de periode 1905-2005.

Geconcludeerd moet worden dat het noodzakelijk is de periodieke component te verwijderen om afwijkende trendwaarden aan het begin en einde van de beschouwde periode te voorkomen.

4.5 Verbeterde analysemethode

Gekozen is voor een analysemethode voor duidelijk niet-lineair verlopende tijdreeksen met een significante periodieke component met een periode van 18,6 jaar, bestaande uit de volgende stappen:

- 1 Pas op de te analyseren tijdreeks direct de PLSS-methode toe zoals hier beschreven, inclusief een eventuele sprong in de data;
- 2 Trek de gevonden jaarwaarden volgens deze PLSS-analyse af van de oorspronkelijk waarden van de deelreeks;
- 3 Schat uit de aldus verkregen tijdreeks van residuen de amplitude van de 18,6-jarige cyclus door middel van een kleinste kwadratenaanpassing van de trendlijn met de formule

$$y = A.t + B.\sin\left\{\frac{2\pi(t-2)}{18,6}\right\} + C$$

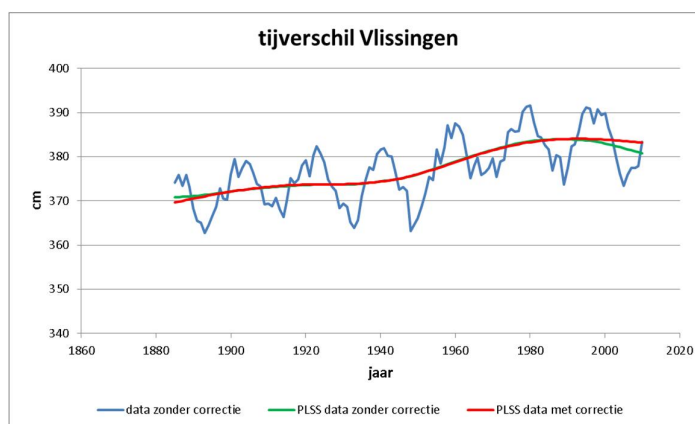
De termen A.t en C zouden kunnen worden weggelaten, omdat verwacht wordt dat deze bijdragen door de gevolgde werkwijze minimaal zullen zijn. De fase zou kunnen worden geoptimaliseerd via de kleinste kwadratenaanpassing als daar aanleiding voor is. In het onderhavige onderzoek is de formule in de gegeven vorm toegepast op de te analyseren tijdreeksen van de gemiddelde zeeniveaus.

- 4 Trek van de oorspronkelijk data van de hele te analyseren tijdreeks de berekende periodieke component af;
- 5 Bereken de PLSS-trendlijn uit de aldus gecorrigeerde data. Dit is de gezochte trendlijn.

Voor (bij benadering) lineair verlopende trendlijnen zijn de stappen 1 en 2 overgeslagen en is de formule van stap 3 direct toegepast op de te analyseren tijdreeks.

Voor het tijverschil is niet apart een amplitude bepaald. De voor de knopencyclus gecorrigeerde tijdreeks voor het tijverschil wordt verkregen uit het verschil tussen de gecorrigeerde tijdreeksen voor hoog- en laagwater.

Men zou als verbetering nog kunnen overwegen eerst het langst mogelijke deel van de te analyseren tijdreeks te selecteren met een optimaal begin- en eindjaar voor het wegfilteren van de knopencyclus (paragraaf 4.4). Dat is hier onderzocht voor het station Vlissingen. Het effect ervan op de berekende amplitude van de knopencyclus bleek verwaarloosbaar.



Figuur 4.10 Het effect van de correctie voor de 18,6-jarige cyclus op de trendlijn voor het tijverschil bij Vlissingen.

In figuur 4.10 wordt het effect van de correctie voor de 18,6-jarige periode op de tijdreeks van Vlissingen gedemonstreerd. In het tijverschil is de 18,6-jarige cyclus over het algemeen het sterkst aanwezig. De figuren voor de gemiddelde zeestand, gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater van Vlissingen worden gegeven in bijlage D.

5 Kenmerkende waarden kustwateren (1): slotgemiddelden 2011.0, havengetallen, duur daling, duur rijzing en LAT

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de slotgemiddelden 2011.0, de havengetallen, de duur daling/rijzing en het LAT voor de kustwateren zijn bepaald.

De slotgemiddelden voor gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en gemiddelde zeestand zijn berekend op basis van de trendanalyse beschreven in hoofdstuk 4.

De slotgemiddelden voor gemiddeld springtij en gemiddeld doortij worden bepaald in combinatie met de havengetalberekening.

5.1 Gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en gemiddelde zeestand

Het slotgemiddelde 2011.0 van een grootheid is de waarde volgens een meerjarige trendlijn meestal aan het slot van een decennium, na correctie voor zowel korte toevallige schommelingen als meerjarige astronomische fluctuaties. Volgens de systematiek van de tienjarige overzichten beginnen de beschouwde decennia met een jaartal dat eindigt op een één en eindigen dus met een jaartal dat eindigt op een nul, bijvoorbeeld het decennium 2001-2010. De slotgemiddelden voor dit decennium worden aangeduid als slotgemiddelden 2011.0 gebruikt. D.w.z. kenmerkend voor de toestand begin 2011 (of eind 2010), dus strikt genomen voor de overgang van 31 december naar 1 januari.

De trendanalyses worden uitgevoerd op jaargemiddelde standen. Per jaar levert dat dus berekende gemiddelde waarden en trendwaarden die geldig zijn voor de toestand halverwege het jaar. Om die reden wordt bij de berekening van een slotgemiddelde de berekende trendwaarde voor het laatste jaar vermeerderd met de helft van het verschil tussen de trendwaarden voor de laatste 2 jaar, in dit geval dus 2009 en 2010.

In eerste instantie werd bij het berekenen van de slotgemiddelden voor de gemiddelde zeeniveaus uitgegaan van de tijdreeksen van de gemiddelde zeeniveaus, waarbij voor elk station zoveel mogelijk jaren werden meegenomen voor de trendberekening. De jaren vóór 1900 bleven buiten beschouwing. De PLSS-trendlijn werd berekend op de tijdreeksen van jaargemiddelde standen (gecorrigeerd voor de NAP-wijziging van 2005) van gemiddelde zeestand, gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater.

In verband met opmerkingen in paragraaf 3.7 over de beschikbaarheid en de kwaliteit van de data zijn voor een aantal stations trendanalyses uitgevoerd over periodes die afwijken van de door Rijkswaterstaat geleverde data, namelijk:

Cadzand:	vanaf 1966
Stavenisse:	vanaf 1988
Scheveningen:	vanaf 1962
Petten zuid:	vanaf 1978
Vlieland haven:	vanaf 1941 (zeestand vanaf 1949)

Zoals in hoofdstuk 4 is beschreven is de berekende waarde voor het slotgemiddelde gecorrigeerd voor het effect van de 18,6-jarige cyclus. In de praktijk zijn hiervoor de correcties voor de PLSS-waarden 2010 gebruikt, berekend in Dillingh (2013).

Bijlage D geeft de berekende amplitudes van de 18,6-jarige cycli en de verschillen tussen de berekende waarden voor het jaar 2010 volgens de PLSS-trendlijnen met en zonder verwijdering van de knopencyclus.

De trendlijnen voor het tijverschil zijn berekend uit de gecorrigeerde tijdreeksen van hoog- en laagwater. Vermeldenswaardig is dat de PLSS-methode intern consistente resultaten oplevert. Daarmee wordt bedoeld dat de PLSS-trendlijn voor het tijverschil berekend als het verschil van de PLSS-trendlijnen voor de gemiddelde hoogwaterstanden en gemiddelde laagwaterstanden, exact gelijk is aan de PLSS-trendlijn voor de gemiddelde tijverschillen (berekend als het verschil tussen hoogwater en laagwater).

De slotgemiddelden 2011.0 voor gemiddelde zeestand, gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater zijn opgenomen in de tabel van Bijlage G.

5.2 Havengetallen en slotgemiddelden voor springtij en doortij

De slotgemiddelden voor hoogwater en laagwater voor gemiddeld springtij en gemiddeld doortij worden bepaald in combinatie met de berekening van de havengetallen. De volgende definities zijn daarbij van belang:

Maansverloop – tijdsverschil tussen de maansdoorgang (maansculminatie) door de plaatselijke meridiaan en het eerstvolgende hoog- respectievelijk laagwater. Voor heel Nederland wordt de meridiaan van 5° oosterlengte als plaatselijke meridiaan aangehouden.

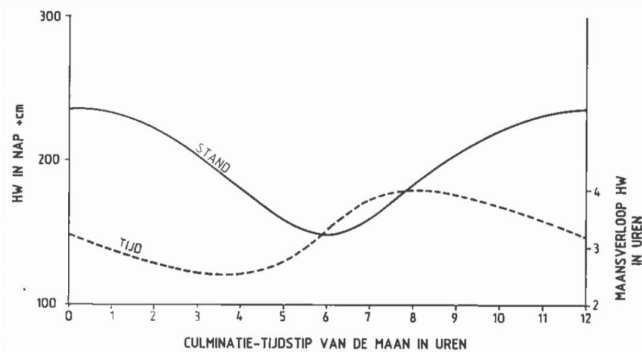
Havengetal (ook wel: gemiddeld havengetal) – het gemiddelde van alle maansverlopen over een zekere periode. Het getal vormt een tijdsaanduiding voor het optreden van een hoogwater respectievelijk laagwater op een bepaalde locatie, niet in uren (MET of GMT), omdat dat tijdstip steeds verschuift, maar ten opzichte van de maansculminatie van de meridiaan van 5° OL. Er zijn havengetallen voor hoogwater en voor laagwater. De uitdrukking *gemiddeld havengetal* wordt wel gebruikt om onderscheid te maken met havengetallen voor verschillende fasen van het getij (springtij, doortij, etc.)

5.2.1 Havengetallen

Van alle hoog- en laagwaterstanden van de beschouwde (10-jarige) periode worden de tijden (in MET) en standen gekoppeld aan de bijbehorende culminatietijdstippen van de maan door de nulmeridiaan (in GMT), ruim twee dagen eerder in verband met de "leeftijd" van het getij, en worden deze culminatietijdstippen afgetrokken van de tijdstippen van hoogwater respectievelijk laagwater. Het bij een bepaalde maansculminatie behorende getij, in eerste instantie opgewekt in de Zuidelijke IJszee, bereikt de Nederlandse kust na een reis van 2 à 3 dagen door de Atlantische Oceaan noordwaarts en om de Schotse kust heen. Het getij dat via het Kanaal komt is hieraan ondergeschikt.

De hoog- en laagwaterstanden en hun bijbehorende tijdsverschillen worden apart ingedeeld in 48 klassen: 24 klassen voor de bovenculminaties en 24 voor de onderculminaties (klasse 1 = 0.01...1.00 uur, enz.). Per klasse worden vervolgens de gemiddelde stand en het gemiddelde tijdsverschil berekend. Standen die meer dan 50 cm en tijdsverschillen die meer dan een uur van deze gemiddelden afwijken worden verwijderd, en vervolgens worden opnieuw de gemiddelden berekend. De toegestane marges zijn instelbaar, maar hier niet gewijzigd.

Tenslotte worden de 48 klassen samengevoegd tot 12 klassen door middeling van de waarden van overeenkomstige klassen van boven- en onderculminatie en de klassen 1 en 13, 2 en 14, enz.

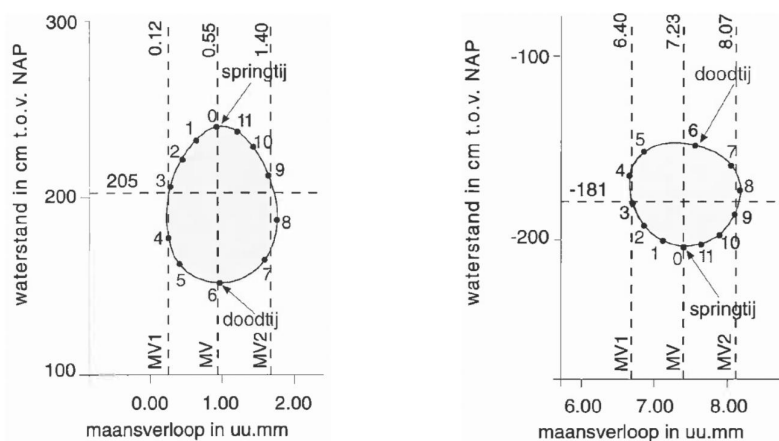


Figuur 4.11 Gemiddeld hoogwater (HW) en gemiddeld maansverloop te Vlissingen (1971...1980) als functie van het culminatietijdstip van de maan (DGW, 1989).

In Figuur 4.11 zijn als voorbeeld de gemiddelde hoogwaterstanden en de bijbehorende gemiddelde tijdsverschillen per klasse uitgezet als functie van de gemiddelde culminatietijdstippen per klasse (vrijwel gelijk aan het klassemidden). Door interpolatie met behulp van een splinefunctie, die een vloeiende kromme vormt door de uitgezette punten, worden de waarden bepaald voor de culminatietijdstippen op hele uurwaarden.

De waarden voor springtij worden afgelezen op tijdstip 0 (gelijk aan de waarde op tijdstip 12); zon en maan culmineren dan gelijktijdig. Het tijdstip 6 correspondeert met doottij.

De uitkomsten van de berekeningen voor tijd en stand van hoogwater respectievelijk laagwater worden samengevat in een grafiek die in verband met de uiterlijke vorm "aardappelgrafiek" wordt genoemd. Figuur 4.12 geeft ter illustratie de aardappelgrafieken voor hoogwater en laagwater voor Vlissingen. De tijdas is daarbij t.o.v. die van Figuur 4.11 gecorrigeerd met 2 uur en 20 minuten, omdat de maansverlopen en het havengetal worden uitgedrukt t.o.v. de voorgaande maansculminatie, en niet t.o.v. de bijbehorende culminatie ruim twee dagen eerder i.v.m. de leeftijd van het getij (correctie: -4×25 minuten) door de 5° OL meridiaan (correctie $+20$ minuten) in MET (correctie -60 minuten).



Figuur 4.12 Aardappelgrafieken voor hoogwater (links) en laagwater (rechts) te Vlissingen (1981...1990; uit: RIKZ, 1994).

Het gemiddelde havengetal of kortweg havengetal wordt verkregen door middeling van de tijden van alle klassen. Dit is dus het gemiddelde van alle maansverlopen, afgezien van die gevallen met een te grote afwijking van hun klassegemiddelde.

De waarden van het maansverloop voor gemiddeld springtij en gemiddeld doottij worden afgelezen bij de culminatie-uren 0 respectievelijk 6.

De aardappelgrafiek geeft voor hoogwater respectievelijk laagwater de gemiddelde samenhang van zowel de stand als het maansverloop met de halve maanscyclus (springtij→springtij) zoals berekend via de havengetalberekening. De figuur is bedoeld om een aantal aspecten van deze samenhang te illustreren:

- tussen springtij en doottij wordt het getij vervroegd, tussen doottij en springtij verlaat;
- de getijduur is in samenhang hiermee kort rond springtij en lang rond doottij, waarbij de laatstgenoemde afwijking verder van de gemiddelde waarde afwijkt;
- de combinatie van gemiddeld hoog- en laagwater en havengetal voor gemiddeld tij zal zich in beginsel niet voordoen;
- de samenhang is in allerlei opzichten vaak uitgesproken asymmetrisch.

MV1 en MV2 (zie Figuur 4.12), de vroege en late middelwaarde van het maansverloop, zijn de waarden die worden afgelezen in de aardappelgrafiek bij de waarde voor gemiddeld hoogwater respectievelijk laagwater volgens de havengetalberekening (het gemiddelde van alle hoogwaters respectievelijk laagwaters met uitzondering van die gevallen met een afwijking van meer dan 50 cm t.o.v. hun klassemidden).

De gemiddelde havengetallen van hoogwater en laagwater voor gemiddeld tij, springtij en doottij zijn opgenomen in de tabel van Bijlage G.

5.2.2 Slotgemiddelden voor springtij en doottij

De slotgemiddelden van hoogwater en laagwater voor gemiddeld springtij en gemiddeld doottij worden verkregen door het verschil van de slotgemiddelden voor gemiddeld hoogwater respectievelijk gemiddeld laagwater volgens de trendberekening en die volgens de havengetalberekening op te tellen bij de standen behorende bij de culminatie-uren 0 (springtij) en 6 (doottij) uit de respectievelijke aardappelgrafieken.

5.2.3 De NAP-aanpassing van 2005 en de havengetalberekening

In hoofdstuk 3 is uitvoerig aandacht besteed aan de herziening van het NAP vanaf 2005. Correcties daarvoor werden toegepast op de jaargemiddelde zeeniveaus voor de jaren vóór 2005.

Voor het station Vlissingen is nagegaan of correctie van alle benodigde data tot andere uitkomsten bij de havengetalberekening zou leiden. Voor de havengetallen zelf bleek er geen verschil tussen de uitkomsten met en zonder gecorrigeerde datasets.

Bij de standen uit de havengetalberekening was er wel enig verschil. Dit wordt echter van minder belang geacht, omdat de uiteindelijke slotgemiddelden worden opgehangen aan de berekende slotgemiddelden uit de trendanalyses.

Om die reden is verder voor de havengetalberekening gebruik gemaakt van niet gecorrigeerde datasets.

5.3 Duur daling en duur rijzing

De duur daling is de gemiddelde duur van hoogwater tot het eerstvolgende laagwater. Het wordt berekend als het verschil tussen het gemiddelde havengetal voor laagwater en het gemiddelde havengetal voor hoogwater.

