



Duiding hoogwater meren

Rapport

Opdrachtgever



Duiding hoogwater meren



Rapport

Rapport

Auteurs
Bastiaan Kuijper
Robin Nicolai
Jochem Caspers
Ton Botterhuis

PR5137.10
juli 2024

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Herhalingstijd meerpeilen	3
3	Neerslag en rivierafvoer	7
3.1	IJsselafvoer	7
3.2	Vechtafvoer	9
3.3	Neerslag	10
4	Spuimogelijkheden Afsluitdijk	15
5	Analyse tijdsverlopen	19
5.1	Aanpak	19
5.2	Resultaat	20
5.3	Gevoeligheidsanalyse	21
5.4	Vergelijking spuidebieten Afsluitdijk	24
6	Conclusies	27
7	Referenties	29
	Bijlagen	31
A	Afleiding statistiek IJsselmeer en Markermeer met DEZY	33

1 Inleiding

Eind 2023 en begin 2024 was sprake van sterk verhoogde meerpeilen op het IJsselmeer en Markermeer, die in combinatie met de windcondities op diverse plekken tot wateroverlast leidden. Rijkswaterstaat wil graag duiding geven aan deze gebeurtenis door na te gaan wat de herhalingstijd is van de maximaal opgetreden meerpeilen, wat hiervan precies de oorzaak was en in hoeverre voor dergelijke gebeurtenissen de modellen (specifiek DEZY) aansluiten bij de praktijk.

Deze rapportage beschrijft de uitgevoerde werkzaamheden en resultaten, die Rijkswaterstaat helpen om duiding te geven aan de opgetreden piekmeerpeilen.

2 Herhalingstijd meerpeilen

Voor wat betreft de opgetreden maximale meerpeilen hebben we verschillende bronnen:

- Hoogwaterrapport IJsselmeergebied 2024-01 van WMCN Meren (Bosma et al., 2024);
- Korte terugblik hoogwaterperiode IJsselmeergebied 2023-2024 (DPIJ, 2024);
- Ruwe eerste statistische duiding neerslag-afvoer-meerpeil van RWS-WVL (Bottema, 2024).

Er zitten kleine verschillen tussen de maximale meerpeilen die in deze bronnen worden genoemd. Voor deze analyse kiezen we ervoor om aan te sluiten bij de waarden zoals genoemd in het rapport van WMCN Meren en weergegeven in Tabel 1. Dit betreffend 2-uurs gemiddelde waarden, die een gewogen gemiddelde zijn van de gemeten waterstanden op een aantal locaties.

Meer	Datum	Waarde
IJsselmeer	26 december 2023	NAP +0,61 m
Markermeer*	7 januari 2024	NAP +0,36 m
Veluwerandmeren	8-9 januari 2024	NAP +0,40 m

Tabel 1: Maximale meerpeilen hoogwaterperiode 23-24. Bron: (Bosma et al., 2024).

*) Samenvallend met de afronding van deze analyse is gebleken dat de gemeten waterstanden bij Edam enige tijd tot 7 cm te hoog waren. Inmiddels heeft een neerwaartse correctie van 7 cm plaatsgevonden voor het meetpunt bij Edam. Het is nog niet helemaal duidelijk gedurende welke periode de gemeten waterstanden bij Edam te hoog waren. Voor het Markermeerpeil staat daardoor (mogelijk) een ietwat (tot maximaal 2 cm) te hoog maximum vermeld in het rapport van WMCN Meren. Bij gebrek aan een betere waarde is dit op dit moment nog niet verwerkt in Tabel 1 en de vervolganalyses.

Figuur 1 geeft het verloop van de meerpeilen, zoals beschreven in het rapport van WMCN Meren.



Figuur 1: Meerpeilontwikkeling oktober 23 tot medio januari 24 van IJsselmeer (zwart), Markermeer (blauw) en Veluwerandmeren (rood). Bron: (Bosma et al., 2024). De y-as loopt van NAP -0,40 tot NAP +0,70 m met stapgrootte 2,5. De stapgrootte in de x-as bedraagt ca. 3-4 dagen.

Bij Figuur 1 merken we nog op, dat zowel de x-as als de y-as vrijwel onleesbaar is. Deze figuur is namelijk rechtstreeks overgenomen uit het rapport van WMCN Meren (waarin de assen van de grafiek eveneens vrijwel onleesbaar zijn). De betreffende gegevens zijn niet digitaal aangeleverd, waardoor voor nu geen betere figuur kon worden gegenereerd (en overigens in de analyse van de tijdsverlopen in hoofdstuk 5 ook geen directe vergelijking van gemeten en nagerekende meerpeilen kon worden gemaakt). In het bijschrijft van de Figuur 1 is daarom in elk geval aangegeven wat (ongeveer) de schaal van de assen is. Verder geeft de figuur vooral een globaal beeld.

Als eerste gaan we in op de herhalingstijd van de opgetreden meerpeilen. De beschikbare frequentielijnen worden om verschillende redenen niet toereikend geacht:

- De frequentielijn uit WBI2017 is gebaseerd op (oudere) metingen en niet actueel.
- De frequentielijn voor de situatie na 2035 is afgeleid met DEZY (Kuijper en Geerse, 2021), maar voor zichtjaar 2035, na vergroting van de waterafvoer bij de Afsluitdijk (aanleg van extra spuilsuizen en twee gemalen): SIT2035.

Om een inschatting van de frequenties van opgetreden waterstanden te krijgen sluiten we aan bij de referentie uit het lopende project WVPIJ: *Waterveiligheidsperspectief IJsselmeergebied* (Botterhuis et al., 2024). Hierin zijn de overschrijdingsfrequentielijnen met DEZY berekend van het IJsselmeer en Markermeer. Deze berekening is wel zoveel mogelijk afgeregeld op de huidige situatie:

- De realisatie van de nieuwe spuumiddelen en pompen bij de Afsluitdijk is hierin nog niet meegenomen.
- Ook is hierin niet gerekend met de nieuwe afvoerstatistiek (voor 2035), maar met de afvoerstatistiek voor de huidige situatie, zoals gebruikt in de *Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied* (Remmelzwaal et al., 2019). Verder is gerekend met zeespiegelstijging t/m 2023 en niet t/m 2035, zoals in SIT2035.
- Tenslotte gelden in de DEZY-berekening voor de referentie van WVPIJ nog twee wijzigingen t.o.v. SIT2035:
 - De (maximale) pompcapaciteit van gemaal IJmuiden is verhoogd van 260 naar 270 m³/s, om rekening te houden met de installatie van de nieuwe pomp bij het gemaal ("pomp 7").
 - Er is rekening gehouden met een gemaal dat vanuit de boezem van HHNK afwatert op het Markermeer (feitelijk gaat het om twee gemalen met een totale capaciteit van 53 m³/s).

Figuur 2 en Figuur 3 geven de frequentielijnen vanuit WBI2017, SIT2035 en WVPIJ voor respectievelijk IJsselmeer en Markermeer¹. Tabel 2 geeft de herhalingstijden van de maximaal opgetreden meerpeilen o.b.v. de frequentielijnen uit Figuur 2 en Figuur 3. De waarden in de laatste kolom zijn vetgedrukt, aangezien dat volgens ons de beste inschatting is van de herhalingstijden voor de huidige situatie.

Meer	Waarde	WBI 2017	SIT2035	WVPIJ
IJsselmeer	NAP +0,61 m	87	221	32
Markermeer	NAP +0,36 m	420	770	159

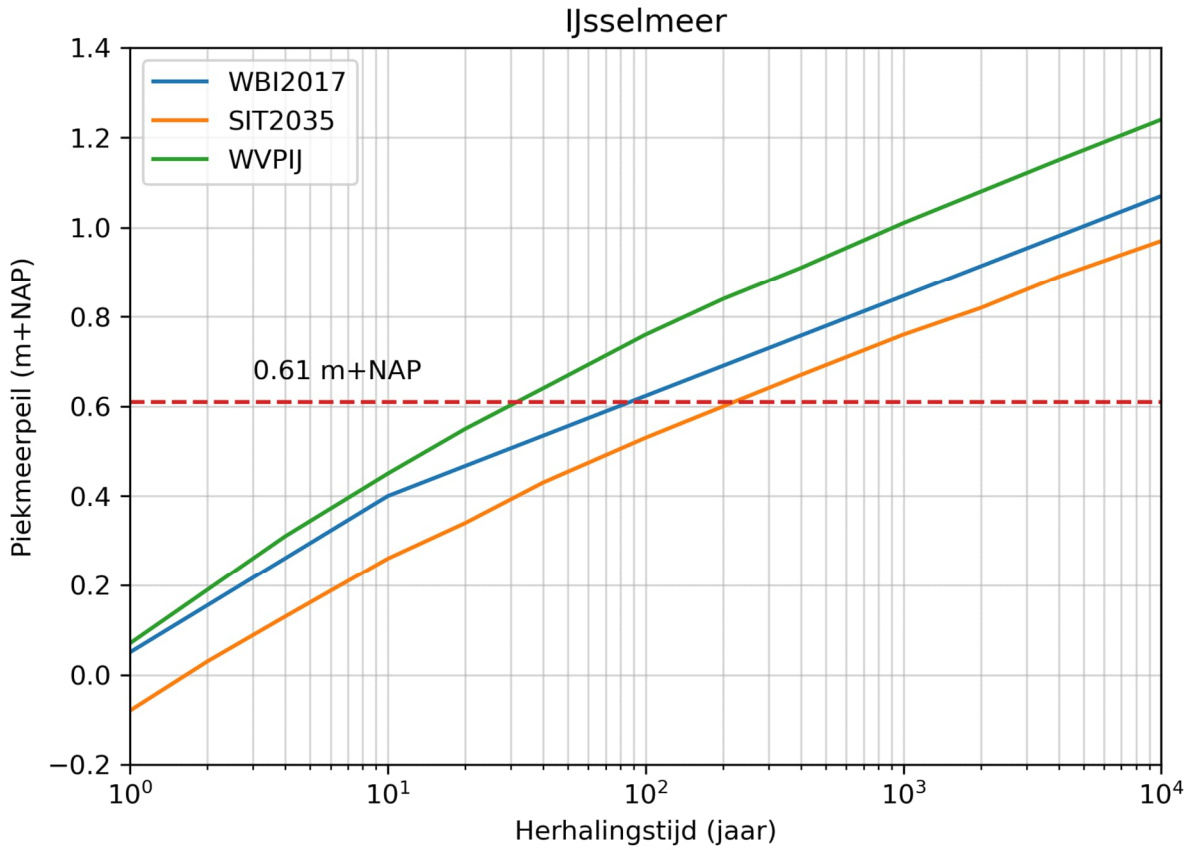
Tabel 2: Herhalingstijden (jaar) maximale meerpeilen o.b.v. verschillende frequentielijnen.

¹ Voor WBI2017 en SIT2035 betreffen dit de frequentielijnen exclusief statistische onzekerheid.

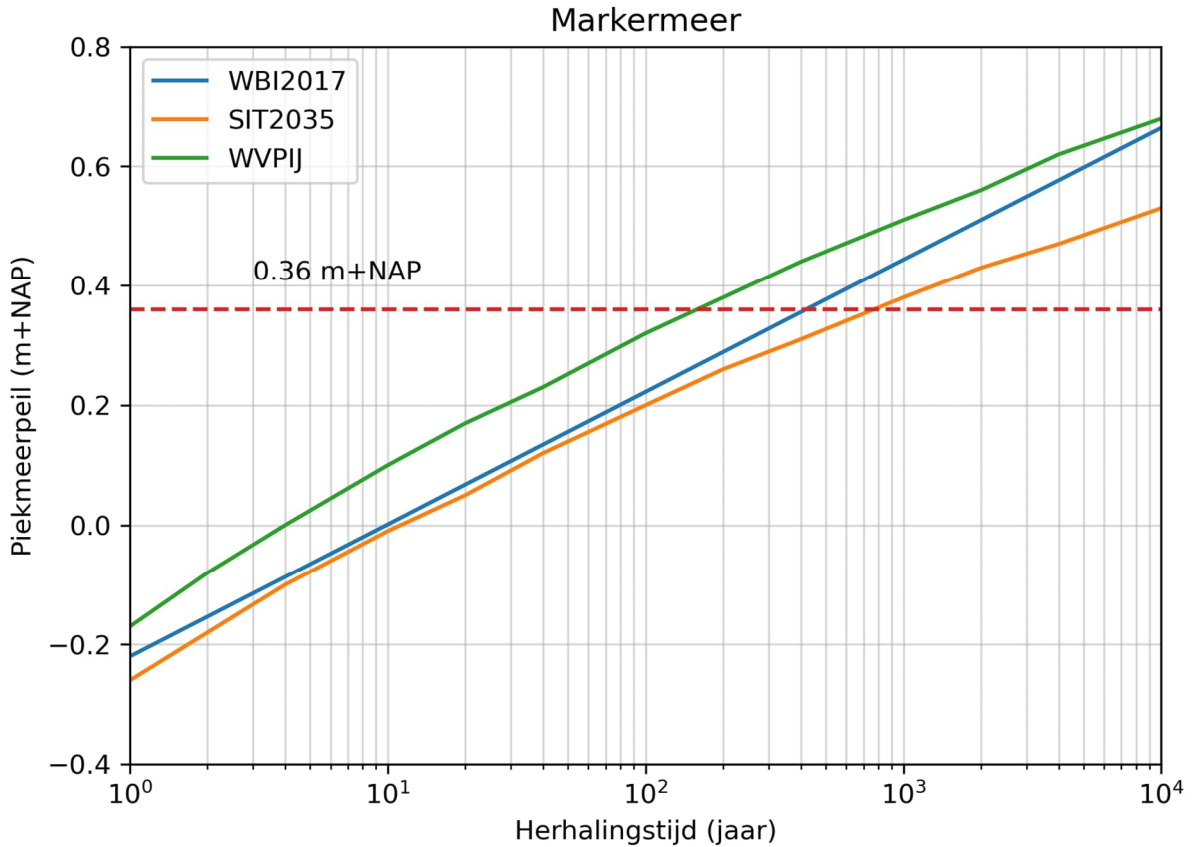
Ten aanzien van de verschillen in herhalingstijd in Tabel 2 merken we het volgende op:

- a. De WBI2017 statistiek is bepaald o.b.v. dagwaarden, terwijl de piekmeerpeilen uit DEZY (gebruikt voor SIT2035 en in WVPIJ) 2-uurswaarden betreffen. Dit is vermoedelijk een klein maar net niet verwaarloosbaar effect, van orde grootte 2 cm en hoogstens een factor 1,5 in herhalingstijd.
- b. De WBI2017 statistiek is gebaseerd op (extrapolatie van) metingen, de SIT2035 en WVPIJ statistiek is gebaseerd op het probabilistische model DEZY. Dit verschil in methode zal echter pas in het extrapolatiebereik tot significante verschillen leiden, aangezien het model DEZY bij het ontwikkelen ervan goed is gekalibreerd op meetgegevens.
- c. De WBI2017 statistiek is representatief voor de periode van 1932 (of de jaren '70/80 voor het Veluwerandmeer) tot circa 2000. De onderliggende metingen zijn niet gehomogeniseerd. De DEZY-resultaten zijn geldig voor 2023 (WVPIJ) of 2035. Tussen 1932 en nu is het klimaat grofweg 15-20% natter geworden, wat een significant deel van de hier getoonde verschil tussen WBI2017 en de DEZY-resultaten zou kunnen verklaren.
- d. Wat betreft het verschil tussen WVPIJ en SIT2035 is de voornaamste verschilfactor de realisatie van de extra spui- en pompcapaciteit op de Afsluitdijk en de extra gemaalcapaciteit vanuit HHNK richting het Markermeer (die zoals gezegd niet is meegenomen in SIT2035).

In Tabel 2 ontbreekt de Veluwerandmeren (VRM). De statistiek voor de VRM is in SIT2035 niet m.b.v. DEZY bepaald, maar ongewijzigd t.o.v. WBI2017. De herhalingstijd van NAP+0,40 m bedraagt daarbij 150 jaar. Binnen WVPIJ is ook geen statistiek voor de VRM bepaald (met DEZY). Gelet op de verschillen tussen de hier gemaakte WVPIJ-schattingen en de WBI-getallen bij IJsselmeer en Markermeer, is de verwachting dat de werkelijke herhalingstijd op de Veluwerandmeren significant lager zal zijn. Voor de werkelijke herhalingstijd hebben we echter op de VRM geen nauwkeuriger inschatting, zoals wel voor het IJsselmeer en Markermeer is te geven.



