
De kwaliteit van stormwaarschuwingen voor het IJsselmeergebied

Een studie naar de sturingscriteria voor veiligheid binnen
Operationalisering Flexibel Peil IJsselmeergebied

BSc-scriptie Civiele Techniek
Joost Haveman
S1724029

University of Twente

24-01-2020

Opdrachtgever:



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'Kwaliteit van de sturingscriteria voor veiligheid binnen Operationalisering Flexibel Peil IJsselmeergebied' ter afronding van de Bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Dit onderzoek is uitgevoerd in de periode van november 2019 tot en met januari 2020 in opdracht van Rijkswaterstaat.

Om te beginnen wil ik Martijn Booij van afdeling Water Management & Engineering van Universiteit Twente en Ellen Claessens, senior-adviseur Crisismanagement van Rijkswaterstaat bedanken dat ze mij in de gelegenheid hebben gesteld om dit afstudeeronderzoek te doen en voor de ondersteuning die ik daarbij gekregen heb.

Ik wil ik mijn externe begeleider Annette Zijderveld, en interne begeleiders Hans Hartholt en Bas Borsje hartelijk bedanken voor de steun en feedback die zij vooraf en gedurende mijn afstudeerstage gegeven hebben zodat ik deze afstudeeropdracht succesvol kon uitvoeren.

Tot slot wil ik de medewerkers van Rijkswaterstaat bedanken voor het creëren van een prettige werksfeer en voor hun behulpzaamheid.

Lelystad, januari 2020,
Joost Haveman

Samenvatting

Het is algemeen bekend dat Nederland een waterrijk land is dat voor een groot deel onder zeeniveau ligt. Het veranderende karakter van het klimaat zorgt bovendien voor grotere weersextremen en stijging van het zeeniveau waardoor potentieel overstromingsgevaar in Nederland toeneemt. Rijkswaterstaat Lelystad streeft naar het beperken van dit gevaar, onder andere door tijdig hoogwaterwaarschuwingen te sturen zodat zekere maatregelen getroffen kunnen worden.

Enkele van de belangrijkste representatieve factoren voor het bepalen van overstromingsgevaar is hoe hoog water het land op komt en hoe veel van dit water een dijk over komt. Desondanks worden hoogwaterwaarschuwingen door Rijkswaterstaat momenteel hoofdzakelijk gebaseerd op waterstandvoorspellingen. Dit brengt onzekerheid met zich mee, wat kan leiden tot het geven van 'valse alarmen' of 'gemiste' stormen.

Het doel van deze scriptie is dan ook om inzicht te geven in deze onzekerheid door de kwaliteit van de huidige veiligheidsmaatregelen binnen het huidige Peilbesluit te onderzoeken. Aansluitend op dit doel zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

"In hoeverre zijn de huidige sturingscriteria voor veiligheid binnen 'Operationalisering Flexibel Peil' IJsselmeergebied nauwkeurig voor het tijdig anticiperen op stormen"

- (1) Welke veiligheidsmaatregelen zijn getroffen in het kader van 'Operationalisering Flexibel Peil'?
- (2) Wat is de kans dat Rijkswaterstaat foutpositieve en foutnegatieve waarschuwingen uitgeeft?
 - a. Hoeveel procent van de voorspellingen is foutpositief?
 - b. Hoeveel procent van de voorspellingen is foutnegatief?
- (3)
 - a. Welke gevolgen heeft de vroegtijdigheid van voorspelling voor de kwaliteit ervan?
 - b. Hoe ver van tevoren wordt er doorgaans gewaarschuwd?

Aan de hand van literatuuronderzoek en na overleg met enkele deskundigen kon in kaart worden gebracht hoe de veiligheid in acht wordt genomen binnen het nieuwe Peilbesluit. De veiligheidsmaatregelen binnen het kader van het nieuwe Peilbesluit komen tot uiting in Peilbeheer, dat wil zeggen het anticiperen op hoogwater via het organiseren van keuzemomenten en het maximaal lozen van water in de wintermaanden. Wegens het feit dat waarschuwingen voornamelijk gebaseerd zijn op waterstanden, zijn er binnen Rijkswaterstaat overschrijdingswaarden bepaald voor elke locatie die maatgevend zijn voor potentieel overstromingsgevaar.

Om te onderzoeken hoe effectief deze maatregelen zijn en om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag is er aan de hand van historische gegevens onderzocht hoe de juistheid van waarschuwingen/voorspellingen in het verleden is verlopen. Deze juistheid komt neer op de percentages foutpositieve en foutnegatieve voorspellingen. In dit onderzoek is hiervoor eerst een selectie gemaakt van meetlocaties die voldoende representatief is voor het IJsselmeergebied. Vervolgens zijn van deze locaties de historische meetgegevens en voorspelde gegevens onderzocht voor zowel een selectie van stormen waar zittingen voor gehouden zijn, als voor de algehele voorspel- en meetgegevens van de afgelopen jaren. Voor de stormen waar zittingen voor gehouden zijn is onderzocht waar en wanneer gewaarschuwd is, en is vervolgens aan de hand van de historische gegevens gecontroleerd of de waarschuwingen terecht bleken, of dat er een storm 'gemist' was. Voor de algehele gegevens zijn alle beschikbare voorspelde gegevens met de daarbij behorende meetgegevens per tijdstap (van 24 oktober 2017 t/m 22 november 2019) bij elkaar gezet, en met behulp van Excel bepaald hoeveel 'valse alarmen' en 'gemiste' stormen er geweest zou zijn gebaseerd op de overschrijdingswaardes van de waterstanden. Tot slot zijn deze gegevens gebruikt om antwoord te geven op de vraag *Welke gevolgen heeft de vroegtijdigheid van voorspelling voor de kwaliteit ervan?*

Uit de zittingen bleek dat de voorspellingen voor waterstanden over het algemeen nauwkeurig waren, omdat er geen stormen 'gemist' zijn. De resultaten van de algehele voorspel- en meetgegevens wat betreft percentages 'valse alarmen' en 'gemiste' stormen zijn vooral indicatief, wegens het ontbreken van oordeel dat hydrologen in werkelijkheid zouden maken voordat ze een waarschuwing de deur uit doen. Deze resultaten geven wel aan dat er geen gevaarlijke situaties opdoen wat betreft het 'missen' van stormen op een aantal korte uitschieters na. De vroegtijdigheid blijkt uit de grafieken uit Matroos dat 12 uur vooruitkijkend nauwkeurig de waterstanden voorspeld konden worden, maar dat 24 uur vooruitkijken vaker leidt tot onnauwkeurigheden. Aangezien Rijkswaterstaat uiterlijk 12 uur van tevoren waarschuwingen uitgeeft kan men stellen dat hier geen moeilijkheden uit voortkomt.

Al met al kunnen er geen zekere conclusies getrokken worden vanwege de opeenstapeling van onzekerheden. Echter zou men kunnen stellen dat ondanks het ontbreken van meetgegevens voor golfoploop, de voorspelbaarheid op basis van waterstanden goed opgevangen wordt door de sturingscriteria voor veiligheid.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Onderzoeksgebied	8
1.2	Probleemstelling	8
1.3	Doel en onderzoeksvragen	9
2	Onderzoekskader	10
2.1	Peilbesluit	10
2.2	Flexibel peilbeheer	11
2.3	Spuien	11
2.3.1	Rivierafvoer	12
2.4	WAQUA	12
2.5	Foutpositief en foutnegatief	13
2.6	Zittingen	13
2.7	Veiligheidsmaatregelen	14
3	Methodologie	15
3.1	Zittingen	15
3.2	Historische gegevens	15
3.2.1	Stormen en alarmen	16
3.2.2	'gemiste' stormen	16
3.2.3	'valse alarmen'	16
4	Resultaten	17
4.1	Zittingen	17
4.2	Historische gegevens	17
5	Discussie	20
5.1	Reflectie	20
5.1.1	Zittingen	20
5.1.2	Historische gegevens	20
5.2	Onzekerheden	20
5.2.1	Systeemonzekerheid	20
5.2.2	Peilfluctuaties	21
5.2.3	Interpretatie voorspellingen	21
5.2.4	Belang van tijdig waarschuwen	21
5.2.5	Historische gegevens	21
5.3	Vervolgonderzoek	22
5.3.1	Golfmetingen	22
5.3.2	Golfdimensies	22
5.3.3	Waterbeheer	22
6	Conclusie	23

6.1	Aanbeveling.....	23
Bijlage A	- Relevante meetlocaties.....	25
Bijlage B	- Grenswaarden voor waarschuwingen	27
Bijlage C	- Overzicht zittingen.....	29
	Gegevens Matroos met betrekking tot zittingen	30
Bijlage D	- Historische gegevens.....	36
Bijlage E	- Figuren waterstanden	43

Begrippenlijst

Tabel 1 Begrippenlijst

Begrip	Uitleg/Definitie
Alarmniveau	Mate van ernst van het alarm: codes Geel, Oranje en Rood
Golfoploop	De inkomende golfhoogte die te verwachten is aan de kust of tegen een dijk
Golfoverslag	Het debiet van golven per strekkende meter dat over de dijk komt
Kruinhoogte	De hoogte van de bovenkant van een dijklichaam
Matroos	Een web-based distributiesysteem van de operationele verwachtingen van waterstanden, stroming, debieten en golven, van onder meer het Watermanagementcentrum Nederland
Peilbesluit	Een bestuurlijk besluit voor het jaarlijks beheer van het waterpeil
Rivierafvoer	Debiet van een rivier (hoeveelheid rivierwater per tijdseenheid)
RWsOS-Meren	
Scheefstand	Het verschil in waterhoogten binnen een waterlichaam als gevolg van wind
Spuien	Het lozen van water naar een ander waterlichaam
Waterbalans	De verandering van de hoeveelheid water in een systeem per tijdseenheid
Zitting	Een overleg dat gehouden wordt voorafgaand aan een verwachte storm om de meteorologische omstandigheden te bespreken

Afkortingenlijst

Tabel 2 Afkortingenlijst

Begrip	Uitleg/Definitie
Bft	Schaal van Beaufort, classificatie windsnelheden
FN	False Negative (foutnegatief), een foutieve negatieve uitkomst
FP	False Positive (foutpositief), een foutieve positieve uitkomst
NAP	Normaal Amsterdams Peil, referentiehoogte voor waterhoogten
TN	True Negative (waar-negatief), een correcte negatieve uitkomst
TP	True Positive (waar-positief), een correcte positieve uitkomst



Figuur 1 De Ramspolkering bij Kampereiland in gesloten stand (de Stentor, 2019)

Op 11 maart 2019 zijn naar aanleiding van een stormachtige noordwestenwind door Rijkswaterstaat diverse waarschuwingen uitgegeven, waardoor na waarschuwingen de Ramspolkering (Figuur 1) bij Kampereiland op gesloten en de Grote Kolksluis bij Zwartsluis op kerende stand is gezet. Het relatief hoge meerpeil van -10 cm NAP van het IJsselmeer in combinatie met de sterke noordwestenwind (8 Bft) en de relatief hoge rivieraftvoer vanuit de Vecht en IJssel zorgden die dag voor hoge lokale waterpeilen in de IJssel-Vechtdelta.

Gevallen zoals deze zijn niet onbekend voor een waterrijk land als Nederland. De vrees bestaat dat klimaatverandering hand in hand gaat met grotere weersextremen, meer bodemverzakkingen en een stijging van het zeeniveau. Hierdoor neemt de kans op schade en levensverlies door overstromingen toe, en worden vloedpreventie en waarschuwingsprocedures steeds belangrijker.

Verantwoordelijk voor de algemene waterveiligheid in het IJsselmeergebied is Rijkswaterstaat. Dit is de uitvoeringsorganisatie van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Rijkswaterstaat werkt dagelijks aan een veilig, leefbaar en bereikbaar Nederland. Rijkswaterstaat IJsselmeergebied heeft als taak goed waterbeheer te realiseren voor het IJsselmeergebied en de grotere rivieren, en om in gevallen zoals in het bovengenoemde voorbeeld betrokken instanties tijdig in te lichten wanneer gevaarlijke weersomstandigheden verwacht worden. (Rijkswaterstaat, Nederland, sd)

1.1 Onderzoeksgebied

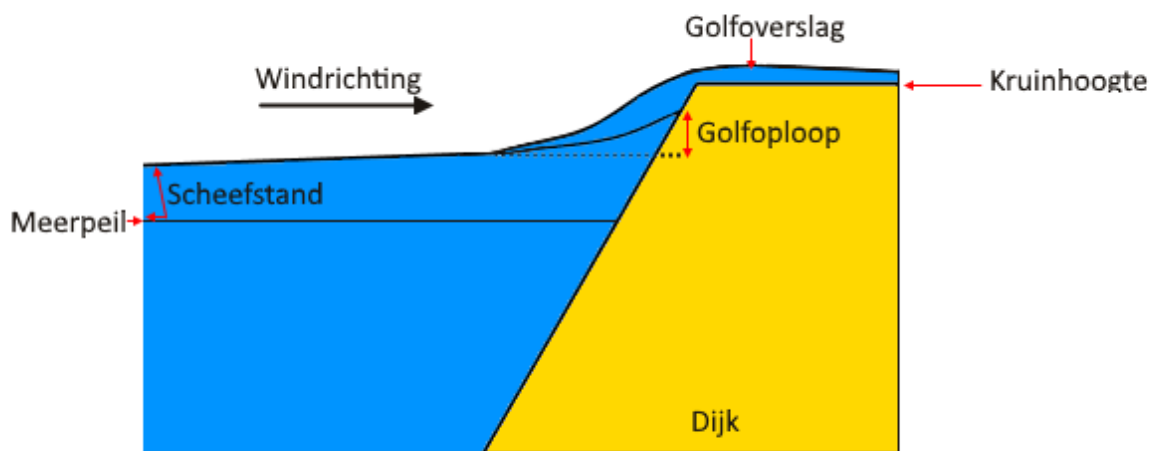
Goede waarschuwingssystemen staan of vallen met de kwaliteit ervan. Daarom wil Rijkswaterstaat IJsselmeergebied de kwaliteit van zijn huidige waarschuwingssystemen onder de loep nemen. Directe aanleiding hiervoor was het nieuwe flexibele Peilbesluit dat in 2018 van kracht werd. Het IJsselmeergebied is een vlak gebied dat hoofdzakelijk bestaat uit het IJsselmeer en het Markermeer. Deze twee meren worden gescheiden door de Houtribdijk. De meren vormen unieke waterlichamen. Voor de aanleg van de Afsluitdijk vormden deze gebieden samen met de polders de Zuiderzee. In Figuur 2 vindt u een schematische weergave van het IJsselmeergebied. Rijkswaterstaat draagt in dit gebied de verantwoordelijkheid voor de zoetwaterhuishouding en het waterbeheer. Een voorbeeld van dit waterbeheer is het peilbeleid. In dit beleid wordt uiteengezet hoe geanticipeerd kan worden op verwachte waterstanden door het lozen van water.



Figuur 2 Schematische weergave IJsselmeergebied

1.2 Probleemstelling

Om te voorkomen dat de algemene veiligheid in het geding komt, is het van belang dat overstromingsrisico's en de kans op schade aan alle dijkvlakken worden bepaald. Belangrijke factoren hierbij zijn de golfploop en golfoverslag. Golfploop is de inkomende golfhoogte die te verwachten is aan de kust of tegen een dijk, en golfoverslag is het debiet van golven per strekkende meter dat over de dijk komt (Rijkswaterstaat, Nederland, sd). Deze factoren kunnen bepaald worden als de invloed van windrichting en windkracht op golven bekend zijn. Echter worden uitgegeven waarschuwingen doorgaans voornamelijk gebaseerd op verwachte waterstanden omdat er (nog) geen betrouwbare voorspellingen van golfplopen geproduceerd kunnen worden. Deze onzekerheid kan leiden tot het 'missen' van stormen of het afgeven van 'valse alarmen'. Het 'missen' van stormen kan ernstige situaties tot gevolg hebben aangezien instanties dan niet of te laat gewaarschuwd worden. Wat dat betreft zijn 'valse' alarmen minder erg. Maar het te vaak afgeven van 'valse alarmen' kan leiden tot het afnemen van de algemene geloofwaardigheid van deze waarschuwingen. Daarom moest er naar aanleiding van het nieuwe Peilbesluit meer duidelijkheid komen over de effectiviteit van waarschuwingen.



Figuur 3 Schematische weergave golfploop en golfoverslag in combinatie met scheefstand

1.3 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van deze scriptie is om naar aanleiding van het nieuwe Peilbesluit IJsselmeergebied inzicht te bieden in de kwaliteit van de huidige waarschuwingsmaatregelen. Deze kwaliteit wordt hoofdzakelijk gekenmerkt door de juistheid van de voorspellingen en van de daarbij verstrekte informatie. De juistheid van waarschuwingen kan worden bepaald door na te gaan hoe vaak ten onrechte is verzuimd om stormwaarschuwingen uit te laten gaan en hoe vaak deze ten onrechte zijn uitgegeven. Het gaat hierbij om stormen die overstromingen tot gevolg hebben gehad of tot gevolg hadden kunnen hebben. Met dit verkregen inzicht kunnen eventuele oplossingen besproken worden. Voor dit doel is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

“In hoeverre zijn de huidige sturingscriteria voor veiligheid binnen ‘Operationalisering Flexibel Peil’ IJsselmeergebied nauwkeurig voor het tijdig anticiperen op stormen”

Om gestructureerd antwoord te kunnen geven op deze hoofdvraag, is deze hoofdvraag opgedeeld in de volgende onderzoeksvragen:

(1) *Welke veiligheidsmaatregelen zijn getroffen in het kader van ‘Operationalisering Flexibel Peil’?*

Omdat het belangrijkste doel van dit onderzoek is inzicht te geven in hoeverre de algemene veiligheid in het nieuwe Peilbesluit voldoende wordt gewaarborgd, is deze onderzoeksvraag geformuleerd om te verduidelijken welke veiligheidsmaatregelen met de huidige sturingscriteria van kracht zijn. Daarnaast is deze vraag bedoeld om in kaart te brengen of deze maatregelen voldoende mogelijkheid bieden om op lange en korte termijn adequaat te anticiperen en te reageren op hoogwater.

(2) *Wat is de kans dat Rijkswaterstaat foutpositieve en foutnegatieve waarschuwingen uitgeeft?*

- a. *Hoeveel procent van de voorspellingen is foutpositief?*
- b. *Hoeveel procent van de voorspellingen is foutnegatief?*

De juistheid van de gemaakte voorspellingen kan worden onderzocht aan de hand van historische gegevens. Daarbij kan worden gekeken naar het percentage ‘gemiste’ stormen, en het percentage ‘valse alarmen’. Deze voorspellingen zijn hierbij onderverdeeld in foutnegatief en foutpositief. De termen worden in het theoretisch kader nader toegelicht.

(3)

- a. *Welke gevolgen heeft de vroegtijdigheid van voorspellingen voor de kwaliteit ervan?*
- b. *Hoe ver van tevoren wordt er doorgaans gewaarschuwd?*

Hoe verder in de toekomst gekeken wordt, des te onzekerder voorspellingen worden. Daarom is het relevant te onderzoeken hoe de vroegtijdigheid van de voorspelling invloed heeft op de kwaliteit van de waarschuwingen. Daarbij is het relevant te weten hoe ver er doorgaans in eerste instantie een waarschuwing de deur uitgaat en hoe kort van tevoren er uiterlijk gewaarschuwd wordt.