De duur rijzing is de gemiddelde duur van laagwater tot het volgende hoogwater. Het wordt berekend als het verschil tussen de gemiddelde duur van het getij (12 uur en 25 minuten) en de duur daling.

De duren daling en rijzing zijn opgenomen in de tabel van Bijlage G. De verhouding tussen beide getallen is een goede maat voor de asymmetrie van de getijkromme.

5.4 Gemiddelde getijkrommen

Na het bepalen van de slotgemiddelden en havengetallen wordt het getij verder gekarakteriseerd door de gemiddelde getijkrommen, drie per station: voor springtij, gemiddeld tij en doottij.

Vanaf de gemiddelde getijkrommen 1991.0 (RIKZ, 1994) worden de gemiddelde getijkrommen als volgt geconstrueerd. Eerst wordt een "ruwe" kromme berekend, die daarna zodanig wordt bijgesteld door eenvoudige vermenigvuldiging dat ze in overeenstemming is met de slotgemiddelden voor gemiddeld hoog- en laagwater en de duur daling.

Gemiddeld tij

De ruwe kromme wordt berekend uit uitsluitend zuivere harmonischen van het hoofdmaansgetij M2: M2, M4, M8, M10 en M12 met instandhouding van hun faseverschillen. De amplituden per component worden daarbij vervangen door de wortel uit de kwadraatsom van de amplituden in de betreffende band (tweemaaldaags, viermaaldaags, zesmaaldaags, enz.), voor zover voorkomend in de door Rijkswaterstaat gebruikte standaardset van 94 getijcomponenten.

Springtij en doottij

Voor de ruwe krommen wordt het getij voorspeld, voor een jaar met de gemiddelde toestand in de 18,6-jarige cyclus, met die getijcomponenten die samengesteld zijn uit een combinatie van alleen de componenten M2 en S2 (hoofdzonsgetij).

Voor meer informatie wordt verwezen naar (RIKZ, 1994). Gemiddelde getijkrommen kunnen worden opgevraagd bij de Helpdesk Water van de Rijkswaterstaat. In de Getijtafels voor Nederland (gele boekjes) worden voor de zes hoofdstations Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden, Den Helder, Harlingen en Delfzijl gemiddelde getijkrommen gepresenteerd.

5.5 LAT

Het LAT (Lowest Astronomical Tide) is het minimum van de laagwatervoorspellingen in de huidige hydrologische toestand. In de praktijk wordt een astronomische voorspelling voor 19 jaar gemaakt, waarmee een hele cyclus van 18,6 jaar wordt omvat. Daarvan wordt de laagste waarde genomen.

Het huidige LAT is berekend als de laagste waterstand in een reeks voorspelde astronomische waterstanden voor de jaren 2001 t/m 2019, bepaald in 2005 op basis van de toen meest recente harmonische componenten (in de regel berekend uit de waarnemingen 1999 t/m 2002).

Het LAT dient als reductievlak voor de zeekaarten t.b.v. de scheepvaart. Het is gekozen als een peil dat niet vaak wordt onderschreden. Vroeger werd hiervoor voor de Nederlandse zeekaarten het LLWS (laaglaagwaterspring) gebruikt, het meerjarige (periode van 5 jaar) gemiddelde van het laagste springlaagwater van elke maand, waarbij per springtij twee laagwaters als springlaagwater golden. Op grond van internationale afspraken is overgestapt op het LAT.

Het LAT voor de Nederlandse peilmeetstations is en wordt door de Helpdesk Water van Rijkswaterstaat (opnieuw) berekend op aanvraag van de Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine, gewoonlijk als er nieuwe zeekaarten vervaardigd zullen worden. De vernieuwingsfrequentie is lager dan eenmaal per tien jaar.

De huidige LAT-waarden zijn opgenomen in de tabel van Bijlage G.

5.6 Kenmerkende waarden 2001.0

In paragraaf 1.1 werd al opgemerkt dat de vaststelling van de kenmerkende waarden 2001.0, kenmerkend voor de toestand op 1 januari 2001, achterwege is gebleven. Dat betekent dus een hiaat in de reeks van slotgemiddelden. Omdat de reeks van tienjaarlijkse slotgemiddelden snel inzicht geeft in de ontwikkelingen in de waterloopkundige toestand, zijn de slotgemiddelden 2001.0, havengetallen en duur rijzing en daling voor het kustgebied ook door RWS CIV vastgesteld op basis van de tijdreeksen van gemiddelde zeeniveaus t/m 2000. De berekeningsmethode komt grotendeels overeen met de beschrijving in de voorgaande hoofdstukken. Voor deze tijdreeksen was geen NAP-correctie nodig; de waarden zijn dan ook t.o.v. het NAP van vóór 2005. Ook zijn geen correcties voor de knopencyclus toegepast. Deze waarden zijn voor belangstellenden op te vragen bij de Helpdesk Water van Rijkswaterstaat.

6 Kenmerkende waarden kustwateren (2): over- en onderschrijdingsfrequenties waterstanden

6.1 Inleiding

Een speciale categorie van kenmerkende waarden wordt gevormd door hoge tot extreem hoge waterstanden met een bepaalde bijbehorende overschrijdingsfrequentie en lage waterstanden met een bepaalde onderschrijdingsfrequentie. Een bijzondere plaats nemen de toetspeilen in. Een toetspeil is een waterstand behorende bij de wettelijke normfrequentie van de betreffende waterkering, die bij de toetsing worden gebruikt.

Tabel 6.1 geeft als voorbeeld de waarden voor het station Vlissingen, zoals ze tot op heden werden gepubliceerd bij de “waternormalen” via de RWS-website.

Tabel 6.1: frequentietabel uit de “waternormalen” van de RWS-website voor het station Vlissingen.

	stand cm + NAP		stand cm + NAP
frequentie		frequentie	
1x per 10.000 jaar	550	1x per 100 jaar	-335
1x per 1.000 jaar	495	1x per 10 jaar	-305
1x per 100 jaar	440	1 x per jaar	-280
1x per 50 jaar	425		
1x per 20 jaar	400	LLWS 1985.0	-232
1x per 10 jaar	385		
1x per 5 jaar	370		
1x per 2 jaar (grenspeil)	350		
1x per jaar	330		
2x per jaar	320		
5x per jaar	305		
basispeil	550		
ontwerppeil	530		

In de linkerkolom gaat het om overschrijdingsfrequenties van hoge tot extreem hoge waterstanden, in de rechterkolom om onderschrijdingsfrequenties van lage waterstanden. Het zijn dus niet de frequenties van voorkomen van de betreffende standen, maar van een waarde gelijk aan over hoger dan de gegeven hoge stand, in dit geval afgerond op 5 cm, respectievelijk gelijk aan of lager dan de gegeven lage stand.

Verder zijn waarden opgenomen voor het basispeil, het ontwerppeil en het LLWS 1985.0. De begrippen basispeil en ontwerppeil hebben hier nog de betekenis zoals die was gegeven in het Rapport Deltacommissie van 1960 (Deltacommissie, 1960). Het begrip ontwerppeil heeft tegenwoordig een andere betekenis gekregen (zie ook paragraaf 2.3). Het LLWS 1985.0 is vervangen door het LAT.

In het vervolg worden drie trajecten onderscheiden:

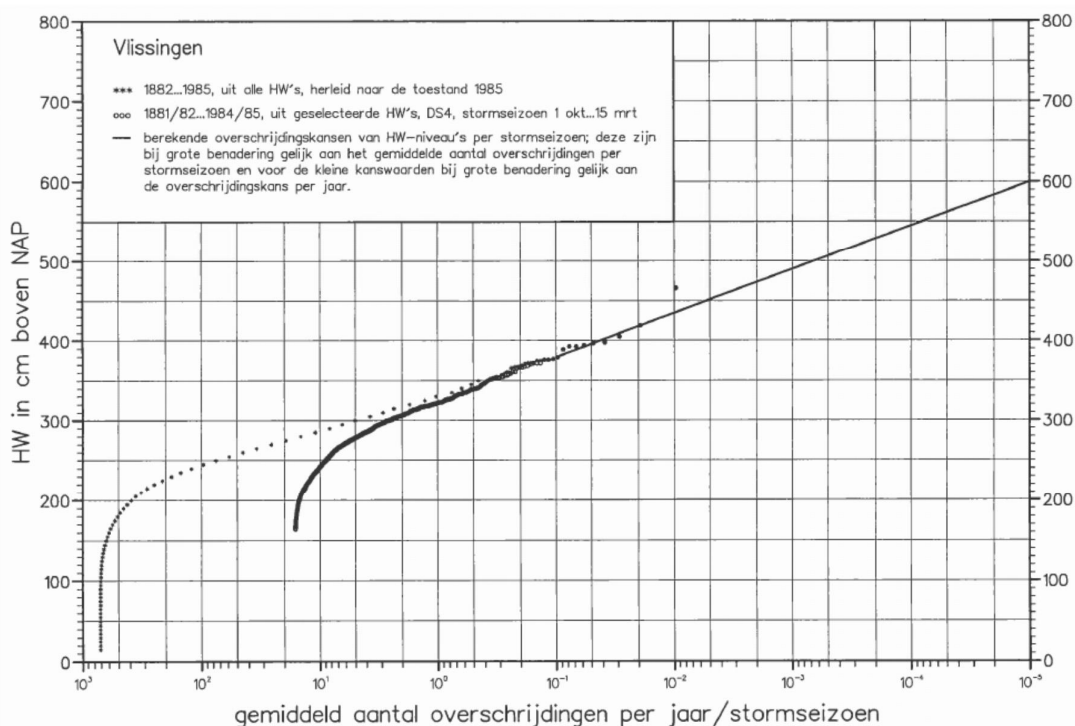
1. Overschrijdingswaarden hoogwaterstanden voor lagere frequenties
2. Overschrijdingswaarden hoogwaterstanden voor hogere frequenties
3. Overschrijdingswaarden laagwaterstanden

6.2 Overschrijdingsfrequenties hoogwaterstanden voor lagere frequenties

6.2.1 Extreme-waardenstatistiek

De standen in de kolom voor de overschrijdingsfrequenties van tabel 6.1 zijn deels gebaseerd op extreme-waardenstatistiek, deels direct afgeleid uit meetgegevens.

Extreme-waardenstatistiek was nodig voor het schatten van overschrijdingsfrequenties van nog nooit opgetreden extreme stormvloedhoogten. Daarbij is gebruik gemaakt van geselecteerde (onafhankelijkheid en stormseizoen) en voor hoogwaterstijging gecorrigeerde waarden. Dat is in eerste instantie gedaan voor data t/m 1985 voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder, Harlingen en Delfzijl, later aangevuld met IJmuiden en West-Terschelling (Dillingh et al., 1993). Overschrijdingslijnen voor alle peilmeetstations en de ruimtelijke verdeling van basis- en ontwerppeilen langs de kustlijnen zijn als eindresultaat van het "basispeilenonderzoek" gegeven in Philippart et al (1995).



Figuur 6.1 Overschrijdingsfrequentielijn 1985 hoogwaterstanden Vlissingen (Philippart et al, 1995)

Figuur 6.1 geeft als voorbeeld de overschrijdingslijn van het peilmeetstation Vlissingen. Voor Vlissingen zijn data vanaf 1881 gebruikt tot en met het stormseizoen 1984/1985. De overschrijdingslijn is geldig voor de toestand in 1985.

Het getrokken deel van de overschrijdingslijn is berekend op basis van de toegepaste extreme-waardenstatistiek op de geselecteerde en naar 1985 herleide hoogwaterstanden (bolletjes). De overschrijdingsfrequenties van alle (dus niet geselecteerde) naar 1985 herleide hoogwaterstanden worden gegeven door de sterretjes. De hoogste overschrijdingsfrequentie

voor alle hoogwaterstanden bedraagt 706 keer per jaar: het gemiddelde aantal hoogwaterstanden per jaar.

In het kader van de Waterwet worden de toetspeilen voor elke toetsronde geactualiseerd. Dat gebeurt door voor elk nieuw hydraulisch randvoorwaardenboek de toetspeilen opnieuw af te leiden via berekening van een toeslag op het ontwerppeil van 1985 voor de stijging van de gemiddelde hoogwaterstand over de periode vanaf 1985 t/m het einde van de nieuwe toetsperiode en voor het effect van uitgevoerde werken.

De laatste bijstelling van de toetspeilen in het kustgebied is beschreven in Dillingh en de Lima Rego (2010b), gericht op de hydraulische randvoorwaarden 2011. Hierbij is ook rekening gehouden met de effecten van de NAP-publicatie van 2005. Het rapport geeft ook de formules van de aangepaste overschrijdingslijnen (GPV-model). Deze lijnen zijn afgeleid voor overschrijdingsfrequenties vanaf 0,5 maal per jaar. De overschrijdingsfrequenties voor dit bereik kunnen berekend worden met de formules en constanten uit dit rapport. Hieronder is de paragraaf waarin dit beschreven staat overgenomen. De concept hydraulische randvoorwaarden 2011 zijn nooit officieel vastgesteld.

6.2.2 De overschrijdingslijnen en het GPV-model

Bij het GPV-model worden die waarnemingen beschouwd, die boven een goed gekozen hoge drempel u uitsteken. Volgens de extreme-waardenstatistiek voldoen dan de uitstekende delen (d.i. de waarde van de waarneming minus de drempelwaarde) aan een gegeneraliseerde Pareto-verdeling (GPV).

Hier wordt volstaan met het geven van de te gebruiken formule voor de overschrijdingslijn. In het aanhangsel van [Philippart et al, 1995] wordt de afleiding van deze formule gegeven uitgaande van de algemene formule voor de GPV-verdeling. Uitdrukkelijk zij gesteld dat deze formule geldig is voor standen hoger dan de hier toegepaste drempel u met bijbehorende overschrijdingsfrequentie van 0,5 maal per stormseizoen (of jaar).

$$q_x = 0,5 \left\{ 1 + \gamma \frac{(x-u)}{\sigma_u} \right\}^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{voor } x - u \geq 0$$

Hierin is:

- x = hoogwaterstand
- q_x = gemiddeld aantal keren per stormseizoen dat een hoogwaterstand niveau x bereikt of overschrijdt
- u = drempel met overschrijdingsfrequentie van 0,5 maal per stormseizoen
- σ_u = schaalparameter van de GPV-verdeling van de boven drempel u uitstekende delen van de hoogwaterstanden
- γ = vormparameter van deze GPV-verdeling

En met x als functie van q_x :

$$x = -\frac{\sigma_u}{\gamma} \left\{ 1 - (2q_x)^{\gamma} \right\} + u \quad \text{voor } q_x \leq 0,5$$

De actualisering van de overschrijdingslijnen geschiedt in beginsel door de drempelwaarde u te verhogen met de toeslag 1985-2017 voor de stijging van het gemiddelde hoogwater. De schaal- en vormparameter blijven onveranderd.

Bijlage H geeft de waarden voor de GPV-parameters voor de toestand in 2017. De overschrijdingslijnen gaan exact door het nieuwe niet-afgeronde toetspeil.

De hoogwaterstanden in de Bijlage H zijn afgeronde waarden (zie paragraaf 6.2.3).

6.2.3 Kenmerkende waarden

Toetspeilen voor het kustgebied worden vanaf de HR2006 afgerond op 10 cm om geen schijnnauwkeurigheid te suggereren. Hoe verder de extrapolatie hoe groter het betrouwbaarheidsinterval van de waarde. In de tabel voor de kenmerkende waarden in Bijlage H zijn de waarden bij de overschrijdingsfrequenties vanaf 1 maal per 500 jaar en lager eveneens afgerond op 10 cm. Voor hogere frequenties is afrond op 5 cm.

De begrippen basispeil, ontwerppeil en toetspeil zijn in Bijlage H niet meer opgenomen.

Waarden worden gegeven voor de volgende overschrijdingsfrequenties (Bijlage H):

- 1x per 10000 jaar
- 1x per 5000 jaar
- 1x per 4000 jaar
- 1x per 2000 jaar
- 1x per 1000 jaar
- 1x per 500 jaar
- 1x per 200 jaar
- 1x per 100 jaar
- 1x per 50 jaar
- 1x per 20 jaar
- 1x per 10 jaar

Afhankelijk van de dijkkring bedraagt de overschrijdingsfrequentie van het toetspeil in het kustgebied eens per 2000, 4000 of 10.000 jaar. Ze dienen als referentie voor en ter vergelijking met de toetspeilen voor de waterkeringen, maar worden niet aangeduid als toetspeil.

De keuze van 1x per 4000 jaar hangt samen met de norm voor Zeeland, de Zuid-Hollandse eilanden, Texel en Groningen en Friesland. Omdat sommige stations aan gebieden met verschillende normen grenzen, en voor de onderlinge vergelijkbaarheid, worden peilen met overschrijdingsfrequentie 1:4000 voor alle locaties berekend. De waarden bij de frequenties 1:10000 en 1:2000 (norm voor Centraal Holland respectievelijk de overige Waddeneilanden) worden voor alle stations berekend. Deze waarden passen logisch in het rijtje.

Het grenspeil is niet per definitie hetzelfde als de stand met overschrijdingsfrequentie 1 x per 2 jaar. Het grenspeil werd vanouds berekend op basis van alle hoogwaterstanden (dus niet geselecteerd, wat inhoudt dat twee hoge hoogwaters gedurende één storm beide als gebeurtenis meetellen, terwijl bij de extreme-waardenstatistiek slecht de hoogste waarde geselecteerd wordt). Mogelijk is het verschil, zeker als de getallen worden afgerond op 5 cm, verwaarloosbaar. Dat zal moeten worden nagegaan. Het begrip grenspeil wordt hier om die reden niet genoemd.