Figuur 2: Overschrijdingsfrequenties piekmeerpeil IJsselmeer voor WBI2017, SIT2035 en WVPIJ.



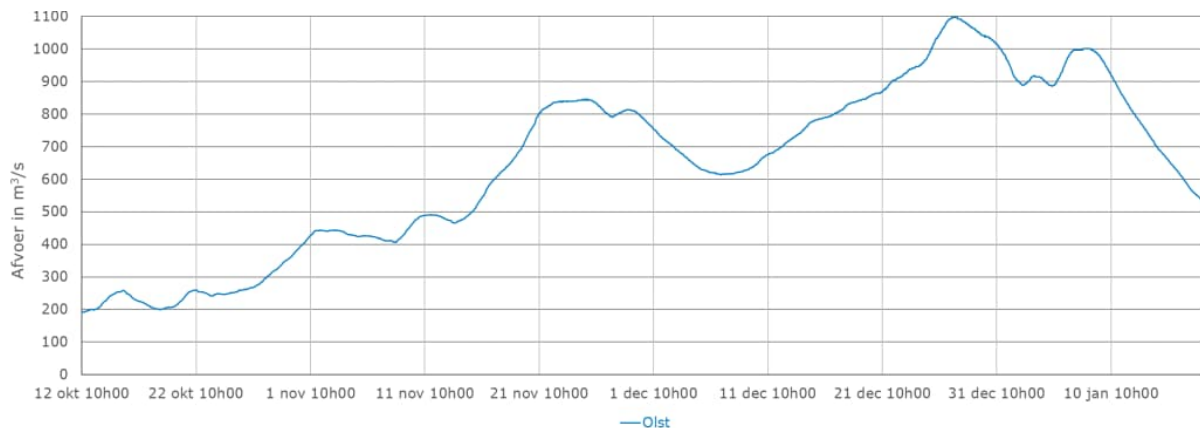
Figuur 3: Overschrijdingsfrequenties piekmeerpeil Markermeer voor WBI2017, SIT2035 en WVPIJ.

3 Neerslag en rivierafvoer

We gaan in dit hoofdstuk in op een statistische duiding van de gevallen neerslag en opgetreden rivierafvoeren, voortbordurend op de eerste analyse door RWS WVL (Bottema, 2024).

3.1 IJsselafvoer

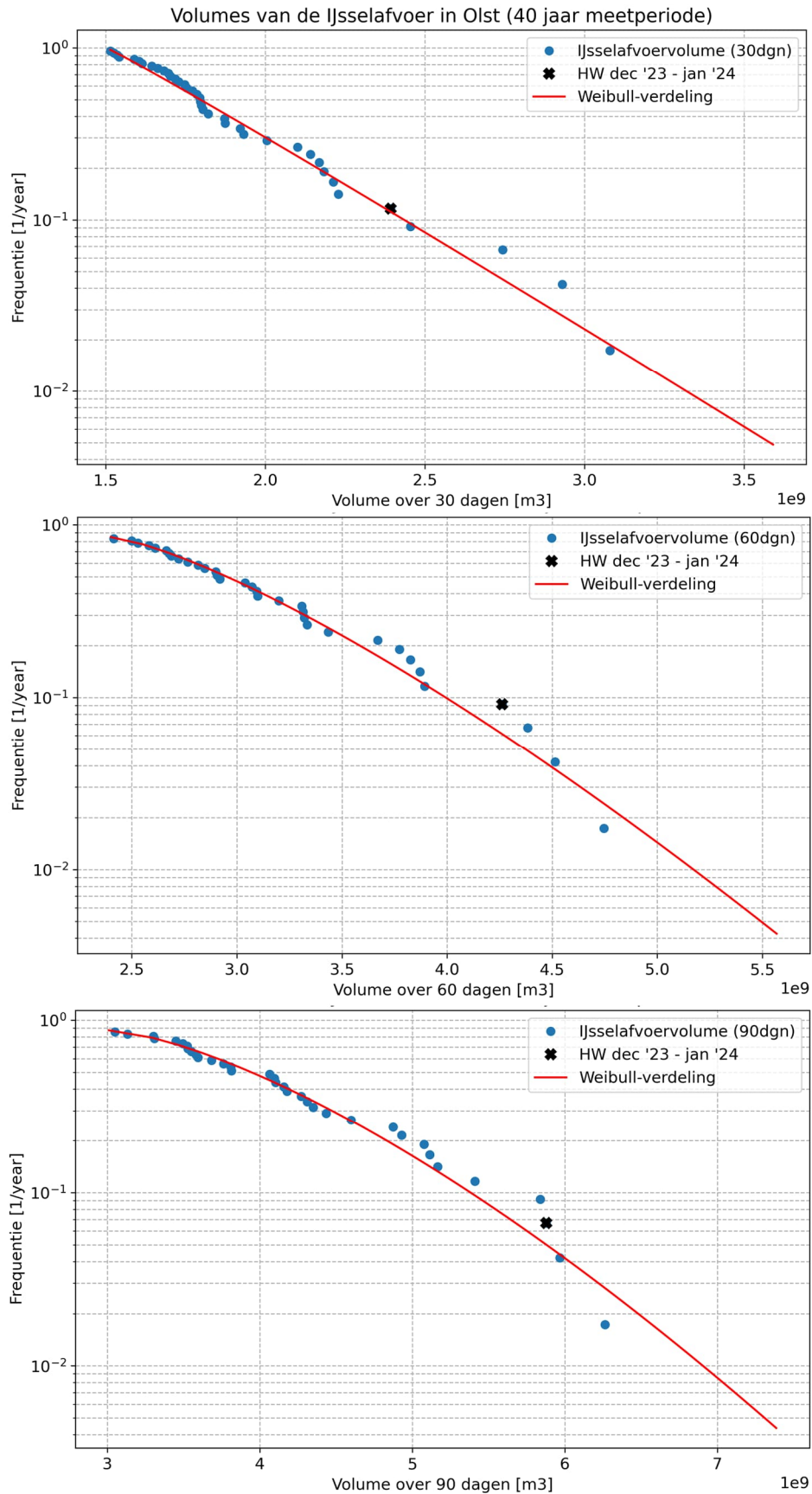
In (Bottema, 2024) is aangegeven dat de topwaarde van het 24-uursgemiddelde van de IJsselafvoer (Olst) optrad op 27 december 2023 en 1095 m³/s bedroeg. Figuur 4 geeft het tijdsverloop van deze afvoer, zoals beschreven in het rapport van WMCN Meren. De maximaal opgetreden IJsselafvoer heeft volgens de WBI2017 frequentielijn een terugkeertijd van circa 4 jaar (ongeacht of met of zonder statistische onzekerheid wordt gerekend). Dit komt overeen met de waarde zoals genoemd in de eerste analyse door RWS-WVL. Uitgaande van de afvoerstatistiek voor de referentie in WVPIJ (Botterhuis et al., 2024) is de herhalingstijd van de afvoer circa 3 jaar².



Figuur 4: Debietontwikkeling IJssel bij Olst najaar 2023 en begin 2024. Bron: (Bosma et al., 2024).

Hoewel de herhalingstijd van de piekafvoer van de IJssel niet zo hoog was, was er wel langere tijd sprake van een verhoogde rivierafvoer. Anders gezegd: de piekafvoer was niet zo hoog, maar de afvoergolf was wel relatief breed. Voor het IJsselmeer (en indirect dus ook voor het Markermeer) is uiteindelijk van belang wat het totale aangevoerde volume is. Om de extremitet daarvan te beoordelen hebben we een beknopte extremewaarden-analyse uitgevoerd op het totale volume van de IJsselafvoer over 30, 60 en 90 dagen tijd. Figuur 5 geeft het resultaat hiervan, met de gevonden volumes (POT-waarden: Peaks over Threshold) en een gefitte Weibull-verdeling. In elk van de drie deelfiguren (beschouwde periode voor bepaling van het volume) is ook expliciet aangegeven welk van de POT-waarden de afgelopen hoogwaterperiode betreft. De figuren maken duidelijk dat het totale aangevoerde volume met name extreem was te noemen wanneer een langere periode wordt beschouwd. Voor het 90-daags volume IJsselafvoer in de afgelopen hoogwaterperiode vinden we op basis van de gefitte Weibull-verdeling een overschrijdingsfrequentie van 0,05 per jaar, ofwel een herhalingstijd van 20 jaar. Op basis van de plotposities of bij kortere periodes vinden we een iets kleinere terugkeertijd, tot circa 10 jaar.

² De afvoerstatistiek van WVPIJ voor de referentiesituatie komt in het hoogfrequente bereik overeen met de default afvoerstatistiek in DEZY volgens de TMR2006, die is gebaseerd op meetdata (zie de systeemdokumentatie: Kuijper en Geerse, 2021). De WBI2017 statistiek is gebaseerd op statistiek uit GRADE bij Lobith, zie (Chbab, 2017).



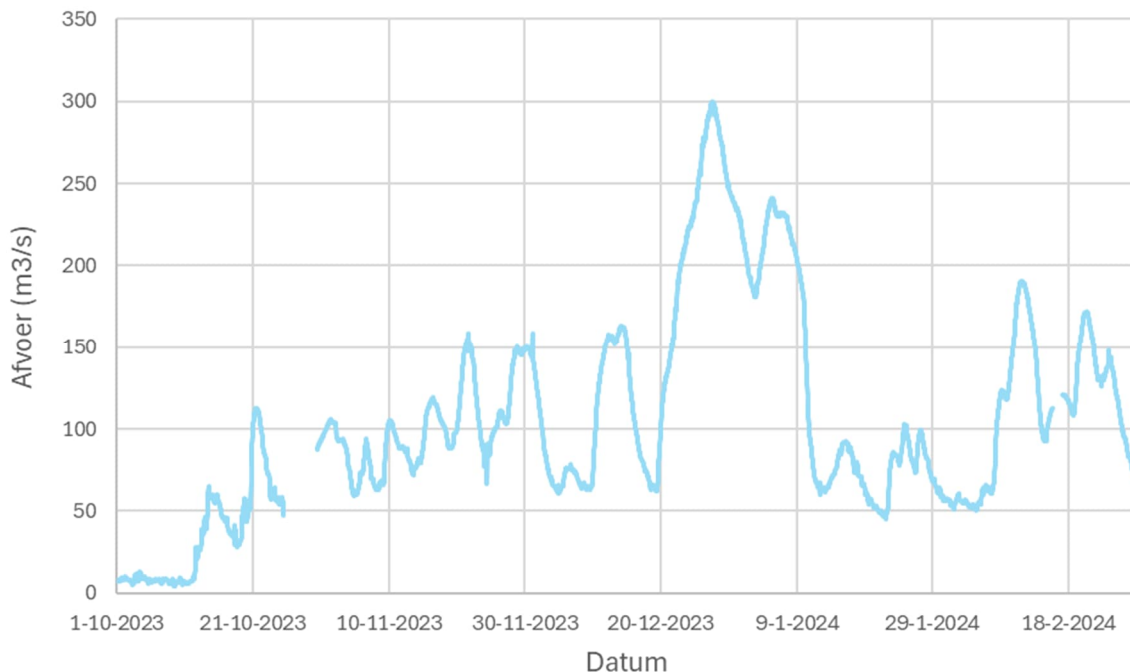
Figuur 5: POT en gefitte Weibull-verdeling voor volumes IJsselafvoer over verschillende periodes.

3.2 Vechtafvoer

Zoals aangegeven in (Bottema, 2024) zijn vanuit Waterinfo gegevens beschikbaar over de Vechtafvoer bij Ommen en bij Genemuiden. De beschikbare statistiek voor de Vecht (vanuit WBI2017) betreft echter locatie Dalfsen (dit is de afvoer bij Ommen vermeerderd met de afvoer van de Regge). In de eerste analyse door RWS-WVL is op basis van de beschikbare gegevens een ruwe inschatting gemaakt van de piekafvoer bij Dalfsen (375 m³/s) en geconcludeerd dat de bijbehorende herhalingstijd grofweg 45 jaar bedraagt. Benadrukt is dat het lastig is om de afvoer van Dalfsen goed te kunnen schatten vanuit de andere metingen.

Voor dit onderzoek is door RWS wel een tijdreeks van de Vechtafvoer bij Dalfsen aangeleverd voor de afgelopen hoogwaterperiode, die ook is gebruikt voor de analyse van de tijdsverlopen met het modelconcept van DEZY (zie hoofdstuk 5). Dit tijdsverloop is weergegeven in Figuur 6.

De piekafvoer van de Vecht is hierin een stuk lager, namelijk 300 m³/s.³ Deze maximaal opgetreden Vechtafvoer heeft volgens de WBI2017 frequentielijn een terugkeertijd van circa 10 jaar (ongeacht of met of zonder statistische onzekerheid wordt gerekend). Vooralnog is dat de beste schatting van de herhalingstijd, hoewel ook hierbij door RWS is opgemerkt, dat de meetdata bij de Vecht relatief onbetrouwbaar is. In GRADE wordt gewerkt aan verbetering van de kennis van de Vecht.



Figuur 6: Debietontwikkeling Vecht bij Dalfsen najaar 2023 en begin 2024.

³ Overigens geeft WMCN Hoogwaterrapport (https://waterberichtgeving.rws.nl/data/580-21-hoogwaterrapport_ijssemeergebied_2024-01_1-0.pdf) met 321 m³/s een getal dat enigszins afwijkt van de topwaarde in Figuur 6.

3.3 Neerslag

De gemeten jaarneerslag in Nederland in 2023 was de hoogste ooit gemeten⁴. Bovendien was het laatste kwartaal van 2023 een uitzonderlijk natte periode in Nederland, zoals aangegeven in de eerste analyse van RWS-WVL (Bottema, 2024). Daarin is ook aangegeven:

- In De Bilt viel in 90 dagen tijd een recordhoeveelheid van ruim 565 mm neerslag. Tot dan toe was de herfst van 1998 met 520 mm de natste 90-daagse periode in De Bilt.
- Op visuele wijze is op basis van de - in De Bilt gemeten - neerslagsommen van de afgelopen 120 jaar een ruwe schatting gemaakt van de herhalingstijd van de eind 2023 waargenomen 90-daagse neerslag. Deze ligt in de orde grootte van 400 jaar. Kanttekeningen hierbij zijn dat de hoeveelheid op andere locaties lager of hoger kan uitvallen en dat er geen trendcorrectie is uitgevoerd op de gemeten neerslag (waarin wel al een trend aanwezig is als gevolg van reeds opgetreden klimaatverandering, zie STOWA 2015).

Hieronder gaan we eerst in op de bevindingen van (Bottema, 2024) voor de puntstatistiek in De Bilt, waarbij we ook het effect van detrenden van neerslag beschouwen. Vervolgens is een meer ruimtelijke statistische analyse uitgevoerd van de neerslag die eind 2023 in de directe omgeving van het IJsselmeergebied is gevallen. Gezien de persistentie van de neerslag is het voor de duiding van de hoogwaterperiode namelijk vooral van belang hoeveel neerslag is gevallen in het gebied dat water afvoert naar het IJsselmeergebied.

Analyse puntstatistiek De Bilt

De rapportage in (Bottema, 2024) bevat geen nadere toelichting op de schatting van de herhalingstijd. Het is dus niet bekend welke technieken (plotposities van jaarmaxima, extremewaardenverdeling) zijn toegepast om tot deze schatting te komen. In de afgelopen 20 jaar hebben HKV en KNMI in opdracht van STOWA meermalen neerslagstatistiek voor het waterbeheer afgeleid. In (STOWA, 2019) is de actuele basisstatistiek en klimaatstatistiek afgeleid voor duren van 10 minuten tot 10 dagen. Onderdeel hiervan is een gedetrende referentiereeks van De Bilt. Gebruik van deze reeks maakt het mogelijk om een indruk te krijgen van de invloed van detrending⁵ op het resultaat.