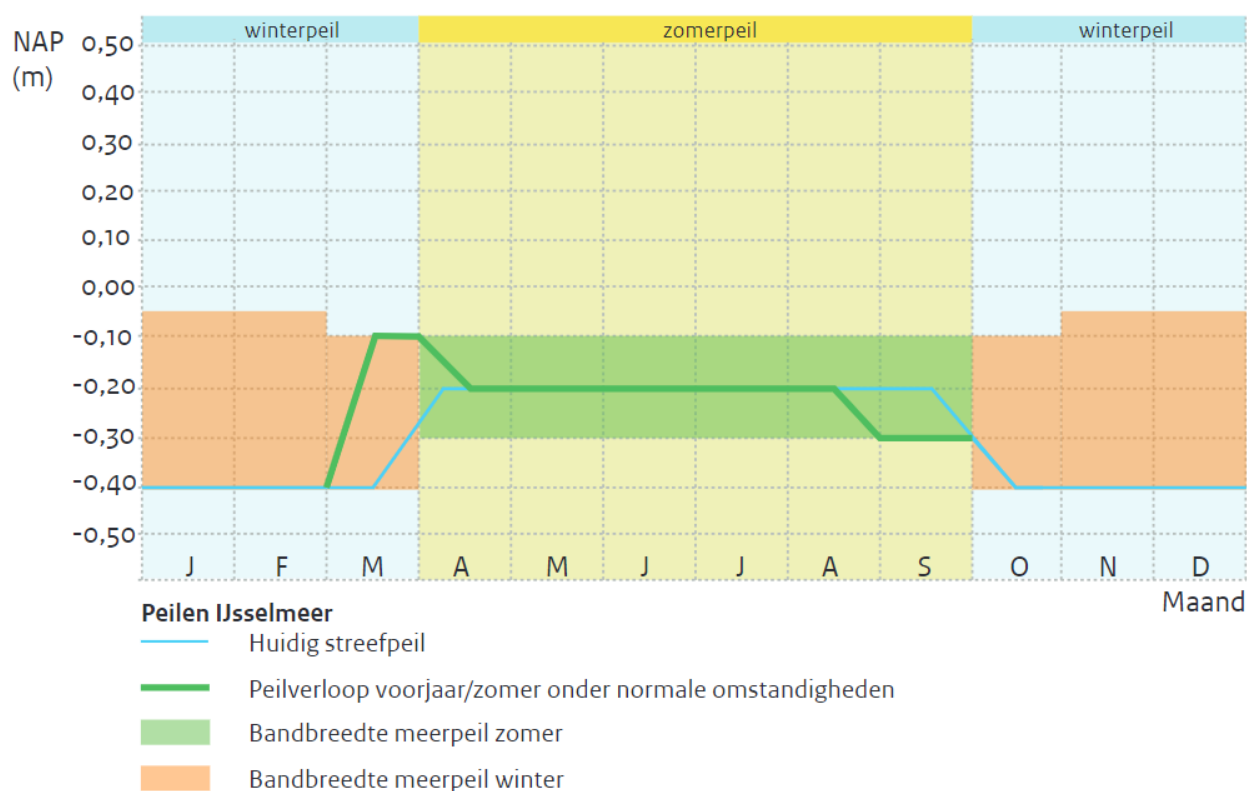
2 Onderzoekskader

Enkele elementen die essentieel zijn voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen en enkele aspecten die in de inleiding aan bod zijn gekomen, worden in dit onderzoekskader uitgelegd.

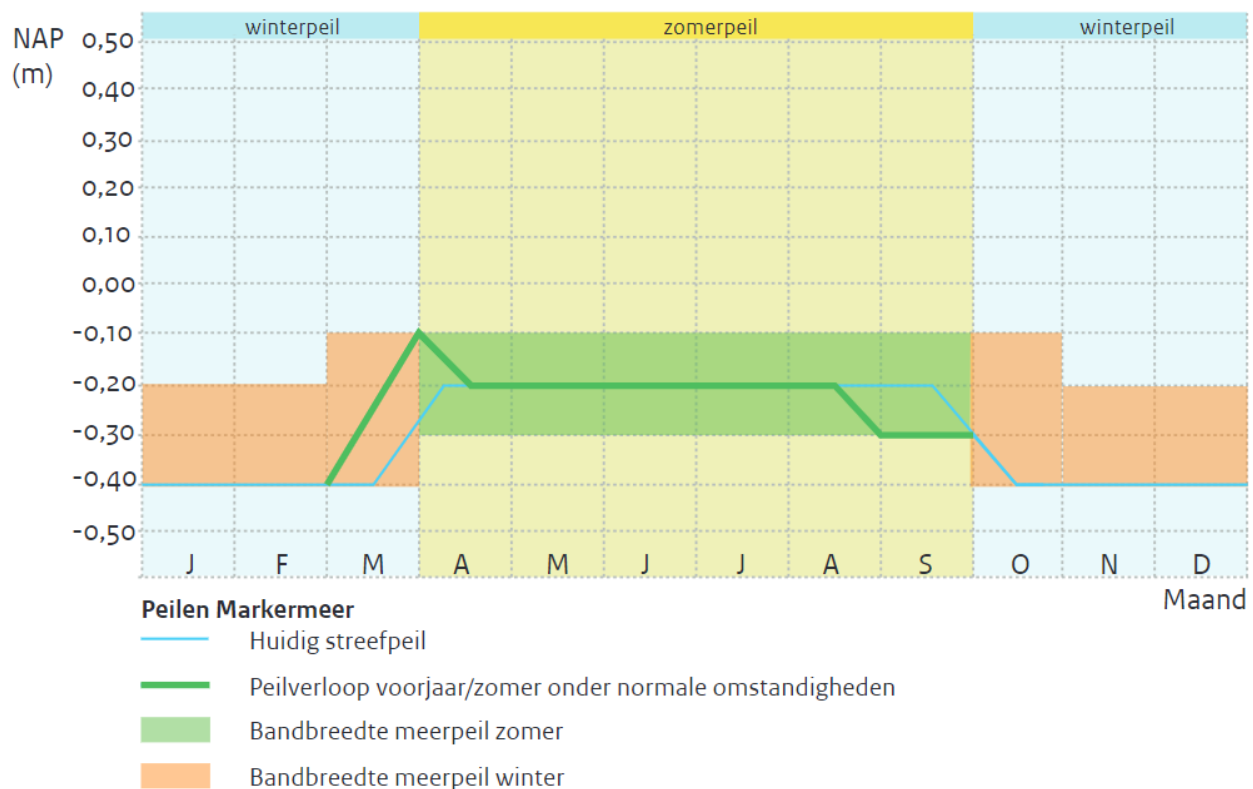
2.1 Peilbesluit

Rijkswaterstaat beschrijft in jaarlijkse peilbesluiten het streefpeil voor het IJsselmeergebied. Dat houdt in dat voor verschillende perioden een optimaal meerpeil vastgelegd is voor het IJsselmeer, het Markermeer en de Veluwerandmeren. In dit besluit worden de bandbreedtes voor het streefpeil vastgelegd. In de wintermaanden zijn deze bandbreedtes gebaseerd op historische gegevens; de maximum- en minimumpeilen die geobserveerd zijn onder natuurlijk omstandigheden. Dit is gedaan omdat vegetaties beter gedijen bij een natuurlijker verloop van het meerpeil. In de zomerbandbreedte is de maximumbandbreedte van de wintermaanden overgenomen om de overstromingsrisico's te beperken, echter is voor het minimum een hogere waarde genomen om beschikbaarheid van zoetwater in drogere maanden veilig te stellen. In de winter wordt zo veel mogelijk de ondergrens van de bandbreedte aangehouden om het overstromingsrisico te minimaliseren. Dit wordt gerealiseerd door middel van waterlozing.

Sinds juni 2018 wordt het IJsselmeergebied beheerd conform het nieuwe Peilbesluit. De criteria voor dit Peilbesluit zijn opgesteld in samenwerking met de waterschappen en zijn bedoeld om lokale ecologische systemen beter te beschermen zonder dat de veiligheid of de beschikbaarheid van water in gevaar komt. Het is gebleken dat het bevorderlijk is voor de lokale biodiversiteit wanneer men het meerpeil voor de zomer wordt opgehoogd om het vervolgens langzaam te laten zakken tot het voormalige streefpeil. Een natuurlijker peilverloop zou namelijk uitbreiding van moerasvegetaties beter mogelijk maken. (Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, 2002) Het huidige en voormalige jaarlijkse peilbeheer van het IJsselmeer en het Markermeer worden hieronder weergegeven in Figuur 4 en Figuur 5.



Figuur 4 Huidige en voormalige streefpeilen en bandbreedtes voor het IJsselmeer (Peilbesluit IJsselmeergebied, 2018)



Figuur 5 Huidige en voormalige streefpeilen en bandbreedtes voor het Markermeer (Peilbesluit IJsselmeergebied, 2018)

2.2 Flexibel peilbeheer

De kans op overstromingen hangt nauw samen met de weersomstandigheden en het waterpeil van het IJsselmeergebied. Daarom is het van belang dit peil zo veel mogelijk onder controle te hebben en te allen tijde te streven naar een ideaal peil. Om dit peil te kunnen reguleren moet worden geregistreerd hoeveel water er in en uit het systeem gaat. In het geval van het IJsselmeer geldt naast neerslag, de aanvoer uit omliggende gebieden en verdamping, ook spuien en rivierafvoer.

In tegenstelling tot het voormalige Peilbeheer wordt er bij flexibel Peilbeheer rekening gehouden met de risico's die het verhogen van het waterpeil, zoals bepaald in het nieuwe Peilbesluit, met zich meebrengen. De flexibiliteit van dit peilbeheer uit zich in de mogelijkheid om van deze waterpeiltrajecten af te wijken wanneer de risico's te groot worden geacht. Hiervoor worden er in het voorjaar enkele keuzemomenten georganiseerd waarbij wordt besproken in hoeverre het nodig is om te anticiperen op toekomstige weersomstandigheden. Indien nodig kan bijvoorbeeld het verhogen van het peil worden uitgesteld of vervroegd en kan er ook worden gekozen voor verlaging van het peil.

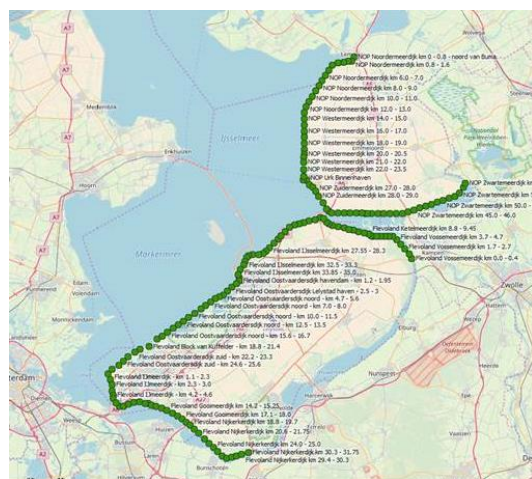
2.3 Spuien

Spuien is op momenteel de enige manier om de waterbalans te beïnvloeden. Spuien is het via spuisluizen doorlaten van water van het ene waterlichaam naar het andere. De belangrijkste spuilocaties voor het IJsselmeer zijn de sluisen tussen het Markermeer en IJsselmeer, en tussen het IJsselmeer en de Waddenzee. (De locaties van de spuisluizen aangegeven in Figuur 2.) In de huidige situatie kan echter alleen gespuid worden wanneer de watersverschillen dit toelaten. Het belangrijkste voorbeeld hiervan is bij de meetlocatie Komwerderzand waar alleen tijdens laagtij water de zee ingelaten kan worden. In de wintermaanden wordt maximaal gebruik gemaakt van de spuisluizen wanneer het getij dit toelaat om het minimum zo goed mogelijk te benaderen.

Rivierafvoer is een belangrijke en variabele factor die een niet te onderschatten invloed heeft op het waterpeil. De rivierafvoer vanuit de Vecht en IJssel leidt niet alleen tot stijging van het algehele waterpeil in de IJssel-Vechtdelta, maar ook tot lokale waterophoping. Er kunnen gevaarlijke situaties ontstaan voor het gebied rond Kampereiland omdat bij noordwestelijke winden waterstandverschillen/scheefstand kan ontstaan die in combinatie met deze lokale waterophoping tot een hoog lokaal waterpeil kan leiden.

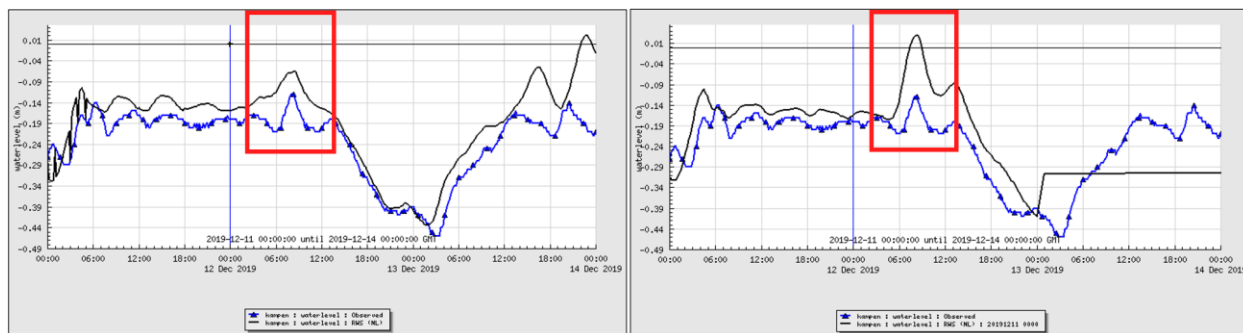
Wanneer de verwachte waterhoogten bepaalde grenswaarden overschrijden, moeten verschillende instanties worden ingelicht. Deze waterhoogteverwachtingen zijn afkomstig van WAQUA. WAQUA is software voor het bepalen van waterkwantiteit en vormt de kern van het RWSoS-simulatiemodel voor voorspellingen. Het wordt gebruikt om hydrodynamische vergelijkingen door te rekenen, en om waterpeil, waterbewegingen en aanwezige opgeloste stoffen te simuleren. Deze gegevens worden vervolgens opgeslagen in Matroos. Matroos is een web-based distributiesysteem van de operationele verwachtingen van waterstanden, stroming, debieten en golven, van onder meer het Watermanagementcentrum Nederland. (Rijkswaterstaat, sd) In Matroos kunnen historische gegevens nader worden onderzocht.

Het systeem houdt ook rekening met zaken als lokale waterbarrières, waterbronnen, en riviermondingen. De output van het model bestaat uit waterhoogten voor alle dijkvlakken, rapporten van WAQPRE (het programma dat de inputgegevens controleert voor de start van de simulatie), en een tweedimensionaal grafisch bovenaanzicht van het watersysteem. In Figuur 6 zijn enkele berekenlocaties te zien van het IJsselmeergebied waarvoor door middel van de WAQUA-software waterstanden doorgerekend worden.



De waterhoogten die via de WAQUA-software worden voorspeld, worden gebruikt als basis voor het uitgeven van waarschuwingen. Wanneer de verwachte waterhoogten zekere vooraf bepaalde grenzen overschrijden voor bepaalde dijkvlakken worden automatische waarschuwingsberichten gegenereerd. Voor elk dijkvlak zijn overschrijdingswaarden vastgelegd met de codes Geel, Oranje, en Rood. Bij code Geel wordt de berichtgeving in gang zet, maar is er vaak geen reden is tot het ondernemen van actie. Bij Oranje en Rood worden altijd waarschuwingen de deur uit gedaan. Wanneer zwaar weer verwacht wordt, houdt Rijkswaterstaat de verwachtingen nauwlettend in de gaten en wordt er meestal telefonisch overlegd met dijkbeheerders en overige relevante instanties.

Hoe vroeger een voorspelling wordt gedaan, hoe beter. Maar hoe verder men in de toekomst kijkt hoe onzekerder de voorspelling wordt. Dit is te zien in Figuur 7, waar gemeten (blauw) en voorspelde (zwart) waterhoogten geplot zijn voor locatie Kampen. Links is de voorspelling weergegeven van de meest recente voorspelling beschikbaar op het heden, en rechts de voorspelling die 24 uur voor het heden is gemaakt. Dit heden is met verticale blauwe lijnen aangegeven. Als je kijkt naar het gebied dat rood is gemarkeerd, zie je dat 24 uur voor het heden een storm voorspeld was, die bij een recente voorspelling bleek mee te vallen. Dit laat zien dat een eerdere voorspelling onzekerheid met zich mee kan brengen en tot onterechte waarschuwingen kan leiden.



Figuur 7 Gemeten en voorspelde waterstanden voor Kampen. Links: Recente voorspellingen, Rechts: Tijdige voorspellingen (24 uur voor het heden) (Verticale blauwe lijn: Heden, Blauwe plot: Gemeten waarden, Zwarte plot: Voorspelde waarden)

2.5 Foutpositief en foutnegatief

Wanneer men wil kijken naar het percentage 'gemiste' stormen en 'valse alarmen', kan in een verwarringsmatrix in tabelvorm het percentage foutpositieve en foutnegatieve voorspellingen weergegeven worden. Wanneer volgens een voorspelling een storm op komst is, is deze voorspelling positief. Wanneer er geen storm voorspeld wordt, is deze voorspelling negatief. Zijn deze voorspellingen echter onjuist, dan zijn het respectievelijk foutpositieve en foutnegatieve voorspellingen. Een 'vals alarm' kan dus worden gezien als een foutpositieve voorspelling (FP, False Positive), en een 'gemiste' storm als foutnegatief (FN, False Negative). Zijn de stormen correct voorspeld, dan zijn deze respectievelijk waar positief (TP, True Positive), bij goed voorspelde stormen, en waar negatief (TN, True Negative), bij correct voorspelde afwezigheid van stormen.

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

Figuur 8 Verwarringsmatrix

2.6 Zittingen

Een zitting is een overleg dat gehouden wordt wanneer binnen relatief korte tijd gevaarlijke meteorologische omstandigheden verwacht worden. Tijdens een dergelijk overleg wordt de stormsituatie en de noodzaak om te waarschuwen besproken. Voorafgaand aan een storm waarvoor een zitting nodig is, houdt Rijkswaterstaat de weersomstandigheden goed in de gaten, en laat meldingen uitgaan wanneer situaties verslechteren. Als er gevaarlijke weersituaties worden verwacht, worden de juiste instanties en dijkbeheerders hierover ingelicht en op de hoogte gehouden, zodat zij tijdig de juiste maatregelen kunnen treffen. Na een zitting wordt er een stormflits opgesteld. Dat is een opsomming van de meteorologische omstandigheden en meerpeilen binnen het IJsselmeergebied. In Bijlage C - [Overzicht zittingen](#) vindt u een overzicht van de zittingen die tussen 2017 en 2019 zijn gehouden.

2.7 Veiligheidsmaatregelen

Omdat aan het nieuwe Peilbesluit bevordering van de ecologische kwaliteit ten grondslag ligt, is het de vraag of hierdoor de algemene veiligheid in het geding kan komen. Het idee is echter dat het flexibele aspect van het nieuwe Peilbesluit dit potentiële probleem wegneemt: om het natuurlijkere verloop van de meerpeilen veilig te laten verlopen, zijn er keuzemomenten geïmplementeerd om hierop te anticiperen. Dit is beschreven in het Onderzoekskader (hoofdstuk 2). Daarnaast wordt in het kader van dit nieuwe Peilbesluit het waterpeil in de wintermaanden zo laag mogelijk gehouden, omdat in deze periode kans op het optreden van zware stormsituaties groter is.

Indien een storm de kop opsteekt, wordt er gewaarschuwd op basis van verwachte waterstanden. Deze waarschuwingen worden meestal afgegeven wanneer de verwachte waterhoogten bepaalde grenzen bereiken. Deze grenzen zijn voor elke locatie en elk alarmniveau bepaald en gebaseerd op waterstanden die in combinatie met harde wind en scheefstand tot een hoge golfoploop of tot golfoverslag en schade kunnen leiden. Deze grenswaarden zijn slechts indicatief omdat deze gebaseerd zijn op schattingen. Grenswaarden staan voor alle meetlocaties in Bijlage B- [Grenswaarden voor waarschuwingen](#) vermeld.