Voor de Oosterschelde zijn geen overschrijdingslijnen berekend in het basispeilen onderzoek. Waarden voor lagere overschrijdingsfrequenties zullen moeten worden opgevraagd bij Rijkswaterstaat Zee en Delta.

Voor Lichteiland Goeree, Euro platform en K13a platform zijn ook geen overschrijdingslijnen berekend in het basispeilenonderzoek.

6.3 Overschrijdingswaarden hoogwaterstanden voor hogere frequenties

De standen voor de hogere overschrijdingsfrequenties zijn afgeleid uit alle beschikbare niet geselecteerde waargenomen hoogwaterstanden t/m 2010, en vanaf het laatste grote hiaat. Voor de stations in de westelijke Waddenzee is in overeenstemming met het basispeilenonderzoek hiervoor alleen data vanaf 1933 beschouwd.

Voor de hoogwaterstanden betekent dat:

- Stavenisse vanaf 1988 (weliswaar geen hiaat maar wel een sterke wijziging in omstandigheden);
- Scheveningen vanaf 1962;
- Petten zuid vanaf 1977;
- Den Helder, Oude Schild, West-Terschelling, Den Oever en Harlingen vanaf 1933;
- Vlieland haven vanaf 1941.

De jaren waarvoor alleen daghoogwaters beschikbaar zijn, zijn wel meegenomen. Er is daarbij wel een correctie toegepast voor de frequenties. Een vol jaar van 365 dagen met alleen daghoogwaters telt bijvoorbeeld mee als $365/706 = 0,52$ jaar.

De gevolgde procedure is als volgt:

De complete reeksen hoogwaterstanden worden opgehaald uit DONAR (database Rijkswaterstaat), met het bijbehorende jaartal. Voor elk hoogwater (dus geen selectie) wordt aan de hand van het jaartal bepaald welke correcties worden toegepast. Er worden twee correcties onderscheiden:

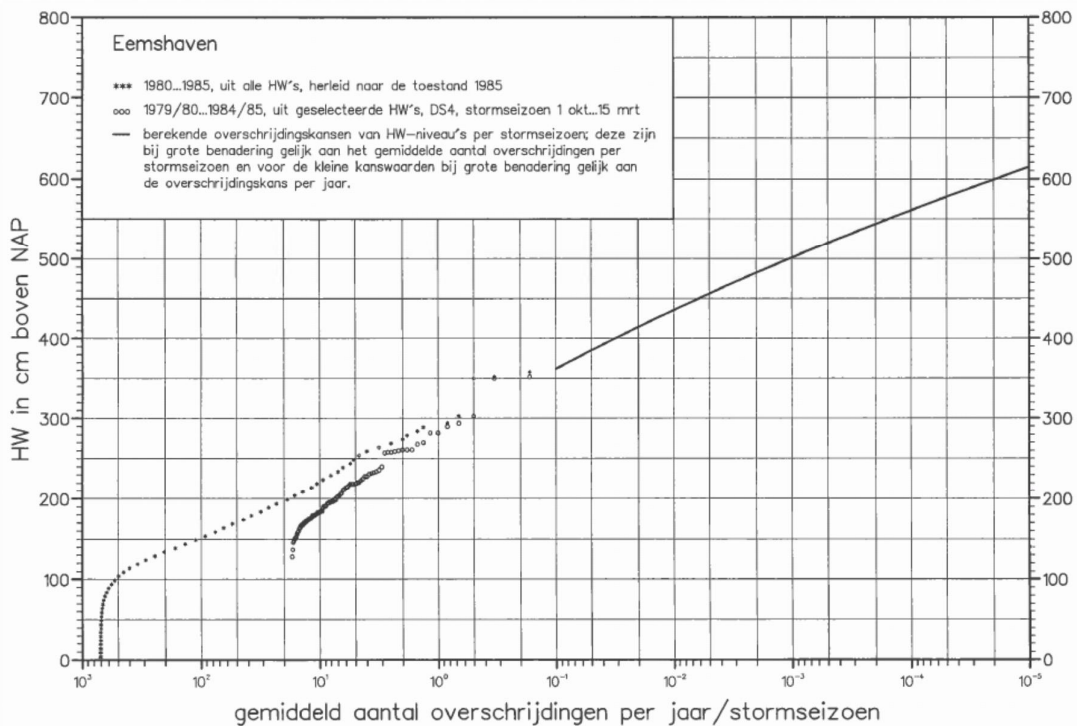
1. de correctie voor de trend (Δ trend): het slotgemiddelde 2011.0 minus de waarde van de gemiddelde hoogwaterstand in het betrokken jaar van de hoogwaterstand volgens de PLSS-trendlijn;
2. de correctie voor de NAP-aanpassing van 2005 (Δ NAP); dit is dus voor elk station een bepaalde vaste waarde vóór 2005. Vanaf 2005 is de waarde gelijk aan 0.

Voor elk te corrigeren hoogwater met bijbehorend jaartal worden het slotgemiddelde 2011.0, de jaargemiddelde stand volgens de PLSS-trendlijn voor het betrokken jaar en de NAP-correctie voor het betrokken jaar uit een tabel in gelezen. Beide correcties worden bij de betrokken hoogwaterstand opgeteld om de equivalente waarde van de hoogwaterstand te krijgen voor de situatie 2011.0.

Alle hoogwaterstanden worden gesorteerd van hoogste naar laagste, hun bijbehorende overschrijdingsfrequenties berekend, en vervolgens uitgezet op logaritmisch papier (vergelijkbaar met figuur 6.1). De hoogste waarde krijgt daarbij de overschrijdingsfrequentie $1/T$, waarbij T de periode in jaren is waarover de hoogwaters beschikbaar zijn (rekening houdend met gereduceerde jaren in geval van daghoogwaters). De op één na hoogste waarde krijgt de frequentie $2/T$, etc.

Een speciaal punt van aandacht is de koppeling van de delen voor de hoge en de lage frequenties. Het maakt wel uit of je over een tijdreeks van 100 jaar of van 30 jaar beschikt. In het basispeilenonderzoek is daarmee rekening gehouden. Voor stations met relatief korte reeksen zijn ook extreme-waardenstatistieken afgeleid (basispeilenonderzoek), waarbij rekening is gehouden met het effect van de korte tijdreeks, door deze te vergelijken met het resultaat van een korte tijdreeks van een nabij station waarvan een lange tijdreeks beschikbaar is. Het betekent dat de lijn voor de lage overschrijdingsfrequenties minder goed kan aansluiten bij de niet-geselecteerde waarnemingen. Hiermee zal op pragmatische wijze omgegaan moeten worden door deze punten zodanig te verschuiven dat ze wel goed aansluiten met de getrokken lijn. Als voorbeeld van een situatie met korte meetreeks is figuur 6.2 (Eemshaven) toegevoegd.

Een praktische oplossing kan gevonden worden door de verkregen resultaten voor de hoge en lage overschrijdingsfrequenties per locatie in één figuur te tekenen, waarbij een overlap ontstaat, en na te gaan of de overgang vloeiend verloopt. Indien nodig worden handmatig correcties op de uitkomsten voor de hoge frequenties toegepast, alvorens af te ronden op 5 cm. Deze werkwijze is toegepast.



Figuur 6.2 Overschrijdingsfrequentielijn 1985 hoogwaterstanden Eemshaven (Philippart et al, 1995)

Met deze werkwijze zijn waarden afgeleid voor die stations waarvoor overschrijdingslijnen beschikbaar zijn voor de volgende frequenties:

- 1 x per 5 jaar
- 1 x per 2 jaar
- 1 x per jaar
- 2 x per jaar
- 5 x per jaar

Voor Lichteiland Goeree, Euro platform en K13a platform zijn waarden gegeven uitsluitend op basis van waargenomen hoogwaterstanden t/m 1 x per 20 jaar, voor de Oosterschelde-stations tot 1 x per 10 jaar.

Opmerking: Bij het bepalen van de overschrijdingsfrequenties uit de waargenomen hoogwaterstanden is voor de correctie ervan naar 2011 gebruik gemaakt van het berekende slotgemiddelde 2011.0 dat toen nog niet gecorrigeerd was voor het effect van de 18,6-jarige cyclus (zie ook de opmerking in paragraaf 5.1). Omdat de correcties hiervoor veelal gering zijn, de lijnen zelf in zekere mate onzeker zijn, er gezorgd is voor een goede aansluiting bij

overschrijdingslijnen voor de lagere overschrijdings-frequenties en er uiteindelijk afgerond is op 5 cm, is hier voor het effect van de 18,6-jarige cyclus geen extra correctie toegepast.

6.4 Onderschrijdingswaarden laagwaterstanden voor alle frequenties.

Voor onderschrijdingsfrequenties is nooit uitgebreid statistisch onderzoek uitgevoerd zoals dat voor de hoogwaterstanden wel gedaan is. De in het verleden gepubliceerde getallen zijn geschat op basis van niet geselecteerde waarnemingen. Lagere frequenties dan eens per 100 jaar zijn op basis van de beschikbare tijdreeksen niet te schatten. Extrapoleren zonder gedegen onderzoek moet worden afgeraden. Over het algemeen zal de behoefte aan standen met onderschrijdingsfrequenties van bijvoorbeeld eens in de 10.000 jaar niet groot zijn, anders was daar al veel eerder onderzoek naar gedaan.

Om op basis van waargenomen laagwaterstanden actuele onderschrijdingsfrequenties te berekenen zijn de tijdreeksen gecorrigeerd voor de stijging (of daling) in de gemiddelde laagwaterstanden naar de situatie in 2010 en voor de NAP-verandering van 2005. Dezelfde procedure is gevolgd als voor de hoogwaterstanden (zie paragraaf 6.3).

In overeenstemming met de werkwijze voor de hoogwaterstanden zijn voor de volgende stations data gebruikt vanaf een bepaald jaar. Voor de laagwaterstanden betekent dat:

- Cadzand vanaf 1966;
- Stavenisse vanaf 1988;
- Scheveningen vanaf 1962;
- Petten zuid vanaf 1977;
- Den Helder, Oude Schild, West-Terschelling, Den Oever en Harlingen vanaf 1933;
- Vlieland haven vanaf 1941.

Voor het berekenen van de onderschrijdingsfrequenties bij jaren waarvoor alleen daglaagwaters beschikbaar zijn geldt hetzelfde als voor de daghoogwaterstanden.

Er zijn waarden berekend voor de volgende onderschrijdingsfrequenties:

- 5x per jaar
- 2x per jaar
- 1x per jaar
- 1 x per 2 jaar
- 1x per 5 jaar
- 1x per 10 jaar
- 1x per 20 jaar
- 1x per 50 jaar (alleen voor tijdreeksen langer dan 50 jaar)
- 1x per 100 jaar (alleen voor tijdreeksen langer dan 100 jaar)

Een correctie voor korte tijdreeksen is niet direct te geven. Dat zou kunnen door voor stations met lange tijdreeksen te kijken naar het effect van een kortere deeltijdreeks. Dat is hier achterwege gelaten.

Alle kenmerkende waarden besproken in dit hoofdstuk zijn verzameld op Bijlage H.

7 Rivierengebied

7.1 Inleiding

Het rivierengebied, ook wel aangeduid als bovenrivierengebied, is het gebied waar de invloed van de zeewaterstand of het IJsselmeerpeil niet meer merkbaar is. Voor de Rijn en zijn takken ligt de bovenstroomse grens bij Lobith (landsgrens). De benedenstroomse begrenzing wordt gevormd door de meetstations Hagestein-boven (Lek), Zaltbommel (Waal) en Kampen (IJssel). Voor de Maas ligt de bovenstroomse grens bij meetpunt Eijsden-grens (landsgrens) en de benedenstroomse grens bij Lith-boven.

Bovenstaande begrenzingen werden gehanteerd in de vroegere tienjarige overzichten. In Van Velzen et al. (2008a en b) worden iets andere benedenstroomse grenzen gehanteerd, waarbij rekening is gehouden met de ligging van de dijkeringen met een normfrequentie van 1/1250 per jaar. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen linker- en rechteroever. Voor de kenmerkende waarden voor de peilmeetstations is een dergelijk onderscheid niet relevant.

7.2 Hydraulische randvoorwaarden

In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de relaties met de hydraulische randvoorwaarden (toetspeilen) voor de rivieren.

Eén van de bepalende factoren voor de maatgevende hydraulische randvoorwaarden voor de primaire waterkeringen langs de rivieren is de maatgevende afvoer van de grote rivieren Rijn en Maas. De maatgevende afvoer is gedefinieerd als de afvoer met een overschrijdingsfrequentie van 1/1250 per jaar.

Tabel 7.1 Werklijnen 2001 voor de Rijn te Lobith en de Maas te Borgharen

Herhalingstijd [jaren]	Topafvoer Q Lobith [m ³ /s]	Topafvoer Q Borgharen [m ³ /s]
2	7017	1574
5	8407	1898
10	9459	2142
25	10850	2466
50	11763	2710
100	12675	2955
250	13881	3278
500	14794	3503
1000	15706	3728
1250	16000	3800
2500	16912	4025
5000	17825	4250
10000	18737	4475

De methodiek voor het vaststellen van de maatgevende afvoer is tot op vandaag gebaseerd op een statistische extreme-waardenanalyse op historische afvoergegevens. Bij de gevolgde aanpak is voortgeborduurd op de methode die is gevolgd door de Commissies Boertien I en Boertien II.

De maatgevende afvoeren voor Rijn en Maas die zijn vastgesteld ten behoeve van de Hydraulische Randvoorwaarden 2001 (Van de Langemheen en Berger, 2001) zijn nog steeds van kracht, evenals de hydraulische randvoorwaarden voor het rivierengebied van 2001 (HR2001). De HR2006 zijn voor het rivierengebied gelijk aan de HR2001 en de HR2011 zijn en worden niet vastgesteld.

De werklijn is de lijn die het verband geeft tussen de afvoerpiek en de overschrijdingsfrequentie (of de herhalingsstijd). De werklijnen voor Rijn en Maas volgens Van de Langenheem en Berger (2001) zijn in tabelvorm voor een aantal herhalingsstijden gegeven in tabel 7.1.

De werklijnen zijn later met de cyclus van de hydraulische randvoorwaarden wel steeds bijgesteld op basis van langere tijdreeksen. De berekeningen die gedaan zijn voor de HR2006 zijn destijds wel uitgegeven onder de naam thermometerrandvoorwaarden 2006, om voor andere toepassingen dan toetsing gebruik te kunnen maken van de nieuwste kennis. Om beleidsredenen zijn ze nooit officieel gebruikt voor de toetsing. De laatste bijstelling van de werklijnen voor de Rijn en de Maas zijn uitgevoerd in het kader van het WTI2011-project (Tijssen, 2009 a en b).

Tabel 7.2 Vastgestelde (HR2001) en berekende (TMR2006 en WTI2011) topafvoeren met herhalingsstijd 1250 jaar.

Locatie	Topafvoer Q [m ³ /s] voor herhalingsstijd 1250 jaar		
	HR2001	TMR2006	WTI2011
Rijn bij Lobith	16000	15680	15700
Maas bij Borgharen	3800	3965	3845

Tabel 7.2 geeft een overzicht van de vastgestelde (HR2001) en later bijgestelde waarden (TMR2006 en WTI2011) voor de afvoer met een herhalingsstijd van 1250 jaar.

In Tijssen (2009 a en b) worden naast de berekende werklijnen ook "herschaalde" werklijnen gegeven die exact door de vigerende maatgevende afvoeren gaan van 16000 m³/s voor de Rijn en 3800 m³/s voor de Maas.

De maatgevende waterstanden (toetspeilen) in het rivierengebied worden afgeleid uit de maatgevende afvoeren op basis van berekeningen met een hydrodynamisch rekenmodel.

De resultaten van deze berekeningen verschillen voor de diverse jaren. Latere berekeningen (TMR2006) zijn niet zondermeer vergelijkbaar met de berekeningen voor de HR2001. Belangrijke principiële verschillen zijn:

- het niet meenemen van rijkswaterstaatswerken, waarvoor wel vergunning is verleend, maar die nog niet volledig zijn gerealiseerd
- het aanhouden van de vrije afvoerverdeling over de Rijntakken (dus niet de beleidsmatig vastgestelde).

Verder worden de berekeningen steeds verder verbeterd door verbeterde randvoorwaarden, stromingsweerstand, barrieresturing, droogval, overlaatroutines e.d.

Calibratie en verificatie van de modellering is uitgevoerd met behulp van de meetgegevens van afvoeren en waterstanden van de hoogwaters van 1993 en 1995.

De thermometerrandvoorwaarden kunnen worden gezien als de peilen die ontstaan indien het watersysteem in zijn actuele toestand zou worden belast met een maatgevend hoogwater (Van Velzen et al., 2008 a en b).

Hieruit kan de conclusie worden getrokken dat de toetspeilen voor het rivierengebied niet in overeenstemming zijn met de actuele waterhoogten behorende bij de normoverschrijdingsfrequenties voor de waterkeringen. Toetspeilen zijn kenmerkende waarden voor de waterkeringen, die om praktische en beleidsmatige redenen niet elke zes jaar worden aangepast. Voor de toepassingen waarvoor de kenmerkende waarden voor de waterstanden bedoeld zijn, zijn actuele waarden juist wel van belang. In het licht van de projecten "Ruimte voor de rivier" en "Maaswerken" is zelfs een snellere aanpassing van de kenmerkende waarden gewenst.

Wel wordt aanbevolen waarden voor de meetlocaties behorende bij de relevante normfrequenties op te nemen.