Eerst hebben we op basis van de via het KNMI beschikbare etmaalsommen van de neerslag in de Bilt de jaarmaxima bepaald voor een duur van 90 dagen. Hierbij laten we jaren van juli t/m juni lopen om problemen met overlappende 90-daagse neerslag in wintermaanden te voorkomen. Vervolgens zijn de jaarmaxima bepaald op basis van de referentiereeks van De Bilt (deze loopt van 1906 tot eind 2022). In Tabel 3 en Tabel 4 staan de drie hoogste jaarmaxima van beide reeksen.

Rang	Neerslagvolume [mm]	Einddatum jaarmaximum
1	567	2024-01-05
2	521	1998-11-18
3	462	1957-09-30

Tabel 3: Jaarmaxima 90-daagse neerslagsom De Bilt (1906-2024) op basis van etmaalsommen KNMI.

⁴ Bron: landelijke neerslagsom in www.klimaatdashboard.nl (gebaseerd op metingen in De Bilt, Den Helder, Vlissingen, Roermond en Groningen).

⁵ In hoofdstuk 4 van deel 1 van STOWA (2015) is het detrenden van de De Bilt reeks (1906-2014) toegelicht. Per seizoen zijn tijdsafhankelijke correctiefactoren bepaald. De lange-termijn trend in de zomer is het kleinst en begint pas rond 1970. De trend in de herfst is bijna lineair over de hele periode en geeft het grootste totale verschil over de 1906-2014 periode. De trend in de winter en de lente hebben een vergelijkbare vorm waarbij de veranderingen in de winter iets groter zijn dan die in de lente. In beide gevallen zet de trend in rond 1945.

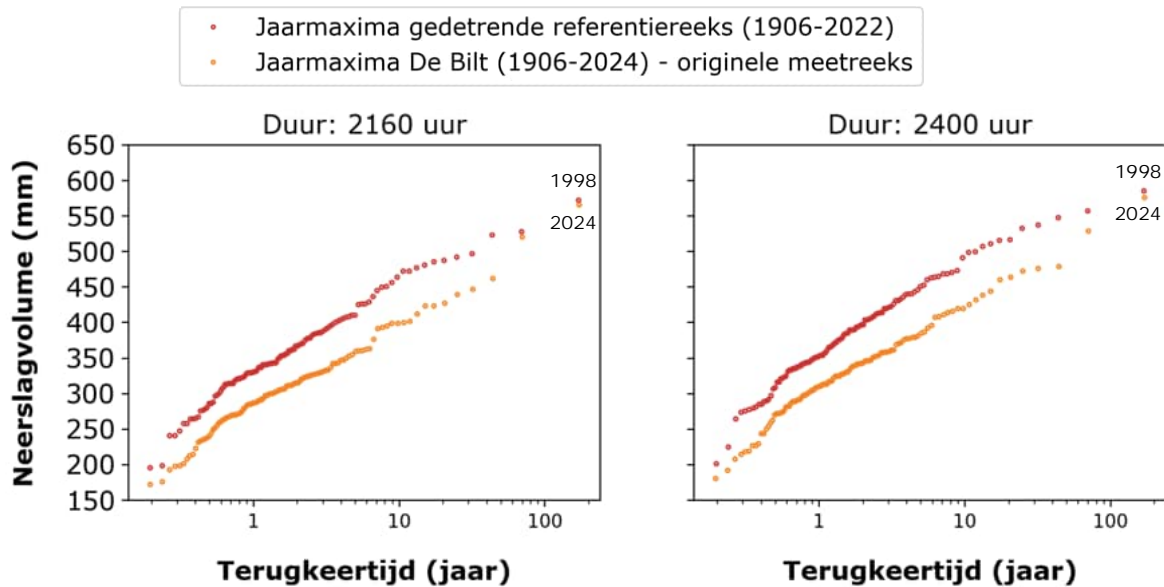
Rang	Neerslagvolume [mm]	Einddatum jaarmaximum
1	573	1998-11-18
2	567	2024-01-05
3	529	1957-09-30
4	524	1930-10-09

Tabel 4: Jaarmaxima 90-daagse neerslagsom De Bilt op basis van de gedetrende referentiereeks De Bilt (1906-2022) – de 90-daagse som in 2023-2024 is toegevoegd.

De resultaten in Tabel 3 komen goed overeen met de bevindingen in (Bottema, 2024). Populair gesteld, laat Tabel 4 zien dat als het weersverloop van de extreem natte herfst van 1998 in het huidige klimaat was opgetreden, de resulterende neerslag ongeveer even groot tot iets groter was geweest dan de neerslag die eind 2023 daadwerkelijk is gevallen.

Figuur 7 toont de plotposities volgens Benard en Bos-Levenbach (1953)⁶ van de jaarmaxima van 90- en 100-daagse sommen in De Bilt. Voor beide duren zijn de jaarmaxima van de originele reeks (1906-2024) en de (gedetrende) referentiereeks (1906-2022) opgenomen. Door te corrigeren voor de trend verschuiven de jaarmaxima naar boven. De terugkeertijd van het hoogste jaarmaximum is ongeveer 170 jaar en die van het op één na hoogste jaarmaximum is ongeveer 70 jaar. Volgens deze werkwijze ligt de terugkeertijd van de 90-daagse neerslag in de Bilt in het huidige klimaat tussen 70 en 170 jaar in, aangezien het neerslagvolume in 2024 ongeveer gelijk is aan het gecorrigeerde neerslagvolume in 1998.

N.B. Het fitten van een lijn door de (gele) punten van de originele, niet gedetrende, reeks (linker grafiek Figuur 7), leidt tot een hogere schatting van de terugkeertijd van de eind 2023 gevallen neerslaghoeveelheid. Dit kan de waarde van 400 jaar in Bottema (2024) verklaren, te meer omdat hij geen trendcorrectie had toegepast.



Figuur 7: Jaarmaxima van 90- en 100-daagse neerslagsommen in De Bilt.
 Rode punten: jaarmaxima van de gedetrende referentiereeks in De Bilt (1906-2022).
 Oranje punten: jaarmaxima van de originele meetreeks in De Bilt (1906-2024).

⁶ In de Engelstalige literatuur worden deze ook wel Chegodayev plotposities genoemd.

Ruimtelijke statistiek

Voor de evaluatie van het hoogwater is vooral de neerslag in het stroomgebied van het IJsselmeer van belang. De analyse van de Vechtafvoer en IJsselafvoer in vorige paragrafen neemt de stroomgebiedsneerslag stroomopwaarts van resp. Dalfsen en Olst mee. Daarom is besloten om hier de statistiek van de extreme gebiedsneerslag voor een periode van 90 dagen te analyseren, waarbij de gebiedsneerslag is bepaald als het ruimtelijk gemiddelde van de neerslag gemeten op 14 locaties op korte afstand rondom het IJsselmeergebied (zie Tabel 5). Voor deze locaties zijn lange gehomogeniseerde dagreeksen van 1910-2022 beschikbaar via de Climate Explorer⁷ van het KNMI. Deze gegevens zijn aangevuld met waarnemingen van de handregenmeters op dezelfde locaties tot op heden. Vervolgens zijn de gegevens op dezelfde wijze als in STOWA (2015) gedetrend⁴.

Station	
Makkum	Nijkerk
Harlingen	Loenen aan de Vecht
Sneek	Amsterdam
Frederiksoord	Schellingwoude
Wapenveld	Edam
Heerde	Hoorn (NH)
Putten	Anna Paulowna

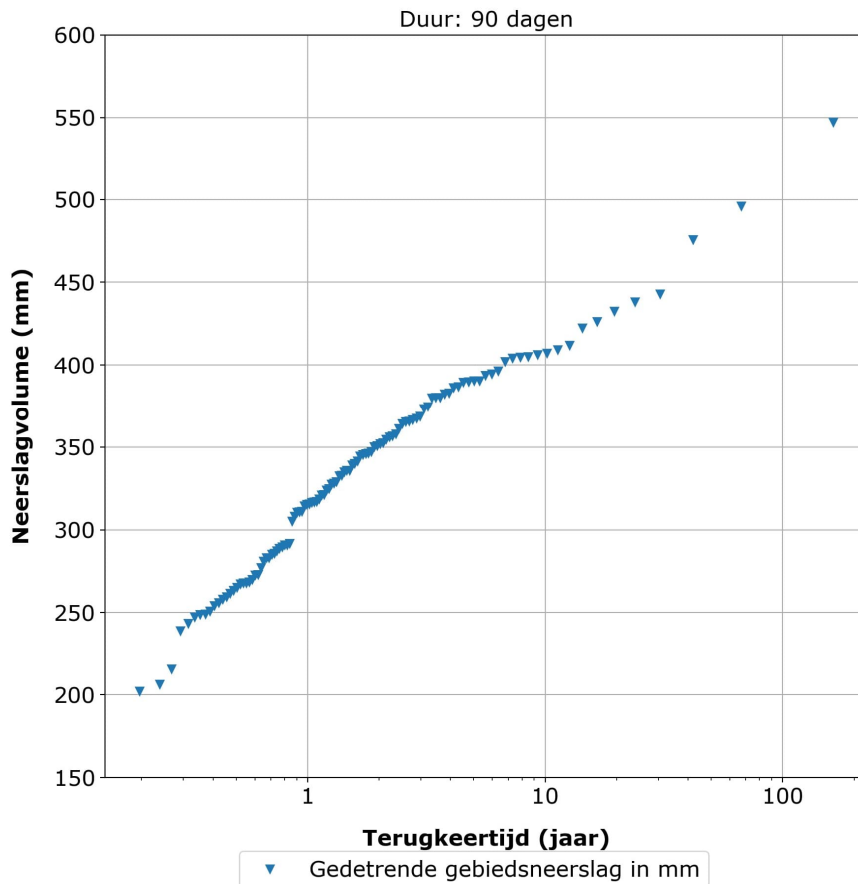
Tabel 5: Neerslagstations met lange reeksen gelegen rondom het IJsselmeergebied.

De jaarmaxima van de gemiddelde gebiedsneerslag voor de duur van 90 dagen zijn gegeven in Tabel 6. Het hoogste neerslagvolume is gevallen in de laatste maanden van 2024. (Dit geldt ook voor andere duren van 60 tot 100 dagen.) De waarde is 50 mm hoger dan de gedetrende neerslagsom van 1998. Volgens de plotposities van Benard en Bos-Levenbach is de terugkeertijd van de neerslagsom eind 2023 gelijk aan 163 jaar. De plotposities van de jaarmaxima zijn opgenomen in Figuur 8.

Rang	Neerslagvolume [mm]	Einddatum jaarmaximum	Geschatte terugkeertijd [jaar]
1	547	2024-01-07	163
	496	1998-11-18	67
2	476	1957-10-01	42
3	443	1930-10-09	30

Tabel 6: Jaarmaxima 90-daagse gebiedsgemiddelde neerslag op basis van gedetrende dagreeksen (afgerond op gehele millimeters).

⁷ <https://climexp.knmi.nl/PhomNL.cgi?id=someone@somewhere>



Figuur 8: Plotposities jaarmaxima gedetrende gebiedsgemiddelde neerslagvolumina voor een duur van 90 dagen rondom het IJsselmeergebied 1910-2024.

Conclusie

De statistische analyses van de neerslag leiden tot de conclusie dat het belangrijk is om de neerslaghoeveelheden eerst te detrenden voor reeds opgetreden klimaatverandering om een goede, betrouwbare uitspraak te kunnen doen over terugkeertijden van de neerslaghoeveelheid in het huidige klimaat. Gezien de persistentie van de neerslag is het voor de duiding van de hoogwaterperiode bovendien van belang hoeveel neerslag is gevallen in het gebied dat water afvoert naar het IJsselmeergebied. De stroomgebiedsneerslag stroomopwaarts van Dalfsen en Olst is al verwerkt in de analyses van de Vechtafvoer en IJsselafvoer in de voorgaande paragrafen. Daarom is een statistische analyse uitgevoerd op de gebiedsgemiddelde neerslag op locaties op betrekkelijke korte afstand van het IJsselmeergebied. Uit de analyse van de jaarmaxima van de (gedetrende) gebiedsgemiddelde neerslag voor een periode van 90 dagen blijkt dat deze eind 2023 zeer hoog is, ook in het licht van het huidige klimaat. Onzekerheden beschouwend, schatten we de terugkeertijd van de neerslag die eind 2023 is gevallen in op 100 tot 200 jaar.

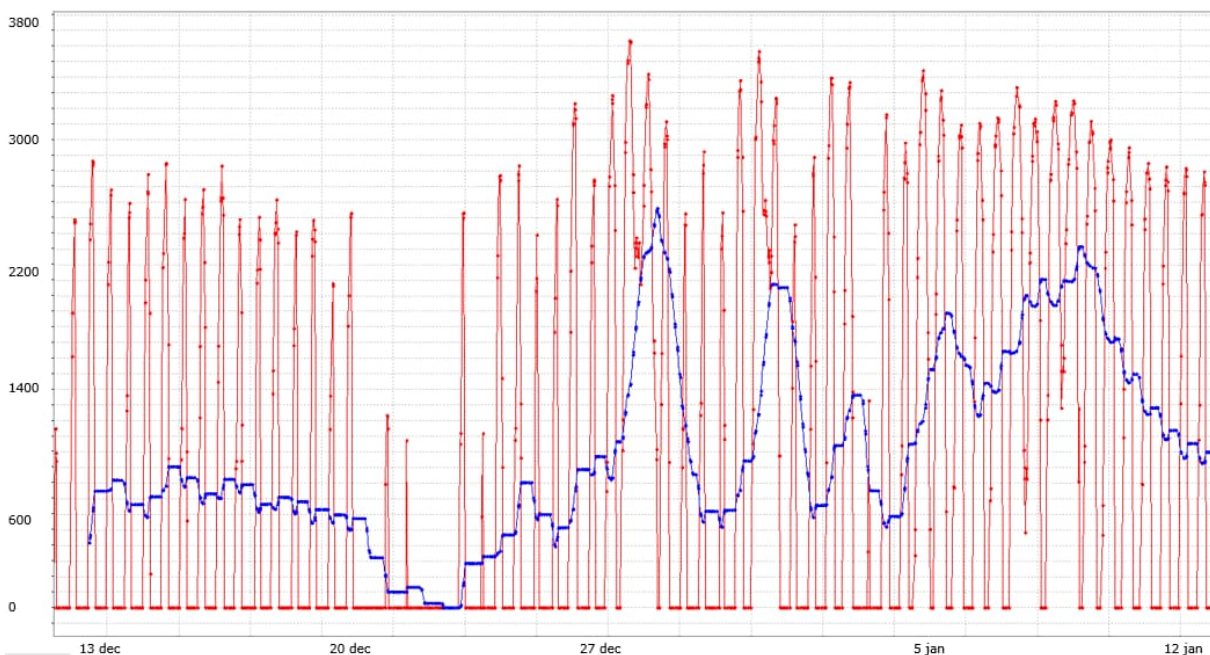
4 Spuimogelijkheden Afsluitdijk

Voor duiding van de optredende meerpeilen is naast de wateraanvoer door neerslag en rivierafvoer de mogelijkheden om het water af te voeren van belang. In dit hoofdstuk gaan we daar op in.

