

## KBN-HVWN: Scheepvaartbeperkingen door watertekorten



## **KBN-HVWN: Scheepvaartbeperkingen door watertekorten**

### **Auteur(s)**

Jurjen de jong

## KBN-HVWN: Scheepvaartbeperkingen door watertekorten

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	mevrouw N. Dasburg-Tromp
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	Klimaatbestendige Netwerken, scheepvaart, schutsluizen, watertekorten, droogte

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	23-03-2022
<b>Projectnummer</b>	11206832-020
<b>Document ID</b>	11206832-020-GEO-0002
<b>Pagina's</b>	41
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Jurjen de Jong	Deltares

<b>Doc. Versie</b>	<b>Auteur</b>	<b>Controle</b>	<b>Akkoord</b>	<b>Publicatie</b>
1.0	Jurjen de Jong	Rolien van der Mark	Remon Pot	

# Samenvatting

In Klimaatbestendige Netwerken Hoofdvaarwegennetwerk (KBN-HVWN) zijn diverse stresstesten uitgevoerd naar de risico's voor de scheepvaart als gevolg van klimaatverandering. Als onderdeel van de Stresstest Droogte wordt in deze rapportage onderzoek gedaan naar de scheepvaartbeperkingen (schutbeperkingen) ten gevolge van watertekorten. Het doel is via een quick-scan een landelijk beeld te geven van de risico's.

Een analyse is uitgevoerd van de schutbeperkingen op het hoofdvaarwegennetwerk in het uitzonderlijk droge jaar 2018. Analyses van het KNMI geven aan dat het neerslagtekort van dit jaar een kans van optreden heeft van eens in de 30 jaar. Ten gevolge van klimaatverandering neemt deze kans in het meest extreme klimaatscenario toe met een factor 3 in 2085.

Op basis van de inventarisatie kan geconcludeerd worden welke gebieden kwetsbaar zijn voor scheepvaartbeperkingen bij schutsluizen. In deze rapportage wordt voornamelijk gekeken naar kwetsbaarheden ten gevolge van watertekorten, en wordt voor kwetsbaarheid voor verzilting tevens verwezen naar de stresstest Indirecte Bedreigingen (Van der Mark, et al., 2021). Bij ieder van de gebieden die kwetsbaar zijn voor watertekorten, worden ook nu al operationele maatregelen getroffen om de watertekorten tegen te gaan, waardoor de scheepvaartbeperkingen nu al ontstaan. Ten gevolge van klimaatverandering zullen de frequentie en mate van deze beperkingen toenemen.

Als we strikt kijken naar beperkingen door watertekorten dan is er vooral een risico op beperkingen in de volgende gebieden:

- Twentekanalen, met name bij sluis Eefde. De huidige voorzieningen zijn nu nog voldoende om schutbeperkingen te voorkomen, maar vormen een risico bij extremere droogte en een grotere watervraag voor zoetwatervoorziening. Langere periodes van droogte en extremere droogte zorgen voor langdurige inzet van pompen en daardoor hogere kosten voor Rijkswaterstaat. Als de pompcapaciteit niet langer toereikend is, ontstaan vermoedelijk ook beperkingen voor de scheepvaart, zoals de inzet van schutregimes.
- Brabantse Kanalen. Onvoldoende wateraanvoer vanuit de Maas zorgt nu al voor schutbeperkingen bij alle sluizen, met de grootste hinder voor de recreatievaart. Dit speelt het sterkst bij Panheel, maar ook bij de vele andere sluizen. Zolang de watervraag die minimaal benodigd is voor de kanalen op de Maas beschikbaar blijft, zullen de schutbeperkingen niet verder toenemen.
- Kanaal Gent-Terneuzen, bij sluis Terneuzen. Tijdens droogte worden schutregimes ingesteld om water te besparen door het moment van schutten af te laten hangen van de fase van het getij op de Westerschelde. Hierdoor is er een afname van de sluiscapaciteit en een toename van de wachttijd.
- Maas, met name op het Julianakanaal (behandeld in Van der Mark & De Jong, 2020; De Jong & Boschetti, 2021). Schutregimes en de inzet van pompen zijn noodzakelijk door het grote schutdebiet van de sluizen van Born en Maasbracht. Bij Heel is er een risico op stremmingen bij extreme droogte. Bij grotere frequentie en duur van periodes van lage rivierafvoeren worden de schutregimes strenger en langduriger.

Indien ook het bestrijden van verzilting wordt meegenomen dan zijn er ook risico's op schutbeperkingen in de volgende gebieden (zie Van der Mark et al., 2021):

- IJsselmeergebied, bij Lorentz- en Stevinsluizen. Met name voor de recreatievaart worden schuttingen beperkt.
- Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal, bij sluis IJmuiden. Het aantal schuttingen kan beperkt worden om zoutindringing te reduceren. De oplevering van de grotere Zeesluis IJmuiden verhoogt het risico op schutbeperkingen.
- Rijn-Maasmonding, bij de Haringvlietsluizen. Het aantal schuttingen wordt beperkt om zoutindringing te reduceren. Deze sluisen worden vooral gebruikt door de recreatievaart en de vissersvloot.
- Gent-Terneuzen, bij sluis Terneuzen. Om de zoutindringing te beperken wordt geschut bij laagwater op de Westerschelde, een maatregel die conflicteert met de maatregel om juist te schutten bij hoogwater ten behoeve van voorkomen van watertekorten. Als zoutindringing beperkt moet worden nemen de wachttijden en stremmingen nog verder toe.

Er is geen dreiging van schutbeperkingen ten gevolge van watertekorten of verzilting op:

- Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl. Hoewel er een risico van verzilting is op het Eemskanaal ten gevolge van Zeesluis Farmsum, worden hier geen beperkingen voor de scheepvaart verwacht.
- Volkerak-Zoommeer. Hoewel veel infrastructuur en beheer noodzakelijk zijn om verzilting te voorkomen, worden hier geen beperkingen voor de scheepvaart verwacht. De langzame zoet-zoutscheiding zorgt echter wel voor lange schuttijden bij de Krammersluizen, maar is onafhankelijk van de mate van watertekorten. Er wordt gewerkt aan een innovatieve oplossing waardoor de schuttijden met 15 minuten worden verminderd.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>8</b>
1.1	Probleembeschrijving	8
1.2	Afbakening	8
1.3	Methode	9
1.4	Klimaatverandering	9
1.5	Bijdragen	10
1.6	Leeswijzer	10
<b>2</b>	<b>Twentekanalen</b>	<b>11</b>
2.1	Gebiedsbeschrijving	11
2.2	Probleembeschrijving	11
2.3	Verdiepende analyse	12
2.3.1	Scheepvaartintensiteit bij sluizen	12
2.3.2	Schutdebiet	13
2.3.3	Pompdebiet Eefde	14
2.4	Conclusies	15
<b>3</b>	<b>Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl</b>	<b>16</b>
3.1	Gebiedsbeschrijving	16
3.2	Probleembeschrijving	16
3.3	Verdiepende analyse	17
3.3.1	Scheepvaartintensiteit bij de Prinses Margrietsluis	17
3.3.2	Scheepvaartintensiteit bij Zeesluis Farmsum	18
3.4	Conclusies	18
<b>4</b>	<b>Brabantse Kanalen</b>	<b>19</b>
4.1	Gebiedsbeschrijving	19
4.2	Probleembeschrijving	20
4.3	Verdiepende analyse	20
4.3.1	Schuttingen bij Panheel	20
4.3.2	Schutdebiet Panheel	21
4.3.3	Schutdebiet Sluis I (Wilheminakanaal)	21
4.4	Conclusies	22
<b>5</b>	<b>Gent Terneuzen</b>	<b>23</b>
5.1	Gebiedsbeschrijving	23
5.2	Probleembeschrijving	23

5.3	Verdiepende analyse	24
5.3.1	Analyse stremmingen	24
5.3.2	Schuttingen bij sluis Terneuzen	25
5.3.3	Schutdebiet Terneuzen	25
5.4	Conclusies	26
<b>6</b>	<b>IJsselmeergebied</b>	<b>27</b>
6.1	Gebiedsbeschrijving	27
6.2	Probleembeschrijving	27
6.3	Verdiepende analyse	28
6.3.1	Schuttingen in het IJsselmeergebied	28
6.3.2	Schutdebiet Afsluitdijk	29
6.4	Conclusies	29
<b>7</b>	<b>Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal</b>	<b>30</b>
7.1	Gebiedsbeschrijving	30
7.2	Probleembeschrijving	30
7.3	Verdiepende analyse	31
7.4	Conclusies	31
<b>8</b>	<b>Volkerak-Zoommeer</b>	<b>32</b>
8.1	Gebiedsbeschrijving	32
8.2	Probleembeschrijving	32
8.3	Verdiepende analyse	33
8.4	Conclusies	33
<b>9</b>	<b>Rijn-Maasmonding</b>	<b>34</b>
9.1	Gebiedsbeschrijving	34
9.2	Probleembeschrijving	34
9.3	Verdiepende analyse	34
9.4	Conclusies	35
<b>10</b>	<b>Conclusies</b>	<b>36</b>
<b>11</b>	<b>Referenties</b>	<b>38</b>
<b>A</b>	<b>Analyse van IVS90-data bij diverse schutsluizen</b>	<b>40</b>

# 1 Introductie

## 1.1 Probleembeschrijving

Binnen het onderzoek Klimaatbestendige Netwerken Hoofdvaarwegennetwerk (KBN-HVWN) wordt middels stresstesten onderzoek gedaan naar verschillende risico's op de kwaliteit van het netwerk voor de scheepvaart als gevolg van klimaatverandering. Als onderdeel van de Stresstest Droogte is reeds onderzoek gedaan naar de risico's van laagwater ten gevolge van lage rivierafvoer en bodemerrosie. Ook is in een onderzoek naar "Indirecte Bedreigingen" onderzocht waar verschillende functies van Rijkswaterstaat botsen en daardoor een risico vormen voor de scheepvaart (Van der Mark et al., 2021). In dat onderzoek is ook aandacht besteed aan de maatregelen die getroffen worden bij schutsluizen om zoutindringing te beperken. Hoewel het risico van schutbeperkingen ten gevolge van watertekorten ook als een indirecte bedreiging gezien kan worden, wordt het in deze rapportage los behandeld. Dit onderzoek heeft de diepgang van een *quick scan*, oftewel een kleinschalige inventarisatie.

Watertekorten kunnen ontstaan op diverse Rijkswateren als de watervraag groter is dan het wateraanbod. Dit gebeurt met name in periodes van droogte en op de peilgereguleerde wateren. Watertekorten zorgen ervoor dat er keuzes gemaakt moeten worden bijvoorbeeld tussen de verschillende functies van het waterlichaam (middels de verdringingsreeks). Deze keuzes kunnen resulteren in beperkingen voor de scheepvaart, bijvoorbeeld dat er minder vaak gesluisd mag worden ten behoeve van de taak peilbeheer.

In dit onderzoek worden voor het gehele hoofdvaarwegennetwerk de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

- Bij welke sluisen zijn er risico's op scheepvaartbeperkingen ten gevolge van watertekorten?
- Hoe veranderen deze risico's ten gevolge van klimaatverandering?

## 1.2 Afbakening

In dit deelonderzoek wordt onderzoek gedaan naar de volgende vaarwegen/watersystemen:

- Twentekanalen;
- Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl;
- Brabantse Kanalen;
- Kanaal Gent-Terneuzen;
- IJsselmeergebied;
- Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal;
- Volkerak-Zoommeer;
- Rijn-Maasmonding.

De studie wordt beperkt tot het hoofdvaarwegennetwerk die in beheer zijn bij Rijkswaterstaat. Provinciale vaarwegen vallen buiten de afbakening.

Een studie naar watertekorten bij sluisen is reeds uitgevoerd voor de sluisen op de Maas en het parallel gelegen Lateraalkanaal en Julianakanaal (Van der Mark & De Jong, 2020; De Jong & Boschetti, 2021). Ook het Maas-Waalkanaal is niet opgenomen in de afbakening. Tijdens lage rivierafvoeren is hier een schutdebiet van de Maas naar de Waal. Watertekorten op het benedenstroomse traject van de Maas zijn echter heel beperkt doordat de afvoer op de Maas hier al is aangevuld met regionale beken, en met name de Roer (Kramer, 2021).

## 1.3 Methode

Om de kritieke punten in het hoofdvaarwegennetwerk te vinden is een probleembeschrijving uitgevoerd. Hierin is een literatuurstudie uitgevoerd en zijn er diverse interviews geweest met regionale afdelingen van Rijkswaterstaat. Hierbij is nadrukkelijk onderzoek gedaan naar de operationele maatregelen tijdens de droogte van 2018, om zo anekdotische de problematiek inzichtelijk te krijgen. Hoewel de focus hierbij ligt op schutbeperkingen door watertekorten, is deze inventarisatie gebruikt om ook andere scheepvaartbeperkingen tijdens de droogte te documenteren.

Waar mogelijk wordt op de gevonden knelpunten in de verdiepende analyse verder ingegaan. De probleembeschrijving wordt hierin onderbouwd met kwantitatieve gegevens. Door de complexiteit van de problematiek kan in deze *quick scan* regelmatig niet de diepgang worden verkregen om de resultaten modelmatig te reproduceren, waardoor deze verdiepende analyse soms nog een oppervlakkig karakter heeft. Analyses in deze sectie worden ondersteund door een data-analyse van schuttingen op basis IVS90 (opgenomen in Bijlage A).

Om toch uitspraak te doen over de toename van de risico's van scheepvaartbeperkingen in de toekomst, wordt gebruik gemaakt van de kans van voorkomen van een jaar als 2018 in de klimaatscenario's van 2050 en 2085 (zie paragraaf 1.4). Dit geeft een indicatie hoeveel vaker dergelijke beperkingen kunnen optreden. Door de lezer kan dit worden meegenomen in het risico van het terugkeren van historische laagwatergebeurtenissen.

In de conclusies van deze rapportage worden de problemen in de verschillende deelgebieden met elkaar vergeleken, zodat voor beleidsvorming een algemeen beeld van Nederland ontstaat.

## 1.4 Klimaatverandering

In deze rapportage worden de actuele beperkingen tijdens de droogte van 2018 gegeven. In deze paragraaf wordt beschreven wat de kans van voorkomen is van een vergelijkbaar droog jaar in scenario's van klimaatverandering in 2050 en 2085.

De mate van droogte wordt veelal uitgedrukt in een neerslagtekort: het verschil tussen de hoeveelheid neerslag en de berekende potentiële gewasverdamping gesommeerd over het seizoen april tot september. Door KNMI zijn analyses uitgevoerd van het historische neerslagtekort en in verschillende klimaatscenario's (Sluijter et al., 2018). In 2018 was het neerslagtekort 309 mm, en was daarmee het vijfde droogste jaar in de meetreeks vanaf 1910, oftewel een kans van voorkomen van eens in de 30 jaar.<sup>1</sup> In alle klimaatscenario's neemt deze kans toe. In 2050 zal een vergelijkbare droogte eens in de 15 tot 25 jaar voorkomen, en in 2085 al eens in de 10 tot 25 jaar (zie ook Tabel 1.1). In het meest extreme scenario neemt de kans dus met een factor 3 toe. Het gemiddelde maximale neerslagtekort neemt in dit scenario met vijftig procent toe.

---

<sup>1</sup> Op de rivieren was de droogte extremer, door extremere condities in het stroomgebied. De geschatte terugkeertijd van een periode van lage rivierafvoer op de Rijn (lager dan 1100 m<sup>3</sup>/s) is berekend op 60 jaar (Kramer, 2018), en op de Maas hadden afvoeren lager dan 50 m<sup>3</sup>/s een terugkeertijd bij Monsin van 6 à 10 jaar, en bij St. Pieter van 20 à 35 jaar (De Jong, 2019). De droogteproblematiek in deze rapportage heeft echter een sterker verband met de lokale neerslag.

Tabel 1.1 Verandering in herhalingsstijd van enkele historische jaren met een groot potentieel neerslagtekort op basis van de KNMI'14 klimaatscenario's (overgenomen uit Sluijter et al., 2018).

Rangorde	Jaar	Neerslag-tekort [mm]	Herhalingsstijd [jaar]		
			Nu	2050	2085
1	1976	361	90	30 tot 60	20 tot 60
5	2018	309	30	15 tot 25	10 tot 25
10	2003	234	10	3 tot 8	2 tot 8

Opgemerkt wordt dat deze landelijke statistieken zullen verschillen per deelgebied. Hoe een deelgebied ontwikkelt hangt verder ook af van de regionale ontwikkelingen in de watervraag (door bijvoorbeeld economische groei) en maatregelen die getroffen worden om minder kwetsbaar te worden van droogte. Dit regionale detailniveau wordt in deze rapportage niet beschouwd.

## 1.5 Bijdragen

Een belangrijke bijdrage aan deze rapportage zijn de interviews geweest met beheerders bij regionale diensten van Rijkswaterstaat. Hiervoor worden beheerders bedankt van RWS-ON, RWS-NN, RWS-ZN, RWS-WVL, RWS-ZD, RWS-MN en RWS-WNZ.

## 1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 tot hoofdstuk 9 wordt ieder watersysteem behandeld volgens de stappen gebiedsbeschrijving, probleembeschrijving, verdiepende analyse en conclusies. In hoofdstuk 10 worden de belangrijkste conclusies van dit onderzoek samengevat.

## 2 Twentekanalen

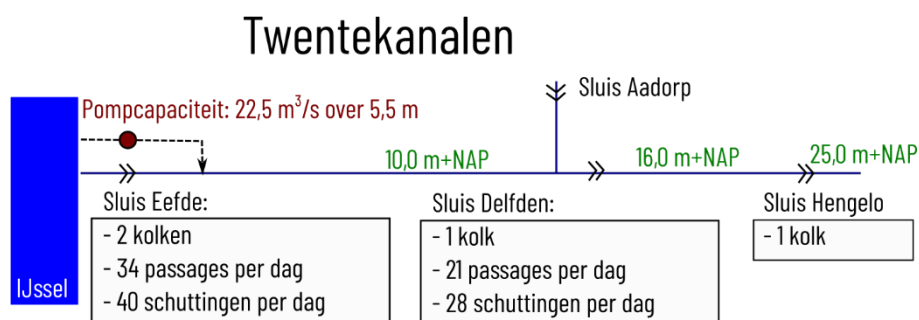
### 2.1 Gebiedsbeschrijving

De Twentekanalen bestaan uit een drietal kanaalpanden die van elkaar gescheiden worden met de sluisen Eefde, Delfden en Hengelo (zie Figuur 2.1). Bij iedere sluis is de waterstand aan de kant van de IJssel het laagst. Bij sluis Eefde is de hoogte van het verval afhankelijk van de afvoer van de IJssel, waardoor bij lage rivierafvoer het verval toe kan nemen tot ruim 8 meter.

Om te voldoen aan de diverse watervragen van het gebied kunnen pompen ingezet worden bij sluis Eefde om extra water te onttrekken uit de IJssel. Tijdens droogte wordt de pompcapaciteit uitgebreid met tijdelijke pompinstallaties.

In 2021 is bij Eefde een nieuwe kolk (Noordersluis) opgeleverd. De lengte en breedte van deze kolk zijn vergelijkbaar met de oude kolk (Zuidersluis), maar een lagere drempel zorgt voor een vergroting van de mogelijke diepgang bij lage afvoeren op de IJssel.

Via de Twentekanalen wordt zowel de aanvoer als de afvoer van water verzorgd.



Figuur 2.1 Schematische weergave van de Twentekanalen. De tellingen van passages en schuttingen zijn op basis van IVS90, deze informatie ontbreekt voor sluis Hengelo. Voor meer informatie wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2020)

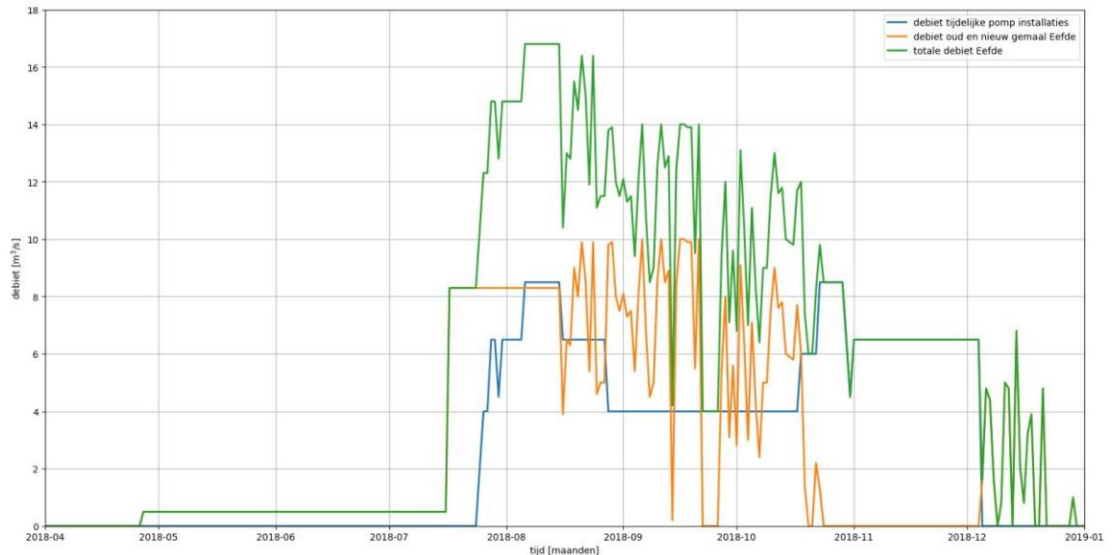
### 2.2 Probleembeschrijving

Tijdens de zomer, herfst en winter van 2018 was de droogte in de Twentekanalen extreem. Alle maatregelen die getroffen zijn tijdens deze droogte zijn gedocumenteerd in een evaluatierapport van het Regionaal Droogte Overleg Twentekanalen (Phernambucq & Abas, 2019). Onderstaande beschrijving komt voort uit dit evaluatierapport.

Tijdens de droogte ontstaat er al in juni een neerslagtekort in de regio Twente van meer dan 150 mm. In juli ontstaan er watertekorten en wordt middels de verdringingsreeks geprioriteerd in het watergebruik. De wateraanvoer bij sluis Eefde is een kritiek onderdeel van het watersysteem. Doordat de waterstand in de IJssel bij Eefde lager wordt dan 2 m+NAP (gedurende ongeveer 3 maanden, met korte onderbreking) is het niet mogelijk de gehele capaciteit van het gemaal te gebruiken. Bij een waterstand op de IJssel lager dan 1.7 m+NAP (twee perioden van twee weken) was het gemaal zelfs volledig buiten gebruik. Door de installatie van tijdelijke pomp installaties (TPI) is het pompdebiet verhoogd met 6 tot 8 m<sup>3</sup>/s tussen juli en december.

Dit was net voldoende om de panden op peil te houden en het schutdebiet te compenseren, waardoor er geen waterdieptebeperkingen of schutbeperkingen optraden voor de scheepvaart. Het totale pompdebiet is gegeven in Figuur 2.2.

Volgens het protocol zou met de vaste installatie een pompcapaciteit van 22.5 m<sup>3</sup>/s gehaald moeten worden, dit conform het waterakkoord. Door Phernambucq & Abas wordt echter opgemerkt dat deze maximale pompcapaciteit gedurende de hele periode nooit gehaald is.



Figuur 2.2 Debit van gemaal bij Eefde (figuur overgenomen uit Phernambucq & Abas, 2019)

Door de lagere waterdiepte op de IJssel konden schepen minder vracht vervoeren. Ten gevolge hiervan is overgegaan op kleinere schepen en nam het totale aantal scheepvaartbewegingen toe. De wachttijden bij de sluisen werden hierdoor langer.

Bij sluis Eefde werd gebruik gemaakt van zuinig schutten om het aantal schuttingen te beperken. Dit betekent dat waar mogelijk recreatievaart en beroepsvaart werd gecombineerd. Hierdoor is mogelijk ook de passeertijd toegenomen, maar vermoedelijk enkel voor de recreatievaart.

De waterstand in de kanaalpanden is gedurende de hele periode op peil gehouden. De functie peilbeheer kreeg voorrang op andere watergebruikers, waar de onttrekkingen verkleind moesten worden.

Ten slotte wordt nog genoemd, dat de nabijgelegen haven van Deventer (aan de IJssel) gedurende zes weken gesloten is geweest (augustus tot september) doordat het verval tussen de IJssel en de haven te groot zou zijn om de schutsluis te bedienen. De sluisdeur zou hiervoor niet ontworpen zijn. De vijf schepen (beroepsvaart) in de haven konden hierdoor niet vertrekken. Uit later onderzoek bleek dat de sluisdeuren voldoende sterk waren en kon de stremming worden opgeheven.<sup>2</sup>

## 2.3 Verdiepende analyse

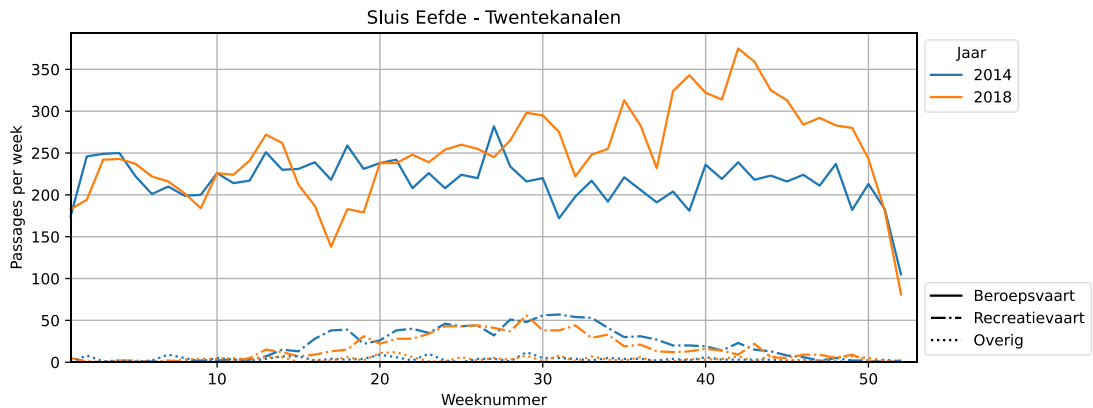
### 2.3.1 Scheepvaartintensiteit bij sluisen

Een analyse is uitgevoerd van IVS90-gegevens bij sluis Eefde en Delfden (zie Bijlage A).

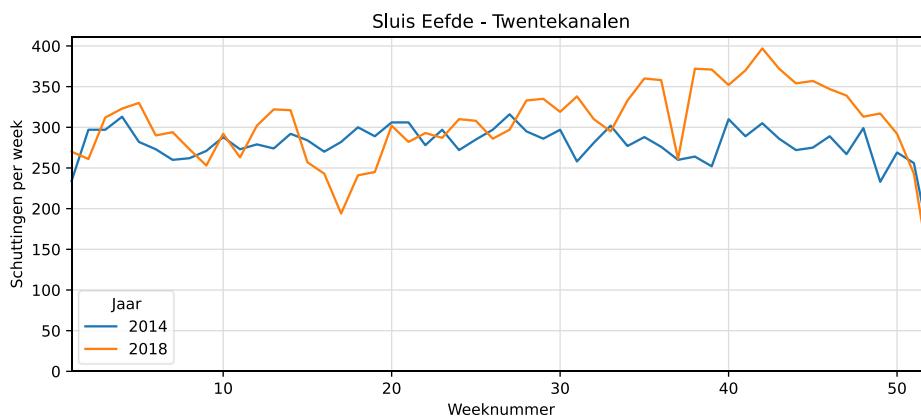
<sup>2</sup> <https://www.sweco.nl/actueel/nieuws/sluis-in-deventer-sterk-genoeg-bij-extreem-lage-waterstand/>

Bij sluis Eefde werden 12500 passages beroepsvaart en 14500 schuttingen geregistreerd in 2014. In 2018 waren ten gevolge van de lagere beladingsgraad op de Rijn en IJssel meer reizen nodig en namen de passages toe met 12% (zie Figuur 2.3) en het aantal schuttingen met 9% (zie Figuur 2.4). De lagere stijging van de schuttingen toont dat er efficiënter (zuiniger) geschut is in 2018.

Ook blijkt uit de analyse dat bij iedere schutting met recreatievaart gemiddeld ook 1 tot 2 binnenvaartschepen werden geschut, ten opzichte van 0 tot 1 beroepsschepen voor de periode voorafgaand aan de droogte (zie Bijlage A). Ook dit geeft aan dat er zuiniger geschut wordt.



Figuur 2.3 Passages per week in 2014 en 2018



Figuur 2.4 Schuttingen per week in 2014 en 2018

Bij sluis Delden is de scheepvaartintensiteit in 2018 ongeveer 40% lager: in 2014 waren er 7700 passages en 10300 schuttingen. Een toename door droogte is hier slechts respectievelijk 4% en 1%. Deze figuren staan opgenomen in Bijlage A.

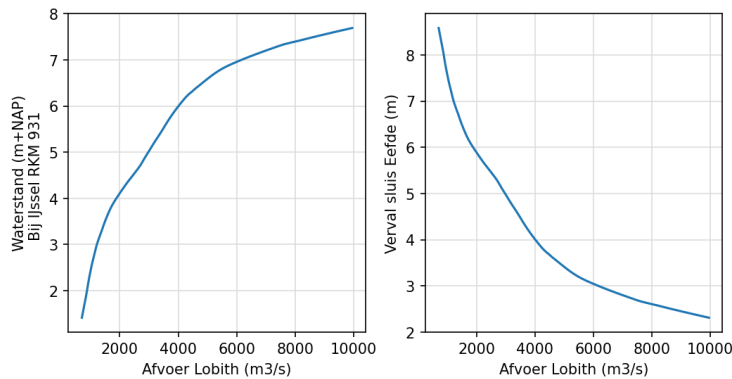
Bij sluis Hengelo zijn geen gegevens geanalyseerd. Hier is het aantal passages van beroepsvaart echter gering (Rijkswaterstaat, 2020).

### 2.3.2 Schutdebiet

Op basis van de kolkdimensies, het aantal schuttingen en het verval, is het schutdebiet berekend.

Bij sluis Eefde is bij een verval van 8 m (een Rijnafoer van 870 m<sup>3</sup>/s; zie Figuur 2.5) de totale waterverplaatsing ruim 14000 m<sup>3</sup> per (op- en afgaande) schutting.

Bij vermenigvuldiging met de 20 schuttingen (de helft van 40), ontstaat een daggemiddeld schutdebiet van ruim 3 m<sup>3</sup>/s. Dit is significant minder dan de pompcapaciteit van 6-8 m<sup>3</sup>/s die volgens de evaluatie (Phernambucq & Abas, 2019) volledig wordt gebruikt voor het compenseren van het schutverlies. Het is niet bekend waar deze discrepantie door ontstaat.

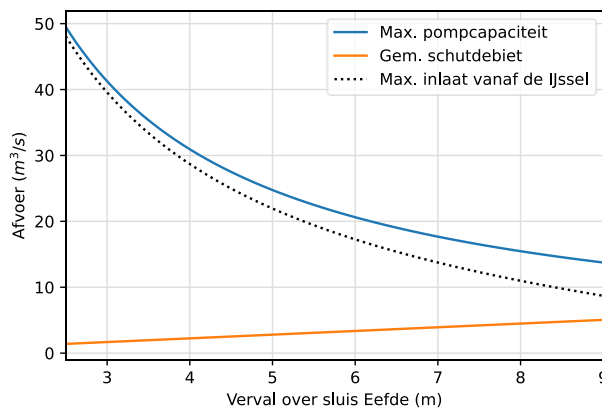


Figuur 2.5 Waterstand benedenstrooms op de IJssel bij sluis Eefde en het verval over de sluis.

Bij sluis Delden is het verval lager (6 m) resulterend in een waterverplaatsing van 10000 m<sup>3</sup> per schutting. Gemiddeld per dag resulteert dit in een kleine 2 m<sup>3</sup>/s aan schutverlies.

### 2.3.3 Pompdebiet Eefde

Bij een gegeven vermogen is het debiet dat gerealiseerd kan worden afhankelijk van de hoogte waarover dit gepompt wordt. Een verdubbeling van het verval zou resulteren in een halvering van het pompdebiet (zie Figuur 2.6). Uit de evaluatie blijkt echter dat bij toenemend verval het debiet relatief constant wordt gehouden, maar het energiegebruik hierdoor toeneemt. Het is niet bekend waar de limitering in het pompgebruik door veroorzaakt wordt (mogelijk door cavitatie bij de pomp). Omdat droogte in de Twentekanalen vaak samen gaat met lage waterstanden op de IJssel, lijkt het logisch de capaciteit van de pomp uit te drukken in de waterstand op de IJssel.



Figuur 2.6 Pompcapaciteit (blauw) indien aangenomen wordt dat de potentiële energie die geleverd kan worden door de pomp (Afvoer x Verval) constant blijft en bij een verval van 5.5 m gelijk is aan 22.5 m<sup>3</sup>/s. Het schutdebiet (oranje) is berekend voor 28 (op- en neergaande) schuttingen per dag. De stippellijn geeft het verschil tussen beiden.

De inzet van de pompen heeft daarnaast een negatief effect op de waterdiepte in de IJssel. Een eenvoudige benadering voor de IJssel is dat per m<sup>3</sup>/s de waterstand op de IJssel 1 cm afneemt.

## 2.4 Conclusies

Voor de scheepvaart zijn er bij de Twentekanalen geen significante beperkingen geweest. De wachttijden bij de schutsluizen zijn mogelijk iets toegenomen ten gevolge van een 'zuinig' schutregime, maar vermoedelijk heeft dit vooral effect gehad op de recreatievaart. Daarnaast had het peilbeheer voorrang in het waterbeheer, waardoor er voldoende waterdiepte was op de Twentekanalen.

Het gemaal en de tijdelijke pompinstallaties bij Eefde zijn cruciaal geweest om het schutdebiet van de schutsluis te compenseren. Dit schutdebiet neemt toe bij afnemende waterstand op de IJssel (een toenemend verval), terwijl de pompcapaciteit juist steeds verder af neemt. Het gemaal bij Eefde wordt ook door de deelnemers van de evaluatie (Phernambucq & Abas, 2019) als het grootste knelpunt gezien voor de klimaatrobustheid.

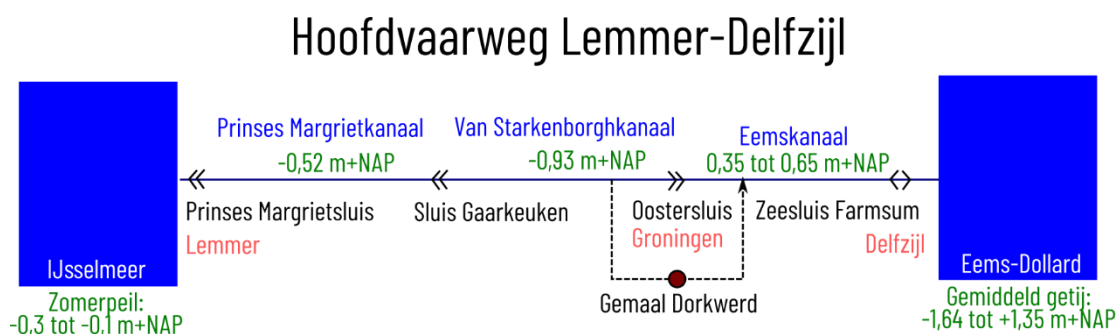
Voor toekomstige en ernstigere perioden van droogte bestaat er hierdoor een risico dat de pompcapaciteit niet langer toereikend is en vaker zal moeten worden ingezet. Op dat moment zullen verdere beperkingen voor de scheepvaart ontstaan (zoals schutregimes) of moet er extra pompcapaciteit worden ingezet.

## 3 Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl

### 3.1 Gebiedsbeschrijving

De Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl (HLD) loopt door de provincies Friesland en Groningen van het IJsselmeer tot de Eems-Dollard (Figuur 3.1). In Friesland vormt het (Prinses Margriet)kanaal een klein deel van de Friese boezemwateren en ligt het lager dan zowel het IJsselmeer als de Waddenzee. In Groningen is de hoeveelheid oppervlaktewater kleiner en ligt het (Eems)kanaal gemiddeld hoger dan de waterstand bij de Eems-Dollard. Tijdens hoogwater op zee ontstaat een negatief verval over de sluis. Tijdens storm (opwaaiing) neemt de duur van het negatieve verval toe. Naast de aan- en afvoer van water via de kanalen zijn er ook meerdere inlaten/gemalen (Gemaal Waterwolf bij Lauwersmeer, Hooglandgemaal Stavoren, vele anderen kleinere gemalen).

Doordat alle panden in open verbinding staan met andere waterwegen wordt het beheer uitgevoerd door de waterschappen. Rijkswaterstaat is enkel verantwoordelijk voor de hoofdvaarweg, maar omdat sommige objecten ook een functie hebben in het waterbeheer speelt Rijkswaterstaat wel een rol in het operationeel watermanagement.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl. Voor meer informatie wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2020). Het Prinses Margrietkanaal is onderdeel van de Friese Boezem.

### 3.2 Probleembeschrijving

Op de hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl zijn tijdens de droogte van 2018 geen schutbeperkingen geweest bij de sluisen.

Ter hoogte van de Prinses Margrietsluis bij Lemmer wordt bij iedere schutting water ingelaten. Dit komt bovenop het water dat ook ten behoeve van andere watergebruikers wordt ingelaten via het gemaal.

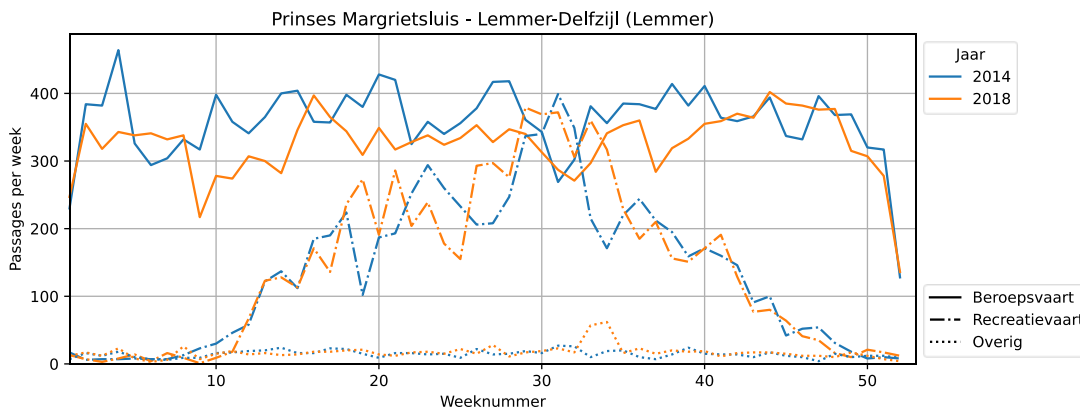
Bij Zeesluis Farmsum wordt per schutting water afgelaten richting zee. Er wordt dus water verloren uit het watersysteem, wat via gemaal Dorkwerd weer wordt aangevuld met water afkomstig uit het IJsselmeer. Bij Farmsum komt er per schutting zout water in het watersysteem. Het water vanuit het IJsselmeer is ook daarom noodzakelijk als doorspoeldebiet. De zoutindringing wordt beperkt door de deuren zo lang mogelijk te sluiten tussen de schuttingen. Het risico op zoutindringing door schuttingen wordt verder behandeld in Van der Mark et al. (2021).

Als maatregel wordt in het Deltaprogramma Zoet Water (DPZW) overwogen meer water door te kunnen voeren bij sluis Gaarkeuken. Dit heeft geen effect op het schutbedrijf.

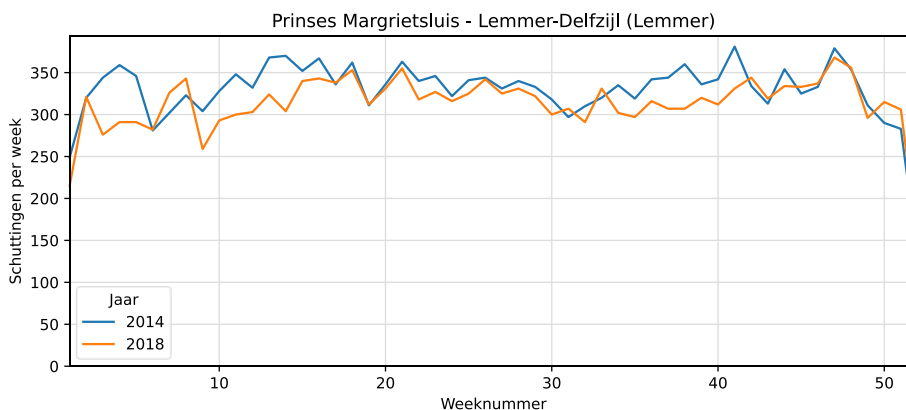
### 3.3 Verdiepende analyse

#### 3.3.1 Scheepvaartintensiteit bij de Prinses Margrietsluis

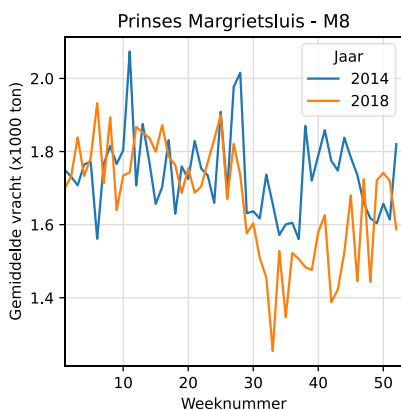
De analyse van de IVS90-data bevestigt het beeld uit de probleembeschrijving. De scheepvaartintensiteit van 2014 en 2018 verschillen weinig van elkaar (Figuur 3.2) en ook het aantal schuttingen is vrijwel gelijk (Figuur 3.3). Zichtbaar is wel dat de gemiddelde vracht per schip afneemt (in Figuur 3.4 aangegeven voor een M8-schip), ten gevolge van ondiepte problemen op bijvoorbeeld de IJssel.



Figuur 3.2 Aantal passages bij de Prinses Margrietsluis in 2014 en 2018



Figuur 3.3 Aantal schuttingen bij de Prinses Margrietsluis in 2014 en 2018

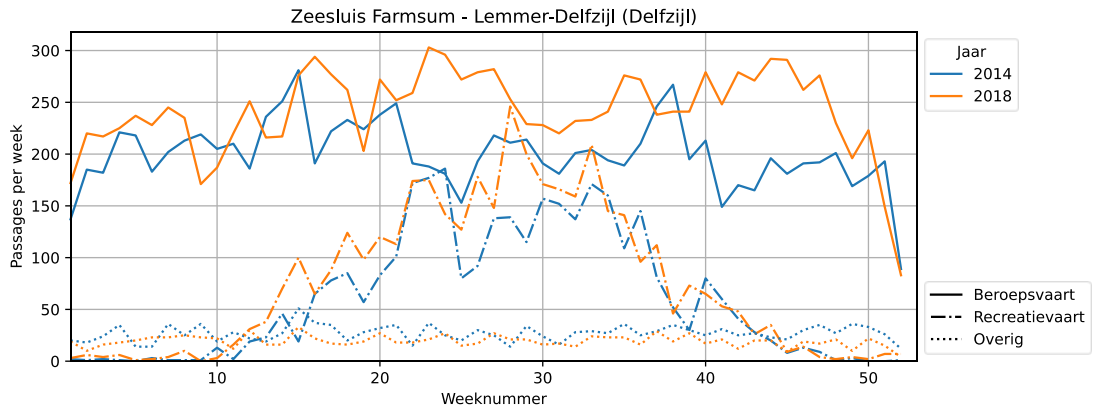


Figuur 3.4 Gemiddelde vracht per M8 schip

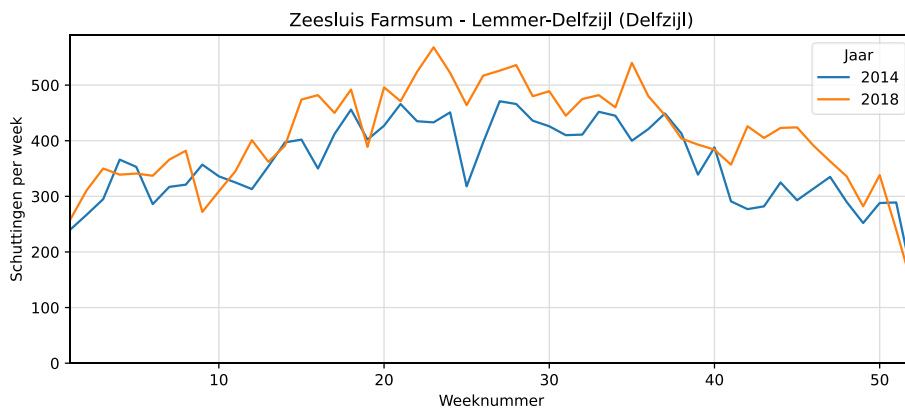
### 3.3.2 Scheepvaartintensiteit bij Zeesluis Farmsum

Bij Zeesluis Farmsum is het aantal passages van beroepsvaart van 2014 naar 2018 toegenomen (Figuur 3.5). Zoals verwacht uit de probleembeschrijving is er binnen 2018 geen toe- of afname tijdens de droogteperiode. In de schuttingen (Figuur 3.6) valt wel op dat in het droge najaar het aantal schuttingen lager was. Vermoedelijk is dit ten gevolge van de strategie om de zoutindringing te beperken.

Het daggemiddelde verval (0.67 m) en het aantal schuttingen (uitgaande van 30 per richting per dag) zorgen voor een beperkt schutdebiet van 0.6 m<sup>3</sup>/s.



Figuur 3.5 Aantal passages bij Zeesluis Farmsum in 2014 en 2018



Figuur 3.6 Aantal schuttingen bij Zeesluis Farmsum in 2014 en 2018

## 3.4 Conclusies

Op de Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl zijn geen scheepvaartbeperkingen opgelegd tijdens de droogte van 2018. Ook in toekomstige periode van extreme droogte is het onwaarschijnlijk dat de scheepvaart hierdoor beïnvloed wordt, omdat de schuttingen bij de Prinses Margrietsluis en sluis Gaarkeuken beiden gunstig werken in het waterbeheer. Enkel bij Zeesluis Farmsum zijn er risico's op verzilting, maar kan dit momenteel beperkt worden door een doorspoeldebiet vanuit het IJsselmeer.

# 4 Brabantse Kanalen

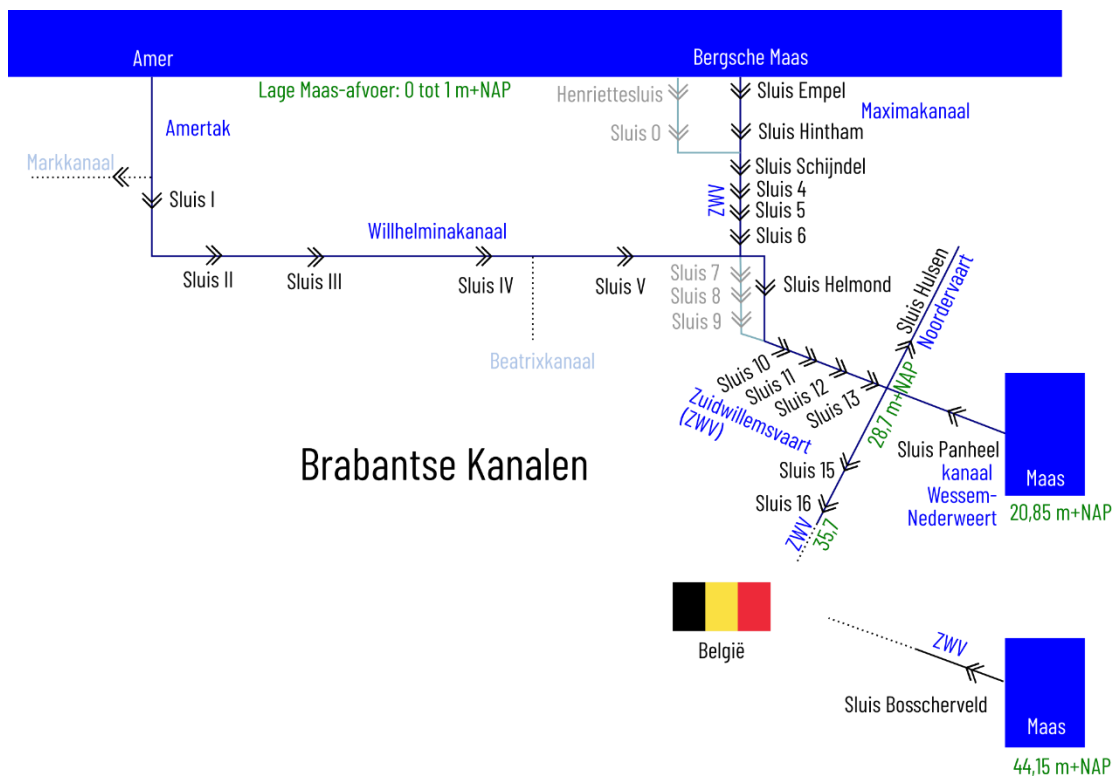
## 4.1 Gebiedsbeschrijving

De Brabantse Kanalen (vaak voluit beschreven als de Midden-Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen of MLNBK) zijn enkele vaarwegen in Brabant met de klasse “overige vaarweg” (Figuur 4.1). De Zuid-Willemsvaart vormt de basis van deze vaarwegen. Dit kanaal begint bij Maastricht en mondt uit in de Bergsche Maas bij Den Bosch. Sinds de aanleg in 1826 zijn er diverse bochtafsnijdingen en omleggingen gerealiseerd, met als laatste grootschalige aanpassing de aanleg van het Maximakanaal. Water voor de Zuid-Willemsvaart wordt aangevoerd via België en Maastricht.

Het Wilhelminakanaal takt af van de Zuid-Willemsvaart en mondt uit in de Amer. Het kanaal Wessem-Nederweert vormt een kortere verbinding met de Maas bij sluis Panheel. Het vormt de aansluiting op het Julianakanaal en Lateraalkanaal die ook beiden aansluiten op stuwpand Linne.

Het grootste deel van de vaarwegklasse is klasse II. Enkel ten noorden van Sluis 4 (te Veghel) is de vaarwegklasse hoger: klasse IV.

Netwerkbeelden van de Integrale Mobiliteitsanalyse (Rijkswaterstaat, 2021) geven een toename in de intensiteit op de Brabantse Kanalen. Op het Wilhelminakanaal wordt een toename van meer dan 80% verwacht (zowel scenario 2040 Laag en 2040 Hoog) en een toename van 30% tot 60% op het Maximakanaal.



Figuur 4.1 Schematische weergave van de Brabantse Kanalen. Voor meer informatie wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2020).

## 4.2 Probleembeschrijving

Tijdens de droogteperiode van 2018 zijn er in het hele systeem waterbesparende maatregelen getroffen in de vorm van schutregimes.

Bij sluis Panheel zijn deze schutbeperkingen het grootst geweest. Hier is zelfs gebruik gemaakt van bloktijden, wat betekent dat enkel om afgesproken tijden (elke 2 uur) een schutting werd uitgevoerd. Met deze vaste tijden wordt door de scheepvaart rekening gehouden in de planning. Het schutverlies wordt bij sluis Panheel voor een groot deel teruggepompt (2 pompen van 3 m<sup>3</sup>/s). In de maanden van juni tot september was de droogte het grootst en draaiden de pompen continu.

Bij de overige sluisen van de Brabantse Kanalen is vooral sprake van gegroepede schuttingen. Omdat de sluisen in serie gepasseerd worden, wordt bij iedere opvolgende sluis gewacht met schutten tot alle schepen uit de voorgaande sluis zijn aangekomen. Dit komt overeen met beheer dat wordt uitgevoerd voor de beweegbare bruggen.

Deze maatregel van gegroeped schutten komt voort uit de waterbeschikbaarheid bij de sluisen. Per pand is een groot deel van het water afkomstig van de schuttingen met de sluis aan de bovenstroomse zijde, waardoor ook het aantal schuttingen aan de benedenstroomse zijde gelijk gehouden dient te worden (van alle sluisen zijn de kolkdimensies en schutdebieten vrijwel gelijk). In de praktijk zorgt dit ervoor dat het aantal schuttingen in het hele systeem aan elkaar gelijk moeten zijn. Het lagere schutdebiet door minder schuttingen zorgde wel voor een probleem in de waterkwaliteit, dit speelde ook in jachthavens.

Hoewel bovenstaande schutbeperkingen gelden voor zowel de beroeps- als de recreatievaart, is de impact verschillend. Voor de beroepsvaart wordt de wachttijd zoveel mogelijk beperkt en zeker onder het uur gehouden. Bij recreatievaart kan deze wachttijd verder oplopen.

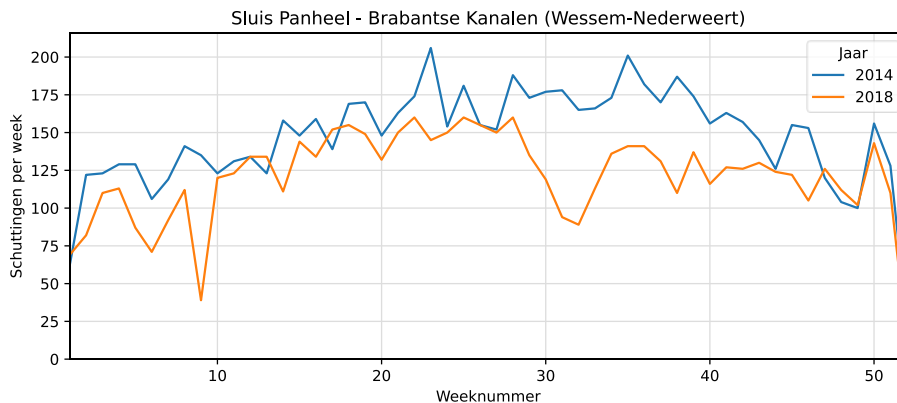
Op het Wilhelminakanaal zijn daarnaast nog enkele pompen beschikbaar. Bij Sluis I (Oosterhout) zijn 2 pompen van 1.5 m<sup>3</sup>/s aanwezig, Sluis II wordt in de toekomst vervangen en dan uitgebreid met een pompgemaal, en Sluis III heeft al een pompgemaal, maar dat kan nog niet gebruikt worden door problemen met grondwater. Op de Zuid-Willemsvaart zijn nergens pompen. Vermoedelijk kan met de huidige pompcapaciteit ook bij een hogere intensiteit in de scenario's van 2040 voorkomen worden dat stremmingen ingesteld worden ten gevolge van watertekorten.

Gedurende de hele droogteperiode is peilbeheer geen probleem geweest.

## 4.3 Verdiepende analyse

### 4.3.1 Schuttingen bij Panheel

In Figuur 4.2 is het aantal schuttingen weergegeven bij Sluis Panheel. Deze gegevens bevestigen dat bij Sluis Panheel een zuiniger schutregime is gevoerd waardoor het aantal schuttingen tijdens de droogte van 2018 afnam. Het laagste aantal schuttingen was rond week 31/32 (begin augustus). Uit verdere analyse blijkt dat in die weken het minste aantal lege schuttingen plaats vond en dat er per schutting meer recreatieschepen geschut werden (zie Bijlage A). In augustus 2018 was het aantal passages van recreatievaart door Panheel duidelijk minder dan in 2014.



Figuur 4.2 Schuttingen bij sluis Panheel in 2014 en 2018

#### 4.3.2 Schutdebiet Panheel

Ondanks het geringe aantal schuttingen ten opzichte van andere sluisen, is het schutdebiet van Panheel groot ten gevolge van het grote verval. Bij lage en gemiddelde afvoeren op de Maas is de benedenstroomse waterstand gestuurd op 20.85 m+NAP en is het verval hierdoor 7.8 m. Bij de nieuwe kolk van sluis Panheel is de waterverplaatsing per schutting daardoor ruim 15,000 m<sup>3</sup>. Uitgaande van ongeveer 8 (op- en neergaande) schuttingen per dag geeft dit een schutdebiet van 1.4 m<sup>3</sup>/s.

Door inzet van de oude kolk kan water worden bespaard door de kleinere dimensies van de kolk, maar ook door de spaarbekkens die hier zijn geïnstalleerd (zie Figuur 4.3).

De pompcapaciteit van 6 m<sup>3</sup>/s is ruim voldoende om het schutdebiet te compenseren en extra water aan te voeren richting Brabant.



Figuur 4.3 Spaarbekkens bij de oude kolk van Sluis Panheel.

#### 4.3.3 Schutdebiet Sluis I (Wilheminkanaal)

Door de prognose van toename in scheepvaartintensiteit op het Wilheminkanaal is het interessant een schatting te maken in de toename van het pompdebiet dat hiervoor noodzakelijk is. Allereerst wordt een schatting gemaakt van het huidige schutdebiet. Uitgaande van een verval van 5.5 m (bij gemiddelde waterstand op de Amer) is er een waterverplaatsing van 8,600 m<sup>3</sup> per schutting. De IVS-gegevens (zie Bijlage A) geven op piekmomenten ongeveer 200 schuttingen per week. Dit komt overeen met ongeveer 15 (op- en neer) schuttingen per dag.

Het resulterende schutdebiet is 1.4 m<sup>3</sup>/s. Als we aannemen dat het aantal schuttingen toe zal nemen met 80%, dan neemt het schutdebiet met 1.1 m<sup>3</sup>/s toe tot 2.5 m<sup>3</sup>/s. De pompcapaciteit (3 m<sup>3</sup>/s) is voldoende om dit volledige schutdebiet te compenseren.

## 4.4 Conclusies

Op alle Brabantse Kanalen zijn watertekorten tijdens perioden van droogte. De aanvoer van water is grotendeels afhankelijk van de Maas. Als de aanvoer beperkt wordt, worden schutregimes ingesteld. De recreatievaart ondervindt hier de grootste hinder van.

Bij Sluis Panheel is het schutdebiet het grootst en worden daarom strenge schutregimes ingesteld. Bij deze sluis kan door pompinstallaties en spaarbekkens voldoende water bespaard worden om het schutdebiet volledig te compenseren.

Zolang het beperkte debiet dat nu onttrokken wordt vanuit de Maas, ook tijdens extreme droogte beschikbaar blijft, dan blijft dit voldoende voor het functioneren van het kanalsysteem. Voor zover bekend is deze afvoer momenteel niet vastgelegd in waterakkoorden en is het onderdeel van de afwegingen van waterverdeling tijdens een laagwatergebeurtenis.

Goederenvervoerprognoses verwachten een toename van de scheepvaartintensiteit op de Brabantse Kanalen. Doordat op het Wilheminkanaal de sluisen reeds voorzien worden van pompinstallaties zal de kwetsbaarheid door watertekorten beperkt blijven.

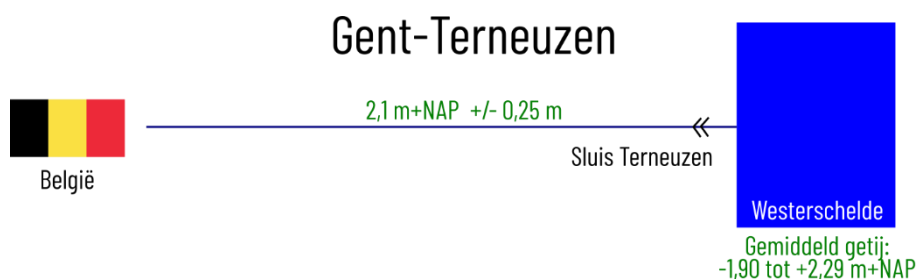
## 5 Gent Terneuzen

### 5.1 Gebiedsbeschrijving

Het Kanaal Gent-Terneuzen verbindt de Westerschelde met de Ringvaart bij Gent. Het heeft een lengte van 32 km, waarvan 15 km op Nederlands grondgebied (Rijkswaterstaat, 2020). Afspraken over de waterverdeling tussen Nederland en België zijn vastgelegd in drie traktaten (1843, 1969, 1985), onderdeel hiervan is dat ook de zoutindringing bij Terneuzen beperkt wordt gehouden.

Bij sluis Terneuzen zijn drie kolken: de west-, midden- en oostsluis. De middensluis is vanaf oktober 2021 buiten gebruik en wordt vervangen door de nieuwe sluis vanaf 2023.

Bij de (noordelijke) Ringvaart Gent wordt het waterlichaam gescheiden van de zuidelijke Ringvaart via schut- en spuisluizen. Op de zuidelijke Ringvaart is een aanvoer van water via de rivieren Leie en Bovenschelde.



Figuur 5.1 Schematische weergave van het kanaal Gent-Terneuzen. Voor meer informatie wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2020). De oriëntatie van het kanaal is Zuid-Noord.

### 5.2 Probleembeschrijving

Tijdens droogte worden waterbesparende maatregelen genomen om peilverlaging te voorkomen (Rijkswaterstaat, 2020). Bij een kanaalpeil lager dan 2,05 m+NAP wordt geschut met volle kolken, en bij voorkeur wordt de Nieuwe Sluis alleen ingezet rond het hoogwater (hoger dan 2 m+NAP). Bij een kanaalpeil lager dan 2,00 m+NAP wordt ook de Oostsluis alleen ingezet bij waterstanden in de Westerschelde groter dan 0 m+NAP, en onder de 1,95 m+NAP wordt ook de Westkolk alleen ingezet tijdens hoogwater. Bij iedere opvolgende stap van deze maatregelen worden de schutbeperkingen voor de scheepvaart bij sluis Terneuzen groter en nemen de wachttijden toe. Tijdens de zeer lage kanaalpeilen zal voor de diepgelegen zeevaart ook de waterdiepte beperkend worden voor de maximale beschikbare aflaaddiepte (Van Heeringen, 2019). Deze schutregimes zijn ook in 2018 ingezet.

Op het kanaal is daarnaast ook een risico op verzilting. Het reduceren van het aantal schuttingen, door optimaal gebruik van schutkolken, zorgt voor een afname van de zoutlast. Door schuttingen juist uit te voeren tijdens laagwater op de Westerschelde wordt de zoutlast verminderd, echter botst deze maatregel met de eerder genoemde maatregel voor laagwater.

## 5.3 Verdiepende analyse

### 5.3.1 Analyse stremmingen

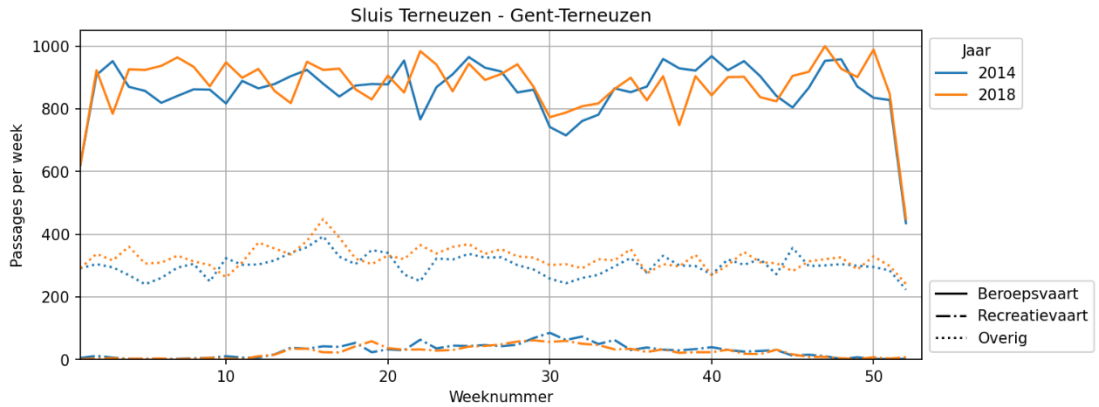
Door Rijkswaterstaat zijn registraties geleverd van de stremmingen per kolk in 2018 ("stremmingsoverzicht\_2018.xls"). In deze gegevens is iedere stremming ingedeeld in een categorie, zie Figuur 5.2. Ook zijn bij alle stremmingen tekstuele opmerkingen geplaatst. Uit deze tekstuele opmerkingen blijkt dat gedurende september en oktober de stremmingen die in de figuur staan aangegeven als 'diversen' bij de west- en oostsluis veroorzaakt worden door lage waterstanden in het kanaal.



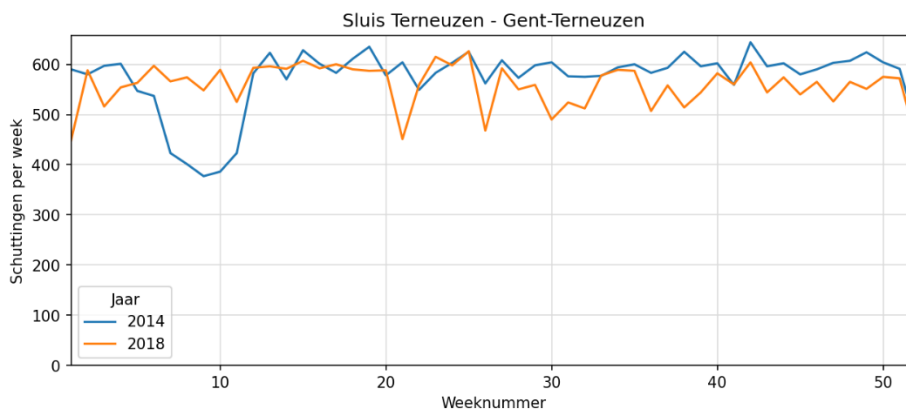
Figuur 5.2 Geregistreerde stremmingen in 2018 bij de Oost-, Midden- en Westsluis. De 'diversen' beslaan in september en oktober met name stremmingen met als tekstuele opmerking: 't.g.v. laag kanaalpeil' en 'lager dan minimum'. De middenkolk is in september en oktober gestremd geweest in verband met werkzaamheden.

### 5.3.2 Schuttingen bij sluis Terneuzen

Op basis van IVS90-gegevens is een analyse uitgevoerd van Sluis Terneuzen. In Figuur 5.3 is het aantal passages gegeven, en in Figuur 5.4 het aantal schuttingen. In zowel passages als schuttingen lijkt er een lichte afname te zien in de tweede helft van 2018. In september (week 36 tot en met 39) zijn geen waarneembare andere tellingen te zien. Dit kan verklaard worden doordat ondanks de (mogelijk kortstondige) stremmingen de schuttingen nog steeds werden uitgevoerd, maar selectief tijdens het hoogwater. De wachttijd zal ten gevolge hiervan wel zijn toegenomen, maar deze informatie is niet beschikbaar in de ontvangen gegevens.



Figuur 5.3 Aantal passages bij sluis Terneuzen in 2014 en 2018



Figuur 5.4 Schuttingen bij sluis Terneuzen (alle kolken) in 2014 en 2018

### 5.3.3 Schutdebiet Terneuzen

Het schutdebiet is een functie van het kolkoppervlak, het verval en het aantal schuttingen. Ter illustratie van het benodigde schutdebiet is op basis van de kolkdimensies en een aangenomen aantal schuttingen van 100 per dag (50 per richting) per sluis uitgerekend wat het resulterende debiet zou zijn als uitgegaan wordt van een vaste waterstand op de Westerschelde. Hierbij wordt aangenomen dat alle schuttingen via die ene sluis worden uitgevoerd, zonder daarbij mee te nemen dat met een kleine kolk ook meer schuttingen uitgevoerd zouden moeten worden dan met een grote kolk.

Uit de resultaten in Tabel 5.1 blijkt dat de fase van het getij zeer grote invloed heeft op het resulterende verval en het schutdebiet. De maatregel om het moment van schutten af te laten hangen van de fase van het getij is daardoor bijzonder effectief voor het beperken van het waterverlies.

Tabel 5.1 Volumeverplaatsing (V) per schutting en het daggemiddelde schutdebiet (Q) uitgaande van 100 schuttingen (50 per richting). Gegeven voor een kanaalpeil van 2.0 m+NAP (dus net onder gemiddeld peil) en verschillende waterstanden op de Westerschelde: laagste waterstand van gemiddeld getij, gemiddelde waterstand, en hoogste waterstand bij gemiddeld getij.

	A [m <sup>2</sup> ]	Maximaal Verval Gemiddeld Getij H = 3.9 m		Gemiddeld Verval H = 1.92 m		Minimaal Verval Gemiddeld Getij H = -0.29 m	
		V [m <sup>3</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s]
<b>Westsluis</b>	11600	45240	26	22272	13	-3364	-2
<b>Oostsluis</b>	6440	25116	15	12365	7	-1868	-1
<b>Middensluis (nu buiten gebruik)</b>	2520	9828	6	4838	3	-731	-0.4
<b>Nieuwe sluis</b>	23485	91592	53	45091	26	-6811	-4

## 5.4 Conclusies

Op het kanaal Gent-Terneuzen is peilhandhaving tijdens perioden van droogte een uitdaging, waardoor schutregimes bij sluis Terneuzen worden ingesteld. Deze schutregimes beschrijven welke sluis gebruikt kan worden, en op welke momenten van de getijcyclus op de Westerschelde. De schutregimes resulteren in langere wachttijden voor de scheepvaart. Bij toenemende verzilting van het kanaal zijn maatregelen noodzakelijk die conflicteren met de maatregelen voor watertekort, waardoor als resterende maatregel het aantal schuttingen nog verder beperkt zal worden. Als het peil in het kanaal te ver daalt kan overgegaan worden op een algehele stremming van sluis Terneuzen. Dit vormt een risico als perioden met extreme droogte frequenter worden ten gevolge van klimaatverandering. Er kan vaker hinder zijn voor de scheepvaart door langere wachttijden en mogelijke stremmingen.

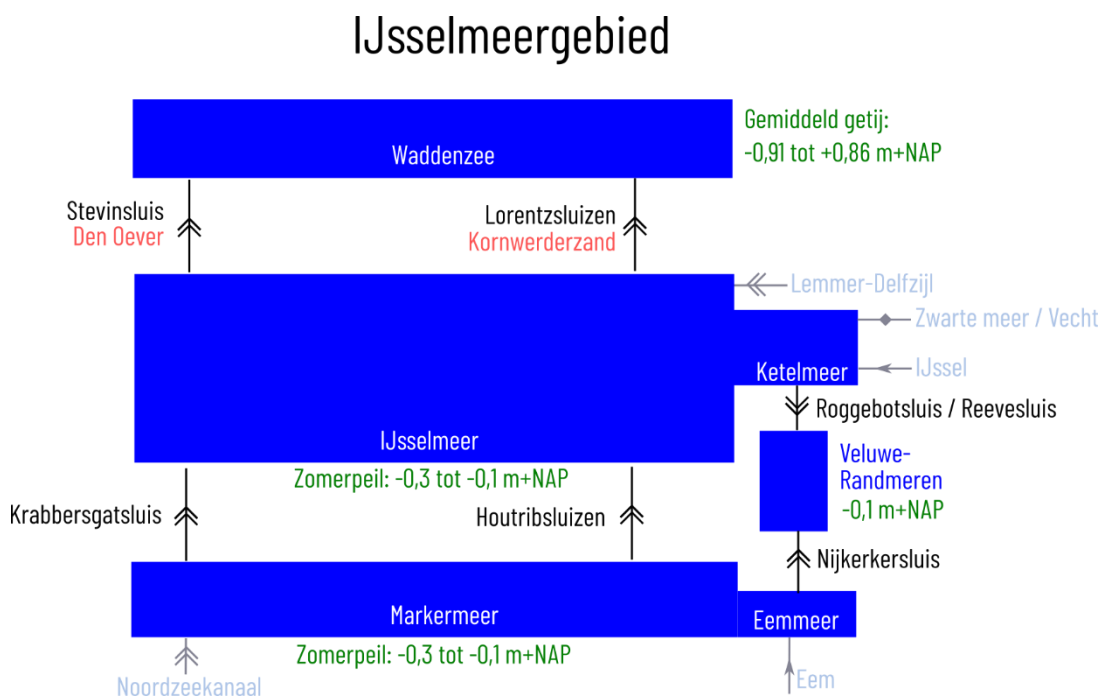
## 6 IJsselmeergebied

### 6.1 Gebiedsbeschrijving

Het IJsselmeergebied zoals dat beschouwd wordt in deze rapportage bevat het volledige gebied van de voormalige Zuiderzee. Dit betreft zowel het Markermeer en IJsselmeer, maar ook de Veluwerandmeren met onder meer het Ketelmeer en het Eemmeer. Zoals gegeven in Figuur 6.1 liggen er schutsluizen op de verbindingen tussen de meren en op de aantakkingen naar andere wateren.

Dit gebied wordt gevoed met voornamelijk het water uit de IJssel (ook tijdens droogte nog ruim 100 m<sup>3</sup>/s) en in veel mindere mate (slechts enkele m<sup>3</sup>/s) door de Eem en de Overijsselse Vecht (via het Zwarte Meer).

De Roggebotsluis wordt in 2021/2022 in functie vervangen door de Reevesluis, waarna het Vossemeer in vrije verbinding staat met het Ketelmeer.



Figuur 6.1 Schematische weergave van het Merengebied. Voor meer informatie wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2020).

### 6.2 Probleembeschrijving

Bij geen van de sluisen in het merengebied zijn in 2018 stremmingen geweest ten gevolge van watertekorten. Door waterschappen werd bij veel onttrekkingen maximaal ingenomen vanuit het IJsselmeer, maar nam bij sommige locaties het onttrokken debiet af door het uitzakken van het IJsselmeerpeil (TwynstraGudde, Hydrologic & Infram, 2020). Het peil is daarbij echter nooit buiten de bandbreedte van het peilbesluit gekomen: het minimum peil in 2018 was -0.28 m+NAP. Er zijn hierdoor ook geen problemen geweest met de diepgang voor de scheepvaart. Dit geldt voor alle beschouwde meren.

Wel is er in 2018 sprake geweest van verzilting van het IJsselmeer (Friocourt, 2021). Dit staat ook beschreven in het onderzoek “indirecte bedreigingen” (Van der Mark et al., 2021). Een groot deel van de verzilting is ontstaan ten gevolge van de schutsluizen, een kleiner deel ook via de spuisluizen. Ten gevolge hiervan zijn er schutbeperkingen geweest bij zowel Den Oever als Kornwerderzand, waardoor de recreatievaart enkel met volle kolken mocht schutten. Voor de beroepsvaart is er geen hinder geweest. Er wordt gewerkt aan het beter plannen van de deur-opentijden van de schutsluizen, met het uitgangspunt om deze tijden zoveel mogelijk te verkorten.

## 6.3 Verdiepende analyse

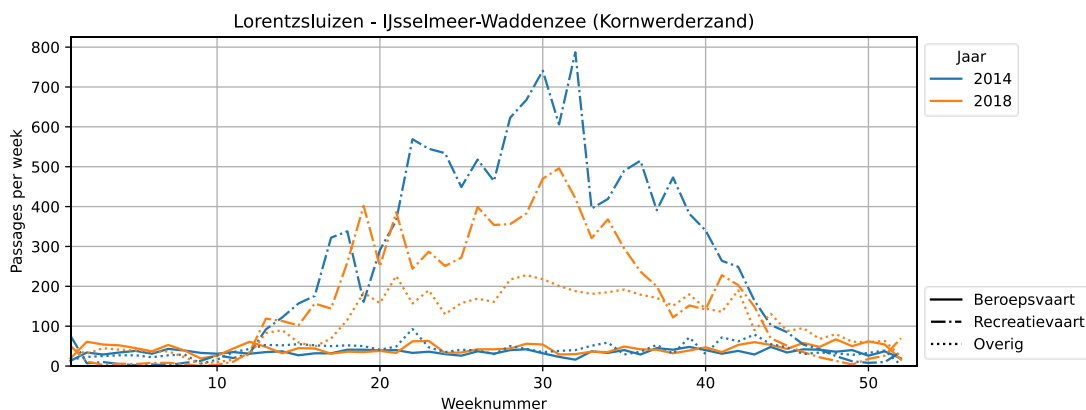
### 6.3.1 Schuttingen in het IJsselmeergebied

Een analyse is uitgevoerd bij de diverse sluisen rondom het IJsselmeergebied. Voor de Lorentzsluizen bij Kornwerderzand zijn de passages gegeven in Figuur 6.2 en de schuttingen in Figuur 6.3.

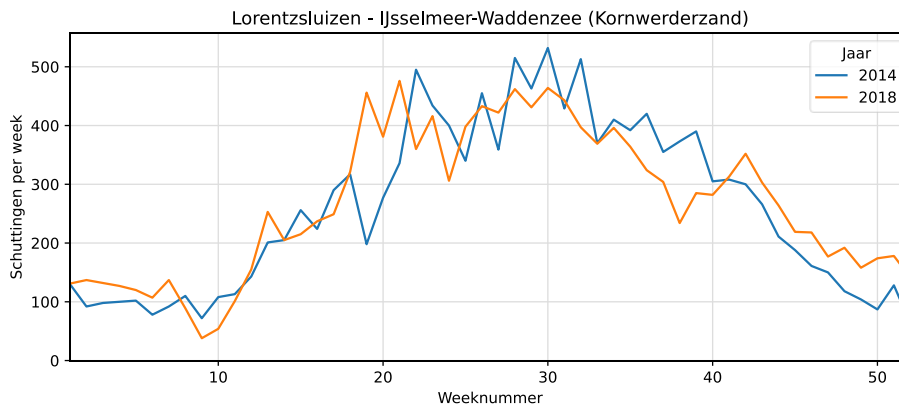
Zoals bekend is het overgrote gedeelte van alle passages ten gevolge van recreatievaart. In 2018 is de passagiersvaart niet meer geregistreerd als recreatievaart maar als overige vaart, wat een verschuiving geeft in de figuur. Het beeld bij Den Oever is vrijwel identiek, maar het aantal passages van recreatievaart en overige vaart is daar minder.

Het aantal recreatieschepen per schutting is geanalyseerd voor de Lorentzsluizen in Figuur 6.4. Dit bevestigt dat voor het schutten van de recreatievaart met hogere kolkvullingen werd gewerkt. Opgemerkt wordt dat niet alle recreatievaart geregistreerd wordt in IVS, dus dat de absolute aantallen niet kloppen.

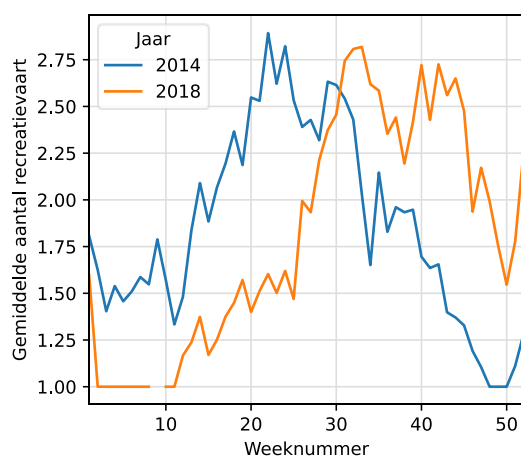
In Bijlage A zijn verdere analyses van de IVS-registraties opgenomen. Deze bijlage bevat ook analyses van de Oranjesluizen, Houtribsluizen, Krabbersgatsluis en Roggebotsluis. Voor deze sluisen zijn geen opvallende trends gevonden tijdens de droogte van 2018.



Figuur 6.2 Aantal passages bij de Lorentzsluizen in 2014 en 2018



Figuur 6.3 Schuttingen bij de Lorentzsluizen in 2014 en 2018



Figuur 6.4 Gemiddeld aantal recreatievaart per schutting met recreatievaart

### 6.3.2 Schutdebiet Afsluitdijk

Bij de sluizen in de Afsluitdijk is tijdens het merendeel van de getijdencyclus de waterstand op de Waddenzee hoger dan in het IJsselmeer. Als tijdens het moment van schutten geen rekening wordt gehouden met de fase van het getij zou hierdoor gemiddeld water worden ingelaten naar het IJsselmeer. Bij een hogere waterstand op de Waddenzee neemt dit schutdebiet toe, maar geeft dit ook een hogere zoutlast naar het IJsselmeer. Om de zoutindringing zoveel mogelijk te beperken moet juist geschut worden bij laagwater op de Waddenzee.

## 6.4 Conclusies

Bij de sluizen op en rond het IJsselmeergebied zijn er in 2018 geen schutbeperkingen geweest ten gevolge van een watertekort. Wel zijn beperkingen opgelegd aan de recreatievaart om verdergaande verzilting te voorkomen.

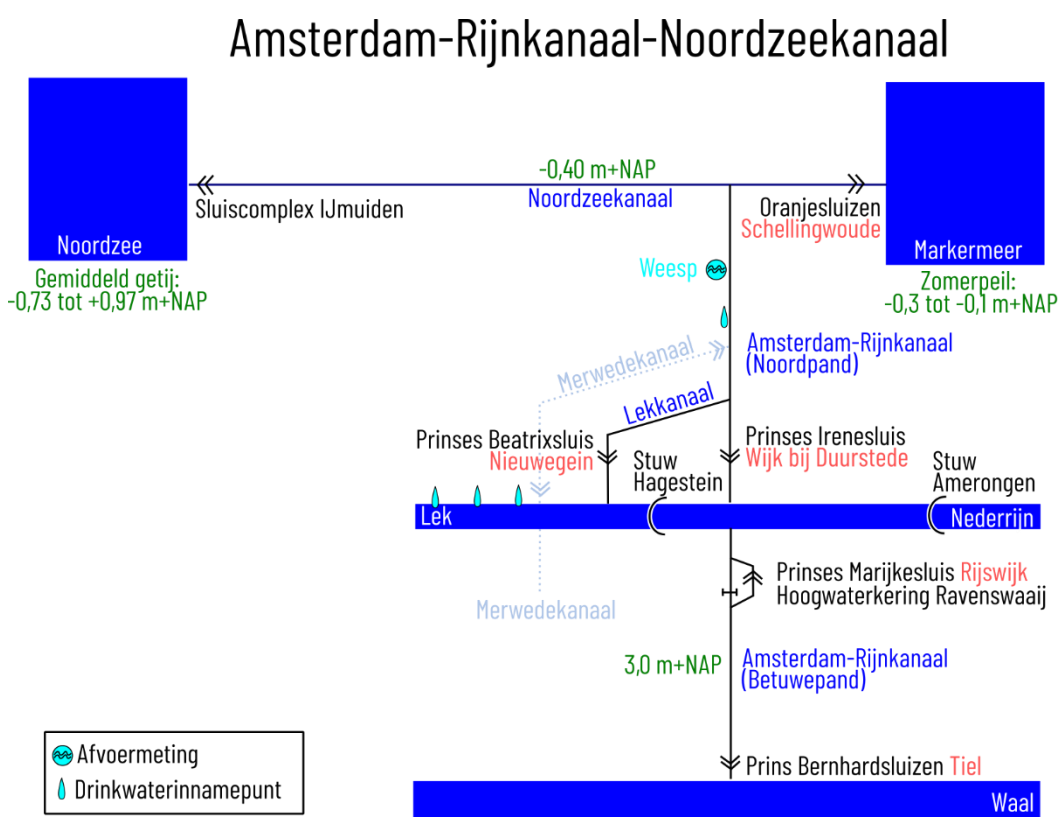
Het IJsselmeer vormt tijdens perioden van droogte wel een belangrijke waterbuffer waardoor het niet onwaarschijnlijk lijkt dat hier aanvullende maatregelen worden genomen. Omdat vanwege het lage verval het schutdebiet verwaarloosbaar is zullen deze maatregelen vooral zijn om de verzilting te verminderen.

# 7 Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal

## 7.1 Gebiedsbeschrijving

Het Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal (ARK-NZK) is een stelsel van kanalen dat loopt tussen de Noordzee, Amsterdam en de Waal. Het valt onder te verdelen in drie delen: Betuwepand ARK, Noordpand ARK, en Noordzeekanaal. Het Noordpand ARK en Noordzeekanaal staan in vrije verbinding met elkaar en hebben een peil dat lager ligt dan alle omliggende wateren.

Het Betuwepand ligt tussen de Nederrijn-Lek en de Waal. Tijdens normale condities staat dit in vrije verbinding met de Nederrijn-Lek. Bij lage afvoeren (lager dan 1200 m<sup>3</sup>/s te Lobith) wordt ook de Prins Bernhardsluis geopend en staat het aan beide zijden in open verbinding met de rivieren. Het vormt op dat moment een belangrijke doorvoer voor water vanuit de Waal naar het noorden.



Figuur 7.1 Schematische weergave van het Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal. Het peil op het Betuwepand volgt bij afvoeren Lobith lager dan 1200 m<sup>3</sup>/s de waterstand op de Waal doordat de Prins Bernhardsluizen geopend staan. De Prinses Marijkesluis is alleen in gebruik bij hoge afvoeren als keersluis Ravenstein wordt gesloten. Voor meer informatie wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2020).

## 7.2 Probleembeschrijving

In de regio ARK-NZK zijn er geen schutbeperkingen door watertekorten. Op het Noordpand wordt bij alle schutsluizen netto water ingelaten bij schuttingen. Bij de Prinses Irenesluizen wordt dit verval ook gebruikt om zoet water in te laten richting het noorden. Dit ten behoeve van onder meer het voorkomen van verzilting bij drinkwaterinnamepunten. Dit kan leiden tot beperkingen voor de scheepvaart en staat beschreven in de stresstest Indirecte

Bedreigingen (Van der Mark et al., 2021). Dit geeft langere wachttijden en bij extra grote spuidebieten ook gedeeltelijke stremmingen van een kolk.

Om deze zoutindringing te voorkomen worden ook schutbeperkingen bij IJmuiden ingesteld. Hierbij wordt enkel geschut met volle kolken, om daardoor het aantal schuttingen te reduceren, maar dit gaat ten koste van langere wachttijden voor de scheepvaart. Een (kortstondige) stremming van de sluisen is in 2018 niet nodig geweest.

Op het Betuwepand zijn er gedurende laagwaterperioden geen schutsluizen actief en staat het kanaal in open verbinding met rivieren. Er zijn dan ook geen schutbeperkingen. De waterdiepte in het kanaal is groter dan in de Waal, waardoor dit ook geen beperkingen geeft.

### 7.3 Verdiepende analyse

*Voor het Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal is geen verdiepende analyse uitgevoerd.*

### 7.4 Conclusies

Op het Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal zijn geen schutbeperkingen ten gevolge van watertekorten: het kanaalpeil van het Noordpand ligt lager dan het aangrenzende hoofdvaarwegennet en het Betuwepand wordt bij lage afvoeren niet met schutsluizen gescheiden van de Waal en de Nederrijn-Lek.

Bij de Prinses Irenesluizen en bij sluis IJmuiden kunnen wel schutbeperkingen optreden om de verzilting te reduceren, waardoor de wachttijden voor de scheepvaart toe kunnen nemen. De hoeveelheid verzilting neemt toe door de ingebruikname van de nieuwe grotere Zeesluis IJmuiden. Tot de oplevering van de Selectieve Onttrekking zullen aanvullende operationele maatregelen noodzakelijk zijn om de zoutindringing te beperken. Bij de beoogde effectiviteit van de Selectieve Onttrekking en zolang de zeespiegelstijging beperkt blijft, zijn daarna operationele maatregelen niet meer noodzakelijk.

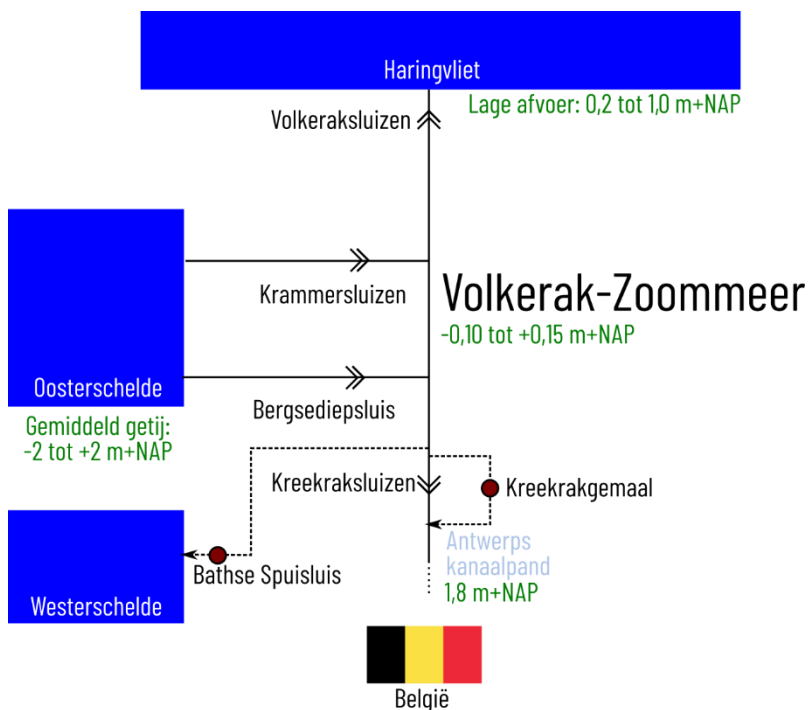
## 8 Volkerak-Zoommeer

### 8.1 Gebiedsbeschrijving

Het waterlichaam Volkerak-Zoommeer is ontstaan door de scheiding van het Haringvliet (Volkerakdam in 1969) en de scheiding van de Oosterschelde (Oesterdam in 1986, Philipsdam in 1987). Het meerpeil wordt beheerd tussen -0.1 en +0.15 m+NAP, afhankelijk van het seizoen.

Het meer wordt gevoed door onder meer het Hollands Diep via de Volkerak-inlaatsluizen en de rivier de Dintel. Ook via de Volkerak-schutsluizen wordt water geloosd naar het Volkerak.

De Krammersluizen en de Bergsediepsluis zijn voorzien van een zoet-zoutscheidingssysteem. Bij de Kreekraksluizen wordt via het Kreekrakgemaal in grote hoeveelheden zoetwater naar het (zoute) Antwerps kanaalpand gepompt. Dit alles om de zoutindringing naar het Volkerak-Zoommeer zo veel mogelijk te beperken.



Figuur 8.1 Schematische weergave van het Volkerak-Zoommeer. Voor meer informatie wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2020). De Oosterschelde en Westerschelde zijn zoute wateren, de overige wateren zijn zoet.

### 8.2 Probleembeschrijving

Tijdens de droogte van 2018 waren de problemen in Zeeland relatief beperkt (Schrijver, 2018). De werkzaamheden van Team Waterbeheer voorkwamen problemen door gebruik te maken van redeneerlijnen opgesteld in het programma Slim Watermanagement (Hydrologic, 2017).

In het Volkerak-Zoommeer is de scheepvaart op grote afstand de laatste functie die bij een watertekort in gedrang raakt. Het meerpeil is altijd voldoende geweest, waardoor er geen ondiepte problemen zijn ontstaan. Maatregelen om schutbeperkingen in te stellen om water te besparen, zijn niet van toepassing omdat het schutverlies bij alle sluisen verwaarloosbaar is.

Het actieve beheer is zodoende vooral gericht op het voorkomen van verzilting. Dit gebeurt echter vooral via infrastructurele maatregelen. De redeneerlijnen spreken niet over schutbeperkingen bij de sluisen.

Het systeem van de zoet-zoutscheiding bij de Krammersluizen zorgt echter wel voor lange schuttijden van 40 à 50 minuten (Rijkswaterstaat, 2007). In de toekomst wordt dit vervangen door een innovatieve zoet-zoutscheiding met bellenschermen en het spoelen van zoet water, waardoor de schuttijden verkorten tot ongeveer 30 minuten (Rijkswaterstaat, 2021).

### 8.3 Verdiepende analyse

*Voor het Volkerak-Zoommeer is geen verdiepende analyse uitgevoerd.*

### 8.4 Conclusies

Op het Volkerak-Zoommeer zijn geen schutbeperkingen ten gevolge van watertekorten. Het schutdebiet is bij alle sluisen verwaarloosbaar. Het actieve waterbeheer is vooral gericht op het voorkomen van verzilting. Hiertoe wordt bij de schutsluisen gewerkt met aanpassingen aan de infrastructuur om zoutindringing te voorkomen. Bij de Krammersluizen zijn hierdoor momenteel wel altijd schuttijden van 40 à 50 minuten doordat bij iedere schutting de zoet-zoutscheiding wordt ingezet. Deze maatregel wordt nu ingezet onafhankelijk van de mate van watertekorten.



## 9.4 Conclusies

In de regio van de Rijn-Maasmonding zijn er tijdens lage rivierafvoer geen schutbeperkingen ten gevolge van watertekorten. Ter voorkoming van verzilting worden bij de schutsluizen van de Haringvlietsluizen wel beperkingen ingesteld, resulterend in langere wachttijden voor de recreatievaart en de vissersvloot.

## 10 Conclusies

Een analyse is uitgevoerd van de schutbeperkingen op het hoofdvaarwegennetwerk in het uitzonderlijk droge jaar 2018. Analyses van het KNMI geven aan dat het neerslagtekort een kans van optreden heeft van eens in de 30 jaar. Ten gevolge van klimaatverandering neemt deze kans in het meest extreme klimaatscenario toe met een factor 3 in 2085.

Op basis van de inventarisatie kan geconcludeerd worden welke gebieden kwetsbaar zijn voor scheepvaartbeperkingen bij schutsluizen. In deze rapportage wordt voornamelijk gekeken naar kwetsbaarheden ten gevolge van watertekorten, en wordt voor kwetsbaarheid voor verzilting tevens verwezen naar de stresstest Indirecte Bedreigingen (Van der Mark, et al., 2021). Bij ieder van de gebieden die kwetsbaar zijn voor watertekorten, worden ook nu al operationele maatregelen getroffen om de watertekorten tegen te gaan, waardoor de scheepvaartbeperkingen nu al ontstaan. Ten gevolge van klimaatverandering zullen de frequentie en mate van deze beperkingen toenemen.

Als we strikt kijken naar beperkingen door watertekorten dan is er vooral een risico op beperkingen in de volgende gebieden:

- Twentekanalen, met name bij sluis Eefde. De huidige voorzieningen zijn nu nog voldoende om schutbeperkingen te voorkomen, maar vormen een risico bij extremere droogte en een grotere watervraag voor zoetwatervoorziening. Langere periodes van droogte en extremere droogte zorgen voor langdurige inzet van pompen en daardoor hogere kosten voor Rijkswaterstaat. Als de pompcapaciteit niet langer toereikend is, ontstaan vermoedelijk ook beperkingen voor de scheepvaart, zoals de inzet van schutregimes.
- Brabantse Kanalen. Onvoldoende wateraanvoer vanuit de Maas zorgt nu al voor schutbeperkingen bij alle sluizen, met de grootste hinder voor de recreatievaart. Dit speelt het sterkst bij Panheel, maar ook bij de vele andere sluizen. Zolang de watervraag die minimaal benodigd is voor de kanalen op de Maas beschikbaar blijft, zullen de schutbeperkingen niet verder toenemen.
- Kanaal Gent-Terneuzen, bij sluis Terneuzen. Tijdens droogte worden schutregimes ingesteld om water te besparen door het moment van schutten af te laten hangen van de fase van het getij op de Westerschelde. Hierdoor is er een afname van de sluiscapaciteit en een toename van de wachttijd.
- Maas, met name op het Julianakanaal (behandeld in Van der Mark & De Jong, 2020; De Jong & Boschetti, 2021). Schutregimes en de inzet van pompen zijn noodzakelijk door het grote schutdebiet van de sluizen van Born en Maasbracht. Bij Heel is er een risico op stremmingen bij extreme droogte. Bij grotere frequentie en duur van periodes van lage rivierafvoeren worden de schutregimes strenger en langduriger.

Indien ook het bestrijden van verzilting wordt meegenomen dan zijn er ook risico's op schutbeperkingen in de volgende gebieden (zie Van der Mark et al., 2021):

- IJsselmeergebied, bij Lorentz- en Stevinsluizen. Met name voor de recreatievaart worden schuttingen beperkt.
- Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal, bij sluis IJmuiden. Het aantal schuttingen kan beperkt worden om zoutindringing te reduceren. De oplevering van de grotere Zeesluis IJmuiden verhoogt het risico op schutbeperkingen.

- Rijn-Maasmonding, bij de Haringvlietsluizen. Het aantal schuttingen wordt beperkt om zoutindringing te reduceren. Deze sluizen worden vooral gebruikt door de recreatievaart en de vissersvloot.
- Gent-Terneuzen, bij sluis Terneuzen. Om de zoutindringing te beperken wordt gesloten bij laagwater op de Westerschelde, een maatregel die conflicteert met de maatregel om juist te sluiten bij hoogwater ten behoeve van voorkomen van watertekorten. Als zoutindringing beperkt moet worden nemen de wachttijden en stremmingen nog verder toe.

Er is geen dreiging van schutbeperkingen ten gevolge van watertekorten of verzilting op:

- Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl. Hoewel er een risico van verzilting is op het Eemskanaal ten gevolge van Zeesluis Farmsum, worden hier geen beperkingen voor de scheepvaart overwogen.
- Volkerak-Zoommeer. Hoewel veel infrastructuur en beheer noodzakelijk zijn om verzilting te voorkomen, worden hier geen beperkingen voor de scheepvaart overwogen. De langzame zoet-zoutscheiding zorgt echter wel voor lange sluttijden bij de Krammersluizen, maar is onafhankelijk van de mate van watertekorten. Er wordt gewerkt aan een innovatieve oplossing waardoor de sluttijden met 15 minuten worden verminderd.

# 11 Referenties

- Friocourt, Y. (2021). Nieuwe inzichten naar aanleiding van de verzilting van het IJsselmeer in 2018 en actualisatie van de posten van de water- en zoutbalans van het meer. RWS rapport. Ongereviseerd concept v0.1 d.d. 20 maart 2020 <sup>3</sup>
- Heeringen, K. van, O. van Duin, O. Weiler (2019) Werkplan BOS KGT. Deltares rapport 11203985-000-ZWS-0002 v1.0 d.d. 19 april 2019
- Hydrologic (2017). Redeneerlijnen waterbeheer regio Volkerak-Zoommeer. Gezamenlijke uitwerking van Rijkswaterstaat (WVL, ZD, HMC) en de waterschappen Brabantse Delta, Scheldestromen en Hollandse Delta
- Jong, J.S. de (2019). KBN: Bedreiging klimaatverandering - Beschrijving karakteristieke droge jaren met stationaire afvoerniveaus. Deltares memo 11203738-005-BGS-0002 versie 1.1, d.d. 14 december 2019
- Jong, J.S. de en T. Boschetti (2021). Kwetsbaarheid sluizen Maas voor klimaatverandering. Onderzoek naar de sluizen Born, Maasbracht en Heel in klimaatbestendige netwerken. Deltares rapport 1120527-004-BGS-0017 v1.0 d.d. 19 april 2021
- Kramer, N. (2018). Afvoerstatistiek Rijn te Lobith. Deltares memo d.d. 18 september 2018
- Kramer, N. (2021). Lage afvoeren in de Maas. Bijdrage zijrivieren. Deltares rapport 11206095-004-ZWS-0002 d.d. 6 juli 2021
- Mark, R. van der, en J.S. De Jong (2020). Stresstest Droogte Maas – Blootstelling en kwetsbaarheid bij de sluiscomplexen. Deltares memo 11205274-004-BGS-0010 v1.0
- Mark, R. van der, J. de Jong, O. Weiler, E. Ruijgh (2021). Stresstest “indirecte bedreigingen”. Verkenning externe invloeden op het hoofdvaarwegennet. Deltares rapport 11206832-004-GEO-003, v0.9, d.d. 16 augustus 2021
- Phernambucq, I.H. & I. Abas (2019) Evaluatie laagwater en droogte 2018 RDO-Twenthekanalen. Witteveen+Bos rapport 112566/19-005.138 definitief 2, d.d. 28 maart 2019
- Rijkswaterstaat (2007). Scheepvaart in Zeeland 2006
- Rijkswaterstaat (2020). Infographics operationeel water management van: ark-nzk, gestuwde maas en maas-waalkanaal, grevelingenmeer, haringvliet, hoofdvaarweg lemmer-delfzijl, hoofdwatersysteem, ijsselmeergebied, kanaal gent-terneuzen, ml-nbk, nederrijn lek, twentekanalen, veerse meer, volkerak-zoommeer, zuidelijk deel maas en julianakanaal. Te downloaden vanaf <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/water-ruimte/waterkwantiteit/infographics-operationeel-watermanagement-0/>
- Rijkswaterstaat (2021). Achtergrondrapportage Vaarwegen Integrale Mobiliteitsanalyse 2021. Versie 4.2 d.d. 10 mei 2021

---

<sup>3</sup> Bij de toezending van de rapportage is opgemerkt dat sommige bevindingen uit de rapportage inmiddels verouderd zijn, maar nog niet zijn bijgewerkt.

- Schrijver (2018). Extreme droogte in het kielzog. Hoe team Waterbeheer van district Noord Z&D het hoofd koel konden houden. Rijkswaterstaat informatie d.d. 7 december 2018
- Sluiter, R., M. Plieger, G.J. van Oldenborgh, J. Beersma, H. de Vries. (2018). De droogte van 2018. Een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort. KNMI uitgave 117162 d.d. november 2018
- TwynstraGudde, HydroLogic & Infram (2020). Joint Fact-finding Studie Robuustheid IJsselmeergebied bij droogte. In opdracht van Bestuurlijk Platform IJsselmeergebied. D.d. 5 maart 2020
- Wouw, J. van der (2021). Protocol plaatsing en weghalen van Tijdelijke Pomp Installatie (TPI) bij Eefde ten behoeve van de wateraanvoer in de Twente kanalen. Bijlage A bij het Draaiboek Laagwater en droogte van het Waterakkoord Twente kanalen en Overijsselsche Vecht. RWS Informatie Versie 0.1 Definitief d.d. 15 april 2021

# A Analyse van IVS90-data bij diverse schutsluizen

Bijgeleverd als los PDF-rapport.

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

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)