7.3 Overschrijdingsfrequenties waterstanden

Voor het vaststellen van kenmerkende waarden voor de rivieren zijn een paar stappen nodig. Eerst dient beschikt te kunnen worden over recente werklijnen, die het verband geven tussen de lokale afvoer en de overschrijdingsfrequentie, voor de meetlocaties Lobith en Borgharen. Vervolgens wordt met behulp van afvoerkrommen voor de Maas bij Borgharen en de Rijn bij Lobith) bepaald welke waterstanden horen bij de afvoeren voor een gekozen reeks overschrijdingsfrequenties.

Daarna worden met behulp van betrekkinglijnen tussen de waterstanden van Lobith en Borgharen (tegenwoordig meetpunt Sint Pieter te Maastricht) en hun respectievelijke benedenstroomse meetlocaties de lokale waterstanden bepaald behorende bij de gekozen reeks overschrijdingsfrequenties van de afvoeren.

Vanaf het hoogwaterseizoen 2009-2010 is Borgharen niet langer het referentiepunt voor hoogwaterstanden in de Maas, maar meetpunt Sint Pieter in Maastricht. De waterstand bij Borgharen wordt teveel beïnvloed door de Maaswerken. Dat geldt niet voor de afvoer. De werklijn kan dus nog steeds gebaseerd worden op de historische afvoereeks bij Borgharen. De afvoer bij Sint Pieter is praktisch gelijk aan de afvoer bij Borgharen, terwijl de invloed van de Maaswerken op de waterstand bij Sint Pieter verwaarloosbaar is.

Afvoerkrommen en betrekkinglijnen worden bepaald door RWS Oost-Nederland en RWS Zuid-Nederland voor de Rijn (+-takken) respectievelijk de Maas. Vanwege grote ingrijpende programma's (Ruimte voor de Rivier, Maaswerken) verandert er zoveel, dat een 10-jaarlijkse aanpassing conform de frequentie van de vroegere TO's onvoldoende is. De bepaling geschiedt thans dan ook vaker, voor de Maas zelfs jaarlijks en voor de Rijn (+-takken) tweejaarlijks. Als de rivieren zich hebben aangepast aan de nieuwe situatie na uitvoering van de programma's Ruimte voor de Rivier en Maaswerken, kan weer worden gedacht aan een 10-jaarlijkse bepaling. Het gaat hier bij de informatievoorziening vooral om de gevolgen van de nieuwe lijnen voor de kenmerkende waterstanden en niet zozeer om de lijnen zelf.

7.3.1 Betrekkinglijnen Maas

Sinds 2007 is het opstellen van de betrekkinglijnen voor de Maas een jaarlijkse activiteit. De methode is thans gebaseerd op (RWS Limburg, 2011):

- Jaarlijkse actualisatie op 1 november met maximale geldigheidsduur van 1 jaar;
- In betrekkinglijnen alleen meetpunten van het huidige MSW-net;
- Geen afronding meer van waterstanden op eenheden van 5 cm;
- In het hoge afvoerbereik gebaseerd op modelresultaten met het meest actuele WAQUA-model;

- De betrekkinglijnen gaan vergezeld van een extra tabel die inzicht geeft in de effecten van uitgevoerde en geplande ingrepen, die nog niet meegenomen zijn in het actuele model.

Bestonden de betrekkinglijnen vroeger uit echte getrokken lijnen, tegenwoordig zijn ze beschikbaar in de vorm van tabellen in een excel-sheet.

De betrekkinglijnen voor de Maas geven behalve de MSW-meetpunten ook getallen voor tussengelegen kilometerraaien.

Als werklijn is voor de betrekkinglijnen 2011-2012 gebruik gemaakt van de TMR2006 (Van Velzen, 2008b) met een maatgevende afvoer van 4000 m³/s (afgeronde waarde van 3965 m³/s).

Gesteld wordt dat de nauwkeurigheid van de betrekkinglijnen en de bijbehorende tabellen beperkt is. Ze moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden. Aandachtspunten daarbij zijn in volgorde van hun belang;

- De vorm (spits of stomp) van de afvoergolven bij Borgharen;
- De voortgang van werkzaamheden van de Maaswerken;
- De looptijd van afvoergolven;
- De afvoeren van beken langs de Vlaamse en Nederlandse Maas

Bij een hoogwatervoorspelling van Rijkswaterstaat wordt met deze aandachtspunten zo goed mogelijk rekening gehouden. Bij een hoogwatervoorspelling moet dan ook uitgegaan worden van de voorspelling voor nabijgelegen hoofdmeetpunten. Met de betrekkinglijnen en de bijbehorende tabellen kan vervolgens een doorvertaling gemaakt worden naar individuele rivierkilometers.

Bij overschrijdingsfrequenties van waterstanden gaat het niet om individuele afvoergolven, maar om representatieve gemiddelde omstandigheden. De betrekkinglijnen zijn daarom goed te gebruiken voor het bepalen van benedenstroomse waterstanden behorende bij een bepaalde overschrijdingsfrequentie van de afvoer bij Borgharen (of sint Pieter).

In het licht van de genoemde beperkte nauwkeurigheid van de betrekkinglijnen is het niet zinvol kenmerkende waterstanden op de cm nauwkeurig te geven, maar met een afronding op 5 cm of 1 dm.

7.3.2 Betrekkinglijnen Rijn (+ -takken)

De betrekkinglijnen voor de Rijn worden sinds 2010 om de twee jaar vastgesteld. De laatste betrekkinglijn daarvoor was vastgesteld in 2001. Voor onderhavige studie werd beschikt over de betrekkinglijnen voor de Rijn van 2010 (Van der Veen en Van der Veen, 2010 a en b). In deze rapportages worden de betrekkinglijnen in tabelvorm gegeven en wordt de methodiek voor het opstellen van de betrekkinglijnen beschreven. Voor gedetailleerde informatie wordt dan ook naar deze rapporten verwezen. De betrekkinglijnen van 2012 zijn ook beschikbaar.

Jaarlijks wordt voor Lobith een gecorrigeerde Qf-relatie afgeleid. Voor de betrekkinglijnen versie 2010 is hieruit de stationaire QH-relatie bepaald voor 1 oktober 2010. Met deze relatie worden de afvoeren bij Lobith vertaald naar een waterstand.

Voor het lage afvoerbereik zijn de betrekkinglijnen gebaseerd op metingen. De gegevens (uit het Landelijk Meetnet Water) hebben betrekking op de periode tussen 30 april van het

jaar waarin de betrekkinglijnen worden opgesteld en 1 mei twee jaar daarvoor. Dat betekent dat de NAP-aanpassing van 2005 geen rol speelt in de vaststelling van de betrekkinglijnen. In het hogere afvoerbereik ($>6000 \text{ m}^3/\text{s}$) zijn waterstandsmetingen slechts beperkt beschikbaar en moeten meetgegevens aangevuld worden met modelberekeningen (bereik recente hoogwaters). In het extrapolatiegebied ($>14000 \text{ m}^3/\text{s}$) zijn ze volledig gebaseerd op modelresultaten.

De betrekkinglijnen 2010 zijn in tabelvorm beschreven in 17 discrete afvoerniveaus. De geldigheid is van 1 november van het jaar van opstellen t/m 31 oktober 2 jaar later. Herhalingstijden worden gegeven voor afvoeren vanaf $6000 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor lagere afvoeren wordt het aantal dagen per jaar gegeven dat de afvoer wordt overschreden.

Bij de betrekkinglijnen spelen discontinuïteiten die voortvloeien uit het waterbeheer een belangrijke rol. De belangrijkste hangen samen met de stuwen bij Driel (Nederrijn), Amerongen (Nederrijn) en Hagestein (Lek), en bij de Prins Bernard Sluis en de Prinses Marijke Sluis (beide Amsterdam-Rijnkanaal). Deze discontinuïteiten verhinderen dat eenvoudig tussen kolommen van getabelleerde betrekkinglijnen kan worden geïnterpoleerd. Onzekerheden met betrekking tot de bediening van de stuwen en sluisen zorgen ook voor extra onzekerheden in de betrekkinglijnen.

De betrekkinglijnen worden gegeven voor de onderscheiden riviertakken en –panden en voor verschillende afvoersituaties (laag, midden en hoog).

De betrekkinglijn voor de IJssel gaat tot het meetpunt Keteldiep. De invloed van het IJsselmeer reikt wel tot Olst. Dat betekent dat de bandbreedte van de onnauwkeurigheid van de betrekkinglijnen hier relatief groot is.

De betrekkinglijnen voor Lek en Waal gaan tot de meetpunten Krimpen a/d Lek respectievelijk Vuren. Deze meetpunten liggen in het Benedenrivierengebied en staan dus onder invloed van het getij. Voor deze punten zijn om die reden de betrekkinglijnen relatief onnauwkeurig.

7.4 OLA en OLR

De Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR) is een peil voor de ongestuwde delen van de Rijntakken. De diepten op rivierkaarten worden ten behoeve van de scheepvaart aangegeven ten opzichte van het referentievlak OLR. Het OLR langs de Waal wordt berekend tot en met meetpunt Tiel Waal. De waarden OLR 1991.0 zijn de plaatselijke waterstanden die volgens de betrekkinglijnen overeenkwamen met een afvoer van $984 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith. Deze afvoer van $984 \text{ m}^3/\text{s}$ is oorspronkelijk de afvoer van de Rijn te Lobith die gemiddeld gedurende twintig ijsvrije dagen per jaar niet werd bereikt, en wordt de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA) genoemd. In het kader van een afstemming met Duitsland is het OLA gewijzigd in $1020 \text{ m}^3/\text{s}$ (OLA2001). Het is nu gedefinieerd als de afvoer die gemiddeld op 20 dagen per jaar wordt overschreden. De waarde komt ongeveer overeen met het gemiddeld jaarminimum.

7.5 Aanbevelingen

Het bepalen van overschrijdingsfrequenties voor waterstanden in het rivierengebied is een complex proces. Er dient beschikt te worden over actuele werklijnen en afvoerkrommen voor de stations Lobith (Rijn+-takken) en Sint Pieter (Maas) en bijbehorende betrekkinglijnen. Werklijnen worden periodiek aangepast in het kader van de Wet op de Waterkering. Afvoerkrommen en betrekkinglijnen worden door en in opdracht van de diensten RWS Oost-Nederland en RWS Zuid-Nederland periodiek vernieuwd. De betrekkinglijnen voor de Rijn

worden tweejaarlijks en die voor de Maas jaarlijks opnieuw vastgesteld in verband met de uitvoering van werken in het kader van de projecten "Ruimte voor de rivier" en "Maaswerken". De betrekkinglijnen zijn beschikbaar in tabelvorm of als excelsheet. In tabelvorm worden ze beschikbaar gesteld door de betrokken diensten.

Het ligt voor de hand om de kenmerkende waarden voor het rivierengebied te ontleen aan bovengenoemde betrekkinglijnen en even vaak te vernieuwen. Het is het eenvoudigst om de waterstanden behorende bij de gewenste overschrijdingsfrequenties op te vragen bij de betrokken diensten en afdelingen. Zij beschikken over de excelsheets en kunnen hiermee voor elke gewenste overschrijdingsfrequentie de bijbehorende waterstanden van de LMW-meetlocaties afleiden.

Voor een actueel landelijk overzicht met kenmerkende waarden (voorheen waternormalen) op de rws-website dienen de kenmerkende waarden voor de Maas en de Rijn jaarlijks of tweejaarlijks te worden vernieuwd. Voorkomen moet worden dat er verschillende getallen worden gepubliceerd via de landelijke site en via de regionale diensten. Een andere mogelijkheid om dat te realiseren is om op de website voor de kenmerkende waarden van het rivierengebied (overschrijdingsfrequenties waterstanden), zolang ze nog zo frequent geactualiseerd moeten worden, te verwijzen naar de regionale dienst waar ze opgevraagd kunnen worden.

Opname van toetspeilen of maatgevende waterstanden en afvoeren bij de kenmerkende waarden wordt afgeraden. Deze waterstanden zijn speciaal vastgesteld voor de toetsing van de waterkering en worden niet altijd aangepast aan nieuwe berekeningen. Het jaarlijks of tweejaarlijks aanpassen van een toetspeil leidt ook tot onwerkbaar situaties. Wel wordt aanbevolen om, naast de waterstanden voor een aantal vaste overschrijdingsfrequenties (zie bijvoorbeeld tabel 7.1) van eens per 2 jaar tot eens per 1250 jaar, ook de waterstanden behorende bij normfrequenties in het betrokken gebied bij de kenmerkende waarden op te nemen.

8 Benedenrivierengebied

8.1 Inleiding

Het Benedenrivierengebied is het gebied dat onder invloed staat van zowel het getij als de rivierafvoer. Het is het gebied tussen de kustwateren (onbeïnvloede getijgebied) en het rivierengebied en wordt ook wel omschreven als het beïnvloede getijgebied. Verder is de lozing tijdens laag water via de Haringvlietsluizen van belang.

Het Benedenrivierengebied wordt aan de westzijde begrensd bij de Maasmond en de Haringvlietdam. Aan de oostzijde ligt de begrenzing ongeveer bij Hagestein op de Lek, Gorinchem op de Boven Merwede/Waal en Heusden op de Maas. Het Benedenrivierengebied wordt ook wel Rijn-Maasmonding (RMM) genoemd (Chbab, 2012).

8.2 Gemiddelde getijkrommen en slotgemiddelden

De gemiddelde getijkrommen en slotgemiddelden voor de meetpunten in het benedenrivierengebied volgen uit berekeningen met een hydrodynamisch model. Voor de gemiddelde getijkrommen 1991.0 (RIKZ, 1994) werd daarvoor het ééndimensionale model ZWENDL gebruikt. Tegenwoordig is daarvoor een 1D-SOBEK-model beschikbaar.

Ten behoeve van de gemiddelde getijkrommen 1991.0 (RIKZ, 1994) zijn 24 situaties doorgerekend: voor 3 getijfasen (gemiddeld tij, springtij en doottij) en 8 verschillende afvoercombinaties van Maas en Rijnakken. Als uitgangspunt voor de gekozen afvoeren is de Bovenrijnafvoer bij Lobith genomen. Onder de 8 gekozen waarden voor de Bovenrijnafvoer zijn het veeljarig gemiddelde (2200 m³/s), de grensafvoer van 6800 m³/s en het OLA van 984 m³/s. Voor de grensafvoer wordt thans 7020 m³/s aangehouden, voor het OLA 1020 m³/s.

Naast de afvoeren van Maas en Rijnakken zijn het beheer van de Haringvlietsluizen en van de stuwen te Hagestein en Lith van belang, alsmede enkele lozingen en onttrekkingen. De diverse beheersmaatregelen hangen nauw samen met de Bovenrijnafvoer.

Voor een nieuwe vaststelling van slotgemiddelden en gemiddelde getijkrommen kan uiteraard ook voor andere afvoercombinaties worden gekozen dan in het verleden is gedaan.

Bij een bepaalde Bovenrijnafvoer zijn de overeenkomstige waarden voor Waal, Lek en Maas en de bijbehorende doorstromingsopening van de Haringvlietsluizen bepaald. Deze afvoerverdelingen en openingen Haringvlietsluizen hebben gediend als randvoorwaarden voor het hydrodynamische model.

De getijrandvoorwaarden bestonden uit tijdreeksen met een permanente gelijke getijslag voor de locaties Hoek van Holland en Zeegat van Goeree. Voor een nieuwe vaststelling zijn Hoek van Holland en Haringvliet10 de aangewezen locaties. De gebruikte gemiddelde getijkrommen voor gemiddeld tij, springtij en doottij volgen uit de berekeningen volgens Hoofdstuk 5 (paragraaf 5.4).

Voor zowel getij als afvoer wordt permanentie verondersteld.

De gemiddelde getijkrommen, en daarmee alle slotgemiddelden, voor het Benedenrivierengebied volgen rechtstreeks uit de resultaten van de modelberekeningen. Havengetalberekeningen conform Hoofdstuk 5 voor de kustwateren worden niet uitgevoerd.

8.3 Toetspeilen

In (Chbab, 2012) wordt gerapporteerd over de werkwijze voor het vervaardigen van de concept hydraulische randvoorwaarden voor het benedenrivierengebied. Deze conceptrandvoorwaarden zijn bepaald met het probabilistische programma Hydra-Zoet in plaats van het vroegere Hydra-B.

Hydra-Zoet is uit uniformiteitsoverwegingen ontwikkeld voor alle zoete watersystemen. Het is in het kader van WTI-2011 ook gebruikt voor de probabilistische berekeningen in het IJsselmeer (inclusief Ketelmeer en Vossemeer) en de Vechtdelta.

Belangrijkste veranderingen t.o.v. de HR2006 zijn:

- langere stormopzetduur bij Hoek van Holland (Benedenrivierengebied)
- tweedimensionale modellering met WAQUA. (Benedenrivierengebied)
- Recente inzichten m.b.t. seiches (Europoortgebied)

Het effect van deze veranderingen op de toetspeilen is:

- Verlaging van de toetspeilen in het gebied bovenstrooms van de Biesbosch (maximaal -38 cm langs de Boven Merwede en soortgelijk op de Bergsche Maas), vooral door de 2D-modellering van het Biesbosch gebied;
- Verhoging in de brede wateren (ca. 2 dm), vooral veroorzaakt door de langere stormopzetduur bij Hoek van Holland;
- Verhoging in het Europoortgebied, beperkt tot maximaal 20 cm, vanwege het relatief kleine effect van de stormopzetduur.

Zoals eerder opgemerkt zijn de concept hydraulische randvoorwaarden voor 2011 om beleidsmatige redenen niet vastgesteld als nieuwe randvoorwaarden en zijn de HR2006 nog steeds van kracht.

De kernvraag waarop HYDRA-Zoet antwoord geeft is wat het bij een bepaalde overschrijdingsfrequentie behorende belastingniveau is.