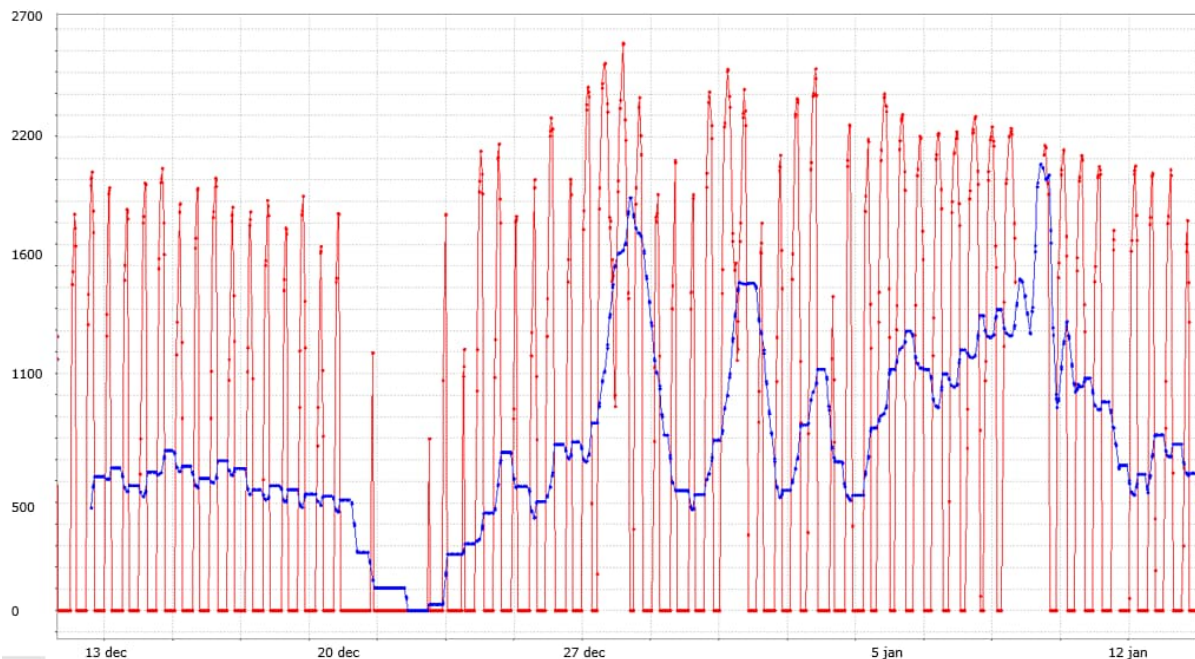
Figuur 1 laat zien, dat de spuimogelijkheden vanuit het Markermeer naar het IJsselmeer in de afgelopen hoogwaterperiode (2023 - 2024) beperkt waren, doordat het IJsselmeer vrijwel de hele tijd hoger stond. Bij gunstige windomstandigheden kan lokale op- en afwaaiing toch verval richting het IJsselmeer optreden bij de Krabbersgat- en/of Houtribsluizen, maar dat betreft dan relatief korte periodes. In Figuur 1 is dan ook te zien, dat het Markermeer vrijwel voortdurend oploopt zolang dit peil lager ligt dan het IJsselmeerpeil.

Wanneer we letten op de afvoermogelijkheden bij de Afsluitdijk richting de Waddenzee, dan geldt (Bosma et al., 2024): "Goede condities zijn dat het waterniveau aan de Waddenzeezijde van de Afsluitdijk voor een groot deel van de dag onder het niveau ligt dan die van het IJsselmeer. Op die manier kan er voor lange tijd gespuid worden onder vrij verval. Wanneer er sprake is van meer aanlandige wind, in Nederland vaak op het moment van onstuimig weer, dan staat het water op de Waddenzee gemiddeld een stuk hoger en kan er (veel) minder of geen afvoer van water vanaf het IJsselmeer plaatsvinden. Eén storm of een paar dagen met aanlandige wind is goed op te vangen, maar houdt deze situatie enige tijd aan dan begint langzaam maar zeker het meerpeil van het IJsselmeer op te lopen, zeker als ook de aanvoer van water hoger wordt."

In Figuur 9 en Figuur 10 zijn de (gemiddelde) spuidebiten weergegeven bij de Stevinsluizen en de Lorentzsluizen, zoals beschreven in rapport van WMCN Meren. Hierin is goed terug te zien dat dit in deze stormperiode het niet altijd lukte om te spuien (met name rond 21-23 december).

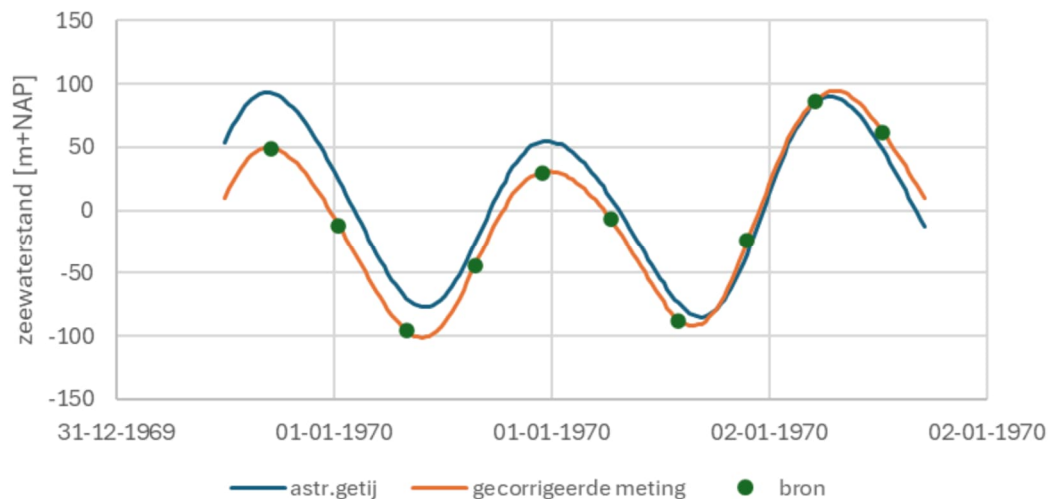


Figuur 9: Inzet spuiokers Stevinsluizen bij Den Oever in m^3/s stormperiode (rood debietmeting, blauw voortschrijdend 24-uursgemiddelde). Bron: (Bosma et al., 2024)



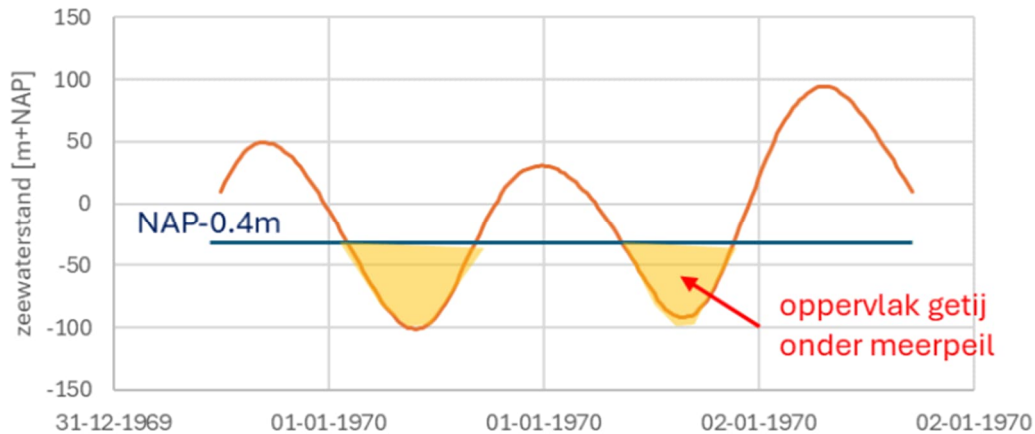
Figuur 10: Inzet spuiokers Lorentzsluizen bij Kornwerderzand in m^3/s stormperiode (rood debietmeting, blauw voortschrijdend 24-uursgemiddelde). Bron: (Bosma et al., 2024).

Om een beter beeld te krijgen van hoe goed of slecht de spuimogelijkheden bij de Afsluitdijk waren in de hoogwaterperiode, hebben we een beknopte analyse uitgevoerd op de zeewaterstanden bij Kornwerderzand (Lorentzsluizen). Hiertoe hebben we bijna 100 jaar aan zeewaterstanden (september 1932 t/m december 2023) gedownload van de ftp van Waterdata en vervolgens m.b.v. het astronomisch getij omzet naar een equivalente, continue reeks van 10-minuten waarden. Figuur 11 geeft een illustratie van deze reconstructie van de opgetreden zeewaterstanden.



Figuur 11: Illustratie omzetting zeewaterstandsmetingen naar 10-minuten reeks m.b.v. astronomisch getij.

Vervolgens is berekend wat er bij deze buitenwaterstand gespuid zou kunnen worden bij de Lorentzsluizen wanneer de binnenwaterstand op het IJsselmeer gelijk zou zijn aan streefpeil (NAP 0,40 m). Daarbij is gebruik gemaakt van dezelfde formules van de lange overlaat als beschreven in de par. 6.2.1 van de systeemdokumentatie van DEZY (Kuijper en Geerse, 2021). De invloed van het spuien op het meerpeil wordt in deze berekening dus verwaarloosd. We berekenen als het ware het gearceerde oppervlak onder de blauwe lijn in Figuur 12, hetgeen een maat is voor het spuivolume gegeven het verloop van de zeewaterstand in een bepaalde periode.



Figuur 12: Schematische weergave berekening spuidebiet gegeven het verloop van de zeewaterstand.

In Tabel 7 is aangegeven wat op basis van deze analyse de periodes zijn met het laagste gemiddelde spuidebiet bij de Lorentzsluizen (Kornwerderzand) in de afgelopen honderd jaar, uitgaande van een vaste binnenwaterstand gelijk aan streefpeil. Hierbij is onderscheid gemaakt naar de tijdsduur waarover het gemiddelde spuidebiet wordt beschouwd (30, 60 of 90 dagen). Het lijkt erop dat, als we naar een aaneensluitende periode van 90 dagen kijken, de spuimogelijkheden in de beschouwde hoogwaterperiode uitzonderlijk slecht waren. Ook de periode van 60 dagen nov. t/m dec. 2023 laat extreem slechte spuimogelijkheden zien.

90 dagen			60 dagen			30 dagen		
Periode	Q gem (m ³ /s)		Periode	Q gem (m ³ /s)		Periode	Q gem (m ³ /s)	
1	okt 23 t/m dec 23	153	1	nov 23 t/m dec 23	141	1	nov 2015	111
2	nov 15 t/m jan 16	205	2	okt 17 t/m nov 17	181	2	dec 2011	126
3	nov 17 t/m jan 18	208	3	dec 06 t/m jan 07	192	3	nov 2023	130
4	okt 21 t/m dec 21	215	4	okt 15 t/m nov 15	192	4	dec 2006	131
5	mei 23 t/m jul 23	227	5	jan 20 t/m feb 20	195	5	jan 1983	142

Tabel 7: Periodes met minste spuimogelijkheden bij Kornwerderzand in de afgelopen 100 jaar, bij een vaste binnenwaterstand van NAP-0,40 m.

In deze analyse hebben we niet gecorrigeerd voor de zeespiegelstijging gedurende de periode van de meetreeks. Daardoor zullen recentere gebeurtenissen gemiddeld al wat lagere spuimogelijkheden hebben dan langer geleden. We hebben ook niet gekeken naar de spuimogelijkheden bij Den Oever (Stevinsluizen). Toch kan gesteld worden, dat over een langere periode (> maand) gezien, de spuimogelijkheden bij de Afsluitdijk duidelijk minder waren dan normaal en zeker zullen hebben bijgedragen in de hoge meerpeilen.

5 Analyse tijdsverlopen

5.1 Aanpak

Om de toepasbaarheid van DEZY te toetsen berekenen we in dit hoofdstuk de meerpeilverlopen o.b.v. de gemeten weersomstandigheden en de reservoirformules uit DEZY. Een dergelijke activiteit hebben we eerder uitgevoerd voor alleen het IJsselmeer om de hoogwatergebeurtenis uit 1998 na te rekenen (Kuijper, 2020). Hiertoe zijn de reservoirformules uit DEZY in Python geïmplementeerd, zodat deze kunnen worden toegepast op een specifieke gebeurtenis (in plaats van de synthetische gebeurtenissen, die normaal gesproken in DEZY worden gehanteerd). In tegenstelling tot de eerdere rekentool, opgesteld voor de hoogwatergebeurtenis uit 1998, zijn we hierbij niet alleen uitgegaan van het IJsselmeer, maar van het gehele watersysteem inclusief Markermeer en NZK/ARK.

Als invoer voor deze narekening zijn we uitgegaan van de volgende (toegeleverde) gegevens over de periode 12 oktober 2023 t/m 18 januari 2024:

- Afvoerreeksen van de IJssel (Olst), Vecht (Dalfsen) en Eem (Eemdijk);
- Neerslagreeksen (Groningen, Den Helder, Hoorn, Heerde en De Bilt);
- Zeewaterstandsreeksen (Den Oever, Kornwerderzand en IJmuiden);
- Windcondities Schiphol (tijdreeks met richting en snelheid).

Om zoveel mogelijk aan te sluiten bij de modellering binnen DEZY hebben we de genoemde neerslagreeksen omgezet naar de neerslag in Noord-NL, gedefinieerd als het gemiddelde van de neerslagstations Groningen, Den Helder en Hoorn, en de neerslag in Midden-NL en West-NL, gedefinieerd als het gemiddelde van de neerslagstations Hoorn, Heerde en De Bilt. De neerslag-afvoer op het systeem is vervolgens berekend met het neerslag-afvoermodel zoals gehanteerd binnen DEZY (dit is onderdeel van de reservoirformules die zijn geïmplementeerd in Python). Hoewel we dus zijn uitgegaan van gemeten neerslagreeksen, kan de berekende neerslagafvoer op het systeem afwijken van de daadwerkelijke neerslagafvoer, aangezien we hier gebruik hebben gemaakt van de (vereenvoudigde) modellering zoals toegepast binnen DEZY. Voor de volledigheid merken we nog op, dat we bij het neerslag-afvoermodel voor het NZK/ARK uitgegaan zijn van een totale gemaalcapaciteit van $53 \text{ m}^3/\text{s}$ waarmee HHNK afwatert op het Markemeer (zie voor details paragraaf 5.4.1 van de systeemdokumentatie).

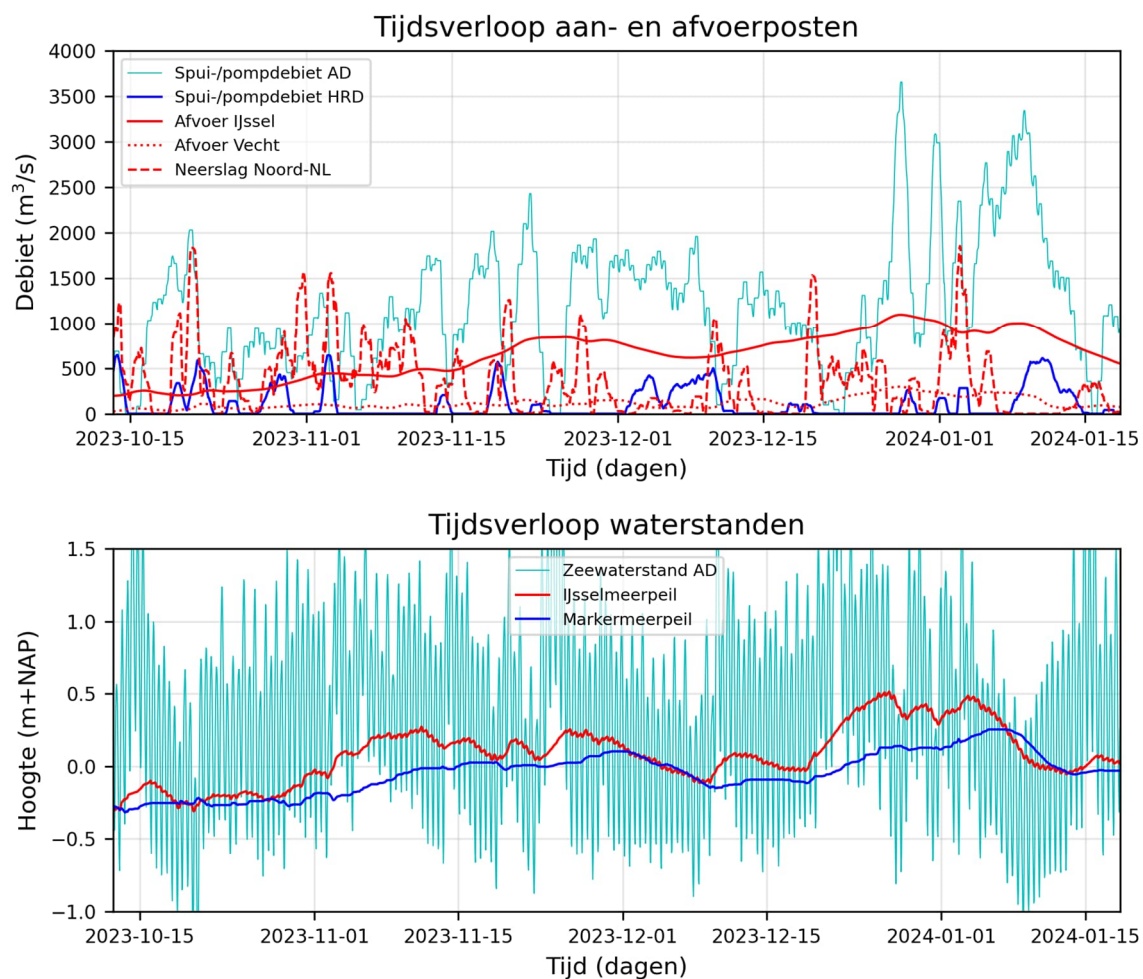
De windcondities zijn ook bij Schiphol genomen om aan te sluiten bij de invoer voor DEZY. Deze windcondities worden gebruikt om de scheefstand (op- op afwaaiing) te berekenen t.o.v. het ruimtelijke gemiddelde meerpeil op locaties waar dit nodig is voor het verval over de spuisluisen. Hiervoor gebruiken we de formules en gegevens zoals beschreven in paragraaf 6.1 van de systeemdokumentatie van DEZY (Kuijper en Geerse, 2021). Ook hier geldt, dat de berekende scheefstand kan afwijken van de daadwerkelijke scheefstand, aangezien we gebruik hebben gemaakt van de (vereenvoudigde) modellering zoals toegepast binnen DEZY.

Tenslotte zijn we voor de aanwezige spuicomplexen en gemalen uitgegaan van de standaardinstellingen zoals beschreven in hoofdstuk 6 van de systeemdokumentatie van DEZY, hetgeen in principe overeenkomt met de huidige situatie/inrichting van het IJsselmeergebied.

5.2 Resultaat

Figuur 13 geeft het tijdsverloop van een aantal aan- en afvoerposten (bovenste deelfiguur) en waterstanden zoals ingevoerd of berekend bij het narekenen van de meerpeilverlopen. Hierbij merken we op:

- De bovenste deelfiguur laat in rood de neerlag en rivierafvoer op het IJsselmeer zien. De afvoer van de IJssel en de Vecht zijn gemeten waarden en rechtstreekse invoer (voor de IJssel komt dit bijvoorbeeld overeen met Figuur 4). De neerslagafvoer is ook invoer, maar dit betreft geen meetreeks, maar berekend uit de toegeleverde neerslagreeksen (zie paragraaf 5.1).
- Het onderste deelfiguur laat het tijdsverloop zien van de zeewaterstand bij de Afsluitdijk (AD), d.w.z. het gemiddelde van de buitenwaterstanden bij Den Oever en Kornwerderzand. Deze buitenwaterstanden zijn rechtstreekse invoer.
- Op basis van deze gegevens wordt per tijdstap (2 uur) berekend wat wordt aangevoerd en wat kan worden afgevoerd via spuisluizen en gemalen, en wat als gevolg daarvan de stijging of daling van het meerpeil is. Het spui-/pompdebiet over de Afsluitdijk (AD) en Houtribdijk (HRD) is weergegeven in de bovenste deelfiguur, dit betreft een voortschrijdend 24-uursgemiddelde. De resulterende berekende meerpeilen zijn weergegeven in de onderste deelfiguur.
- Het berekende maximale IJsselmeerpeil is NAP +0,51 m en het berekende maximale Markermeerpeil is NAP +0,25 m. Dat betekent dat we met deze narekening op beide meren ca. 10 cm onder het gemeten meerpeil zitten uit Tabel 1.



Figuur 13: Narekening met DEZY van opgetreden spui- en pompdebieten en waterstanden op het IJsselmeer en Markermeer.

De vorm van het met DEZY berekende meerpeilverloop komt zowel voor het IJsselmeer als het Markermeer globaal gezien goed overeen met de gemeten waarden uit Figuur 1.⁸ De piekwaarden liggen echter, zoals gezegd, circa 10 cm lager. Mogelijke oorzaken daarvoor zijn als volgt:

- De gemeten meerpeilen zijn eigenlijk een gewogen gemiddelde van de gemeten waterstanden op een aantal locaties. Op een korte tijdschaal (bijvoorbeeld de 2-uurswaarden zoals hier gebruikt) geeft de gebruikte middelingsformule niet altijd een goed resultaat, aangezien deze is bedoeld voor evenwichtssituaties. Het werkelijke maximale meerpeil zou dus enigszins kunnen afwijken van de waarden zoals gepresenteerd in Tabel 1.
- De neerslagafvoer betreft, zoals aangegeven, geen gemeten tijdreeks, maar waarden berekend uit de toegeleverde neerslagreeksen. Dit kan dus afwijken van de werkelijke neerslagafvoer. Verder heeft RWS opgemerkt dat de meetreeks van de Vecht bij Dalfsen relatief onbetrouwbaar is. In de regionale afvoer en de Vechtafvoer zit dus een behoorlijke onzekerheid.
- Voor de spuimogelijkheden is de lokale waterstand bij de Afsluitdijk en de Houtribdijk van belang (zowel binnen- als buitenzijde). De buitenwaterstand bij de Afsluitdijk is invoer, maar de overige lokale waterstanden zijn afgeleid uit het meerpeil plus de scheefstand (op- of afwaaiing) afhankelijk van de windcondities. Deze scheefstand is op een vereenvoudigde manier berekend en kan afwijken van de werkelijke scheefstand op een bepaald tijdstip.
- Het spuidebiet bij een bepaald verval is berekend volgens de gangbare formules in DEZY, met bijbehorende parameters voor de spuicomplexen. Het werkelijke spuidebiet kan in principe nog afwijken. In paragraaf 5.4 gaan we daar nader op in, door te vergelijken met metingen.

Al met al is de mate waarin de narekening de werkelijke meerpeilverlopen benadert voldoende bruikbaar om de invloed van bepaalde parameters inzichtelijk te maken.

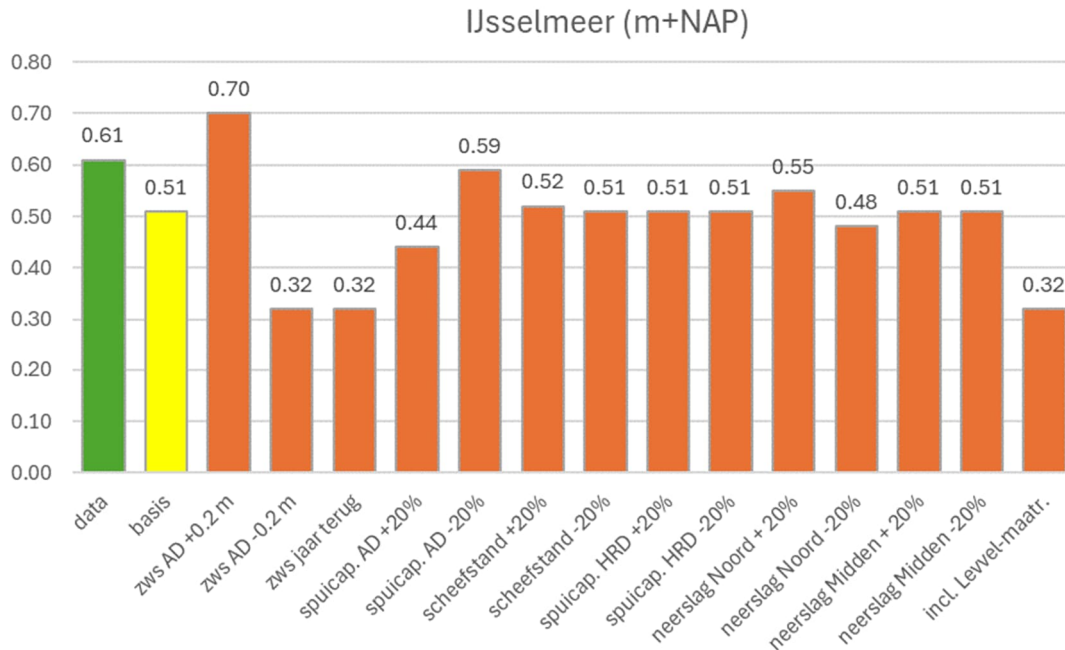
5.3 Gevoeligheidsanalyse

De implementatie van de rekentool voor het narekenen van de afgelopen hoogwatergebeurtenis geeft de mogelijkheid om gevoeligheidsanalyses uit te voeren door bepaalde invoer iets aan te passen. Figuur 14 en Figuur 15 geven de piekmeerpeilen voor het IJsselmeer en Markermeer voor enkele doorgerekende varianten. De groene balk geeft de gemeten maxima, zoals gepresenteerd in Tabel 1. De gele balk geeft de basis narekening, zoals beschreven in paragraaf 5.2.

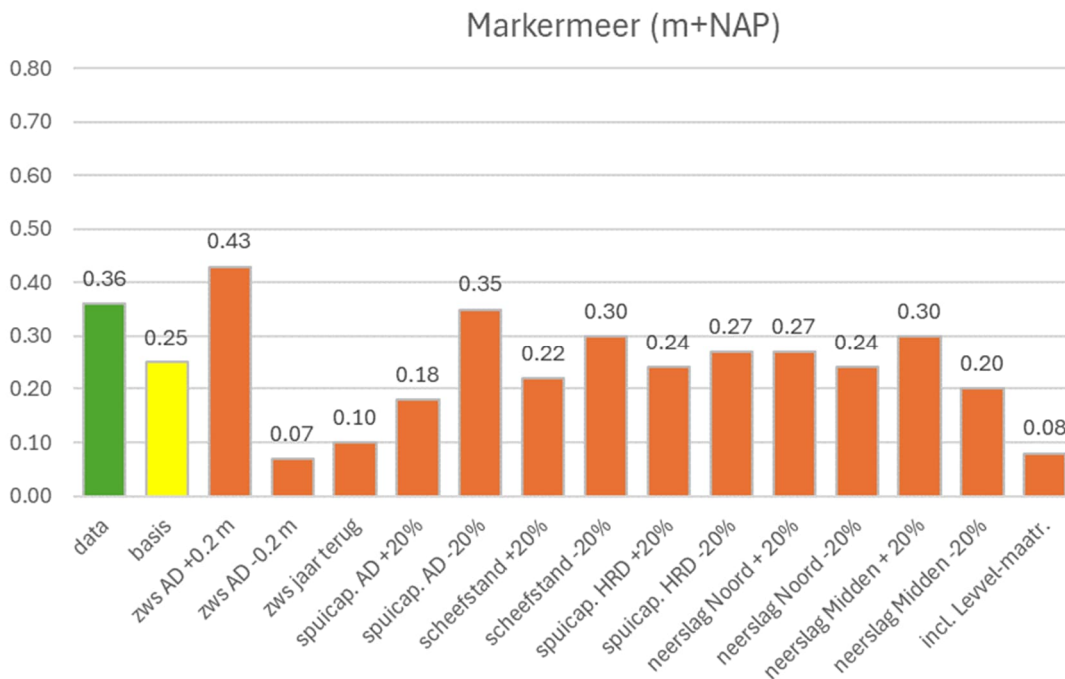
De doorgerekende varianten zijn:

- zws AD +/-20 cm..... 20 cm verhoging of verlaging van de buitenwaterstanden bij Den Oever en Kornwerderzand
- zws jaar terug Buitenwaterstand bij Den Oever en Kornwerderzand gelijk aan zelfde periode precies één jaar geleden
- spuicap. AD +/-20% 20% verhoging of verlaging van de spuicap. op de Afsluitdijk
- scheefstand +/-20% 20% verhoging of verlaging van de op- en afwaaiing
- spuicap. HRD +/- 20% 20% verhoging of verlaging van de spuicap. op de Houtribdijk
- neerslag Noord +/- 20% 20% verhoging of verlaging van de neerslag in Noord-NL (afwaterend op IJsselmeer)
- neerslag Midden +/- 20% 20% verhoging of verlaging van de neerslag in Midden-NL en West-NL (afwaterend op Markermeer en NZK/ARK)
- incl. Levvel-maatregelen met twee extra spuiagroepen bij Den Oever en een gemaal met een pompcapaciteit van 300 m³/s, zoals momenteel wordt aangelegd door het Levvel-consortium.

⁸ Zoals reeds aangegeven onder Figuur 1 (pagina 3), zijn de meerpeilverlopen niet digitaal aangeleverd, waardoor geen directe vergelijking van gemeten en nagerekende meerpeilen kon worden gemaakt.



Figuur 14: Resultaten piekmeerpeil IJsselmeer; gemeten, basis narekening en gevoeligheidsanalyses.

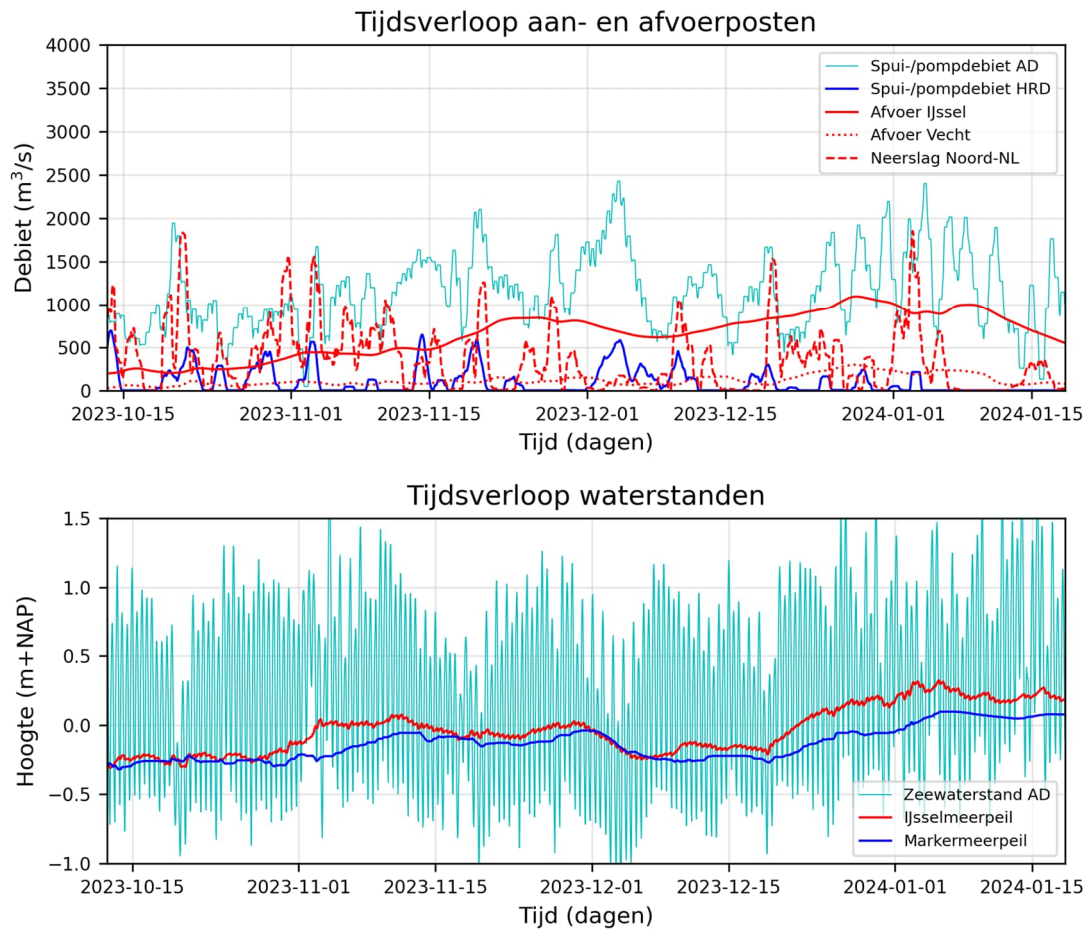


Figuur 15: Resultaten piekmeerpeil Markermeer; gemeten, basis narekening en gevoeligheidsanalyses.

