

Kenmerkende Waarden Rijn- Maasmonding



Kenmerkende Waarden Rijn-Maasmonding

Auteur(s)

Jelmer Veenstra

Boyan Domhof

Stendert Laan

Ton Visser

Remi van der Wijk

Kenmerkende Waarden Rijn-Maasmonding

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Verkeer- en Watermanagement, locatie Westraven
Contactpersoon	Peter Heinen
Referenties	
Trefwoorden	Rijn-Maasmonding, Kenmerkende Waarden, gemiddelde getijkrommen, slotgemiddelden, havengetallen, SOBEK3

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	04-01-2021
Projectnummer	11205232-007
Document ID	11205232-007-ZKS-0003
Pagina's	36
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Jelmer Veenstra	
	Boyan Domhof	
	Stendert Laan	
	Ton Visser	
	Remi van der Wijk	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	Jelmer Veenstra 	David Kerkhoven 	Toon Segeren 	

Samenvatting

Voor het beleid en beheer van de Rijkswateren is het belangrijk om met kenmerkende waarden te werken om verschillende condities in de watersystemen samen te vatten in eenvoudig te gebruiken getallen. Om ervoor te zorgen dat beheerders en gebruikers recente informatie tot hun beschikking hebben, is er bij RWS behoefte aan de actualisatie van de kenmerkende waarden voor de Rijn-Maasmonding.

Het begrip “Kenmerkende waarden” is feitelijk een containerbegrip, welke tot verwarring kan leiden omtrent de definities en het soort parameters dat onder dit begrip kan worden geschaard. Op basis van de vorige afleiding van de kenmerkende waarden (RIKZ, 1994) en het rapport “Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren” (Dillingh, 2013) is daarom, in het kader van dit project en in overleg met RWS-WVL en RWS-CIV vooraf bepaald wat er exact onder de “kenmerkende waarden” voor de Rijn-Maasmonding wordt verstaan en welke methodiek er gevolgd dient te worden.

De gebruikte versimpelde methodiek voor het afleiden van de havengetallen slaagt erin om de havengetallen voor hoog- en laagwater relatief goed te reproduceren. Na correctie met de slotgemiddelden worden deze havengetallen gebruikt voor het schalen van gemiddelde getijkrommen voor de kuststations Hoek van Holland en Haringvliet 10.

Deze gemiddelde getijkrommen voor spring, gemiddeld en doottij zijn gebruikt als randvoorwaarden voor dertig modelberekeningen (drie getijkrommen, tien afvoerniveaus) om in het binnengebied van de Rijn-Maasmonding de kenmerkende waarden af te leiden. Een eerste analyse laat zien dat de gemiddelde getijkrommen vergelijkbaar zijn met de krommen uit 1991. De verschillen tussen 1991 en 2011 zijn te verklaren met het hogere gemiddelde zeeniveau en de nieuwe slotgemiddelden bij Hoek van Holland en aanpassingen in het gebied.

Tijdens het in kaart brengen van de methodiek en het afleiden van de kenmerkende waarden voor 2011.0 worden afhankelijkheden en aanbevelingen vastgelegd. Rijkswaterstaat bepaalt op basis van dit rapport en in overleg met Deltares of en hoe de voor 2011.0 gehanteerde methodiek aangevuld of aangepast wordt voor de afleiding van toekomstige kenmerkende waarden (2021.0 en verder).

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	6
2	Achtergrond kenmerkende waarden	7
2.1	Definities	7
2.2	Begrippen	7
2.3	Overzicht locaties	9
3	Methodiek	11
3.1	Havengetallen	11
3.2	Slotgemiddelden met PLSS	13
3.3	Gemiddelde getijkrommen	14
3.3.1	Kromme voor gemiddeld getij	14
3.3.2	Kromme voor spring- en doodtij	15
3.4	Modelberekening	16
4	Resultaten	19
4.1	Havengetallen	19
4.1.1	Validatie 1991.0 voor Vlissingen en Hoek van Holland	19
4.1.2	Validatie 2011.0 voor Vlissingen, Hoek van Holland en Haringvliet 10	21
4.2	PLSS	23
4.3	Getijkrommen	24
4.3.1	Resulterende getijkrommen	24
4.3.2	Validatie Hoek van Holland	25
4.4	Verschilanalyse modelberekening	26
4.5	Visualisatie kenmerkende waarden	31
5	Conclusies en aanbevelingen	33
5.1	Conclusies	33
5.2	Aanbevelingen	33
6	Referenties	35

1 Introductie

Rijkswateren kennen een groot bereik aan waterstanden en afvoeren. Voor het beleid en beheer van de Rijkswateren is het belangrijk om met kenmerkende waarden te werken om verschillende condities in de watersystemen samen te vatten in eenvoudig te gebruiken getallen. Rijkswaterstaat heeft tot midden jaren '90 de kenmerkende waarden in reeksen van tienjarige overzichten samengesteld voor de Rijkswateren (RIKZ, 1994). Sinds die tijd is dit voor de Bovenrivieren en Kustgebieden nog opnieuw gedaan (CIV, 2013; D. Dillingh, 2013), echter voor het gebied van de Rijn-Maasmonding (voormalig Benedenrivierengebied) is dit uitgebleven.

Om ervoor te zorgen dat beheerders en gebruikers recentere informatie tot hun beschikking hebben, is er bij RWS behoefte aan de actualisatie van de kenmerkende waarden voor dit gebied. In het kader van het project KPP2019 – Efficiënte Monitoring, projectnummer 11203677 en project KPP2020 – Efficiënte Monitoring, projectnummer 11205232, is Deltares daarom gevraagd om een actualisatie van de kenmerkende waarden voor de Rijn-Maasmonding uit te voeren. Naast deze actualisatie is aan Deltares gevraagd om de methodiek op een rij te zetten zodat toekomstige actualisaties uniform en reproduceerbaar kunnen worden uitgevoerd. Er is niet een uitvoerige gevoeligheidsanalyse gedaan om keuzes in de methodiek te kwantificeren.

In deze rapportage worden de methodiek en resultaten beschreven die toegepast kunnen worden bij de actualisatie van de Kenmerkende Waarden van de Rijn-Maasmonding. Het eerste deel (Hoofdstuk 2) van de rapportage bevat een overzicht van de definities en achtergrond van deze waarden. Daarna wordt in Hoofdstuk 3 de methodiek beschreven voor de verschillende stappen die nodig zijn om te komen tot de resultaten. Dit omvat het afleiden van de havengetallen, harmonische analyse en numerieke modellering. De resultaten zelf worden in Hoofdstuk 4 gepresenteerd en ter validatie visueel en kwantitatief vergeleken met de kenmerkende waarden van 1991.0 en/of 2011.0. Dit hoofdstuk duidt dus de plausibiliteit en verschillen. Als laatste volgen de conclusies en aanbevelingen waarbij ook mogelijke knelpunten bij toekomstig gebruik van de gebruikte methodiek worden toegelicht.

In deze definitieve rapportage zijn de over- en onderschrijdingsfrequenties niet opgenomen. Deze zijn in een memo nog in conceptvorm voorgelegd aan Rijkswaterstaat om enkele openstaande punten te bediscussiëren. Voor de volledigheid zijn enkele definities met betrekking tot de over- en onderschrijdingsfrequenties nog wel in de rapportage opgenomen.

2 Achtergrond kenmerkende waarden

2.1 Definities

Het begrip “Kenmerkende waarden” is feitelijk een containerbegrip, welke tot verwarring kan leiden omtrent de definities en het soort parameters dat onder dit begrip kan worden geschaard. Op basis van de vorige afleiding van de kenmerkende waarden (RIKZ, 1994) en het rapport “Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren” (Dillingh, 2013) is daarom in overleg met RWS-WVL en RWS-CIV vooraf bepaald wat er exact onder de “kenmerkende waarden” voor de Rijn-Maasmonding wordt verstaan.

Onder de kenmerkende waarden voor de Rijn-Maasmonding worden de volgende parameters verstaan:

1. De volgende parameters voor doortij, springtij en gemiddeld getij;
 - 1.1. Slotgemiddelde hoogwater
 - 1.2. Slotgemiddelde laagwater
 - 1.3. Tijverschil Hoogwater en Laagwater
 - 1.4. Havengetallen voor hoogwater- en laagwater
 - 1.5. Duur daling & rijzing
2. Gemiddelde getijkrommen voor doortij, springtij en gemiddeld getij en 10 afvoerniveaus.
3. Over- en onderschrijdingsfrequenties:
 - 3.1. Hoogwaterstanden voor de herhalingstijden van 10.000, 5000, 4000, 2000, 1000, 500, 200, 100, 50, 20, 10, 5, 2, 1, 0.5 en 0.2 jaar
 - 3.2. Laagwaterstanden voor de herhalingstijden van 100 (alleen voor tijdreeksen langer dan 50 jaar), 50 (alleen voor tijdreeksen langer dan 100 jaar), 20 en 10, 5, 2, 0.5, 0.2 jaar

2.2 Begrippen

Bestudering van de tienjarige overzichten, de “Gemiddelde Getijkromme 1991.0” (RIKZ, 1994) en het rapport “Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren” (Dillingh, 2013) levert een veelheid aan begrippen. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van deze begrippen. Een deel van deze begrippen worden gebruikt in deze rapportage.

- **Aardappelgrafiek** - Na het berekenen van de maansculminaties, wordt voor het beschouwde decennium ieder hoogwater en het erop volgende laagwater gerelateerd aan de relevante maansculminatie. Dit is de boven/onder maansculminatie die ongeveer twee dagen eerder plaats vindt en op dat moment een getijgolf in de Noordelijke IJszee opwekt, welke ongeveer twee dagen later aan de Nederlandse kust wordt waargenomen. Deze hoog- en laagwaters worden opgedeeld in klassen van uren, corresponderend met het uur van de dag waarin ze optreden. Uiteindelijk zijn er twaalf klassen voor hoogwater en twaalf klassen voor laagwater. Binnen alle klassen wordt de mediaan van de waterstanden en de mediaan van het aantal uur na de maansculminatie als representatief beschouwd voor de betreffende klassen. Deze worden uitgezet in de aardappelgrafiek.
- **Gebiedsomschrijving** – Binnen het afleiden van de kenmerkende waarden worden drie gebieden gedefinieerd. Het onbeïnvloede gebied (soms ook wel het kustgebied genoemd) is het getijgedomineerde gebied waar geen invloed van rivierafvoer is waar te nemen. De grote rivieren (Maas en Rijn) staan alleen onder invloed van de rivierafvoer en het getij speelt hier geen rol. Als laatste is er het beïnvloede gebied, (voorheen bekend als het Benedenrivierengebied) de Rijn-Maasmonding, waar de waterstanden onder invloed van zowel rivierafvoer als getij staan.

- **Peiljaar** – de kenmerkende waarden werden in het verleden om de 10 jaar afgeleid, dat jaar wordt het peiljaar genoemd. Het laatste peiljaar voor de Rijn-Maasmonding was 1991, dit zou betekenen dat een update van de kenmerkende waarden voor de peiljaren 2001 en 2011 alsnog zou moeten worden uitgevoerd. In dit project is alleen uitgegaan van peiljaar 2011, waarbij overwogen kan worden om de gehanteerde methodiek later eventueel te gebruiken voor 2021.
- **Doodtij** – getijfase waarbij de invloed van de zon die van de maan verzwakt.
- **Gemiddeld tij** – de getijden ongeveer halverwege de tijdstippen van springtij en doottij.
- **Springtij** – getijfase waarbij de invloed van de zon die van de maan versterkt
- **Daling/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 verhouding tussen beide getallen is een goede maat voor de asymmetrie van de getijkromme.
- **Slotgemiddelde** – de gemiddelde waterstand ten behoeve van het slotgemiddelde is een langjarig gemeten gemiddelde waterstand, eventueel uitgesplitst in hoog- en laagwaters. Het slotgemiddelde is de aflezing van een trendlijn, geschat uit jaargemiddelden, gedurende meerdere decennia, aan het eind van het laatste decennium. Voor springtij en doottij worden de waarden afgeleid met behulp van de havengetallen.
- **Tijverschil** – het verschil tussen het gemiddeld hoogwater en gemiddeld laagwater wordt het gemiddeld tijverschil genoemd. Dit wordt ook bepaald voor doottij en springtij.
- **Maansculminatie** - maansdoorgang door de plaatselijke meridiaan.
- **Maansverloop** – het maansverloop is het tijdsverschil tussen de maansculminatie en het eerstvolgende hoog- respectievelijk laagwater. Voor Nederland wordt de meridiaan van 5° oosterlengte aangehouden.
- **Havengetal** – de havengetallen volgen uit alle hoog/laagwater tijdstippen (verschil met maansculminatie) in combinatie met de waarden van beschouwde decennium (dus niet afgeleid voor een periode langer dan 10 jaar), resulteert in aardappelgrafiek die inzicht geeft in gemiddeld tij/springtij/doottij. Deze worden dan geclassificeerd op basis van de maansculminatie. Door te middelen over de verschillende klassen krijg je het (gemiddelde) havengetal.
- **Gemiddelde getijkromme** – in het onbeïnvloede getijgebied worden de gemiddelde getijkrommen afgeleid met behulp van de ruwe krommen van het voorgaande peiljaar. Deze wordt bijgesteld door eenvoudige vermenigvuldiging om deze overeen te laten komen met de gemiddelde hoog- en laagwater. In de Rijn-Maasmonding wordt er een 1D model gebruikt om een combinatie van verschillende afvoeren en getijstanden door te rekenen en de gemiddelde getijkromme op verschillende locaties te kunnen bepalen. Voor gemiddelde getijkromme 2011.0 is gebruik gemaakt van een SOBEK3-model van de Rijn-Maasmonding, zijnde de sobek-rmm-j15_5-v2 modelschematisatie.
- **Grenspeil** – plaatselijk peil in het getijgebied dat door een hoogwater gemiddeld eens per 2 jaar wordt bereikt of overschreden.
- **Basispeil** – extreem hoge waterstand in het getijgebied met (per definitie) een overschrijdingsfrequentie van 1/10000 per jaar.
- **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). 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).