Als het belastingniveau ingesteld is op alleen de waterstand (faalmechanisme overloop), en als de overschrijdingsfrequentie gelijk is aan de normfrequentie, dan is het HYDRA-Zoet resultaat het toetspeil. Met deze instelling kan Hydra-Zoet gebruikt worden voor het bepalen van overschrijdingslijnen voor de extreem hoge waterstanden in het Benedenrivierengebied, en mogelijk ook voor de Vechtdelta en het IJsselmeer.

Als ook andere faalmechanismen worden mee beschouwd is het verkregen toetspeil niet per definitie gelijk aan het peil met de normoverschrijdingsfrequentie.

8.4 Overschrijdingsfrequenties

De overschrijdingsfrequenties voor de hoogwaterstanden en onderschrijdingsfrequenties voor de laagwaterstanden in de Rijn- Maasmonding zijn voor het laatst bepaald voor de toestand omstreeks 2005 (Van Veen, 2006). Het frequentiebereik strekte zich uit van dagelijkse omstandigheden tot situaties met een terugkeertijd van 100.000 jaar. De resultaten zijn representatief voor de toestand van het watersysteem omstreeks 2005.

Er zijn drie methoden toegepast om de over- en onderschrijdingsfrequenties te schatten voor een bepaalde waterstand. Voor de meer frequente gebeurtenissen zijn de frequenties rechtstreeks uit de meetdata afgeleid. Voor minder frequente gebeurtenissen is een conditionele Weibull-verdeling gefit er op de meetdata. Voor extreme (hoge) gebeurtenissen zijn de resultaten van Hydra-B van de HR2006 voor de hoogwaters gebruikt.

De resultaten van de toegepaste methoden zijn per locatie gecombineerd tot één overschrijdingsfrequentielijn voor hoogwater en één overschrijdingsfrequentielijn voor laagwater.

Een update van de overschrijdingslijnen naar de toestand omstreeks 2010 is gewenst.

8.5 OLW 2011.0

Deze paragraaf is overgenomen uit een werkdocument hierover van Koos Doekes (RWS-WVL).

Het OLW (Overeengekomen Laag Water) wordt zodanig bepaald dat het een vloeiende overgang vormt van het LAT bij Hoek van Holland tot de OLR bij Tiel Waal.

De vloeiende aansluiting van het OLW op het LAT en de OLR wordt bewerkstelligd m.b.v. overschrijdingsfrequenties. Voor een gegeven plaats X wordt het OLW gekozen als het peil met de volgende overschrijdingsfrequentie:

$$f(X) = f(HvH) \times p / (p+q) + f(Tiel) \times q / (p+q)$$

waarin :

$f(HvH)$ = overschrijdingsfrequentie van het LAT te Hoek van Holland in het beschouwde tijdvak

$f(Tiel)$ = overschrijdingsfrequentie van de OLR te Tiel Waal in het beschouwde tijdvak

p = de helft van het gemiddeld tijverschil bij OLA (Bovenrijnafvoer 1020 m³/s)

q = verschil gemiddelde waterstand bij gemiddelde Bovenrijnafvoer (2200 m³/s) en gemiddelde waterstand bij OLA

Voor het tijdvak wordt meestal de laatste vier jaar gekozen.

p en q zijn weegfactoren die resp. het getij- en het rivierkarakter weergeven.

De frequenties worden tegenwoordig uitgedrukt in uren.

In 2006 zijn op verzoek van de Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine nieuwe waarden voor OLW berekend in verband met de overschakeling van LLWS op LAT in het onbeïnvloede getijgebied (werkdocument RIKZ/ZD/2006.001W, dd. 21 maart 2006). Hierbij zijn voor de vier meetpunten op de Waal, Boven Merwede en Nieuwe Merwede, te weten Sint Andries Waal, Zaltbommel, Vuren en Werkendam buiten echter de in 2002 berekende waarden aangehouden (OLW 2002.0).

De berekening is uitgevoerd op de uurwaarden van 2007 t/m 2010, met uitzondering van Sint Andries Waal. Voor Sint Andries Waal staan tot op heden alleen dagelijkse waterstanden ter beschikking. De perioden 4 maart t/m 14 augustus 2007 en 20 februari t/m 21 maart 2010 ontbreken in DONAR. Voor de eerste periode staan geïnterpoleerde waarden in DONAR; voor de tweede periode is duidelijk dat er toen in ieder geval geen bijzonder lage standen zijn opgetreden.

Het LAT ter plaatse van het peilmeetstation Hoek van Holland werd in de periode 2007 t/m 2010 door 419 uurwaarden overschreden.

De OLR 2010.0 te Tiel Waal is door RWS Oost Nederland vastgesteld op NAP + 258 cm. Dit peil werd in de periode 2007 t/m 2010 door 361 uurwaarden overschreden.

Deze onderschrijdingsfrequenties liggen zo dicht bij elkaar, dat het niet zinvol was de waarden voor p en q opnieuw te bepalen. De eerder (voor Sint Andries Waal, Zaltbommel, Vuren en Werkendam buiten in 2002, en voor de overige meetpunten in 2006) gebruikte waarden zijn aangehouden.

De waarden van f(X) zijn uitgedrukt als totaal aantal uurwaarden over 2007 t/m 2010.

Wijziging van het OLW in het westelijk deel van het benedenrivierengebied – het gebied dat door de zeekaarten wordt bestreken – is bij kleine verschillen thans niet opportuun.

Hoewel er in het Haringvlietbekken wel sprake lijkt te zijn van een systematische daling, zijn de gevonden verschillen niet zo groot dat de waarden OLW 2006.0 niet meer zouden kunnen worden aangehouden.

De resultaten zijn gegeven in Tabel 8.1(f(X) is totaal over 2007 t/m 2010).

Tabel 8.1 OLW 2011.0

Meetpunt	p	q	f(X)	resultaat	OLW 2011.0
Lith dorp	22	66	376	19	19
Heesbeen	18	29	383	17	17
Keizersveer	15	20	386	13	13
Sint Andries Waal *	5	150	363 *	155	155
Zaltbommel	11	130	366	81	81
Vuren	16	58	374	31	31
Werkendam buiten	18	31	382	21	21
Moerdijk	12	18	384	11	17
Rak noord	14	17	387	12	16
Hellevoetsluis	15	17	388	13	18
Dordrecht	29	17	398	-10	-7
Goidschalxoord	52	11	409	-37	-35
Spijkenisse	74	7	414	-66	-65
Hagestein beneden	69	94	386	-47	-47
Schoonhoven	59	42	395	-43	-43
Krimpen aan de Lek	62	15	408	-43	-40
Gouda brug	85	11	412	-62	-59
Krimpen aan de IJssel	70	11	411	-57	-54
Rotterdam	78	7	414	-71	-67
Vlaardingen	78	6	415	-76	-74
Maassluis	76	5	415	-85	-83

* : Berekening op dagelijkse standen, 363 uur = 15 dagen

9 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Algemeen

Bestudering van de laatste tienjarige overzichten (TO's), de publicatie Gemiddelde Getijkromme 1991.0 en de website www.rws.nl leverde een veelheid aan begrippen op, die niet altijd logisch of met elkaar in overeenstemming waren.

Voorgesteld wordt het begrip "slotgemiddelde" te reserveren voor die kenmerkende waarden die volgen uit een trendberekening en die geldig zijn voor het eind van de periode waarover de trend is berekend (of het begin van de periode daarna), zoals bijvoorbeeld de aan het astronomische getij gerelateerde parameters (gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en gemiddelde zeestand).

Eveneens wordt voorgesteld het begrip "kenmerkende waarden" weer in te voeren in plaats van "waternormalen". Slotgemiddelden, "kengetallen", en alle andere gepresenteerde grootheden vallen dan onder de noemer "kenmerkende waarden".

Het TO 1981-1990 en de tot voor kort nog opgenomen waternormalen van de website www.rws.nl stammen grotendeels nog uit de tijd dat de Wet op de Waterkering van 1996 (later opgegaan in de Waterwet van 2009) nog niet van kracht was en er dus nog niet periodiek boeken met hydraulische randvoorwaarden verschenen. De huidige informatie is verouderd en dient geactualiseerd te worden op latere onderzoeken en vaststellingen.

Het nadeel van de tienjaarlijkse overzichten in boekvorm was dat informatie die tussentijds werd geproduceerd pas in het volgende overzicht kon worden opgenomen. Nu is de papieren uitgave van de tienjarige overzichten al vervangen door haar elektronische tegenhanger: de huidige "waternormalen" van www.rws.nl. In beginsel kunnen die geactualiseerd worden zodra er nieuwe waarden beschikbaar zijn. Tot voor kort is dat slechts beperkt gebeurd. Dit is een ongewenste situatie.

Aanbevolen wordt de informatievoorziening van de kenmerkende waarden steeds zo actueel mogelijk te houden en zo te organiseren dat elk type kenmerkende waarde op tijd wordt vernieuwd en beschikbaar gesteld. Het streven naar gemeenschappelijke periodes is niet nodig. Het is gewenst van elk type kenmerkende waarde, als dat mogelijk is, aan te geven tot wanneer deze geldig is. Het is daarmee voor de lezer meteen duidelijk of een waarde verouderd is en hoe lang.

Dat betekent o.a.:

- Elke tien jaar slotgemiddelden en havengetallen berekenen;
- Overschrijdingsfrequenties van waterafvoeren en/of over- en onderschrijdingsfrequenties van waterhoogten aanpassen zodra ze zijn geactualiseerd. Dat kan zijn met de cyclus van de hydraulische randvoorwaarden voor de waterkeringen, maar soms ook vaker, zoals thans voor de Maas en de Rijn (+-takken). Ze dienen altijd voorzien te worden van het jaar waarvoor ze zijn bepaald of tot wanneer ze geldig zijn;
- Niet-periodieke informatie, zoals OLA, OLR, OLW en LAT, aanpassen zodra er nieuwe waarden beschikbaar zijn. Ze blijven geldig tot er nieuwe waarden bepaald zijn.

Willen de kenmerkende waarden actueel zijn, dan zal geaccepteerd moeten worden dat er verschil kan bestaan tussen het toetspeil en de waarde op de meest nabije meetlocatie voor gelijke normfrequentie. Om verwarring te voorkomen wordt aanbevolen de toetspeilen niet in de tabellen voor de kenmerkende waterstanden op te nemen, maar daarvoor te verwijzen naar de hydraulische randvoorwaardenboeken. Wel wordt (als referentie) aanbevolen om actuele waterstanden voor de meetlocaties te geven voor de normfrequenties van de toetspeilen. Het is wel van belang die kenmerkende waarden echt actueel te houden.

Het wordt gewenst geacht binnen de Rijkswaterstaat een discussie op gang te brengen over de informatievoorziening met betrekking tot de kenmerkende waarden. Vragen die hierbij aan de orde zouden kunnen komen zijn:

- Aan welke kenmerkende waarden is behoefte. Als er nooit of zelden naar een bepaalde categorie kenmerkende waarden gevraagd wordt kan men zich afvragen of de inspanning voor de productie ervan gerechtvaardigd is;
- Hoe vaak dienen welke kenmerkende waarden verversst te worden, afhankelijk van de veranderlijkheid ervan en de behoefte eraan;
- Hoe wordt de productie van de kenmerkende waarden georganiseerd, welke dienst doet wat;
- Is er behoefte aan een centrale website voor alle kenmerkende waarden, of kan ook verwezen worden naar andere informatiepunten.

Kustwateren

Voor de kustwateren zijn nieuwe kenmerkende waarden 2011.0 berekend. Hiervoor was het noodzakelijk de gegeven datareeksen van jaargemiddelde zeeniveaus te corrigeren voor de wijziging in het NAP-vlak van 2005 en voor de 18,6-jarige knopencyclus.

Correctie voor NAP-aanpassing

Het nationale referentievlak voor hoogtemetingen in Nederland is het NAP (Normaal Amsterdams Peil). Voor de landelijke verspreiding van het NAP-vlak bestaat een netwerk van ondergrondse merken (regionale referentiepunten). Ook de zogenaamde nulpalen van de peilmeetstations behoren tot dit netwerk. Deze ondergrondse merken zijn gefundeerd op het pleistoceen. Hun onderlinge hoogteligging wordt bepaald door middel van zogenaamde Nauwkeurigheidswaterpassingen.

Gebleken is dat de bovenkant van het pleistoceen niet zo stabiel is als oorspronkelijk gedacht, vooral als gevolg van geologische processen als isostasie, compactie en tektoniek. Na de 5^e Nauwkeurigheidswaterpassing (1996-1999) is besloten de NAP-hoogten van de NAP-merken aan te passen. Met ingang van 1 januari 2005 is dat formeel gebeurd. Hiermee is dus een discontinuïteit in de meetwaarden van de waterhoogten ingevoerd die van invloed is op de resultaten van trendanalyses.

Voor zo zuiver mogelijke tijdreeksen voor trendanalyses van jaargemiddelde zeeniveaus zijn deze gecorrigeerd voor het effect van de NAP-aanpassing op 1 januari 2005 door het corrigeren van de waarden vóór 2005 tot NAP-waarden zoals die zouden zijn geweest vanaf 2005.

Lineaire of niet-lineaire trendanalyse

Voor de tijdreeksen van jaargemiddelde zeeniveaus was het noodzakelijk niet-lineaire trendanalyses toe te passen. Kunnen de verlopen van de gemiddelde zeestanden vanaf ongeveer 1885 meestal nog wel voldoende nauwkeurig door een lineaire trendlijn worden benaderd, voor de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden is dat vaak niet meer het geval. Gebruik is gemaakt van de zogenaamde Whittaker smoother, een functievrije

fittingsmethode, ook wel aangeduid als *penalized least sum of squares (PLSS)*. Deze methode kan goed omgaan met trendveranderingen, hiaten en discontinuïteiten.

Correctie voor de 18,6-jarige knopencyclus

Er is uitvoerig aandacht besteed aan de invloed van de bekende 18,6-jarige cyclus in de tijdreeksen van gemiddelde zeeniveaus, de zogenaamde knopencyclus. Deze periode hangt samen met de verandering in de helling van het vlak van de maansbaan om de aarde ten opzichte van de ecliptica. Het blijkt dat ook de PLSS-trendlijn aan het eind van de tijdreeks gevoelig is voor een periodieke component als de knopencyclus. Om die reden zijn alle tijdreeksen gecorrigeerd voor de 18,6-jarige cyclus, alvorens de definitieve PLSS-trendlijn te berekenen.

Slotgemiddelden

De slotgemiddelden voor gemiddeld hoogwater, gemiddeld laag water en gemiddelde zeestand zijn berekend op basis van de PLSS-trendlijnen. De slotgemiddelden voor springtij en doortij volgen uit de berekeningen van de havengetallen. Verder zijn waarden opgenomen voor LAT, duur daling en duur rijzing.

Frequenties

Overschrijdingswaarden van hoogwaterstanden zijn afgeleid uit naar de toestand van 2010 herleide waarnemingen voor de hogere frequenties en uit actuele extreme-waardenstatistiek voor de lagere frequenties. De overgang tussen de resultaten van beide afleidingen is vloeiend gemaakt, waarbij de extreme-waardenstatistiek vanaf 1x per 10 jaar onderschrijdingswaarden niet werden aangepast. De onderschrijdingsfrequenties van de laagwaterstanden zijn uitsluitend afgeleid uit de waarnemingen.

Het rivierengebied

Het bepalen van overschrijdingsfrequenties voor waterstanden in het rivierengebied is een complex proces. Er dient beschikt te worden over actuele werklijnen en afvoerkrommen voor de stations Lobith (Rijn+-takken) en Sint Pieter (Maas) en bijbehorende betrekkinglijnen. Werklijnen worden periodiek aangepast in het kader van de Wet op de Waterkering. Afvoerkrommen en betrekkinglijnen worden door en in opdracht van de diensten RWS Oost-Nederland en RWS Zuid-Nederland periodiek vernieuwd. De betrekkinglijnen voor de Rijn worden tweejaarlijks en die voor de Maas jaarlijks opnieuw vastgesteld in verband met de uitvoering van werken in het kader van de projecten "Ruimte voor de rivier" en "Maaswerken". De betrekkinglijnen zijn beschikbaar in tabelvorm of als excelsheet. In tabelvorm worden ze beschikbaar gesteld door de betrokken diensten.

Het ligt voor de hand om de kenmerkende waarden voor het rivierengebied te ontlenuen aan bovengenoemde betrekkinglijnen en even vaak te vernieuwen. Het is het eenvoudigst om de waterstanden behorende bij de gewenste overschrijdingsfrequenties op te vragen bij de betrokken diensten en afdelingen. Zij beschikken over de excelsheets en kunnen hiermee voor elke gewenste overschrijdingsfrequentie de bijbehorende waterstanden van de LMW-meetlocaties afleiden.

Voor een actueel landelijk overzicht met kenmerkende waarden (voorheen waternormalen) op de rws-website dienen de kenmerkende waarden voor de Maas en de Rijn jaarlijks of tweejaarlijks te worden vernieuwd. Voorkomen moet worden dat er verschillende getallen worden gepubliceerd via de landelijke site en via de regionale diensten. Een andere mogelijkheid om dat te realiseren is om op de website voor de kenmerkende waarden van het rivierengebied (overschrijdingsfrequenties waterstanden), zolang ze nog zo frequent

geactualiseerd moeten worden, te verwijzen naar de regionale dienst waar ze opgevraagd kunnen worden.

De OLA (Overeengekomen Lage Afvoer) is in 2001 vastgesteld (in overleg met Duitse collega's) op 1020 m³/s. De OLR-waarden (Overeengekomen Lage Rivierstanden) gelden nog voor de toestand 1991.0. Zodra daar behoefte aan is zullen ze moeten worden geactualiseerd.