IJsselmeer

De resultaten voor het IJsselmeer bevestigen het beeld uit hoofdstuk 4, namelijk dat de spui-mogelijkheden bij de Afsluitdijk duidelijk minder waren dan normaal en zeker zullen hebben bijgedragen in de hoge meerpeilen. Een integrale verhoging of verlaging van de zeewaterstand vertaalt zich in vrijwel een gelijke verhoging of verlaging van het piekmeerpeil. Wanneer het verloop van de buitenwaterstand bij Den Oever en Kornwerderzand gelijk was geweest aan het verloop voor dezelfde periode precies één jaar geleden, dan was het piekmeerpeil in deze analyse ook vrijwel 20 cm lager geweest. Figuur 16 geeft het de tijdsverlopen voor het IJsselmeer behorend bij deze laatste gevoeligheidsanalyse. Het meerpeil was dan weliswaar lager geweest,

maar nog steeds iets verhoogd (met een herhalingsjijd in de orde grootte 5-10 jaar). Dat zal met name komen door de verhoogde IJsselafvoer (over langere tijd beschouwd, zie paragraaf 3.1).



Figuur 16: Tijdsverlopen narekening (gevoeligheidsanalyse zws AD jaar terug).

De verhoging of verlaging van de spuicapaciteit op de Afsluitdijk heeft ook duidelijk invloed, maar het effect is minder groot dan in de gevoeligheidsanalyses voor de zeewaterstand. Dat zal vermoedelijk te maken hebben met het feit dat de zeewaterstand regelmatig te hoog was om (goed) te kunnen spuien. De extra spuicapaciteit doet dan relatief weinig. Vandaar dat het meerpeil ook significant lager was geweest als de extra spui- en pompcapaciteit, zoals aangelegd door het Levvel-consortium, al af zou zijn (laatste gevoeligheidsanalyse). Dan zou er in elk geval altijd 300 m³/s pompcapaciteit beschikbaar zijn wanneer spuien niet mogelijk was.

Aanpassing van de scheefstand doet op het IJsselmeer weinig, maar daarbij moet wel bedacht worden dat het windeffect aan de buitenzijde van de Afsluitdijk natuurlijk al in de zeewaterstand zit. Het verloop van deze buitenwaterstand is voor de spui mogelijkheden bij de Afsluitdijk bepalender dan de scheefstand aan de binnenzijde. Verder is de scheefstand bij de Houtribdijk van belang voor de spui vanuit het Markermeer naar het IJsselmeer, maar dat is voor het IJsselmeer een relatief klein deel van het totale aanvoerdebiet.

Markermeer

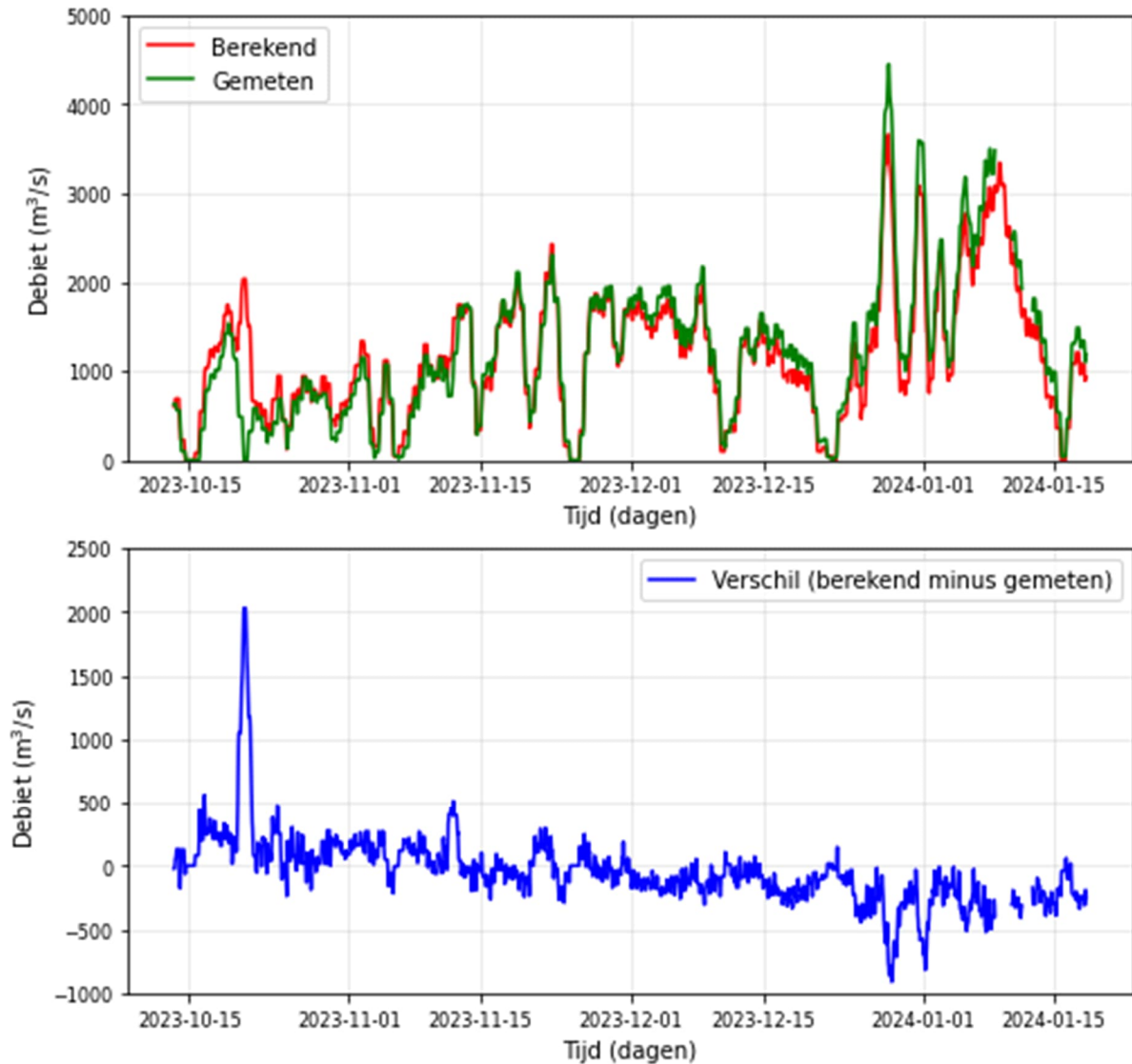
Voor het Markermeer valt vooral op, dat het piekmeerpeil sterk afhankelijk is van het IJsselmeer. In varianten waarin het IJsselmeer significant omlaag gaat, heeft dat ook duidelijk invloed op het Markermeer. Verder valt op dat het Markermeer gevoeliger is voor aanpassing van de scheefstand. Verhoging van de op- of afwaaiing leidt tot een iets lager piekmeerpeil, verlaging van de op- en afwaaiing leidt tot een iets hoger meerpeil. Dat betekent, dat de windcondities op het Markermeer over het algemeen blijkbaar gunstig waren voor de spuimogelijkheden richting het IJsselmeer (hoewel ongunstig voor wat betreft de wateroverlast in bepaalde gebieden langs Noord-Holland). Hierbij is het goed om nogmaals te herhalen, dat de scheefstand op een vereenvoudigde manier is berekend uit de gemeten windcondities bij Schiphol en kan afwijken van de werkelijke scheefstand. Eventueel zou het resulterende waterstandsverloop bij de Krabbersgatsluizen en de Houtribsluizen kunnen worden vergeleken met de gemeten lokale waterstand, maar die analyse is niet uitgevoerd.

Tenslotte is het piekmeerpeil van het Markermeer wat gevoeliger voor de neerslaaanvoer dan het piekmeerpeil van het IJsselmeer. Dat is logisch, want voor het Markermeer is de neerslag de belangrijkste aanvoerpost, terwijl dat bij het IJsselmeer de rivierafvoer is. Het effect is in de hier uitgevoerde analyses nog steeds niet heel groot, maar dat heeft ook te maken met de mate waarin de neerslagafvoer is aangepast (+/- 20%). Die keuze is vrij arbitrair gemaakt.

5.4 Vergelijking spuidebieten Afsluitdijk

Rijkswaterstaat heeft vanuit IWP (instrument voor waterpeilbeheer) het gemeten spuidebiet bij Den Oever (Stevinsluizen) en Kornwerderzand (Lorentzsluizen) toegeleverd. Figuur 17 geeft een vergelijking van het tijdsverloop van het gemeten spuidebiet en het tijdsverloop van het spuidebiet uit de narekening met de formules uit DEZY zoals beschreven in de voorgaande paragrafen. Voor een beter beeld is hierbij uitgegaan van het voortschrijdend 24-uursgemiddelde van het spuidebiet bij Den Oever en Kornwerderzand samen. Hierbij valt op, dat het verloop over het geheel redelijk overeenkomt, maar dat er rond 20 oktober een periode is waarin het berekende spuidebiet veel hoger ligt en dat het gemeten spuidebiet een paar keer duidelijk hoger ligt rond de jaarwisseling, juist wanneer de spuidebieten het hoogst zijn. Verder laat de figuur zien dat er in elk geval geen sprake was van minder beschikbare spuicapaciteit door onderhoud en/of storing in deze periode.

Het is belangrijk om op te merken, dat alleen een vergelijking van de spuidebieten zelf nog steeds beperkt is. De vraag is namelijk of het verval ook gelijk is. Daarbij geldt dat in de narekening in principe is uitgegaan van gemeten buitenwaterstanden op de Waddenzee, maar dat de waterstand aan de binnenzijde een berekende waarde betreft. Het meerpeil zelf is een berekende waarde, maar ook de vertaling van dat meerpeil naar een lokale waterstand betreft een inschatting. Deze scheefstand is op een vereenvoudigde manier berekend en kan afwijken van de werkelijke scheefstand op een bepaald tijdstip. De grote afwijking in spuidebiet rond 20 oktober zou dus kunnen komen doordat in de modelberekening van een veel grotere opwaaiing aan de binnenzijde is uitgegaan dan werkelijk het geval was, waardoor ten onrechte een groot verval is aangenomen op dat tijdstip. Verder is in het resultaat van paragraaf 5.2 al geconstateerd dat de maximaal berekende meerpeilen wat te laag zijn, hetgeen weer zou kunnen verklaren dat rond de jaarwisseling in de modelberekening sprake is van een kleiner verval dan in werkelijkheid. Om dat nader te onderzoeken zouden niet alleen de spuidebieten moeten worden vergeleken, maar ook de waterstanden aan de binnenzijde van de Afsluitdijk bij Den Oever en Kornwerderzand.



Figuur 17: Vergelijking gemeten en berekende spuidebiet Afsluitdijk (som van Stevinsluizen en Lorentzsluizen). Het getoonde debiet betreft een voortschrijdend 24-uursgemiddelde.

Deltares (Nienke Kramer) heeft overigens als reactie aangegeven de door IWP berekende afvoer door de spuisluizen van Den Oever aardig te kunnen reproduceren, waarbij de gemiddelde afvoercoëfficiënt voor de periode van 4 oktober 2023 t/m 12 jan 2024 dan op 0,89 ligt. Dat is 16% lager dan de spuicoëfficiënt die standaard binnen DEZY wordt gehanteerd voor de Afsluitdijk (1,06). Dat komt dus vrij goed overeen met de gevoeligheidsanalyse "spuicap. AD +/-20%" uit paragraaf 5.3, aangezien voor de gevoeligheidsanalyse het verhogen/verlagen van de spuicapaciteit ook middels deze parameter is uitgevoerd (in de spuiformules hangt het debiet lineair af van de spuicoëfficiënt).

6 Conclusies

In dit rapport hebben we een aantal aspecten beschouwd die van belang waren voor de opgetreden meerpeilen in de afgelopen hoogwatergebeurtenis eind 2023 en begin 2024. We concluderen het volgende.

Parameter	Herhalingstijd (jaar)
IJsselmeer (ruimtelijk gem. waterstand)	30
Markermeer (ruimtelijk gem. waterstand)	160
Veluwerandmeren	Onvoldoende informatie voor een goede schatting
IJsselafvoer	
• Piekafvoer	5
• Afgevoerd volume	10-20
Vechtafvoer	10
Gevallen neerslag	100-200
Spuicapaciteit Afsluitdijk	Niet bepaald, maar duidelijk minder dan normaal door langdurige verhoogde waterstand op de Waddenzee in de stormperiode

Volgens de beste inschatting die we nu kunnen maken, ligt de herhalingstijd van het opgetreden IJsselmeerpeil op circa 30 jaar en die van het opgetreden Markermeerpeil op circa 160 jaar.

De situatie op het Markermeer was dus duidelijk extremer dan op het IJsselmeer. Dat komt omdat met name de neerslag over langere duur sterk was verhoogd. De piekafvoer van de IJssel had een herhalingstijd van circa 3-4 jaar (afgerond 5 jaar). Weliswaar was de IJssel langere tijd verhoogd, maar ook wanneer we het aangevoerde volume over langere tijd beschouwen is de IJsselafvoer nog steeds niet heel extreem te noemen, maar ligt deze in de ordegrootte van 10-20 jaar. De herhalingstijd van de ruimtelijke neerslag die in de directe omgeving van het IJsselmeergebied is gevallen schatten we op ordegrootte 100 tot 200 jaar. Daarbij is het belangrijk te vermelden dat deze schatting is gebaseerd op een tijdreeks die is gecorrigeerd (gedetrend) naar het huidige klimaat. Zonder zo'n correctie kunnen de geschatte herhalingstijden duidelijk te hoog uitvallen.

Dat het IJsselmeerpeil was verhoogd, had dus te maken met een IJsselafvoer die, over langere tijd beschouwd, ook duidelijk was verhoogd, in combinatie met slechte spuumogelijkheden. Dit wordt bevestigd door de (indicatieve) analyse uit hoofdstuk 4, die laat zien dat over een langere periode (> maand) gezien, de spuumogelijkheden bij de Afsluitdijk duidelijk minder waren dan normaal. In hoofdstuk 5 is bij de narekening van de hoogwatergebeurtenis aangetoond dat het IJsselmeerpeil circa 20 cm lager was uitgekomen wanneer het verloop van de buitenwaterstand bij Den Oever en Kornwerderzand gelijk was geweest aan het verloop voor dezelfde periode één jaar geleden.

Opvallend in de analyse van de spuumogelijkheden is het feit dat de slechtste periodes vrijwel allemaal in de afgelopen 10 jaar hebben plaatsgevonden. Zoals aangegeven, hebben we niet gecorrigeerd voor de zeespiegelstijging gedurende de periode van de meetreeks. Dat is naar verwachting echter niet voldoende verklaring. Het verdient aanbeveling dit nader te onderzoeken.

Het Markermeer was verhoogd door extreme neerlag in combinatie met beperkte spuumogelijkheden richting het IJsselmeer (omdat het IJsselmeer ook langere tijd was verhoogd). De analyse uit hoofdstuk 5 lijkt erop te wijzen dat de beperkte spuumogelijkheden richting het IJsselmeer nog iets werden gecompenseerd door gunstige windcondities voor wat betreft dit aspect. Voor een nadere onderbouwing daarvan zouden de gemeten waterstandsreeksen nabij de Krabbersgat-sluizen en de Houtribsluizen moeten worden vergeleken met de berekende waterstanden.

In hoofdstuk 5 is tenslotte het berekende spuidebiet op de Afsluitdijk in de narekening vergeleken met de gemeten spuidebieten, aangezien een afwijking op dit punt een mogelijke verklaring zou kunnen zijn voor het verschil tussen de gemeten en berekende maximale meerpeilen op het IJsselmeer en Markermeer. De analyse laat inderdaad verschillen zien, maar hierbij geldt dat voor een goede analyse eveneens de gemeten waterstandsreeksen nabij Kornwerderzand en Den Oever (aan de binnenzijde van de Afsluitdijk) zouden moeten worden vergeleken met de berekende waterstanden. Belangrijk is immers vooral of in de modelberekening bij *eenzelfde verval* een gelijke hoeveelheid spui wordt berekend.

De bepaling van de gemiddelde afvoercoëfficiënt over de afgelopen periode door Deltares suggereert dat de standaardwaarde die momenteel in DEZY wordt gehanteerd wellicht aan de hoge kant is, maar bovengenoemde analyse zou dat dan moeten bevestigen.

Een eerste stap in deze analyse zou moeten zijn om de berekende meerpeilen goed te vergelijken met de gemeten meerpeilen. Dat is nu beperkt gebeurd, aangezien de tijdsverlopen van de gemeten meerpeilen alleen in grafiekvorm en niet digitaal beschikbaar waren. We bevelen aan deze vergelijking alsnog uit te voeren.

7 Referenties

Benard, A. en Bos-Levenbach (1953)

A. Benard en E.C. Bos-Levenbach. Het uitzetten van waarnemingen op waarschijnlijkheidspapier. *Statistica Neerlandica*, 7: 163-173 (1953).

Bosma et al., 2024

Berend Jan Bosma, Joost Drievergen, Rik Verboeket, Annette Zijderveld (WMCN), Edward Koers (RWS), Jos Diepeveen, Lars van Galen, Marcel van Schaik (KNMI), Orin van Loon (WSFL) Jan Ursem (HHNK). *Hoogwaterrapport IJsselmeergebied 2024-01; Rapport over verhoogde waterstanden tijdens en in de periode rondom stormen Pia en Henk van 20 december 2023 t/m 12 januari 2024*. Watermanagementcentrum Nederland, 19 april 2024.

Botterhuis et al., 2024

A.A.J. Botterhuis, B. Kuijper, N. van der Vliet en J.W. Stijnen. *Waterveiligheidsperspectief IJsselmeergebied; Fase 1*. HKV lijn water, rapport PR4991.10, conceptversie maart 2024.

Bottema, 2024

Marcel Bottema. *Ruwe eerste statistische duiding neerslag-afvoer-meerpeil kerst 2023*. Rijkswaterstaat-WVL, conceptmemo 12 januari 2024.

Chbab, 2017

Houcine Chbab. *Basisstochasten WBI-2017. Statistiek en statistische onzekerheid*. In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. Deltares-rapport 1209433-012-HYE-0007, 16 juni 2017.

DPIJ, 2024

Korte terugblik hoogwaterperiode IJsselmeergebied 2023-2024. Memorandum Deltaprogramma IJsselmeergebied, 8 maart 2024.

Kuijper, 2020

Bastiaan Kuijper. *Werkwijze en resultaten rekentool IJsselmeerpeil (v1.0)*. HKV lijn in water, memorandum PR4403.10, 18 december 2020.

Kuijper en Geerse, 2021

Bastiaan Kuijper en Chris Geerse. *DEZY versie 5.1 - Systeemdokumentatie deel 1: IJsselmeergebied*. HKV lijn in water, rapport PR4383.20, februari 2021.

Rommelzwaal et al., 2019

Albert Rommelzwaal, Arthur Kors, Ilka Táneczso, Jan Helmer en Herbert Berger. *Beleidsaanbevelingen voor het langetermijn peilbeheer in het IJsselmeergebied; Eindrapport Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied*. Rijkswaterstaat, juni 2019.

STOWA 2015

Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer. Jules Beersma, Janette Bessembinder en Theo Brandsma (KNMI), Rudolf Versteeg en Hans Hakvoort (HKV lijn in water). ISBN 978.90.5773.706.0. STOWA Rapport 2015-10.

STOWA 2019

Beersma J, Hakvoort H, Jilderda R, Overeem A, Versteeg R (2019). Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019. STOWA Rapport 2019-19.

Bijlagen

A Afleiding statistiek IJsselmeer en Markermeer met DEZY

Met het programma DEZY (Kuijper en Geerse, 2021) is het mogelijk statistiek af te leiden voor het IJsselmeer en het Markermeer zodanig dat deze consistent is met de vergroting van de waterafvoer bij de Afsluitdijk (aanleg van extra spuisluizen en twee gemalen). Deze bijlage beschrijft deze afleiding.

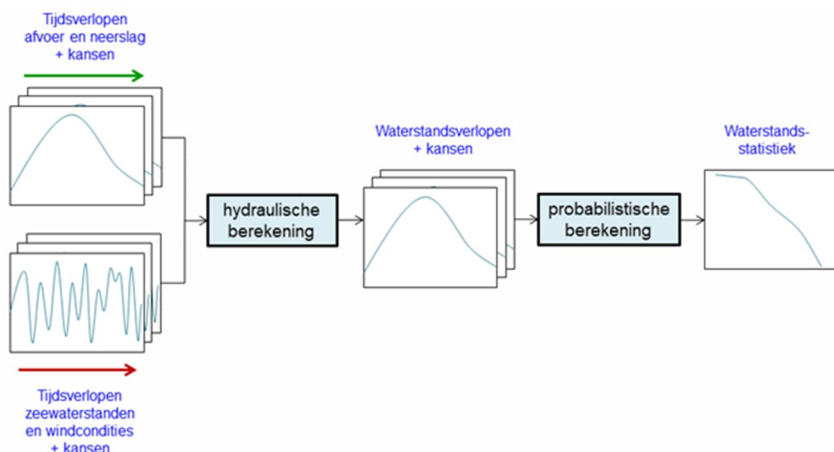
In het navolgende wordt allereerst een korte beschrijving gegeven van het model DEZY. Vervolgens beschrijven we de (instellingen van de) uitgevoerde berekening en het resultaat daarvan. Tenslotte wordt aangegeven hoe de DEZY-uitvoer is omgezet naar benodigde invoerbestanden voor Riskeer (Hydra-Ring) en Hydra-NL.

De DEZY resultaten zijn ontleend aan het Slim Watermanagement project:
<https://www.slimwatermanagement.nl/publish/pages/153686/ark-nzk-2021-rapport-dezy-sommen-venr-ijmuiden.pdf>.

A.1 Beschrijving model DEZY

DEZY is een probabilistisch model voor het bepalen van statistiek van (ruimtelijk gemiddelde) waterstanden voor peilgestuurde systemen. Het model DEZY rekent voor verschillende merensystemen, elk met geheel eigen karakteristieken voor de aanvoer door neerslag-/rivierafvoer en de afvoermogelijkheden door spuisluizen en gemalen. Hoewel er grote verschillen zijn tussen de afzonderlijke merensystemen, is de rekenmethode voor al deze systemen in essentie gelijk. Er wordt een groot aantal synthetische tijdreeksen geconstrueerd van (o.a.) de neerslag-/rivierafvoer, elk met een bijbehorende kans van optreden. Voor elk van deze tijdreeksen bepaalt het model het bijbehorende waterstandsverloop met behulp van een relatief eenvoudig reservoirmodel, waarin de kenmerken van de aanwezige spuisluizen en/of gemalen zijn opgenomen. De resulterende verlopen worden gewogen met de kans van optreden om de gevraagde waterstandstatistiek te bepalen.

De modellering voor het IJsselmeergebied is beschreven in (Kuijper en Geerse, 2021). Hierin worden als stochasten beschouwd: de afvoer van de IJssel (Olst), de Vecht (Dalfsen) en de Eem (Amersfoort), de neerslag, de buitenwaterstanden bij Den Oever, Kornwerderzand en IJmuiden en de windcondities (richting en snelheid). Om de waterstandstatistiek te bepalen (per reservoir) wordt een groot aantal synthetische tijdreeksen doorgerekend van enerzijds de afvoer en neerslag en anderzijds de windcondities en de zeewaterstanden. Het algemene rekenschema is weergegeven in Figuur 18. Zie voor meer details het genoemde rapport.



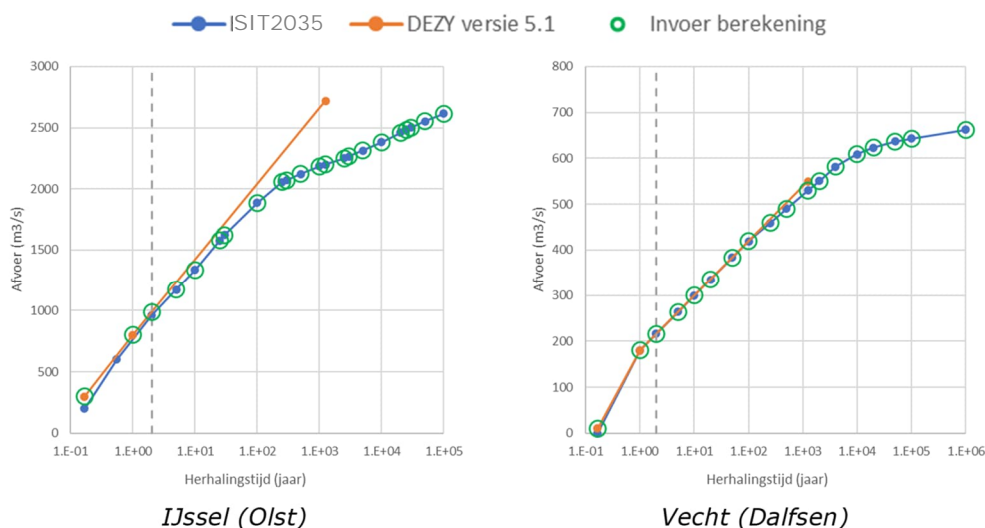
Figuur 18: Schematische weergave bepaling waterstandstatistiek in DEZY.

A.2 Berekening voor zichtjaar 2035

De berekening van de meerpeilstatistiek voor IJssel- en Markermeer is uitgevoerd met DEZY versie 5.1. In de meeste gevallen is uitgegaan van de defaultinstellingen van het model, zoals beschreven in (Kuijper en Geerse, 2021). Hiermee is het model afgeregeld op zichtjaar 2015. Het zichtjaar in deze studie is gelijk aan 2035. De statistiek van afvoer, neerslag en zeewaterstand is daarop aangepast. Ook zijn de parameters voor spui en gemaal bij de Afsluitdijk aangepast, rekening houdend met de vergroting van de waterafvoer (aanleg van extra spuisluizen en twee gemalen). Dit wordt gedetailleerd beschreven in de navolgende subparagrafen.

A.2.1 Afvoerstatistiek

De overschrijdingskansen van de piekafvoer van de IJssel (Olst) en de Vecht (Dalfsen), die invoer vormen voor het model DEZY, zijn overgenomen uit de invoerbestanden voor Hydra-NL. Voor de Vecht betreft dit dezelfde statistiek als in WBI2017, voor de IJssel is nieuwe statistiek afgeleid, op basis van de aangepaste statistiek voor de Rijn (Lobith), zie paragraaf 2.4. Om de juiste gemiddelde afvoer te krijgen (relevant voor het gemiddelde meerpeil), is bij lage herhalings tijden (≤ 2 jaar) echter gebruik gemaakt van de default statistiek van DEZY versie 5.1. De resulterende invoer is weergegeven in Figuur 19. De afvoerstatistiek betreft de statistiek exclusief statistische onzekerheid.



Figuur 19: Weergave gebruikte afvoerstatistiek IJssel en Vecht (gestippelde lijn is $T=2$ jaar).

Voor de Eem is geen afvoerstatistiek beschikbaar. Voor de Eem is daarom uitgegaan van de default afvoerstatistiek in DEZY versie 5.1, verhoogd met een factor om de toename in 2035 t.o.v. 2015 te verdisconteren. Voor deze factor is dezelfde waarde gehanteerd als voor de neerslag, zoals hieronder beschreven.

A.2.2 Neerslag

Om de toename van de neerslag tussen 2015 en 2035 te verdisconteren is uitgegaan van gegevens uit ISWP: Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied (Remmelzwaal et al., 2019). Voor de neerslagtoename is daarbij uitgegaan van de cijfers in Tabel 8, die zijn overgenomen uit (Kuijper, 2016).

Zichtjaar	Toename 30-daagse neerslag winter
1995	0%
2015	3%
2075	14%
2125	19%
2175	20%

Tabel 8: Klimaatontwikkeling t.a.v. neerslag, zoals gehanteerd binnen ISWP.

Door lineaire interpolatie volgt uit de cijfers in Tabel 8 voor zichtjaar 2035 een toename van 6,7% t.o.v. 1995. De default neerslagstatistiek in DEZY versie 5.1 geldt echter voor 2015. De factor waarmee de neerslag in 2035 toeneemt t.o.v. 2015 is gelijk aan $(1+6,7\%) / (1+3\%) = 1,036$. Met andere woorden: in 2035 is de neerslag naar verwachting met 3,6% toegenomen t.o.v. 2015. Om een berekening te maken voor zichtjaar 2035 is de default neerslagstatistiek uit DEZY versie 5.1 daarom verhoogd met 3,6% (een factor 1,036). Zoals eerder al aangegeven is dezelfde factor ook toegepast op de afvoerstatistiek voor de Eem.

A.2.3 Zeewaterstanden

Voor (het tijdsverloop van) de zeewaterstanden en de wind wordt binnen DEZY een kansverdeling geconstrueerd op basis van meetreeksen met uurwaarden, zie voor details paragraaf 3.6 van (Kuijper en Geerse, 2021). Om te compenseren voor zeespiegelstijging over de meetperiode worden de zeewaterstanden daarbij gehomogeniseerd naar het referentiejaar 2015, uitgaande van een gemiddelde zeespiegelstijging van 20 cm per eeuw (0,2 cm per jaar).

In de hier beschreven berekening is het referentiejaar aangepast naar 2035, om rekening te houden met de extra zeespiegelstijging tussen 2015 en 2035. Met de gemiddelde zeespiegelstijging die binnen DEZY (default) wordt gehanteerd bij het homogeniseren van de meetreeksen, komt dat dus effectief neer op 4 cm zeespiegelstijging tussen 2015 en 2035.

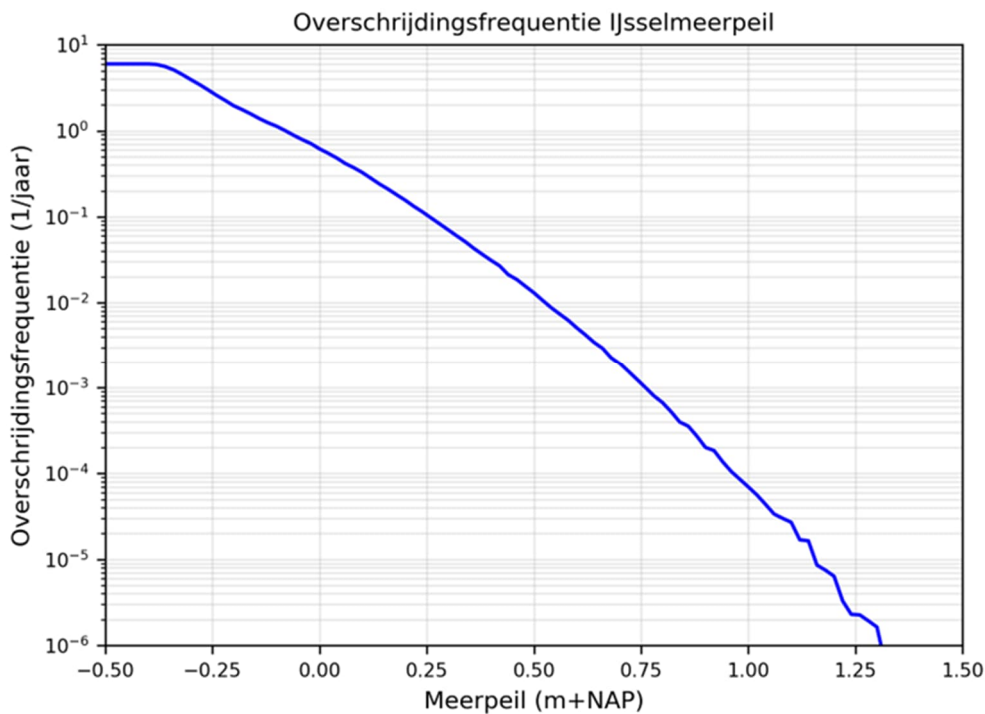
A.2.4 Afvoermogelijkheden Afsluitdijk

Bij Den Oever worden extra spuisluisen aangelegd. In de huidige situatie is sprake van 3 groepen van 5 spuiokers. Er worden extra 2 groepen van 5 spuiokers toegevoegd. In de DEZY-berekening is daarom, op aangeven van RWS, het aantal spuiokers bij Den Oever verhoogd van 15 naar 25. Verder is rekening gehouden met de aanleg van twee gemalen. Op aangeven van RWS is gerekend met een pompcapaciteit van 245 m³/s bij Den Oever, uitgaande van default pompcurve in DEZY, zoals beschreven in paragraaf 6.3.2 van (Kuijper en Geerse, 2021). Het aanslagpeil is gelijk genomen aan streefpeil (NAP 0,40 m). Tenslotte is aangenomen dat ook gepompt kan worden wanneer wordt gespuid.