- **Toetspeil** – waterstand behorend bij de normfrequentie van de betreffende waterkering, die bij de toetsing wordt gebruikt.
- **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 nadere 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.
- **LAT (Lowest Astronomical Tide)** – de laagste waterstand die onder gemiddelde metrologische voorkomt voor elke mogelijke astronomische combinatie.
- **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.

2.3 Overzicht locaties

In de tabel hieronder zijn de locaties, waarvoor in de Rijn Maasmonding door RWS kenmerkende waarden gewenst zijn, opgenomen. De locaties die in de meest rechterkolom zijn gemarkeerd, worden opgenomen in het getijtafelboekje (Rijkswaterstaat, 2019) met de gemiddelde getijkromme. Voor de locaties in de andere twee kolommen zijn in het kader van dit project de kenmerkende waarden afgeleid. Voor de duidelijkheid is hier een onderscheid gemaakt in de locaties: De locaties in beheer van het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) staan in de tweede kolom. De andere locaties vallen onder het beheer van Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn er in de derde kolom enkele locaties aangemerkt om bij de verschilanalyse tussen de kenmerkende waarden van 1991 en 2011 nader te bekijken, dit zijn de analyse locaties.

Tabel 2.1 Overzicht locaties voor de kenmerkende waarden in de Rijn Maasmonding

Locatie Omschrijving	HbR-locaties	Analyse locaties	In getijtafelboekje
Amaliahaven	X		
Bernisse			
Dordrecht		X	X
Europahaven	X		
Goidschalxoord			
Gouda Brug			
Hagestein Beneden		X	
Haringvliet 10		X	X
Haringvlietsluizen (Stellendam buiten)		X	X
Hartelbrug	X		
Hartelhaven	X		
Hedel (heet nu Crevecoeur)			
Heesbeen			
Hellevoetsluis		X	
Hoek van Holland		X	X

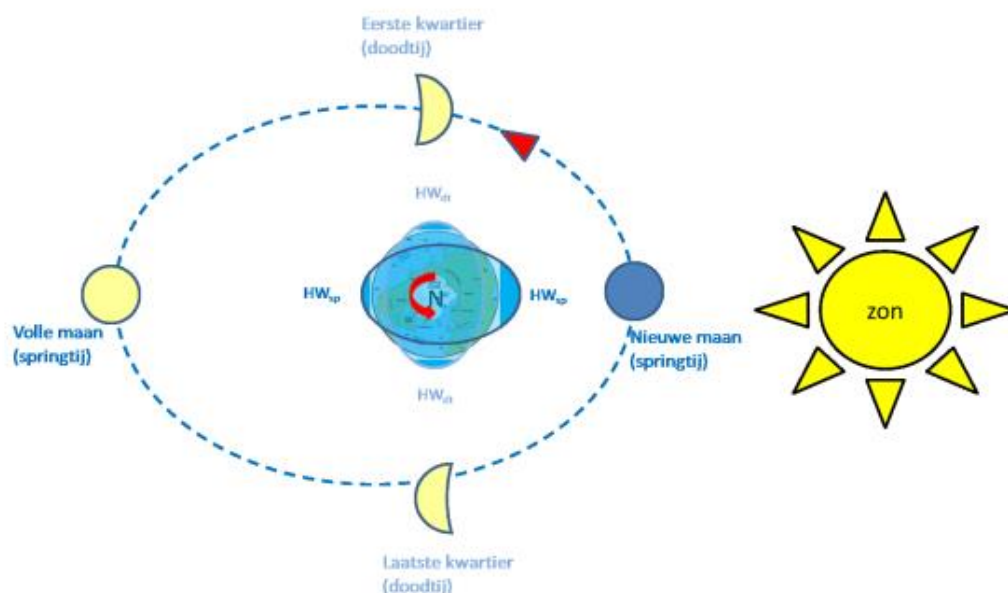
Locatie Omschrijving	HbR-locaties	Analyse locaties	In getijtafelboekje
Keizersveer		X	
Krimpen a/d IJssel			
Krimpen a/d Lek			
Lith Dorp		X	
Maassluis			
Moerdijk			
Rak Noord		X	
Rotterdam		X	X
Rotterdam Eemhaven	X		
Rotterdam Geulhaven Radarpost 10	X		
Rotterdam Harmsenbrug	X		
Rotterdam Parksluis	X		
Rotterdam Tenesseehaven	X		
Rozenburgsesluis Calandkanaal	X		
Rozenburgsesluis Hartelkanaal	X		
Schoonhoven			
Spijkenisse			
Suurhoffbrug noordzijde	X		
Vlaardingen			
Vuren			
Werkendam buiten		X	
Zaltbommel			

3 Methodiek

3.1 Havengetallen

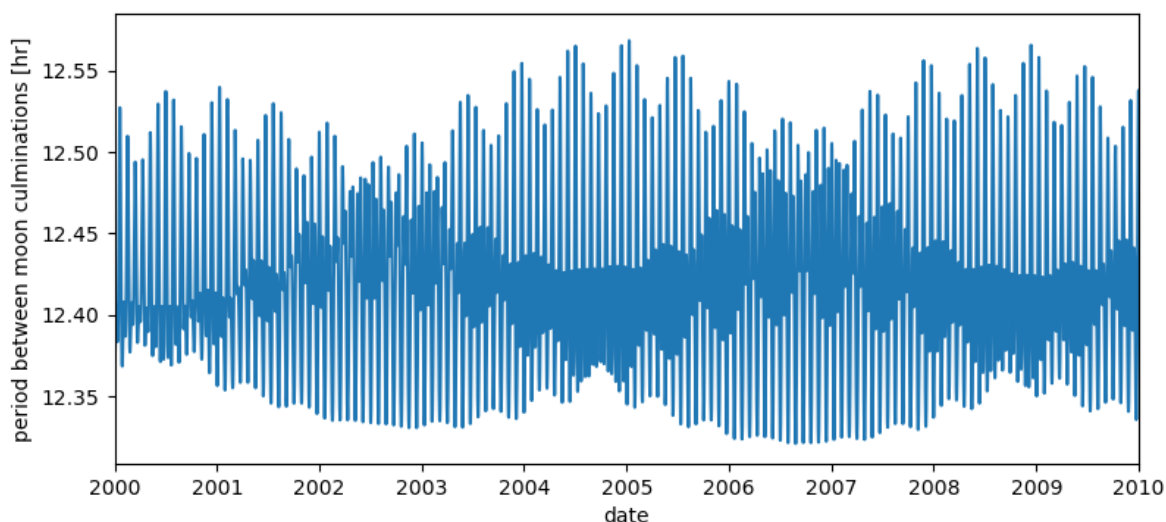
De havengetallen en de resulterende aardappelgrafiek worden bepaald door de relatie af te leiden tussen de maansculminaties en het tijdstip+hoogte van ieder hoog- en laagwater. Een maansculminatie is de doorgang van de maan door de plaatselijke meridiaan, de maan staat op dat moment dus op zijn hoogst vanaf de locatie op aarde waar vandaan geredeneerd wordt. De relatie tussen de maansculminatie en het tijdstip van het hoog- en laagwater wordt gebruikt om de relatie tussen de aarde, maan en de zon af te leiden. Het tijdstip van de dag is een indicatie van de stand van de zon ten opzichte van de nulmeridiaan van de aarde. Als de maan om middernacht of op het middaguur culmineert, betekent dit dat de zon, aarde en maan op één lijn staan. In beide gevallen is het springtij. Als de maan om zes uur 's ochtends of 's avonds culmineert, staan de aarde, maan en zon in een hoek van 90 graden met elkaar. Dit resulteert in doottij (zie Figuur 3.1).

Merk op: deze berekening is een indirecte afleiding van spring- en doottij en de resulterende hoog- en laagwaters, er zou ook gekozen kunnen worden om deze relatie niet af te leiden van het tijdstip van de maansculminaties maar het aantal dagen na nieuwe maan.



Figuur 3.1 Ellipsvormige baan van de maan om de aarde en maanfasen (uitlijning aarde, maan en zon) hebben invloed op de aantrekkingskracht uit J. Veenstra en D. Kerkhoven (2020)

De methodiek voor het afleiden van de havengetallen begint met het berekenen van de maansculminaties. De maansculminaties worden berekend met behulp van het RWS programma ASTROG (Rijkswaterstaat, 2015). Er is sprake van een bovensculminatie en een ondersculminatie, waarbij de maan door de plaatselijke meridiaan respectievelijk aan de overstaande kant van de aarde culmineert. De periode tussen twee maansculminaties is gemiddeld 12 uur en 25 minuten (12.42 uur), maar varieert door de tijd heen met enkele minuten (zie Figuur 3.2). Het zou simpeler zijn deze M2 periode te gebruiken, maar dit is in deze studie niet gedaan omdat de resultaten voor de validatie van 1991.0 dan minder goed worden benaderd.



Figuur 3.2 De variatie in de periode tussen iedere maansculminatie (in uren). Dit laat een niet-equidistant karakter zien met een gemiddelde van 12.42 uur (12 uur en 15 minuten)

Na het berekenen van de maansculminaties, wordt voor het beschouwde decennium ieder hoogwater en het erop volgende laagwater gerelateerd aan de relevante maansculminatie. Dit is de boven/onder maansculminatie die ongeveer twee dagen eerder plaatsvindt en op dat moment een getijgolf in de Zuidelijke IJsee opwekt, welke ongeveer twee dagen later aan de Nederlandse kust wordt waargenomen. Om precies te zijn wordt voor iedere culminatie een bijbehorend hoogwater gezocht in de periode die daar minstens 2 dagen, 2 uur en 20 minuten op volgt:

- + 48 uur en 100 minuten (vier getijperiodes, want het hoogwater is het gevolg van een het getij dat twee dagen ervoor op de Zuidelijke IJsee werd opgewekt)
- - 20 minuten (correctie van de 0 graden meridiaan naar de 5 graden meridiaan)
- + 1 uur (correctie van GMT naar MET)

Doordat het hoogwater op deze manier bij de culminatie wordt gezocht, is er later geen correctie meer nodig op de tijdsas van de aardappelgrafiek.

Deze hoog- en laagwaters worden opgedeeld in klassen van uren, corresponderend met het uur van de dag waarin ze optreden. De uren worden hier afgerond, zodat uurklasse 9 de tijden van 8:30 tot 9:30 bevat. Binnen alle 12 klassen wordt de mediaan van de waterstanden en de mediaan van het aantal uren na de maansculminatie als representatief beschouwd voor de betreffende klasse. Deze kunnen worden uitgezet in de aardappelgrafiek.