Het Benedenrivierengebied

Voor het Benedenrivierengebied zijn nog geen nieuwe kenmerkende waarden vastgesteld. Aangegeven is, hoe de gemiddelde getijkrommen en slotgemiddelden kunnen worden berekend, conform de werkwijze bij de laatste productie ervan (1991.0).

De jongste overschrijdingsfrequenties van hoogwaterstanden en onderschrijdingsfrequenties van laagwaterstanden gelden voor de toestand in 2005. Aanbevolen wordt deze lijnen te actualiseren naar de toestand in 2010. Daarbij kan voor het extreme bereik (lage frequenties) gebruik gemaakt worden van het programma Hydra-Zoet, dat ontwikkeld is voor het afleiden van de hydraulische randvoorwaarden.

IJsselmeer en Vechtdelta

IJsselmeer en Vechtdelta zijn niet apart besproken. Overschrijdingsfrequenties voor deze watersystemen kunnen worden afgeleid met behulp van Hydra-Zoet voor het bereik waarvoor geen metingen beschikbaar zijn.

10 Literatuur

(Baart et al, 2012)

F. Baart, P. H. A. J. M. van Gelder, J. de Ronde, M. van Koningsveld, and B. Wouters, *The effect of the 18.6-year lunar nodal cycle on regional sea-level rise estimates*. Journal of Coastal Research, 28(2): 511–516, March 2012.

(Barends et al, 2008)

Barends, Frans; Dillingh, Douwe; Hanssen, Ramon en Onselen, Kyra van (eds), (2008) *Bodemdaling langs de Nederlandse kust, case Hondsbossche en Pettemer zeewering*, IOS Press, Amsterdam.

(Brand, 2002)

Brand, G.B.M (2002): *Oorzaken van de bewegingen van de meetpunten van het NAP*, rapport MDGAP-2002.26, Rijkswaterstaat, 2002.

(Brand et al, 2004)

Brand, G.B.M., G. van Brussel, J.H. ten Damme en J. Gerritsen (2004): *Herberekening van het primaire net van het NAP, Verbetering precisie en betrouwbaarheid ten behoeve van de nieuwe NAP-publicatie*, rapport AGI/GAP-04?004, Rijkswaterstaat AGI, augustus 2004.

(De Bruijne et al, 2005)

Bruijne, Arnoud de; Joop van Buren; Anton Kösters; Hans van der Marel (2005): *De geodetische referentiestelsels van Nederland, definitie en vastlegging van ETRS89, RD en NAP en hun onderlinge relaties*, Nederlandse Commissie voor Geodesie.

(Chbab, 2012)

Houcine Chbab, *Achtergrondrapport WTI-2011 voor de Benedenrivieren, Concept hydraulische randvoorwaarden HR2011 voor de Benedenrivieren*, Deltares, rapport1204143-003-ZWS-0030, Delft, augustus 2012.

(Deltacommissie, 1960)

Rapport Deltacommissie, deel 1, *Eindverslag en interim-adviezen*, Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf, 's-Gravenhage, 1960.

(DGW, 1989)

Tienjarig Overzicht 1971–1980 der waterhoogten, afvoeren en watertemperaturen, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, 's-Gravenhage, 1989.

(Dillingh et al, 1993)

D. Dillingh, L. de Haan, R. Helmers, G.P. Können, en J. van Malde (1991), *De basispeilen langs de Nederlandse kust, Statistisch onderzoek*, Rapport DGW-93.023, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Den Haag, april 1993.

(Dillingh, 2010)

D. Dillingh, *Karakteristieken waterkwantiteit, getij en zeespiegelstijging*, Deltares, rapport 1203765-000-ZKS-0005, Delft, december 2010.

(Dillingh, 2013)

D. Dillingh, *Veranderingen in gemiddelde zeeniveaus in de Nederlandse kustwateren*, Deltares, rapport 1206182-000-ZKS-0003, Delft, september 2013.

(Dillingh en Heinen, 1994)

D. Dillingh en P.F. Heinen (1994), *Zeespiegelstijging, getijverandering en deltaveiligheid*, Rapport RIKZ-94.026, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag, juni 1994.

(Dillingh et al., 2010a)

D. Dillingh, F. Baart en J.G. de Ronde, *Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte*, Deltares, rapport 1201993-002-VEB-0003, Delft, juli 2010.

(Dillingh et al., 2010b)

Douwe Dillingh en Joao de Lima Rego, *Toets- en Rekenpeilen Kust en Estuaria ten behoeve van de HR 2011*, Deltares, rapport 1202341-002-HYE-0060, Delft, november 2010.

(Eilers, 2003)

Eilers, P.H.C. (2003), *A Perfect Smoother*, Analytical Chemistry, 75(14), pp 3631-3636, DOI: 10.1021/ac034173t, May 30, 2003.

(Eilers, 2006)

Eilers, P.H.C., *Statistische Analyse van Trends in Zeewaterstanden*, in opdracht van RWS-RIKZ, EDAS, Dordrecht, 2006.

(Van den Hoek Ostende en Van Malde, 1989)

Hoek Ostende, E.R. van den; J. van Malde (1989): *De invloed van de bepalingswijze op de berekende gemiddelde zeestand, nota GWAO-89.006*, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, november 1989.

(Van de Langemheen en Berger, 2001)

W. van de Langemheen en H.E.J. Berger, *Hydraulische Randvoorwaarden 2001: maatgevende afvoeren Rijn en Maas*, Rijkswaterstaat, rapport RIZA 2002.014, Arnhem, oktober 2001.

(Philippart et al, 1995)

M.E. Philippart, D. Dillingh en S.T. Pwa (1995), *De basispeilen langs de Nederlandse kust, de ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen*, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Rapport RIKZ-95.008, Den Haag, mei 1995.

(RIKZ, 1994)

Gemiddelde Getijkromme 1991.0, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Den Haag, 1994.

(De Ronde, 1982)

Ronde, J.G. de (1982): *Bepaling der gemiddelde zeestanden vermeld in de Tienjarige Overzichten*, Nota J.d.R.82.13, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Den Haag, 15 november 1982.

(De Ronde, 1983)

Ronde, J.G. de (1983): *Nauwkeurigheid gemiddelde zeestanden*, Nota J.d.R.83.21, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, 18 oktober 1983.

(RWS, 1994)

Tienjarig Overzicht 1981–1990 (presentatie van afvoeren, waterstanden, watertemperaturen, golven en kustmetingen), Rijkswaterstaat, RIKZ en RIZA, Den Haag, 1994.

(RWS Limburg, 2011)

Rijkswaterstaat Dienst Limburg, afdeling ANI, *Betrekkinglijnen 2011-2012*, Maastricht, 1 november 2011

(Saarloos, 1951)

Saarloos J.M. (1951), *De geringe nauwkeurigheid van het bodemdalingsgetal ten opzichte van zeeniveau, afgeleid uit de aflezingen op de Nederlandse kustpeilschalen, en de methode om daarin verbeteringen te brengen*, Tijdschrift Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap, LXVIII, 1951, p101-122.

(Tijssen, 2009a)

Annegien Tijssen, *Herberekening werklijn Rijn in het kader van WT2011*, Deltares, rapport 1200103-044-ZWS-0008, Delft, november 2009.

(Tijssen, 2009b)

Annegien Tijssen, *Herberekening werklijn Maas in het kader van WT2011*, Deltares, rapport 1200103-044-ZWS-0007, Delft, november 2009.

(Van der Veen en Van der Veen, 2010a)

R. van der Veen en S.R. van der Veen, *Betrekkinglijnen Rijn, Versie 2010*, RURA-Arnhem Intermediair in waterbeheer, referentie P100429Ra, Arnhem, 14 juli 2010.

(Van Veen, 2006)

C.J. van Veen, *Waterstandsfrequenties in de Rijn-Maasmonding*, rapport HKVLIJN IN WATER PR1162.10, december 2006.

(Van der Veen en Van der Veen, 2010b)

R. van der Veen en S.R. van der Veen, *Opstellen betrekkinglijnen, Methodiek versie 1.0*, RURA-Arnhem Intermediair in waterbeheer, referentie P100429Ra, Arnhem, 14 juli 2010.

(Van Velzen et al., 2008a)

E.H. van Velzen, M.J.M. Scholten, D. Beyer, *Achtergrondrapport HR2006 voor de Rijn, Thermometerrandvoorwaarden 2006*, Rijkswaterstaat, RWS RIZA rapport 2007.021, november 2008.

(Van Velzen et al., 2008b)

E.H. van Velzen, D. Beyer, M.J.M. Scholten, C. Stolker, *Achtergrondrapport HR2006 voor de Maas, Thermometerrandvoorwaarden 2006*, Rijkswaterstaat, RWS RIZA rapport 2007.022, november 2008.

(van Vuuren et al, 1999)

Vuurden, W.E. van; Moll, J.R.; Vervoorn, H.; *De QH-relatie zijn langste tijd gehad?: op weg naar het Qf-tijdperk voor de Rijntakken*; H2O: tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling; deel 32, jaargang 1999, nr.25, blz. 19-25

A Overzichtsk kaart peilmeetstations kust en estuaria

RD-coördinaten beschouwde peilmeetstations

Station	X-coördinaat	Y-coördinaat
Terneuzen	045793	373070
Bath	073048	379492
Hansweert	059050	384960
Vlissingen	030593	385312
Bergse Diepsluis west	070210	392090
Krammersluizen west	069000	408570
Stavenisse	059300	401630
Roompot binnen	037216	404735
Cadzand	015260	378750
Westkapelle	019900	394356
Roompot buiten	036920	404796
Brouwershavense Gat 08	046197	419184
Haringvliet10	049862	431612
Hoek van Holland	067932	444000
Scheveningen	078006	457360
IJmuiden	098507	497450
Petten zuid	105240	531980
Den Helder	111776	553163
Texel Noordzee	111217	570623
Terschelling Noordzee	151570	604853
Wierumergronden	192882	614562
Huibertgat	222032	621365
Oudeschild	119053	561696
Vlieland haven	135307	589943
West-Terschelling	143870	597420
Nes	180158	604899
Schiermonnikoog	209220	609488
Den Oever buiten	131911	549678
Kornwerderzand buiten	151500	564972
Harlingen	156609	576553
Lauwersoog	208853	602777
Eemshaven	250792	607798
Delfzijl	258000	594430
Nieuwe Statenzijl	276551	584320

ETRS89-coördinaten platforms

Station	NB	OL
Lichteland Goeree	51° 55' 30"	3° 40' 06"
Euro platform	51° 59' 52"	3° 16' 30"
K13a platform	53° 13' 01"	3° 13' 08"



Peilmeetstations in de Nederlandse kustwateren		Datum: 26-08-2013
		Kaartnummer: RWSWD20130003
Legenda		Schaal: 1:1.150.000
● RWS peilmeetstations		

B Een beknopte geschiedenis van het NAP

De voorganger van het NAP is het AP (Amsterdamsch Stadtspeyl). Het kwam overeen met de gemiddelde vloedhoogte op het IJ te Amsterdam en werd in 1682, of vlak daarna, vastgelegd door middel van peilmerken in de vorm van witte marmeren stenen waarin een groeve was uitgehakt. Deze dijkpeilstenen werden aangebracht in acht sluizen van de toen nieuwe waterkering van Amsterdam.

Het AP verspreidde zich daarna langs de Zuiderzee en de grote rivieren en werd in 1818 bij Koninklijk Besluit door Koning Willem I voorgeschreven als algemeen vergelijkingsvlak voor waterstanden.

De eerste nationale waterpassing (de 1^e zogenaamde Nauwkeurigheidswaterpassing (NWP)) vond plaats in de periode 1875-1885. Uitgangspunt hierbij waren vijf overgebleven dijkpeilstenen van de oorspronkelijke acht. Om de uitkomsten te onderscheiden van eerdere waterpassingen werd op 1 januari 1891 de naam Normaal Amsterdams Peil (NAP) ingevoerd.

In 1926 werd begonnen met de 2^e Nauwkeurigheidswaterpassing, omdat de resultaten van de 1^e NWP niet meer absoluut betrouwbaar waren door zakking van peilmerken als gevolg van klink en bodembeweging en omdat peilmerken verloren waren gegaan. Reconstructie is niet meer mogelijk omdat het grootste deel van de metingen verloren is gegaan. De 2^e NWP werd afgerond in 1940. In het begin van de 2^e NWP werd besloten tot de aanleg van ondergrondse merken, verspreid over het land, om het NAP zo stabiel mogelijk in heel Nederland vast te leggen. Dat gebeurde in eerste instantie vooral in het midden en oosten van het land vanwege de geologische stabiele oppervlakte in deze gebieden.

Bij de 3^e NKW (1950-1959) werd het aantal ondergrondse merken uitgebreid, vooral in het westen van Nederland, waarvoor funderingspalen tot op de daadkrachtige grond in de bodem moesten worden gedreven (soms tot 20 m diepte). Dit type werd ook bij een aantal belangrijke peilschalen langs de kust en grote rivieren geplaatst, de eerste in 1963. Het waterpasnet werd in 1955 aangesloten op de laatst overgebleven dijkpeilsteen in Amsterdam, die in de Nieuwe Brugsluis. Met het oog op het verdwijnen van deze laatste dijkpeilsteen werd de hoogte toen overgebracht naar een ondergronds merk van het type funderingspaal, aangebracht onder het plaveisel van de Dam te Amsterdam. De hoogte van de bout op deze paal gold dus vanaf 1955 als formeel referentiepunt van het NAP.

De 4^e NWP vond plaats in de periode 1965-1974. Vernieuwend element hierbij was de zogenaamde hydrostatische waterpassing, gebruik makend van een lange loden buis gevuld met water. Hiermee konden ook de eilanden qua referentievlek met elkaar worden verbonden en kon het NAP ook overgebracht worden naar meetopstellingen in open zee. Vanaf de 70-er jaren van de 20^e eeuw werd het aantal nulpalen bij peilmeetstations sterk uitgebreid.

Na de 3^e NWP werden de hoogten van ondergrondse merken niet aangepast, ze leken stabiel genoeg. De resultaten van de 4^e NWP bevestigden de stabiliteit van de ondergrondse merken, reden om de hoogten van de ondergrondse merken van het primaire net ook nu niet opnieuw te berekenen, al bestonden toen al aanwijzingen dat het westen van Nederland wat daalde als gevolg van de post glacial rebound (ca. 3 cm per eeuw). Dat kon echter door de beperkte meetnauwkeurigheid nog niet bevestigd worden.

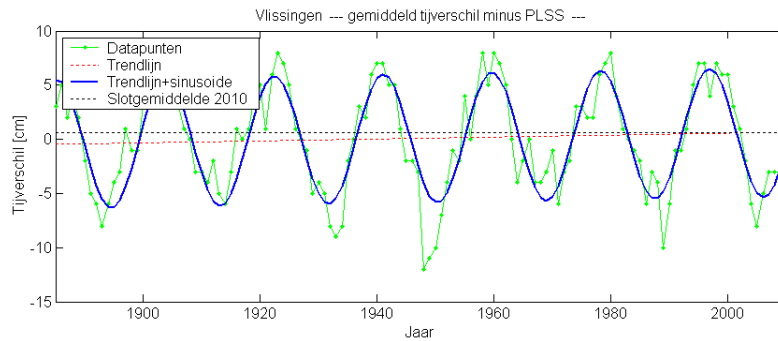
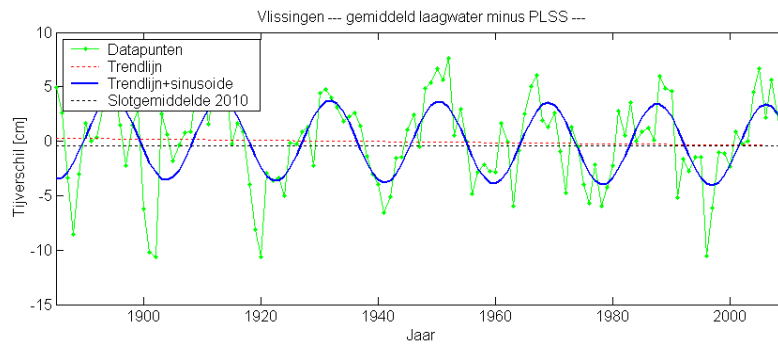
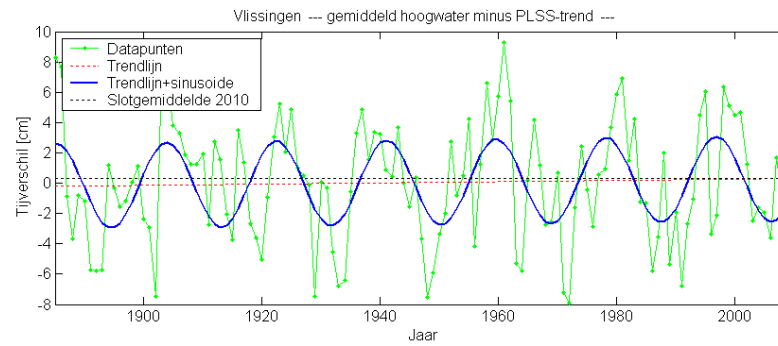
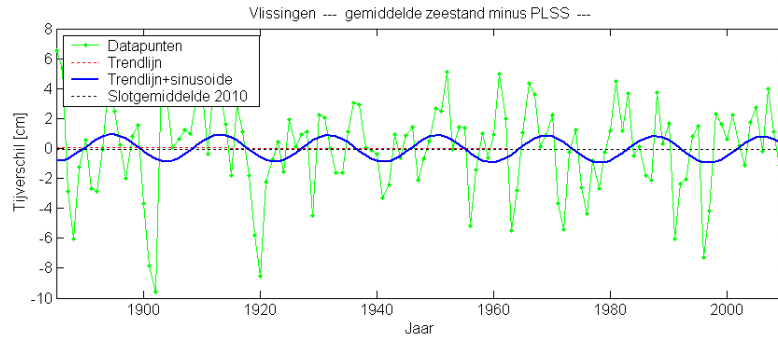
Bij de 5^e NWP (1996-1999) werden voor het eerst in Nederland optische en hydrostatische waterpassing, satellietplaatsbepaling en zwaartekrachtmeting gecombineerd. De water-

passingen vormen de basis van het primaire net van het NAP. De zwaartekrachtmetingen vormen een onafhankelijke meting voor het vaststellen van bodembeweging. De GPS-metingen dienden als extra ondersteuning voor het waterpasnet over grote afstanden. Er werden zoveel mogelijk punten en trajecten uit eerdere NWP's meegenomen. Een aantal nieuwe ondergrondse merken werd geplaatst. Een doorgaande waterpasroute langs de kust werd gemeten. Voor meer informatie wordt verwezen naar De Bruijne et al., (2005).