Aangezien deze maatregelen gebaseerd zijn op schattingen en in het geval van de keuzemomenten ook op voorspellingen op lange termijn, is het risico op foute voorspellingen groter. Hoe veel groter dit risico daardoor is geworden valt buiten het kader van dit onderzoek. Via historische gegevens zou kunnen worden gekeken of dit risico binnen aanvaardbare grenzen ligt.

Welke veiligheidsmaatregelen zijn getroffen in het kader van ‘Operationalisering Flexibel Peil’?

Om inzicht te krijgen in hoeverre en op welke manier rekening is gehouden met de algemene veiligheid in het nieuwe Peilbesluit, is er literatuur geraadpleegd ter oriëntatie op die situatie in het IJsselmeergebied en op het flexibele peilbeheer. Aanvullend is er gesproken met medewerkers van Rijkswaterstaat. Om meer duidelijkheid over het peilbeheer te krijgen, is er onder anderen afgesproken met Wim Werkman, Senior-Adviseur Water en Ruimtegebruik bij Rijkswaterstaat Lelystad. Naar aanleiding van deze gesprekken is er met Hans Hartholt, medewerker advisering WMCN Rijkswaterstaat Lelystad, de veiligheidsmaatregelen binnen het flexibele peilbeheer besproken. Ook is er besproken waar deze maatregelen op gebaseerd zijn.

Wat is de kans dat Rijkswaterstaat foutpositieve en foutnegatieve waarschuwingen uitgeeft?

Om antwoord te krijgen op de vragen “Hoeveel procent van de voorspellingen is foutpositief?” en “Hoeveel procent van de voorspellingen is foutnegatief?”, moet er worden gekeken naar wat er in het verleden gebeurd is. Rijkswaterstaat slaat historische gegevens op in de database Matroos. Voor enkele meetlocaties zijn er gegevens uit Matroos gehaald. Eerst is er gekeken naar de zware stormen van afgelopen jaren. Daarbij zijn meetlocaties gekozen waar de desbetreffende stormen het meeste effect hadden. Daarna zijn voorspelde en gemeten waterhoogten tussen 24 oktober 2017 en 22 november 2019 voor een aantal meetlocaties opgehaald met tijdstappen van 10 minuten. Deze gegevens zijn zo gekozen, omdat eerder dan 24 oktober 2017 geen voorspellingsgegevens beschikbaar zijn. Deze historische gegevens zijn samengevat in Bijlage D - [Historische gegevens](#).

3.1 Zittingen

De zittingen van de afgelopen jaren geven aan wanneer de belangrijkste stormen zijn geweest en wat voor waarschuwingen er eventueel uitgegeven zijn. Omdat voorspelde stormen die zwaar genoeg zijn om er een zitting voor te houden, relevanter zijn, is er bij het beoordelen van de waarschuwingskwaliteit, geconcentreerd op deze stormen. De kwaliteit is gecontroleerd door de verwachtingen voor de gekozen meetlocaties te vergelijken met de werkelijke meetgegevens. Dit is gedaan door rond de tijd van de stormen meetgegevens en voorspelgegevens voor deze locaties uit Matroos op te halen en de output bestaande uit plots te beoordelen op het voorkomen van ‘valse alarmen’ en ‘gemiste’ stormen. Deze gegevens en analyse zijn te vinden in Bijlage C - [Overzicht zittingen](#).

3.2 Historische gegevens

Om een totaalplaatje te creëren van de waarschuwingskwaliteit zijn naast het nader inspecteren van de zware stormen alle beschikbare gegevens geanalyseerd. Voor het onderzoeken van deze algemene historische gegevens zijn eerst enkele relevante meetlocaties geselecteerd. Deze zijn gebaseerd op de plekken die bij zwaar weer veel hoog water te verduren hebben. De gekozen locaties en het selectieproces zijn opgenomen in Bijlage A - [Relevante meetlocaties](#).

Om na te gaan of kan worden gesproken van een ‘gemiste’ storm of ‘vals alarm’, is de verwachte en gemeten waterhoogten met elkaar te vergelijken ten opzichte van de overschrijdingswaarden (zie Bijlage B - [Grenswaarden voor waarschuwingen](#)). Dit is geïmplementeerd door in Excel deze waarden in kolommen te zetten. Vervolgens is er voor elk tijdstap gekeken of volgens de gemeten waarde sprake was van een storm, of volgens de voor dat tijdstip voorspelde waarde een storm verwacht was, en of er sprake was van ‘vals alarm’ of ‘gemiste’ storm door deze waarden te vergelijken met overschrijdingswaarden. Op basis daarvan konden de percentages het percentage foutpositieve en foutnegatieve voorspellingen bepaald worden.

Men kan spreken van een storm wanneer een gemeten waarde de overschrijdingswaarde van de desbetreffende locatie overschrijdt. Deze meetwaarden moeten worden vergeleken met de voorspelde waterhoogten op die tijdstippen. Hoe dit is toegepast wordt in de volgende paragrafen uitgelegd.

3.2.1 Stormen en alarmen

Voor elke locatie is een apart Excel-blad gebruikt. Elke rij op een Excel-blad vertegenwoordigt een tijdstap. In de kolommen staan de gemeten en voorspelde waarden naast elkaar.

In de kolommen naast de verwachte en gemeten waarden worden er bij elke tijdstap (correspondeert met een Excel-rij) gekeken of de gemeten en voorspelde waarde van die locatie één van de grenswaarden overschrijdt. Als dit het geval is komt er in geval van een gemeten storm “storm1”, “storm2” of “storm3” te staan, en bij een voorspelde storm “Geel”, “Oranje” en “Rood”. Beiden respectievelijk voor codes Geel, Oranje en Rood.

Als in de tijdstap X een storm voorkomt, en tijdstap X+1 bij diezelfde storm hoort, wordt dit afhankelijk van de ernst van de storm bij tijdstap X+1 aangegeven met respectievelijk “x1”, “x2” en “x3”. Hetzelfde geldt voor wanneer voor tijdstap X een “x1”, “x2” of “x3” genoteerd staat, en tijdstap X+1 bij de storm hoort. Dit om elke storm en voorspelde storm maar één keer mee te laten tellen in het Excel-bestand.

3.2.2 ‘gemiste’ stormen

Een storm wordt gezien als gemist wanneer de voorspelde meetgegevens niet of te laat een storm voorzien. Hierbij geldt een zekere bandbreedte. Dat wil zeggen dat wanneer een storm wat later plaatsvindt dan voorspeld, dat niet als een ‘gemiste’ storm gezien hoeft te worden. Als een bandbreedte van 2 uur aangehouden wordt, wordt een storm pas als gemist beschouwd wanneer een storm minstens 2 uur te laat voorspeld wordt. In dit onderzoek is deze bandbreedte ook aangehouden.

3.2.3 ‘valse alarmen’

Een storm wordt gezien als ‘vals alarm’ wanneer voorspelde gegevens een storm voorspeld had maar dat in de gemeten waarden dit niet het geval bleek. Ook hierbij geldt een zekere bandbreedte, wanneer een storm wordt voorspeld en er geen storm optreedt binnen een bepaalde tijd. Ook hier is een bandbreedte van 2 uur aangehouden.

Welke gevolgen heeft de vroegtijdigheid van voorspelling voor de kwaliteit ervan?

Om hier antwoord op te geven heeft men voorspellingsgegevens nodig van verschillende tijdstippen. Uit Matroos worden voorspellingsgegevens gehaald van verschillende tijdstippen en deze worden vervolgens vergeleken met de gemeten gegevens. Zo wordt op basis van historische data inzicht verkregen in de mate waarin de kwaliteit van de voorspelling achteruitgaat naarmate men eerder voorspelt. Ook wordt zo inzicht gekregen welke invloed vroegtijdigheid heeft gehad op de belangrijkste stormen in de afgelopen paar jaar. De analyse kan worden uitgevoerd op basis van de eerder vergaarde Matroos-output.

Ook wordt er antwoord gegeven om op de vraag *Hoe ver van tevoren wordt er doorgaans gewaarschuwd?*

Hier is met medewerkers van Rijkswaterstaat gesproken over hoe dit doorgaans wordt aangepakt zodat hier rekening mee gehouden kan worden met hoe ver er doorgaans uiterlijk van tevoren instanties gewaarschuwd moeten worden.

4 Resultaten

Wat is de kans dat Rijkswaterstaat foutpositieve en foutnegatieve waarschuwingen uitgeeft?

4.1 Zittingen

Voor de vijf voorspelde stormen in 2017 tot en met 2019 waar zittingen voor gehouden zijn, en waarvoor verwachtingen en meetgegevens beschikbaar waren, zijn gegevens geanalyseerd. Deze zijn opgenomen in Bijlage C - Overzicht zittingen. Het volgende kwam hieruit:

Tabel 3 Analyse zittingen 2017

2017		Analyse figuren
8 waarschuwingen		
23 februari	Geel (NW)	-
Dijken bij Lelystad en Almere		
5 oktober	Geel (NW)	Er zijn waterstanden verwacht die de grens voor code Geel overschrijden. Hier zijn terecht geen waarschuwingen voor uitgegeven vanwege de korte en geringe overschrijding die zijn af te lezen van de gegevens voor Houtribsluizen Noord en Ramspolbrug.
Dijken bij Lelystad, Almere, langs het Ketelmeer en de monding van de IJssel		
29 oktober	Geel (NW)	
Dijken Ketelmeer en Kampereilanden		

Tabel 4 Analyse zittingen 2018

2018		Analyse figuren	
4 waarschuwingen			
3 januari	Geel (W)		Diverse Gele alarmen. Onder de gecontroleerde meetlocaties was echter één waar uit de voorspelling van 12 uur vooraf een onterecht waarschuwing gekomen is. (Houtribsluizen Noord). Bij Ramspolbrug ging het echter wel om een terechte code Geel.
Dijken van de Noordoostpolder, Kampereilanden, Overijsselse Vecht, IJssel, bij Lelystad, bij Almere en de Houtribdijk			
3 januari	Geel (W)		
Dijken van de Kampereilanden en de Overijsselse Vecht			
18 januari	Geel (W)		18 januari 2018 waren er diverse Gele en Oranje verwachtingen. Code Oranje voor Houtribsluizen Noord, en Geel voor Ramspolbrug bleken allemaal terecht qua waterstanden.
Dijken van de Noordoostpolder, Kampereilanden, IJssel, bij Lelystad en de Houtribdijk			
18 januari	Oranje (W)		
Dijken Almere			

Tabel 5 Analyse zittingen 2019

2019		Analyse figuren
11 maart	Geel (NW)	
Kampereilanden en Vechtdelta, Ramspolkering gesloten en Zedemuden-sluiz in kerende stand		Bij deze storm ging de situatie om code Geel, echter was code Rood van Ramspolkering een terechte waarschuwing. De waterhoogte was namelijk voldoende om op kerende stand te moeten gaan.

Samenvattend was geen enkele storm 'gemist', echter was er van de vijf gevallen één waar men kan spreken van een onterrechte Gele waarschuwing. (20% 'vals alarm', 0% 'gemiste' storm)

4.2 Historische gegevens

In de historische gegevens uit Bijlage D - Historische gegevens is voor elke locatie het percentage 'valse alarmen' en percentage 'gemiste' stormen in percentages bepaald. Voor alle onderzochte meetlocaties zijn de gemiddelde percentages 'valse alarmen' en 'gemiste' stormen in figuren uitgesplitst naar alarmniveau en voor recente en vroegtijdigere voorspelling in aparte tabellen gezet. In Tabel 6 zijn deze gemiddelde waarden van de voorspelgegevens gebaseerd op de meest recente voorspellingen weergegeven. In Tabel 7 die van de voorspelling 6 uur vooruitkijkend, in Tabel 8 van 12 uur, en in Tabel 9 van 24 uur vooruitkijkend.

Tabel 6 Gemiddeld percentage 'gemiste' stormen en 'valse alarmen' van alle gekozen meetlocaties uitgesplitst naar alarmniveau voor de meest recente voorspellingen

	Geel	Oranje	Rood
Percentage vals:	27%	17%	10%
Percentage gemist:	0%	28%	18%

Tabel 7 Gemiddeld percentage 'gemiste' stormen en 'valse alarmen' van alle gekozen meetlocaties uitgesplitst naar alarmniveau voor 6-uursvoorspellingen

	Geel	Oranje	Rood
Percentage vals:	58%	20%	10%
Percentage gemist:	0%	30%	20%

Tabel 8 Gemiddeld percentage 'gemiste' stormen en 'valse alarmen' van alle gekozen meetlocaties uitgesplitst naar alarmniveau voor 12-uursvoorspellingen

	Geel	Oranje	Rood
Percentage vals:	57%	20%	10%
Percentage gemist:	0%	30%	20%

Tabel 9 Gemiddeld percentage 'gemiste' stormen en 'valse alarmen' van alle gekozen meetlocaties uitgesplitst naar alarmniveau voor 24-uursvoorspellingen

	Geel	Oranje	Rood
Percentage vals:	60%	30%	10%
Percentage gemist:	0%	30%	20%

Welke gevolgen heeft de vroegtijdigheid van voorspelling voor de kwaliteit ervan?

Sub-vraag: Hoe ver van tevoren wordt er doorgaans gewaarschuwd?

Uit interviews bleken dat wanneer een storm zwaar genoeg is worden instanties meestal al ingelicht zodra dit bekend is. Vervolgens worden mensen op de hoogte gehouden als deze verwachting eventueel verandert. Nu is het wat betreft waarschuwingen van belang dat er minimaal 6 uur voor de stormpiek wordt gewaarschuwd om op tijd preventieve maatregelen te kunnen nemen. Meestal wordt 12 uur als ruime maatstaf gehanteerd om op tijd te waarschuwen.

Om te kijken in hoeverre het tijdig waarschuwen invloed heeft op de juistheid van deze voorspellingen kunnen de stormen uit de figuren van de vijf stormen uit Bijlage C- [Overzicht zittingen](#) nader bekeken worden. Hier is te zien dat in de meeste gevallen al 24 uur van tevoren een voorspelling genereerd wordt dat goed overeenkomt met de gemeten gegevens. Er is echter een duidelijk verschil te zien tussen de 24-uurs-, en de 12-uursvoorspellingen. Vergelijkt men vervolgens de 12-uursvoorspelling met de 6-uursvoorspelling en de meest recente voorspelling, vertonen deze twee figuren een vergelijkbaar resultaat. Hieruit zou men kunnen concluderen dat men 12 uur van tevoren betrouwbare waterstandvoorspellingen kunnen doen. Wanneer we ons bij het bekijken van de historische gegevens niet beperken tot voorspellingen die aanleiding gaven tot het organiseren van zittingen, worden bij vroegtijdigere voorspelling aardig wat valse Gele alarmen uitgezonden.

5 Discussie

Op basis van dit onderzoek zijn enkele discussiepunten opgesteld. Ten eerste wordt er gereflecteerd op de resultaten en worden opvallende elementen ervan besproken. Ten tweede worden onzekerheden aangekaart waar rekening mee gehouden moet worden bij het interpreteren van de resultaten. Tot slot zijn er suggesties voor vervolgonderzoek gegeven en toegelicht.

5.1 Reflectie

5.1.1 Zittingen

De analyse van stormvoorspellingen die aanleiding gaven tot zittingen en de daarbij behorende gegevens laat zien hoe de berichtgeving is verlopen bij de meest bedreigende voorspelde weersomstandigheden. Van 2017 tot en met 2019 is het waarschuwen vrij goed verlopen. In deze periode waren er binnen de zittingen geen stormen 'gemist', en was er slechts één vals Geel alarm uit gegaan. Bovendien valt er uit de figuren op te maken dat er een vrij duidelijk verschil is in nauwkeurigheid tussen de 24-uursvoorspellingen en de voorspellingen die 12 uur of minder ver vooruitkijken.

Wel moet opgemerkt worden dat niet alle meetlocaties onderzocht zijn. Er is slechts gekeken naar meetlocaties die volgens de beschrijving van de zittingen behoren tot het 'getroffen' gebied.

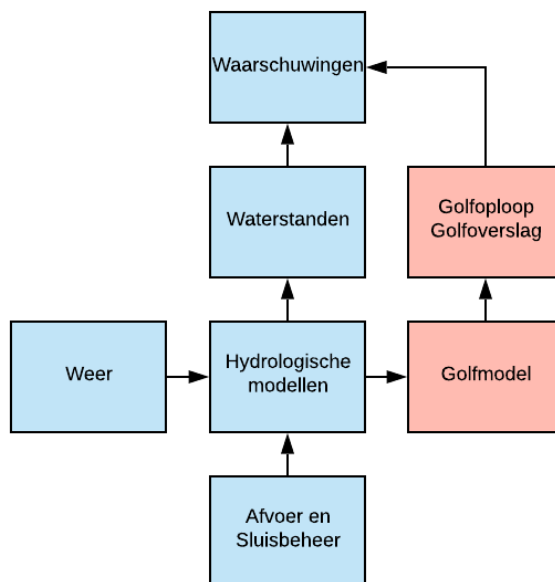
5.1.2 Historische gegevens

Grofweg zijn er twee dingen die opvallen bij het bekijken van de gemiddelde percentages 'valse alarmen' en 'gemiste' stormen. Bij codes Geel zijn de percentages 'valse alarmen' aanzienlijk groter bij de vroegere voorspellingen, maar zijn bij codes Oranje en Rood slechts een klein verschil op te merken. Dit verschil kan verklaard worden door in tegenstelling tot de zittingenanalyse hier geen rekening wordt gehouden met of er daadwerkelijk waarschuwingen uitgezonden is of niet. Zelfs bij kleine en/of korte overschrijdingen in de voorspellingen, wordt dit in het systeem behandeld als een waarschuwing.

5.2 Onzekerheden

5.2.1 Systeemonzekerheid

Om tot verwachtingen te komen waar waarschuwingen op gebaseerd zijn heeft Rijkswaterstaat te maken met een opeenstapeling van onzekerheden. In Figuur 9 is de situatie in een stroomdiagram schematisch weergegeven.



Figuur 9 Stroomschema waarschuwingssysteem

Idealiter wordt een waarschuwing met zekerheid gegeven wanneer de golfoploop en golfoverslag bekend is. De reden hiervoor is dat deze factoren bepalend zijn voor potentiële schade door overstromingen. Echter hangen golfoploop en golfopslag volledig af van de golfvorming die door het hydrologische model berekend wordt. Worden waarschuwingen wel op deze manier gedaan, heeft men te maken met een grote opeenstapeling van onzekerheden, omdat er voor golfoploop momenteel geen metingen verricht worden waardoor voorspelde golfvorming niet gevalideerd kan worden. Om die reden is dit onderzoek alleen gebaseerd op waarschuwingen die gegeven zijn op basis van waterstandsverwachtingen en vallen verwachtingen op basis van golfoploop (roodgekleurd) buiten het kader van dit onderzoek.

Er is sprake van een opeenstapeling van onzekerheden, omdat de modellen zelf ook onzekerheden met zich meebrengen. Hier komt bij dat meteorologische weergegevens van het KNMI als input gebruikt worden voor de hydrologische modellen, en dat variatie in watertoevoer als gevolg van waterbeheer van omliggende gebieden niet wordt meegenomen in de hydrologische modellen. Dit waterbeheer verwijst naar het al dan niet lozen van overtollig water door waterschappen in de omliggende gebieden van het IJsselmeergebied

5.2.2 Peilfluctuaties

Men heeft ook te maken met onzekerheid ten aanzien van de variabiliteit van lokale waterpeilfluctuaties in de meren. Het IJsselmeergebied ondervindt namelijk in tegenstelling tot de zee geen directe invloed van het getij, dus zal het optreden van de waterpieken moeilijker te voorspellen zijn dan zeekusten.

5.2.3 Interpretatie voorspellingen

Wanneer er hoge waterstanden voorspeld worden, worden deze voorspellingen beoordeeld door hydrologen van Rijkswaterstaat. Zij beslissen uiteindelijk of het nodig wordt geacht daadwerkelijk instanties te seinen. Er wordt dus gehandeld op basis van hun beoordelingen. Dit brengt enige onzekerheid met zich mee wanneer men bijvoorbeeld in kaart wil brengen in hoeverre waarschuwingen terecht bleken, voornamelijk omdat deze kunnen variëren van persoon tot persoon en omdat deze vaak gebaseerd zijn op ervaring en interpretatie van de voorspelde weerssituatie in het gebied

5.2.4 Belang van tijdig waarschuwen

Als een zware storm verwacht wordt, wordt er vaak ruimer van tevoren gewaarschuwd. Hierdoor is de kans groter dat foutieve voorspellingen doorgegeven worden. Er moet opgemerkt worden dat het in deze gevallen terecht wenselijk is dat instanties vroeg hierover worden ingelicht en dat een groter risico wordt genomen 'valse alarmen' uit te zenden, omdat het te laat voorzien van een zware storm ernstige gevolgen kan hebben.

5.2.5 Historische gegevens

Het feit dat voor wat betreft de voorspelde gegevens enkel historische waterhoogten beschikbaar zijn vanaf 2017 is een belangrijke onzekerheid. Dit brengt met zich mee bij eventuele conclusies hieruit de nodige slagen om de arm moeten worden gehouden. Dat houdt mede verband met de aanzienlijke kans dat zelden voorkomende of uniekere stormen zeer waarschijnlijk niet in kaart zijn gebracht, zoals een zware soort storm die eens in de 40 jaar voorkomt.

Er moet nog een kanttekening worden gemaakt met betrekking tot het optellen van stormen, waarschuwingen, 'valse alarmen' en 'gemiste' stormen. Wanneer bijvoorbeeld de gemeten waterstanden kort de overschrijdingswaarde niet meer overschrijden, en kort daarna weer wel, wordt dit als een nieuwe storm gezien. In werkelijkheid zou dit als dezelfde stormsituatie beschouwd kunnen worden.

5.3 Vervolgonderzoek

Op basis van hoe in de huidige situatie waarschuwingen uitgegeven worden kunnen enkele onderzoeksonderwerpen voorgesteld worden.

5.3.1 Golfmetingen

Omdat de mate van golfoploop en golfoverslag ten grondslag ligt aan overstromingsgevaar zou een vervolgonderzoek met betrekking tot het bepalen hiervan aan te raden zijn. Zoals eerder genoemd kan golfvorming dat berekend wordt door toegepaste hydrologische modellen niet dagelijks gevalideerd worden vanwege het ontbreken van meetgegevens van de golfoploop. Het is daarom aan te raden onderzoek te doen naar hoe en waar het beste deze meetgegevens vergaard kunnen worden. Het ligt namelijk buiten de mogelijkheden om veel meer dan een handvol van deze meetlocaties op te zetten. Waar de enkele meetlocaties het beste geplaatst kunnen worden om voldoende representatief te zijn voor het hele IJsselmeergebied is daarom een goed begin voor een onderzoek.

5.3.2 Golfdimensies

Ook kan er onderzoek gedaan worden naar de invloed van golfdimensies op potentieel overstromingsgevaar of schade aan dijkvlakken. In de huidige situatie wordt er gekeken naar het hoogste punt dat een golf bereikt (de golfoploop). Er wordt dan echter geen rekening gehouden met andere aspecten van golven die invloed hebben op schade zoals omvang en duur. Er is namelijk een belangrijk verschil tussen een enkele overzienbare hoge golf, of een golf van middelmatige grootte maar die bijvoorbeeld meer of langer kracht op een dijkvlak uitoefent.

5.3.3 Waterbeheer

Een andere onzekerheid die nader onderzoek verdient, is integratie met het waterbeheer van omliggende gebieden. In de huidige situatie wordt er in de hydrologische modellen geen rekening gehouden met lozen van overtollig water in het IJsselmeer en het Markermeer uit omliggende gebieden. Nader onderzoek kan daarom in het teken staan van het eventueel corrigeren van de variatie in natuurlijke rivierafvoer toegepast als input in de modellen op basis van deze gegevens.

6 Conclusie

Aangezien er sprake is van een aanzienlijke opeenstapeling van onzekerheden, kunnen de onderzoeksvragen slechts indicatief worden beantwoord. Het doel van dit onderzoek was om inzicht te geven in de kwaliteit van de huidige waarschuwingsmaatregelen. Daarvoor was de volgende hoofdvraag geformuleerd:

“In hoeverre zijn de huidige sturingscriteria voor veiligheid binnen ‘Operationalisering Flexibel Peil’ IJsselmeergebied nauwkeurig voor het tijdig anticiperen op stormen”

Om te bepalen in welke mate de huidige sturingscriteria het mogelijk maken om nauwkeurig en tijdig te anticiperen op stormen, is in dit onderzoek gekeken hoe goed dit in het verleden gebeurd is. Maar omdat golfoplopen en golfoverslagen momenteel onvoldoende voorspelbaar zijn, is deze kwaliteitscontrole vrijwel uitsluitend gebaseerd op waterstanden.

Om nauwkeurigheid van de waarschuwingen te bepalen is in dit onderzoek gekeken hoeveel procent van de voorspellingen foutpositief en foutnegatief zijn. Hiervoor is gekeken naar de gegevens voor voorspelde stormen waarvoor de zittingen zijn gehouden en naar historische gegevens. Op basis daarvan kon er geconcludeerd worden dat waterstanden goed worden voorspeld. Met betrekking tot de historische gegevens kon hierover niets worden geconcludeerd, omdat niet bekend is of er bij bepaalde overschrijdingen ook daadwerkelijk gewaarschuwd is. Hierdoor zijn deze percentages slechts een indicatie van de nauwkeurigheid. Wel is het duidelijk dat 24-uursvoorspellingen duidelijk minder nauwkeurig zijn dan 12-uursvoorspellingen en voorspellingen op nog kortere termijn. Er moet hier echter qua hoeveelheden rekening worden gehouden met het feit dat, zoals genoemd in de discussies, bij geringe overschrijding buiten de bandbreedten men zou kunnen spreken over een ‘gemiste’ storm of ‘vals alarm’, hoewel deze fluctuaties in werkelijkheid wellicht geen effect gehad zouden hebben.

De zittingen daarentegen geven ondanks de geringe hoeveelheid gegevens weer hoe bij de belangrijkste stormen gehandeld is qua waarschuwingen. Hierbij waren bij een van de vijf gevallen een onterechte (Gele) waarschuwing uitgegeven (20%), maar geen ‘gemiste’ stormen. Hieruit kan men concluderen dat in de afgelopen 2 jaar geen gevaarlijk onjuiste voorspellingen zijn gedaan. Toch blijft er onzekerheid over of de bepaalde overschrijdingswaarden leiden tot het geven van juiste waarschuwingen. Maar binnen het feit dat er meetgegevens ontbreken voor golfoploop, waardoor er geen betrouwbare golfoploop voorspellingen genereerd kunnen worden, wordt dit toch redelijk opgevangen.

Wat betreft het vroegtijdigheidsaspect blijken uit de grafieken van Matroos dat 12-uursvoorspellingen redelijk nauwkeurig de waterstanden voorspeld worden, maar dat 24-uursvoorspellingen vaker leiden tot enige onnauwkeurigheden. Maar aangezien er uiterlijk 12 uur voor een stormpiek voorspeld dient te worden kan men concluderen dat dit goed verloopt.

6.1 Aanbeveling

Een geschikte aanbeveling zou in dit geval het teken staan van het realiseren van betrouwbaardere voorspellingen. Dit kan voornamelijk verbeterd worden door de in de discussie genoemde onzekerheden aan te pakken. Bijvoorbeeld door het doen van de suggesties voor vervolgonderzoek, aangezien deze gebaseerd zijn op het terugdringen van de onzekerheden.

Aangezien vanaf voorspellingen die 12 uur van vooruit gemaakt zijn gepaste nauwkeurigheid heeft, is het aan te bevelen uiterlijk 12 uur van tevoren waarschuwingen uit te geven. Ook is het van belang om bij het uitgeven van deze waarschuwingen in de huidige situatie bij golfoploopvoorspellingen de nodige slagen om de arm te houden vanwege de grote onzekerheid ervan.

Literatuur

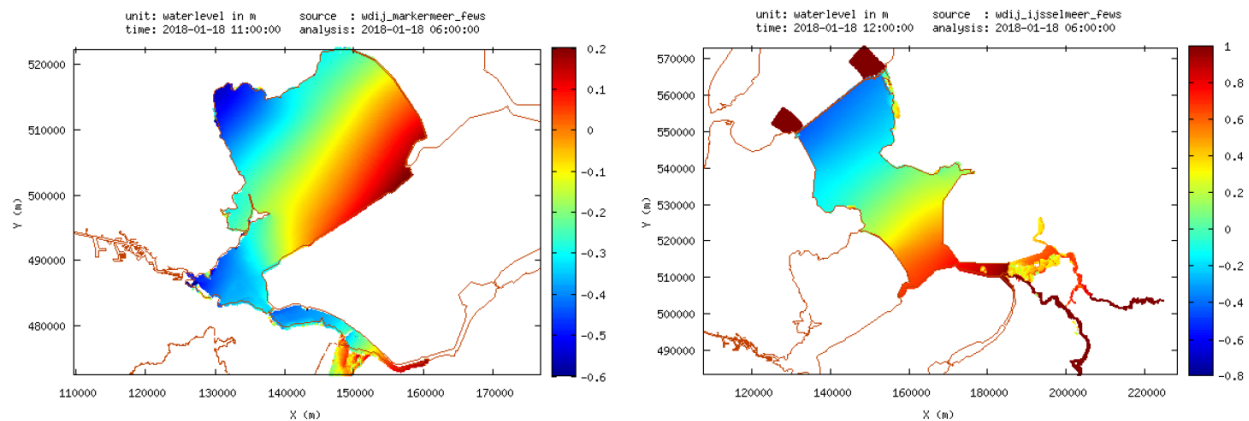
- (sd). Opgehaald van Matroos: matroos.rws.nl
- (2019, maart 14). Opgehaald van de Stentor: <https://www.destentor.nl/kampen/opnieuw-storm-rijkswaterstaat-sluit-voor-tweede-keer-deze-week-stormvloedkering-bij-ramspol~ab5bb1b4/>
- Deltares. (2012). *Environment Modelling & Software*. Delft: Elsevier.
- Deltares. (2014). *Modelschematisaties IJsselmeer-Vecht-IJsseldelta*.
- Deltares. (2014). *Toets Waterveiligheid*.
- Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. (2002). *Ecologische effecten van peilbeheer: een kennisoverzicht*. Lelystad.
- Drents Overijsselse Delta. (sd). *Waterthema Waterveiligheid Hoogwaterbrigade*. Opgehaald van wdodelta: <https://www.wdodelta.nl/waterthema/waterveiligheid-0/hoogwater-brigade/>
- Infram. (2017). *Operationaliseren Flexibel Peilbeheer IJsselmeergebied*. Maarn.
- Narkhede, S. (2018, May 9). *Understanding Confusion Matrix*. Opgehaald van Towardsdatascience: <https://towardsdatascience.com/understanding-confusion-matrix-a9ad42dcfd62>
- (2018). *Peilbesluit IJsselmeergebied*. Lelystad: Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (sd). *Matroos*. Opgehaald van helpdeskwater: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/matroos/>
- Rijkswaterstaat. (sd). *Project Afsluitdijk*. Opgehaald van rijkswaterstaat.nl: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/afsluitdijk/index.aspx>
- Rijkswaterstaat, Nederland. (sd). *Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, locatie Lelystad*. Opgehaald van Rijkswaterstaat.nl: <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/onze-organisatie/organisatiestructuur/water-verkeer-en-leefomgeving/locatie-lelystad.aspx>
- Slomp, R. (2014). The Dutch delta model for policy analysis on flood risk management in the Netherlands., (p. 13).
- University of Amsterdam. (2012). *Een meer natuurlijk peilbeheer: relaties tussen geohydrologie, ecosysteem-dynamiek en Natura 2000*.

Bijlage A - Relevante meetlocaties

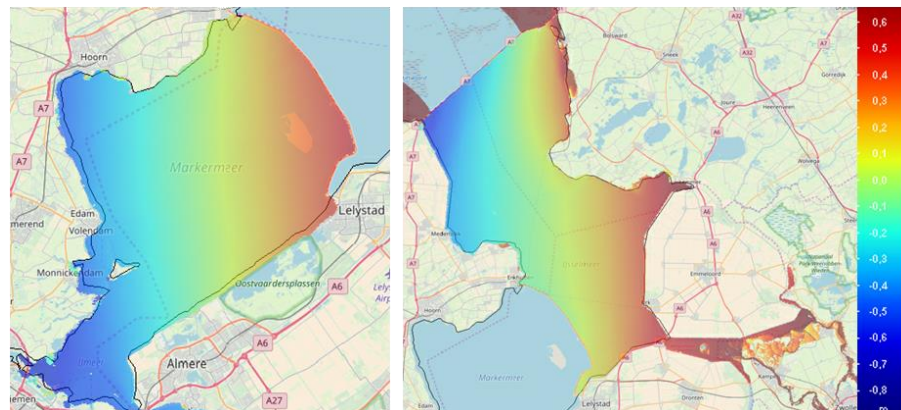
Om de waarschuwingskwaliteit in het IJsselmeergebied te testen is er representatief een aantal meetlocaties geselecteerd om te onderzoeken. Deze meetlocaties zijn gekozen op basis van hun relevantie voor overstromingsgevaar.

Aangezien de meest bedreigende situaties voorkomen bij hoge waterstanden in combinatie met wind, zijn de meetlocaties gekozen op basis van het mogelijk opgetreden van scheefstand. Ook wordt er hierbij gekeken naar de voornaamste bedreigende meteorologische omstandigheden, dat wil zeggen noordwesten- en westenwind.

Als men resultaten uit WAQUA tijdens noordwesten- en westenwind bekijkt, is goed te zien waar in zulke situaties in het IJsselmeergebied hoge waterstanden verwacht worden. (Noordwestenwind: Figuur 10, zuidwestenwind: Figuur 11.)

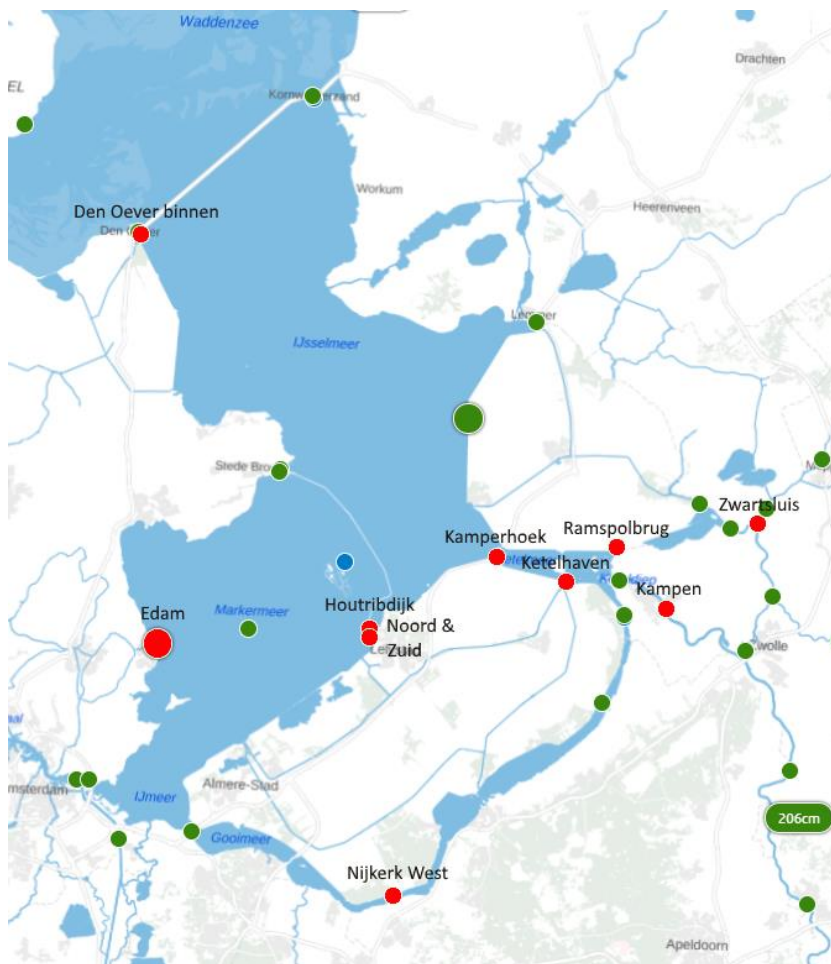


Figuur 10 (Waterstanden (m+NAP) Markermeer (links) en IJsselmeer (rechts) voor woensdag 18 januari 2018 12:00 uur (bron: zitting storm 18012018))



Figuur 11 Waterstanden (m+NAP) Markermeer (links) en IJsselmeer (rechts) voor woensdag 03 januari 2018 12:00 uur

Mede op basis van welke gebieden gevaar lopen in bovenstaande situaties, zijn de volgende tien meetlocaties geselecteerd. Ook zijn deze locaties geselecteerd op basis van zittingen die geraadpleegd zijn, en adviezen die binnen Rijkswaterstaat aan de hand van dit onderzoek gegeven zijn. In Figuur 13 is een overzicht van de selectie gegeven, deze selectie is ook met de rode stippen aangegeven.