Uitgangspunten:

- *Alle hoog- en laagwaters voorafgaand aan 2005 zijn gecorrigeerd met de NAP-correctie geldend voor ieder station, zie ook Hoofdstuk 3.3.1.*
- *In geval van aggers wordt steeds het eerste laagwater gebruikt, zodat de berekende duur van de daling kan worden gebruikt om het eerste laagwater van de gemiddelde getijkromme te schalen.*
- *In de originele methode (Dillingh, 2013) wordt niet met de mediaan gerekend. In plaats daarvan worden twee keer 12 klassen afgeleid voor zowel hoog- als laagwater, en tevens twee keer 12 klassen voor zowel boven- als onderculminaties, in totaal dus 48 klassen. Per klasse wordt een gemiddelde bepaald, gevolgd door het verwijderen van outliers (verder dan 0.5 meter of 1 uur van het gemiddelde), van de overblijvende waarden wordt opnieuw het gemiddelde bepaald. De klassen werden vervolgens samengevoegd tot 12*

- klassen. Beide methodes zijn getest en omdat de complexere methode niet beter presteert dan de simpelere mediaan-methode, wordt de laatste in dit rapport gebruikt*
- *Er wordt in Dillingh (2013) gesproken van een spline fit door de resultaten. Deze fit is binnen dit project niet toegepast of getest, maar het verloop van de data is al vrij glad en de inschatting is dat dit geen meerwaarde heeft. Ook is het niet essentieel om de gladde vorm van de aardappelgrafiek exact te kunnen reproduceren, omdat de visualisatie geen of nauwelijks effect heeft op de resultaten.*

Door de methodiek van het berekenen van de havengetallen te doorlopen, zijn de volgende waarden te berekenen:

- De hoogtes van hoog- en laagwaters voor 12 culminatieklassen.
- De vertraging van hoog- en laagwaters ten opzichte van de maansculminatie voor 12 culminatieklassen.
- De gemiddelde getijduur voor 12 culminatieklassen
- De duur van de daling voor 12 culminatieklassen

Vanuit de 12 culminatieklassen kunnen de waarden voor springtij (klasse/uur 0), dooftij (klasse/uur 6) worden geselecteerd. De waarde voor gemiddeld tij is het gemiddelde van alle culminatieklassen.

3.2 Slotgemiddelden met PLSS

Voor het opstellen van de slotgemiddelden zijn de hoog- en laagwaters uit de berekening van de havengetallen gecorrigeerd ten opzichte van een trendlijn door jaargemiddelde aan de hand van de PLSS-methodiek (Penalized Least Square Smoothing) uit Dillingh (2013). Voor deze trendlijn is destijds de 18,6-jaarlijkse cyclus uit het signaal gefilterd. Binnen het kader van dit project is niet in detail gekeken naar deze methodiek. De eerder bepaalde correctiewaarden zijn hier direct overgenomen en toegepast op de slotgemiddelden (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Gebruikte correctiefactoren PLSS-analyse (Dillingh, 2013)

	Correctiefactor [cm]	
	Hoek van Holland	Haringvliet 10
LW-correctie	0.898	0.247
HW-correctie	4.019	3.352

De slotgemiddelden voor Hoek van Holland en Haringvliet 10 zijn nodig als invoer voor de gemiddelde getijkrommen, die op hun beurt invoer (randvoorwaarden) zijn voor de berekeningen met het SOBEK3-model ter bepaling van de gemiddelde getijkrommen in het Rijn-Maasmondinggebied (zie Hoofdstuk 0). Voor 2021.0 en verder is het echter wel belangrijk dat de slotgemiddelden opnieuw worden afgeleid, bijvoorbeeld met de PLSS-methodiek.

3.3 Gemiddelde getijkrommen

Op basis van de methode zoals beschreven in RIKZ (1994) zijn in deze studie gemiddelde getijkrommen voor het peiljaar 2011.0 opgesteld. Ten behoeve van gebruik als modelrandvoorwaarden voor het SOBEK3-model van de Rijn-Maasmonding is dit gedaan voor de meetpunten te Hoek van Holland en Haringvliet 10, waarbij deze locaties als een door rivierafvoer onbeïnvloed worden beschouwd. Getijkrommen voor Hoek van Holland en Haringvliet 10 zijn opgesteld voor gemiddeld getij, springtij en doottij. Voor het schalen van deze ruwe krommen in amplitude en tijd naar de uiteindelijke gemiddelde krommen zijn de gecorrigeerde slotgemiddelden (volgend uit de PLSS methode) gebruikt in combinatie met de getijduur. Omdat het getij niet tegelijkertijd optreedt bij Hoek van Holland en Haringvliet 10 wordt er een vertraging van ongeveer 20 minuten tussen de hoogwaters toegepast, op basis van het tijdsverschil tussen de havengetallen voor hoogwater. Verder wordt voor de SOBEK3-berekening de cyclus van Hoek van Holland met 5 minuten naar voren gehaald om deze te verschuiven naar de modelrand te Maasmond.

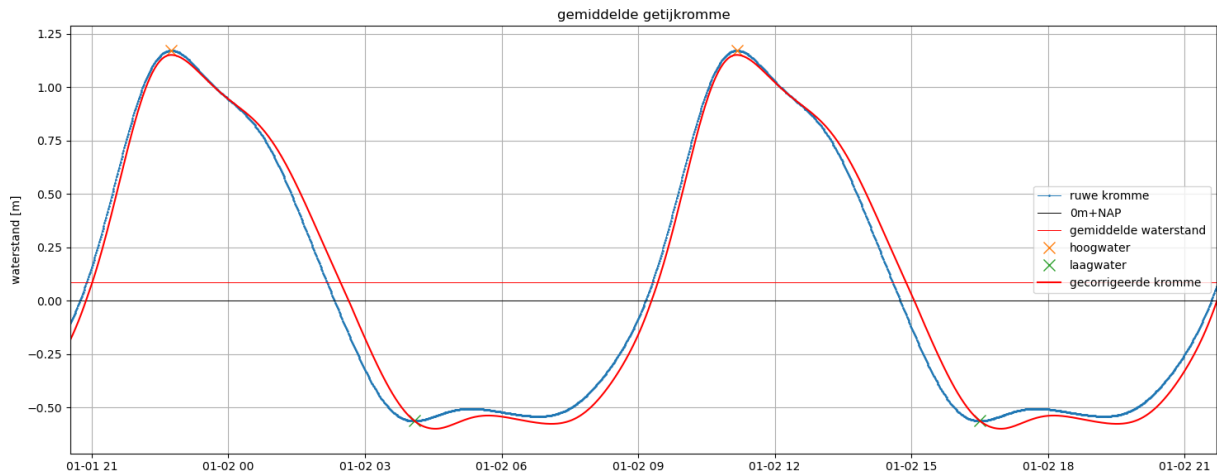
3.3.1 Kromme voor gemiddeld getij

Voor het opstellen van de kromme voor gemiddeld getij is een harmonische getijanalyse op de waterstanden van 2001 tot 2011 toegepast met behulp van het Python getijde-analyse en -predictie programma hatyan (Veenstra en Kerkhoven, 2020). Deze analyse is uitgevoerd aan de hand van de standaardset van 94 getijdecomponenten. De waterstandsdata is gecorrigeerd voor de NAP-correctie van 1 januari 2005 door, in navolging van Dillingh (2013), de oudere waterstanden met 27,7 mm voor Hoek van Holland en 21,0 mm voor Haringvliet 10 in mindering te brengen.

Uit het resultaat van deze analyse zijn de zuivere harmonischen van M2 gekozen: M2, M4, M6, M8, M10, M12. Vervolgens is voor deze componenten de amplitude vervangen door de wortel van de kwadraatssom van de amplituden van alle componenten uit de betreffende band. Voor bijvoorbeeld M12 zijn dan de amplituden van M12 zelf en van 4MSN12, 5MS12, 4M2S12 gebruikt. De fases van de componenten zijn niet aangepast.

Met de resulterende zes componenten is een waterstandsvoorspelling uitgevoerd met hatyan. Dit levert een zichzelf repeterend getijdesignaal op, de ruwe kromme voor gemiddeld getij. Voor deze waterstandsvoorspelling zijn met hatyan de hoog- en laagwaters bepaald, waaruit vervolgens de duur van de daling en van de rijzing volgen. In het geval van aggers is het eerste laagwater gebruikt.

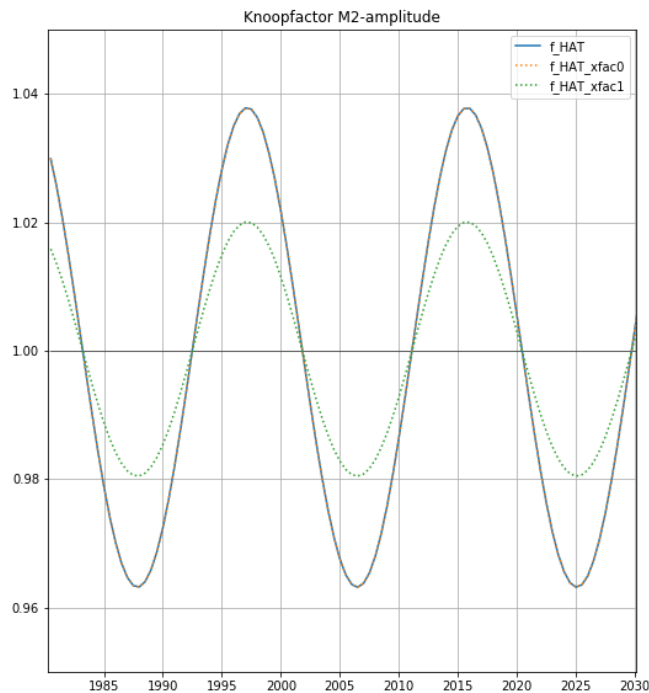
De laatste stap om te komen tot de gemiddelde getijkromme is het schalen van deze ruwe kromme naar de slotgemiddelden. Dit gebeurt op basis van een eenvoudige vermenigvuldiging. Positieve waterstanden zijn geschaald met de verhouding tussen het hoogwater uit de ruwe kromme en het hoogwaterslotgemiddelde en negatieve waterstanden zijn met eenzelfde verhouding voor laagwater geschaald. Vervolgens is de duur van de daling zodanig geschaald dat deze overeenkomt met de waardes uit de havengetalberekening. Om de getijduur van de kromme gelijk te houden, is de duur van de rijzing verhoudingsgewijs aangepast.



Figuur 3.3 Voorbeeld van een ruwe (blauw) en gecorrigeerde (rood) getijkromme voor gemiddeld getij met de hoog- en laagwaters

3.3.2 Kromme voor spring- en doottij

Het opstellen voor de gemiddelde getijkrommen voor spring- en doottij gebeurt volgens een vergelijkbare methode als voor het gemiddelde getij. Hiertoe wordt eerst een harmonische getijanalyse uitgevoerd met hatyan. Hierbij worden enkel de gemeten waterstanden uit een jaar met een gemiddelde helling van de maansbaan meegenomen. Deze helling varieert cyclisch met een periode van ongeveer 18,6 jaar. De invloed hiervan op het getij wordt meegenomen door een correctiefactor (de knoofactor) toe te passen. Deze *knoofactor* heeft voor een gemiddelde situatie een waarde van 1. In dit decennium voldoet 2001 aan deze voorwaarde (Figuur 3.4).

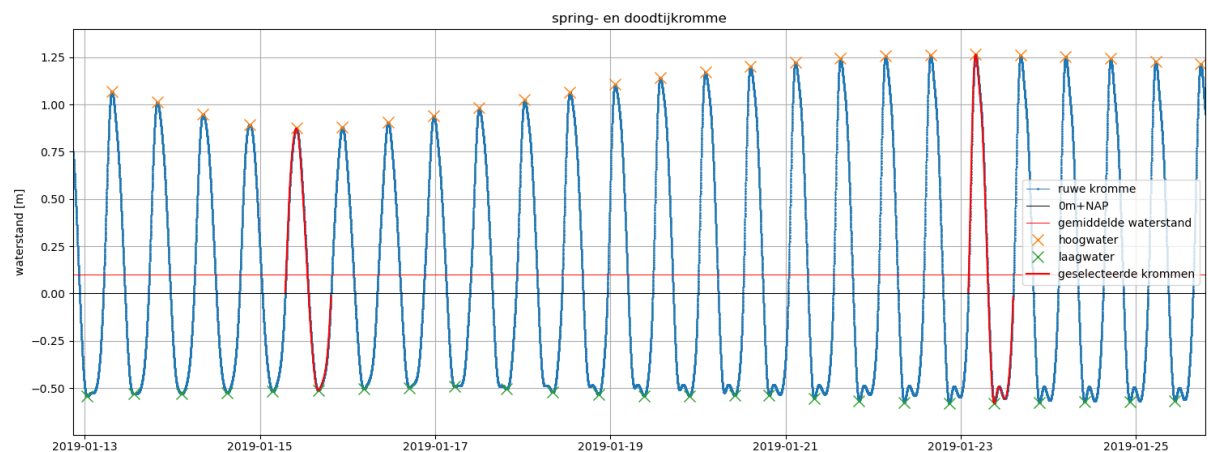


Figuur 3.4 Knoofactoren voor de M2-amplitude ter correctie van de 18,6-jaarlijkse cyclische getijvariatie

Uit het resultaat van de analyse zijn de componenten met uitsluitend zuivere combinaties van M2 en S2 geselecteerd. Dit zijn de componenten SM, 3MS2, μ 2, M2, S2, 2SM2, 3MS4, M4, MS4, 4MS6, M6, 2MS6, M8, 3MS8, M10, 4MS10, M12 en 5MS12. Zonder verdere aanpassingen aan de amplituden en fases, is er met deze componenten een voorspelling met hatyan gedaan. Hieruit volgt een zichzelf repeterend spring- en doottijnsignaal. Het is uit de methode in RIKZ (1994) niet duidelijk op te maken op welke wijze uit dit spring- en doottijnsignaal twee afzonderlijke ruwe krommen voor spring- en doottij zijn gehaald.