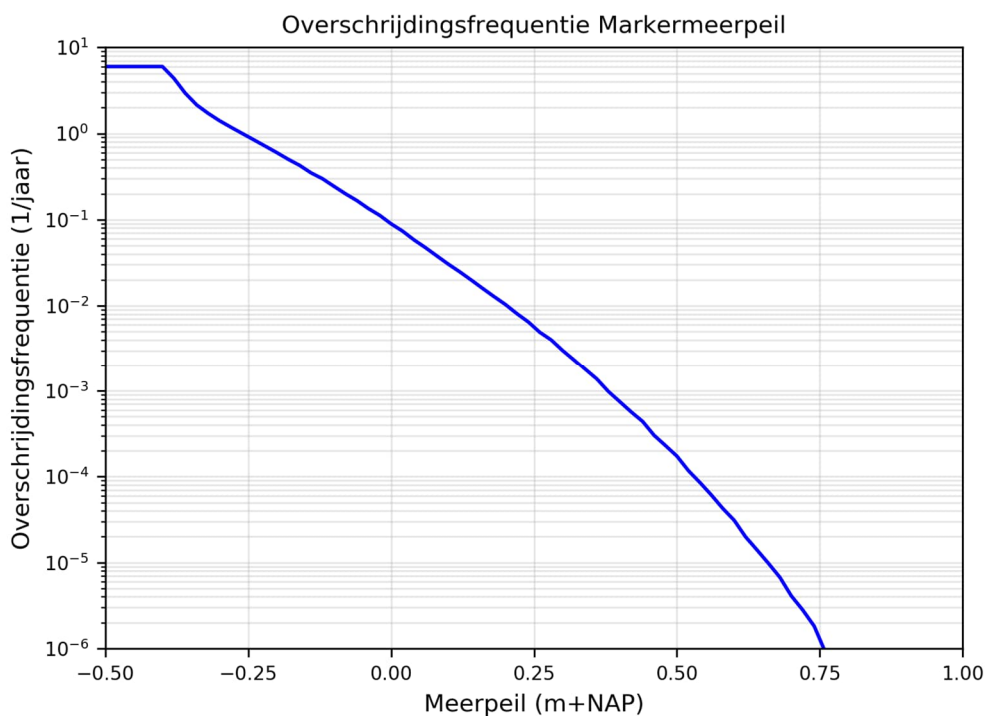
A.3 Resulterende meerpeilstatistiek

Figuur 20 en Figuur 21 geven de berekende overschrijdingsfrequenties voor het IJssel- en Markermeer. Tabel 9 geeft voor een aantal herhalingstijden het bijbehorende meerpeil, dat correspondeert met deze figuren.

Merk op, dat de frequentielijn voor het IJsselmeer in het extreme bereik geen glad verloop heeft, als gevolg van numerieke onnauwkeurigheid. Dit wordt verholpen bij de omzetting naar de invoer voor Riskeer en Hydra-NL (zie paragraaf 1.4).



Figuur 20: Berekende overschrijdingsfrequentie piekwaterstand IJsselmeer (DEZY-uitvoer).



Figuur 21: Berekende overschrijdingsfrequentie piekwaterstand Markermeer (DEZY-uitvoer).

```

=====
Tabel met meerpeilen en herhalingstijden
-----
Herhalingstijd      IJsselmeer      Markermeer
  [jaar]            [m+NAP]         [m+NAP]
-----
      1              -0.079          -0.260
      4               0.135          -0.102
     10              0.256          -0.010
     40              0.426           0.119
    100              0.526           0.203
   400              0.672           0.314
  1000              0.760           0.379
  4000              0.886           0.474
 10000              0.965           0.530
 40000              1.103           0.610
100000              1.155           0.659
400000              1.235           0.725
1000000             1.309           0.757
-----
Gemiddeld peil      -0.335          -0.376
-----

```

Tabel 9: IJssel- en Markermeerpeilen bij verschillende herhalingstijden (DEZY-uitvoer).

A.4 Omzetting naar benodigde invoerstatistiek

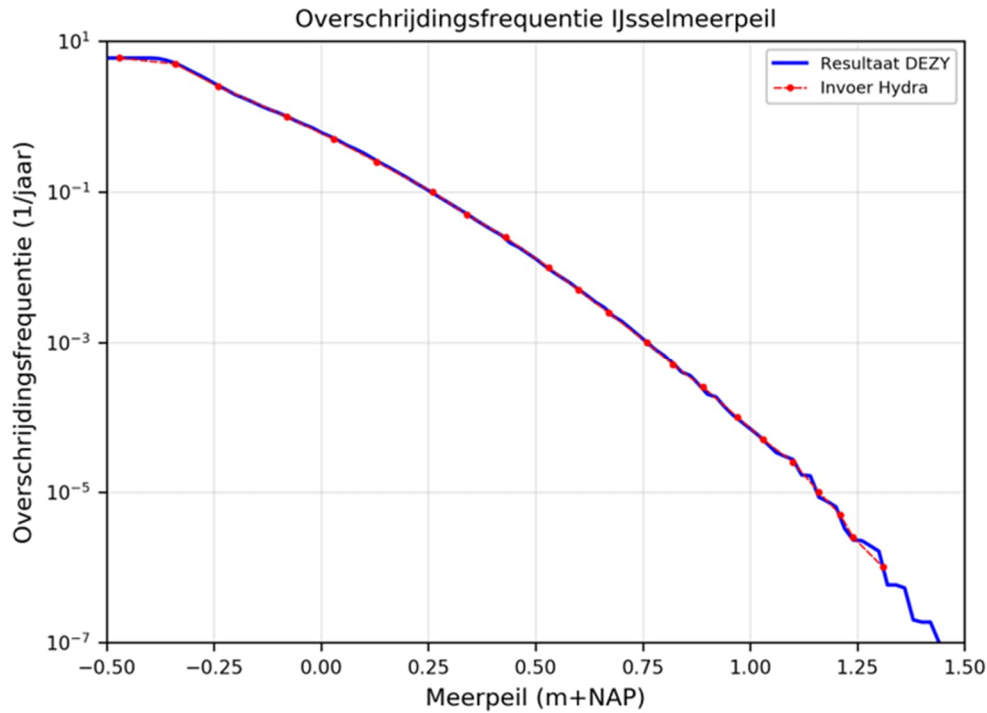
DEZY genereert zelf invoerbestanden voor Hydra-NL op basis van de berekende meerpeilstatistiek. Dit wordt beschreven in bijlage F van de systeemdocumentatie (Kuijper en Geerse, 2021).

A.4.1 Overschrijdingskansen

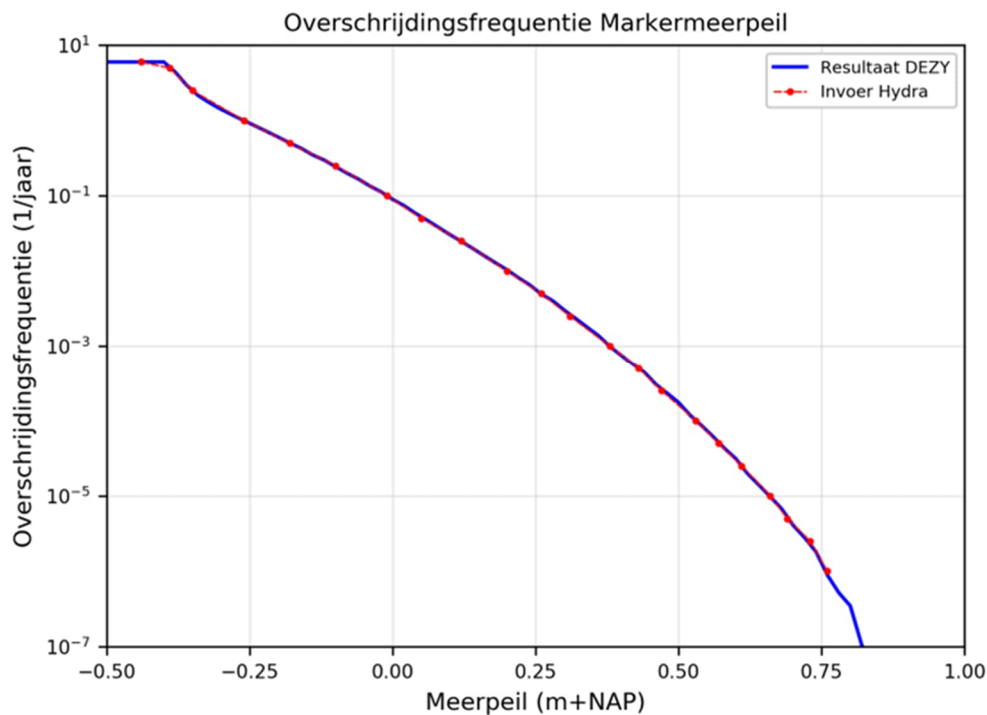
Figuur 22 toont de door DEZY gegenereerde invoerbestanden met overschrijdingskansen van de piekwaterstanden voor het IJssel- en Markermeer. Deze waarden liggen op de frequentielijnen zoals getoond in Figuur 20 en Figuur 21, maar dan op een vast rooster van kansen. Figuur 23 en Figuur 24 maken dit duidelijk. De gegeven overschrijdingskansen gelden voor een basisduur van 30 dagen.

* Overschrijdingskansen piekwaarde IJsselmeer		* Overschrijdingskansen piekwaarde Markermeer	
* Dit bestand is gegenereerd door het model DEZY		* Dit bestand is gegenereerd door het model DEZY	
* Piekwaarde	Overschrijdingskans	* Piekwaarde	Overschrijdingskans
* [m+NAP]	* [-]	* [m+NAP]	* [-]
-0.47	1.000E+00	-0.44	1.000E+00
-0.34	8.333E-01	-0.39	8.333E-01
-0.24	4.167E-01	-0.35	4.167E-01
-0.08	1.667E-01	-0.26	1.667E-01
0.03	8.333E-02	-0.18	8.333E-02
0.13	4.167E-02	-0.10	4.167E-02
0.26	1.667E-02	-0.01	1.667E-02
0.34	8.333E-03	0.05	8.333E-03
0.43	4.167E-03	0.12	4.167E-03
0.53	1.667E-03	0.20	1.667E-03
0.60	8.333E-04	0.26	8.333E-04
0.67	4.167E-04	0.31	4.167E-04
0.76	1.667E-04	0.38	1.667E-04
0.82	8.333E-05	0.43	8.333E-05
0.89	4.167E-05	0.47	4.167E-05
0.97	1.667E-05	0.53	1.667E-05
1.03	8.333E-06	0.57	8.333E-06
1.10	4.167E-06	0.61	4.167E-06
1.16	1.667E-06	0.66	1.667E-06
1.21	8.333E-07	0.69	8.333E-07
1.24	4.167E-07	0.73	4.167E-07
1.31	1.667E-07	0.76	1.667E-07

Figuur 22: Invoerbestanden DEZY met overschrijdingskansen IJssel- en Markermeer.



Figuur 23: Waarden op frequentielijn IJsselmeer in door DEZY gegenereerd invoerbestand.



Figuur 24: Waarden op frequentielijn Markermeer in door DEZY gegenereerd invoerbestand.

De meerpeilen en bijbehorende overschrijdingskansen uit de door DEZY gegenereerde invoerbestanden (Figuur 22) zijn in principe rechtstreeks overgenomen in de definitieve invoer voor Riskeer en Hydra-NL, met dit verschil dat de laagste piekwaarde telkens is vervangen door streefpeil (NAP 0,40 m).

Deze laagste waarde, in bijlage F van de systeemdokumentatie (Kuijper en Geerse, 2021) aangeduid als het referentieniveau, is namelijk enigszins kunstmatig tot stand gekomen bij het genereren van het invoerbestand door DEZY en daardoor lastig uitlegbaar. De keuze voor het

streefpeil als minimale waarde is veel voor de hand liggender en sluit aan bij de statistiek volgens WBI2017.

A.4.2 Topduren

Naast overschrijdingskansen van de piekmeerpeilen zijn ook zogeheten topduren nodig, dat wil zeggen het verband tussen het piekmeerpeil en de topduur van het trapezium waarmee het tijdsverloop van het meerpeil wordt gemodelleerd.

Figuur 25 toont de door DEZY gegenereerde invoerbestanden met topduren van de piekwaterstanden voor het IJssel- en Markermeer. Hierin zijn ook de bijbehorende insnoeringsfactoren van de geknikte meerpeiltrapezia weergegeven (die in Hydra-NL door de gebruiker apart zouden moeten worden ingevoerd in de Testmodus).

* Topduren van meerpeilgolven van het IJsselmeer		* Topduren van meerpeilgolven van het Markermeer	
* Bijbehorende insnoeringsfactoren meerpeiltrapezia:		* Bijbehorende insnoeringsfactoren meerpeiltrapezia:	
* av = 70%		* av = 70%	
* ah = 116%		* ah = 128%	
* Dit bestand is gegenereerd door het model DEZY		* Dit bestand is gegenereerd door het model DEZY	
* Piekwaarde	* Topduur	* Piekwaarde	* Topduur
[m+NAP]	[uur]	[m+NAP]	[uur]
-0.47	720	-0.44	720
-0.33	3	-0.38	7
-0.20	4	-0.32	10
-0.08	4	-0.24	19
0.04	5	-0.15	26
0.15	6	-0.06	32
0.25	7	0.02	34
0.36	8	0.09	37
0.47	8	0.17	39
0.61	9	0.32	34
1.11	9	0.66	33
1.53	9	0.89	33

Figuur 25: Invoerbestanden DEZY met topduren IJssel- en Markermeer.

Hoewel de topduren door DEZY worden gegenereerd, is het precieze verloop daarvan als functie van het piekmeerpeil lastig uitlegbaar en geeft dit een zekere mate van schijnnaauwkeurigheid. Daarom is ervoor gekozen om, net als in WBI2017, de topduur als functie van het piekmeerpeil grover te schematiseren (zie onder). Ook wordt voor het meerpeilverloop uitgegaan van ongeknikte meerpeiltrapezia.

Voor de topduren is uitgegaan van een soort gemiddelde waarde voor de hogere meerpeilpieken, afgerond op veelvouden van 12 uur. Voor het IJsselmeer komt dat neer op 12 uur en voor het Markermeer op 36 uur. Vervolgens hebben we ervoor gekozen om bij streefpeil (NAP 0,40 m) uit te gaan van 720 uur (basisduur van 30 dagen), bij 5 cm daarboven van de waarde 12 of 36 uur en daarboven constant. Het resultaat is weergegeven in Figuur 26.

* Topduren van meerpeilgolven voor het IJsselmeer voor trapeziumvormige meerpeilgolven.			* Topduren van meerpeilgolven voor het Markermeer voor trapeziumvormige meerpeilgolven.		
* De getallen zijn ontleend aan berekeningen met DEZY, zoals beschreven in het statistiekrapport voor BOI2023.			* De getallen zijn ontleend aan berekeningen met DEZY, zoals beschreven in het statistiekrapport voor BOI2023.		
* Piekwaarde	* topduur	* meerpeilgolf	* Piekwaarde	* topduur	* meerpeilgolf
[m+NAP]	[uur]		[m+NAP]	[uur]	
-0.40	720		-0.40	720	
-0.35	12		-0.35	36	
1.80	12		1.80	36	

Figuur 26: Vereenvoudigde topduren IJssel- en Markermeer als invoer voor Hydra-NL.

Bovenstaande vereenvoudigingen ten aanzien van het meerpeilverloop en de topduren zijn te rechtvaardigen, aangezien de hydraulische belastingen voor wat betreft waterstanden en golfoverslag heel ongevoelig zijn voor deze keuzes.

Tenslotte merken we nog op, dat Riskeer (Hydra-Ring) in het rekenschema NTI gebruik maakt van de topduren (en eventuele insnoeringsfactoren). In het rekenschema FBC worden in plaats daarvan zogeheten duurlijnen gebruikt.



HKV lijn in water BV

Locatie Lelystad
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Locatie Delft
Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

Locatie Amersfoort
Berkenweg 7
3818 LA Amersfoort

0320 294242
info@hkv.nl
www.hkv.nl