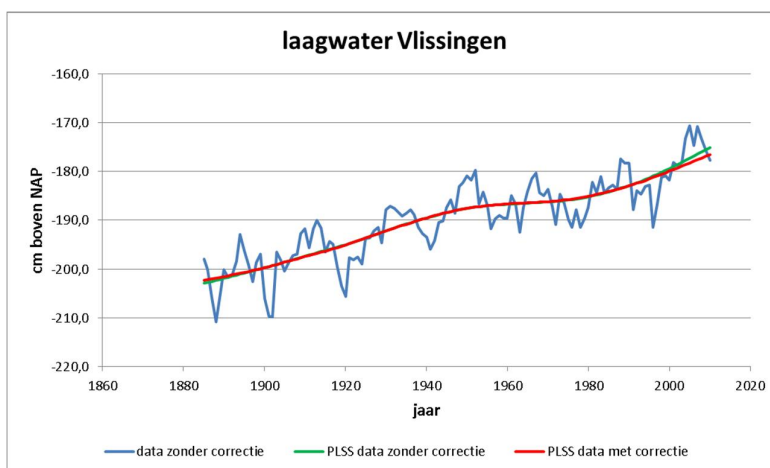
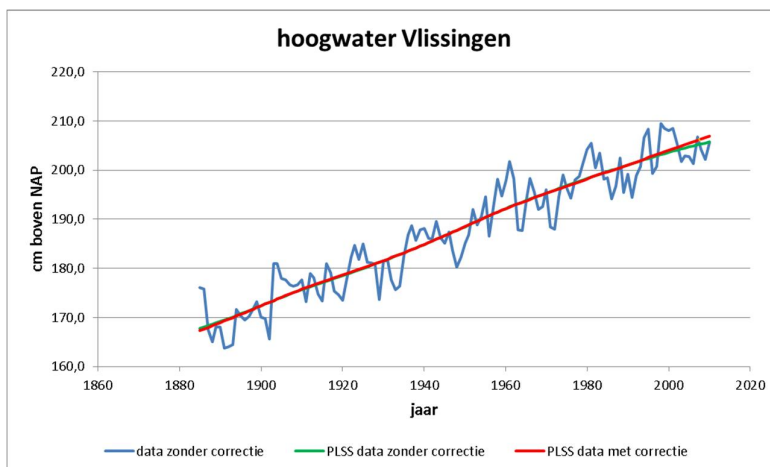
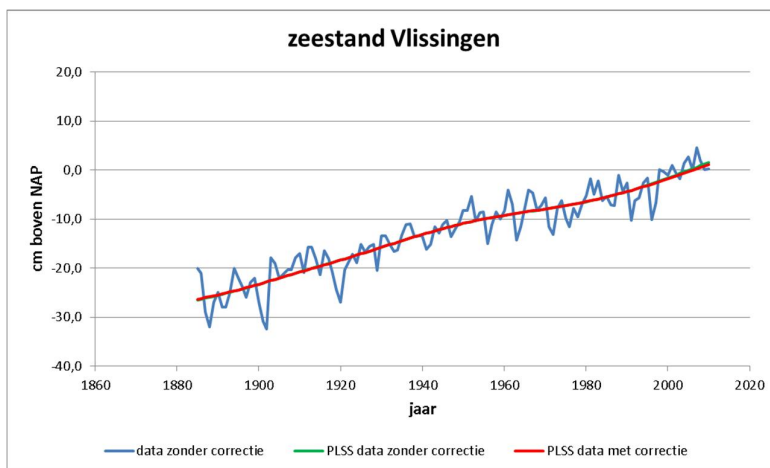
Het ondergrondse merk op de Dam in Amsterdam is toch onvoldoende stabiel gebleken om zondermeer als basis te dienen voor het primaire net van het NAP. De ondergrondse merken in het oosten van Nederland, en in het bijzonder op de Veluwe, zijn wel stabiel (Brand, 2002) en kunnen worden benut voor de controle van het ondergrondse merk in Amsterdam. De hoogte van het ondergrondse merk op de Dam te Amsterdam is na de 5^e NWP 2 cm lager vastgesteld dan de oude gepubliceerde hoogte.

De resultaten van de 5e NWP plus aanvullende analyses hebben uiteindelijk geleid tot de NAP-publicatie van 2005.

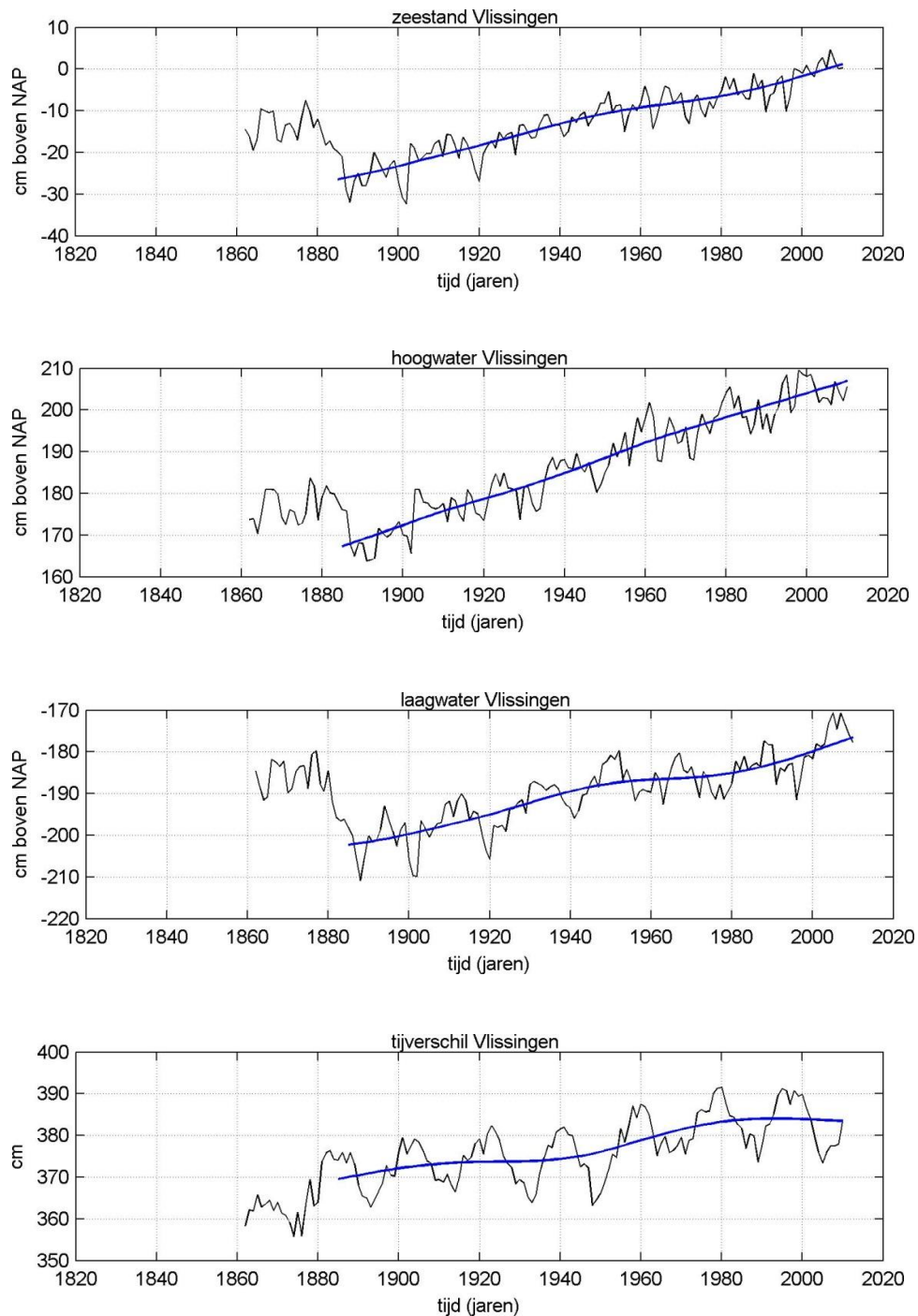
C Berekende 18,6-jarige cycli voor Vlissingen (voorbeeld)



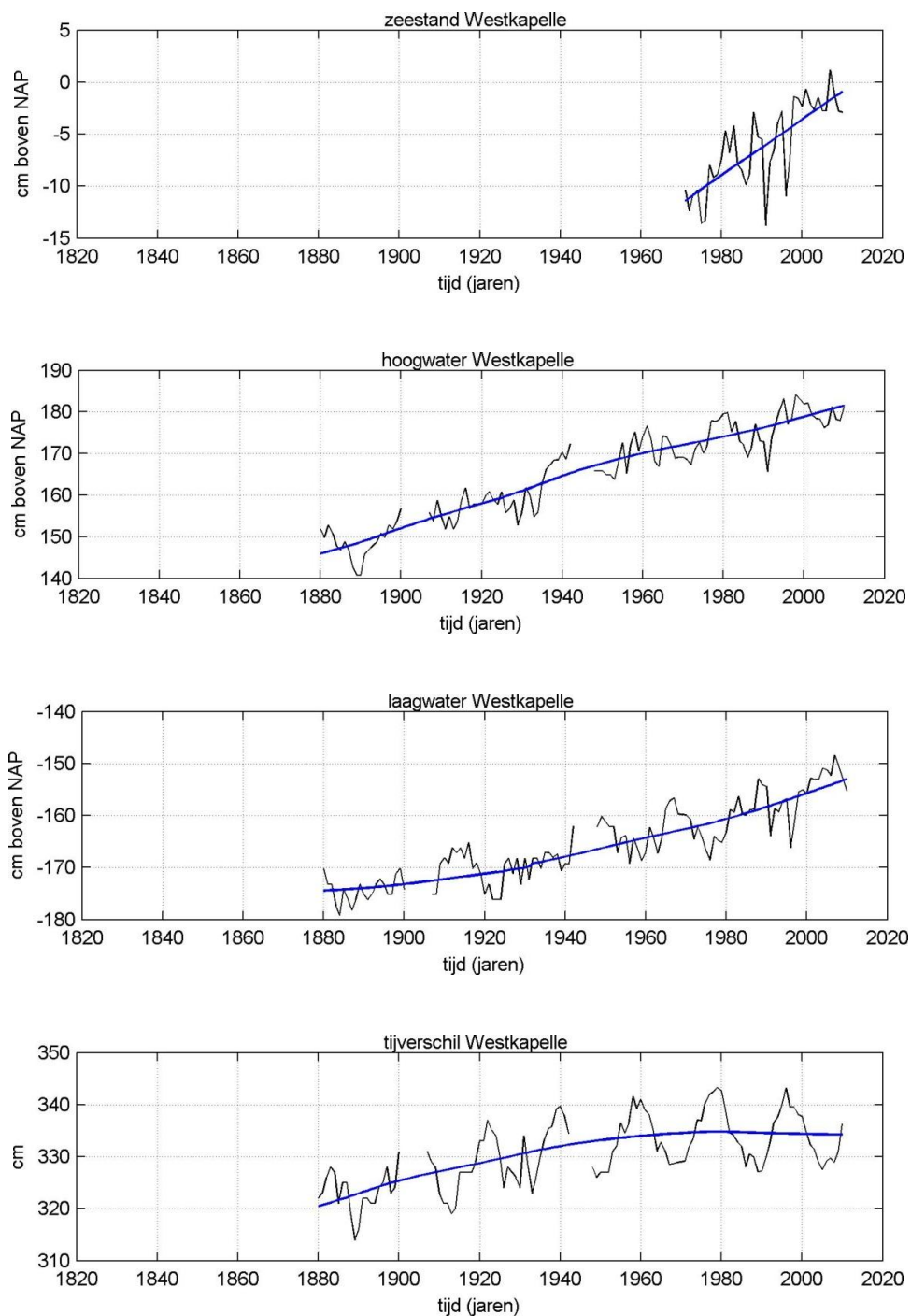
D Correctie knopencyclus voor de zeeniveaus van Vlissingen



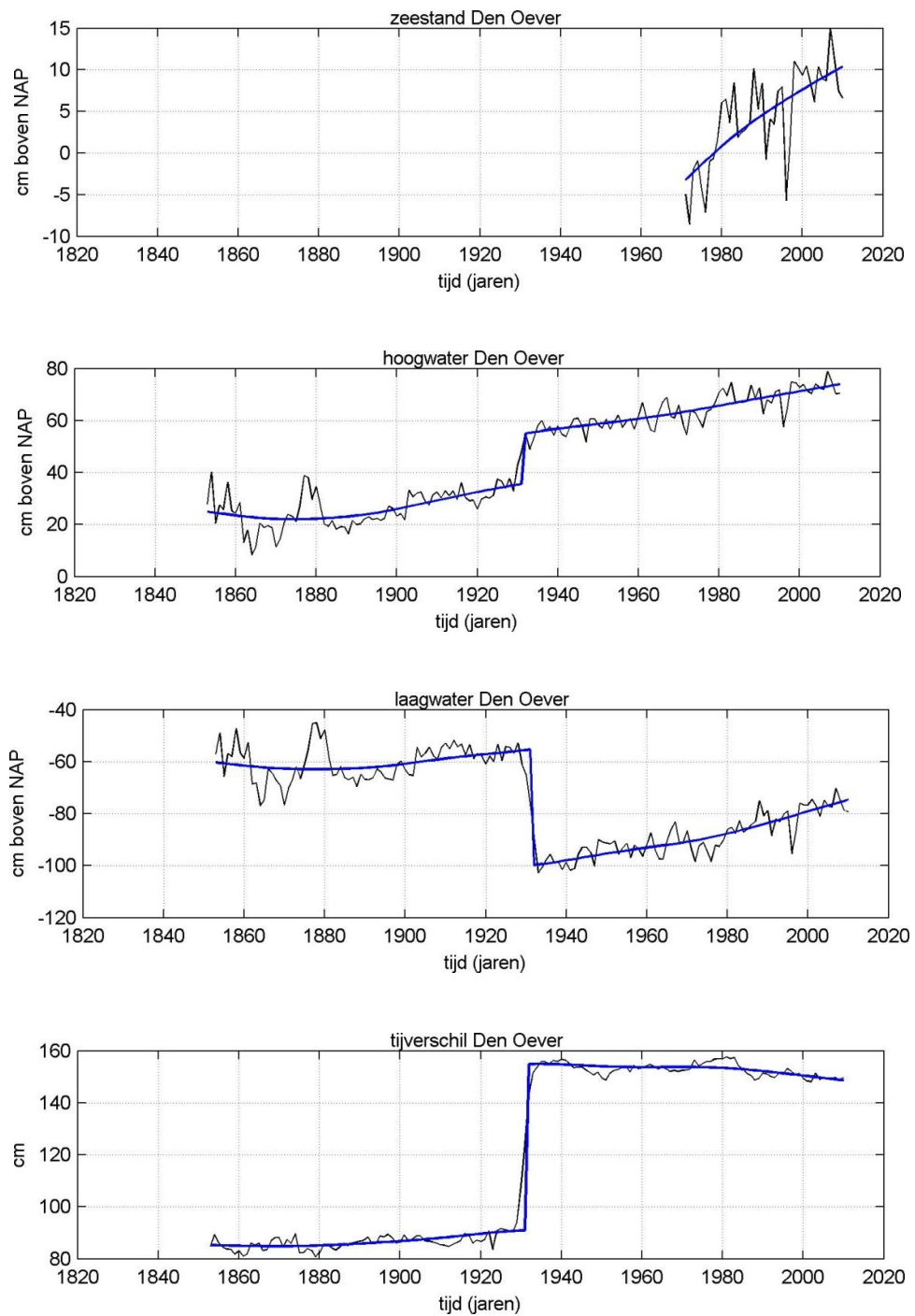
E Voorbeelden van PLSS-trendlijnen



Figuur E.1 Verloop jaargemiddelde zeeniveaus Vlissingen; analyseperiode vanaf 1885.