Als alternatief is daarom in deze studie een selectie gemaakt voor springtij op basis van het hoogste hoogwater in combinatie met bijbehorend getijslag en voor doottij op basis van het laagste hoogwater in combinatie met bijbehorend getijslag, zie Figuur 3.5. Hierbij is de bijbehorende getijslag geselecteerd vanaf een waterstand van 0 voorafgaand aan dit hoogste/laagste hoogwater tot een waterstand van 0 voorafgaand aan het opvolgende hoogwater. Deze getijslag is herhaald om tot een tijdserie van de ruwe kromme voor spring- en doottij te komen.

De ruwe krommen voor spring- en doottij zijn geschaald naar de slotgemiddelden. De getijduur is die van de geselecteerde getijslag bij Hoek van Holland. Om een zichzelf herhalende harmonische randvoorwaarde in het model op te kunnen leggen, is de getijduur bij Haringvliet 10 gelijkgesteld aan die van Hoek van Holland. Zo lopen de signalen van de twee stations synchroon en loopt het SOBEK 3 model niet uit de pas.



Figuur 3.5 Ruwe getijkromme voor spring- en doottij te Hoek van Holland met de hoog- en laagwaters met in rood de geselecteerde spring- en doottijkrommen

3.4 Modelberekening

De kenmerkende waarden in de Rijn-Maasmonding zijn afhankelijk van een combinatie van getij en afvoer. Een analyse voor alle mogelijke combinaties op basis van metingen is tijdrovend en slechts beperkt toepasbaar omdat dan veel verschillende periodes moeten worden verzameld en geanalyseerd. Daarom wordt er gebruik gemaakt van resultaten uit modelberekeningen. In lijn met de eerdere toegepaste methodiek voor de getijkrommen 1991.0 is er gebruik gemaakt van een actueel 1D hydrodynamisch model, nu het SOBEK3 model *sobek-rmm-vozo-j15_5-v2*. Er is gerekend met SOBEK-softwareversie 3.7.16.42543. Voor dit SOBEK 3 model zijn er vier type randvoorwaarden nodig:

- Afvoeren bovenstrooms (Lith, Tiel en Hagestein);
- Waterstanden benedenstrooms (Hoek van Holland en Haringvliet 10);
- Zoutcondities boven- en benedenstrooms;
- Schuifstanden Haringvlietsluizen.

Voor de afvoer op de bovenstroomse randen zijn er 10 stationaire afvoerniveaus gebruikt. Het laagste afvoerniveau is de minimaal bekende Rijnaafvoer. 1020 m³/s is de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA). 2200 m³/s is de gemiddelde Rijnaafvoer, 7020 m³/s is de afvoergolf met een kans van voorkomen van 1 keer per 2 jaar. De andere opgelegde waarden vullen het bereik van mogelijke afvoeren. De verdeling van de afvoer over de verschillende riviertakken en de waarde van de Maasafvoer is gebaseerd op de HR2001/HR2011 methodiek (zie Tabel 3.2).

De gemiddelde getijkrommen bij Hoek van Holland en Haringvliet-10 (Hoofdstuk 0) worden gebruikt als randvoorwaarden voor de benedenstroomse randen. De randvoorwaarde bij HA20 is gelijk aan Haringvliet-10 (modelpunt HA10) zonder een tijdverschuiving, deze verschuiving is niet nodig in het SOBEK3 model (Berends, 2015).

Ondanks dat er in deze studie niet expliciet wordt gekeken naar de zoutconcentraties in het numerieke model, heeft zout invloed op de hydrodynamica in de Rijn-Maasmonding. Bij Hoek van Holland wordt daarom een waarde van 31 PPT opgelegd, bij HA10 34 PPT en bij de bovenstroomse randen 0.22 PPT (ongeveer 122 mg Chloride per liter). Er wordt gebruik gemaakt van schuifstanden voor de Haringvlietssluisen op basis van LPH '84 en een simpele stuwsturing op basis van het verhang over de Haringvlietssluisen.

In deze studie wordt, na overleg met Rijkswaterstaat, geen gebruik gemaakt van lokale windvelden, lateralen en sturing van de stormvloedkeringen.

Een samenvatting van de gebruikte randvoorwaarden is gegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Samenvatting van toegepaste randvoorwaarden voor het SOBEK 3 RMM-model

	<u>Bovenranden</u>				
	10 stationaire afvoerniveaus				
code		Q Lek (Hagestein)	Q Waal (BovenTiel)	Q Maas (BovenLith)	Q Lobith
Q1	Debiet	25	550	55	600
Q2	m ³ /s	110	805	104	1020
Q3		187	1036	148	1400
Q4		257	1249	188	1750
Q5		352	1531	264	2200
Q6		529	2049	452	3000
Q7		750	2697	687	4000
Q8		954	3347	922	5000
Q9		1369	4659	1396	7020
Q10		2077	6473	2095	10000
	Chloride	0.22 kg/m ³	0.22 kg/m ³	0.22 kg/m ³	
	Thatcher-Harleman time-lag	0 s	0 s	0 s	

	<i>Benedenranden</i>				
code		HvH	HA10	HA20	
H1	Ws	Gemiddeld getij HVH	Gemiddeld getij HA10	Gelijk aan HA10	
H2		Doodtij HVH	Doodtij HA10	Gelijk aan HA10	
H3		Springtij HVH	Springtij HA10	Gelijk aan HA10	
	Chloride	31 kg/m ³	34 kg/m ³	Gelijk aan HA10	
	Thatcher-Harleman time-lag	5400 s	5400 s	5400 s	

Met de genoemde SOBEK 3 modelschematisatie en de in Tabel 3.2 vermelde randvoorwaarden zijn voor de periode van 1 januari 2011 tot 13 januari 2011 doorgerekend. Deze periode geeft genoeg ruimte om het model in te laten spelen (ten minste 5 dagen nodig). De keuze voor deze periode is arbitrair, maar er is voor de duidelijkheid gekozen om voor het peiljaar door te rekenen. Er wordt voor elke afvoercombinatie een simulatie gedraaid met gemiddeld getij (H1), doortij (H2) en springtij (H3), zie Tabel 3.3 voor een overzicht van de uitgevoerde berekeningen.

Tabel 3.3 Codering van uitgevoerde SOBEK-berekeningen

Berekening	Code Q	Code ws		Berekening	Code Q	Code ws
1	Q1	H1		16	Q6	H1
2	Q1	H2		17	Q6	H2
3	Q1	H3		18	Q6	H3
4	Q2	H1		19	Q7	H1
5	Q2	H2		20	Q7	H2
6	Q2	H3		21	Q7	H3
7	Q3	H1		22	Q8	H1
8	Q3	H2		23	Q8	H2
9	Q3	H3		24	Q8	H3
10	Q4	H1		25	Q9	H1
11	Q4	H2		26	Q9	H2
12	Q4	H3		27	Q9	H3
13	Q5	H1		28	Q10	H1
14	Q5	H2		29	Q10	H2
15	Q5	H3		30	Q10	H3

De resultaten van de 30 simulaties zijn gebruikt om specifiek voor een afvoerniveau en getijconditie de slotgemiddelden, havengetallen en getijkromme af te leiden. Deze waarden worden voor alle stations in Tabel 2.1 afgeleid.

4 Resultaten

4.1 Havengetallen

Op basis van de beschreven methodiek in het voorgaande hoofdstuk, worden er in dit hoofdstuk resultaten voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland en Haringvliet 10 gepresenteerd ter validatie van de voorgestelde aanpak. De stations Hoek van Holland en Haringvliet 10 zijn gekozen omdat deze als randvoorwaarde worden opgelegd op het SOBEK 3 model. Voor het binnengebied van de Rijn-Maasmonding worden deze modelresultaten gebruikt om de kenmerkende waarden af te leiden. Voor Haringvliet 10 is enkel data beschikbaar om de waarden voor 2011.0 af te leiden, niet om de validatie voor 1991.0 uit te voeren. Vlissingen is opgenomen als extra validatiestation, omdat dit station geen aggers bevat en daardoor geschikt is om de opnieuw afgeleide methodiek te toetsen.

4.1.1 Validatie 1991.0 voor Vlissingen en Hoek van Holland

Bij het vergelijken van de validatiedata voor 1991.0 en de opnieuw afgeleide data voor station Vlissingen, zijn verschillen zichtbaar voor:

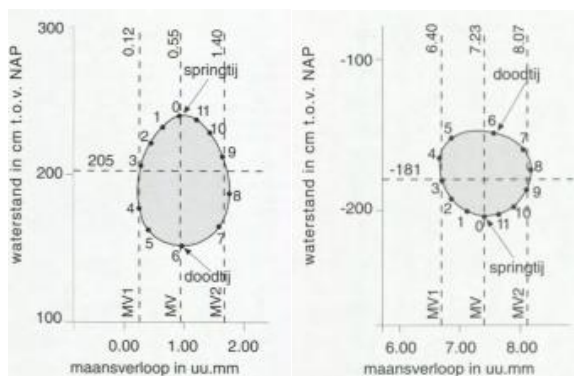
- Hoogwater: maximaal 2 minuten en 4 centimeter
- Laagwater: maximaal 2 minuten en 1 centimeter
- Getijperiode: maximaal 1 minuut
- Tijverschil: maximaal 5 centimeter
- De vorm van de aardappelgrafieken zijn ongeveer gelijk

Tabel 4.1 Oorspronkelijke data 1991.0 voor Vlissingen (RIKZ, 1994), ter validatie

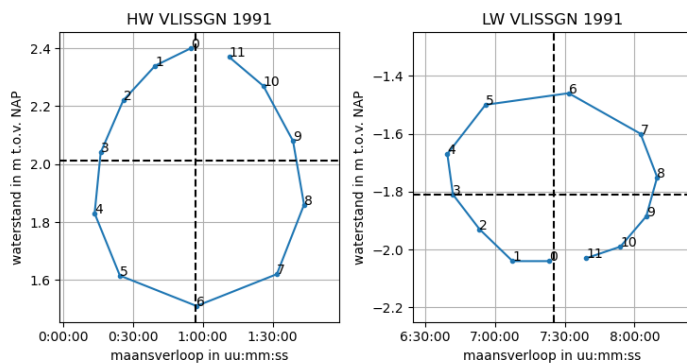
Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	00:53	243	07:21	-204	447	12:20	-
Gemiddeld tij	00:55	205	07:23	-181	386	12:25	-
Doodtij (6)	00:55	155	07:30	-147	302	12:41	-

Tabel 4.2 Nieuw berekende waarden 1991.0 voor Vlissingen

Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	00:55	240	07:23	-204	444	12:19	06:29
Gemiddeld tij	00:57	201	07:25	-181	382	12:25	06:28
Doodtij (6)	00:57	151	07:32	-146	297	12:42	06:34



Figuur 4.1 Oorspronkelijke aardappelgrafiek voor Vlissingen 1991.0 (links voor hoogwater en rechts voor laagwater), ter validatie



Figuur 4.2 Nieuw bepaalde aardappelgrafiek voor Vlissingen 1991.0 (links voor hoogwater en rechts voor laagwater)

Bij het vergelijken van de validatiedata voor 1991.0 en de opnieuw afgeleide data voor station Hoek van Holland, zijn verschillen zichtbaar voor:

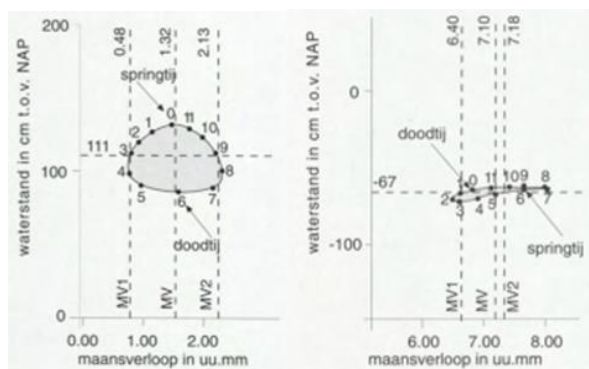
- Hoogwater: maximaal 1 minuut en 4 centimeter
- Laagwater: maximaal 13 minuten en 3 centimeter
- Getijperiode: maximaal 5 minuten
- Tijverschil: maximaal 7 centimeter
- De vorm van de aardappelgrafieken zijn ongeveer gelijk