- Edam
- Nijkerk West
- Houtribdijk Noord
- Houtribdijk Zuid
- Den Oever binnen
- Ketelhaven
- Kamperhoek
- Ramspolbrug
- Kampen
- Zwartsluis

Figuur 12 gekozen meetlocaties die representatief zijn voor de algehele veiligheid van het IJsselmeergebied

Bijlage B - Grenswaarden voor waarschuwingen

In Tabel 10 zijn voor alle meetlocaties in het IJsselmeergebied grenswaarden weergegeven voor codes Geel, Oranje en Rood in centimeters boven NAP. Deze grenswaarden zijn gebaseerd op de mate van waarschijnlijkheid dat deze waterhoogten wateroverlast tot gevolg kunnen hebben. Wanneer er bij de desbetreffende locatie waterstanden worden verwacht die grenswaarden overschrijden worden er berichten of waarschuwingen gegenereerd. In deze tabel staan de kolommen Geel, Oranje en Rood voor de ernst van de waarschuwing, en is de kolom 'Max' representatief voor de kruinhoogte. Tot slot zijn in de tabel ook de gekozen relevante meetlocaties lichtblauw gemarkeerd. (Gegevens afkomstig van Rijkswaterstaat)

Tabel 10 Alle grenswaarden voor waarschuwingen per meetlocatie

Locatienaam	Watersysteem	Geel	Oranje	Rood	Max
IJsselpop	IJssel	1135	1300	1400	2000
Westervoort	IJssel	1100	1245	1330	2000
De Steeg	IJssel	1000	1120	1180	2000
Doesburg Brug	IJssel	910	1010	1060	2000
Zutphen Noord	IJssel	650	760	820	2000
Eefde beneden	IJssel	650	760	820	2000
Deventer	IJssel	480	610	690	1200
Olst	IJssel	400	530	580	1200
Wijhe	IJssel	380	460	530	1000
Katerveer	IJssel	190	305	390	1000
Kampen	IJssel	70	175	260	1000
IJsselmeer Noord	IJsselmeer	-10	30	100	500
Rotterdamse Hoek	IJsselmeer	-10	30	100	500
Friese kust	IJsselmeer	5	30	100	500
Den Oever binnen	IJsselmeer	20	90	120	500
Krabbersgat noord	IJsselmeer	20	80	110	500
Lemmer	IJsselmeer	70	150	170	500
Ramspolbrug	IJsselmeer	40	70	110	500
Ketelhaven	IJsselmeer	80	120	180	500
Roggebotsluis Noord	IJsselmeer	90	120	200	500
Houtrib noord	IJsselmeer	40	70	110	500
Wieringen Oost	IJsselmeer	40	90	120	500
Wieringen West	IJsselmeer	40	90	120	500
Keteldiep	IJsselmeer	100	160	280	500
Kornwerderzand binnen	IJsselmeer	70	150	170	500
Kamperhoek	IJsselmeer	60	150	170	500
Markermeer Midden	Markermeer	-10	10	50	500
Edam	Markermeer	-10	15	30	500
Krabbersgat zuid	Markermeer	40	50	80	500
Schellingwouderbrug	Markermeer	70	150	170	500
Hollandse Brug	Markermeer	70	150	170	500
Nijkerk west	Markermeer	70	150	170	500
Houtrib zuid	Markermeer	70	150	170	500

Meppelerdiep km 2.5	Meppelerdiep	47	70	100	500
Galgenkampsebrug	Meppelerdiep	57	80	110	500
Nijkerk oost	Randmeren	10	60	100	500
Elburger brug	Randmeren	10	60	100	500
Roggebuitsluis zuid	Randmeren	10	60	100	500
Haandrik Kruisbrug	Vecht	980	1020	1060	1500
Ommen Hesselmulertbrug	Vecht	380	400	500	1000
Ommen Ommerkanaal	Vecht	400	450	500	1000
Vechterweerd beneden	Vecht	155	255	350	1000
Kadoelen	Zwarte Water	60	100	180	500
Genemuiden	Zwarte Water	50	100	180	500
Zwartsluis buiten	Zwarte Water	47	150	180	500
Mond der Vecht	Zwarte Water	50	150	200	500
Spooldersluis binnen	Zwarte Water	110	175	250	1000
Olst	IJssel	750	1150	1800	10000
Westervoort	IJssel	650	1150	1800	10000
Olst	IJssel	650	1150	1800	10000
Ommen Hessel Mulertbrug	Vecht	160	350	500	2000
Ommen Ommerkanaal	Vecht	20	50	100	1000
Genemuiden	Zwarte Water	250	400	600	1000

Voor het overzicht zijn de lichtblauw gearceerde rijen uit Tabel 10 hieronder in Tabel 11 weergegeven. Dit zijn de grenswaarden horende bij de relevante meetlocaties gekozen in Bijlage A - [Relevante meetlocaties](#).

Tabel 11 Grenswaarden van gekozen meetlocaties (m NAP)

Locatie:	Grenswaarden (m NAP)		
	Geel	Oranje	Rood
Edam	-0,1	0,15	0,3
Nijkerk	0,7	1,5	1,7
Houtr.Z	0,7	1,5	1,7
Houtr.N	0,4	0,7	1,1
Kamperhoek	0,6	1,5	1,7
Den Oever	0,2	0,9	1,2
Ketelhaven	0,8	1,2	1,8
Ramspolbrug	0,4	0,7	1,1
Kampen	0,7	1,75	2,6
Zwartsluis	0,47	1,5	1,8

Bijlage C - Overzicht zittingen

In deze bijlage staat een overzicht van alle zittingen van 2017 t/m 2019. Hierin staan enkele details van de stormen die in de afgelopen jaren hebben plaatsgevonden. Van deze stormen is ook – indien beschikbaar – gekeken naar gegevens uit Matroos om te controleren hoe de stormen destijds voorspeld waren.

Tabel 12 Overzicht zittingen

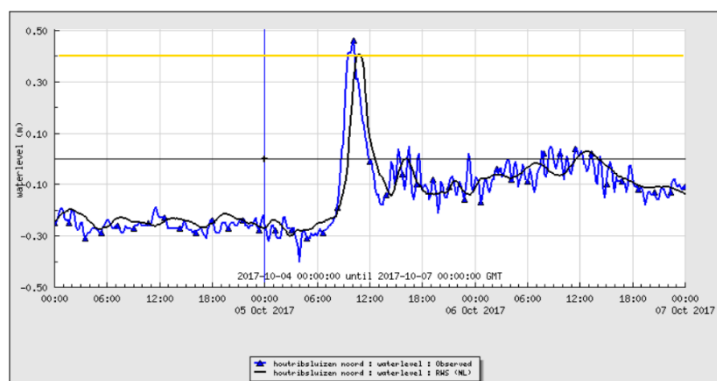
2017		2018		2019	
8 waarschuwingen		4 waarschuwingen		4 waarschuwingen	
23 februari	3 januari	11 maart	Geel (W)	11-03	Geel (NW)
Dijken bij Lelystad en Almere		Dijken van de Noordoostpolder, Kampereilanden, Overijsselse Vecht, IJssel, bij Lelystad, bij Almere en de Houtribdijk		Kampereilanden en Vechtdelta, Ramspolkering gesloten en Zedemuden-sluis in kerende stand	
5 oktober	3 januari	3 januari	Geel (W)		
Dijken bij Lelystad, Almere, langs het Ketelmeer en de monding van de IJssel		Dijken van de Kampereilanden en de Overijsselse Vecht			
29 oktober	18 januari	18 januari	Geel (W)		
Dijken Ketelmeer en Kampereilanden		Dijken van de Noordoostpolder, Kampereilanden, IJssel, bij Lelystad en de Houtribdijk			
		18 januari	18 januari		
		Dijken Almere			

Gegevens Matroos met betrekking tot zittingen

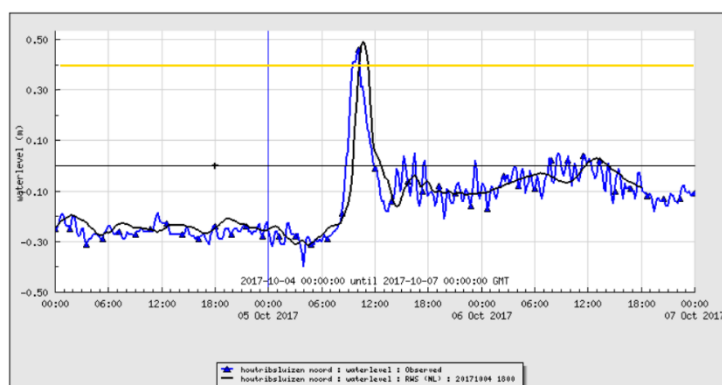
Voor elke storm waar zittingen voor gehouden zijn, zijn er een of meer meetlocaties gekozen die tijdens de storm waarschuwingen hebben ontvangen om te kijken in hoeverre de uitgegeven voorspellingen terecht bleken tijdens deze stormen.

Storm van 5 oktober 2017

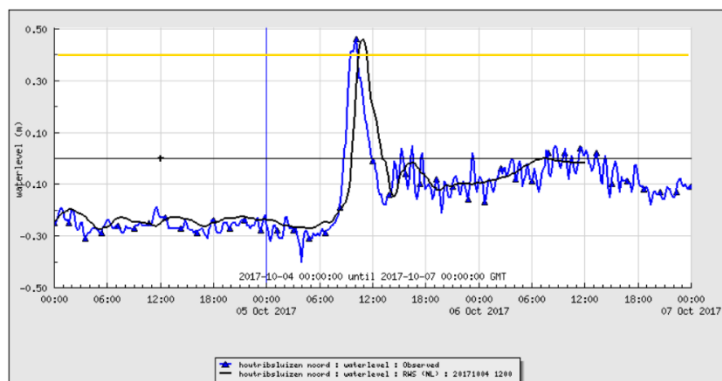
Tijdens deze storm zijn er diverse voorspellingen gedaan die code Geel afgaven. Er zijn echter **geen waarschuwingen** uitgegeven. Uit de figuren van meetlocatie Houtribsluizen Noord kan men afleiden dat de storm vrij accuraat voorspeld is, behalve dat een dag van tevoren de piek een paar uur te laat voorspeld was. Men kan echter spreken van een terechte beslissing voor meetlocatie Houtribsluizen Noord omdat zoals te zien in de vier figuren hieronder de piek slechts een kleine en korte overschrijding van de gele grenswaarde maakte: Code Geel 0,4 m NAP (Tabel 11), (aangegeven met de gele lijnen in de figuren.)



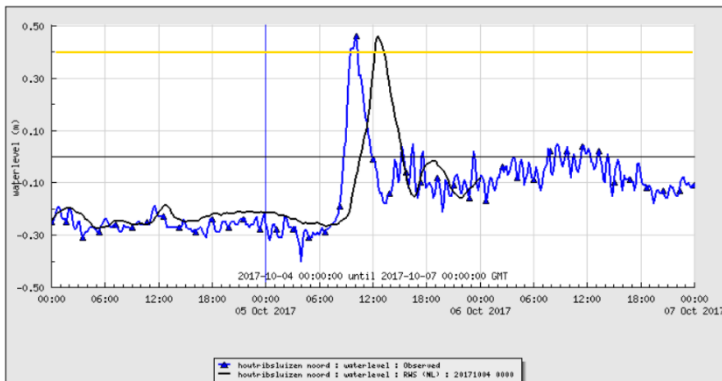
Figuur 14 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 5 okt. 2017, meest recente voorspelling. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



Figuur 13 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 5 okt. 2017, voorspelling 6 uur van tevoren. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



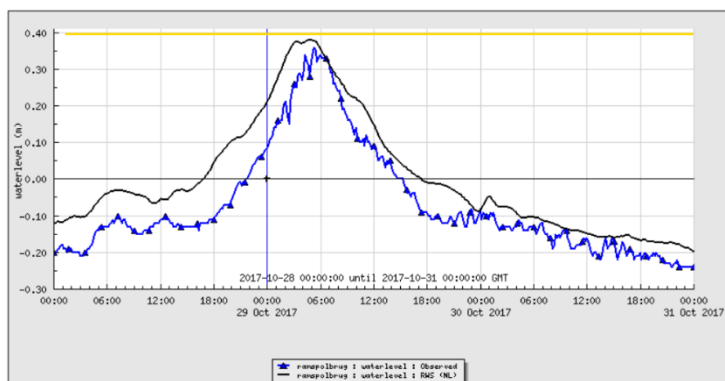
Figuur 16 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 5 okt. 2017, voorspelling 12 uur van tevoren. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



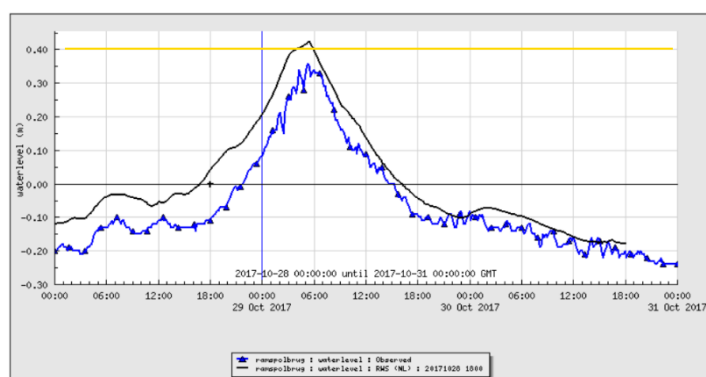
Figuur 15 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 5 okt. 2017, voorspelling 24 uur van tevoren. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)

Storm van 29 oktober 2017

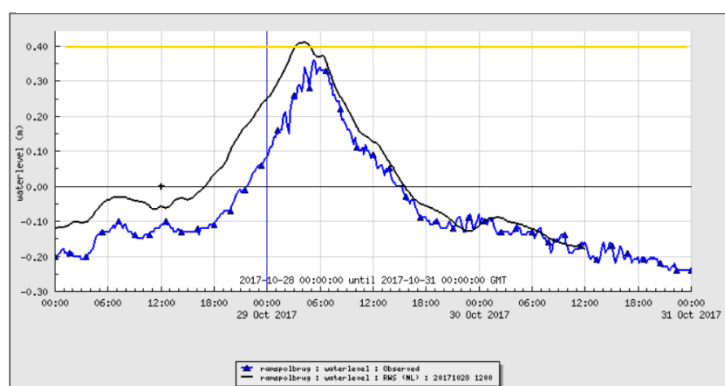
Tijdens deze storm zijn ook diverse voorspellingen gedaan die code Geel afgaven en er waren **geen waarschuwingen** uitgegeven. Ook kan men uit de figuren van meetlocatie Ramspolbrug afleiden dat de storm vrij accuraat voorspeld is. Men kan hier dus spreken van een terechte beslissing om geen waarschuwingen af te geven omdat de voorspelde piek slechts een kleine en korte overschrijding van de gele grenswaarde maakte. Code Geel 0,4 m NAP (Tabel 11), aangegeven met de gele lijnen in de figuren.



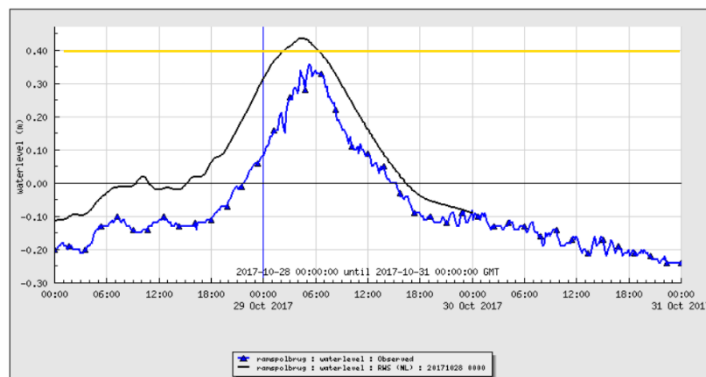
Figuur 20 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 29 okt. 2017, recente voorspelling. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



Figuur 18 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 29 okt. 2017, voorspelling 6 uur van tevoren. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



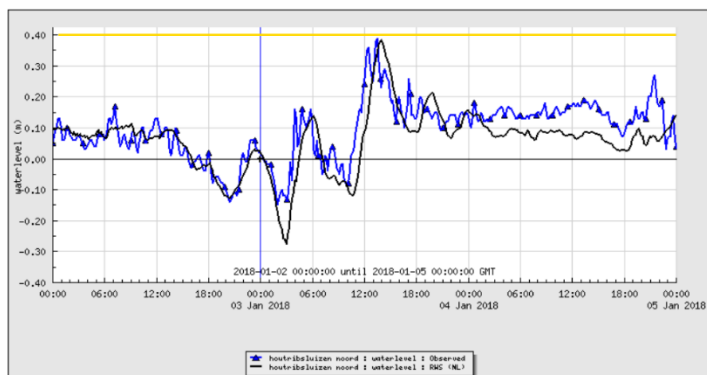
Figuur 17 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 29 okt. 2017, voorspelling 12 uur van tevoren. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



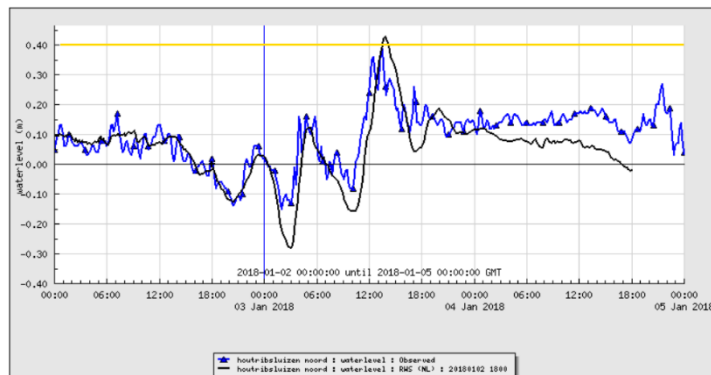
Figuur 19 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 29 okt. 2017, voorspelling 24 uur van tevoren. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)

Storm van 3 januari 2018

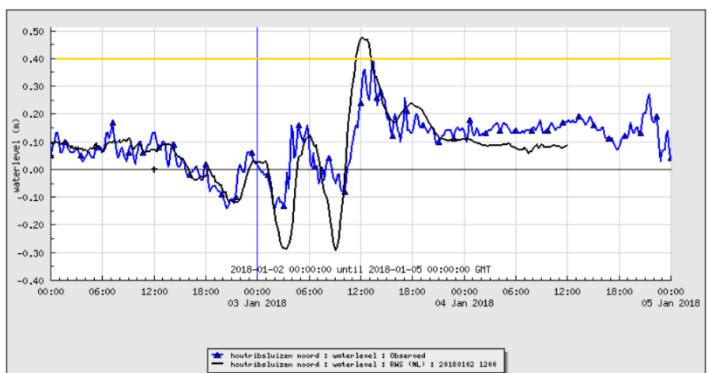
Tijdens deze storm zijn diverse codes Geel als waarschuwingen uitgegeven en er zijn vijf keringen in gesloten stand gegaan. In de figuren hieronder is te zien hoe deze situatie voorspeld is voor de meetlocatie Houtribsluizen Noord. In de figuren is te zien dat een dag van tevoren de voorspelde piek een stuk lager was. Maar 12 uur vooraf was er een flinke uitschieter in de voorspelling. Kijkend naar de recente voorspelling bleek de waarschuwing echter onterecht; Op grond van de meest recente voorspelling bleek de waarschuwing echter onterecht. Uiteindelijk wordt de grenswaarde niet bereikt. Code Geel 0,4 m NAP (Tabel 11), aangegeven met de gele lijnen in de figuren.



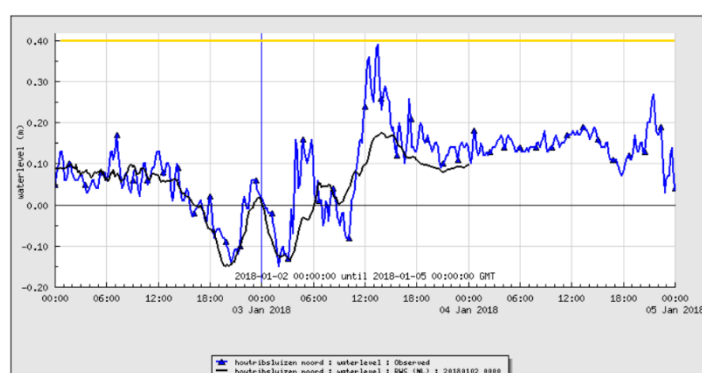
Figuur 24 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 3 jan 2018, **recente voorspelling**. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



Figuur 23 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 3 jan 2018, voorspelling **6 uur van tevoren**. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)

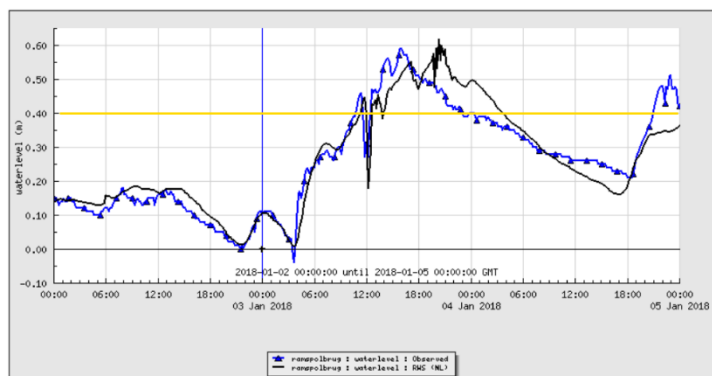


Figuur 22 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 3 jan 2018, voorspelling **12 uur van tevoren**. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)

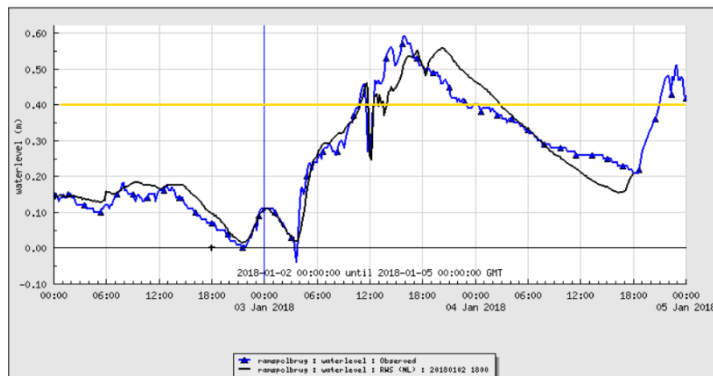


Figuur 21 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 3 jan 2018, voorspelling **24 uur van tevoren**. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)

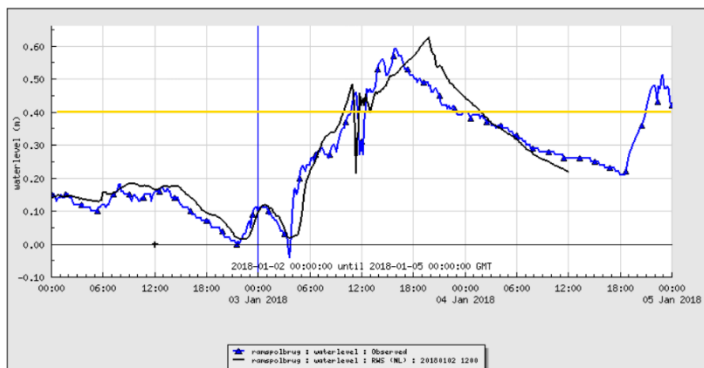
Bij de locatie Ramspolbrug was echter wél sprake van een terechte waarschuwing. Ruim van tevoren is hier accuraat aangegeven dat de grens voor code Geel ruim overschreden wordt. Code Geel 0,4 m NAP (Tabel 11), aangegeven met de gele lijnen in de figuren.



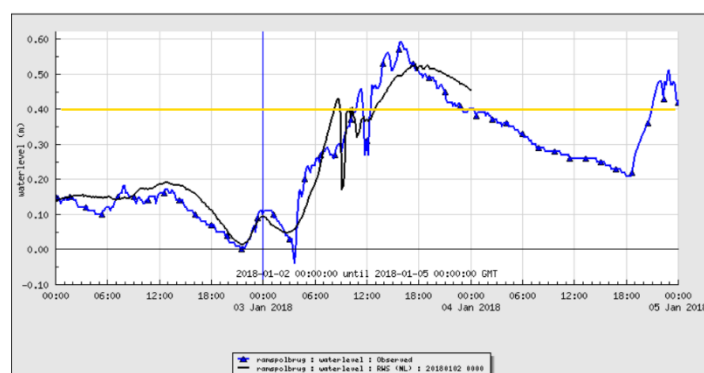
Figuur 25 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 3 jan 2018, recente voorspelling. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



Figuur 28 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 3 jan 2018, voorspelling 6 uur van tevoren. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



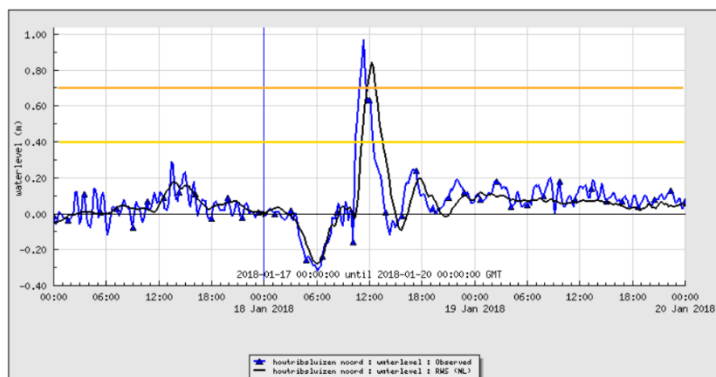
Figuur 27 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 3 jan 2018, voorspelling 12 uur van tevoren. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



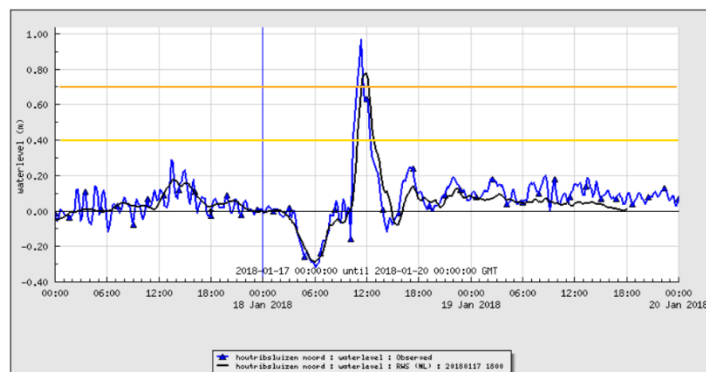
Figuur 26 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 3 jan 2018, voorspelling 24 uur van tevoren. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)

Storm van 18 Januari 2018

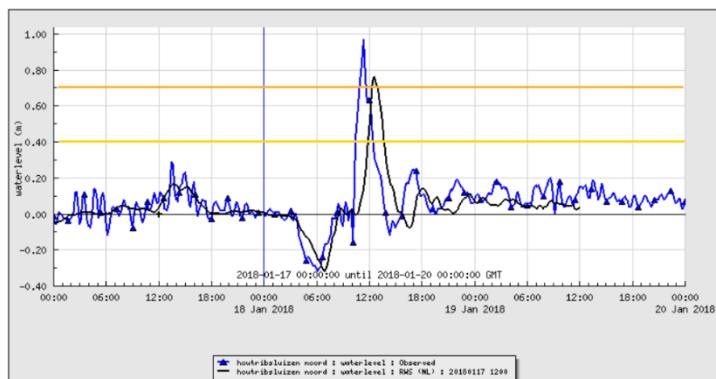
Tijdens deze storm zijn diverse codes Geel én Oranje als waarschuwingen uitgegeven. In figuren hieronder is te zien hoe deze situatie voorspeld is voor de meetlocatie Houtribsluizen Noord. In de figuren is te zien dat een dag van tevoren de voorspelde piek een stuk lager was, maar voldoende voor code Geel. In latere voorspellingen lie dit op naar code Oranje. Dat bleek een terechte voorspelling. Code Geel 0,4 m NAP, Code Oranje 0,7m NAP (Tabel 11), aangegeven met de gele en oranje lijnen in de figuren.



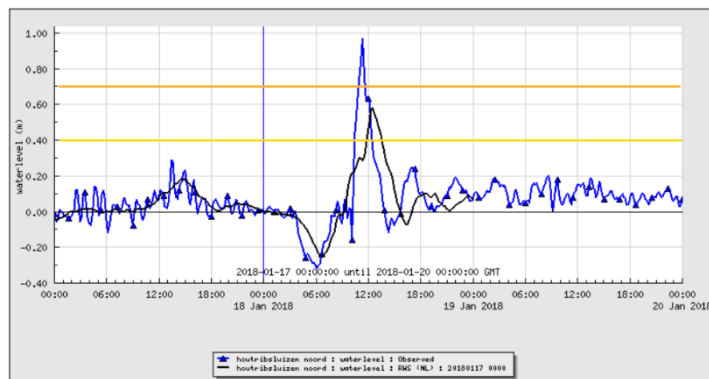
Figuur 29 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 18 jan 2018 **recente voorspelling**. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



Figuur 30 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 18 jan 2018, voorspelling **6 uur van tevoren**. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



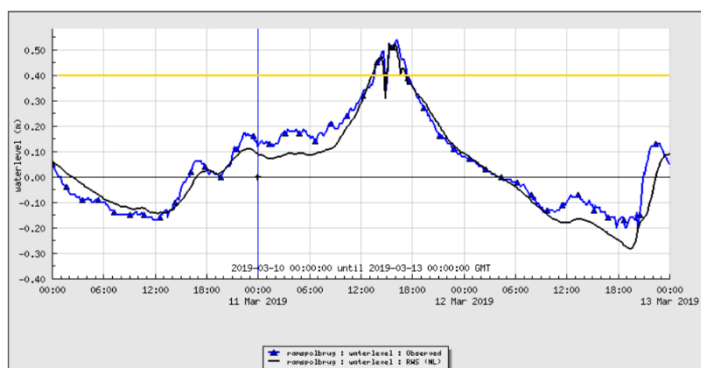
Figuur 32 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 18 jan 2018, voorspelling **12 uur van tevoren**. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



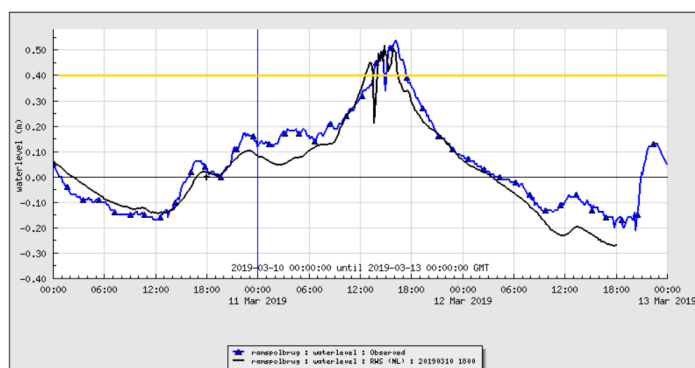
Figuur 31 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 18 jan 2018, voorspelling **24 uur van tevoren**. Meetlocatie: Houtribsluizen Noord (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)

Storm van 11 maart 2019

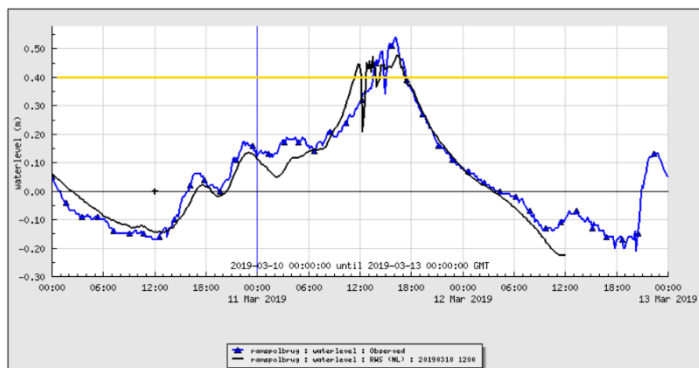
Voor deze storm is voor de Ramspolbrug code Geel afgegeven, wat betekent dat voor de kering Ramspol code Rood gold en de kering in gesloten stand ging. In de figuren is te zien dat ruim van tevoren deze gele waarden verwacht waren. De schommelingen die te zien zijn, zijn veroorzaakt door het sluiten van de kering. Code Geel 0,4 m NAP (Tabel 11), aangegeven met de gele lijnen in de figuren.



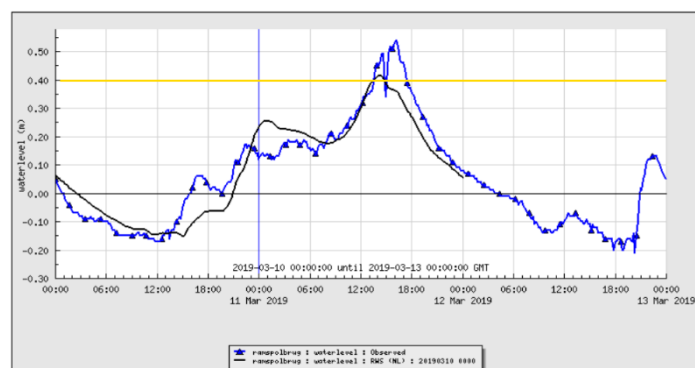
Figuur 33 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 11 mrt 2019, meest recente voorspelling. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



Figuur 34 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 11 mrt 2019, voorspelling 6 uur van tevoren. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



Figuur 36 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 11 mrt 2019, voorspelling 12 uur van tevoren. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)



Figuur 35 Voorspelde en gemeten waterhoogten storm 11 mrt 2019, voorspelling 24 uur van tevoren. Meetlocatie: Ramspolbrug (Zwart: Voorspeld, Blauw: Gemeten)

Bijlage D - Historische gegevens

In deze bijlage zijn historische meetgegevens en voorspelde gegevens opgenomen voor waterhoogten van het IJsselmeergebied voor de tien gekozen meetlocaties. Hier zijn alle waarschuwingen, onterechte waarschuwingen en 'gemiste' stormen opgesomd tussen 24 oktober 2017 en 22 november 2019. Dit is gedaan voor recente en vroegtijdigere voorspellingen om ook een beeld te schetsen van de gevoeligheid van de vroegtijdigheid.

In de tabellen hieronder zijn voor alle locaties de mate van overschrijding genoteerd, met in dezelfde rij de aantallen 'valse alarmen' (FP) en de 'gemiste' overschrijdingen (FN). De 'valse alarmen' en 'gemiste' stormen staan ook ernaast genoteerd in het percentage ten opzichte van de hoeveelheid overschrijdingen/waarschuwingen. Dit is gedaan voor codes Geel, Oranje en Rood voor recente en eerdere verwachtingen.

Recente verwachtingen:

Tabel 13 Codes Geel bij recente verwachtingen

Locatie:	Codes Geel		Percentage			
	Waarschuwingen	Vals	(%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	45	1	2%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	6	4	67%	0	0%	
Kamperhoek	42	3	7%	0	0%	
Den Oever	36	2	6%	0	0%	
Ketelhaven	4	3	75%	0	0%	
Ramspolbrug	21	6	29%	0	0%	
Kampen	17	5	29%	0	0%	
Zwartsluis	19	11	58%	0	0%	
Gemiddeld:			27%		0%	

Tabel 14 Codes Oranje bij recente verwachtingen

Locatie:	Codes Oranje		Percentage			
	Waarschuwingen	Vals	(%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	0	0	0%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	2	1	50%	1	100%	
Kamperhoek	0	0	0%	7	100%	
Den Oever	0	0	0%	0	0%	
Ketelhaven	0	0	0%	0	0%	
Ramspolbrug	3	3	100%	0	0%	
Kampen	6	1	17%	4	80%	
Zwartsluis	0	0	0%	0	0%	
Gemiddeld:			17%		28%	

Tabel 15 Codes Rood bij recente verwachtingen

Locatie:	Codes Rood					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	0	0	0%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	0	0	0%	0	0%	
Kamperhoek	0	0	0%	5	100%	
Den Oever	0	0	0%	0	0%	
Ketelhaven	0	0	0%	0	0%	
Ramspolbrug	0	0	0%	0	0%	
Kampen	6	6	100%	4	80%	
Zwartsluis	0	0	0%	0	0%	
Gemiddeld:			10%		18%	

Voor het overzicht zijn de gemiddelden van bovenstaande tabellen hieronder in Tabel 16 samengevat gesorteerd op percentages vals, gemist en op alarmcode:

Tabel 16 Alle gemiddelden bij recente verwachtingen

	Geel	Oranje	Rood
Percentage vals:	27%	17%	10%
Percentage gemist:	0%	28%	18%

Verwachtingen 6 uur van tevoren:

Tabel 17 Codes Geel, verwachtingen bij 6 uur van tevoren

Locatie:	Codes Geel					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	51	7	14%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	6	6	100%	0	0%	
Kamperhoek	38	13	34%	0	0%	
Den Oever	19	8	42%	0	0%	
Ketelhaven	3	3	100%	0	0%	
Ramspolbrug	17	16	94%	0	0%	
Kampen	20	20	100%	0	0%	
Zwartsluis	23	21	91%	0	0%	
Gemiddeld:	58%			0%		

Tabel 18 Codes Oranje, verwachtingen 6 uur van tevoren

Locatie:	Codes Oranje					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	0	0	0%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	1	1	100%	1	100%	
Kamperhoek	0	0	0%	7	100%	
Den Oever	0	0	0%	0	0%	
Ketelhaven	0	0	0%	0	0%	
Ramspolbrug	0	0	0%	0	0%	
Kampen	5	5	100%	5	100%	
Zwartsluis	0	0	0%	0	0%	
Gemiddeld:	20%			30%		

Tabel 19 Codes Rood, verwachtingen 6 uur van tevoren

Locatie:	Codes Rood					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	0	0	0%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	0	0	0%	0	0%	
Kamperhoek	0	0	0%	5	100%	
Den Oever	0	0	0%	0	0%	
Ketelhaven	0	0	0%	0	0%	
Ramspolbrug	0	0	0%	0	0%	
Kampen	5	5	100%	5	100%	
Zwartsluis	0	0	0%	0	0%	
Gemiddeld:			10%		20%	

Voor het overzicht zijn de gemiddelden van bovenstaande tabellen hieronder in Tabel 20 samengevat gesorteerd op percentages vals, gemist en op alarmcode:

Tabel 20 Alle gemiddelden bij verwachtingen 6 uur van tevoren

	Geel	Oranje	Rood
Percentage vals:	58%	20%	10%
Percentage gemist:	0%	30%	20%

Verwachtingen 12 uur van tevoren:

Tabel 21 Codes Geel, verwachtingen 12 uur van tevoren

Locatie:	Codes Geel					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	50	13	26%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	7	7	100%	0	0%	
Kamperhoek	35	9	26%	0	0%	
Den Oever	22	13	59%	0	0%	
Ketelhaven	6	6	100%	0	0%	
Ramspolbrug	24	23	96%	0	0%	
Kampen	21	17	81%	0	0%	
Zwartsluis	22	19	86%	0	0%	
Gemiddeld:			57%		0%	

Tabel 22 Codes Oranje, verwachtingen 12 uur van tevoren

Locatie:	Codes Oranje					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	0	0	0%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	1	1	100%	1	100%	
Kamperhoek	0	0	0%	7	100%	
Den Oever	0	0	0%	0	0%	
Ketelhaven	0	0	0%	0	0%	
Ramspolbrug	0	0	0%	0	0%	
Kampen	7	7	100%	5	100%	
Zwartsluis	0	0	0%	0	0%	
Gemiddeld:	20%			30%		

Tabel 23 Codes Rood, 12 uur van tevoren

Locatie:	Codes Rood					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	0	0	0%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	0	0	0%	0	0%	
Kamperhoek	0	0	0%	5	100%	
Den Oever	0	0	0%	0	0%	
Ketelhaven	0	0	0%	0	0%	
Ramspolbrug	0	0	0%	0	0%	
Kampen	7	7	100%	5	100%	
Zwartsluis	0	0	0%	0	0%	
Gemiddeld:	10%			20%		

Voor het overzicht zijn de gemiddelden van bovenstaande tabellen hieronder in Tabel 24 samengevat gesorteerd op percentages vals, gemist en op alarmcode:

Tabel 24 Alle gemiddelden voor verwachtingen 12 uur van tevoren

	Geel	Oranje	Rood
Percentage vals:	57%	20%	10%
Percentage gemist:	0%	30%	20%

Verwachtingen 24 uur van tevoren:

Tabel 25 Codes Geel, verwachtingen 24 uur van tevoren

Locatie:	Codes Geel					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	56	16	29%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	5	5	100%	0	0%	
Kamperhoek	32	11	34%	0	0%	
Den Oever	13	7	54%	0	0%	
Ketelhaven	3	3	100%	0	0%	
Ramspolbrug	19	19	100%	0	0%	
Kampen	18	18	100%	0	0%	
Zwartsluis	24	21	88%	0	0%	
Gemiddeld:			60%		0%	

Tabel 26 Codes Oranje, verwachtingen 24 uur van tevoren

Locatie:	Codes Oranje					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	0	0	0%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	1	1	100%	1	100%	
Kamperhoek	0	0	0%	7	100%	
Den Oever	0	0	0%	0	0%	
Ketelhaven	0	0	0%	0	0%	
Ramspolbrug	1	1	100%	0	0%	
Kampen	10	10	100%	5	100%	
Zwartsluis	0	0	0%	0	0%	
Gemiddeld:			30%		30%	

Tabel 27 Codes Rood, verwachtingen 24 uur van tevoren

Locatie:	Codes Rood					
	Waarschuwingen	Vals	Percentage (%)	Gemist	Percentage (%)	
Edam	0	0	0%	0	0%	
Nijkerk	0	0	0%	0	0%	
Houtr.Z	0	0	0%	0	0%	
Houtr.N	0	0	0%	0	0%	
Kamperhoek	0	0	0%	5	100%	
Den Oever	0	0	0%	0	0%	
Ketelhaven	0	0	0%	0	0%	
Ramspolbrug	0	0	0%	0	0%	
Kampen	10	10	100%	5	100%	
Zwartsluis	0	0	0%	0	0%	
Gemiddeld:			10%		20%	

Voor het overzicht zijn de gemiddelden van bovenstaande tabellen hieronder in Tabel 28 samengevat gesorteerd op percentages vals, gemist en op alarmcode:

Tabel 28 Alle gemiddelden voor verwachtingen 24 uur van tevoren

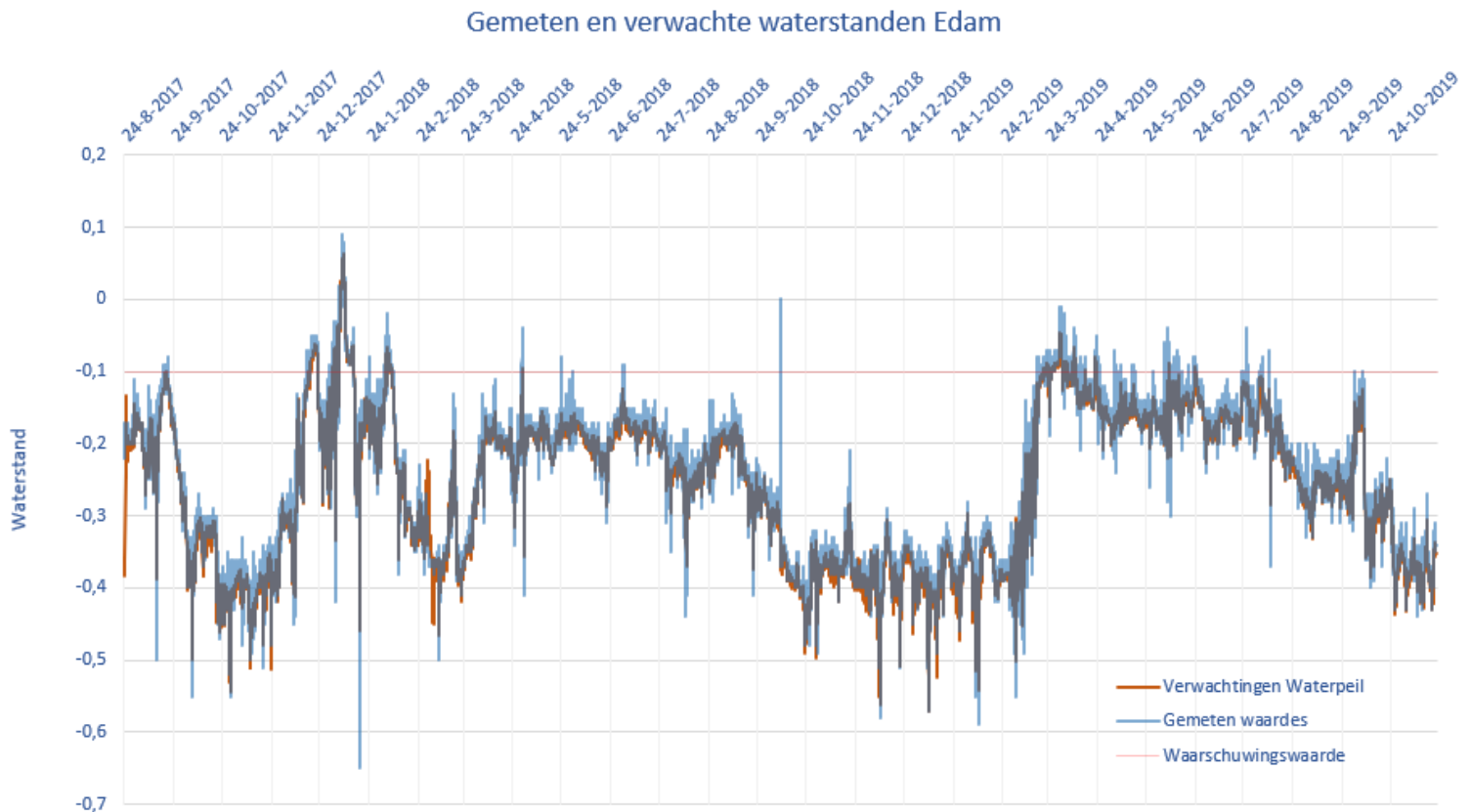
	Geel	Oranje	Rood
Percentage vals:	60%	30%	10%
Percentage gemist:	0%	30%	20%

Bijlage E - Figuren waterstanden

In deze bijlage zijn per locatie figuren weergegeven met daarin de gemeten (blauw) en verwachte waterstanden (oranje) afkomstig uit Matroos tussen 24 oktober 2017 en 22 november 2019 weergegeven. De horizontale lijn geeft telkens de grenswaarde voor de berichtgeving aan.

In de figuren is te zien hoe het nieuwe peilbeheer vanaf 2018 in de praktijk is uitgevoerd en waar eventuele uitschieters waren. In elk figuur is het verloop van het nieuwe peilbeheer te zien voor de zomer van 2019 waar het meerpeil omhoog gaat tot het bereiken van grens voor de code Geel om vervolgens weer te zakken.

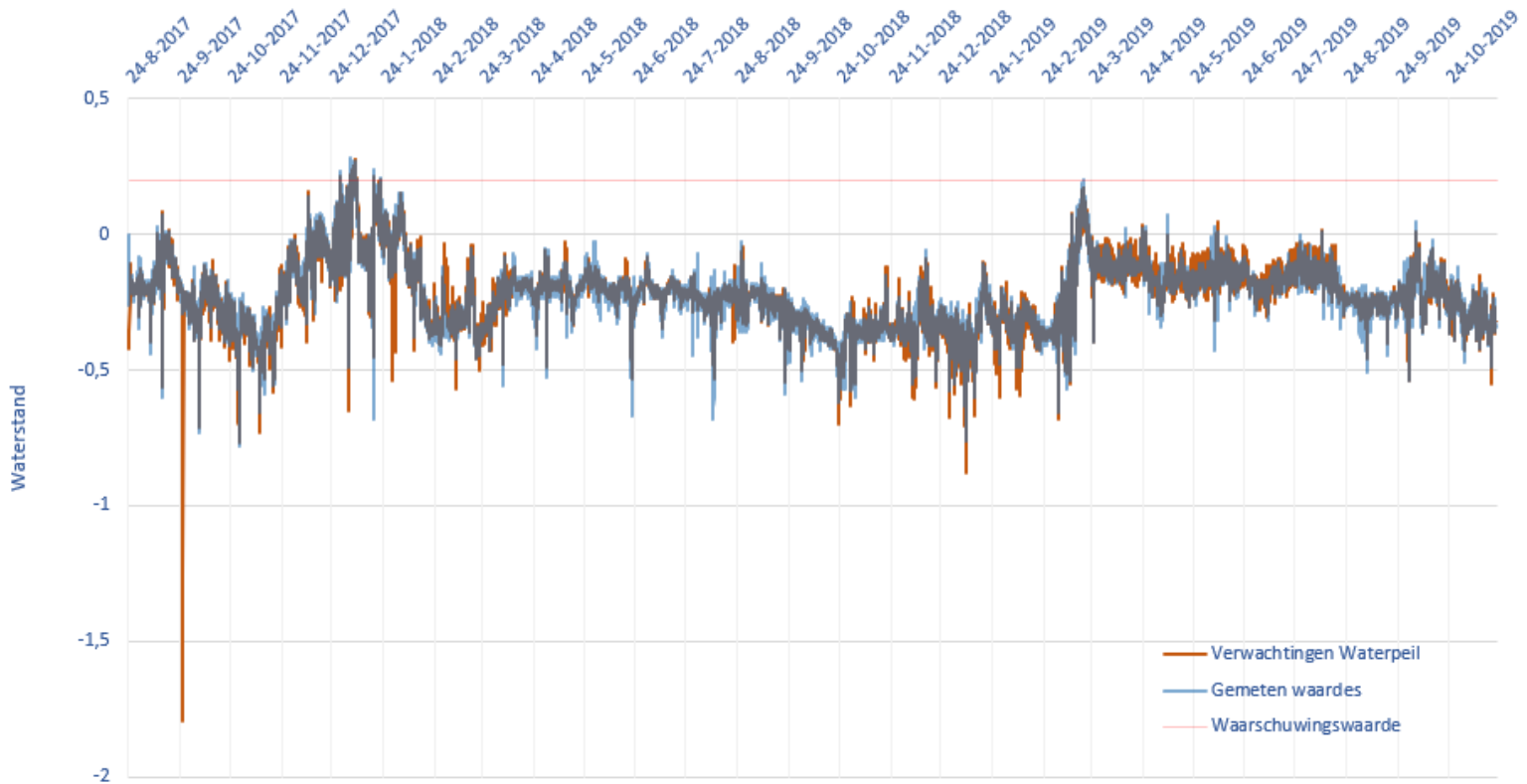
Edam:



Figuur 37 Gemeten en verwachte waterstanden Edam

Den Oever:

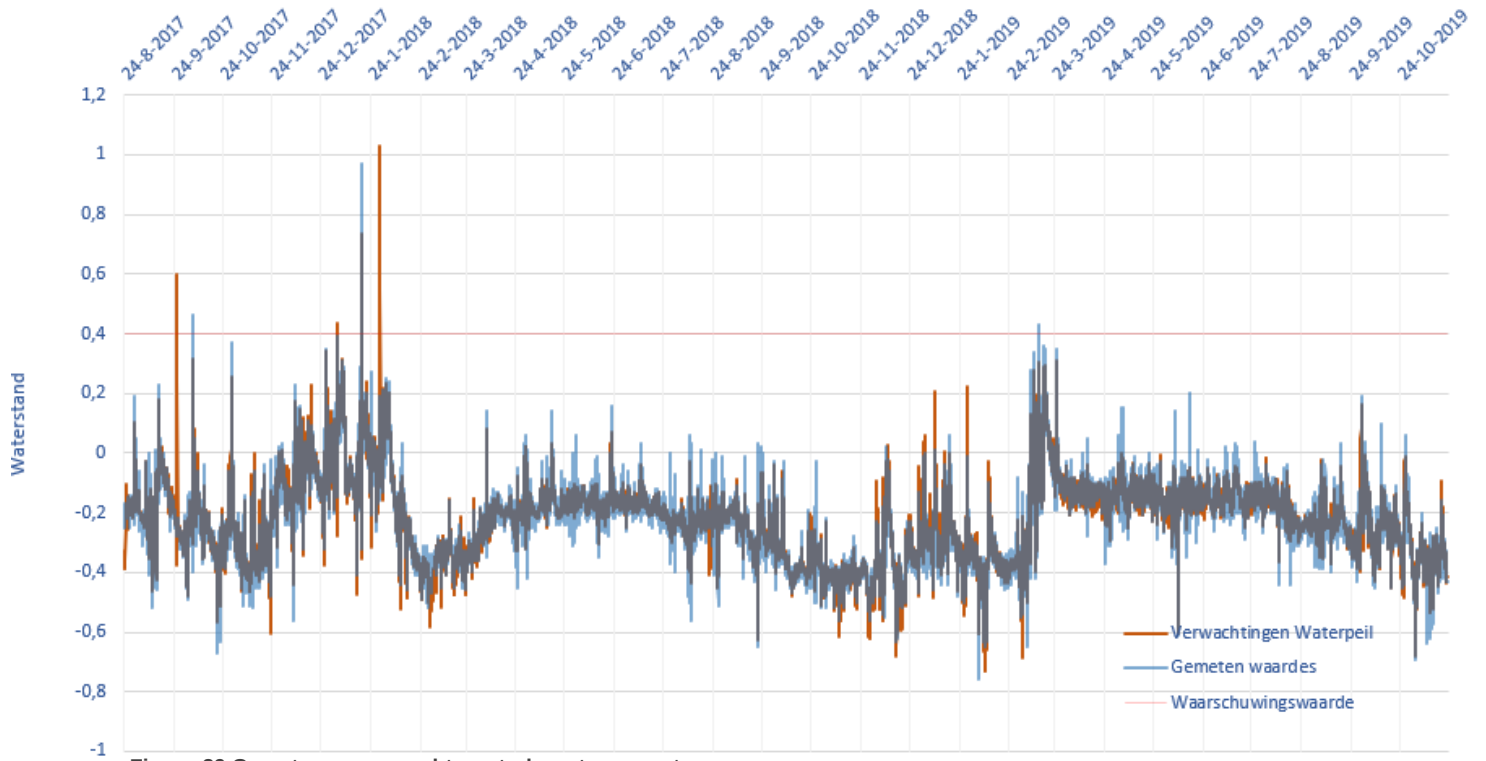
Gemeten en verwachte waterstanden Den Oever



Figuur 38 Gemeten en verwachte waterhoogten recent

Houtribsluizen Noord:

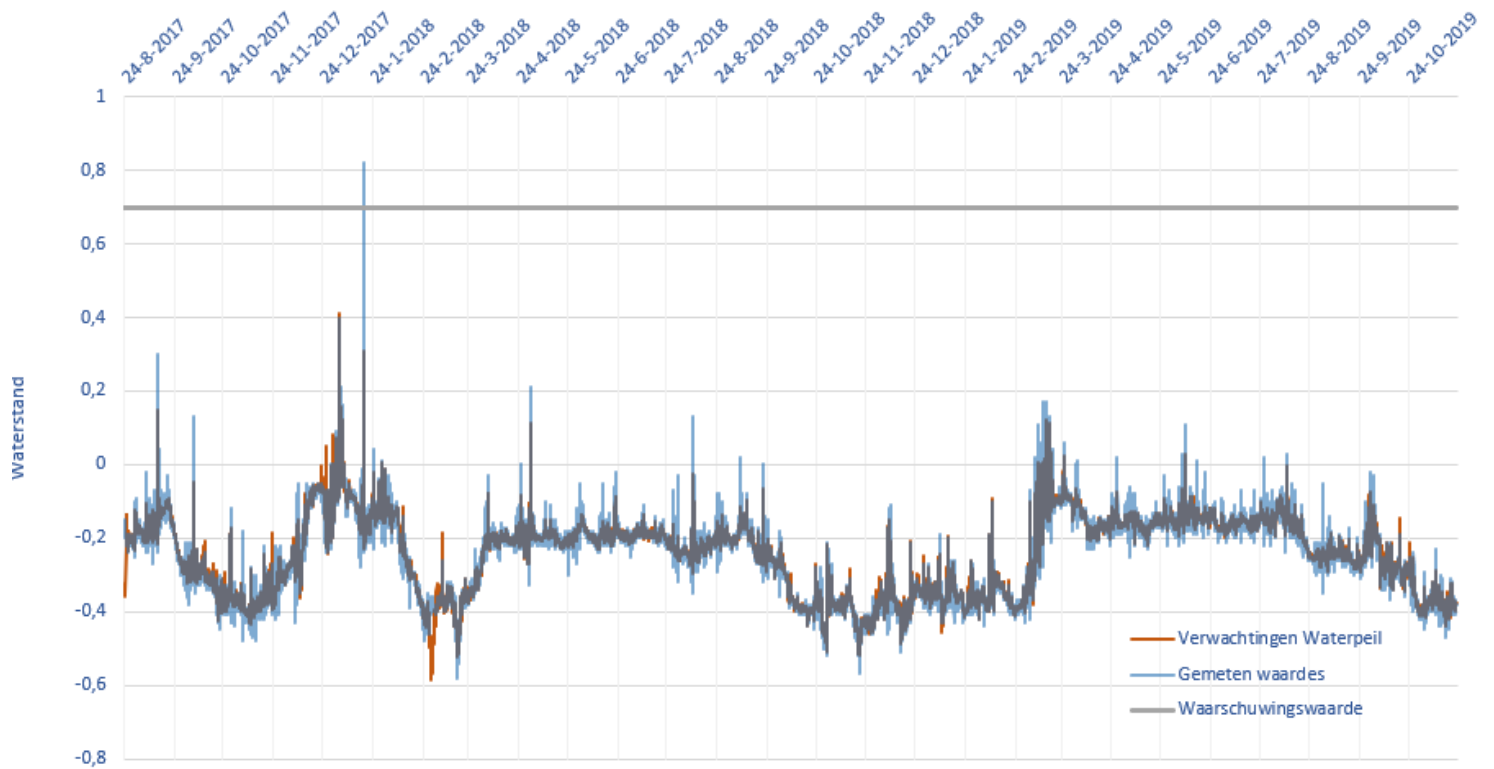
Gemeten en verwachte waterstanden Houtribsluizen Noord



Figuur 39 Gemeten en verwachte waterhoogten recent

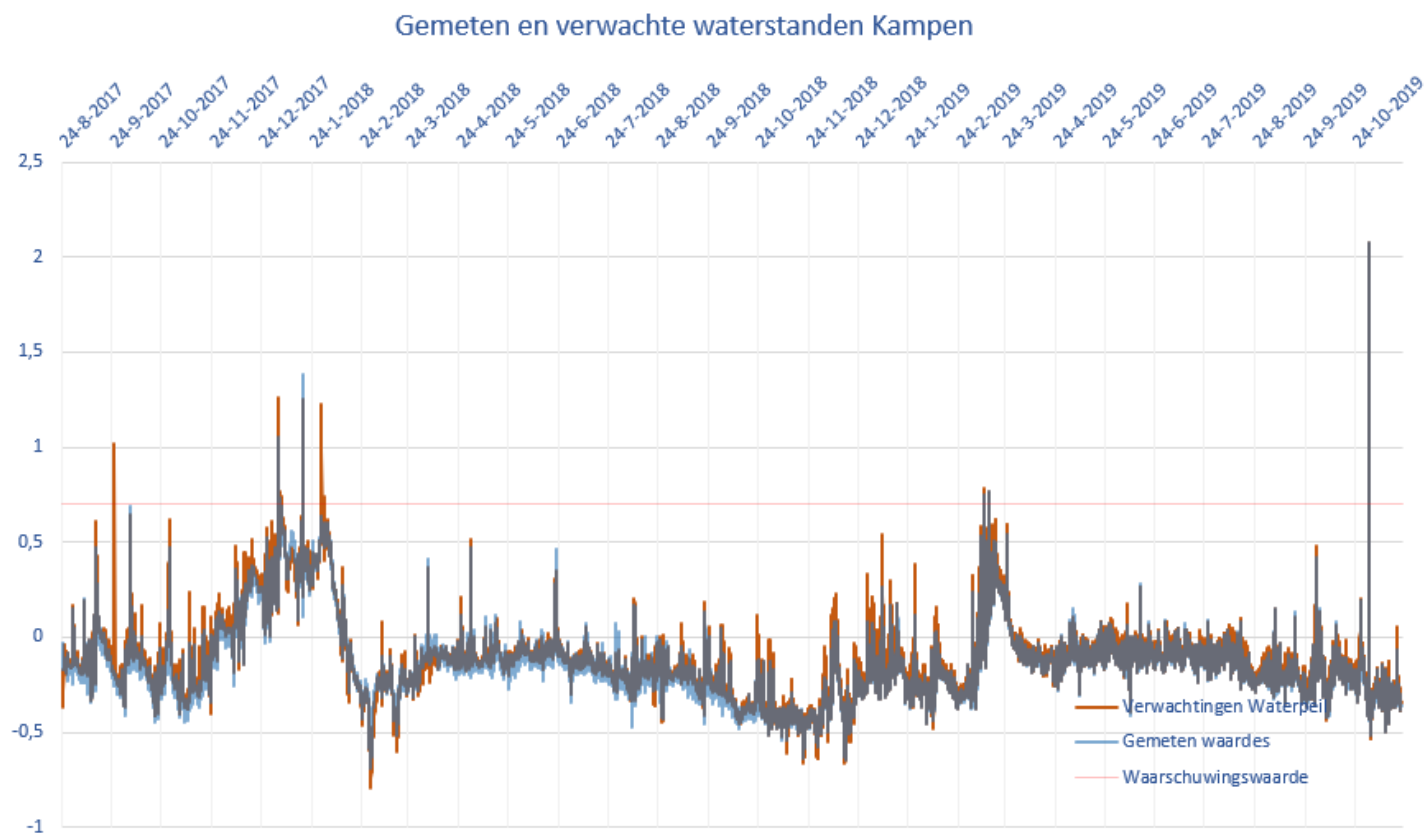
Houtribsluizen Zuid:

Gemeten en verwachte waterstanden Houtribsluizen Zuid



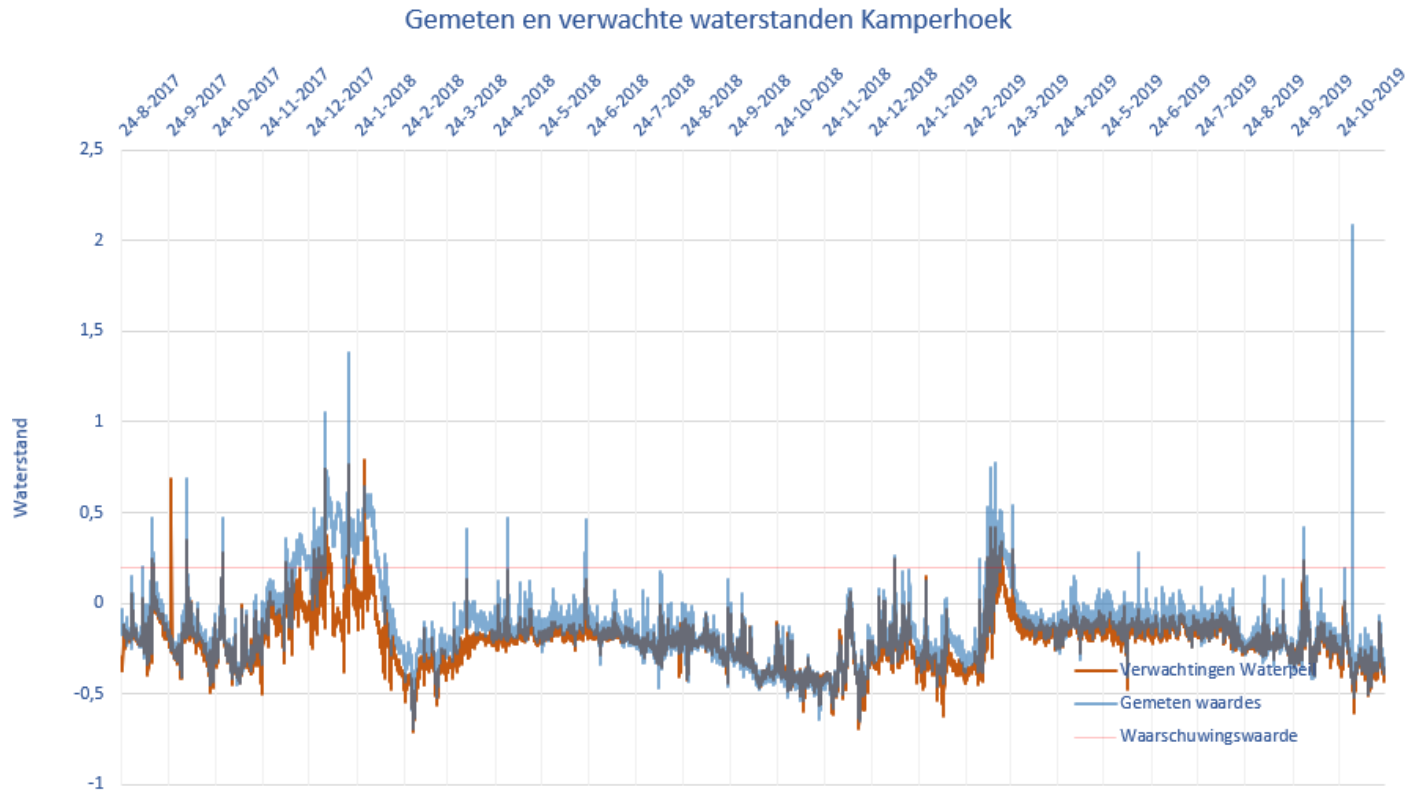
Figuur 40 Gemeten en verwachte waterhoogten recent

Kampen:



Figuur 41 Gemeten en verwachte waterhoogten recent

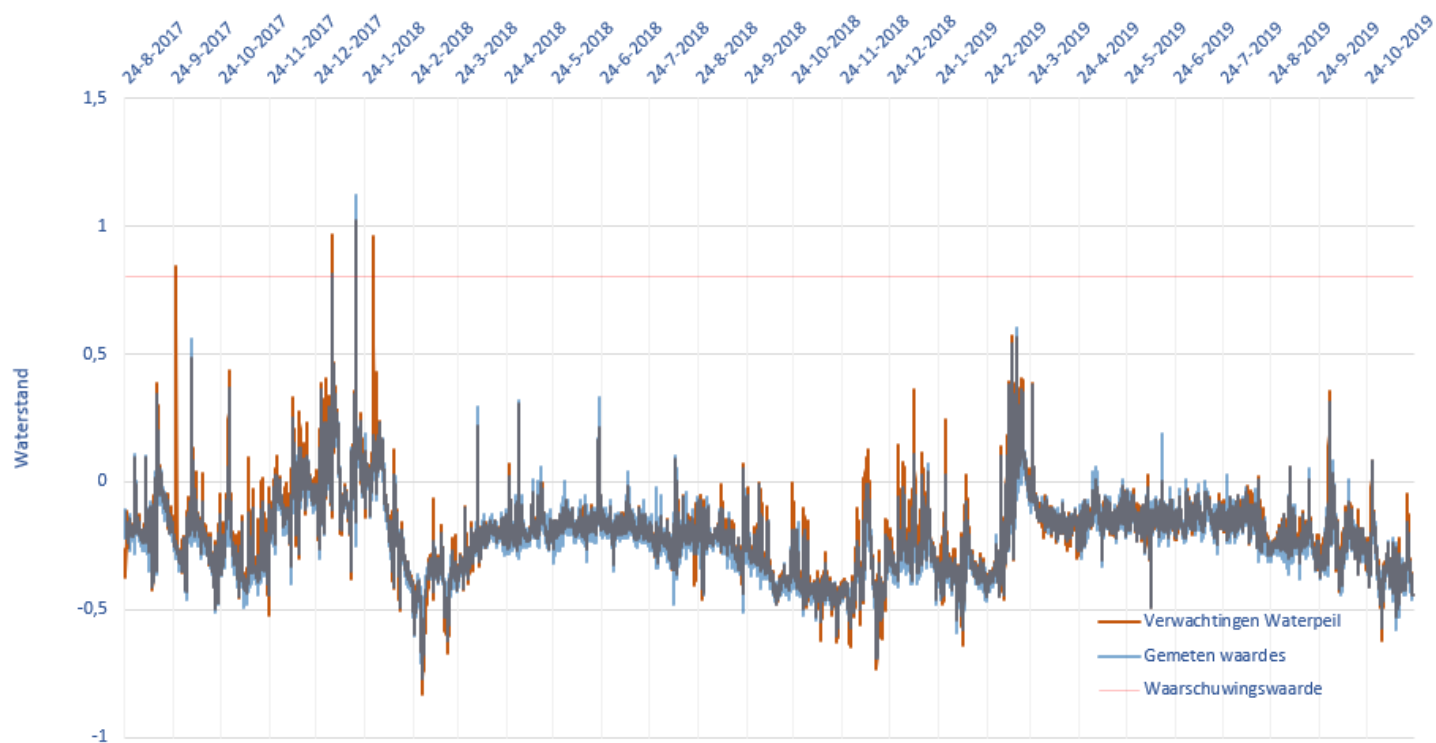
Kamperhoek:



Figuur 42 Gemeten en verwachte waterhoogten recent

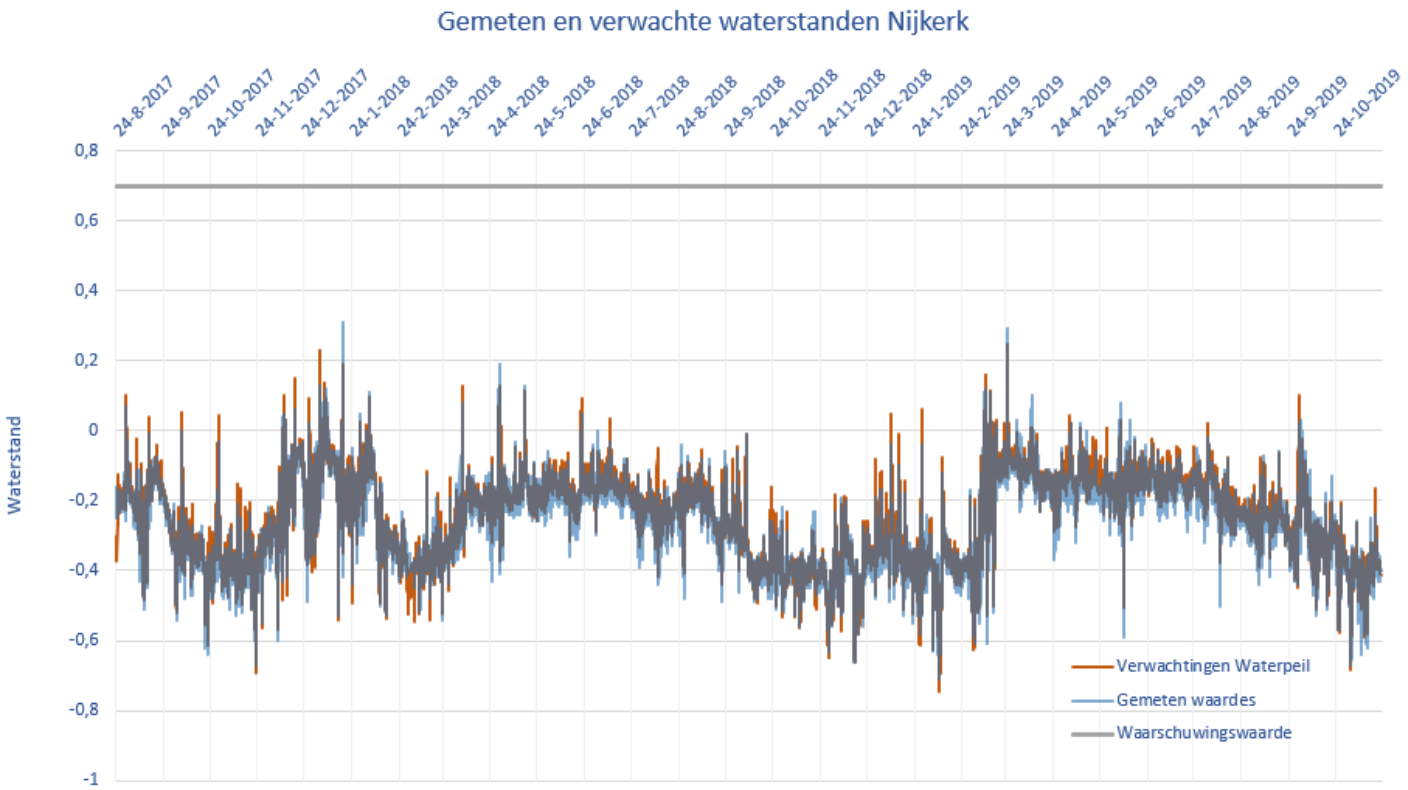
Ketelhaven:

Gemeten en verwachte waterstanden Ketelhaven



Figuur 43 Gemeten en verwachte waterhoogten recent

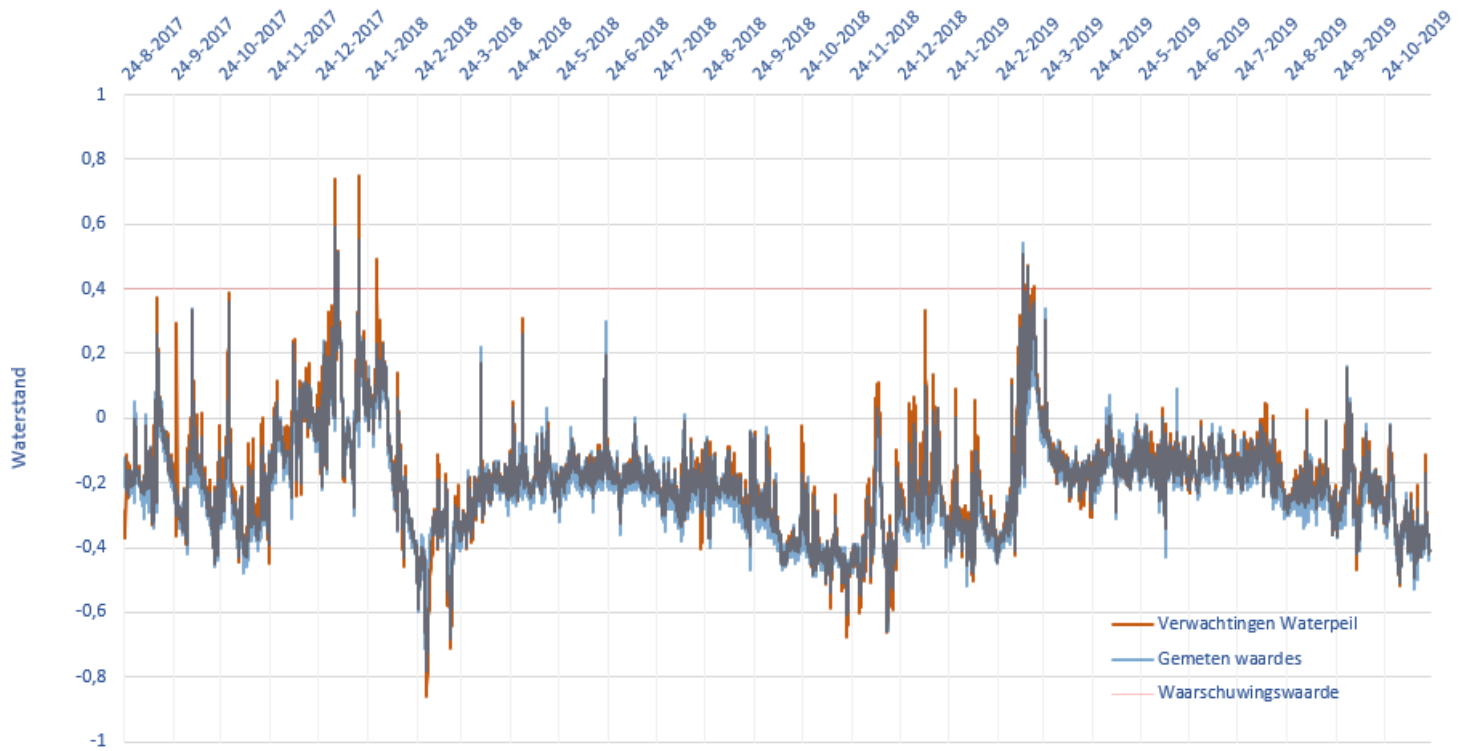
Nijkerk:



Figuur 44 Gemeten en verwachte waterhoogten recent

Ramspolbrug:

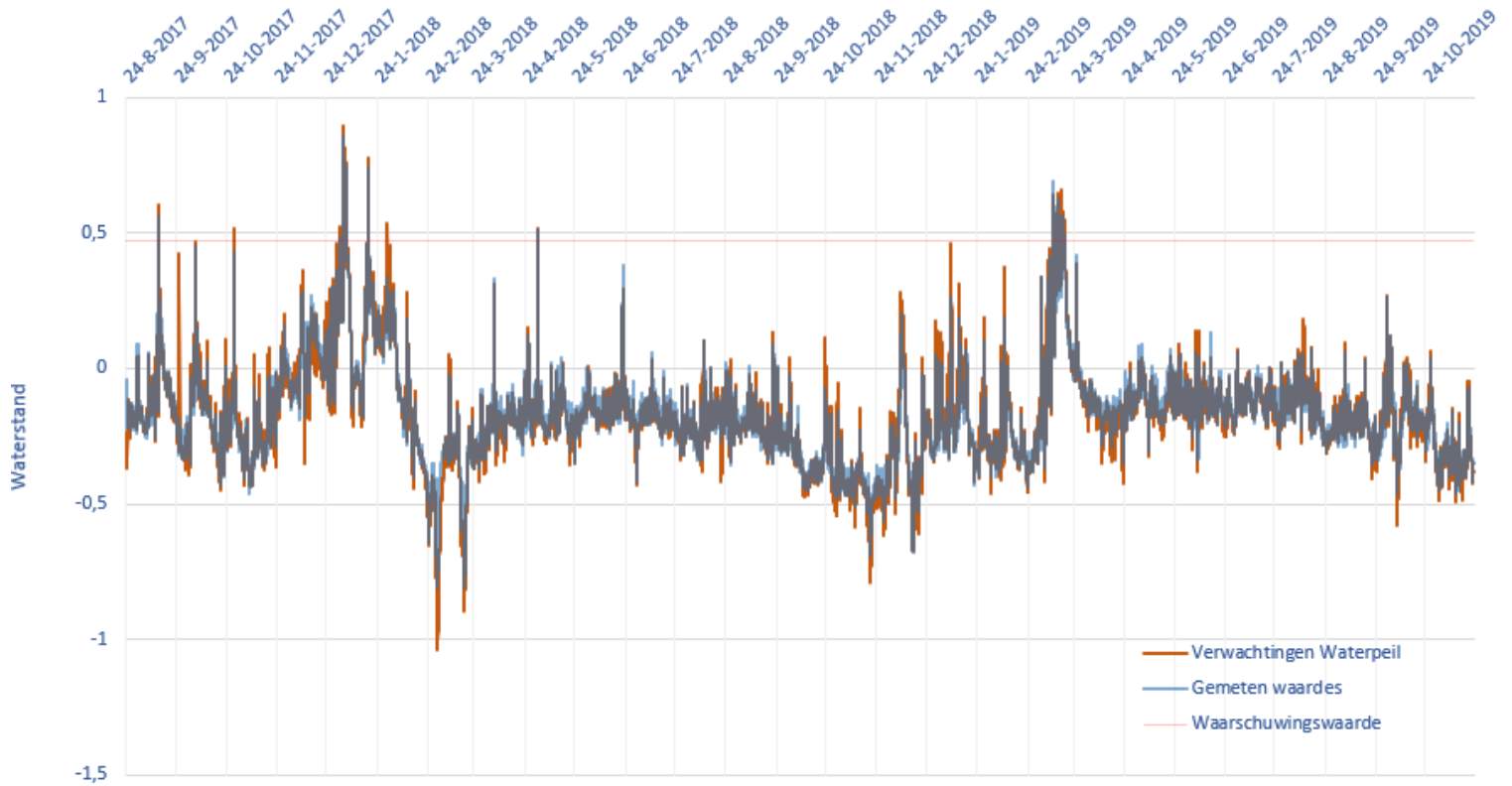
Gemeten en verwachte waterstanden Ramspolbrug



Figuur 45 Gemeten en verwachte waterhoogten recent

Zwartsluis:

Gemeten en verwachte waterstanden Zwartsluis



Figuur 46 Gemeten en verwachte waterhoogten recent