

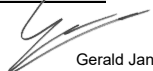


## Memo

<b>Datum</b> 22 december 2020	<b>Ons kenmerk</b> 11205274-004-BGS-0020	<b>Aantal pagina's</b> 1 van 32
<b>Contactpersoon</b> Rolien van der Mark	<b>Doorkiesnummer</b> +31(0)88 335 7646	<b>E-mail</b> Rolien.vanderMark@deltares.nl

**Onderwerp**  
Stresstest Droogte Maas - Blootstelling en kwetsbaarheid bij de sluiscomplexen

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.1	Dec 2020	Rolien van der Mark Jurjen de Jong		Aukje Spruyt		Henriette Otter	b/a  Gerald Jan Ellen

## 1 Inleiding

Dit memo is een product van het 2020 KPP-project Klimaatbestendige Netwerken (KBN) voor het hoofdvaarwegennet (HVWN). In dit project worden stresstests uitgevoerd volgens de IPCC-risicobenadering voor droogte, zeespiegelstijging, hoge rivierafvoer, hitte. Onderdelen hierin zijn: bedreiging, potentiële blootstelling, toestand van het watersysteem, en kwetsbaarheid van de gebruiksfunctie.

Dit memo is toeleverend aan het onderdeel stresstest droogte Maas, “potentiële blootstelling” en “kwetsbaarheid”. In dit memo wordt eerst een beknopte beschouwing gegeven van verschillende aspecten waaraan de sluiscomplexen in de Maas worden blootgesteld en de veranderingen hiervan in de toekomst. Vervolgens wordt via een quick scan beschouwd welke sluizen in de Maas het meest kwetsbaar zijn voor droogte. In een vervolg worden die sluizen nader uitgewerkt. Dit memo richt zich op de sluiscomplexen, kwetsbaarheden ten aanzien van onvoldoende waterdiepte en effect van zeespiegelstijging op het vrijstromende traject benedenstrooms van Lith blijven hier buiten beschouwing.

## 2 Potentielle blootstelling

### 2.1 Kenmerken van de vaarweg en sluizen

#### 2.1.1 Vaarwegennetwerk

De onderstaande tekst in deze paragraaf is deels ontleend aan het Verhaal van de Maas (Asselman et al., 2018) en De Jong (2020a).

Het waterpeil van de Maas wordt het grootste deel van het jaar geregeld door middel van stuwen. Er zijn zeven stuwen, waarvan de eerste bovenstrooms van de Grensmaas (bij Borgharen) en de overige zes benedenstrooms van de Grensmaas (bij Linne, Roermond, Belfeld, Sambeek, Grave en Lith). Figuur 2-1 geeft een overzicht van de stuwen en sluizen in de Maas.

De Maas vervult een belangrijke functie als scheepvaartroute. Op de hele Maas vindt scheepvaart plaats, behalve op de Grensmaas waar alle scheepvaart het parallel-liggende Julianakanaal volgt. Bovenstrooms van stuw Linne komt vanuit het zuiden het Julianakanaal uit in de Maas. Hier vaart het grootste deel van de beroepsvaart verder over het Lateraalkanaal<sup>1</sup> (via sluis Heel) en enkele schepen via het Kanaal van Wessem-Nederweert (via sluis Panheel) en naar Roermond (via sluis Linne).

De scheepvaartroute over de Maas sluit aan op verschillende andere scheepvaartkanalen, zoals de kanalen in België (Albertkanaal) en de Midden-Limburgse en Brabantse kanalen (kanaal Wessem-Nederweert richting Zuid-Willemsvaart). Het Maas-Waalkanaal, het kanaal van Sint-Andries en het Heusdensch kanaal (gaat over in Afgedamde Maas) vormen verbindingen tussen de Maas en de Waal.

Door de stuwen wordt de waterstand opgestuwd om scheepvaart mogelijk te maken. Bij lage en normale afvoer maakt de scheepvaart gebruik van de sluizen naast de stuwen; bij hoge afvoer zijn de stuwen gestreken (vijf tot tien dagen per jaar) en is scheepvaart door de stuwen mogelijk.

Iedere stuw wordt bediend volgens een stuwprogramma. In dit stuwprogramma wordt gestreefd naar het behalen van de benodigde waterdiepte op het gehele traject. Voor één of meerdere waterstations binnen het stuwpond wordt een stuwpeil nagestreefd. De stuwpeilen voor alle stuwponden zijn gegeven in Figuur 2-2. De stuwmeester is verantwoordelijk voor het behalen van de stuwpeilen, maar heeft ook de mogelijkheid om hiervan af te wijken, waardoor in de praktijk afwijkingen kunnen ontstaan tussen het stuwprogramma en de metingen.

De Maas is geschikt voor klasse Va-schepen, en vanaf rivierkilometer 212,8 (Keizersveer) tot aan het Hollandsch Diep voor klasse VIc schepen (Tabel 2-1). De maximaal toegestane afmetingen variëren voor verschillende trajecten (Tabel 2-2). In Bijlage B is een kaart van RWS uit 2014 opgenomen met de toegestane en vergunde afmetingen per traject op de Maas en Brabantse Kanalen.

Binnen het programma Maaswerken (deelprogramma Maasroute) wordt gewerkt aan de opwaardering van de Maasroute. Het traject Ternaaien, ten zuiden van Maastricht, tot het Maas-Waalkanaal wordt geschikt gemaakt voor grotere klasse Vb schepen, de zogenoemde tweebaksduwvaart. Dat zijn schepen van 190 m lang, 11,4 m breed en 3,5 m diep. Om dit mogelijk te maken worden/zijn delen van de Maasroute verdiept, sluizen aangepast, bruggen verhoogd, bochten verruimd en het Julianakanaal verbreed. De werkzaamheden zijn (planning onder voorbehoud) gereed in 2023.

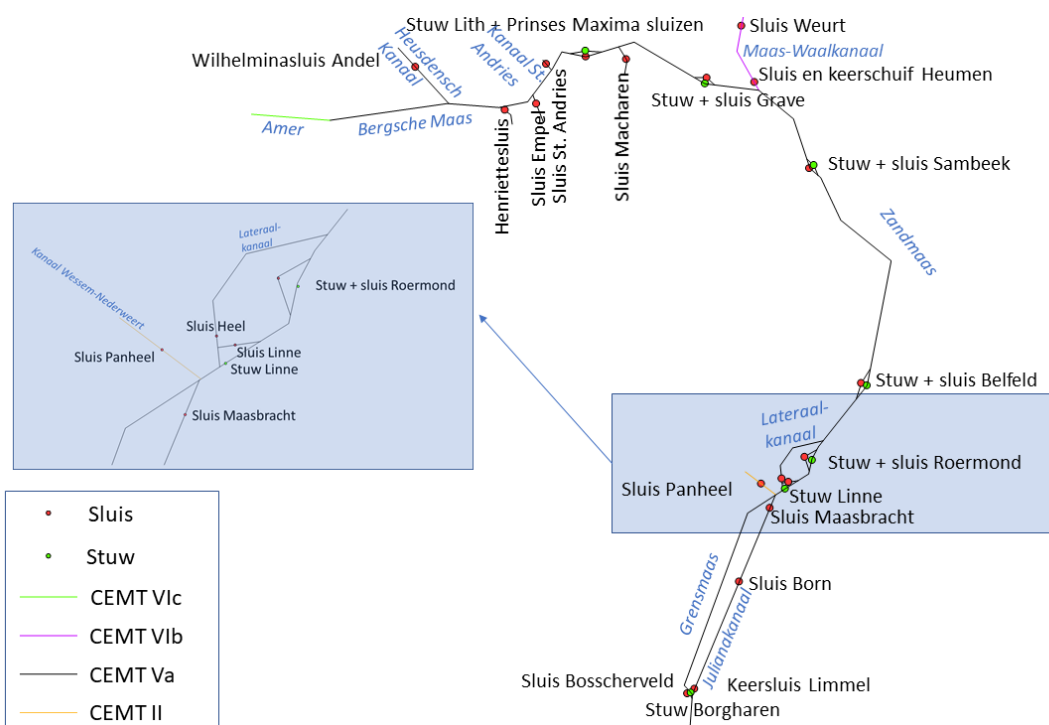
Door minister Cora Van Nieuwenhuizen (Infrastructuur en Waterstaat) is aangegeven dat onderzoek gestart gaat worden naar het vergroten van de sluiscapaciteit van Grave en Weurt<sup>2</sup>.

De stuwen op de Maas zijn toe aan vervanging en in de komende jaren worden hiervoor nieuwe ontwerpen gemaakt.

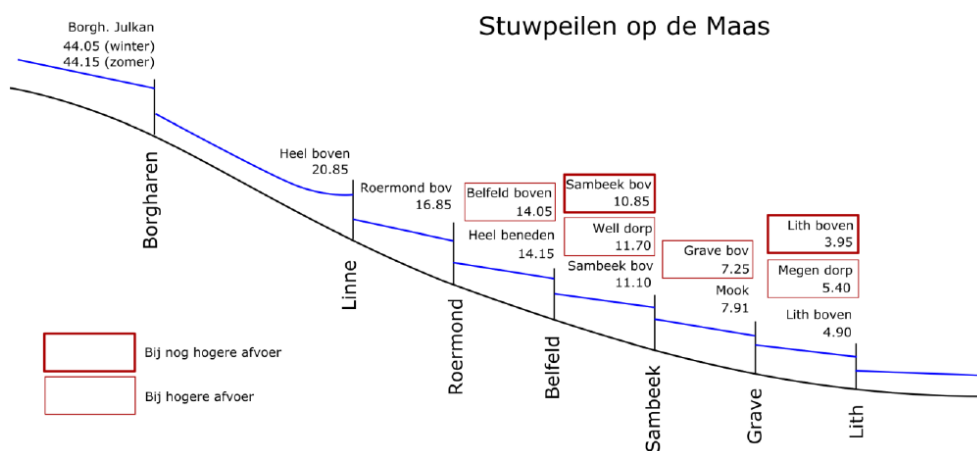
---

<sup>1</sup> Door gebruik van het Lateraalkanaal worden de stuwen bij Linne en Roermond vermeden.

<sup>2</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/regering/bewindspersonen/cora-van-nieuwenhuizen/documenten/toespraken/2020/09/25/toespraak-digitaal-minister-van-nieuwenhuizen-landenconferentie-rijn-%E2%80%93-mainz-duitsland>



Figuur 2-1 Overzicht van stuwen en sluisen in de Maas.



Figuur 2-2 Stuwpeilen op de Maas. Overgenomen uit De Jong (2020a). De waarden in de figuur zijn in m+NAP.

Tabel 2-1. Bevaarbaarheid vaarwegen. Data afkomstig uit Vaarwegennetwerk Nederland (VNDS) – bevaarbaarheidsinformatie (aanmaakdatum 2020-07-06).

Naam vaarweg	CEMT	Omschrijving
Maas, Julianakanaal, Bergsche Maas, Amer (rkm 0 tot 212,8)	Va <sup>3</sup>	Groot Rijschip, Eenbaksduwstel
Maas, Julianakanaal, Bergsche Maas, Amer (rkm 212,8 tot 229,4)	Vlc	Zesbaksduwstel
Maas-Waalkanaal	Vlb	Tweebaksduwstel (lange formatie)
Kanaal St. Andries	Va	Groot Rijschip, Eenbaksduwstel
Heudensch Kanaal en Afgedamde Maas	Va	Groot Rijschip, Eenbaksduwstel
Kanaal Wessem-Nederweert	II	Kempenaar

<sup>3</sup> In het project Maasroute wordt gewerkt aan de opwaardering van de Maasroute (Maas-Waalkanaal tot sluis Ternaaien) naar klasse Vb met een diepgang tot 3.5 m. Voor delen van het traject is deze opwaardering al gereed, voor enkele deelprojecten is de oplevering pas in 2023.

*Tabel 2-2. Maximale Toegestane (generieke) afmetingen op diverse trajecten van de Maas. Op sommige trajecten is bij hogere afvoeren (en waterstanden) een grotere diepgang toegestaan. Tabel gebaseerd op Bijlage 3 van de “Regeling communicatie en afmetingen Rijksbinnenwateren”<sup>4</sup> en Vaarwegnetwerk Nederland (VNDS) – maximale toegestane afmetingen.*

Vaarweg	Traject	Lengte (m)	Breedte (m)	Diepgang (m)
<b>Maas</b>	Traject km 8,650 - invaart Julianakanaal	137,5	14,0	3,0
	Maasbracht monding Julianakanaal - km 110,5 (= Venlo)	137,5	15,5	3,0
	Traject km 110,5 (= Venlo) - Grave boven	137,5	15,5	3,5
	Traject Grave boven - km 182 (brug A50 / Niftrik)	137,5	15,5	3,2 <sup>1)</sup>
	Traject km 182 (brug A50) - km 226 (= begin Bergsche Maas)	137,5	15,5	4,0 <sup>2)</sup>
<b>Julianakanaal</b>	Traject Gekanaliseerde Maas - Beatrixhaven	137,5	14,0	3,0
	Traject Beatrixhaven - haven Stein	110,0 <sup>3)</sup>	12,0	3,0
	Traject haven Stein - sluis Born	137,5	14,0	3,0
	Traject Born – km 36,6 (mondning)	137,5	15,5	3,0
<b>Lateraalkanaal</b>	Lateraalkanaal	137,5	15,5	3,0
<b>Maas-Waalkanaal</b>	km 0,0 (Maas) - km 10,7	137,5	15,5	3,5
	km 10,7 – km 12,9	225,0	15,5	3,7 <sup>4)</sup>
	km 12,9 – km 13,4 (Waal)	193,0	22,9	3,7 <sup>4)</sup>
<b>Kanaal van St. Andries</b>	Kanaal van St. Andries	110	13,5	3,5 <sup>5)</sup>

1) Maas tussen Grave (boven de sluis) en km 182 (brug A50) een maximale toegelaten diepgang van 3,20 m of zoveel meer dan de waterstand bij Grave-Beneden hoger is dan NAP + 5,20 m.

2) Bij een waterstand van NAP of zoveel minder dan de buitenwaterstand in het benedentoeleidskanaal lager is dan NAP of zoveel minder dan de waterstand in het boventoeleidskanaal lager is dan NAP + 4,5 m.

3) Schepen of duwstellen langer dan 110m moeten zijn uitgerust met een actieve kopsturing.

4) Of zoveel minder dan de buiten- of de binnenwaterstand lager is dan NAP + 7,20 m.

5) Bij een waterstand NAP + 1 m of zoveel minder dan de waterstand bij sluis St. Andries v.w.b. de Maaszijde lager is dan NAP + 1 m dan wel v.w.b. de Waalzijde lager is dan NAP + 2 m.

## 2.1.2 Sluizen en dimensies

Ten behoeve van analyse naar de kwetsbaarheid zijn de dimensies van de sluizen op en aan de Maas verzameld (Tabel 2-3 en Tabel 2-4). De afmetingen van de kolken zijn opgenomen, zoals vermeld in FIS, dat wil zeggen de ruimte die kan worden gevuld met schepen tijdens schutten. De werkelijke afmetingen kunnen groter zijn (Van der Veen, 2018). Een paar kanalen staan bij lage en normale afvoer in open verbinding met de (dan gestuwde) Maas; de sluisdeuren staan open en sluizen zijn direct te doorvaren. Bij stijgende waterstanden worden de sluisdeuren gesloten en wordt de scheepvaart gesloten.

Bij lage rivierafvoeren dient zo veel mogelijk verlies van water in de Maas te worden voorkomen. Het waterverlies ten gevolge van schutten kan op drie manieren verminderd worden, namelijk door te zorgen dat er (1) minder schuttingen op een dag plaatsvinden, door (2) het waterverlies per schutcyclus te verminderen via spaarbekkens of door twee kolken hevelend te laten schutten, of (3) door water van het benedenpand weer terug naar boven te pompen. Hevelend schutten is in principe mogelijk bij de complexen waar minstens 2 kolken aanwezig zijn en de hevelinstallatie daarvoor aanwezig is. Op dit moment heeft alleen Maasbracht een hevelinrichting. In Born en Maasbracht is een pompemaal aanwezig.

De sluizen bij Weurt (oude sluis), Grave en St. Andries worden in de verdere toekomst waarschijnlijk aangepakt.

<sup>4</sup> <https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0010360&bijlage=3&z=2018-12-01&g=2018-12-01>

De sluizen bij Weurt en Grave worden gezien als capaciteitsknelpunten bij laag water (NMCA); bij laag water op de Waal verkiest de scheepvaart van Rotterdam-Maastricht-Luik de oost-westtak van de Maas (via Grave) boven de Waal en het Maas-Waalkanaal (via Weurt) vanwege de grotere vaardiepte. Sluis Grave heeft echter maar één kolk en een beperkte afmeting (142 x 16 m). Deze route over Grave kan vanwege die beperkte afmeting voor Vb-schepen niet als alternatief dienen. Sluis Weurt vormt bij lage afvoer een knelpunt vanwege de beperkte diepte boven de sluisdrempel van de oostkolk. Sluis St. Andries, met één kolk van slechts 110 x 14 m, komt in de laatste NMCA als nieuw knelpunt naar voren.

Tabel 2-3. Algemene gegevens sluizen. Data afkomstig uit FIS (het dataportaal achter vaarweginformatie.nl):  
Geogeneration 1497, Publication Date 2020-07-23.

Gelegen aan route (route code)	Naam sluis	Gelegen aan vaarweg	Beheerder	Aantal kolken	Status bij lage afvoer	Waterbesparende infrastructuur	Opmerkingen
Maas, Julianakanaal, Bergsche Maas en Amer (150)	Keersluis Limmel	Julianakanaal	RWS ZN		Open		*)
	Sluis Born	Julianakanaal	RWS ZN	3	Schutten	Pompgemaal tot 12 m³/s	
	Sluis Maasbracht	Julianakanaal	RWS ZN	3	Schutten	Pompgemaal tot 9 m³/s Hevelend schutten	
	Sluis Heel	Lateraalkanaal	RWS ZN	2	Schutten		
	Sluis Belfeld	Maas	RWS ZN	3	Schutten		
	Sluis Sambeek	Maas	RWS ZN	3	Schutten		
	Sluis Grave	Maas	RWS ZN	1	Schutten		
	Prinses Maxima Sluizen (Lith)	Maas	RWS ZN	2	Schutten		
Afgesneden Maas en havengebied te Roermond (152a)	Sluis Linne	Maas	RWS ZN	1	Schutten		
	Sluis Roermond	Maas	RWS ZN	1	Schutten		
Gekan. Dieze, Zuid-Willemsvaart, Verbindingskanaal in het Bossche Veld (121)	Sluis Bosscherveld	Verbindingskanaal in het Bossche Veld	RWS ZN	1	Schutten		
	Henriettesluis (schutsluis Engelen)	Gekanaliseerde Dieze	Gemeente 's-Hertogenbosch	1	Schutten		
Kanaal Wessem-Nederweert (123)	Sluis Panheel	Kanaal Wessem-Nederweert	RWS ZN	2	Schutten	Spaarbekken bij oude kolk Pompgemaal tot 6 m³/s	
Maas-Waalkanaal (119)	Sluis Heumen	Maas-Waalkanaal	RWS ON	1	Open		**)
	Sluis Weurt	Maas-Waalkanaal	RWS ON	2	Schutten		
Kanaal van Sint Andries (101a)	Sluis St. Andries	Kanaal van Sint Andries	RWS ZN	1	Schutten		
Burgemeester Delenkanaal en havens van Oss (150g)	Sluis Macharen	Buitendijks Toeleidingskanaal, Burgemeester Delenkanaal	Gemeente Oss	1	Open		***)
Maximakanaal (151)	Sluis Empel	Maximakanaal	RWS ZN	1	Gesloten		
Heusdensch Kanaal en Afgedamde Maas (120)	Wilhelminasluis Andel	Afgedamde Maas	RWS ZN	1	Gesloten		****)

\*) De oude sluis Limmel in het Julianakanaal is in 2018 vervangen door een nieuwe keersluis. De nieuwe sluis beschermt tegen overstromingen, maar heeft geen schutfunctie meer. De oude sluis bij Limmel schuttede slechts enkele keren per jaar, waardoor de functie overbodig werd. De keersluis sluit bij een afvoer bij St.Pieter vanaf 1800 m³/s.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Bron: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/julianakanaal/index.aspx>

\*\*) Sluis staat in de regel open, en gaat schutten als keersluis Heumen gesloten wordt bij een waterstand bij Mook van 8,30 m+NAP (ongeveer bij 1400 m³/s). Bij een waterstand hoger dan NAP+12,15m wordt niet meer geschut (ongeveer bij 3500 m³/s).

\*\*\*) Staat (in het algemeen) open. In bedrijf bij waterstanden van NAP+5,30m en hoger.

\*\*\*\*) De regio Afgedamde Maas wordt afgesloten van de Maas bij waterstanden bij Heesbeen vanaf 3,42 m+NAP (ongeveer 2500 m³/s). De Wilhelminasluis Andel is dan vanaf de Maas niet meer te bereiken.

*Tabel 2-4. Afmetingen sluiskolken. Data afkomstig uit FIS: Geogeneration 1497, Publication Date 2020-07-23.  
De dimensies van de kolken bij Heel zijn onjuist in het FIS en gecorrigeerd naar aanlevering van RWS-ZN.*

Naam sluis	Kolk	Lengte (m)	Breedte (m)	Deuren (opgenomen indien vermeld in FIS)	Opmerking
Sluis Born	West	136	16		Oude Sluis wordt slechts incidenteel bediend.
	Midden	225	16		
	Oost	142	16		
Sluis Maasbracht	West	142	16		
	Midden	142	16		
	Oost	225	16		
Sluis Heel <sup>6</sup>	West	142	16		
	Oost	225	16		
Sluis Belfeld	West	142	16		
	Midden	142	16		
	Oost	241	16		
Sluis Sambeek	West	142	16		
	Midden	142	16		
	Oost	238,5	16		
Sluis Grave	1	142	16		
Prinses Maxima Sluizen (Lith)	Zuid	120	14	Hefdeuren	
	Noord	200	18	Puntdeuren	
Sluis Linne	1	265,2	16		
Sluis Roermond	1	260	16		
Sluis Bosscherveld	1	130	16	Hefdeuren	
Henriettesluis (schutsluis Engelen)	1	80	18	Puntdeuren	
Sluis Panheel	Nieuw	154,6	12,6	Puntdeuren	
	Oud	153	7,5	Puntdeuren	
Sluis Weurt	West	260	15,7	Hefdeuren	
	Oost	260	15,7	Roldeuren	
Sluis St. Andries	1	110	14	Hefdeuren	
Sluis Empel	1	115,5	12,6		
Wilhelminasluis Andel	1	100	19		

### 2.1.3 Technische mankementen bij sluizen

Door storingen zijn diverse sluizen op de Maas regelmatig gestremd. Deze storingen zouden veroorzaakt worden door achterstallig onderhoud (Lieveense, 2020). Een voorbeeld hiervan is de stremming van de westkolk van Sluis Belfeld in verband met lekken van hydraulische vloeistof (vanaf november 2018 tot heden<sup>7</sup>). Ook bij andere sluizen van de Maas wordt regelmatig bericht gegeven van storingen.

<sup>6</sup> In deze studie is gerekend met een westkolk (137,5 bij 15,5) en een oostkolk (193 x 13,5) zoals gespecificeerd in FIS. Pas na de definitieve versie (v1.0) van dit document zijn de dimensies uit deze tabel gevonden. De berekeningen zijn hierop niet opnieuw uitgevoerd.

<sup>7</sup> <https://vaarweginformatie.nl/frp/main/#/nts/FTM/Rijkswaterstaat-2018-11643>

Door Koninklijke BLN-Schuttevaer werden bijvoorbeeld voor de eerste 2,5 maanden van 2019 al ruim 140 stremmingen op de Maas gevonden<sup>8</sup>. In een ander bericht wordt zelfs gesproken over acht tot negen stremmingen per dag op de Maasroute<sup>9</sup>. Deze storingen geven hinder en ergernis bij de binnenvaartsector.

## 2.2 Scheepvaart op de Maas

Deze paragraaf bevat een analyse van de huidige scheepvaart op de Maas. Op alle aansluitingen op de Maas worden bij de sluizen de passages van binnenvaart geregistreerd in IVS90. Evenals in eerdere studies van KBN (De Jong, 2020c) wordt gebruik gemaakt van de IVS90-gegevens zoals opgeslagen in de BIVAS-database.

### 2.2.1 Scheepvaartintensiteit en vlootopbouw bij sluizen

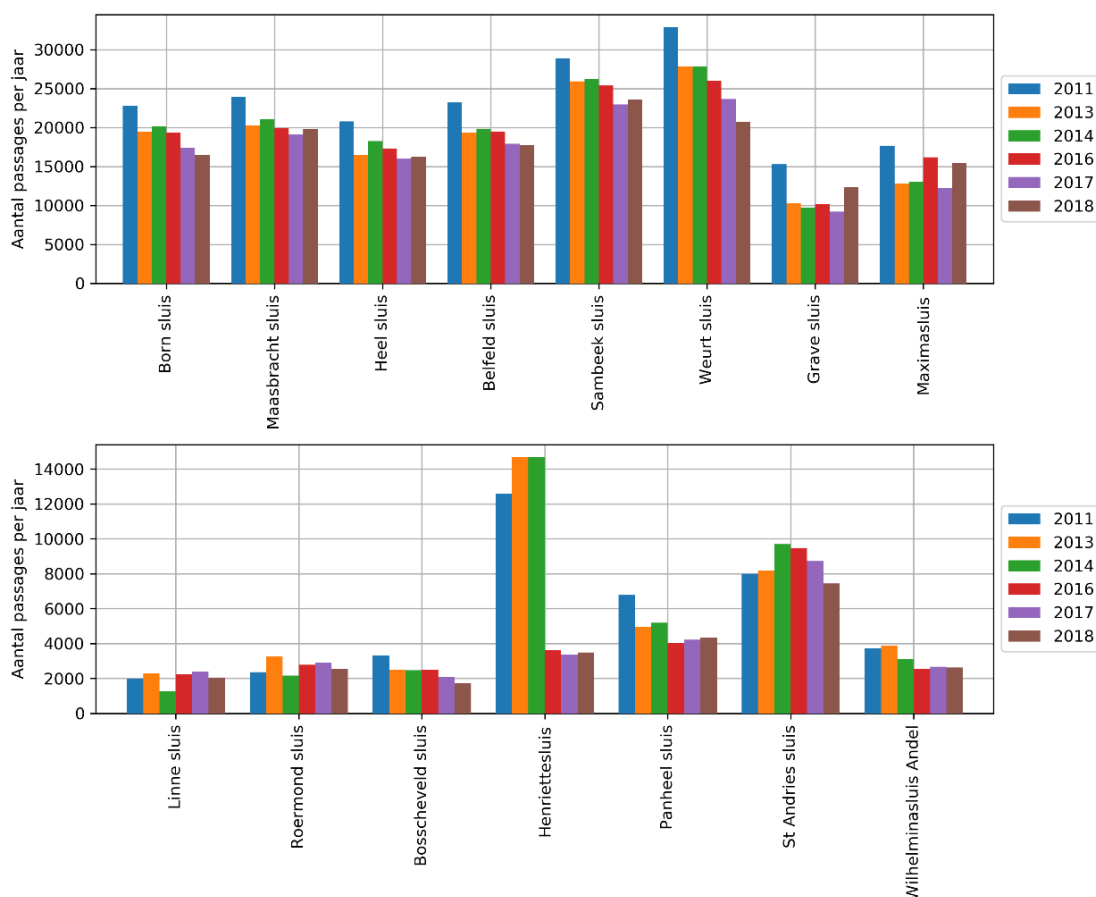
Voor 15 sluizen in en langs de Maas is in Figuur 2-3 voor de periode 2011 tot 2018 het aantal scheepspassages bij de sluizen gegeven:

- Bij de noordelijke corridor (de sluiscomplexen Weurt en Sambeek) zijn de meeste scheepspassages geteld. In zuidelijke richting (Belfeld, Heel) neemt het aantal passages per sluiscomplex af. Bij de ingang van het Julianakanaal (Maasbracht) is er weer een iets groter aantal passages, gevolgd door weer een lichte afname in het aantal passages in zuidelijke richting (Born). Alle genoemde sluizen hebben in de periode van 2014 tot 2018 een afname in het aantal passages oplopend tot ruim 20%.
- Op de west-oostcorridor (Grave en Lith/Maximasluizen) is de intensiteit minder dan de helft dan via het Maas-Waalkanaal. Voor de scheepvaart bevat deze route meer sluizen en capaciteit tot slechts klasse Va (bij Grave).
- De overige sluizen (onderste deelfiguur) laten veel minder passages zien. De sluizen bij Linne en Roermond worden enkel gebruikt voor scheepvaart naar de havens van Roermond.
- De sluizen bij Bosscheveld (bij Maastricht), bij de Henriëtteluis (Den Bosch, Dieze) en Panheel (bij Heel) geven de aansluiting naar de Brabantse Kanalen (Zuid-Willemsvaart). Sinds 2014 is het Maximakanaal met (o.m.) sluis Empel in gebruik genomen, die de grotere schepen van de Henriëtteluis overneemt. Van sluis Empel zijn geen gegevens in deze database afwezig, maar volgens Lieveense (2020) gaat het om ongeveer 7500 passages per jaar. In NIS<sup>10</sup> staat vermeld: 7.516, 7.826, 8.465, 8.780, en 9.248 passages in respectievelijk de jaren 2019, 2018, 2017, 2016 en 2015.
- De sluizen bij St. Andries en Andel (Afgedamde Maas) geven een verbinding met de Rijntakken.

<sup>8</sup> <https://www.schuttevaer.nl/nieuws/havens-en-vaarwegen/2019/04/11/overal-waar-u-vaart-nu-al-ruim-140-stremmingen/>

<sup>9</sup> <https://aqualink.biz/sluizenleed-maas-moet-over-een-jaar-deels-voorbij-zijn/>

<sup>10</sup> NIS = Netwerkmanagement Informatie Systeem, alleen toegankelijk voor medewerkers van Rijkswaterstaat. Passages Empel door Rijkswaterstaat aangeleverd.

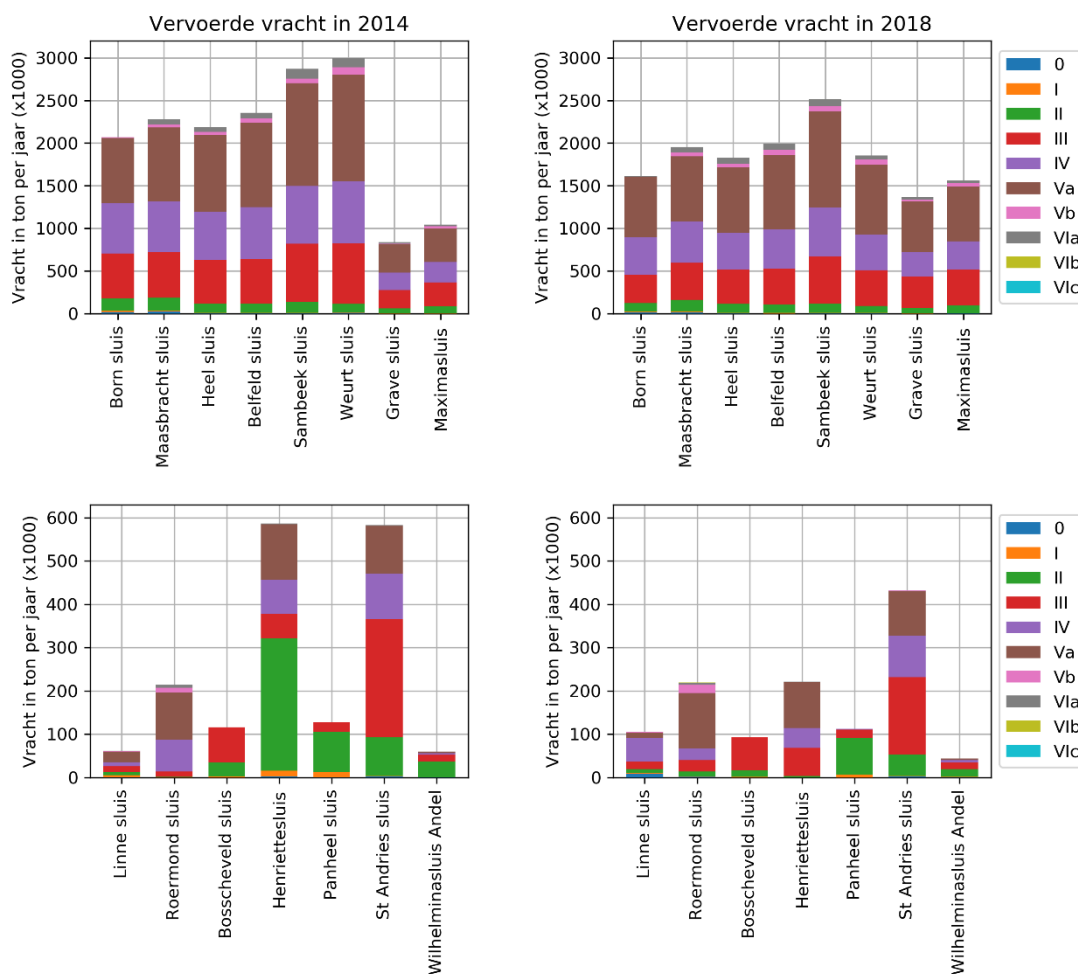


Figuur 2-3 Aantal scheepspassages per jaar (zonder recreatievaart).

In Figuur 2-4 is een opdeling naar CEMT-klasse van de passerende schepen gegeven bij alle sluizen voor de jaren 2014 en 2018:

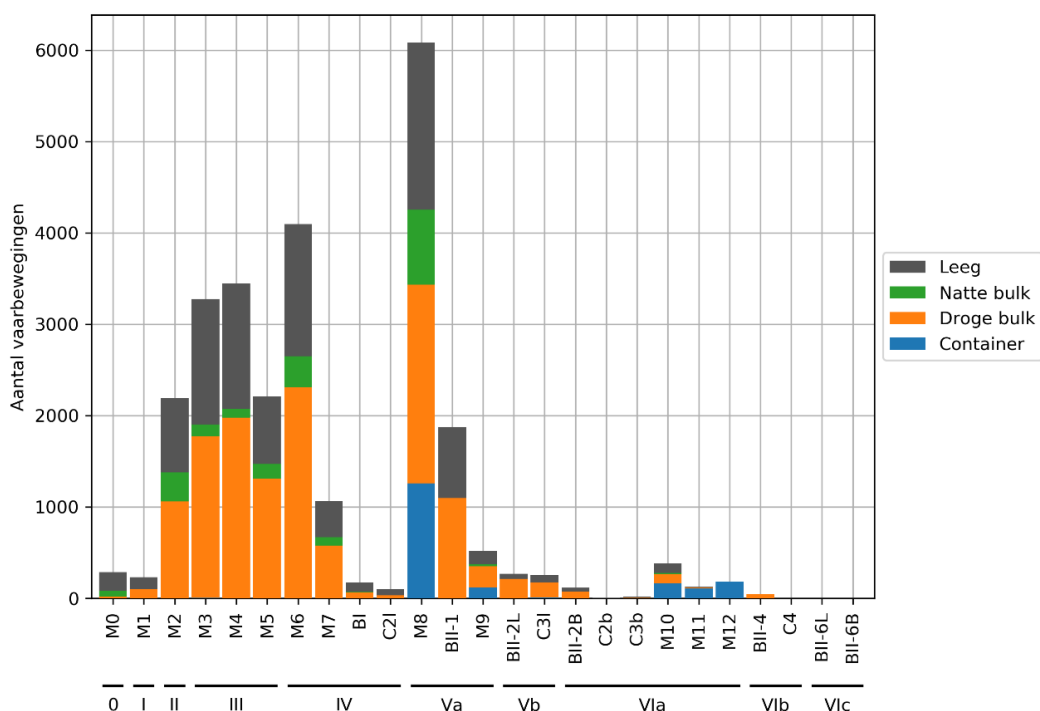
- Op de Maasroute wordt ongeveer 30% van de vracht vervoerd met klasse III of kleinere schepen. Nog eens 20% tot 30% wordt vervoerd met klasse IV schepen. Schepen van klasse Va worden het meest ingezet (ongeveer 40%).
- Ook grotere schepen zijn al te vinden op de Maas, ondanks dat de opwaardering naar Vb nog niet is afgerond voor delen van de Maasroute. Bij Weurt (Maas-Waalkanaal) tot Maasbracht is 5 à 6% van alle vracht vervoerd met klasse Vb of groter. Bij Born komen deze schepen in 2014 en 2018 nog niet voor.
- De vracht vervoerd via Grave en Lith (Maximasluizen) is in 2014 slechts 30% ten opzichte van de rest van de Maasroute. In 2018 is tijdens de droogte het aantal passages en de vervoerde vracht door deze sluizen een veel groter aandeel. Op de reactie tijdens deze droogte wordt verder ingegaan in sectie 2.2.3. Ook bij deze sluizen wordt (ondanks de beperkende sluisdimensies) 3 tot 4% klasse Vb schepen en groter waargenomen.
- Bij de overige sluizen (onderste deelfiguren) wordt een groter deel van het transport met kleinere schepen uitgevoerd. Een groot deel van de Brabantse Kanalen kan slechts bevaren worden tot klasse II-schepen.





Figuur 2-4 Vracht (in ton) vervoerd via de sluizen in en rondom de Maas in 2014 (links) en 2018 (rechts).

Een verdere uitsplitsing van de scheepvaartklassen is gegeven in Figuur 2-5 voor de passages bij Sambeek. Hieruit blijkt de opdeling tussen de motorschepen (M..), de duwstellen (B..) en de koppilverbanden (C..). Het grootste deel van de vaarbewegingen op de Maas wordt met motorschepen (met name M8, "Groot Rijnschip") uitgevoerd. Slechts een klein deel wordt uitgevoerd met duwstellen (met name BII-1 en BII-2L: "2-bakduwstellen lang").



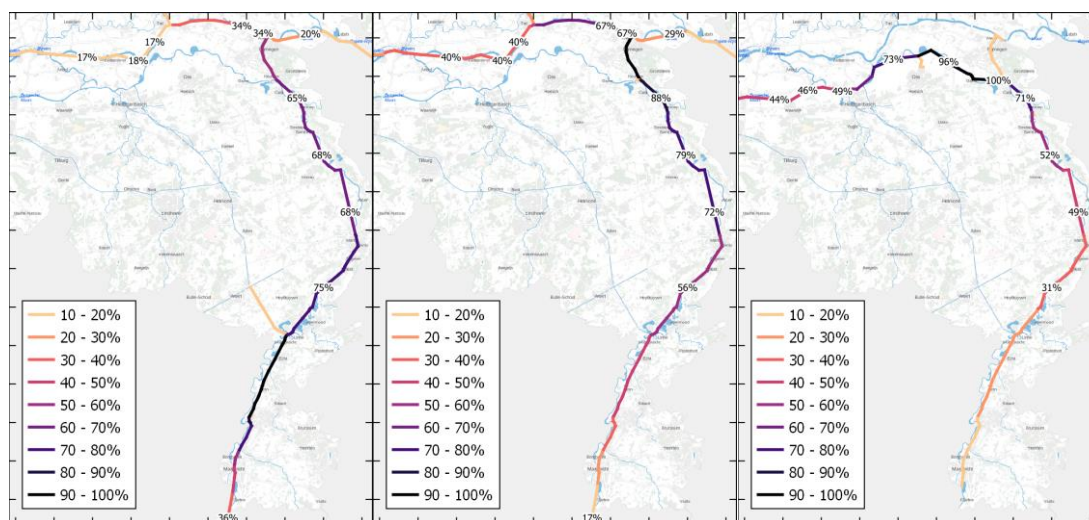
Figuur 2-5 Verdere uitsplitsing van scheepvaartklassen op de Maasroute (ter hoogte van Sambeek) in 2014.

## 2.2.2 Vaarwegintensiteit en havens op de Maas

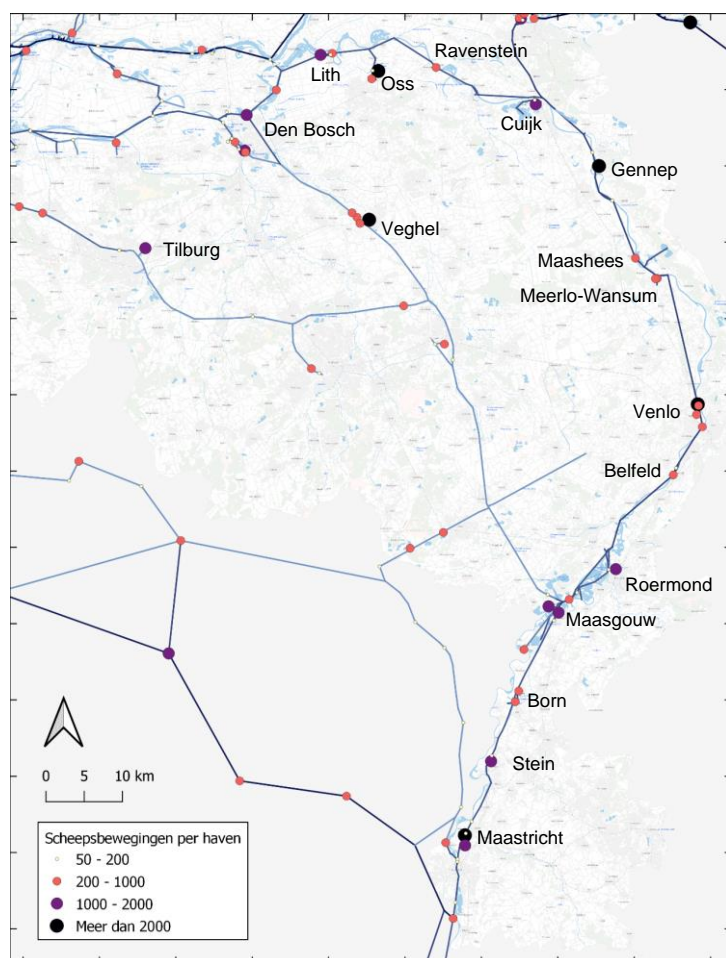
Schepen op de Maas hebben bestemmingen op de Maas, alsook bestemmingen in België en Duitsland. In Figuur 2-6 is een inschatting gemaakt van de routekeuze voor de passerende schepen bij drie locaties: Julianakanaal, Maas-Waalkanaal en Grave (als Oost-Westcorridor). De vaarbewegingen bij zo'n locatie tellen als 100% en nemen af naarmate men verder verwijderd is van deze locatie, omdat verschillende routekeuzes gemaakt worden en omdat de bestemming wordt bereikt. Onderscheid in de vaarrichting is in deze figuren niet meegenomen. Uit de figuren zijn de volgende conclusies te trekken:

- Van de schepen op het Julianakanaal vaart 54% over de Waal. Hiervan gaat/komt 34% richting het westen, en 20% richting het oosten (12% naar Duitsland). In zuidelijke richting passeert nog maar 47% Maastricht, en komt/gaat 36% naar België.
- Van de schepen door het Maas-Waalkanaal vaart op de Waal nog 67% van/naar het westen en 29% het oosten (17% naar Duitsland). In zuidelijke richting is nog 79% van de schepen bij Sambeek, 56% bij Roermond, 47% bij Born en 17% bij Ternaaien (naar België).
- Van de schepen bij Grave (Oost-Westcorridor) vaart 12% van deze schepen op het Maas-Waalkanaal, nog 34% bij Venlo en nog 19% op het Julianakanaal. Geen van de schepen komen/gaan naar Duitsland of België.

Deze gegevens laten bovendien zien dat veel reizen slechts over kortere afstand plaats vinden. Dit in tegenstelling tot de Waal waar het merendeel van de schepen van of naar Duitsland gaat. In Figuur 2-7 zijn de (grotere) havens langs de Maas weergegeven. De grootste havens bevinden zich bij Maastricht, Maasgouw (o.m. Maasbracht en Born), Roermond, Venlo, Gennep, Cuijk, Oss, Lith en Den Bosch. De grootte van de markering geeft het tonnage dat naar deze havens vervoerd wordt (bestemming). Voor veel vervoersstromen is daarentegen ook de herkomst van de vracht vanaf de havens langs de Maas. Alleen tonnages met betrekking tot bestemming, niet herkomst, is in deze figuur weergegeven.



**Figuur 2-6** *Inschatting van de routekeuze op basis van modelsimulatie Q1800 uit De Jong (2020c)<sup>11</sup>. Het basispunt (het 100%-punt) voor de figuren is Julianakanaal (links), Maas-Waalkanaal (midden) en Grave/Oost-Westcorridor (rechts). Het percentage op de overige vaarwegen is het aantal schepen dat hier passeert ten opzichte van de 100%.*



**Figuur 2-7** *Havens op de Maas met de scheepsbewegingen per haven.*

<sup>11</sup> In de routekeuze in simulatie Q1800 uit De Jong (2020) is geen gebruik gemaakt van de routegegevens in het IVS90, maar door BIVAS zelf een route uitgerekend tussen herkomst en bestemming. Doordat op de gegeven routes meerdere sluisen gepasseerd worden, wordt in IVS90 de route van de vaarbewegingen vrij nauwkeurig vastgelegd. Deze informatie kan gebruikt worden om routekeuze (en dus de betrouwbaarheid van de gegeven data) te verbeteren.

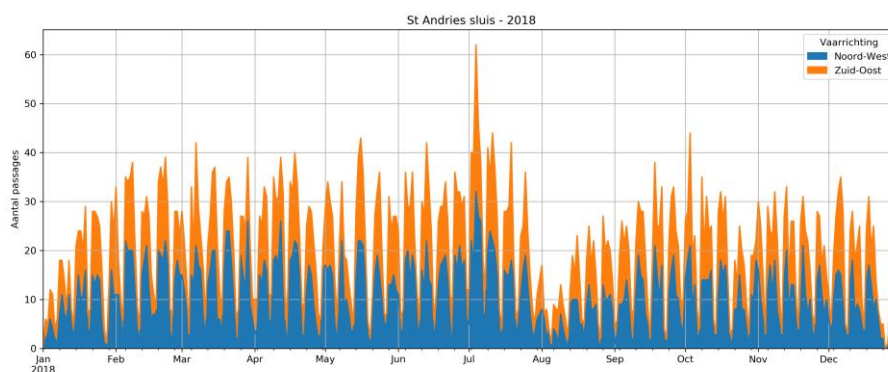
### 2.2.3 Scheepvaartreactie ten tijde van droogte

In de studie van KBN naar de droogte op de Rijntakken is een beknopte analyse van tijdseries in IVS90-registraties uitgevoerd (De Jong, 2020c). Hierbij is ook de reactie van de Maas behandeld. De analyse is hier voor de volledigheid vrijwel integraal overgenomen.

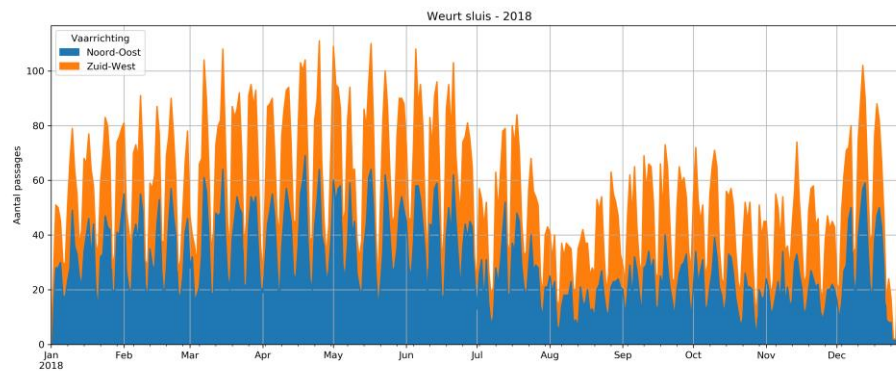
In onderstaande figuren staan de verbindingen tussen Waal en Maas bij St. Andries (figuur 2-8) en Weurt (Maas-Waalkanaal, figuur 2-9) en de sluizen bij de stuwen op de Maas bij Lith (Maximasluizen, figuur 2-10), Grave (figuur 2-11) en Sambeek (figuur 2-12). Uit de figuren blijkt duidelijk de afname tijdens de (zomer)vakanties en de feestdagen.

Tijdens de droge periode in het najaar van 2018 zijn bij de sluizen de volgende reacties zichtbaar:

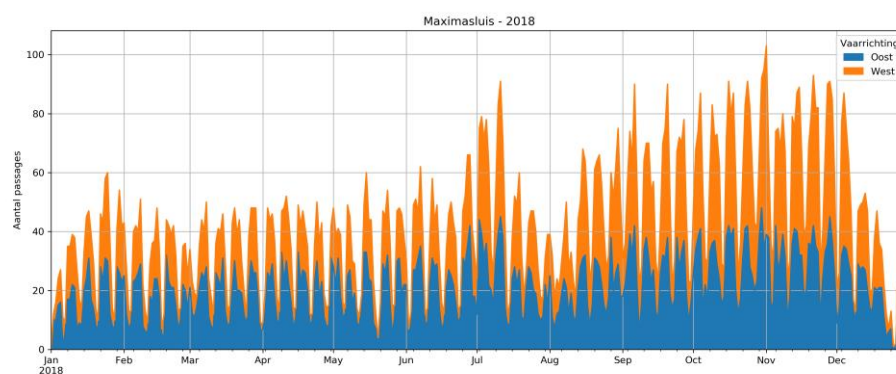
- Bij de sluis van St. Andries nam het aantal scheepspassages tijdens de droge periode in het najaar beperkt af. De afname in augustus wordt vermoedelijk veroorzaakt door de zomervakantie (de bouwvakantie). Ook in 2017 was er gedurende deze periode meer dan een halvering van het aantal passages.
- Bij sluis Weurt (Maas-Waalkanaal) is een grote afname van het aantal passages in de droge periode. Veel M8 schepen (Groot Rijschip) namen tijdens lage afvoeren de route via de oost-westcorridor van de Maas waarop een grotere diepgang mogelijk is dan op de Waal (en de voorhaven van Weurt). Daarnaast waren er van 8 juni tot 10 juli 2018 werkzaamheden bij Weurt waardoor enkel de oostkolk gebruikt kon worden. Door de hoge drempel van deze oostkolk (zie ook De Jong en Van der Mark, 2020) werd door veel schepen (vanuit Duitsland) omgevaan via St. Andries (in juli) en via de Amer en Bergsche Maas (vanaf augustus).
- Bij de Maximasluizen (bij stuw Lith) en sluis Grave nam het aantal passages significant toe tot bijna een verdubbeling. Dit zijn vooral omvarende schepen die Weurt niet konden passeren.
- Vanaf sluis Sambeek is er weinig effect van de droge periode zichtbaar. Het aantal vaarbewegingen naar de Zandmaas (Venlo, Roermond, Julianakanaal) nam niet of nauwelijks toe. Omdat schepen vanaf de Waal met een lagere beladingsgraad hebben moeten varen in oktober en november, zal de vervoerde lading over de Maas dus zijn afgenomen. Dit blijkt ook uit figuur 2-13. Met name de vracht vervoerd door Va-schepen was in het najaar minder. Een verplaatsing vanaf overslaghavens op de Rijn naar overslaghavens op de Maas (bij Roermond en Venlo), zoals soms wordt gemeld, is in IVS90-registraties niet (significant) aanwezig.



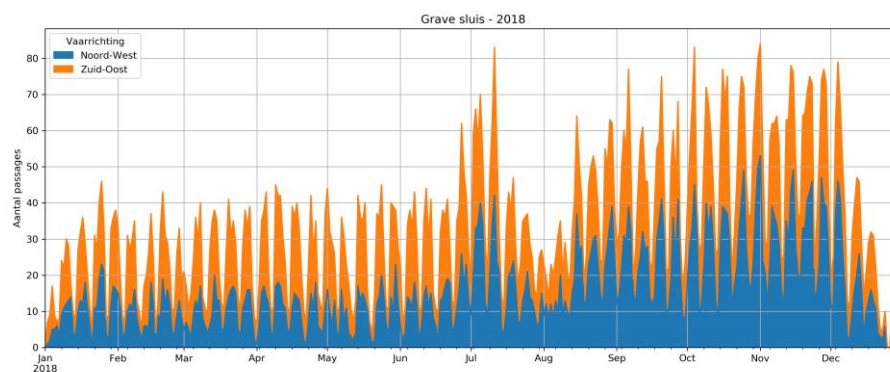
Figuur 2-8 Aantal scheepspassages bij sluis St. Andries (kanaal van St. Andries).



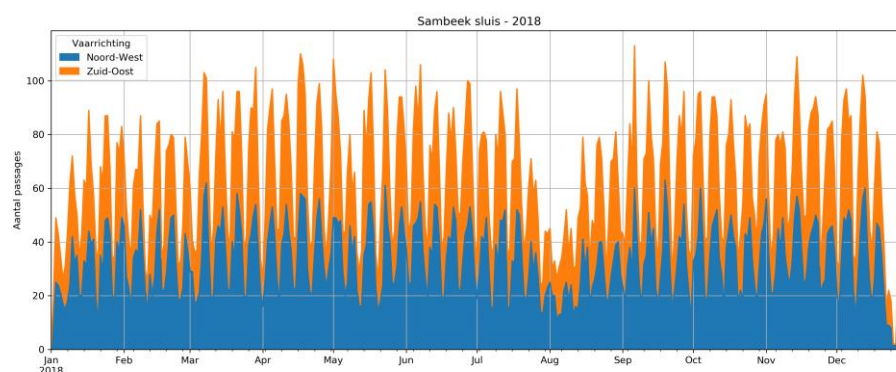
Figuur 2-9 Aantal scheepspassages bij sluis Weurt (Maas-Waalkanaal).



Figuur 2-10 Aantal scheepspassages bij de Maximasluizen bij stuw Lith (Maas, benedenstrooms van Grave).

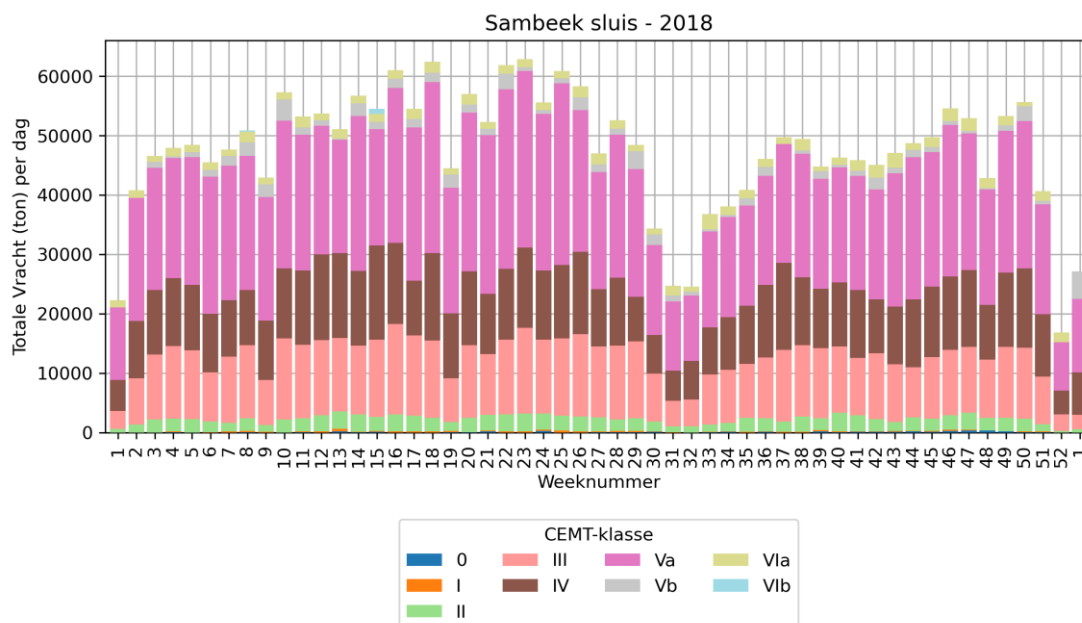


Figuur 2-11 Aantal scheepspassages bij sluis Grave (Maas, tussen Lith en Maas-Waalkanaal).



Figuur 2-12 Aantal scheepspassages bij sluis Sambeek (Maas, bovenstrooms van Maas-Waalkanaal).





Figuur 2-13 Vervoerde vracht bij de sluis Sambeek, gegroepeerd per CEMT-klasse van de schepen.

## 2.2.4 Toekomstige scheepvaart op de Maas

Als laatste analyse van de vrachtvervoerende scheepvaart wordt in deze paragraaf een verwachting gegeven van de vracht en intensiteit van de binnenvaart op de Maas. In het project KBN wordt hiervoor gebruik gemaakt van de verwachtingen volgens de WLO2050-scenario's, zoals deze gespecificeerd zijn voor de scheepvaart door Rijkswaterstaat (2017).

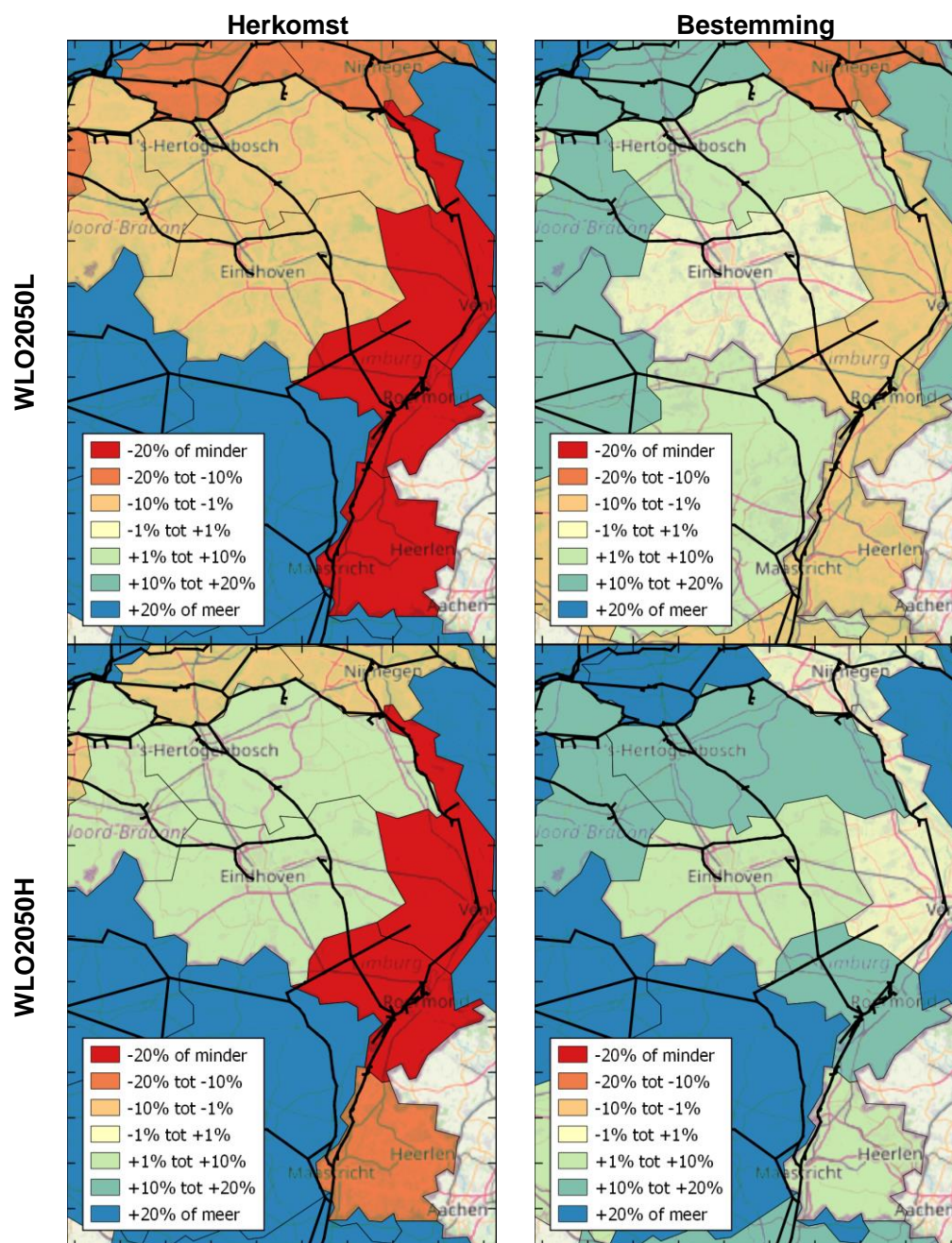
De verwachtingen worden gegeven voor een laag (L) en een hoog (H) scenario. Voor beide scenario's is gekeken naar de verandering in vervoerde vracht voor de regio's rondom de Maas (Figuur 2-14) en de verandering in vaarwegintensiteit (Figuur 2-15).

De verwachting volgens het scenario WLO2050L is dat de vervoerde vracht vanaf havens aan de Maas af neemt met 25 tot 40% en de vracht naar havens aan de Maas afneemt met 5 tot 10%. Door de schaalvergroting van de binnenvaart als gevolg van de algemene trends en de opwaardering van de Maasroute naar klasse Vb is in dit scenario de afname in het aantal reizen naar de Maas nog groter. Door een toename van het vrachtaanbod in België is in berekeningen van de NMCA de vaarwegintensiteit ongeveer gelijk aan de huidige situatie.

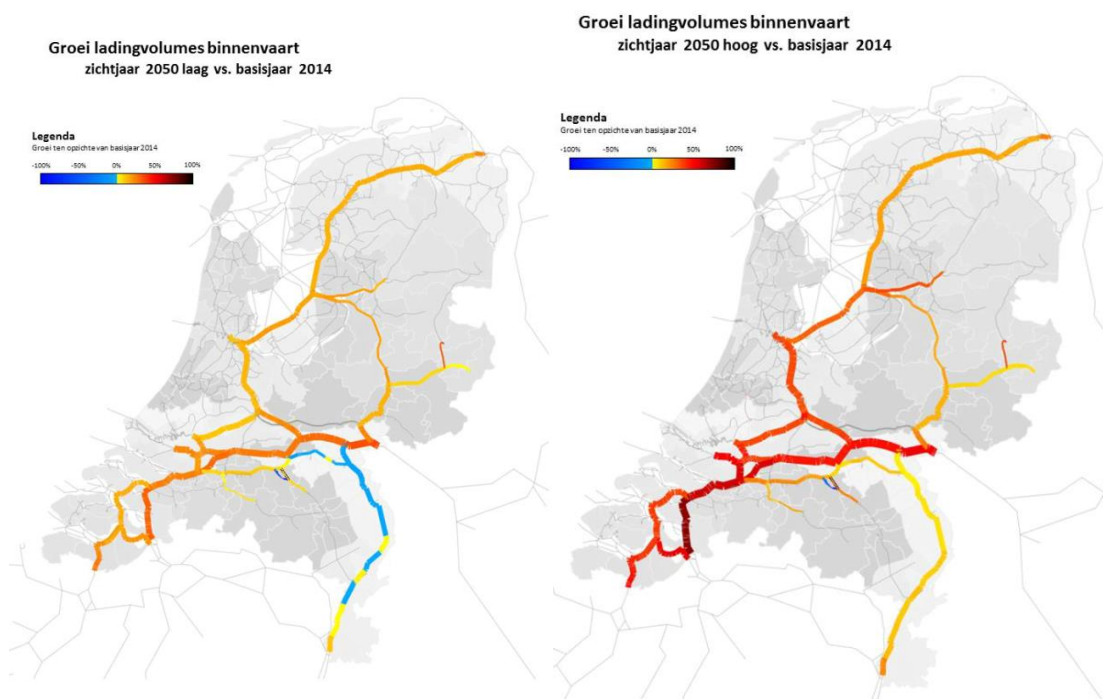
De verwachting volgens het scenario WLO2050H geeft ook een forse afname in vrachtaanbod op de Maas (-15 tot -30 %), maar een lichte groei in vrachttransport naar de havens langs de Maas (+0 tot 15%). Volgens dit scenario is er een toename in de vaarwegintensiteit van ongeveer 10%.

Er worden echter ook twijfels genoemd naar de accuraatheid van de WLO-voorspellingen. Zo zou er onvoldoende rekening gehouden worden met de potentie van de Maas door de aankomende opwaardering van de Maasroute en het vaker voorkomen van beperkende vaardiepten op de Waal. Deze trend is nu nog niet meetbaar in het totaal van scheepsregistraties, maar blijkt wel uit individuele voorbeelden, zoals aangeleverd door RWS-ZN<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Door RWS-ZN zijn de volgende potenties voor groei op de Maas genoemd. Er is potentie in Limburg om 160.000 ton afval over water te vervoeren. DSM Chemelot verwacht een toename in de aanvoer van grondstoffen over water van 1,7 miljoen ton. Er loopt een casus voor bietentransport van Suikerunie (Limburg naar Moerdijk) via water (820.000 ton). Er is groei van container transport vanuit Roermond (Alexander Haven) van 2 TEU (2015) naar 15.000 TEU (2019).



Figuur 2-14 Groei in transport naar regio's in de scenario's WLO2050L en WLO2050H ten opzichte van 2014 (indeling volgens basgoed2018/nuts3).



Figuur 2-15 Verwachte groei in ladingvolumes in 2050 volgens scenario's 2050\_Laag en 2050\_Hoog. Bron: Rijkswaterstaat (2017).

## 2.2.5 Recreatievaart

Voor veel sluizen op en rond de Maas vormt de recreatievaart een belangrijk aandeel van de passages. In de eerdere figuren is de recreatievaart niet meegenomen. In Tabel 2-5 is het aandeel van de recreatievaart voor de sluizen in en om de Maas overgenomen uit de NMCA-studie van Rijkswaterstaat (2017). Dit betreft het jaarlijks gemiddelde aandeel en houdt dus geen rekening met seizoensvariatie. Doordat in de zomer de binnenvaart licht afneemt en de recreatievaart significant toe neemt, is het aandeel gedurende de zomer veel hoger.

De verwachtingen voor 2050 geven een afname in de recreatievaart. Bij lage economische groei een afname met 33%, bij hoge economische groei een afname met 18% (Waterrecreatie advies BV, 2016; Rijkswaterstaat, 2017).

Tabel 2-5 Aandeel recreatievaart in 2014 (overgenomen uit Rijkswaterstaat, 2017).

Sluisnaam	Aantal passages	Aandeel van totale passages
Belfeld	7.962	28%
Born	4.29	17%
Grave	9.819	49%
Heel	4.05	18%
Maasbracht	4.49	17%
Sambeek	10.166	27%
St. Andries	4.388	30%
Weurt	4.544	14%
Sluis Empel	2.023	18%
Sluis Hagestein	6.638	46%
Sluis Panheel	2.711	34%



## 3 Kwetsbaarheid

### 3.1 Inleiding

De software BIVAS is niet geschikt om de kwetsbaarheid van sluizen voor een lagere waterbeschikbaarheid te onderzoeken. Bij zeer lage afvoeren wordt overgegaan op een gewijzigd schutregime om water te besparen. Deze koppeling tussen afvoer en schutregime wordt niet gemodelleerd in BIVAS, waardoor de wachttijden bij lage afvoeren zullen worden onderschat. Daarnaast wordt in BIVAS voor de berekening van de overligtijd een vereenvoudigde functie gebruikt<sup>13</sup> waarin een aantal aspecten niet meegenomen worden en waarvan de bron onduidelijk is. De overligtijd hangt niet alleen af van de intensiteit-capaciteit verhouding en het aankomstproces (de BIVAS-functie), maar is eveneens afhankelijk van de sluisafmetingen. Iedere sluis heeft zijn eigen overligtijd – I/C curve (Kooman & De Bruijn, 1975), maar in BIVAS lijkt voor iedere sluis dezelfde curve gehanteerd te worden.

Een betere inschatting van wachttijden en kwetsbaarheid bij beperkte waterbeschikbaarheid kan gemaakt worden met behulp van de SIVAK-software. In de nationale markt- en capaciteitsanalyse (NMCA) wordt SIVAK gebruikt om voor toenemende intensiteit de wachttijd te bepalen (Rijkswaterstaat, 2017), maar er worden in de NMCA geen simulaties gedaan voor een lagere waterbeschikbaarheid. In een eerdere studie (Bolt, 2003) is SIVAK wel toegepast om de toenemende wachttijd bij lagere waterbeschikbaarheid te bepalen; deze studie is waarschijnlijk gedateerd.

Binnen KBN-HVWN wordt een aanpak in twee stappen doorlopen:

- 1 Quick scan op kwetsbaarheid voor waterbeschikbaarheid voor alle sluizen in de Maas. Hierbij wordt het mogelijke aantal schuttingen per week, uitgaande van de waterbeschikbaarheid ( $m^3$ ) vergeleken met het benodigde aantal schuttingen per week. De verhouding hiertussen voor verschillende afvoerniveaus geeft aan hoe kwetsbaar een sluiscomplex is voor de waterbeschikbaarheid.
- 2 Voor de sluizen die volgens de quick scan als kwetsbaar worden geïdentificeerd, worden vervolgens SIVAK-berekeningen uitgevoerd.

Dit memo behandelt de quick scan. De SIVAK-berekeningen worden in een ander document gerapporteerd.

### 3.2 Aanpak quick scan

De aanpak van de quick scan is als volgt:

- 1 Bepaling mogelijk aantal schutcycli op basis van waterbeschikbaarheid:
  - a Bepaal het schutverlies per complex per schutcyclus ( $m^3$ /cyclus);
  - b Bepaal de waterbeschikbaarheid bij het schutcomplex ( $m^3$ /week) per afvoerniveau (te weten 10, 15, 20, 25 en 44  $m^3/s$  bij St Pieter; De Jong, 2020b);
  - c Bepaal het mogelijk aantal cycli per week op basis van waterbeschikbaarheid.
- 2 Bepaling benodigd aantal schutcycli:
  - a Bepaal per sluiscomplex het aantal passages per week;
  - b Bepaal de bezetting van de kolk (aantal schepen dat per cyclus kan worden geschut);
  - c Bepaal het benodigd aantal cycli per week op basis van intensiteit.
- 3 Bepaling verhouding benodigd en mogelijk aantal schutcycli per week.
  - a Vergelijk de verhouding voor de huidige situatie met de toekomstige situatie.

---

<sup>13</sup> <https://bivas.chartasoftware.com/Home/BIVASApplicatie/Documentatie/Wachttijdmodel/Tijd>

### 3.3 Stap 1: Mogelijk aantal schutcycli op basis van waterbeschikbaarheid

Met iedere schutcyclus wordt een hoeveelheid water verloren (zie bijv. Molenaar et al, 2011):

$$V = L B \Delta h + W_{up} - W_{down} \quad (\text{vergelijking 1})$$

waarin:

- $V$  = hoeveelheid water dat verloren wordt met een schutcyclus ( $\text{m}^3$ )
- $L$  = lengte van de kolk (m)
- $B$  = breedte van de kolk (m)
- $\Delta h$  = verval (m)
- $W_{up}$  = hoeveelheid water dat wordt verplaatst door schepen die naar bovenstrooms varen ( $\text{m}^3$ )
- $W_{down}$  = hoeveelheid water dat wordt verplaatst door schepen die naar benedenstrooms varen ( $\text{m}^3$ )

In deze analyse zijn  $W_{up}$  en  $W_{down}$  gelijk verondersteld, en het verval niet afvoerafhankelijk. Het totale schutverlies per schutcyclus bij een sluiscomplex is vervolgens bepaald als de som van het verlies van de afzonderlijke kolken (Tabel 3-1). Dit zijn de schutverliezen in het geval er geen waterbesparende maatregelen worden uitgevoerd zoals hevelend schutten, inzet van spaarbekkens of door het compenseren met terugpompen.

Tabel 3-1 Bepaling schutverlies per sluiscomplex aan de hand van kolkafmetingen en het verval.

Sluis	Kolk	Lengte (m)	Breedte (m)	Oppervlak ( $\text{m}^2$ )	Verval (m)	Schutverlies per kolk per schutcyclus ( $\text{m}^3$ )	Schutverlies per complex per schutcyclus ( $\text{m}^3$ )
<b>Born</b>	West	136	16	2.176	11,35	24.698	91.345
	Midden	225	16	3.600	11,35	40.860	
	Oost	142	16	2.272	11,35	25.787	
<b>Maasbracht</b>	West	142	16	2.272	11,85	26.923	96.506
	Midden	142	16	2.272	11,85	26.923	
	Oost	225	16	3.600	11,85	42.660	
<b>Heel *)</b>	West	137,5	15,5	2.131	6,7	14.279	31.736
	Oost	193	13,5	2.605	6,7	17.457	
<b>Belfeld</b>	West	142	16	2.272	3,25	7.384	27.300
	Midden	142	16	2.272	3,25	7.384	
	Oost	241	16	3.856	3,25	12.532	
<b>Sambeek</b>	West	142	16	2.272	3,25	7.384	27.170
	Midden	142	16	2.272	3,25	7.384	
	Oost	238,5	16	3.816	3,25	12.402	
<b>Grave</b>	Kolk 1	142	16	2.272	2,6	5.907	5.907
<b>Prinses Maxima Sluizen (Lith)</b>	Zuid	120	14	1.680	3,9	6.552	20.592
	Noord	200	18	3.600	3,9	14.040	
<b>Linne</b>	Kolk 1	265,2	16	4.243	4,05	17.185	17.185
<b>Roermond</b>	Kolk 1	260	16	4.160	2,65	11.024	11.024
<b>Panheel</b>	Nieuw	154,6	12,6	1.948	7,7	14.999	23.835
	Oud	153	7,5	1.148	7,7	8.836	

\*) Zie de voetnoot bij Heel in Tabel 2-4.

We beschouwen de afvoerniveaus  $Q = 10, 15, 20, 25$  en  $44 \text{ m}^3/\text{s}$  bij St Pieter. De waterbeschikbaarheid bij een sluiscomplex ( $\text{m}^3/\text{week}$ ) per afvoerniveau is tot stand gekomen door eerst de afvoeren op het begin van de verschillende vaarwegtakken te bepalen aan de hand van (a) het Maasafvoercontract, (b) de gegevens uit Raadgever (2004) en (c) het doortrekken van trends naar de lagere afvoeren. Het Maasafvoercontract alleen geeft onvoldoende informatie, omdat niet alle vaarwegen hierin zijn opgenomen en hierin geen toestroming, wegzijging en lozingen en onttrekkingen zijn meegenomen. De afvoeren op de verschillende vaarwegen zijn opgenomen in Bijlage A.1 (Tabel A-1). Vervolgens volgt de afvoer ter plaatse van een sluis uit interpolatie van Tabel A-1, en omrekening van  $\text{m}^3/\text{s}$  in  $\text{m}^3/\text{week}$ .

Het mogelijk aantal cycli per week op basis van waterbeschikbaarheid (Tabel 3-2, blauw) is bepaald door het schutverlies te delen door de afvoer bij de sluis (Tabel 3-2, groen). Al het aangevoerde water wordt dan gebruikt om te schutten. Het mogelijk aantal cycli neemt logischerwijs toe met de afvoer. Bij sluis Born kan bijvoorbeeld 19,9 keer een schutcyclus doorlopen worden als de afvoer bij St. Pieter  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  is en dit loopt op naar 107,9 keer bij een afvoer van  $44 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tabel 3-2 Totaal schutverlies, waterbeschikbaarheid en aantal cycli per week per complex en per afvoerniveau (alle kolken).

Sluis	Schutverlies totaal per schutcyclus ( $\text{m}^3$ )	Waterbeschikbaarheid bij sluis ( $\times 1000 \text{ m}^3/\text{week}$ ) bij een afvoer ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) bij St Pieter:					Mogelijk aantal cycli per week o.b.v. waterbeschikbaarheid bij een afvoer ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) bij St Pieter:				
		10	15	20	25	44	10	15	20	25	44
Born	91.345	1.814	2.238	2.419	3.750	9.858	19,9	24,5	26,5	41,1	107,9
Maasbracht	96.506	1.814	2.238	2.419	3.750	9.858	18,8	23,2	25,1	38,9	102,2
Heel	31.736	1.270	2.177	2.782	4.173	5.383	40,0	68,6	87,7	131,5	169,6
Belfeld	27.300	9.495	12.217	14.092	17.479	23.527	347,8	447,5	516,2	640,2	861,8
Sambeek	27.170	9.495	12.217	14.092	17.479	23.527	349,5	449,6	518,7	643,3	865,9
Grave	5.907	9.495	12.217	14.092	17.479	23.527	1.607,4	2.068,1	2.385,5	2.958,9	3.982,7
Prinses Maxima (Lith)	20.592	9.495	12.217	14.092	17.479	23.527	461,1	593,3	684,3	848,8	1.142,5
Linne	17.185	2.540	4.355	5.564	7.620	12.459	147,8	253,4	323,8	443,4	725,0
Roermond	11.024	2.540	4.355	5.564	7.620	12.459	230,4	395,0	504,7	691,3	1.130,2
Panheel	23.835	1.512	1.633	1.693	1.875	1.693	63,4	68,5	71,0	78,7	71,0

### 3.4 Stap 2: Benodigd aantal schutcycli

Het aantal scheepspassages per week (Tabel 3-3) is afgeleid van het gemiddeld aantal scheepspassages per jaar voor de jaren 2011 t/m 2018. Dit gemiddelde is niet voor ieder jaar gelijk, er is gekozen om het maximum van de gemiddelden over de jaren toe te passen (meestal komt het maximum overeen met het jaar 2011, zie ook Figuur 2-3).

Tabel 3-3 Aantal scheepspassages per week.

Sluis	Aantal passages per week
Born	430
Maasbracht	453
Heel	393
Belfeld	439
Sambeek	547
Grave	289
Prinses Maxima (Lith)	334
Linne	44
Roermond	62
Panheel	128

Het maximaal aantal schepen dat in de kolk past, is bepaald aan de hand van de grafieken van Kooman & De Bruijn (1975). Bijlage A.2 bevat een voorbeeld (Figuur A-1). De Kooman-grafieken zijn tot stand gekomen met behulp van handsimulaties, computersimulaties en praktijkwaarnemingen. In de simulaties wordt een lange wachtrij gevormd van standaardschepen uit een zekere frequentieverdeling, waarbij de volgorde wordt bepaald door aselechte trekking. Er wordt gestreefd naar een maximum aantal schepen per schutting. Het resultaat van deze simulaties is een relatie tussen het maximum aantal schepen in de kolk ( $n_{\max}$ ) en het gemiddeld laadvermogen. Bij achtereenvolgende schuttingen met zo vol mogelijke kolken varieert het aantal schepen dat geschut wordt. De waarde  $n_{\max}$  is gedefinieerd als het gemiddelde aantal schepen per schutting voor een reeks van schuttingen met volbezette kolken.

Om het aantal schepen per schutting ( $n_{\max}$ ) af te kunnen lezen, is het gemiddeld laadvermogen benodigd en de afmetingen van de kolk. Het gemiddeld laadvermogen is bepaald aan de hand van gegevens uit DVS (2009). Hierin staan de aantallen en laadvermogens van de scheepsklassen die de sluisen passeerden in de jaren 2005 t/m 2008. Het gemiddeld laadvermogen geldt voor een gemiddeld schip dat het complex passeert, deze waarde wordt vervolgens voor alle kolken (indien er meerdere zijn) toegepast. Het maximaal aantal schepen in de kolk ( $n_{\max}$  Kooman in ) is afgelezen van de Kooman- grafieken. Het totaal aantal schepen dat in geval van meerdere kolken verwerkt kan worden per cyclus is gelijk aan de som van de afzonderlijke kolken, en dan vermenigvuldigd met 2 (op en neer schutten).

Het benodigd aantal schutcycli per week (Tabel 3-5) is tot slot verkregen door het aantal schepen per schutcyclus te delen door het aantal passages. Hierbij is een 100%, 70% en 50% kolkbezetting beschouwd. Als de kolk maar deels vol is, zijn meer schuttingen nodig om hetzelfde aantal passages te verwerken.

Tabel 3-4 *Gemiddeld laadvermogen en maximale kolkbezetting (voor schutten in 1 richting) op basis van Kooman & De Bruijn (1975). Lengte en breedte zijn nodig om de Kooman-grafieken af te lezen.*

Sluis	Kolk	Vaarweg	Lengte (m)	Breedte (m)	Gemiddeld laadvermogen (ton)	$n_{\max}$ (Kooman)	$n_{\max}$ totaal
Born	West	Julianakanaal	136	16	1097	2	7,5
	Midden		225	16	1097	3,5	
	Oost		142	16	1097	2	
Maasbracht	West	Julianakanaal	142	16	1209	2	7,5
	Midden		142	16	1209	2	
	Oost		225	16	1209	3,5	
Heel	West	Lateraalkanaal	137,5	15,5	1213	2	4,5
	Oost		193	13,5	1213	2,5	
Belfeld	West	Maas	142	16	1311	1,5	6
	Midden		142	16	1311	1,5	
	Oost		241	16	1311	3	
Sambeek	West	Maas	142	16	1321	1,5	6
	Midden		142	16	1321	1,5	
	Oost		238,5	16	1321	3	
Grave	Kolk 1	Maas	142	16	1045	2,5	2,5
Prinses Maxima (Lith)	Zuid	Maas	120	14	1115	1	5
	Noord		200	18	1115	4	
Linne	Kolk 1	Maas	265,2	16	752	7	7
Roermond	Kolk 1	Maas	260	16	1684	3	3
Panheel	Nieuw	Kanaal Wessem-Nederweert	154,6	12,6	498	4	7
	Oud		153	7,5	498	3	

Tabel 3-5 *Gemiddeld aantal passages per week en benodigd aantal cycli per week. Dit is bepaald voor een 100% bezetting (volle kolk), een 70% bezetting en 50% bezetting.*

Sluis	Gemiddeld aantal passages per week	100%		70%		50%	
		Bezetting (aantal schepen per cyclus geschut)	Benodigd aantal cycli per week	Bezetting (aantal schepen per cyclus geschut)	Benodigd aantal cycli per week	Bezetting (aantal schepen per cyclus geschut)	Benodigd aantal cycli per week
Born	430	15	29	11	39	8	54
Maasbracht	453	15	30	11	41	8	57
Heel	393	9	44	7	56	5	79
Belfeld	439	12	37	9	49	6	73
Sambeek	547	12	46	9	61	6	91
Grave	289	5	58	4	72	3	96
Prinses Maxima (Lith)	334	10	33	7	48	5	67
Linne	44	14	3	10	4	7	6
Roermond	62	6	10	5	12	3	21
Panheel	128	14	9	10	13	7	18

### 3.5 Stap 3: Ratio benodigd en mogelijk aantal schutcycli

De laatste stap is het bepalen van de verhouding tussen benodigd en mogelijk aantal schutcycli voor de verschillende afvoerniveaus en kolkbezetting. Het resultaat is weergegeven in Tabel 3-6.

Als er meer schuttingen nodig zijn dan er uitgevoerd kunnen worden vanwege beperkte waterbeschikbaarheid (verhouding groter dan 1), kan slechts een deel van de schepen geschut worden bij die betreffende afvoer. Pas bij een hogere afvoer kan de wachtrij weggewerkt worden. Als de verhouding bij alle beschouwde afvoerniveaus kleiner blijft dan 1, is een sluiscomplex in feite niet kwetsbaar voor beperkte waterbeschikbaarheid (tenzij in de toekomst een toename in intensiteit / toename in benodigd aantal schuttingen wordt verwacht). Als de verhouding benodigd versus mogelijk aantal schutcycli gedurende een aantal dagen per jaar groter is dan 1, kan een sluis als kwetsbaar worden aangemerkt. We hebben voor nu geen criterium gekozen voor deze mate van kwetsbaarheid (zoals "meer dan x dagen een verhouding groter dan y"), omdat er geen objectief beeld voorhanden is over wat nog acceptabel is. Deze quick scan toont welke sluizen het meest kwetsbaar zijn.

Tabel 3-6 *Ratio benodigd versus mogelijk aantal cycli voor de verschillende afvoerniveaus. Dit is bepaald voor een 100% kolkbezetting (volle kolk), een 70% bezetting en een 50% bezetting en zonder inzet van waterbesparende maatregelen.*

Sluis	Ratio benodigd/mogelijk # cycli per week 100% bezetting					Ratio benodigd/mogelijk # cycli per week 70% bezetting					Ratio benodigd/mogelijk # cycli per week 50% bezetting				
	10	15	20	25	44	10	15	20	25	44	10	15	20	25	44
Born	1,44	1,17	1,08	0,70	0,27	1,97	1,60	1,48	0,95	0,36	2,71	2,19	2,03	1,31	0,50
Maasbracht	1,61	1,30	1,20	0,78	0,30	2,19	1,78	1,64	1,06	0,40	3,01	2,44	2,26	1,46	0,55
Heel	1,09	0,64	0,50	0,33	0,26	1,40	0,82	0,64	0,43	0,33	1,96	1,15	0,90	0,60	0,46
Belfeld	0,11	0,08	0,07	0,06	0,04	0,14	0,11	0,09	0,08	0,06	0,21	0,16	0,14	0,11	0,08
Sambeek	0,13	0,10	0,09	0,07	0,05	0,17	0,14	0,12	0,09	0,07	0,26	0,20	0,18	0,14	0,11
Grave	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
Pr. Maxima (Lith)	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,10	0,08	0,07	0,06	0,04	0,14	0,11	0,10	0,08	0,06
Linne	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01
Roermond	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,09	0,05	0,04	0,03	0,02
Panheel	0,14	0,13	0,13	0,12	0,13	0,20	0,19	0,18	0,16	0,18	0,29	0,27	0,26	0,23	0,26

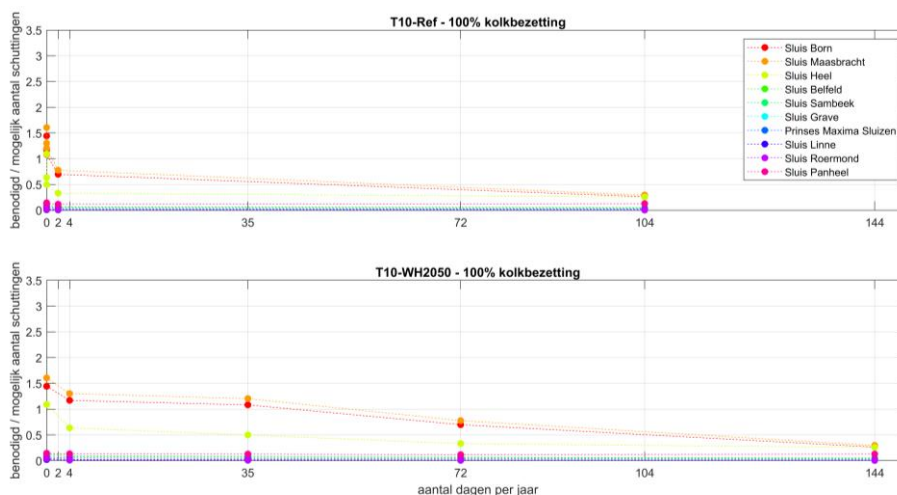
Door een koppeling te maken tussen de vijf afvoerniveaus en het aantal dagen dat die afvoer overschreden wordt, kan in beeld gebracht worden hoeveel dagen per jaar er in het huidige klimaat een probleem is en hoeveel dagen per jaar in een toekomstig klimaat (Figuur 3-1). De gegevens uit De Jong (2020b) worden hiervoor gebruikt. De T=10 is een droog jaar dat eens in de 10 jaar wordt overschreden. Dit is een goede maat voor een ernstige droogte. In het huidige klimaat (T10-Ref) wordt de 44 m<sup>3</sup>/s 104 dagen overschreden (lichte afvoertekorten) en het niveau 25 m<sup>3</sup>/s 2 dagen. Bij snelle klimaatverandering (W<sub>H</sub>) in 2050, zal dit toenemen tot 144 dagen overschrijding van 44 m<sup>3</sup>/s, 72 dagen overschrijding van 25 m<sup>3</sup>/s, 35 dagen onder 20 m<sup>3</sup>/s en 4 dagen onder 15 m<sup>3</sup>/s. Figuur 3-1 toont zowel voor T10-Ref als voor T10-WH2050 de ratio tussen benodigde en mogelijke schutcycli als functie van het aantal dagen per jaar. Een voorbeeld: in het huidige klimaat wordt 2 dagen per jaar de 25 m<sup>3</sup>/s overschreden, en daarmee is 2 dagen per jaar de ratio bij sluiscomplex Born 0,7 (bij 100% kolkbezetting). Bij snelle klimaatverandering (W<sub>H</sub>) in 2050 kan worden afgelezen in Figuur 3-1 dat deze ratio ongeveer 1,3 is bij de 2 dagen per jaar overschrijding (bij 100% kolkbezetting). Figuur 3-2 en Figuur 3-3 tonen hetzelfde, maar dan voor respectievelijk 70% en 50% kolkbezetting. Bij minder schepen in de kolk zijn meer schuttingen nodig en neemt de ratio benodigd-mogelijk toe.

Uit de figuren en Tabel 3-6 blijkt dat bij Maasbracht, Born en Heel het aanbod aan schepen enkele dagen per jaar niet allemaal geschut kan worden zonder de inzet van waterbesparende maatregelen (ratio groter dan 1). Als we bekijken hoe vaak de ratio  $> 1$  optreedt (in die conditie is er te weinig water om alle schepen te schutten), dan volgt uit Figuur 3-3 (50% kolkbezetting) dat in het huidige klimaat ruwweg 55 dagen per jaar dit het geval is voor Born en Maasbracht, in het toekomstige klimaat loopt dit op naar 104 dagen per jaar. Voor Heel geldt dat de ratio nog onder de 1 blijft in het huidige klimaat (T10-Ref, 50% kolkbezetting), maar grofweg 20 dagen per jaar boven de 1 uitkomt in het toekomstige klimaat (T10-WH2050). De overige sluiscomplexen blijven altijd onder de 1.

Bij Born en Maasbracht is momenteel al waterbesparende infrastructuur aanwezig om hevelend te schutten en terug te pompen. Hierdoor komt de situatie dat schepen niet meer kunnen passeren op de Maas nooit voor, maar zal er bij hoge ratio's wel sprake zijn van oplopende kosten door langere wachttijden van de scheepvaart en de intensieve inzet van pompen (De Jong, 2019 op basis van Bolt, 2003).

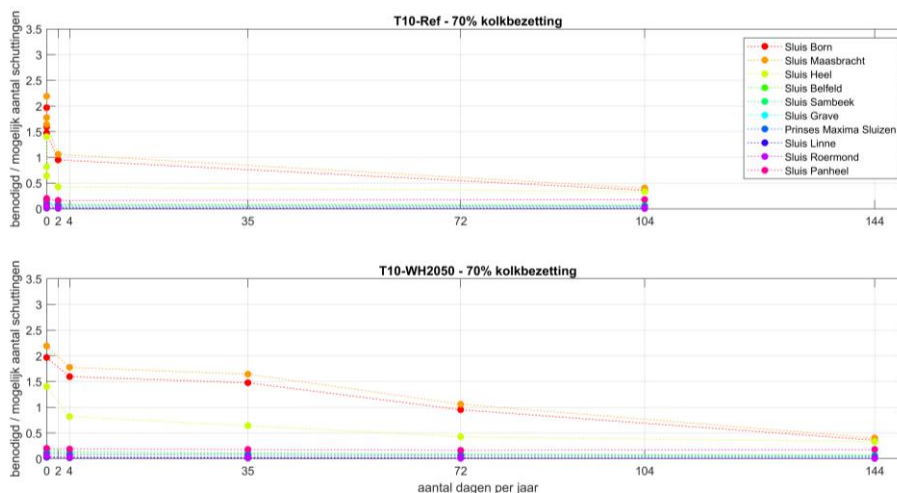
In Bijlage A.3 zijn dezelfde figuren opgenomen voor een terugkeertijd van 2 jaar ( $T_2$ ) in plaats van 10 jaar. Deze figuren bevestigen het beeld dat er ook nu al vrijwel ieder jaar waterbesparende maatregelen genomen moeten worden.

Op basis van de quick scan wordt geconcludeerd (of beter: wordt bevestigd wat al bekend was) dat Born, Maasbracht en, in mindere mate Heel, het meest kwetsbaar zijn voor beperkte waterbeschikbaarheid door droogte.

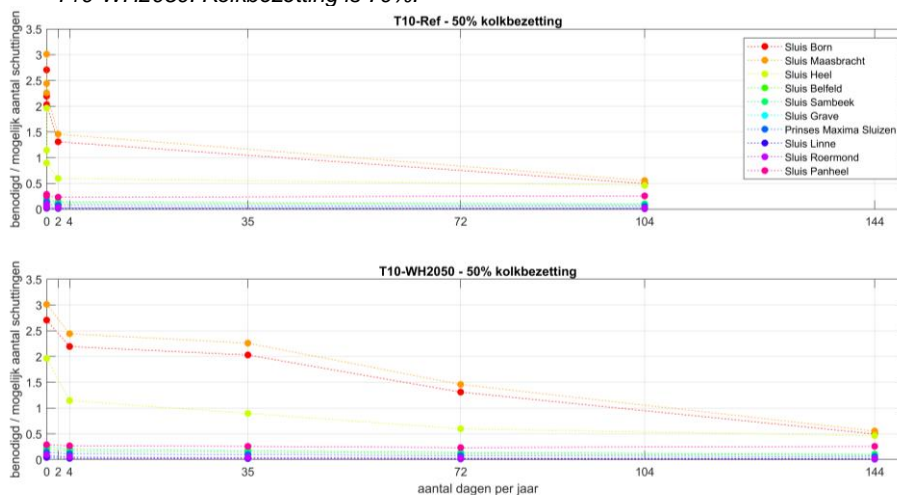


**Figuur 3-1** Verhouding tussen benodigd en mogelijk aantal schutcycli als functie van het aantal dagen per jaar voor de sluisen in de Maas op basis van waterbeschikbaarheid. Boven: T10-Ref, onder: T10-WH2050. Kolkbezetting is 100%.





**Figuur 3-2** Verhouding tussen benodigd en mogelijk aantal schutcycli als functie van het aantal dagen per jaar voor de sluizen in de Maas op basis van waterbeschikbaarheid. Boven: T10-Ref, onder T10-WH2050. Kolkbezetting is 70%.



**Figuur 3-3** Verhouding tussen benodigd en mogelijk aantal schutcycli als functie van het aantal dagen per jaar voor de sluizen in de Maas op basis van waterbeschikbaarheid. Boven: T10-Ref, onder T10-WH2050. Kolkbezetting is 50%.

### 3.6 Aannames quick scan kwetsbaarheid

De quick scan is een zeer vereenvoudigde analyse van een behoorlijk complex proces waarin een aantal aannames zijn gemaakt. Hieronder worden de belangrijkste benoemd (de cijfer-lettercombinatie geeft aan op welke stap in de analyse de aanname betrekking heeft):

- (1a) Waterbesparende maatregelen zoals hevelend schutten of pompen, waarmee het schutverlies minder is, zijn niet meegenomen. Hierdoor wordt het mogelijk aantal schuttingen van de sluis onderschat en kan de kwetsbaarheid gereduceerd worden. Uit een eerdere studie is al gebleken dat de huidige waterbesparende mogelijkheden het watertekort kunnen opvangen bij maximale inzet, maar dat dit grote kosten met zich meebrengt door hoge pompkosten of lange wachttijden (De Jong, 2019).
- (1a) Het schutverlies is bepaald als oppervlakte van de kolk keer het verval. Water dat verplaatst wordt door in- en uitvaren van de schepen is verwaarloosd (aanname  $W_{up} = W_{down}$  in vergelijking 1).



- (1a) Het oppervlak van de kolk is bepaald met behulp van de breedtes en lengtes zoals deze staan vermeld in FIS. Echter, het oppervlak kan groter zijn door de afstand tussen de “stopstreden” en de deuren. In Van der Veen (2018) is te lezen dat het oppervlak meestal voor kolken in de Maas slechts enkele procenten groter is (afgemeten uit luchtfoto's), zodat het effect hiervan op de analyse beperkt is.
- (1a) Het verval is afgelezen van de zogenaamde knooppuntkaarten. Er is verondersteld dat het verval constant is (niet varieert met de afvoer). Bij lage afvoeren is deze aanname geoorloofd.
- (1a) Lekverliezen bij sluizen zijn niet meegenomen.
- (1a) Het totale schutverlies bij een complex is bepaald als de som van het verlies van de afzonderlijke kolken. Als bijvoorbeeld een bepaalde kolk meer gebruikt wordt dan een andere of er wordt hevelend geschut, kan het totale schutverlies afwijken.
- (1b) Voor de waterbeschikbaarheid is gebruik gemaakt van het Maasafvoerverdrag (Werkgroep Afvoerregulering Maas, 2000). Echter niet alle afvoeren en vaarwegen komen hierin voor. In het Maasverdrag wordt bij de waterverdeling geen rekening gehouden met onttrekkingen, lozingen, verliezen of toestroming. In Raadgever (2004) is aan de hand van het Maasafvoerverdrag en met behulp van gegevens over lateralen een overzicht van instromend debiet voor al de benodigde vaarwegen gegeven. Die gegevens van Raadgever (2004) zijn hier gebruikt en aangevuld voor de Monsin afvoeren van 10 en 15 m<sup>3</sup>/s (Bijlage A.1). Om vervolgens de afvoer in een vaarweg (waarin het sluiscomplex zich bevindt) te verkrijgen voor de afvoerniveaus van 10, 15, 20, 25 en 44 m<sup>3</sup>/s bij St Pieter, is lineair geïnterpoleerd in de tabel. Voor sluis Linne is de afvoer van de Maas genomen.
- (1b) Bij de waterbeschikbaarheid wordt niet meegenomen dat een deel van het schutverlies wordt gecompenseerd met pompen. Ter illustratie: door bij Maasbracht drie uur met volle capaciteit (9 m<sup>3</sup>/s) te pompen, kan 1 schutcyclus gecompenseerd worden.
- (2a) Het aantal passages per week is bepaald uit IVS90 data. Er is geen onderscheid gemaakt tussen noord- en zuidgaand transport.
- (2a) Recreatievaart is in de analyse niet meegenomen.
- (2a) Het aantal passages per week varieert per seizoen en per jaar. Voor een aantal jaren (2011 t/m 2018, 2012 en 2015 ontbreken) is het gemiddeld aantal passages per week bepaald door te middelen over alle weken van het jaar. Vervolgens wordt het maximum genomen van de jaargemiddelden over de verschillende jaren. De aantallen passages zijn vergeleken met eerdere jaren (DVS, 2009), er is een afnemende trend zichtbaar (Bijlage A.2, Figuur A-2).
- (2a) We hebben gezien dat bij bijvoorbeeld Grave het aantal passages toeneemt bij droogte. Het aantal passages is bij sommige complexen dus afvoerafhankelijk; dit is niet meegenomen. Er is wel geprobeerd een relatie tussen afvoer en aantal passages per week te bepalen, maar het verband is te zwak (geen correlatie). Als het aantal passages per week bij Grave zou verdubbelen, verdubbelt ook de ratio benodigd/mogelijk aantal schuttingen. Bij Grave verandert dit niets aan de conclusie, aangezien de ratio dan nog steeds ordegrootte 0,1 of lager is. Bij Grave is in principe voldoende water beschikbaar om de aantallen te schutten (dat is wat in deze quick scan is getoetst; en dus niet de invloed van kolkafmeting/capaciteit op de wachttijd, want dat is al in de NMCA onderzocht).
- (2a) Recreatievaart is niet meegenomen bij het aantal passages. Aangenomen wordt dat bij de kritieke sluizen tijdens periodes van lage afvoeren geen schuttingen worden uitgevoerd met enkel recreatievaart.
- (2b) Het aantal schepen dat in de kolk past, is bepaald met behulp van de grafieken van Kooman & De Bruijn (1975). Er is geen rekening gehouden met recreatievaart dat ook in de kolk zit. De Kooman-grafieken (een voorbeeld is opgenomen in Bijlage A.2) presenteren voor verschillende lengte en breedte van de kolk het maximaal aantal schepen in de kolk als functie van het gemiddeld laadvermogen. Het maximaal aantal schepen per kolk is afgelezen, nadat het gemiddeld laadvermogen bij het complex is bepaald. Dit aflezen is niet heel nauwkeurig mogelijk. Deze afgelezen waarde  $n_{\max}$  (aantal schepen in de kolk bij volle kolk; d.w.z. 100% kolkbezetting) is gebruikt om 70% en 50% kolkbezetting te bepalen.

- (2b) Het gemiddeld laadvermogen is bepaald als een gewogen gemiddelde over de verschillende scheepsklassen conform Kooman & De Bruijn (1975). Het gemiddeld laadvermogen is bepaald voor de jaren 2005 t/m 2008 met de gegevens uit DVS (2009), en daarna is het gemiddelde over deze 4 jaar genomen.
- (2b) Bij droogte kan het voorkomen dat er meer kleinere schepen in de vloot zitten dan onder normale omstandigheden, dit heeft invloed op het gemiddeld laadvermogen en het aantal schepen dat in de kolk past. Dit is niet meegenomen.
- (2b) Het aantal schepen dat geschikt kan worden per complex en per cyclus is bepaald door eerst het aantal schepen per kolk te sommeren (indien er meerdere kolken zijn), vervolgens is dit maal 2 gedaan voor een cyclus van op- en neerschutten.

## 4 Conclusies

Dit memo beschrijft een quick scan van de kwetsbaarheid van de sluizen in de Maas. Hiervoor is eerst informatie verzameld van de capaciteit (de dimensies) van de vaarwegen en de sluizen, en informatie van de scheepvaartintensiteit op de Maas en bij de diverse sluizen (waaraan worden de sluizen blootgesteld). Hieruit komen de volgende conclusies:

- De Maas is momenteel grotendeels geschikt voor vaarwegklasse Va (diepgang 3,0 m) en wordt in het project Maasroute opgewaardeerd naar klasse Vb (3,5 m). Enkel de west-oostcorridor blijft in zowel de vaarwegklasse (Va) als in de beschikbare diepgang (3,2 m) beperkend bij de knelpunten sluis Grave en ondiepte Niftrik. Overigens zijn deeltrajecten van de west-oostcorridor wel voor langere en diepere schepen toegankelijk.
- Naast de kwetsbaarheid door waterbeschikbaarheid bij droogte, zijn ook technische mankementen een bekend probleem bij diverse sluizen in de Maas. Bronnen geven in 2019 ruim 140 stremmingen in 2,5 maand. Deze storingen geven hinder en ergernis bij de binnenvaartsector.
- De scheepvaartintensiteit is veel hoger op de Maasroute (sluis Weurt, Sambeek, Belfeld, Linne, Maasbracht, Born) dan op de west-oostcorridor (Maximasluizen (Lith), Grave). In een jaar zonder droogte is het verschil in tonnage een factor 3.
- Uit een analyse van de vaarbewegingen van 2018 blijkt dat droogte leidde tot een andere routing naar de Maas. Door de kleine waterdiepte op de Waal en bij de voorhaven van Weurt, nam het aantal passages bij sluis Weurt af tijdens de droogte. Veel (kleinere) schepen namen in plaats daarvan de route via de Amer en Bergsche Maas. Hierdoor was er een grote toename in het aantal passages bij de sluizen van Grave en Lith (Maximasluizen). De registraties bij Sambeek laten geen waarneembare verplaatsing zien naar de overslaghavens van de Maas.
- Prognoses van de WLO voor 2050 schetsen een lichte afname van de vaarwegintensiteit op de Maas bij lage economische groei en een lichte toename bij hoge economische groei. Uit IVS90-registraties van de periode 2011 tot 2018 blijkt vooral een afnemende trend. De aankomende opwaardering van de Maasroute en vaker beperkingen van vaardiepte in de Waal zou de Maas mogelijk weer interessanter maken voor de binnenvaart en de intensiteit (aantal passages of hoeveelheid vracht) doen toenemen.

Op basis van deze informatie is een quick scan uitgevoerd naar de kwetsbaarheid van de sluizen op de Maas naar waterbeschikbaarheid:

- Belangrijk aanname in deze quick scan is dat waterbesparende maatregelen zoals pompen en hevelend schutten niet worden ingezet (onderschatting van het mogelijk aantal schuttingen).

- Uit de analyse blijkt dat de sluizen Maasbracht en Born, en in mindere mate Heel, het meest kwetsbaar zijn voor beperkte waterbeschikbaarheid door droogte.
  - Bij Maasbracht en Born kan het aanbod aan schepen in het huidige klimaat ('Ref') zelfs met een hoge bezettingsgraad (een zeer streng schutregime) enkele (terugkeertijd 2 jaar, T2) tot een meerdere dagen (T10) per jaar niet geschut worden zonder de inzet van waterbesparende maatregelen (de ratio benodigd versus mogelijk aantal schuttingen is groter dan 1). Bij lagere kolkvullingen (50%) neemt dit al toe naar orde een week (T2) tot meerdere weken (T10). In een toekomstig klimaat (T10-WH2050) neemt dit aantal dagen toe (verdubbeling). De ratio bij Heel blijft in het huidige klimaat het hele jaar onder de 1, maar in het toekomstige klimaat enkele dagen boven de 1 (T10). De overige sluizen zijn niet kwetsbaar voor waterbeschikbaarheid.
  - Als het aantal passages per week bij een sluis zou verdubbelen (meer passages via de Maas door bijvoorbeeld droogte op de Maas én de Rijntakken tegelijkertijd), verdubbelt ook de ratio benodigd/mogelijk aantal schutcycli. In dat geval zijn nog steeds Maasbracht, Born en Heel de enige sluizen die kwetsbaar zijn voor waterbeschikbaarheid<sup>14</sup>.
  - Bij Born en Maasbracht is momenteel al waterbesparende infrastructuur aanwezig om hevelend te schutten en om terug te pompen. Hierdoor komt de situatie dat schepen niet meer kunnen schutten op de Maas nooit voor, maar zal er bij hoge ratio's wel sprake zijn van oplopende kosten door lange wachttijden van de scheepvaart en de intensieve inzet van pompen. De kolkbezetting heeft veel invloed op de ratio benodigd-mogelijk aantal schuttingen. Er is gerekend met 100%, 70% en 50% kolkbezetting.
  - Aanbevolen wordt om in het vervolgonderzoek met SIVAK een verdere detaillering van de kwetsbaarheid van de sluizen bij Maasbracht, Born en Heel te onderzoeken, zodat ook een beter beeld wordt verkregen van wat dit betekent voor de scheepvaartsector (bijvoorbeeld in termen van wachttijden).

## 5 Referenties

- Asselman, N. H.J. Barneveld, F. Klijn & A. van Winden (2018). Het verhaal van de Maas: de Maas uit balans?
- Bolt, E. (2003). Scheepvaartaspecten Laagwaterbeleid Julianakanaal en Lateraalkanaal. Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer.
- Rijkswaterstaat (2017). Deelrapportage Vaarwegen voor de Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (NMCA).
- Kooman & De Bruijn (1975). Lock capacity and traffic resistance of locks. Rijkswaterstaat communications No 22.
- De Jong, J.S. (2019). Toename van pomp- en vaarkosten door droogte bij Maasbracht en Born in het huidige en toekomstige klimaat en het effect van maatregelen 14a, 14b en 14c hierop. Deltares memo 11203734-012-ZWS-0005, versie 0.6.
- De Jong, J.S. (2020a). Ontwikkeling zesde-generatie Maas-model - Modelbouw, kalibratie en validatie. Deltares rapport met kenmerk 11200569-003-ZWS-0014, definitief.
- De Jong, J.S. (2020b). KBN – Stresstest droogte Maas – Bedreiging: Klimaatverandering. Beschrijving karakteristieke droge jaren met stationaire afvoerniveaus. Deltares memo met kenmerk 11205274-0040BGS-0003.
- De Jong, J.S. (2020c). Stresstest Droogte Rijntakken – Impact op de scheepvaart. Klimaatbestendige netwerken hoofdvaarwegennet. Deltares rapport 11205274-004-BGS-0009.
- De Jong & Van der Mark (2020). KBN-HVWN Stresstest droogte Rijntakken: Toestand van het Systeem en Kwetsbaarheid gebruiksfunctie. Deltares memo 11205274-004-BGS-0001.
- DVS (2009). Scheepvaartinformatie hoofdvaarwegen, editie 2009, Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart.
- Helmyr, S. & Jaskula-Joustra A. (1999). Laagwaterbeleid, Rijkswaterstaat Directie Limburg 2001-2004, Maastricht.
- Molenaar, W.F. et al. (2011). Hydraulic structures – Locks. Lecture notes CT3330, Delft University of Technology.
- Raadgever, T (2004). Schademodellering laagwater Maas. MSc-thesis, University of Twente.

---

<sup>14</sup> Goed om nogmaals te benadrukken dat we hier alleen hebben getoetst op de kwetsbaarheid voor waterbeschikbaarheid. Bij een verdubbeling van het aantal passages is er bij bijvoorbeeld Grave nog voldoende water om deze hoeveelheid te schutten, maar waarschijnlijk niet voldoende sluiscapaciteit (kolkoppervlak) om zoveel schepen af te handelen. De toets op kwetsbaarheid voor capaciteit is hier niet onderzocht, want dit wordt in de NMCA gedaan.

Waterrecreatie advies BV (2016). Prognose ontwikkeling recreatievaart in 2030, 2040 en 2050, rekening houdend met WLO scenario's.

Werkgroep Afvoerregulering Maas (2000). Verdrag tussen het Vlaamse Gewest en het koninkrijk der Nederlanden inzake de afvoer van het water van de Maas; Bijlage bij gemeenschappelijk Vlaams/Nederlands besparingsscenario Vlaanderen.

Van der Veen (2018). Schutdebieten Rijntakken en Maas. Rura Arnhem, Memo P180510R-5.

## A Bijlage bij quick scan kwetsbaarheid

### A.1 Stap 1: Mogelijk aantal schuttingen

Tabel A-1 Benadering van afvoeren in vaarwegen voor verschillende afvoeren bij Monsin.

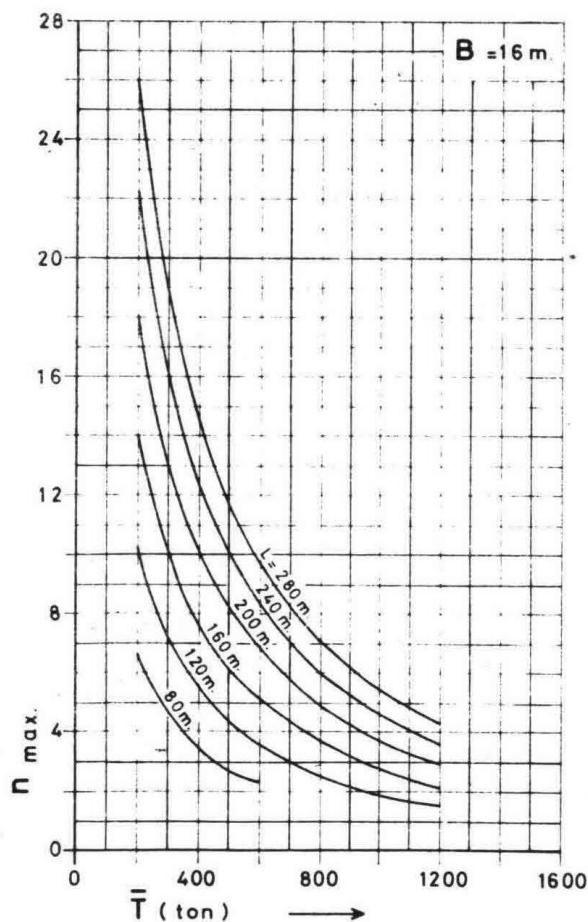
		Maas	Grens maas	Maas	Maas	Juliana kanaal	Lateraalkanaal	Kanaal Wessem-Nederweert
		Monsin-Borgharen	Borgharen-Linne	Linne-Buggenum	Buggenum-Belfeld	Borgharen-Linne	Linne-Buggenum	Linne-Nederweert
Monsin		M1	M2	M3	M4	JK	LK	KWN
130	Qin	104	61,3	74,5	98,9	25	15	2,8
125	Qin	100,7	59,7	71,2	95,6	23,3	15	2,8
120	Qin	97,3	57,9	67,8	92,2	21,7	15	2,8
115	Qin	94	55	64,5	88,9	21,3	15	2,8
110	Qin	90,7	53,4	64,2	85,6	19,6	12	2,8
105	Qin	87,3	51,6	62,8	82,2	18	10	2,8
100	Qin	84	50	60,6	78,9	16,3	8,9	2,8
95	Qin	79	45	55,6	73,9	16,3	8,9	2,8
90	Qin	74	40	50,6	68,9	16,3	8,9	2,8
85	Qin	59	25	35,6	53,9	16,3	8,9	2,8
80	Qin	64	30	40,6	58,9	16,3	8,9	2,8
75	Qin	59	25	35,6	53,9	16,3	8,9	2,8
70	Qin	54	20	30,6	48,9	16,3	8,9	2,8
65	Qin	49	15	25,6	43,9	16,3	8,9	2,8
60	Qin	44	10	20,6	38,9	16,3	8,9	2,8
55	Qin	41,5	10	18,2	36,5	16,3	8,9	5,2
50	Qin	38	10	16,2	34,5	15,8	8,9	6,7
45	Qin	33,6	10	16,7	35	13,3	8,9	3,7
40	Qin	30,1	10	14,8	33,1	10,8	8,9	3,1
35	Qin	27,6	10	14,7	31,5	8,8	7,4	3,1
30	Qin	25,1	10	12,7	29	6,3	6,9	3,1
25	Qin	20,7	8,3	9,5	23,7	4,0	4,8	2,8
20	Qin	16,3	6,7	7,9	21,3	4,0	4,0	2,8
15	Qin	12,5	5,3	5,8	18,2	3,0	2,9	2,5
10	Qin	8,3	2,6	3,1	14,0	3,0	1,5	2,5

Het Maasafvoeroverdrag bevat niet de waterverdeling over alle benodigde vaarwegen, en lateralen zijn niet meegenomen. Daarom hebben we ons gebaseerd op de gegevens uit Raadgever (2004). Deze gegevens komen overeen met het Maasafvoeroverdrag, maar zijn aangevuld met meerdere takken, en lateralen zijn meegenomen.

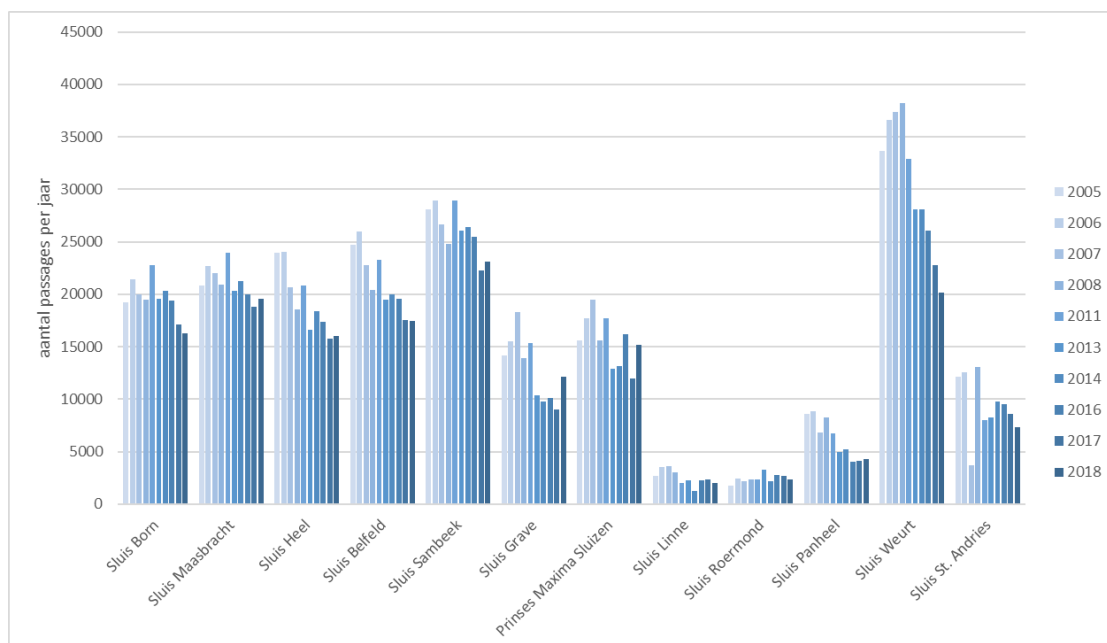
Tabel A-1 komt uit Raadgever (2004), behalve de lage afvoeren (25 m<sup>3</sup>/s bij Monsin en lager); die zijn tot stand gekomen via doortrekken van trends naar de lagere afvoeren.

Pas na de definitieve versie (v1.0) van dit document werd bekend dat bij lage afvoeren (onder 30 m<sup>3</sup>/s) de ongedeelde afvoer als volgt wordt verdeeld: 1/3 gaat naar de Grensmaas, 1/3 is bestemd voor het NL economisch gebruik en 1/3 voor het Vlaams economisch gebruik. Dat geldt voor alle afvoeren kleiner dan 30 m<sup>3</sup>/s. Er is niet meer gecontroleerd of de benadering van Tabel A-1 hieraan voldoet.

## A.2 Stap 2: Benodigd aantal schuttingen

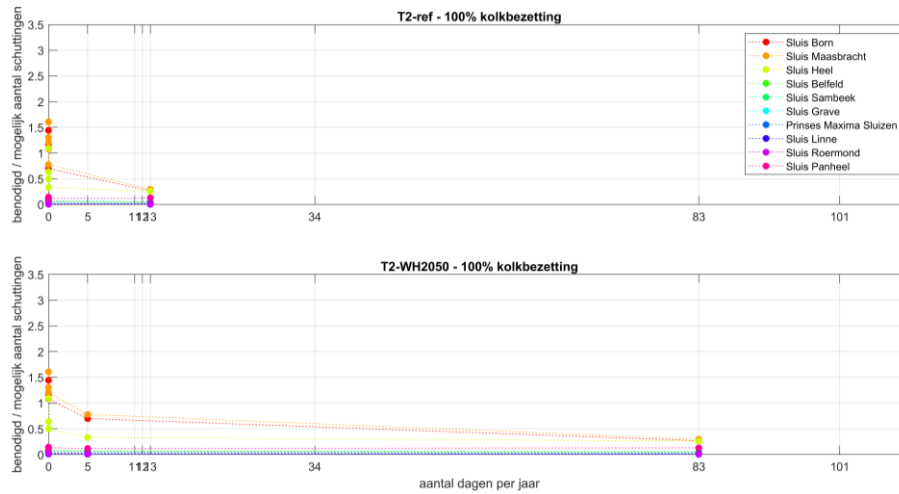


Figuur A-1 Maximaal aantal schepen in de kolk voor een kolkbreedte van 16 m (Kooman & De Bruijn, 1975).

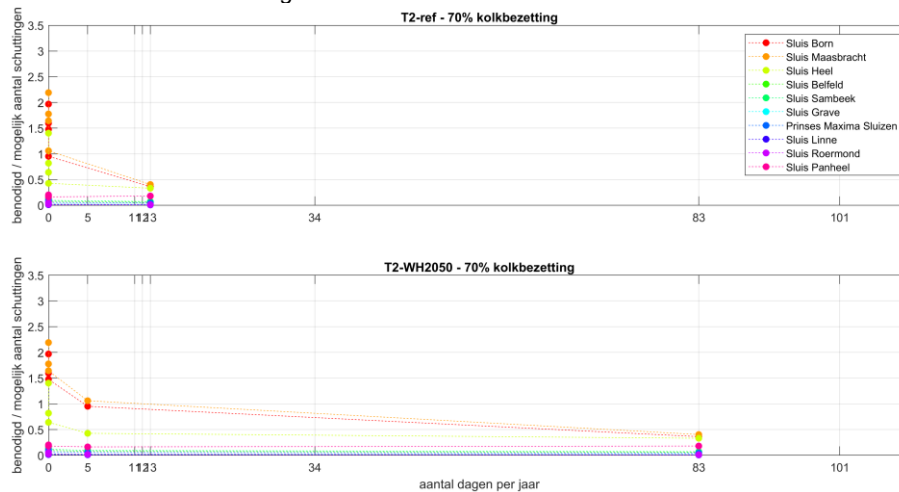


Figuur A-2 Aantal scheepspassages per jaar.

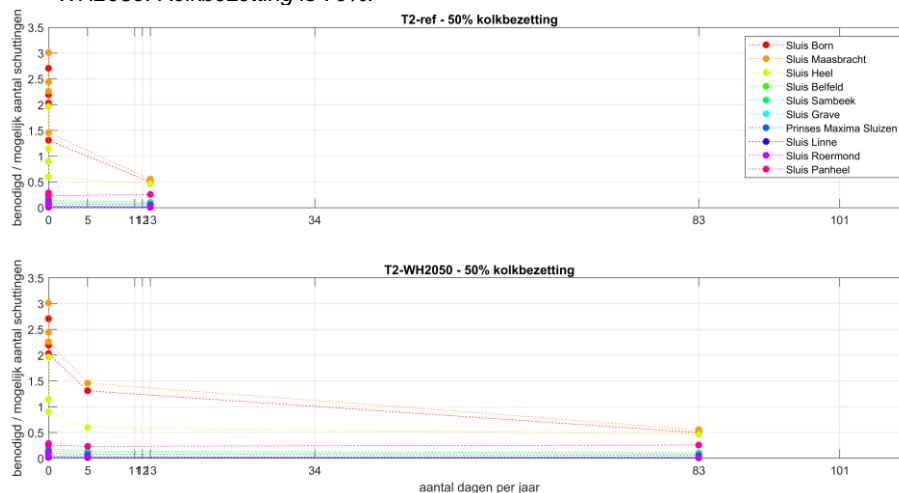
### A.3 Stap 3: Ratio benodigd en mogelijk aantal schutcycli



**Figuur A-3** Verhouding tussen benodigd en mogelijk aantal schutcycli als functie van het aantal dagen per jaar voor de sluizen in de Maas op basis van waterbeschikbaarheid. Boven: T2-Ref, onder T2-WH2050. Kolkbezetting is 100%.



**Figuur A-4** Verhouding tussen benodigd en mogelijk aantal schutcycli als functie van het aantal dagen per jaar voor de sluizen in de Maas op basis van waterbeschikbaarheid. Boven: T2-Ref, onder T2-WH2050. Kolkbezetting is 70%.



**Figuur A-5** Verhouding tussen benodigd en mogelijk aantal schutcycli als functie van het aantal dagen per jaar voor de sluizen in de Maas op basis van waterbeschikbaarheid. Boven: T2-Ref, onder T2-WH2050. Kolkbezetting is 50%.



B Toegestane afmetingen hoofdvaarwegennet Maas en Brabantse Kanalen