Tabel 4.3 Oorspronkelijke data 1991.0 voor Hoek van Holland (RIKZ, 1994), ter validatie

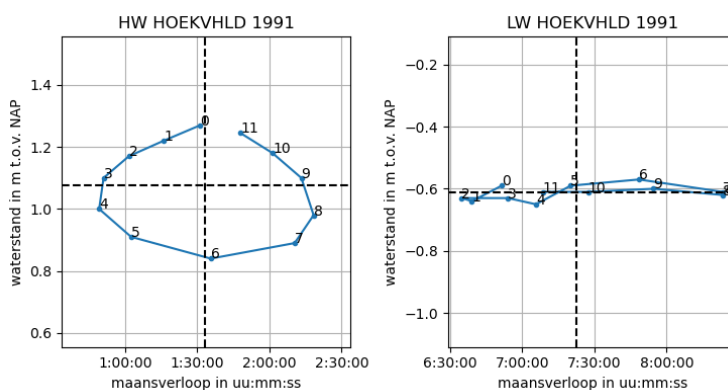
Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	01:30	130	06:47	-60	190	12:19	-
Gemiddeld tij	01:32	111	07:10	-63	174	12:25	-
Doodtij (6)	01:35	88	07:37	-60	148	12:38	-

Tabel 4.4 Nieuw berekende waardes 1991.0 voor Hoek van Holland

Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	01:31	127	06:52	-59	186	12:19	05:20
Gemiddeld tij	01:33	108	07:23	-61	169	12:25	05:49
Doodtij (6)	01:36	84	07:49	-57	141	12:43	06:13



Figuur 4.3 Oorspronkelijke aardappelgrafiek voor Hoek van Holland 1991.0 (links voor hoogwater en rechts voor laagwater), ter validatie



Figuur 4.4 Nieuw bepaalde aardappelgrafiek voor Hoek van Holland 1991.0 (links voor hoogwater en rechts voor laagwater)

4.1.2 Validatie 2011.0 voor Vlissingen, Hoek van Holland en Haringvliet 10

Bij het vergelijken van de validatiedata voor 2011.0 en de opnieuw afgeleide data voor het station Vlissingen, zijn verschillen zichtbaar voor:

- Hoogwater: maximaal 1 minuten en 5 centimeter
- Laagwater: maximaal 0 minuten en 1 centimeter
- Duur daling gemiddeld getij: geen
- Tijverschil: maximaal 6 centimeter

Tabel 4.5 Oorspronkelijke data Vlissingen voor 2011.0 (standen in cm t.o.v. NAP) (RWS-CIV, 2013), ter validatie

Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	00:52	244	07:20	-201	445	-	-
Gemiddeld tij	00:54	207	07:22	-176	383	12:25	06:28
Doodtij (6)	00:55	155	07:29	-144	299	-	-

Tabel 4.6 Nieuw berekende waardes 2011.0 voor Vlissingen

Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	00:53	239	07:20	-200	439	12:19	6:27
Gemiddeld tij	00:54	204	07:22	-177	381	12:25	6:28
Doodtij (6)	00:55	152	07:29	-143	295	12:42	6:34

Bij het vergelijken van de validatiedata voor 2011.0 en de opnieuw afgeleide data voor het station Hoek van Holland, zijn verschillen zichtbaar voor:

- Hoogwater: maximaal 1 minuten en 4 centimeter
- Laagwater: maximaal 6 minuten en 2 centimeter
- Duur daling gemiddeld getij: 5 minuten
- Tijverschil: maximaal 3 centimeter

Tabel 4.7 Oorspronkelijke data Hoek van Holland voor 2011.0 (standen in cm t.o.v. NAP) (RWS-CIV, 2013), ter validatie

Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	01:32	132	06:51	-63	195	-	-
Gemiddeld tij	01:34	115	07:17	-60	175	12:25	05:43
Doodtij (6)	01:36	90	07:39	-55	145	-	-

Tabel 4.8 Nieuw berekende waardes 2011.0 voor Hoek van Holland

Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	01:33	128	06:51	-64	192	12:19	05:18
Gemiddeld tij	01:33	111	07:21	-61	172	12:25	05:48
Doodtij (6)	01:35	87	07:45	-57	144	12:42	06:11

Bij het vergelijken van de validatiedata voor 2011.0 en de opnieuw afgeleide data voor het station Haringvliet 10, zijn verschillen zichtbaar voor:

- Hoogwater: maximaal 2 minuten en 4 centimeter
- Laagwater: maximaal 2 minuten en 2 centimeter
- Duur daling gemiddeld getij: 1 minuut
- Tijverschil: maximaal 3 centimeter

Tabel 4.9 Oorspronkelijke data Haringvliet voor 2011.0 (standen in cm t.o.v. NAP) (RWS-CIV, 2013), ter validatie

Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	01:14	145	06:44	-92	237	-	-
Gemiddeld tij	01:14	124	07:05	-86	210	12:25	05:51
Doodtij (6)	01:13	93	07:32	-77	170	-	-

Tabel 4.10 Nieuw berekende waardes 2011.0 voor Haringvliet 10

Getijfase	Hoogwater		Laagwater		Tijverschil	Getijperiode uu:mm	Duur daling uu:mm
	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP	Havengetal uu:mm	Stand in cm t.o.v. NAP			
Springtij (0)	01:15	141	06:46	-94	235	12:19	05:31
Gemiddeld tij	01:14	121	07:06	-86	207	12:25	05:52
Doodtij (6)	01:11	92	07:31	-77	169	12:42	06:20

4.2 PLSS

Op basis van de originele invoergegevens uit Dillingh (2013) zijn de slotgemiddelden uit de havengetalberekening gecorrigeerd met het resultaat uit de opnieuw uitgevoerde PLSS-trendlijnanalyse. De resulterende slotgemiddelden liggen dicht bij de gerapporteerde waarden uit 2013, zie Tabel 4.11. De gebruikte correctiefactoren zijn opgenomen in Tabel 3.1, voor het laagwater van Haringvliet 10 zijn deze zodanig klein dat in onderstaande tabel geen effect zichtbaar is.

Tabel 4.11 Slotgemiddelden (in meters) voor hoog- en laagwater uit de havengetalberekening, na PLSS-correctie en volgens Dillingh (2013)

Springtij	Laagwater			Hoogwater		
	havengetal	gecorrigeerd	Dillingh (2013)	havengetal	gecorrigeerd	Dillingh (2013)
Hoek van Holland	-0.64	-0.63	-0.63	1.28	1.32	1.32
Haringvliet 10	-0.94	-0.94	-0.92	1.41	1.44	1.45

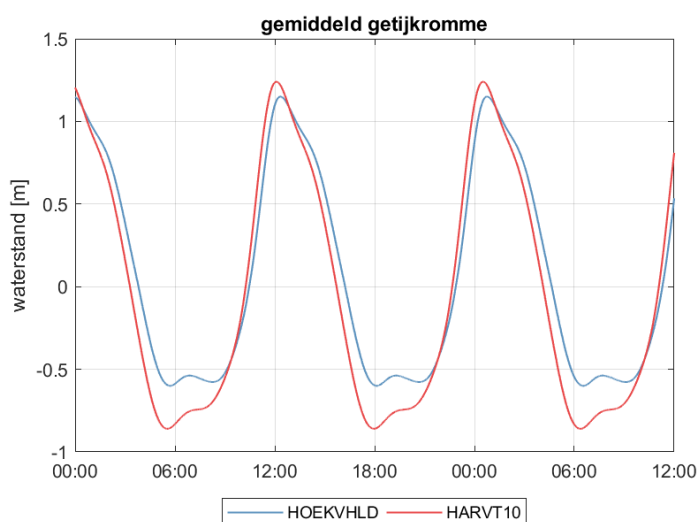
Gemiddeld getij	Laagwater			Hoogwater		
	havengetal	gecorrigeerd	Dillingh (2013)	havengetal	gecorrigeerd	Dillingh (2013)
Hoek van Holland	-0.61	-0.60	-0.60	1.11	1.15	1.15
Haringvliet 10	-0.86	-0.86	-0.86	1.21	1.24	1.24

Doodtij	Laagwater			Hoogwater		
	havengetal	gecorrigeerd	Dillingh (2013)	havengetal	gecorrigeerd	Dillingh (2013)
Hoek van Holland	-0.57	-0.56	-0.55	0.87	0.91	0.90
Haringvliet 10	-0.77	-0.77	-0.77	0.92	0.95	0.93

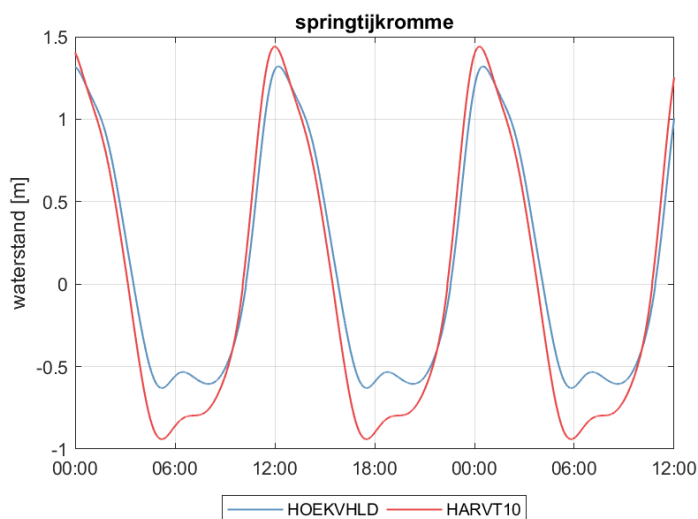
4.3 Getijkrommen

4.3.1 Resulterende getijkrommen

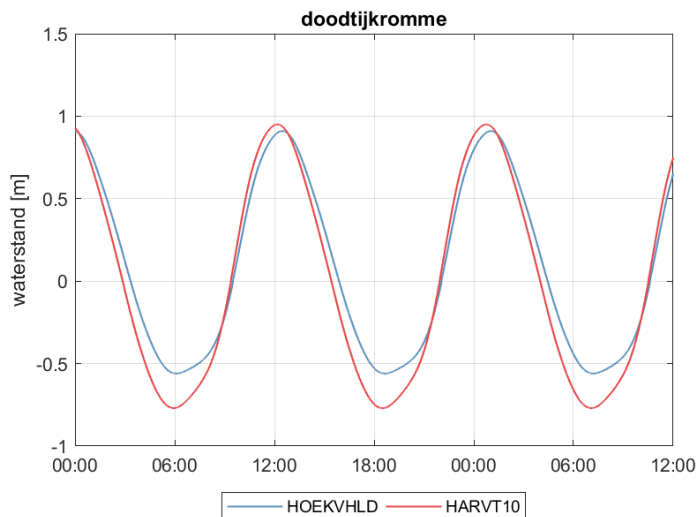
De nieuw berekende resulterende getijkrommen voor gemiddeld getij, spring- en doottij voor de stations Hoek van Holland en Haringvliet 10 zijn opgenomen in respectievelijk Figuur 4.5, Figuur 4.6 en Figuur 4.7.