Figuur E.2 Verloop jaargemiddelde zeeniveaus Westkapelle



Figuur E.3 Verloop jaargemiddelde zeeniveaus Den Oever

F Amplitudes knopencyclus en correcties PLSS-waarden 2010

Station	Zeestand		Hoogwater		Laagwater		Tijverschil
	Amplitude	Correctie 2010	Amplitude	Correctie 2010	Amplitude	Correctie 2010	Correctie 2010
	knopencyclus	PLSS-waarde	knopencyclus	PLSS-waarde	knopencyclus	PLSS-waarde	PLSS-waarde
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm NAP]	[cm NAP]
Bath	-0,51	-0,2	0,2	0,1	-4,3	-1,8	1,8
Bergse Diepsluis west	-0,38	-0,2	2,1	1,3	-2,4	-1,5	2,9
Brouwershavense Gat 08	-1,39	-0,6	1,0	0,4	-2,7	-1,1	1,6
Cadzand vanaf 1967	0,01	0,0	3,8	1,6	-3,5	-1,3	2,9
Delfzijl	-1,3	-0,5	0,8	-0,1	-3,0	0,3	-0,3
Den Helder	-1,16	-0,5	-0,4	0,0	-1,7	0,2	-0,1
Den Oever	-0,5	-0,2	-0,3	0,0	-2,4	0,2	-0,2
Eemshaven	-0,51	-0,2	1,1	0,5	-2,7	-1,2	1,7
Euro platform	-0,49	-0,2	1,0	0,4	-1,2	-0,4	0,7
Hansweert	-0,65	-0,3	2,4	1,0	-3,4	-1,4	2,4
Haringvliet10	-1,23	-0,4	2,0	0,8	-1,9	-0,8	1,6
Harlingen	-1,02	-0,4	-0,2	0,0	-1,7	0,2	-0,2
Hoek van Holland	-0,72	-0,3	0,8	-0,1	-0,9	-0,2	0,1
Huibertgat	-0,91	-0,5	0,6	0,3	-2,5	-1,3	1,5
Ijmuiden	-1,45	-0,6	0,0	0,0	-1,8	0,2	-0,2
K13a platform	-2,02	-0,9	-0,6	-0,3	-3,2	-1,4	1,2
Kornwerderzand	-1,23	-0,5	-0,6	-0,2	-2,3	-0,9	0,7
Krammersluizen west	-0,9	-0,5	1,4	0,8	-2,6	-1,4	2,1
Lauwersoog	-1,41	-0,6	0,1	0,0	-4,1	-1,7	1,8
Lichteiland Goeree	-1,3	-0,5	0,4	0,1	-2,3	-0,9	1,0
Nes	-1,96	-0,9	-0,9	-0,3	-5,0	-1,9	1,6
Nieuwe Statenzijl	NaN	NaN	1,1	0,4	NaN	NaN	NaN
Oudeschild	-0,36	-0,2	-0,4	0,0	-1,9	0,2	-0,1
Petten zuid vanaf 1978	-1,4	-0,7	-1,0	-0,5	-2,2	-1,1	0,6
Roompot binnen	-1,78	-0,8	0,1	0,1	-3,2	-1,4	1,5
Roompot buiten	-1,28	-0,5	1,2	0,5	-3,2	-1,2	1,7
Scheveningen vanaf 1962	-0,33	-0,1	0,2	0,1	-1,9	-0,8	0,8
Schiermonnikoog	-1,86	-0,8	-0,6	-0,2	-4,1	-1,6	1,3
Stavenisse vanaf 1988	-1,33	-0,6	0,5	0,2	-2,8	-1,3	1,5
Terneuzen	-0,31	-0,1	2,7	1,1	-3,9	-1,6	2,7
Terschelling Noordzee	-1,76	-1,1	-0,5	-0,3	-3,8	-2,5	2,2
Texel Noordzee	-1,12	-0,7	-0,2	-0,1	-2,8	-1,8	1,6
Vlieland haven vanaf 1941	-0,72	-0,3	0,1	-0,1	-2,4	-1,0	0,9
Vlissingen	-0,89	-0,4	2,8	1,2	-3,8	-1,5	2,7
Westkapelle	0,09	0,0	2,7	1,1	-2,6	-1,1	2,1
West-Terschelling	-0,92	-0,4	0,1	0,0	-2,5	-1,0	1,0
Wierumergronden	-0,13	0,0	1,0	0,4	-1,9	-0,7	1,1

G Kenmerkende waarden kustwateren (1): slotgemiddelden 2011.0, havengetallen, duur daling, duur rijzing en LAT

Station	referentievlak	Gemiddelde zeestand [cm]	Duur daling [uur:mm]	Duur rijzing [uur:mm]	LAT [cm]	gemiddeld tij					springtij					doodtij				
						Hoogwater [cm]	Laagwater [cm]	Tijvers chil [cm]	Havengetal hoogwater [uur:mm]	Havengetal laagwater [uur:mm]	Hoogwater [cm]	Laagwater [cm]	Tijvers chil [cm]	Havengetal hoogwater [uur:mm]	Havengetal laagwater [uur:mm]	Hoogwater [cm]	Laagwater [cm]	Tijvers chil [cm]	Havengetal hoogwater [uur:mm]	Havengetal laagwater [uur:mm]
Bath	NAP	16	06:33	05:52	-295,00	275	-219	494	02:14	08:47	315	-242	557	02:17	08:56	218	-184	402	02:06	08:33
Hansweert	NAP	13	06:23	06:02	-283,00	243	-201	444	01:51	08:14	277	-226	503	01:55	08:20	194	-168	362	01:43	08:08
Terneuzen	NAP	9	06:35	05:50	-269,00	229	-189	418	01:13	07:48	267	-213	480	01:10	07:51	176	-156	332	01:14	07:48
Vlissingen	NAP	1	06:28	05:57	-256,00	207	-176	383	00:54	07:22	244	-201	445	00:52	07:20	155	-144	299	00:55	07:29
Berge Diepsluis west	NAP	3	06:02	06:23	-208,00	181	-156	337	02:36	08:38	204	-167	371	02:41	08:38	147	-138	285	02:25	08:36
Stavenisse	NAP	3	05:56	06:29	-181,00	157	-136	293	02:36	08:32	176	-143	319	02:46	08:34	129	-123	252	02:19	08:29
Krammersluisen west	NAP	5	05:43	06:42	-186,00	163	-139	302	02:50	08:33	183	-147	330	03:11	08:30	135	-127	262	02:23	08:33
Roompot binnen	NAP	0	06:04	06:21	-158,00	131	-120	251	02:17	08:21	147	-126	273	02:28	08:28	106	-110	216	01:59	08:11
Cadzand	NAP	-3	06:34	05:51	-252,00	193	-174	367	00:25	06:59	232	-201	433	00:20	06:56	141	-140	281	00:31	07:08
Westkapelle	NAP	-1	06:31	05:54	-220,00	182	-153	335	00:34	07:05	218	-174	392	00:28	06:57	134	-127	261	00:40	07:19
Roompot buiten	NAP	-2	06:25	06:00	-181,00	154	-131	285	00:49	07:14	183	-144	327	00:39	07:01	115	-113	228	01:03	07:34
Brouwershavense Gat 08	NAP	0	06:11	06:14	-155,00	144	-106	250	00:55	07:06	172	-118	290	00:51	06:52	106	-93	199	01:01	07:28
Haringvliet10	NAP	0	05:51	06:34	-127,00	124	-86	210	01:14	07:05	145	-92	237	01:14	06:44	93	-77	170	01:13	07:32
Hoek van Holland	NAP	9	05:43	06:42	-92,00	115	-60	175	01:34	07:17	132	-63	195	01:32	06:51	90	-55	145	01:36	07:39
Scheveningen	NAP	2	08:04	04:21	-103,00	107	-69	176	01:56	10:00	124	-72	196	01:58	10:05	82	-63	145	01:55	09:52
IJmuiden	NAP	4	08:00	04:25	-103,00	101	-68	169	02:35	10:35	116	-72	188	02:36	10:40	76	-61	137	02:36	10:30
Petten zuid	NAP	2	08:39	03:46	-119,00	84	-76	160	03:06	11:45	97	-83	180	03:02	12:23	64	-66	130	03:14	11:17
Den Helder	NAP	0	06:41	05:44	-125,00	61	-80	141	06:13	12:54	66	-89	155	06:39	13:12	47	-67	114	05:34	12:26
Texel Noordzee	NAP	0	06:41	05:44	-143,00	74	-93	167	06:19	13:00	82	-108	190	06:36	13:13	57	-74	131	05:51	12:40
Terschelling Noordzee	NAP	-1	06:35	05:50	-160,00	88	-108	196	07:31	14:06	102	-124	226	07:37	14:11	68	-87	155	07:22	14:01
Wierumergronden	NAP	1	06:26	05:59	-153,00	93	-108	201	08:33	14:59	105	-123	228	08:37	15:07	73	-88	161	08:26	14:54
Huibertgat	NAP	4	06:25	06:00	-167,00	104	-114	218	09:11	15:36	116	-129	245	09:15	15:48	85	-93	178	09:04	15:24
Oudeschild	NAP	4	06:11	06:14	-117,00	64	-79	143	07:17	13:28	69	-87	156	07:41	13:44	51	-68	119	06:37	13:06
Vlieland haven	NAP	-2	06:22	06:03	-148,00	83	-100	183	07:47	14:09	93	-114	207	07:57	14:19	66	-82	148	07:31	13:57
West-Terschelling	NAP	0	06:17	06:08	-148,00	85	-101	186	08:19	14:36	94	-114	208	08:27	14:47	69	-84	153	08:04	14:23
Nes	NAP	8	06:10	06:15	-172,00	106	-116	222	09:14	15:24	119	-133	252	09:21	15:31	88	-94	182	09:04	15:16
Schiermonnikoog	NAP	5	05:59	06:26	-168,00	105	-122	227	09:35	15:34	118	-138	256	09:40	15:42	86	-100	186	09:28	15:25
Den Oever	NAP	11	06:43	05:42	-115,00	74	-74	148	07:35	14:18	80	-80	160	08:03	14:36	61	-66	127	06:50	13:52
Kornwerderzand	NAP	7	06:57	05:28	-127,00	88	-90	178	08:14	15:11	97	-96	193	08:39	15:26	72	-82	154	07:36	14:48
Harlingen	NAP	7	07:27	04:58	-134,00	95	-99	194	08:34	16:01	105	-104	209	08:54	16:13	78	-92	170	08:02	15:42
Lauwersoog	NAP	4	06:10	06:15	-175,00	106	-126	232	09:29	15:39	119	-142	261	09:33	15:47	87	-102	189	09:22	15:28
Eemshaven	NAP	3	06:28	05:57	-192,00	122	-140	262	10:18	16:46	134	-157	291	10:25	16:58	102	-119	221	10:06	16:32
Delfzijl	NAP	11	06:20	06:05	-223,00	140	-166	306	11:06	17:26	153	-186	339	11:16	17:40	119	-140	259	10:51	17:06
Nieuwe Statenzijl	NAP				-260,00	147			11:46		161			11:56		124			11:31	
Lichteiland Goeree	MSL	5	05:45	06:40	-121,00	116	-75	191	01:09	06:54	135	-82	217	01:09	06:36	89	-68	157	01:09	07:18
Euro platform	MSL	3	05:43	06:42	-114,00	96	-69	165	00:57	06:40	111	-75	186	01:01	06:23	73	-63	136	00:52	06:58
K13a platform	MSL	7	06:02	06:23	-106,00	66	-57	123	06:31	12:33	82	-74	156	06:32	12:36	43	-36	79	06:31	12:35

H Kenmerkende waarden kustwateren (2): over- en onderschrijdingsfrequenties hoog- respectievelijk laagwaterstanden (afgeronde waarden)

Station	parameters GJV		hoogwaterstanden voor een aantal overschrijdingsfrequenties														laagwaterstanden voor een aantal onderschrijdingsfrequenties											
	u [cm boven NADP]	du [cm]	1 x per jaar	2 x per jaar	1 x per jaar	1 x per 2 jaar	1 x per 5 jaar	1 x per 10 jaar	1 x per 20 jaar	1 x per 50 jaar	1 x per 100 jaar	1 x per 200 jaar	1 x per 500 jaar	1 x per 1000 jaar	1 x per 2000 jaar	1 x per 4000 jaar	1 x per 5000 jaar	1 x per 10000 jaar	1 x per jaar	2 x per jaar	1 x per jaar	1 x per 2 jaar	1 x per 5 jaar	1 x per 10 jaar	1 x per 20 jaar	1 x per 50 jaar	1 x per 100 jaar	
Cadzand	330	25,28	-0,0212	285	305	320	335	355	370	385	410	425	440	460	480	490	510	510	530	-255	-265	-275	-280	-290	-300	-310		
Terneuzen	375	25,92	0,0086	330	350	365	380	400	415	435	460	480	500	520	540	560	580	600	600	-270	-285	-295	-305	-315	-325	-335		
Bath	435	31,61	-0,0215	385	405	425	445	470	485	505	535	555	570	600	620	640	660	680	680	-295	-305	-315	-325	-335	-345	-350		
Hansw eert	392	27,17	0,0075	345	360	380	395	415	435	455	480	500	520	550	560	580	610	610	630	-280	-290	-295	-305	-315	-325	-330	-340	
Vlissingen	345	24,27	-0,002	305	320	335	350	365	385	400	425	440	460	480	490	510	530	550	550	-255	-265	-275	-280	-290	-300	-310	-320	-325
Westkapelle	312	23,67	-0,003	275	290	305	320	340	350	365	390	405	420	440	460	470	490	500	510	-230	-240	-250	-255	-265	-270	-280		
Roopot buiten	315	24,46	0,0199	245	270	290	315	340	355	375	395	415	430	460	480	500	520	540	540	-200	-210	-220	-230	-240	-250			
Brouwershavense Gat O8	294	27,36	0,0011	240	265	280	295	320	340	355	380	400	420	440	460	480	500	510	530	-230	-240	-240	-245	-245	-245	-245		
Haringvliet 10	255	28,8	0,0014	210	230	245	260	280	300	320	350	370	390	410	430	450	480	480	500	-150	-165	-170	-185	-200	-205			
Hoek van Holland	258	24,74	0,0364	210	230	245	260	285	300	315	340	360	380	410	430	450	470	480	510	-125	-135	-145	-155	-170	-180	-190		
Scheveningen	265	25,41	0,0331	205	225	240	260	285	305	325	350	370	390	420	440	460	480	490	520	-135	-150	-160	-165	-185	-205	-210		
Urnuiden	248	27,22	0,0333	195	220	235	255	275	295	315	340	360	380	410	440	460	480	490	520	-140	-155	-165	-175	-195	-210	-215	-230	
Petten zuid	233	30,29	-0,0192	175	200	215	235	260	280	300	330	345	370	390	410	430	450	450	470	-145	-165	-170	-180	-200	-210			
Den Helder	225	32,45	-0,0547	165	190	210	230	255	275	295	320	340	360	380	400	410	430	430	450	-150	-165	-175	-185	-200	-215	-225	-240	
Texel Noordzee	225	30,02	-0,0616	170	190	205	225	250	270	290	315	330	350	370	380	390	410	410	420	-160	-175	-185	-195	-210	-215			
Terschelling Noordzee	230	30,78	-0,0931	180	205	220	235	255	275	295	315	330	350	360	380	390	400	400	410	-175	-190	-200	-210	-220	-225			
Wierumergronden	252	27,59	-0,0402	195	215	230	250	275	295	315	335	350	370	390	400	420	430	440	450	-180	-195	-205	-215	-225	-235			
Huibertgat	257	27,83	-0,0222	205	230	245	265	285	300	320	345	360	380	400	420	440	450	460	470	-190	-200	-215	-225	-235	-245	-255		
Oudeschild	240	36,5	-0,0829	175	205	225	240	270	295	315	345	360	380	400	420	430	450	450	460	-150	-165	-175	-185	-205	-220	-230		
Vlieland haven	249	31,68	-0,1024	185	215	235	250	275	295	315	335	350	370	380	390	410	420	420	430	-175	-190	-200	-215	-230	-240	-250		
West-Terschelling	254	32,44	-0,106	195	220	240	260	285	300	320	340	360	370	390	400	410	420	430	440	-180	-200	-210	-220	-235	-245	-250		
Nes	289	29,2	-0,0545	225	255	275	295	315	335	350	375	390	410	430	440	460	470	470	490	-200	-215	-220	-230	-245	-255	-265		
Schiemonnikoog	289	32,96	-0,0743	225	250	275	295	320	340	360	385	400	420	440	450	470	480	480	500	-200	-215	-225	-235	-245	-250	-260		
Den Oever	266	37,71	-0,0787	200	230	250	275	305	325	345	375	395	410	430	450	470	480	490	500	-150	-165	-180	-190	-205	-225	-240		
Kornwilderzand	297	38,33	-0,0987	220	250	280	300	330	355	375	405	420	440	460	470	490	500	510	520	-170	-185	-200	-210	-220	-240	-255		
Haringen	302	34,77	-0,0824	225	255	280	305	330	355	375	400	415	430	450	470	480	490	500	510	-165	-175	-185	-195	-210	-220	-230		
Lauwersoog	303	33,39	-0,0654	230	255	280	315	340	355	375	400	420	440	460	470	490	500	510	520	-200	-215	-225	-235	-250	-260	-270		
Emshaven	312	36,36	-0,0427	240	270	295	320	350	370	390	420	445	460	490	510	530	550	570	570	-225	-240	-255	-265	-280	-295			
Delfzijl	351	45,69	-0,0747	265	300	325	355	390	420	450	480	505	530	560	580	600	620	620	640	-250	-270	-285	-295	-315	-325	-340	-355	-370
Nieuwe Statenzijl	391	51,78	-0,0646	290	330	360	390	435	470	500	540	570	600	630	660	680	700	710	730									
Roopot binnen				215	230	245	260	270	270											-185	-195	-205	-215	-230	-240			
Berge Diepsluis west				270	290	305	310	320	325											-225	-235	-240	-250	-270	-275			
Stavenisse				250	265	280	290	300	305											-205	-215	-225	-235	-255	-265			
Krammersluisen west				260	280	290	300	315	320											-205	-220	-230	-240	-260	-270			
Lichtland Goeree				200	220	235	250	265	280											-140	-150	-155	-165	-175	-180			
Euro platform				175	200	205	220	235	250											-135	-140	-150	-155	-170	-180			
K13a platform				155	170	185	200	220	240											-120	-130	-135	-145	-160	-170			