Figuur 4.5 Getijkrommen voor gemiddeld getij te Hoek van Holland en Haringvliet 10



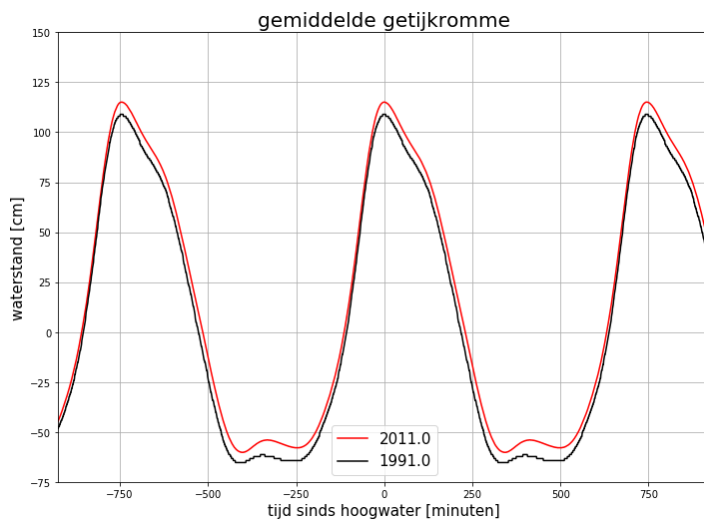
Figuur 4.6 Getijkrommen voor springtij te Hoek van Holland en Haringvliet 10



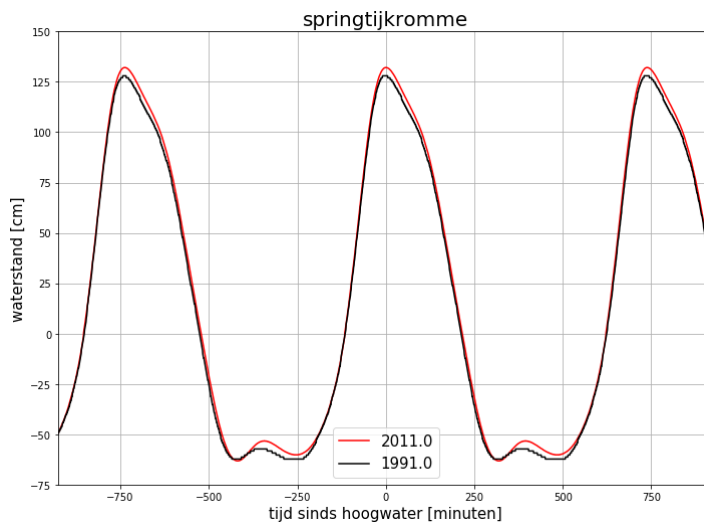
Figuur 4.7 Getijkrommen voor doottij te Hoek van Holland en Haringvliet 10

4.3.2 Validatie Hoek van Holland

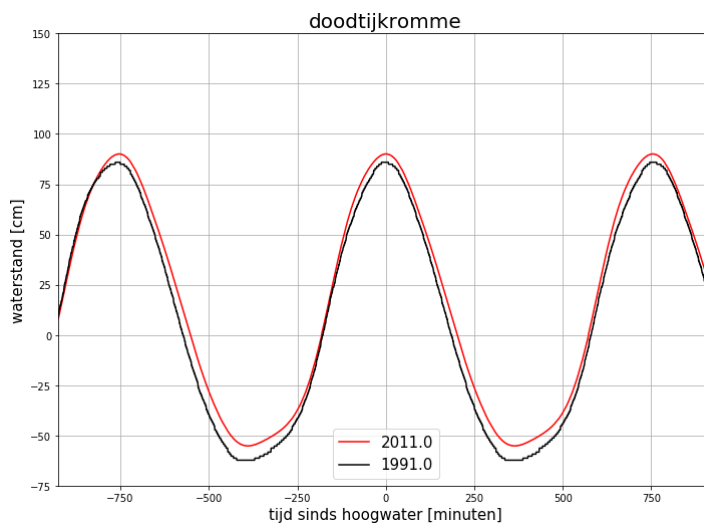
Ter validatie zijn de nieuw opgestelde getijkrommen voor 2011.0 vergeleken met de getijkrommen voor 1991.0. Door veranderde slotgemiddelden zijn verschillen te verwachten, maar het algemene beeld is hetzelfde. In de figuren hieronder staan beide krommen voor Hoek van Holland weergegeven voor de drie getijvarianten.



Figuur 4.8 Getijkrommen voor gemiddeld getij te Hoek van Holland voor 1991.0 en 2011.0



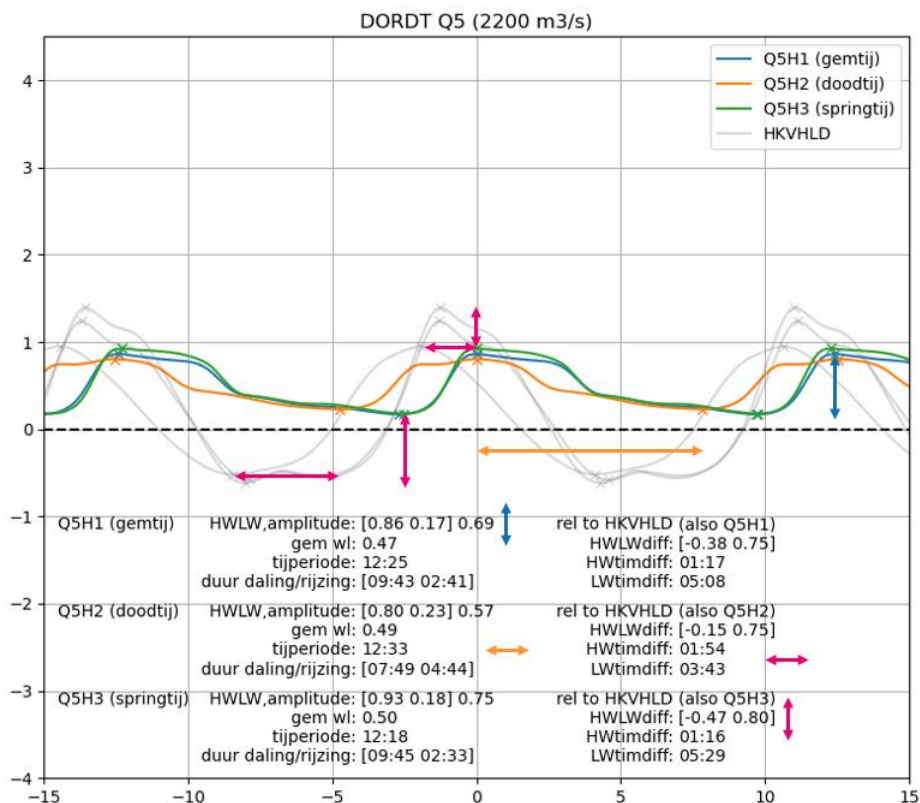
Figuur 4.9 Getijkrommen voor springtij te Hoek van Holland voor 1991.0 en 2011.0



Figuur 4.10 Getijkrommen voor doortij te Hoek van Holland voor 1991.0 en 2011.

4.4 Verschilanalyse modelberekening

In Figuur 4.11 is een voorbeeld gegeven van de gemiddelde getijkromme voor Dordrecht bij een afvoer van 2200 m³s. In elk van de grafieken zijn voor een afvoerniveau de drie verschillende getijdedefasen weergegeven in respectievelijk blauw (gemiddeld getij), oranje (doodtij) en groen (springtij). De maximale en minimale waterstand zijn weergegeven met kruisen. De gemiddelde getijkrommes van Hoek van Holland zijn op de achtergrond in grijs weergegeven en de timing ervan is geschaald ten opzichte van het meetstation. Hierdoor is visueel het tijdsverschil tussen Hoek van Holland en het station Dordrecht te zien. De betekenis van enkele kenmerkende waarden is geïllustreerd met behulp van hulpijnen, deze zullen in vervolfiguren niet meer worden getoond. De gemiddelde waterstand ('gem wl') is afgeleid uit de modelberekening.



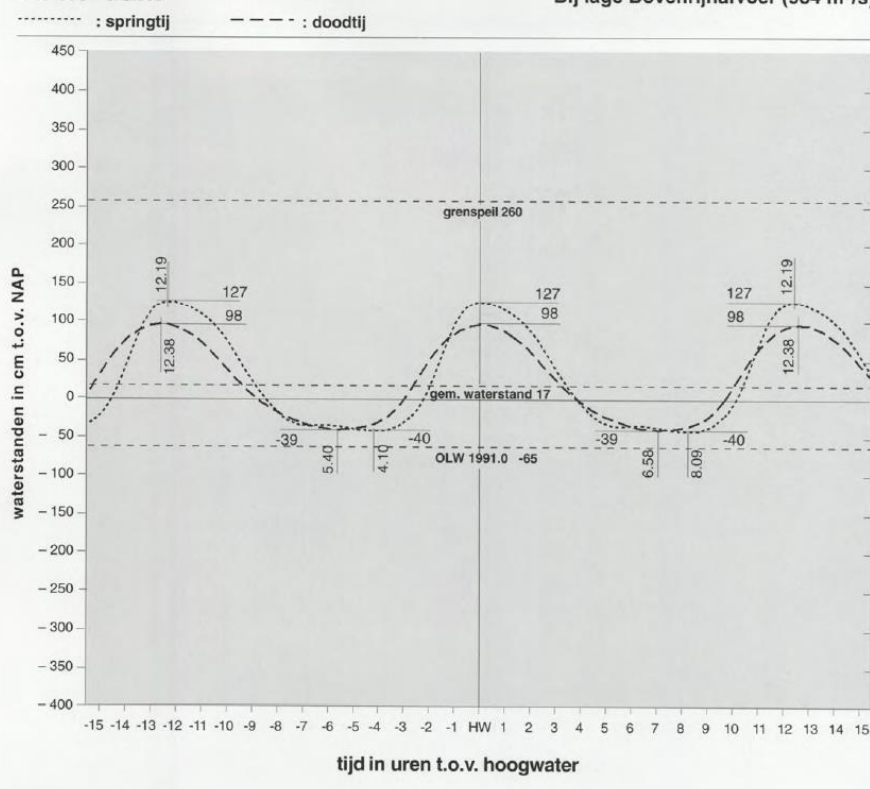
Figuur 4.11 Voorbeeldgrafiek met de gemiddelde getijkromme van Dordrecht uit 2011, in roze is het verschil in waterstand en tijd ten opzichte van Hoek van Holland aangegeven, in blauw is de getijamplitude weergegeven, de oranjebruine lijn geeft de getijperiode weer

In Figuur 4.12 tot en met Figuur 4.14 zijn voor drie stations (Rotterdam, Stellendam Buiten en Dordrecht) de resultaten van 2011 vergeleken met de gemiddelde getijkromme van 1991. De resultaten van 1991 zijn niet meer digitaal verkrijgbaar, waardoor een directe vergelijking niet mogelijk is en alleen een visuele vergelijking mogelijk is. Het doel van deze visuele vergelijking is het toetsen van de plausibiliteit van de nieuwe SOBEK-resultaten en om mogelijke verschillen te verklaren. Over het algemeen zijn de resultaten van 2011 en 1991 vergelijkbaar. De waterstand in 2011 ligt over het algemeen een paar centimeter hoger, dit komt waarschijnlijk doordat de gemiddelde getijkromme bij Hoek van Holland (randvoorwaarden voor SOBEK3) ook een paar centimeter hoger is in 2011. De vorm van het getij is ook grotendeels vergelijkbaar met 1991. Het grootste visuele verschil zit in de daling van hoogwater naar laagwater. Daar is een meer opvallende knik zichtbaar in de 2011 resultaten ten opzichte van 1991. Bij Rotterdam is ook de agger duidelijker aanwezig in 2011. Verschillen in de gebruikte SOBEK-RMM modelschematisatie kunnen een rol spelen in de vorm van het getij. Al met al lijken de resultaten voor 2011 plausibel en in timing en amplitude niet te afwijkend van de gemiddelde getijkromme van 1991.

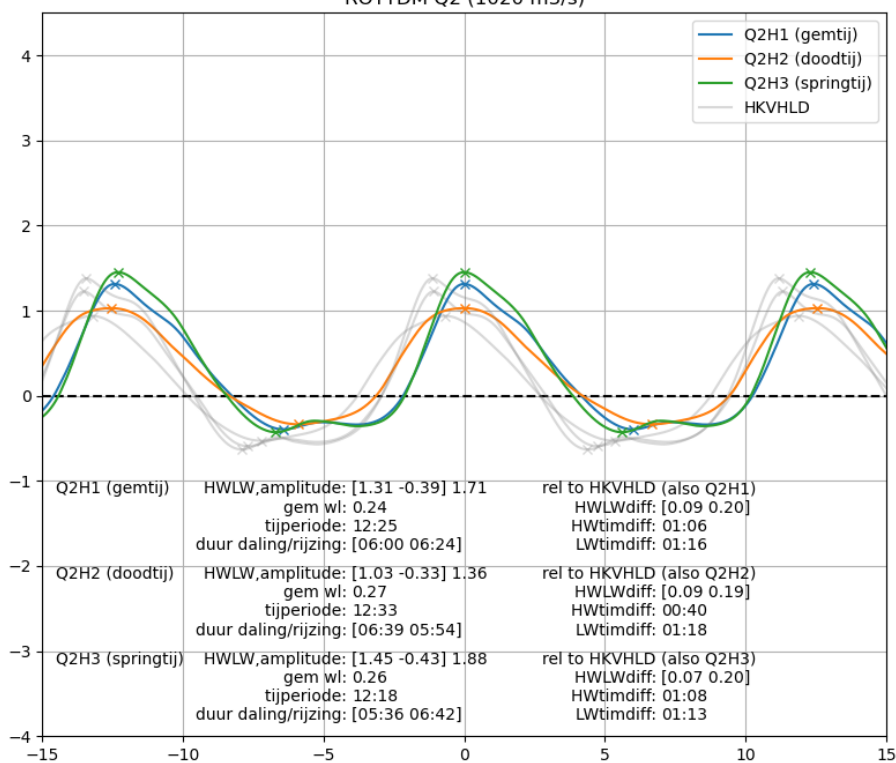
GEMIDDELDE GETIJKROMME 1991.0

Rotterdam

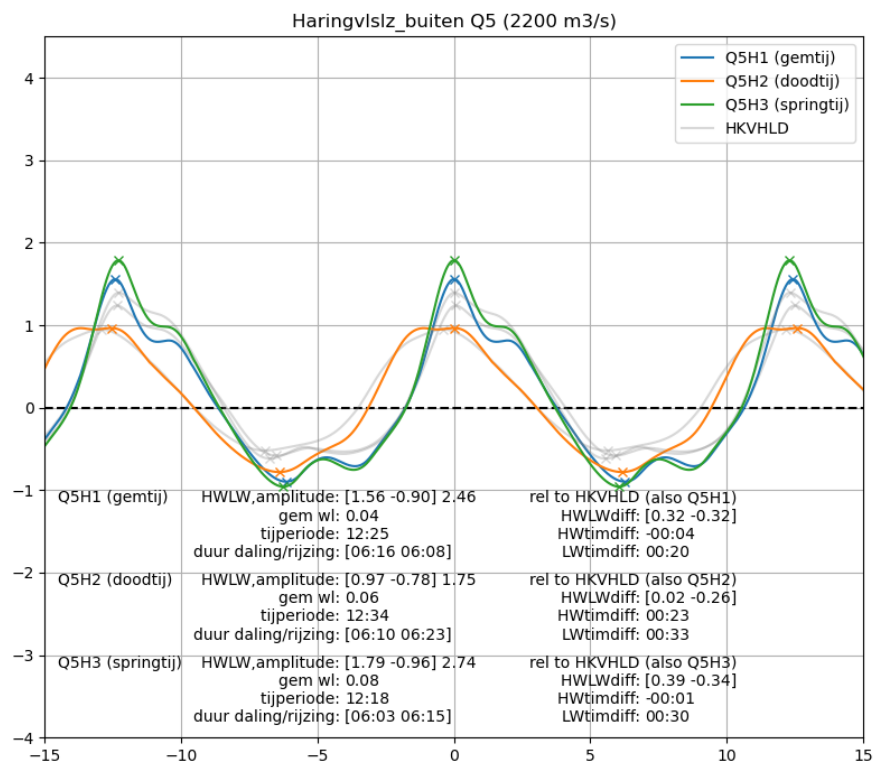
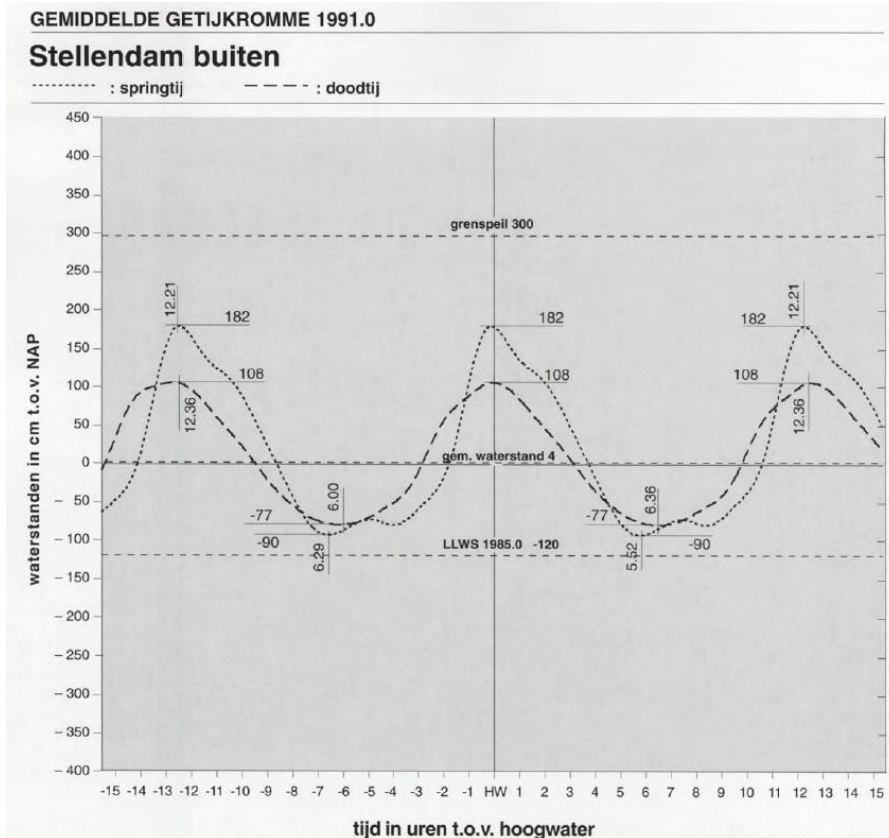
Bij lage Bovenrijnafvoer (984 m³/s)



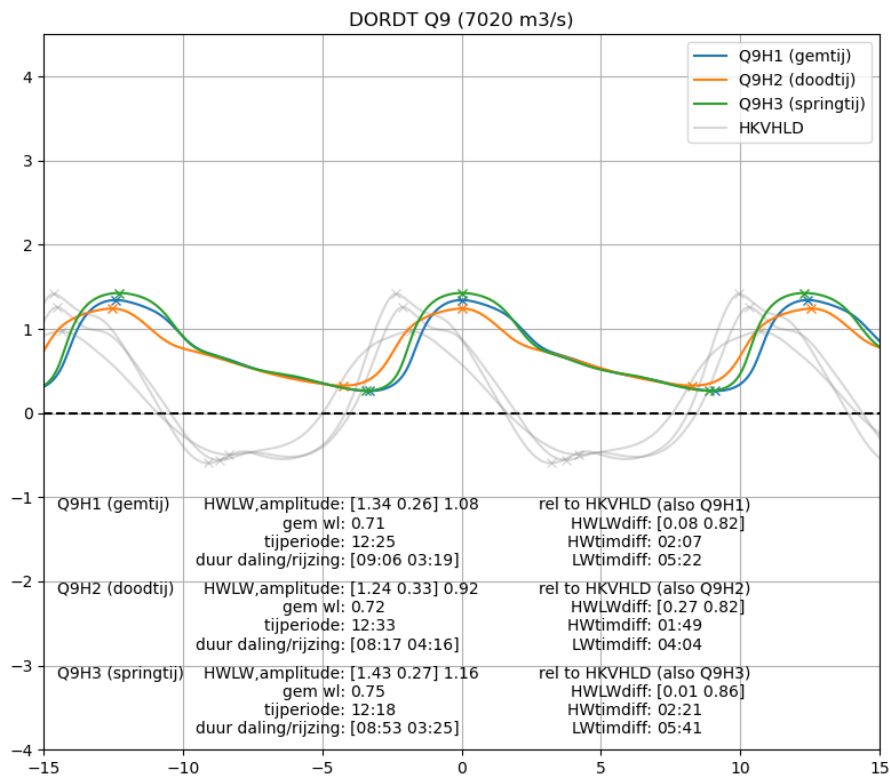
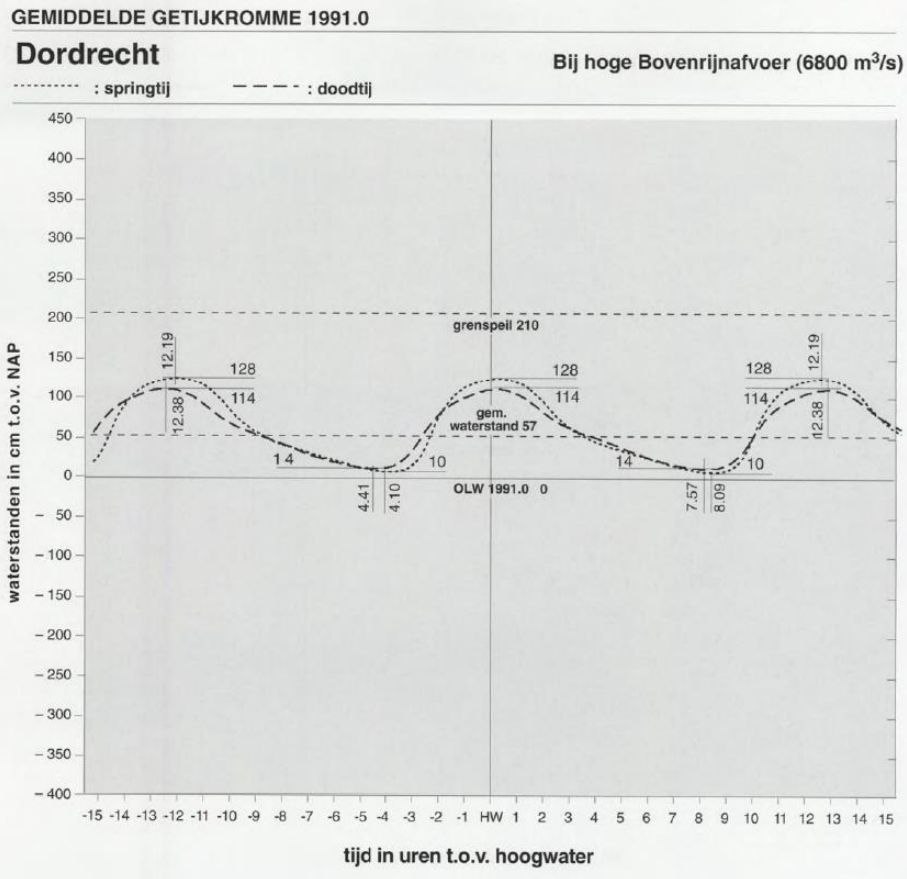
ROTTDM Q2 (1020 m3/s)



Figuur 4.12 Gemiddelde getijkromme voor Rotterdam uit 1991 (boven) en 2011 (onder) met kenmerkende waarden in het figuur opgenomen



Figuur 4.13 Gemiddelde getijkromme voor Stellendam buiten (Haringvliet-sluzen buiten) uit 1991 (boven) en 2011 (onder) met kenmerkende waarden in het figuur opgenomen

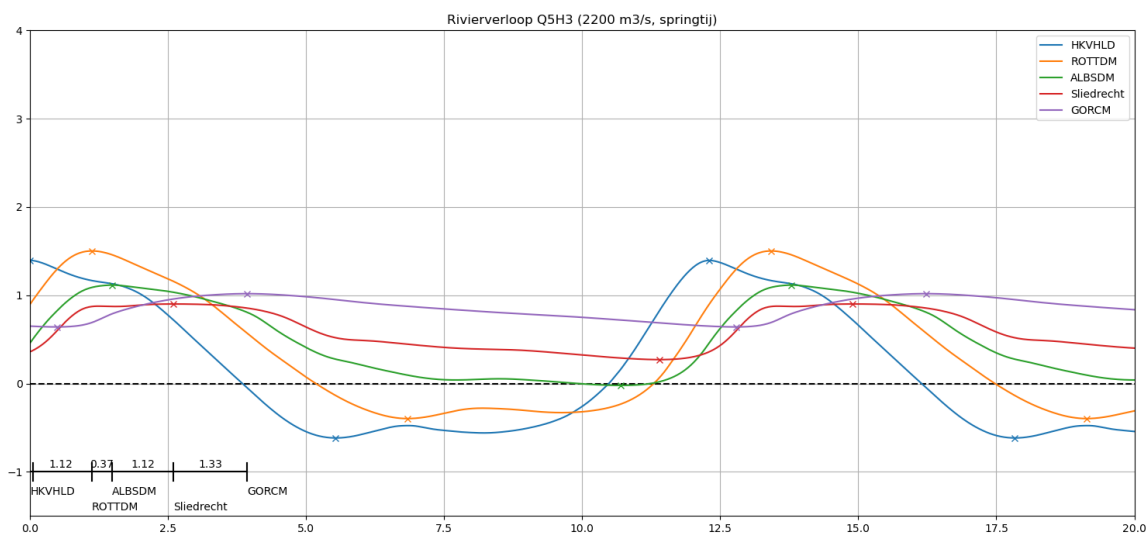


Figuur 4.14 Gemiddelde getijkromme voor Dordrecht uit 1991 (boven) en 2011 (onder) met kenmerkende waarden in het figuur opgenomen

4.5 Visualisatie kenmerkende waarden

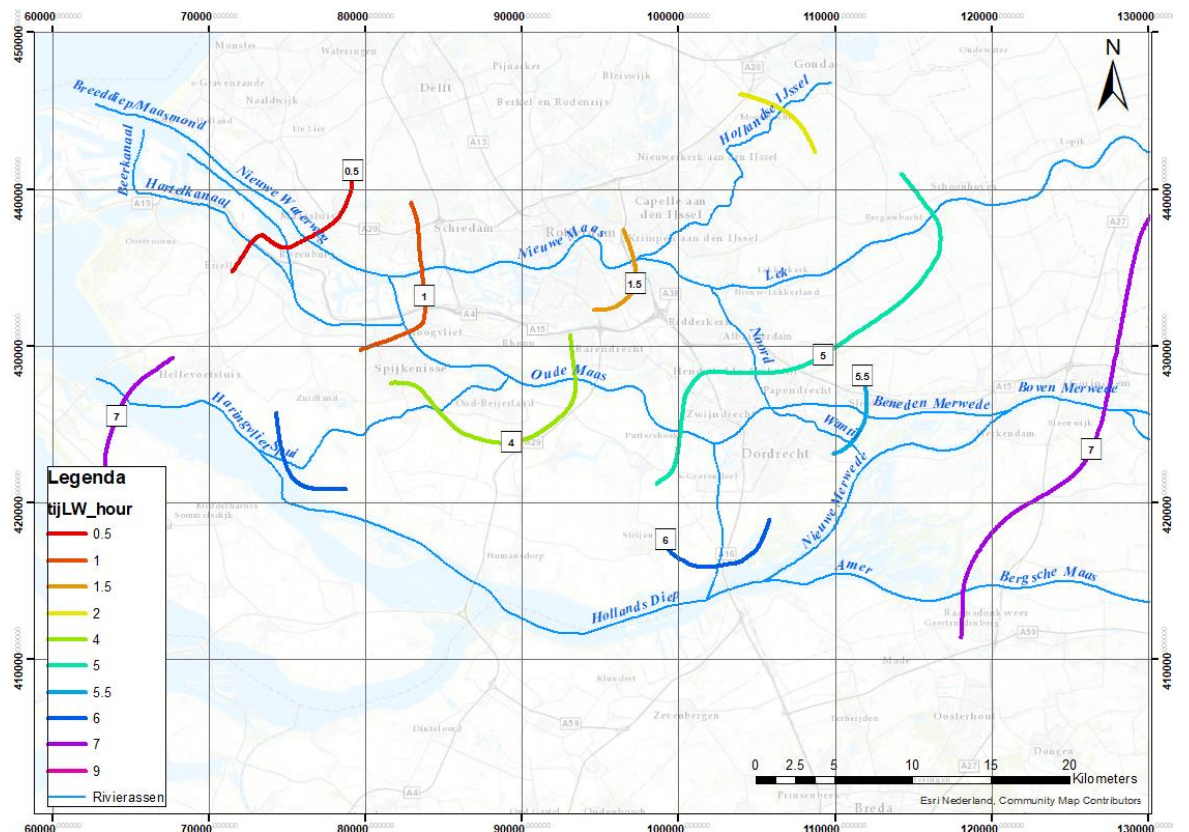
Naast de tabellen die in het gele boekje (Rijkswaterstaat, 2019, Tabel II) worden opgenomen zijn er meerdere methodes te bedenken om de systeemeigenschappen van de Rijn-Maasmonding te beschrijven. Alle waarden die in de tabellen opgenomen moeten worden, zijn nu opgenomen in de grafieken en uitgevoerd als aparte csv-bestanden. Er zijn nu twee andere visualisatie methoden bedacht en gepresenteerd om de tabellen en grafieken aan te vullen.

De eerste methode is om voor een afvoerniveau en getidekromme meerdere stations op een riviertak te visualiseren (Figuur 4.15). Hierdoor wordt het verloop van het getij over het traject Hoek van Holland tot Gorinchem in een oogopslag duidelijk en is de afvlakking van het getij goed zichtbaar. Dit figuur geeft de gebruikers ook een indicatie van het tijdsverschil van de extreme waterstanden. Deze informatie kan van belang zijn voor schippers die proberen met het getij mee te varen om zo brandstof te besparen of rekening moeten houden met doorvaarhoogtes bij bruggen en viaducten.



Figuur 4.15 Verloop getij over een riviertak bij springtij, de tijd tussen de hoogwaters van de verschillende stations is in het figuur aangegeven

Een andere methode is om de kenmerkende waarden ruimtelijk weer te geven (Figuur 4.16). Deze kaart geeft met lijnen dwars op de rivier het tijdsverschil in uren ten opzichte van Hoek van Holland weer. Het tijdsverschil laat zien hoe snel het getij binnendringt en hoe het zich verspreidt over de verschillende riviertakken van de Rijn-Maasmonding. Enkele van deze kaarten zijn nu al opgenomen in het gele boekje en kunnen worden geüpdatet op basis van de kenmerkende waarden van 2011. De “isolijnen” worden gemaakt met behulp van shapefiles waardoor Rijkswaterstaat ook op andere manieren deze data kan ontsluiten.



Figuur 4.16 Voorbeeld van een tijdsverschil kaart, in dit geval is het tijdsverschil ten opzichte van Hoek van Holland bepaald

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In 2019 is begonnen met het afleiden van de kenmerkende waarden voor 2011 in de Rijn-Maasmonding. Hiervoor is eerst een uitgebreid overzicht gemaakt van de te volgen methodiek, ook met de wensen van de gebruikers in het achterhoofd. Naar aanleiding van suggesties van Koos Doekes en Douwe Dillingh is in 2020 verder gewerkt aan verfijning en analyse van verschillende onderdelen van de methodiek, waaronder PLSS-analyse tool, verschuiving waterstand Haringvliet, verfijning indeling van uurklassen, aangepaste methodiek voor eerste LW. Onderstaande rapportage beschrijft de laatste resultaten op basis van deze verfijningen, de conclusies op basis daarvan worden hieronder samengevat.

De gebruikte versimpelde methodiek voor het afleiden van de havengetallen slaagt erin om de havengetallen voor hoog en laagwater voor 1991 en 2011 redelijk te reproduceren. De maximale verschillen bij de reproductie van havengetallen is 13 minuten en 4 centimeter voor 1991.0 en 6 minuten en 5 centimeter voor 2011.0. Het tijverschil is maximaal 7 centimeter voor 1991.0 en maximaal 6 centimeter voor 2011.0. Voor Hoek van Holland en Haringvliet 10 (de randvoorwaardenstations) is het tijverschil 3 centimeter voor 2011.0. Ook de vorm van de met deze methodiek opnieuw afgeleide aardappelgrafieken voor 1991.0 komt redelijk overeen met de validatiedata.

Op basis van de oorspronkelijke documentatie (RIKZ, 1994) is het gelukt om volgens nagenoeg dezelfde methodiek getijkrommen op te stellen voor Hoek van Holland en Haringvliet 10 voor 2011. Deze exercitie heeft de methodiek verduidelijkt, waardoor dit vrij eenvoudig te herhalen is voor andere kuststations. De resulterende krommen van gemiddeld getij, springtij en doortij voor 2011.0 komen qua vorm en dimensie goed overeen met de krommen voor 1991.0. Dit geeft vertrouwen in het resultaat. Om de uiteindelijke slotgemiddelden uit de havengetalberekening te schalen, is gebruik gemaakt van de in Dillingh (2013) bepaalde correctiefactoren voor het jaar 2011 en is de PLSS-analyse opnieuw uitgevoerd. Hierdoor kwamen de resultaten nog dichterbij de oorspronkelijke resultaten te liggen. Deze PLSS-analysemethodiek is binnen dit projectkader niet verder bekeken en is om die reden ook nog niet reproduceerbaar voor andere jaren dan 2011.

De gemiddelde getijkrommen van Hoek van Holland en Haringvliet10 zijn gebruikt voor 30 modelberekeningen (3 getijkrommen, 10 afvoerniveaus) om ook voor het binnengebied van de Rijn-Maasmonding de kenmerkende waarden af te kunnen leiden. De modelresultaten bieden de mogelijkheid om in de gehele Rijn-Maasmonding resultaten te exporteren. Een eerste analyse laat zien dat de gemiddelde getijkrommen vergelijkbaar zijn met de krommen uit 1991. De verschillen tussen 1991 en 2011 (de waterstand in 2011 ligt over het algemeen een paar centimeter hoger) zijn te verklaren ten gevolge van de hogere waterstand bij Hoek van Holland voor 2011 en de aanpassingen in het gebied tussen 1991 en 2011.

5.2 Aanbevelingen

In deze studie zijn de methodieken voor het afleiden van de verschillende kenmerkende waarden in kaart gebracht en opnieuw (eventueel aangepast) ingezet en getoetst. Dit faciliteert het afleiden van de kenmerkende waarden voor 2021.0 en verder. Wel zijn er nog een paar openstaande punten, waarvoor aanbevelingen zijn opgesteld.

Methode havengetallen:

- Om de havengetallen te berekenen wordt nu de maansculminatie als referentie gebruikt. Eerder werden voor getijanalyse ook maansculminaties gebruikt, maar later is men overgestapt naar harmonische analyse. Het is simpeler en wellicht mogelijk om in plaats van de maansculminatie, de M2 fase als referentie te nemen. Het wordt aanbevolen deze mogelijke versimpeling te onderzoeken.
- Bij gebruik van de maansculminatie is de berekening afhankelijk van het Fortran-programma ASTROG. Het wordt aanbevolen dit programma beschikbaarder te maken en de uitvoer beter bruikbaar in het geautomatiseerde proces. Binnen hatyan B&O 2021 is opgenomen ASTROG over te zetten naar Python en onder te brengen bij hatyan.
- De dataset met extremen (hoogwater, 1e laagwater, agger, 2e laagwater) is voor de betreffende 10 jaar ten behoeve van kenmerkende waarden voor peiljaar 2011 aangeleverd door RWS. Voor kenmerkende waarden wordt in overeenstemming met de literatuur steeds het eerste laagwater gebruikt om havengetallen af te leiden, waar in veel andere RWS-processen het dominante laagwater wordt gebruikt. In het nieuwe hatyan wordt op dit moment geen onderscheid gemaakt tussen eerste/tweede laagwaters, enkel de extremen worden uitgevoerd. Er kunnen wel 'lokale' minima en maxima worden uitgevoerd, maar de vertaling naar eerste/tweede ontbreekt en het is niet duidelijk hoe dit in dia (DONAR) of netCDF zou moeten worden opgeslagen om deze data bij RWS op te kunnen slaan. Het is daarnaast niet evident om de extremen opnieuw zelf te berekenen, omdat die met het nieuwe hatyan van 1-minuut tijdreeksen moeten worden afgeleid en deze vermoedelijk niet standaard opgeslagen zullen worden voor alle jaren. Het wordt aanbevolen de berekening van het eerste laagwater op te nemen in hatyan, of de processen voor extremenberekening en kenmerkende waarden op een andere manier uit te lijnen.

Methode PLSS:

- Binnen dit project is niet verder gekeken naar de PLSS-methodiek. Om de slotgemiddelden uit de havengetalberekening te corrigeren is gebruik gemaakt van een eerder ontwikkelde MATLAB-toolbox van Dillingh (2013) en de destijds bepaalde correctiefactoren. De onderliggende techniek en methodiek van deze toolbox is niet geverifieerd.
- De invoer voor het bepalen van de PLSS-trendlijn is overgenomen van Dillingh (2013). Dit bestaat uit reeksen met hoog-, laagwaters en middenstanden per jaar. Uit deze data is de 18,6-jaarlijkse cyclus gefilterd. Er is niet uitgezocht hoe dit toentertijd exact gedaan is. Deze tijdreeksen zijn niet beschikbaar voor 2021, dus hier moet in de nabije toekomst nog in meer detail naar gekeken worden.

6 Referenties

- Dillingh, D. (2013), Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren, Deltares rapport 1207509-000-ZKS-0010, versie 4, 6 november 2013
- Van Veen, C.J. (2006), Waterstandsfrequenties in de Rijn-Maasmonding, HKV rapport PR1162.10, definitief, december 2006
- De Goederen, S., Fioole, A. (2003), Trendanalyse waterstanden Benedenrivierengebied 1971-2001. RIZA werkdocument 2003.178X, RIZA, Dordrecht
- Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ (1994), Gemiddelde Getijkromme 1991.0, ISBN 90-369-0453-6, Den Haag 1994
- RWS Centrale Informatievoorziening (2013), Kenmerkende waarden – Getijgebied 2011.0, ongeclassificeerd
- Veenstra, J., Kerkhoven, D. (2020), Gebruikershandleiding hatyan getijanalyse in Python, Deltares rapport 11205257-013-DSC-0006, 14 december 2020
- Rijkswaterstaat (2015). Handleiding S000004 Astrog. Uitgegeven door CIV OSR-WMO, 12 november 2015
- Rijkswaterstaat (2019), Getijtafels voor Nederland, 16 oktober 2018, ISBN 978-9012403191, Sdu Uitgevers

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl