

Vervolg Indirecte Bedreigingen

Nadere kwantificatie impact op scheepvaart



Vervolg Indirecte Bedreigingen

Nadere kwantificatie impact op scheepvaart

Auteur(s)

Remi van der Wijk
Anna van den Hoek
Guus van Hemert

Vervolg Indirecte Bedreigingen

Nadere kwantificatie impact op scheepvaart

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Nathaly Dasburg-Tromp
Referenties	
Trefwoorden	Scheepvaart, waterverdeling, stresstest, klimaatbestendig, zoutindringing

Documentgegevens

Versie	2.1
Datum	27-11-2024
Projectnummer	11210314-002
Document ID	11210314-002-ZWS-0002
Pagina's	69
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Remi van der Wijk Anna van den Hoek Guus van Hemert	

Samenvatting

Voor het functioneren van het hoofdvaarwegennetwerk voert Rijkswaterstaat stresstesten uit voor de belangrijkste (klimaat)bedreigingen. Naast het directe effect van droogte op de scheepvaart wordt de invloed van maatregelen in het hoofdwatersysteem, die worden genomen ten behoeve van andere functies zoals zoetwaterbeschikbaarheid maar een negatieve impact kunnen hebben op de scheepvaart, beschouwd als de belangrijkste bedreiging. Deze laatste worden ook wel de “indirecte bedreigingen” genoemd¹.

In twee voorgaande studies zijn deze bedreigingen op een rij gezet en is de impact op scheepvaart deels gekwantificeerd. In dit vervolgonderzoek worden enkele aanvullende bedreigingen meegenomen en is het voorgaande werk uitgediept. De studie is opgezet als vier afzonderlijke onderdelen waarbij voor het laatste onderdeel resultaten uit voorgaande onderdelen zijn gebruikt. Voor elk onderdeel is apart de impact op de scheepvaart bepaald en is waar mogelijk een afwegingskader geschetst van alternatieve keuzes of aansturing.

- I. Het eerste onderdeel betreft de beperkingen voor de scheepvaart bij Driel – Amerongen.
- II. Daarna volgt er een uitbreiding van de kwantificatie van de maatregelen op de scheepvaart. Dit betreft vooral de mogelijke maatregelen vanuit Deltaprogramma Zoetwater en de relatie Waal-Amsterdam-Rijnkanaal.
- III. Vervolgens is er gekeken naar de impact van toegenomen wachttijden op de scheepvaart bij de Irenesluizen.
- IV. Als laatste is de samenhang tussen maatregelen en scheepvaart op en rondom het Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal en de impact daarvan op haven Amsterdam onderzocht.

Net als in de eerdere onderzoeken maakt deze studie waar mogelijk gebruik van gegevens uit andere studies en programma's. De referentie is het huidige klimaat, waarbij al enkele maatregelen zijn opgenomen die waarschijnlijk zijn. Voor het zichtjaar 2050 wordt gebruik gemaakt van de nieuwe klimaatscenario's, waarbij het meest extreme droogtescenario (2050_{Hd}) is genomen. De scheepvaartrelaties zijn gebaseerd op het reizenbestand van 2014. Er wordt geen scenario voor economische groei toegepast op de scheepvaartrelaties. Het effect van maatregelen wordt bepaald ten opzichte van de resultaten met klimaatverandering.

In 2018 trad er negatief verval over stuw Driel op waardoor de vizierboog geheven moest worden. Dit was het gevolg van lage afvoeren op de Rijn, in combinatie met rivierbodemerrosie op de Waal en IJssel. Er zijn twee opties mogelijk om negatief verval te voorkomen; het heffen van vizierbogen of het laten zakken van het peil op het benedenstroomse stuwpand (zonder de vizierbogen te heffen).

Met het heffen van de vizierboog zakt de waterstand op het stuwpand en stroomopwaarts van Driel. Met name het verder uitzakken van de waterstand stroomopwaarts van Driel heeft negatieve gevolgen voor de scheepvaart door het knelpunt bij Arnhem. Daarnaast bevindt zich nabij Arnhem een belangrijk brandstofdepot.

Als de vizierbogen niet worden geheven blijft de waterstand bovenstrooms van Driel 4 centimeter hoger bij een afvoer van 600 m³/s bij Lobith ten opzichte van de situatie met het heffen van de vizierbogen. Dit is een ruwe schatting op basis van een simpele testberekening met een 1D model.

¹ Indirecte bedreigingen worden in deze stresstest gedefinieerd als maatregelen die worden genomen in het watersysteem ten behoeve van andere waterfuncties (die ook kampen met de effecten van klimaatverandering), maar die een negatief effect kunnen hebben op de scheepvaartfunctie.

De waterstand zal bovenstrooms nog steeds zakken met een lagere afvoer, maar vermoedelijk minder hard dan bij het heffen van de stuw. Het peil op het stuwpand dient te zakken met de waterstand bovenstrooms van Driel. Met deze keuze wordt het wel moeilijker om water aan te voeren naar het stuwpand Driel – Amerongen, er moet ten minste enig verval (>10 – 20 centimeter) zijn om water via de cilinderschuiven aan te voeren. Daarnaast wordt inname uit het stuwpand door de regio moeilijker.

In het rapport van begin 2024 is het effect van drie maatregelen voor de waterverdeling doorgerekend met QINCoM.

De maatregelen betreffen extra aanvoer richting Neder-Rijn (Driel), extra aanvoer richting de Lek (Hagestein) en aanvullende aanvoer richting Amsterdam-Rijnkanaal ten behoeve van het Markermeer/IJsselmeer (ARK). In die studie werd het effect op de vaardiepte en potentiële stremmingen bij de Bernhardsluizen uitgedrukt in ton/dag. Op basis van het klimaatscenario WHdry is voor 2050 de watervraag bepaald. Op basis van het nieuwe Hd2050 klimaatscenario zijn de onderschrijdingsniveaus van de afvoeren bepaald. In dit onderzoek is die impact vertaald naar vaarkosten per jaar; met specifieke herhalingstijden (gemiddeld, 1/10 en 1/100 – dit resulteert in de spreiding in de getoonde resultaten). De extra kosten voor de verschillende maatregelen zijn als volgt; waarbij het combineren van ARK en Hagestein maatregelen resulteert in een stremming bij de Bernhardsluizen:

- Driel: 1 – 8 M€/jaar
- ARK: 0,4 – 2,5 M€/jaar
- Hagestein: 0,2 – 1,3 M€/jaar
- ARK + Hagestein: 2,5 – 16 M€/jaar

De maatregelen bij ARK en Hagestein zijn waarschijnlijker als maatregel ten opzichte van die bij Driel. De maatregel bij Hagestein is feitelijk al een operationele maatregel en die bij het ARK zit in de voorkeursstrategie. Het voorkomen van een combinatie van maatregelen is meer situationeel en hangt af van de omgevingscondities.

De getoonde bedragen zijn op basis van prijspeil 2014, een correctie naar 2023 resulteert in een toename van 50%. Het prijspeil was in 2022 met een hoge transportvraag zelfs bijna twee keer zo hoog. In combinatie met de aannames in het bepalen van de impact is er een brede onzekerheidsbandbreedte in de potentiële impact.

In 2022 is de oude kolk bij de Irenesluizen ook overdag gebruikt om water aan te voeren richting het Amsterdam-Rijnkanaal. Dat maakt het mogelijk om de toename in wachttijd voor de scheepvaart te bepalen voor de verschillende scenario's. Er is in het bepalen van het effect van uitgegaan dat pas met het openen van de Bernhardsluizen genoeg water kan worden aangevoerd richting de Irenesluizen voor het overschrijden van de drempelwaarden. Het inzetten van de maatregel ARK (in de 2050_{Hd} situatie) zorgt voor een kostentoeename van €79.271 per gemiddeld jaar, oplopend naar €203.839 en €371.440 per 1/10 en 1/100 jaar.

Om het totale afwegingskader rondom het Amsterdam-Rijnkanaal te schetsen is meer informatie nodig, maar het zal nooit helemaal mogelijk zijn om functies 1-op-1 tegen elkaar af te wegen. Het opsplitsen van het totale afwegingskader in kleinere keuzes, al dan niet specifiek voor de scheepvaart, maakt wel de relatieve impact voor de scheepvaart duidelijker.

Als eerste is het te overwegen om meer water aan te voeren om het invoeren van schutbeperkingen bij IJmuiden te voorkomen. Het jaar 2022 resulteerde in een verlies van 2,5 miljoen ton aan niet vervoerde vracht richting Amsterdam. Voor een vergelijkbaar hydrologisch jaar resulteert het aanvoeren van *extra* water richting het Amsterdam-Rijnkanaal in €4,9 miljoen schade voor de beroepsvaart. Het is mogelijk dat het aanvoeren van extra water de 50% hogere zoutlast kan beperken. Hierbij kan ook worden gekeken naar de optie om eerder, als de afvoeren nog niet zo laag zijn, water aan te voeren om het systeem zo zoet mogelijk te krijgen als de droogte begint.

Voor het aanvoeren van water hebben de Irenesluizen en Beatrixsluizen de grootste impact op de beroepsvaart, maar beïnvloeden andere functies niet negatief. Water uit het IJmeer/Markermeer via één van de drie potentiële routes heeft geen noemenswaardig effect op de beroepsvaart, maar kent andere nadelen en er is niet altijd water beschikbaar vanuit het Markermeer. Mogelijk dat, al dan niet met systeemingenrepen, met de Beatrixsluizen de gevolgen op de wachttijd bij de Irenesluizen kunnen worden verdeeld en geoptimaliseerd, maar dat vraagt nog meer analyse. Daarnaast beperkt het moment van openen van de Bernhardsluizen de mogelijkheden in eerder aanvoeren van water, ook voor het eventuele voorspoelen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Achtergrond	9
1.1	Achtergrond en aanleiding	9
1.2	Doel	9
1.2.1	Schutbeperkingen Driel & Amerongen	9
1.2.2	Uitbreiding kwantificatie impact scheepvaart	9
1.2.3	Wachttijden Irenesluizen	9
1.2.4	Samenhang maatregelen en scheepvaart Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal	10
1.3	Uitgangspunten	10
1.4	Structuur onderzoek en rapport	10
2	Aanpak	11
2.1	Definitie zichtjaren	11
2.2	Hydrologie en bodemligging	11
2.3	Scheepvaartrelaties	11
2.4	Effectbepaling maatregelen	12
3	Schutbeperkingen Driel & Amerongen	13
3.1	Blootstelling Scheepvaart	13
3.2	Uitzakken waterstanden Driel	15
3.3	Impact scheepvaart	17
3.4	Afwegingskader	19
4	Uitbreiding kwantificatie scheepvaart	21
4.1	Vervoerde vracht naar vaarkosten	21
4.1.1	Gehele riviersysteem	21
4.1.2	Bernhardsluizen	23
4.2	Impact inzet maatregelen	23
4.3	Kans van voorkomen van inzet maatregelen	25
4.4	Gevoeligheidsanalyse kostenkengetallen	26
5	Wachttijden Irenesluizen	28
5.1	Impactrelatie wachttijden sluisen	28
5.2	Toename wachttijden door maatregelen	28
5.3	Impact scheepvaart	30
6	Samenhang maatregelen en scheepvaart Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal	33
6.1	Effect schutbeperkingen op haven Amsterdam	35

6.2	Overzicht maatregelen tegen zoutindringing	39
6.2.1	Gericht afvoeren van zout	40
6.2.2	Vergroten van wateraanvoer	40
6.2.2.1	Irenesluizen	41
6.2.2.2	Beatrixsluizen	41
6.2.2.3	Oranjesluizen	42
6.2.2.4	Nigtevecht	42
6.2.2.5	Elektriciteitscentrale bij Diemen	43
6.2.2.6	Regionale aanvoer Noordzeekanaal	43
6.2.2.7	Voorspoelen Amsterdam-Rijnkanaal	43
6.2.2.8	Samenvatting aanvoer water	44
6.2.3	Beperken zoutlast bij schutsluizen	44
6.2.4	Aanpassen uitwisseling regionaal systeem	45
6.2.5	Overige maatregelen	47
6.2.6	Maatregelen Lek en Hollandsche IJssel	48
6.3	Afwegingskader	50
6.4	Openstaande vragen en ontwikkelingen	51
7	Tot slot	53
7.1	Conclusies	53
7.2	Kanttekeningen	54
7.3	Aanbevelingen	54
8	Referenties	55
A	Data vaarkosten en passages Irenesluis 2022	57
B	Vaarbewegingen en kosten bij Beatrixsluizen	59
C	Afvoerverdeling Hoofdwatersysteem	61

1 Achtergrond

1.1 Achtergrond en aanleiding

In de afgelopen jaren is er door Deltares gekeken naar de invloed van *indirecte bedreigingen*² op de scheepvaart binnen de stresstest van het hoofdvaarwegennetwerk. Het eerste onderzoek (van der Mark et al., 2021) richtte zich op de individuele indirecte bedreigingen en de samenhang daartussen. Het vervolgonderzoek (Van der Wijk et al., 2024) ging in op de samenhang tussen de functies, voorgenomen maatregelen uit het Deltaprogramma Zoetwater (DP Zoetwater) en de impact daarvan op de scheepvaart, waar mogelijk kwantitatief.

Dit derde onderzoek volgt direct op het vorige onderzoek (Van der Wijk et al., 2024). In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van extra data om de impact van de maatregelen op de scheepvaart beter te kwantificeren. Daarnaast worden enkele aspecten en functies uitgebreider meegenomen om een afwegingskader voor de scheepvaart te kunnen schetsen.

1.2 Doel

Rijkswaterstaat heeft naar aanleiding van het onderzoek van vorige jaar behoefte aan een nadere kwantificatie van enkele maatregelen. Het doel van deze studie, in combinatie met voorgaande studies, is *het bepalen van het negatieve effect op de scheepvaart van maatregelen ten behoeve van de zoetwatervoorziening vanuit een systeembenadering met aandacht voor de samenhang tussen de functies*.

Deze studie is onderverdeeld in 4 onderdelen, waarvan enkele onderdelen nauw samenhangen. Hieronder worden de verschillende onderdelen genoemd met de probleemstelling vanuit Rijkswaterstaat.

1.2.1 Schutbepalingen Driel & Amerongen

In 2018 was er negatief verval over stuw Driel waardoor de vizierboog geheven moest worden. In 2022 waren er ook schutbepalingen bij Amerongen door het uitzakken van het peil op het stuwpannd Amerongen – Driel. Het negatieve verval en de schutbepalingen hebben invloed gehad op de scheepvaart.

In dit onderdeel wordt de impact van het uitzakken van de waterstanden en schutbepalingen op de scheepvaart bepaald. Daarnaast wordt er gekeken naar de mogelijke keuzes en gevolgen daarvan in situaties met negatief verval of uitzakkend peil op het stuwpannd.

1.2.2 Uitbreiding kwantificatie impact scheepvaart

In van der Wijk et al. (2024) is de impact op de scheepvaart van diverse maatregelen in het watersysteem - met name toekomstige maatregelen van DP Zoetwater - uitgedrukt in ton/dag. Rijkswaterstaat heeft echter de behoefte om deze impact uit te drukken in euro's per jaar, met een specifieke herhalingstijd. In dit onderdeel wordt extra aandacht besteed aan de onzekerheidsmarges in de kans op inzet van maatregelen en de gehanteerde kostenkengetallen.

1.2.3 Wachttijden Irenesluizen

Voor de aanvoer van water richting het Amsterdam-Rijnkanaal wordt onder andere gebruik gemaakt van de Irenesluizen.

² Gedefinieerd als externe ontwikkelingen, keuzes of gebeurtenissen, die nodig zijn omwille van andere doelen / ambities / rivierfuncties, maar die een negatief effect kunnen hebben op de scheepvaartfunctie.

Als er meer debiet nodig is op het Amsterdam-Rijnkanaal om de zoutindringing te beperken (en om te kunnen voldoen aan de regionale watervraag) ontstaan er schutbeperkingen voor de scheepvaart. In dit rapport worden de beperkingen voor de scheepvaart gekwantificeerd, mede op basis van nieuwe data.

1.2.4 **Samenhang maatregelen en scheepvaart Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal**

Voor het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal is er een duidelijke afweging tussen de verschillende functies tijdens droogte. Voor deze stresstest wordt een zo compleet en kwantitatief overzicht gemaakt van de impact op de scheepvaart en de haven van Amsterdam. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de resultaten uit voorgaande onderdelen.

Voor het bepalen van de impact op de scheepvaart moet eerst gekeken worden wat de schutbeperkingen bij IJmuiden voor invloed hebben gehad op de zeevaart in 2022. Hiervoor is data aangeleverd door de Haven van Amsterdam en Rijkswaterstaat.

Vervolgens is gekeken naar de verschillende keuzes die zijn te nemen ten tijde van droogte en hoe deze doorwerken naar de scheepvaart. Het doel is om een zo compleet mogelijk afwegingskader (voor de scheepvaart) te schetsen voor het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal.

1.3 **Uitgangspunten**

Voor het onderzoek worden meerdere uitgangspunten gehanteerd:

- Het doel is om zoveel mogelijk kwantitatief te beschrijven, maar in enkele gevallen is alleen een kwalitatieve beschrijving mogelijk.
- Er wordt specifiek gekeken naar de maatregelen voor zoetwatervoorziening ten tijde van droogte. Indirecte bedreigingen voor de scheepvaart onder hoogwater omstandigheden worden niet behandeld.
- De positie van scheepvaart in de verdringingsreeks wordt hier niet ter discussie gesteld.
- De impact op recreatievaart wordt niet nader uitgewerkt, maar waar relevant, benoemd. Recreatievaart met commercieel belang (rondvaartboten) hebben een andere status en worden als zodanig benoemd, maar worden niet onder de beroepsvaart gerekend.
- In de aanpak worden de definitie voor referentie en zichtjaren op een rij gezet. Voor dit onderzoek wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande onderzoeken en de zichtjaren komen niet altijd overeen.
- Er wordt gebruik gemaakt van de afvoerniveaus 1800, 1020, 850 en 700 m³/s uit het programma Klimaatbestendige Netwerken (KBN) voor het bereik aan mogelijke condities.
- De berekeningen worden uitgevoerd met QINCoM.

1.4 **Structuur onderzoek en rapport**

Het project is een vervolg op de twee voorgaande onderzoeken. De inzichten en resultaten uit die studies vormen het startpunt van het project en worden indien niet noodzakelijk niet herhaald.

De vier onderdelen zijn onafhankelijk van elkaar uitgevoerd, met als uitzondering het laatste onderdeel, dat een meer integrale beschouwing van de systeemwerking van het Noordzeekanaalgebied en de haven van Amsterdam omvat. De hoofdstukken zijn hiermee zo veel mogelijk los te lezen en zijn min of meer opgezet als memo's binnen een rapport. Elk hoofdstuk start met een korte inleiding en leeswijzer om de context en aanpak te schetsen. In het navolgende hoofdstuk met de aanpak wordt meer ingegaan op de conceptuele benadering en definitie van referentie(s) en zichtjaren.

2 Aanpak

Per onderdeel is de methodiek uitgeschreven, maar er zijn enkele vaste uitgangspunten die voor alle onderdelen gelden. Dit hoofdstuk richt zich dus op de aanpak die voor meerdere onderdelen gelijk is en dient als basis voor het gehele onderzoek.

2.1 Definitie zichtjaren

In deze studie wordt gebruik gemaakt van twee zichtjaren. Het eerste zichtjaar is 2030 en omschrijft de huidige situatie met enkele veranderingen in de watervraag langs de Lek en Amsterdam-Rijnkanaal die nu worden gerealiseerd (Bijlage C). Het tweede zichtjaar is 2050 waarbij gebruik wordt gemaakt van klimaatscenario W_{Hdry} en H_{D2050} (van den Hoek & van der Mark, 2024). Ook wordt voor het realiseren van de afvoerverdeling uitgegaan van enkele systeemingenrepen dit noodzakelijk zijn. Ten opzichte van de situatie in 2050 met klimaatverandering worden de maatregelen beschouwd voor de studie indirecte bedreigingen.

De samenhang van maatregelen en scheepvaart op het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal kijkt daarentegen alleen naar de huidige situatie. Aangezien er meerdere ingrepen denkbaar zijn is het niet goed mogelijk om een systeemschets te maken voor 2050.

2.2 Hydrologie en bodemligging

In deze studie worden, tenzij anders vermeld, geen aanpassingen gedaan aan de resultaten van de voorgaande studie (van der Wijk et al., 2024). Dit komt er op neer dat voor de referentiesituatie gebruik wordt gemaakt van het huidige klimaat waarbij enkele maatregelen die invloed hebben op de watervraag uit het Amsterdam-Rijnkanaal al zijn uitgevoerd (zichtjaar 2030). De waterverdeling en watervraag voor het zichtjaar 2050 (toekomstige situatie) is niet gewijzigd (klimaatscenario W_{Hdry}^3). Voor de herhalingstijd van de afvoeren wordt gebruik gemaakt van de nieuwe klimaatscenario's (van den Hoek & van der Mark, 2024).

De relatie tussen afvoer en waterdiepte is bepaald binnen Klimaatbestendige Netwerken met stationaire afvoeren en een bodemligging uit 2018 (de Jong, 2021). Er wordt dus aangenomen dat de bodemligging en afvoerverdeling gelijk wordt gehouden naar 2050.

2.3 Scheepvaartrelaties

De kostenrelaties in QINCoM zijn gebaseerd op een database uit 2014, die deel uitmaakt van het binnenvaartmodel BIVAS. Deze database wordt ook voor andere kostenrelaties gebruikt, zoals voor het bepalen van de blootstelling (de Jong, 2020b). Indien noodzakelijk is gebruik gemaakt van recentere gegevens voor de impact op de scheepvaart. In deze studie wordt geen scenario voor economische groei toegepast naar het zichtjaar 2050.

Binnen QINCoM is het uitgangspunt, dat de routes die bij de ontwikkeling van QINCoM met behulp van BIVAS zijn bepaald, gelijk blijven. Dit betrof een simulatie van meest waarschijnlijke vaarroutes bij steeds drogere condities (afvoeren 1.800, 1.400, 1.020, 850 en 700 m³/s). Verder worden er bij de modellering van kosten bij verminderde vaardiepte meer schepen gebruikt om de vracht te blijven vervoeren en nemen de transportkosten dus toe.

³ Tijdens deze studie was de aangepaste watervraag van de regio nog niet beschikbaar (2050Hd) en zijn de resultaten van de vorige studie aangehouden.

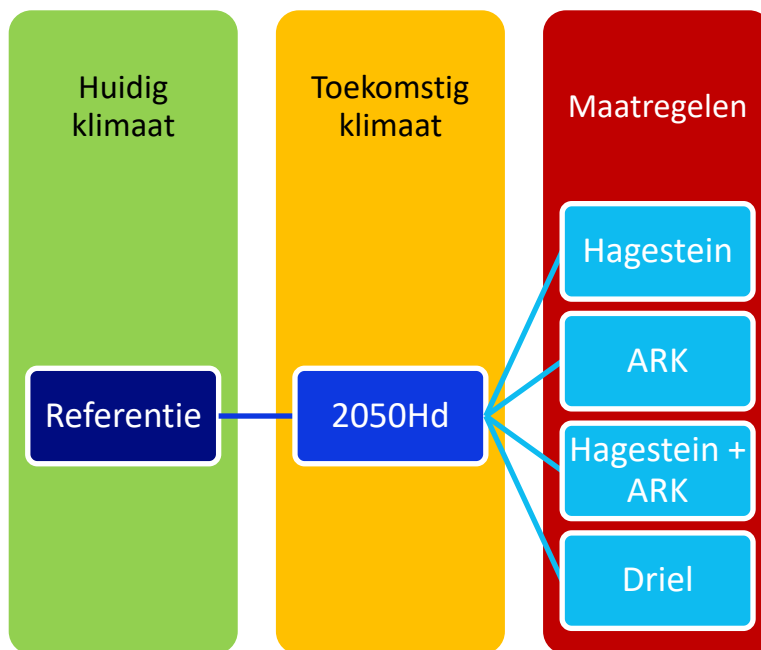
2.4 Effectbepaling maatregelen

Voor de stresstest zijn eerst de vaarkosten bepaald voor de referentie-situatie (huidig klimaat). Vervolgens zijn de vaarkosten met de toegenomen watervraag en lagere afvoeren bepaald voor 2050Hd (toekomstig klimaat).

Ten opzichte van die situatie worden de maatregelen toegevoegd en die kosten vormen de stresstest Indirecte Bedreigingen. Het verschil tussen het oranje vlak en het groene vlak (Figuur 2-1) vormt de stresstest Droogte. Het verschil tussen het rode vlak en het oranje vlak is de stresstest Indirecte Bedreigingen.

Het effect van een stremming bij de Bernhardsluizen is bepaald met het reizenbestand uit 2014. In deze studie wordt het effect getoond van het volledig wegvallen van de scheepvaart als gevolg van de volledige stremming van de Bernhardsluizen voor alle vaart. Omdat het in de praktijk een stremming betreft voor grotere schepen zou ook gebruik gemaakt kunnen worden van kleinere schepen. Het aandeel van de grote schepen die werkelijk uitvallen in de vervoersprestatie is echter zó groot, dat dit ladingpakket waarschijnlijk nooit door uitsluitend kleine schepen zou kunnen worden opgevangen. Het getoonde effect is derhalve de maximale impact met een zekere overschatting, maar zal dicht bij de werkelijke impact liggen.

De impact op de scheepvaart in het Midden-Rivierengebied is een combinatie van toegenomen wachttijden, beperkte vaardiepte en/of stremmingen. De optelsom van deze onderdelen is uiteraard groter dan de impact van elk afzonderlijk onderdeel. Tegelijkertijd kan een vermindering in vaardiepte leiden tot een toename van het aantal scheepsbewegingen, hetgeen de wachttijden verder kan verlengen. In andere woorden, het simpelweg optellen van de verschillende componenten kan resulteren in een onder- of overschatting van het totale effect.



Figuur 2-1 Overzicht definitie zichtjaren en bepaling effect maatregelen

3 Schutbeperkingen Driel & Amerongen

In 2018 was er negatief verval over stuw Driel. Dit betekent, dat de waterstand aan de benedenstroomse zijde van de stuw hóger was dan aan de bovenstroomse zijde. De stuw en met name de naastgelegen sluizen kunnen slechts een heel gering negatief verval aan. Als beheersmaatregel werd de vizierboog geheven en ontstond één stuwpand van Amerongen tot Arnhem. In 2022 waren er ook schutbeperkingen bij Amerongen; deze waren het gevolg van een verkeerd bedienprotocol waardoor er uiteindelijk water bespaard moest worden via schutbeperkingen. Het negatieve verval en de schutbeperkingen hebben invloed op de scheepvaart. Rijkswaterstaat wil voor de stresstest de impact voor de scheepvaart bepalen. Daarnaast is er behoefte aan een overzicht van de keuzes en gevolgen daarvan bij het voorkomen van negatief verval bij Driel.

In dit hoofdstuk wordt gekeken wat de impact is van de schutbeperkingen op de scheepvaart. Als eerste wordt, net als in andere onderdelen van de stresstest voor vaarwegen, eerst gekeken naar de blootstelling van de scheepvaart. Hiervoor wordt gekeken naar het aantal passerende schepen en de vracht die wordt meegenomen. Er wordt in dit onderdeel ook specifiek gekeken naar de schepen die de havens op het stuwpand Amerongen – Driel aandoen. In dit geval wordt de impact op de lokale industrie meegenomen in beperkingen van het vaarwegennetwerk.

Daarna wordt uitgebreider gekeken naar stuw Driel tijdens negatief verval. Hierbij wordt het functioneren van de stuw in het huidige systeem beschreven en hoe dit verandert met klimaatverandering en bodemerrosie. Voor dit onderdeel wordt veel gebruik gemaakt uit de resultaten van het programma Integraal Riviermanagement (IRM, Asselman et al., 2022). Vervolgens worden de gegevens uit deze twee onderdelen gecombineerd om te komen tot een impact voor de scheepvaart. Als laatste wordt het afwegingskader geschetst voor stuw Driel en de gevolgen hiervan voor de scheepvaart en andere functies.

3.1 Blootstelling Scheepvaart

In Tabel 3-1 is het aantal vaarbewegingen langs Amerongen en Driel voor 2014 en 2018 te zien. Op basis van het verschil tussen de twee stuwcomplexen is het aandeel van lokale scheepvaart (herkomst of bestemming stuwpand Amerongen – Driel) te schatten. Over een jaar passeren ongeveer rond de 6000 – 7000 schepen Driel en zijn er 2000 vaarbewegingen met als bestemming of herkomst stuwpand Amerongen – Driel. Het overgrote deel van de vaarbewegingen is CEMT-klasse IV of kleiner, al is er een redelijk aandeel schepen van klasse Va-schepen. Als laatste is er te noemen dat er (iets) meer scheepsbewegingen zijn richting het westen dan het oosten bij zowel Driel als Amerongen. Netto is er dus meer afvaart dan opvaart op deze riviertak.

Tabel 3-2 toont de vervoerde vracht over de Neder-Rijn en de twee sluizen. Deze gegevens zijn afkomstig uit het NIS⁴ en aangeleverd door Rijkswaterstaat. Per dag wordt ongeveer 39.000 ton vervoerd over de Neder-Rijn. Dit is wel een combinatie van schuttingen en passages onder de vizierbogen. De vervoerde vracht per dag door de sluizen zal, door beperkingen in vaardiepte, lager zijn.

⁴ Netwerkinformatiesysteem Rijkswaterstaat

Het grootste deel van de vervoerde vracht is droge bulk, onderverdeeld in bouwmaterialen en voedingsproducten (Figuur 3-1). Bij Arnhem (stroomopwaarts van Driel) is er een haven voor natte bulk (aardolie) wat een belangrijke rol speelt voor de bevoorradiging van brandstoffen in het oosten van Nederland. Ongeveer de helft van de schepen zijn leeg op dit traject, deze schepen moeten wel schutten en verhogen de wachttijd.

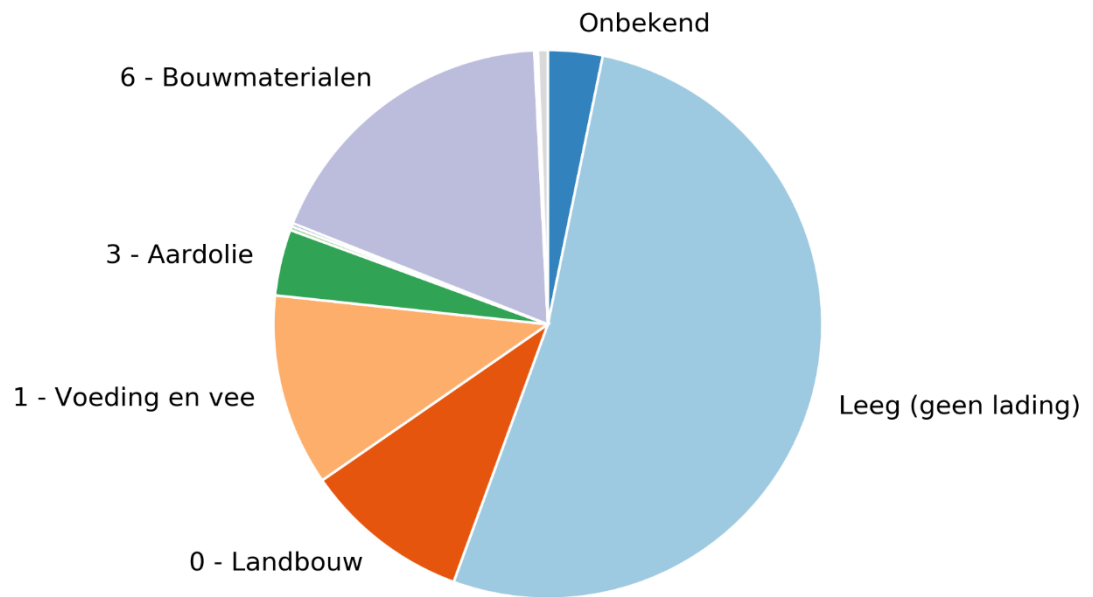
Tabel 3-1 Aantal vaarbewegingen langs sluiscomplex Amerongen en Driel in 2014 en 2018 uitgesplitst naar de verschillende CEMT-klassen. Op basis van het verschil tussen de twee complexen is het aandeel lokale scheepvaart (herkomst of bestemming stuwpand Amerongen – Driel) bepaald.

Vaarbewegingen						
	Amerongen 2014	Amerongen 2018	Driel 2014	Driel 2018	Lokaal 2014	Lokaal 2018
0	90	78	66	92	24	-14
I	54	67	53	45	1	22
II	1244	974	899	713	345	261
III	4479	3517	3358	2539	1121	978
IV	1852	1933	1311	1321	541	612
Va	1512	1498	1055	1296	457	202
Vb	14	30	9	27	5	3
VIa	53	114	37	89	16	25
VIb		1			0	1
Totaal	9298	8212	6788	6122	2510	2090
per dag	25.46	22.48	18.58	16.76	6.87	5.72

Tabel 3-2 Vervoerde vracht richting stuwpand Driel – Amerongen op basis van gegevens van 2022 aangeleverd door Rijkswaterstaat uit het NIS, de laatste kolom is de scheepvaart wat langs het traject gaat (zowel sluis als onder de stuwbogen door).

	Sluis Amerongen	Sluis Driel	Lek / Neder-Rijn
Aantal vaarbewegingen	8.485	5.523	14.697
Tonnage	8.004.518	6.131.561	14.239.614
Ton per dag			39.013

Scheepvaart van en naar: Veluwe



Figuur 3-1 Aandeel verschillende NSTR goederen richting het stuwpannd Amerongen – Driel (genaamd Veluwe in BIVAS).

3.2 Uitzakken waterstanden Driel

Recent zijn voor Driel meerdere metingen uitgevoerd om de debietrelatie te bepalen. In Zuiderwijk & O'Mahoney (2024) is de werking van stuw Driel beschreven. De doorwerking van gering verval op het doorvoerdebiet is zeer belangrijk. In principe wordt gestuurd op een debiet van 25 m³/s, maar met vervallen lager dan 50 centimeter is dat debiet in praktijk moeilijk te realiseren.

Voor stuw Hagestein is gekeken naar het functioneren van het object bij het voorkomen van negatief verval (ten Harmsen van der Beek et al., 2024). Voor dat object is met de objectbeheerder (RWS-Oost Nederland) gesproken over de (on)mogelijkheden van het object. In tegenstelling tot de stuw Hagestein, die berekend is op peilfluctuaties en dus negatief verval als gevolg van getijbewegingen op de Lek, zijn de stuwen op de Neder-Rijn-Lek niet berekend op negatief verval, al is niet met zekerheid te zeggen wat de werkelijke fysieke grenzen zijn van het object. De schutsluis bij Hagestein, die vergelijkbaar zou moeten zijn met schutsluis Driel, kan een verval aan van -0.20 m. Voor Driel is in 2018 als drempelwaarde een verval van + 0.20 m aangehouden, vergelijkbaar met wat er voor de Bernhardsluizen wordt gehanteerd (Rijkswaterstaat, 2018a). Bij hogere vervallen dient de schutsluis geopend te worden of moet de waterstand aangepast worden. Belangrijk om hier bij te noemen, elementen van het stuwcomplex zullen al eerder beperkingen in het functioneren ondervinden door het afnemen van het verval. Zo is de inzet van de cilinderschuif bij beperkt verval minder effectief.

De waterstanden stroomopwaarts van Driel worden door de stuw beïnvloed. Bij lage afvoeren zal de waterstand boven Driel ondanks de stuwwerking zakken, doordat de IJssel het water 'naar zich toe trekt'. Dit heeft de volgende oorzaak: doordat de rivierbodem op de riviertakken - in het bijzonder op de IJssel en Waal - erodeert, zakt over de jaren de waterstand op de rivieren.

Het peil op het stuwpand Amerongen-Driel zakt niet mee met deze waterstand, omdat deze volledig gereguleerd is. Er is zelfs sprake van sedimentatie op dit deel, en ook op het traject Driel-IJsselkop. Door de daling van bodem en waterstanden op de IJssel, zakt het peil tussen de IJsselkop en Driel tot onder de waterstand van het stuwpand Driel-Amerongen. Met doorgaande bodemerrosie en lagere rivierafvoeren zal dit vaker voorkomen en zal er vaker sprake zijn van negatief verval over stuw Driel.

Binnen het programma Integraal Riviermanagement (IRM, Asselman et al., 2022) is gekeken naar de invloed van bodemerrosie op de waterstanden op de rivier al dan niet in combinatie met lagere afvoeren. De resultaten van IRM zijn gebruikt om het aantal dagen met negatief verval te bepalen in de situatie van 2018 (REF_bed2018), huidig klimaat met bodemerrosie tot 2050 (REF_bed2050) en toekomstig klimaat met de huidige bodem gefixeerd (WH_bed2018). Het functioneren van stuw Driel is te koppelen aan twee drempelwaarden; vanaf waterstanden minder dan 7,20 m NAP neemt de functionaliteit van de cilinderschuif af. Bij waterstanden lager dan 6,00 m NAP is er sprake van negatief verval. In Tabel 3-3 is te zien dat in het huidige klimaat en met de huidige bodemligging slechts enkele dagen sprake is van negatief verval. In deze situatie is er vanaf een afvoer van 640 m³/s bij Lobith sprake van negatief verval, wat in de 100-jarige reeks niet vaak is voorgekomen. Met bodemerrosie treedt er vanaf een afvoer van 795 m³/s bij Lobith negatief verval op, waardoor het veel vaker voorkomt (330 dagen in plaats van 18 dagen) in de 100-jarige reeks. Met dezelfde bodemligging en klimaatveranderingen komen er vaker lage afvoeren (640 m³/s bij Lobith) voor waardoor er ook veel vaker negatief verval optreedt. Dit is toevallig genoeg vrijwel een gelijk aantal dagen als de situatie zonder klimaatverandering maar met bodemerrosie. Gecombineerd is het effect van bodemerrosie en klimaatverandering voor de drempelwaarde van 6,00 m NAP nog groter en niet simpelweg een optelsom.

Samenvattend komt er vaker negatief verval voor door klimaatverandering (vaker lagere afvoeren) of doorgaande rivierbodemerrosie (lagere waterstanden bij dezelfde afvoer).

Tabel 3-3 Aantal dagen onderschrijding van de waterstand (voor twee drempelwaarden) bij rivierkilometerpunt NR_891 (stroomopwaarts van Driel) op basis van IRM resultaten (1911 – 2011)

Drempelwaarde	Scenario	Aantal dagen totaal	Dagen per jaar
<7.2	Huidig klimaat bed2018	5540	54.85
	Huidig klimaat bed2050	7825	77.48
	WHdry bed2018	9206	91.15
	WHdry bed2050	11750	116.34
<6.0	Huidig klimaat bed2018	18	0.18
	Huidig klimaat bed2050	330	3.27
	WHdry bed2018	331	3.28
	WHdry bed2050	1598	15.82

In 2018 en 2022 was de afvoer dusdanig laag dat er sprake kon zijn van negatief verval, in 2018 werden de vizierbogen volledig geheven. In 2022 was dit niet noodzakelijk omdat het waterpeil op het stuwpand Driel-Amerongen al was gezakt. Het gevolg van het heffen van de vizierbogen is een daling van 5 – 10 centimeters van de waterstand (Hydrologic, 2019a). De vaardiepte bij Arnhem wordt in deze situaties nog lager op het traject Driel-IJsselkop. Hierdoor wordt ook zonder scheepvaartbeperkingen bij het object Driel de route moeilijker begaanbaar. Waarbij opgemerkt dient te worden, dat als gevolg van voortdurende sedimentatie op het traject de vaardiepte tussen de IJsselkop en Driel al laag is, ook als de stuw nog niet is geheven.

Bij gelijk verval over de stuw worden de sluisen gestremd en dient de scheepvaart onder de vizierbogen te varen. Aangezien de vaarroute bij hogere afvoeren ook onder de vizierbogen gaat en schippers hieraan gewend zijn, is aan te nemen dat er geen extra beperkingen zullen uitgaan van deze nieuwe vaarroute voor de scheepvaart.

Bij het heffen van de stuw van Driel stuwt stuw Amerongen het water op het pand (deels). Voor de situatie in 2018 zijn berekeningen uitgevoerd waarin het effect van het heffen van de stuw zichtbaar is (Rijkswaterstaat, 2018a). In praktijk zal daarna de waterstand steeds verder uitzakken met lagere afvoeren en neemt de vaardiepte ook op dit traject af. Nu is maar zeer de vraag of bij deze lage afvoeren op het traject Amerongen - Driel de maatgevende vaardiepte (min. ~2,34 bij Q 600 m³/s uit Asselman et al (2022)) is aangezien ook op het stuwpand Hagestein – Amerongen de waterstanden zakken (min. ~2,28 bij Q 600 m³/s uit Asselman et al. (2022)). Bij Amerongen kunnen er wel beperkingen ontstaan voor de scheepvaart in het gebruik van de schutsluis om water te besparen.

In theorie is het ook mogelijk om de stuw niet te heffen bij negatief verval door de waterstand benedenstrooms van de stuw te laten zakken (wat onbewust in 2022 is gedaan). Hiervoor zou er dan bij Amerongen op een ander peil gestuurd moeten worden en zakt het peil op het stuwpand mee met de waterstand bovenstrooms. Met een testberekening op basis van het 1D-model is bij een stationaire afvoer van 600 m³/s te Lobith de waterstand ongeveer 4 centimeter hoger bij de IJsselkop met het niet heffen van de vizierboog (5,89 m +NAP ten opzichte van 5,85 m +NAP). De waterstand op het stuwpand zal waarschijnlijk wel verder moeten zakken om nog enige afvoer richting het stuwpand te kunnen realiseren om aan de watervraag te voldoen.

Als de waterstanden op het stuwpand Amerongen – Driel zakken heeft dat nadelige gevolgen voor de watervoorziening van de regio. In 2022 daalde de waterstanden op het stuwpand omdat de watervraag groter was dan de aanvoer⁵. In 2022 was de waterstand dusdanig ver gezakt (5,22 m +NAP, uit Draaiboek Droogte RDO Gelderland d.d. 8 augustus 2023) dat het innemen van water uit de Neder-Rijn amper mogelijk was voor de waterschappen. Dit zorgde voor problemen voor de landbouw en regionale waterkwaliteit (Gelderse Vallei). Tevens werden veerponten uit de vaart gehaald omdat de landhoofden niet meer beschikbaar waren.

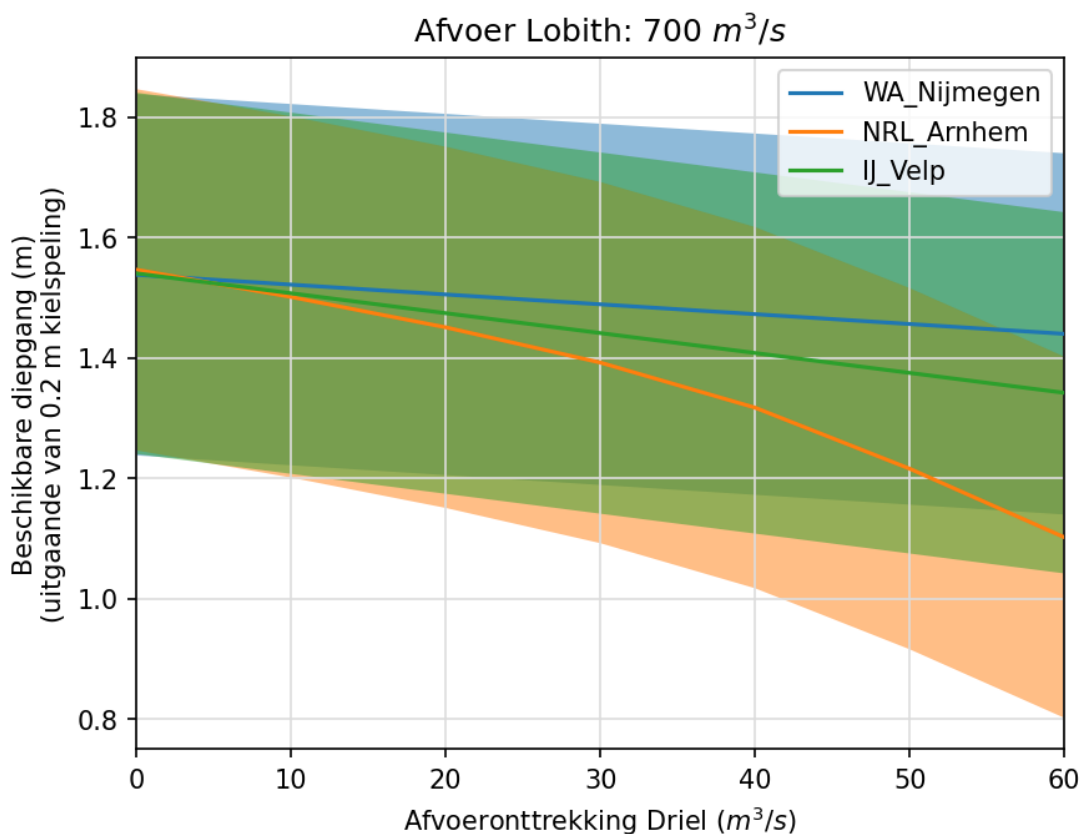
3.3 Impact scheepvaart

In eerdere studies voor KBN is gekeken naar het effect van de verminderde vaardiepte op de scheepvaart, ook voor het knelpunt bij Arnhem (de Jong, 2020a). De resultaten van die stresstesten worden hier niet herhaald voor de impact op de scheepvaart. Verder wordt er van uitgegaan dat er geen maatgevend knelpunt is voor de scheepvaart op het traject Amerongen – Driel en dat het uitzakken van het peil op dit traject geen significant effect heeft op de scheepvaart.

Om water te besparen kunnen er schutbeperkingen bij Amerongen opgelegd worden. Het is niet te zeggen wanneer en met hoeveel tijd de wachttijd bij de sluisen toeneemt, in 2022 was dit ongeveer 1 uur voor de beroepsvaart (Draaiboek droogte RDO Gelderland d.d. 8 augustus 2023). Bij Driel zijn de schutsluisen gestremd, maar is er te varen onder de vizierbogen. De wachttijd zal hier plaatselijk dus afnemen.

⁵ In deze situatie was de stuw niet geheven, maar werd niet voldoende aangevoerd via Driel om aan de watervraag te voldoen, al is er mogelijk ook sprake geweest van een te grote afvoer van water bij Amerongen

De keuze om extra water door te laten bij Driel voor de waterverdeling heeft, zoals in de voorgaande studie ook al is geconcludeerd, een behoorlijke impact op de scheepvaart. Dit komt doordat er meerdere maatgevende knelpunten worden beïnvloed door het aanpassen van de waterverdeling. Recentelijk is er nog uitgebreider gekeken naar de invloed van de waterverdeling op de knelpunten en de resultaten zijn te zien in Figuur 3-2. De vermindering in vaardiepte is niet meegenomen in de indirecte bedreiging-studie van vorige jaar, maar wel in het dashboard van de LCW.



Figuur 3-2 Beschikbare diepgang voor verschillende knelpunten bij een vaste afvoer bij Lobith voor verschillende onttrekkingen over Driel met een bandbreedte aan onderhoudsstatus van de bodem (uit <https://qincom.deltares.nl/>)

Met het uitzakken van de waterstand door de bodemerrosie op de IJssel kan er in de toekomst, als er niets wordt gedaan aan de bodemerrosie⁶, 3,09 dagen per jaar vaker de stuw geheven worden. Indien er dan geen scheepvaart meer mogelijk zou zijn is de maximale impact 120.000 ton of €796.800 per jaar.

Op basis van de voor de LCW gemaakte tool⁷ is te concluderen dat 1 cm vaardiepte overeen komt met 100 ton per dag bij het knelpunt Arnhem⁸. Het *niet* heffen van de vizierboog levert 4 centimeter hogere waterstanden op bij de IJsselkop en daarmee dus 400 ton / dag en 1236 ton per jaar indien er niets wordt gedaan aan de bodemerrosie. De waterstand op het stuwpannd Driel – Amerongen zal dan wel enkele centimeters lager zijn, dan wanneer de vizierbogen wel worden geheven.

⁶ De invloed van klimaatverandering is vergelijkbaar met het niets doen aan de bodemerrosie

⁷ <https://qincom.deltares.nl/>

⁸ Hiervoor is een handmatige correctie nodig omdat de scheepvaart op de Nederrijn wordt onderschat in BIVAS en daarmee QINCoM

De haven van Arnhem wordt direct beïnvloed door het functioneren van stuw Driel en de rivierbodem. Met de uitzakkende waterstanden wordt deze haven steeds minder goed bereikbaar en zijn er geen alternatieven denkbaar. Het uitzakken van de waterstanden op het stuwpand Amerongen – Driel beperkt de bereikbaarheid van de havens op dit traject, met name als de scheepvaart afkomstig is van het oosten. Vanuit het westen is, zolang er geen beperkingen zijn bij Amerongen, dit traject nog wel bereikbaar.

3.4 Afwegingskader

Het voorkomen van negatief verval bij Driel in het recente verleden is het gevolg van lage afvoeren op de Rijn in combinatie met rivierbodemerosie op de Waal en IJssel. Maatregelen om de rivierbodemerosie te beperken (of zelfs om te draaien) zullen het meest effectief zijn om hinder voor de scheepvaart te beperken op de Neder-Rijn en Lek.

Het bepalen van de optimale rivierbodemstrategie is onderdeel van andere programma's en zal hier niet nader worden besproken.

De eerste stap in het afwegingskader kan een uitgebreidere bepaling van de kritische waarden voor negatief verval voor het object zelf zijn. Voor de scheepvaartsluizen zijn waarden bekend (in ieder geval voor Hagestein en Driel). Maar voor de stuw zelf wordt uitgegaan van een drempelwaarde van 0 centimeter. Het is zeker dat het object niet om kan gaan met negatief verval, maar de marge is niet bekend. Met name voor Hagestein is dit kritischer aangezien daar kortdurend negatief verval kan optreden (door de getijwerking benedenstrooms) en de reactie van het object langer kan duren dan de periode van negatief verval.

Vervolgens zijn er twee reacties mogelijk om negatief verval te voorkomen, het heffen van vizierbogen of het laten uitzakken van het peil op het stuwpand (zonder de vizierbogen te heffen).

Met het heffen van de vizierboog zakt de waterstand op het stuwpand en stroomopwaarts van Driel. Met name het verder uitzakken van de waterstand stroomopwaarts van Driel heeft negatieve gevolgen voor de scheepvaart door het knelpunt bij Arnhem. Bij het stuwcomplex kan de scheepvaart onder de vizierbogen door varen en hoeft er niet meer geschut te worden. Met het heffen van de vizierbogen kan aan de watervraag op het stuwpand (en benedenstrooms van Amerongen) worden voldaan, al zal er bij Amerongen spaarzaam omgegaan worden met het beschikbare water en is er mogelijk maar weinig water over om door te voeren.

Als de vizierbogen niet worden geheven dient het peil op het stuwpand mee te zakken met de waterstand bovenstrooms van Driel. Er is redelijkerwijs aan te nemen dat er over stuw Amerongen altijd verval is aangezien de waterstand benedenstrooms zakt met de waterstand in de Waal in deze situaties. Met het niet heffen van de stuw bij Driel blijft de waterstand bovenstrooms van Driel bij een stationaire afvoer van 600 m³/s 4 centimeter hoger. De waterstand zal bovenstrooms nog steeds zakken met een lagere afvoer, maar vermoedelijk minder hard dan met het heffen van de stuw. Met deze keuze wordt het wel moeilijker om water aan te voeren naar het stuwpand Driel – Amerongen, er moet ten minste enig verval (>10 – 20 centimeter) zijn om water via de cilinderschuiven aan te voeren. Als de waterstand onder de 5,85 m +NAP zakt op het stuwpand is het niet mogelijk om water in te nemen voor het regionale watersysteem zonder pompen te plaatsen (Rijkswaterstaat, 2018b). Verder zal de effectiviteit van de waterkrachtcentrale bij Amerongen afnemen met het verkleinen van het verval.

Er zijn enkele onbekende variabelen die het nu niet mogelijk maken om het afwegingskader volledig (kwantitatief) te maken:

- Een testberekening met een 1D model geeft een toename van 4 centimeter stroomopwaarts van Driel door het niet heffen van de vizierbogen bij een $Q_{\text{Lobith}} 600 \text{ m}^3/\text{s}$. Maar voor het volledige effect is een uitgebreidere analyse nodig. Daarnaast zal de afvoerverdeling kunnen veranderen bij de IJssel- en Pannerdensch Kop.
- Het absolute minimum peil op het stuwpand Amerongen – Driel voor de innamepunten (en andere functies) is nu nog niet bekend. Dat vormt een absolute ondergrens voor het uitzakken van het peil indien de stuw niet wordt geheven.

4 Uitbreiding kwantificatie scheepvaart

Dit hoofdstuk gaat in op de vaarkosten per jaar voor verschillende scenario's en karakteristieke jaren. Paragraaf 4.1 geeft voor het gehele riviersysteem de vervoerde vracht en de vaarkosten per dag berekend voor verschillende scenario's en afvoeren bij Lobith met QINCoM (de Jong, 2021). Ook gaat deze paragraaf in op de vervoerde vracht en de kosten per dag door de Bernhardsluizen. Vervolgens worden in paragraaf 4.2 voor alle scenario's de totale kosten per jaar bepaald met behulp van de kosten per dag per afvoerniveau en het aantal dagen dat een bepaald afvoerniveau wordt onderschreden.

Daarna volgt er een korte beschouwing in paragraaf 4.3 over de waarschijnlijkheid van inzet van maatregelen. Uiteindelijk wordt er afgesloten met een korte gevoeligheidsanalyse van de kostenkengetallen in paragraaf 0.

4.1 Vervoerde vracht naar vaarkosten

De vervoerde vracht wordt naar vaarkosten omgezet eerst met behulp van de kostenkengetallen uit QINCoM zelf. De berekeningen volgen dezelfde aanpak als van der Wijk et al (2024). De kosten uit QINCoM beschrijven de *transportkosten* van de scheepvaart en vormen niet de volledige economische impact. Er kunnen voor de industrie extra kosten ontstaan door het verstoren van het productieproces.

4.1.1 Gehele riviersysteem

Deze paragraaf behandelt de onderstaande scenario's, allen afkomstig uit van der Wijk et al. (2024), de achterliggende afvoerverdeling is te vinden in Bijlage C:

- **2030 Ref:** huidige situatie met enkele maatregelen uit het Deltaprogramma Zoetwater die al worden uitgevoerd of zeer waarschijnlijk zijn. Dit zijn maatregelen die invloed hebben op de watervraag uit de Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal. Hierbij wordt standaard gestuurd op 25 m³/s zoetwatertoevoer via het Betuwepand en de Irenesluizen naar de monding van het Amsterdam-Rijnkanaal.
- **2050 - WHdry:** scenario waarbij de regionale watervraag (rode pijlen in de figuren uit Bijlage C) met 20% is toegenomen ten opzichte van 2030 Ref.
- **2050 ARK:** scenario 2050 met als toevoeging dat van het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) bij lage afvoeren een aanvoerroute naar het IJsselmeer wordt gemaakt (25 m³/s extra)⁹.
- **2050 Hagestein:** scenario 2050 met als toevoeging dat er bij alle afvoeren altijd minimaal 25 m³/s over stuw Hagestein gaat in plaats van 10 m³/s.
- **2050 ARK + Hagestein:** scenario 2050 ARK en 2050 Hagestein gecombineerd.
- **2050 Driel:** scenario 2050 met als toevoeging dat er bij alle afvoeren altijd minimaal 25 m³/s over stuw Driel gaat, feitelijk wordt hiermee alleen de afvoer aangepast voor de drie laagste afvoerniveaus. In dit scenario gaat dit in gelijke maten ten koste van zowel de IJssel- als de Waalafvoer.

Tabel 4-1 toont de totaal vervoerde vracht per dag in het gehele riviersysteem berekend voor elk scenario voor de afvoeren 700, 850, 1020 en 1800 m³/s. Deze cijfers wijken af van de tonnages die gepresenteerd worden in van der Wijk et al. (2024), omdat toen de verkeerde route-kostenfunctie is gebruikt. De toen gebruikte *ton-feasible* relatie had de inzet van meer schepen om de vracht te vervoeren niet goed meegenomen. Dit is nu aangepast.

⁹ De afvoer bij de monding van het Amsterdam-Rijnkanaal neemt toe, maar wordt daarna doorgevoerd richting het Markermeer/IJsselmeer waardoor de afvoer bij de monding van het Noordzeekanaal afneemt.

In Tabel 4-2 staan vervolgens de totale vaarkosten per dag weergegeven voor alle scenario's voor de verschillende afvoeren. Bij de berekeningen in QINCoM wordt gebruik gemaakt van het prijspeil uit 2014.

Tabel 4-1 Totaal vervoerde vracht per dag voor de verschillende scenario's voor vier verschillende afvoeren bij Lobith.

Scenario	Totaal vervoerde vracht in het hele rivierensysteem (ton/dag)			
	Afvoer bij Lobith (m ³ /s)			
	700	850	1020	1800
2030 Ref	652482	827371	886845	895406
2050 WHdry	648968	826861	886813	895406
2050 ARK	647642	826644	886764	895405
2050 Hagestein	648235	826742	886783	895406
2050 ARK + Hagestein	645826	826496	886740	895405
2050 Driel	640968	824796	886604	895406

Tabel 4-2 Totale vaarkosten per dag voor de verschillende scenario's bij vier verschillende afvoeren bij Lobith.

Scenario	Totale vaarkosten in het hele rivierensysteem (k€/dag)			
	Afvoer bij Lobith (m ³ /s)			
	700	850	1020	1800
2030 Ref	13401	11024	8412	6426
2050 WHdry	13446	11053	8421	6426
2050 ARK	13470	11066	8429	6426
2050 Hagestein	13457	11061	8426	6426
2050 ARK + Hagestein	13496	11075	8435	6426
2050 Driel	13533	11102	8439	6426

Tabel 4-3 Verschil in vaarkosten per dag voor de verschillende scenario's bij vier afvoeren bij Lobith, waarbij 2050 Ref is vergeleken met 2030 Ref. De maatregelen worden vergeleken met 2050 Ref.

Scenario	Verschil vaarkosten in het hele rivierensysteem (k€/dag)			
	Afvoer bij Lobith (m ³ /s)			
	700	850	1020	1800
2050 Ref	44.7	28.6	9.0	0.0
2050 ARK	24.4	13.8	7.9	0.0
2050 Hagestein	11.6	8.0	4.7	0.0
2050 ARK + Hagestein	50.0	22.6	14.1	0.1
2050 Driel	87.8	49.6	18.1	0.0

4.1.2 Bernhardsluizen

Deze paragraaf zoomt in op de Bernhardsluizen. Tabel 4-4 toont de totaal vervoerde vracht per dag door de Bernhardsluizen voor drie verschillende afvoeren bij Lobith. De hoogste afvoer valt hier af, omdat bij afvoeren hoger dan 1.200 m³/s bij Lobith de Bernhardsluizen nog gesloten zijn en als normale schutsluizen functioneren. Stremmingen als gevolg van hoge stroomsnelheden zijn dan niet aan de orde. In Tabel 4-5 zijn de totale vaarkosten per dag voor de Bernhardsluizen te zien. Deze gegevens zijn afkomstig uit Tabel 3-3 uit Van der Wijk et al. (2023).

Tabel 4-4 Vervoerde vracht door de Bernhardsluizen per dag voor vier verschillende afvoeren bij Lobith.

Scenario	Vervoerde vracht Bernhardsluizen (ton/dag)			
	Afvoer bij Lobith (m ³ /s)			
	700	850	1020	1800
2050 Stremming Bernhardsluizen (Vla)	4957	5802	7162	n.v.t.

Tabel 4-5 Vaarkosten per dag voor de Bernhardsluizen voor vier verschillende afvoeren bij Lobith.

Scenario	Vaarkosten Bernhardsluizen (k€/dag)			
	Afvoer bij Lobith (m ³ /s)			
	700	850	1020	1800
2050 Stremming Bernhardsluizen (Vla)	95	66	44	n.v.t.

4.2 Impact inzet maatregelen

In Tabel 4-6 (uit van den Hoek & van der Mark, 2024) is het aantal dagen dat een bepaald afvoerniveau wordt overschreden voor specifieke herhalingstijden (1/10, 1/100 en gemiddeld) te zien. Voor het klimaatscenario 2050Hd geldt dat dit direct uit de studie is overgenomen, voor de referentie is met dezelfde methodiek het aantal dagen overschrijding voor deze studie bepaald. Voor deze studie is het afvoerniveau 1400 m³/s niet apart gedefinieerd omdat maatregelen in het Midden-Rivierengebied pas genomen kunnen worden vanaf het moment dat de Bernhardsluizen openen (~1200 m³/s).

Tabel 4-6 Aantal dagen per jaar dat een afvoerniveau wordt overschreden bij Lobith voor karakteristieke jaren met verschillende terugkeertijden voor de klimaatscenario's Referentie en 2050Hd.

Aantal dagen overschrijding		Afvoerniveau (m ³ /s)			
Klimaatscenario	Terugkeertijden	700	850	1020	1800
Referentie	10	0	9	48	242
	100	16	50	115	326
	Gemiddeld	0	3	13	156
2050Hd	10	3	39	90	267
	100	54	104	164	311
	Gemiddeld	2	11	35	183

Met behulp van het aantal dagen dat een bepaald afvoerniveau wordt onderschreden en de kosten per afvoer per dag, kunnen de totale kosten per jaar voor een scenario bepaald worden. Hiervoor is de volgende berekening gemaakt (C is kosten uit Tabel 4-2, N is aantal dagen uit Tabel 4-6 en Q is afvoer bij Lobith):

$$C_{jaar} = N_{Q<700} * C_{Q=700} + (N_{Q<850} - N_{Q<700}) * C_{Q=850} + (N_{Q<1020} - N_{Q<850}) * C_{Q=1020} + (N_{Q<1800} - N_{Q<1020}) * C_{Q=1800}$$

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de kosten per jaar met deze berekening iets worden onderschat. De kosten nemen namelijk verder toe met het afnemen van de afvoer. Met name voor het hoogste afvoerniveau zullen de kosten iets hoger uitpakken als er niet wordt gewerkt met een discrete verdeling in kosten per dag gekoppeld aan afvoerniveau.

In Tabel 4-7 zijn de kosten per jaar voor de verschillende scenario's en herhalingstijden te zien. De eerste twee scenario's zijn de vaarkosten voor het referentiejaar en de 2050Hd. Het verschil in kosten tussen twee scenario's zijn feitelijk de gevolgen van het vaker en langer voorkomen van lage afvoeren (*stresstest droogte*). Vervolgens wordt het verschil in kosten bepaald ten opzichte van 2050Hd als gevolg van het nemen van maatregelen (*stresstest indirecte bedreigingen*).

De getoonde kosten zijn (los van eerdere aannames) een *maximaal* effect van het nemen van de maatregelen. De maatregelen worden in dit geval voor alle dagen ingezet, iets wat in werkelijkheid lang niet altijd zal gebeuren. In de volgende paragraaf wordt meer ingegaan op de kans van voorkomen van de maatregelen.

Voor het effect van de maatregel ARK + Hagestein moet niet alleen gekeken worden naar de invloed op de vaardiepte, maar ook op de impact van stremming van het Betuwepand voor de grootste schepen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat alleen is gerekend met een stremming voor de klasse VIa, met iets meer debiet door het Betuwepand kan er ook een stremming voor klasse Vb schepen ontstaan wat de kosten veel hoger zou maken.

De kosten van de maatregel Driel zijn het hoogste, omdat extra afvoer naar Driel gaat ten koste van de afvoer naar IJssel en Waal, wat invloed heeft op meerdere maatgevende knelpunten (1 – 8 M€/jaar). Omdat de toename in debiet naar het Amsterdam-Rijnkanaal hoger is dan richting de Lek heeft die maatregel een grotere impact (0,4 – 2,5 M€/jaar t.o.v. 0,2 – 1,3 M€/jaar). Het combineren van deze maatregelen is door de stremming bij de Bernhardsluizen veel kostbaarder dan het inzetten van één van de maatregelen (2,5 – 16 M€/jaar).

Tabel 4-7 Kosten per jaar (prijspeil 2014) per scenario en karakteristiek jaar. Voor het zichtjaar 2050 geldt dat de kosten per dag en watervraag op basis van WHdry zijn bepaald, de onderschrijding van afvoerniveaus is op basis van Hd2050. Verschil wordt bepaald ten opzichte van 2050 voor de maatregelen en ten opzichte van 2030 voor 2050.

Aantal dagen onderschrijding		Kosten per jaar voor het gehele riviersysteem (M€/jaar)	Verschil kosten per jaar (M€/jaar)
Scenario	Terugkeertijden		
2030 Ref	10	2464	
	100	2742	
	Gemiddeld	2379	
2050	10	2635	170.5
	100	3076	333.1
	Gemiddeld	2449	69.9

Aantal dagen onderschrijding		Kosten per jaar voor het gehele riviersysteem (M€/jaar)	Verschil kosten per jaar (M€/jaar)
Scenario	Terugkeertijden		
2050 ARK	10	2636	0.99
	100	3078	2.49
	Gemiddeld	2449	0.38
2050 Hagestein	10	2635	0.56
	100	3077	1.30
	Gemiddeld	2449	0.21
2050 ARK + Hagestein	10	2637	1.72
	100	3080	4.70
	Gemiddeld	2450	0.68
2050 Driel	10	2638	2.97
	100	3084	8.31
	Gemiddeld	2450	1.06
2050 Stremming Bernhardsluizen (Via)	10		4.9
	100		11.0
	Gemiddeld		1.8
2050 Som Vaarkosten ARK + Hagestein & Stremming	10		6.6
	100		15.7
	Gemiddeld		2.5

4.3 Kans van voorkomen van inzet maatregelen

In deze paragraaf wordt de kans van voorkomen van de inzet van maatregelen kwalitatief beschreven. Dit is om de berekende *maximale* kosten uit de vorige paragraaf in context te plaatsen.

Als eerste is het belangrijk om het verschil in herhalingstijden voor droogte en afvoeren te scheiden. Voor scheepvaart is de afvoer van Lobith de belangrijkste parameter, maar voor de watervraag is neerslagtekort in combinatie met de hydraulische condities (afvoer en waterstanden) maatgevend. Aanvullend is de watervraag het grootste in het groeiseizoen (april tot en met september) terwijl de transportvraag relatief constant is over het jaar¹⁰. Maatregelen voor de zoetwatervoorziening zijn dus het meest waarschijnlijk in het groeiseizoen als er sprake is van een groot neerslagtekort (al dan niet in combinatie met sterke zoutindringing). Dit hoeft niet samen te vallen met de periode van laagste afvoeren.

Het verschil tussen 2018 en 2022 is hierbij behoorlijk illustratief. De afvoer was in 2018 in de zomer al laag, maar daalde vooral sterk in de nazomer en het najaar. Gedurende deze periode is de watervraag lager en is de kans op inzet van maatregelen kleiner.

¹⁰ Over het algemeen is er sprake van een kleine afname in transportvraag in de zomervakantie (bouwwak) en rondom kerst, terwijl er in een najaar een kleine toename is van het vervoer van brandstoffen, om voorraden aan te vullen vóór de winter.

In 2022 was de afvoer lager in de zomer waardoor de behoefte voor maatregelen samenviel met de periode met hoge watervraag. Door klimaatverandering neemt de waarschijnlijkheid van lagere afvoeren in de zomer toe voor de Rijn, mede door het veranderende karakter van de Rijn (van regenrivier naar smeltwaterrivier). De lage afvoeren van een regenrivier hangen sterker samen met het neerslagtekort dan een smeltwaterrivier.

De maatregel Driel is het moeilijkst te realiseren in het huidige systeem door het functioneren van stuw Driel (zie hoofdstuk 3). Deze maatregel zal bij lagere afvoeren in het huidige systeem niet mogelijk zijn. Dat maakt de hier gepresenteerde kosten per jaar niet waarschijnlijk, mits er geen systeemingrepen worden gedaan.

De maatregel ARK is waarschijnlijk in een toekomstig klimaat en is onderdeel van de voorkeursstrategie.

Vanaf het moment dat er meer water is aan te voeren naar het ARK en Markermeer / IJsselmeer zal er in droge zomers naar alle waarschijnlijkheid gebruik van worden gemaakt. Of het hier gehanteerde debiet ook daadwerkelijk wordt aangevoerd valt te bezien.

De maatregel Hagestein zal sterk afhangen van de condities in de Rijn-Maasmonding. Vanaf afvoeren lager dan 900 m³/s is het aannemelijk dat de maatregel ingezet kan worden zodra er sprake is van zoutindringing. In paragraaf 6.2.6 wordt meer ingegaan op de maatregel Hagestein.

Het combineren van de maatregelen ARK en Hagestein lijkt aannemelijk gegeven de bovenstaande paragraven. In hoeverre in toekomstige situaties het kan worden vermeden, dat beide maatregelen - die een behoorlijke impact hebben op de scheepvaart - worden ingezet, is nu niet te zeggen.

4.4 Gevoeligheidsanalyse kostenkengetallen

De vaarkosten worden gebaseerd op een specifiek prijspeil en zullen veranderen over tijd. Onder andere door inflatie worden de vaarkosten hoger. In deze paragraaf wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd als er andere kostenkengetallen worden gebruikt voor het bepalen van de vaarkosten.

Bij de berekeningen in QINCoM wordt gebruik gemaakt van het prijspeil uit 2014. Op basis van de gegevens van het CBS is het prijspeil eind 2023 circa 1,46 keer hoger dan in 2015. Daarnaast is er gekeken naar het prijspeil halverwege 2022, een periode met een hoge transportvraag door de politieke situatie. Dan is het prijspeil 1,942 keer hoger dan in 2015.

Met deze twee factoren zijn de kosten per jaar vermenigvuldigd (Tabel 4-8). Omdat het een vaste factor is, verandert er niets in de relatieve impact tussen de verschillende maatregelen. Maar het verschil wordt door de factor wel groter.

Tabel 4-8 Kosten per jaar (prijspeil 2022 en 2023) per scenario en karakteristiek jaar. Voor het zichtjaar 2050 geldt dat de kosten per dag en watervraag op basis van WHdry zijn bepaald, de onderschrijding van afvoerniveaus is op basis van Hd2050. Verschil wordt bepaald ten opzichte van 2050 voor de maatregelen en ten opzichte van 2030 voor 2050

Scenario	Terugkeertijden	Kosten per jaar voor het gehele riviersysteem (M€/jaar) – prijspeil 2023	Kosten per jaar voor het gehele riviersysteem (M€/jaar) – prijspeil 2022	Verschil kosten per jaar (M€/jaar) – prijspeil 2023	Verschil kosten per jaar (M€/jaar) – prijspeil 2022
2030 Ref	10	3595	4786		
	100	4001	5326		
	Gemiddeld	3471	4620		
2050	10	3844	5117	248,8	331,2
	100	4487	5973	486,0	646,8
	Gemiddeld	3573	4756	102,0	135,8
2050 ARK	10	3846	5119	1,44	1,91
	100	4491	5978	3,64	4,84
	Gemiddeld	3574	4757	0,55	0,73
2050 Hagestein	10	3845	5118	0,82	1,09
	100	4489	5975	1,90	2,53
	Gemiddeld	3573	4756	0,30	0,40
2050 ARK + Hagestein	10	3847	5120	2,51	3,34
	100	4494	5982	6,86	9,13
	Gemiddeld	3574	4757	1,00	1,33
2050 Driel	10	3849	5123	4,34	5,77
	100	4499	5989	12,12	16,13
	Gemiddeld	3575	4758	1,54	2,05
2050 Stremming Bernhardsluizen (Vla)	10			7,1	9,5
	100			16,1	21,4
	Gemiddeld			2,7	3,5
2050 Som Vaarkosten ARK + Hagestein & Stremming	10			9,6	12,0
	100			22,9	28,2
	Gemiddeld			3,7	4,5

5 Wachttijden Irenesluizen

Voor de aanvoer van water richting het Amsterdam-Rijnkanaal wordt gebruik gemaakt van de Irenesluizen. Als er meer debiet nodig is op het Amsterdam-Rijnkanaal om de zoutindringing te beperken en om te kunnen voldoen aan de regionale watervraag, ontstaan er beperkingen voor de scheepvaart. Dit komt door het gebruik van één van de schutkolken voor het aanvoeren van water, waardoor de scheepvaart er geen gebruik meer van kan maken. Dit heeft een toename in wachttijden en hogere kosten tot gevolg.

Dit hoofdstuk gaat in op de wachttijden en de bijbehorende kosten voor de Irenesluizen. Paragraaf 0 behandelt de gewogen relatie tussen kosten en wachttijden. Paragraaf 5.2 geeft de toename van de wachttijden door maatregelen. Ten slotte gaat paragraaf 5.3 in op de impact op scheepvaart.

5.1 Impactrelatie wachttijden sluisen

De gewogen relatie tussen kosten en wachttijden voor schepen door de Irenesluizen is:

$$\text{Totale kosten wachttijd [€]} = 1,4517 \text{ [€/min]} * \text{Wachttijd bij Irenesluizen [min]}$$

Deze relatie is als volgt bepaald:

- Met behulp van Tabel A-1 zijn de gemiddelde kosten per uur (de Jong, 2020b) per scheepvaartklasse bepaald
- Aan de hand van IVS data (aanlevering Rijkswaterstaat uit NIS) van 2022 is het aantal schepen per scheepsklasse dat door de Irenesluizen gaat bepaald. Tabel A-2 toont deze data.
- Vervolgens is per scheepsklasse het aantal schepen vermenigvuldigd met de kosten per uur.
- De som van al deze kosten is gedeeld door het totaal aantal passages.
- Als laatste zijn de kosten per uur omgezet in kosten per minuut.

5.2 Toename wachttijden door maatregelen

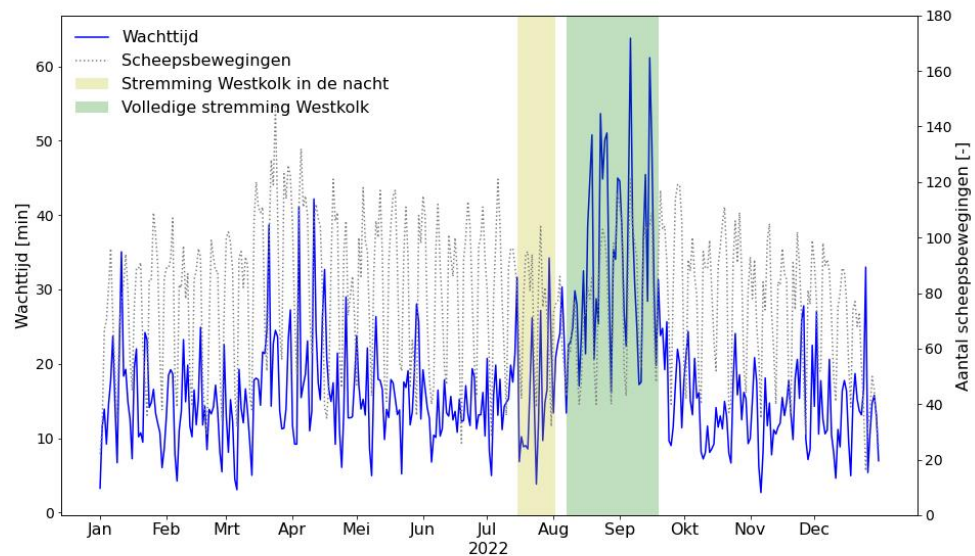
Met de IVS-gegevens uit 2022 is ook de gemiddelde wachttijd voor de Irenesluizen bepaald. Figuur 5-1 toont de gemiddelde wachttijd per dag voor de Irenesluizen (blauwe lijn) en het totaal aantal scheepsbewegingen per dag door de Irenesluizen (grijze stippellijn). In augustus en september neemt de wachttijd flink toe, terwijl het aantal scheepsbewegingen niet toeneemt. Deze toename komt doordat in deze periode niet beide kolken open waren voor de scheepvaart. Afhankelijk van het debiet door de Westkolk zijn er drie scenario's voor de Irenesluizen, namelijk:

- Zonder beperkingen (< 30 m³/s);
- Met stremming van de Westkolk 's nachts (30-60 m³/s);
- Met volledige stremming van de Westkolk (> 60 m³/s).

Voor elk scenario is bepaald wanneer dit in 2022 plaatsvond. Hierbij zijn de volgende aannames gedaan:

- De Westkolk wordt als volledig gestremd beschouwd wanneer er op een specifieke dag geen data aanwezig is van passages door de Westkolk.
- De Westkolk is 's nachts gestremd wanneer er tussen 22:00 uur en 6:00 uur geen data aanwezig is van passages door de Westkolk.

In Figuur 5-1 is de periode met stremming van de Westkolk 's nachts in geel aangegeven en de periode met volledige stremming in groen. Voor elk scenario is de gemiddelde en mediane wachttijd voor een schip bepaald. Tabel 5-1 toont deze wachttijden. Door het volledig sluiten van de Westkolk neemt de wachttijd dus toe met een factor 2,3.



Figuur 5-1 Gemiddelde wachttijd (blauwe lijn) voor en totaal aantal scheepsbewegingen (grijze stippellijn) door de Irenesluizen voor het jaar 2022. De periode met stremming van de Westkolk in de nacht is aangegeven in geel en de periode met volledige stremming van de Westkolk in groen.

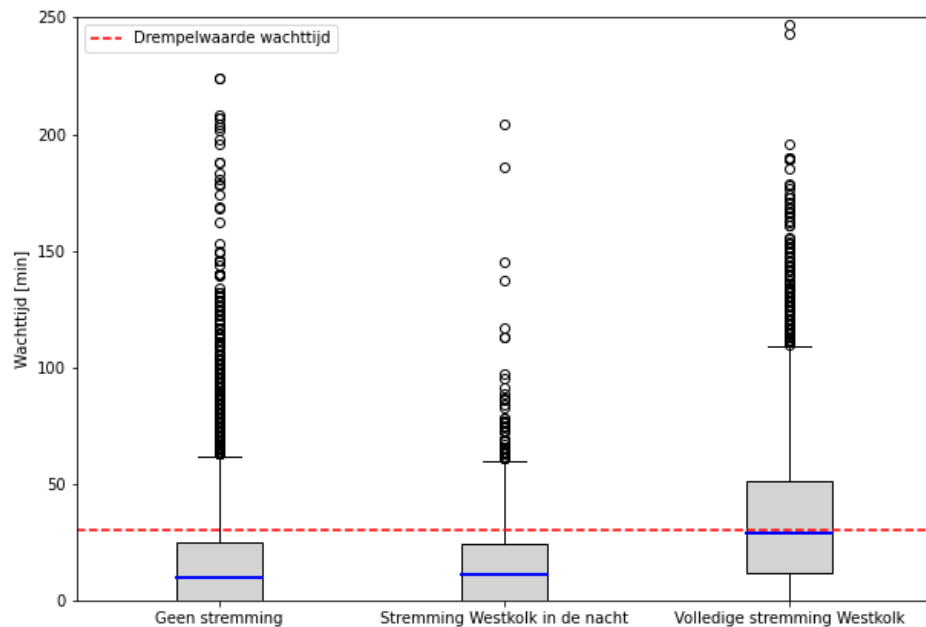
Tabel 5-1 Gemiddelde en mediane wachttijd voor elk scenario in 2022. De tabel toont ook voor elk scenario de periode.

Scenario	Periode	Gemiddelde wachttijd (minuten)	Mediane wachttijd (minuten)
Geen schutbeperkingen (< 30 m ³ /s)	01-01 t/m 14-07 2022 03-08 t/m 06-08 2022 20-09 t/m 31-12 2022	15,9	10,0
Stremming oude kolk 's nachts (30 – 60 m ³ /s)	15-07 t/m 02-08 2022	16,6	11,0
Volledige stremming oude kolk (> 60 m ³ /s)	07-08 t/m 19-09 2022	36,5	29,0

Figuur 5-2 toont boxplots van de wachttijd per schip van de drie verschillende scenario's. In blauw is de mediaan voor elk scenario weergegeven en in rood de drempelwaarde van de wachttijd (30 minuten) waarop wordt gestuurd voor het beoordelen van het netwerk.

Uit deze figuur blijkt dat in 2022 bij een volledige stremming van de Westkolk bijna 50% van de schepen een wachttijd van meer dan 30 minuten heeft.

Er is gekeken naar de relatie tussen schepen met gevaarlijke stoffen en de wachttijd. Met minder schutcapaciteit zouden veiligheidseisen voor schutten met schepen met gevaarlijke stoffen meer invloed kunnen hebben op de wachttijd. Maar er is te concluderen dat, al is er weinig data, er geen sprake is van een afwijkende toename in wachttijd voor schepen met gevaarlijke stoffen (met en zonder beperkingen).



Figuur 5-2 Boxplots van de wachttijd van de drie verschillende scenario's (geen stremming, stremming Westkolk 's nachts en volledige stremming Westkolk) in 2022. Met in blauw de mediaan per scenario en in rood de maximale wachttijd van 30 minuten.

5.3 Impact scheepvaart

In de vorige paragraaf is de gemiddelde en mediane wachttijd voor de drie verschillende situaties bepaald. Er passeren 78,4 schepen de Irenesluizen gemiddeld per dag, op basis van de data. Met dat aantal zijn de gemiddelde kosten per dag voor de drie situaties bepaald (Tabel 5-2).

In Tabel 5-3 is te zien voor welke afvoerniveaus de drie scenario's voorkomen, voor de referentiesituatie en voor de toekomstsituatie. Op basis van de voorgaande Indirecte Bedreigingen-studie (van der Wijk et al., 2024) zou vanaf 1.800 m³/s al sprake zijn van beperkingen 's nachts. Omdat de Bernhardsluizen pas open gaan vanaf 1.100-1.200 m³/s is het in praktijk niet mogelijk om genoeg water aan te voeren voor het debiet door de Irenesluizen. Daarom wordt de grens van 1.020 m³/s gehanteerd voor beperkingen in de nacht voor de scheepvaart.

Met het aantal dagen onderschrijding (Tabel 5-4) zijn vervolgens met dezelfde aanpak als in het vorige hoofdstuk de kosten van de wachttijd van verschillende scenario's bepaald (Tabel 5-5). Het effect van vaker voorkomen van lage afvoeren zorgt ervoor, dat de kosten met enkele duizenden euro's toenemen (2050Hd t.o.v. Referentie). Het inzetten van de maatregel ARK (in de 2050Hd-situatie) zorgt voor een kostentoeename van € 79.271 per gemiddeld jaar, wat oploopt naar € 203.839 en € 371.440 per 1/10- en 1/100 jaar. Als er wordt gerekend met de mediane kosten is de toename in kosten iets lager ten opzichte van de gemiddelde kosten.

Tabel 5-2 Gemiddelde kosten per dag per scenario.

Scenario	Periode	Gemiddelde kosten per dag (€/dag)	Mediane kosten per dag (€/dag)
Geen schutbeperkingen (< 30 m ³ /s)	01-01 t/m 14-07 2022 03-08 t/m 06-08 2022 20-09 t/m 31-12 2022	1809,63	1138,13
Stremming oude kolk 's nachts (30 – 60 m ³ /s)	15-07 t/m 02-08 2022	1889,30	1251,95
Volledige stremming oude kolk (> 60 m ³ /s)	07-08 t/m 19-09 2022	4154,18	3300,59

Tabel 5-3 Onderverdeling van afvoerniveau met situatie van de Irenesluizen (van der Wijk et al., 2024)

Scenario	Afvoerniveau Lobith		
	Geen schutbeperkingen	Stremming oude kolk 's nachts	Volledige stremming oude kolk
2030 Ref	>1020	<1020	n.v.t.
2050 WHdry	>1020	<1020	n.v.t.
2050 WHdry - ARK	>1020	n.v.t.	<1020

Tabel 5-4 Aantal dagen onderschrijding van bepaalde afvoerniveaus.

Aantal dagen onderschrijding		Afvoerniveau (m ³ /s)		
Klimaatscenario	Terugkeertijden	<1020	1020 - 1800	>1800
Referentie	10	48	194	123
	100	115	211	39
	Gemiddeld	13	143	209
2050Hd	10	90	177	98
	100	164	147	54
	Gemiddeld	35	148	182

Tabel 5-5 Kosten per jaar voor verschillende herhalings tijden als gevolg van de wachttijd bij de Irenesluizen

		Kosten per jaar			
Scenario	Terugkeertijden	Totaal - Gem	Verschil	Totaal - Med	Verschil
Referentie	10	664339		420881	
	100	669677		428507	
	Gemiddeld	661551		416897	
2050Hd	10	667685	3346	425661	4780
	100	673581	3904	434084	5577
	Gemiddeld	663303	1753	419401	2504
2050 ARK	10	871524	203839	610039	184378
	100	1045021	371440	770061	335977
	Gemiddeld	742574	79271	491104	71702

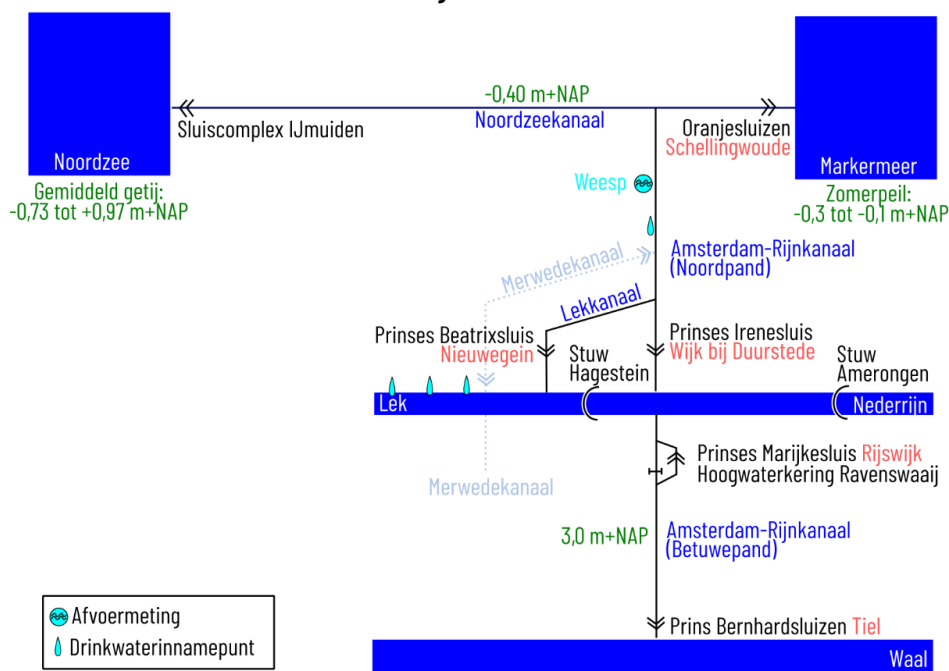
6 Samenhang maatregelen en scheepvaart Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal

Voor het waterbeheer van het Amsterdam-Rijnkanaal – Noordzeekanaal (Figuur 6-1) worden constant meerdere functies afgewogen. Als vaarweg tussen de haven van Amsterdam en het achterland vervult het een cruciale functie in de logistieke keten. Vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal wordt water ingenomen voor drinkwater waardoor er strenge eisen gelden voor de zoutconcentratie. Daarnaast zijn meerdere waterschappen afhankelijk van het water uit het Amsterdam-Rijnkanaal voor hun lokale wateren omdat er geen andere bronnen zijn van zoetwater. In Figuur 6-2 is een schematische weergave te zien van de belangrijkste binnenvaartcorridors van en naar de haven Amsterdam met de relevante objecten.

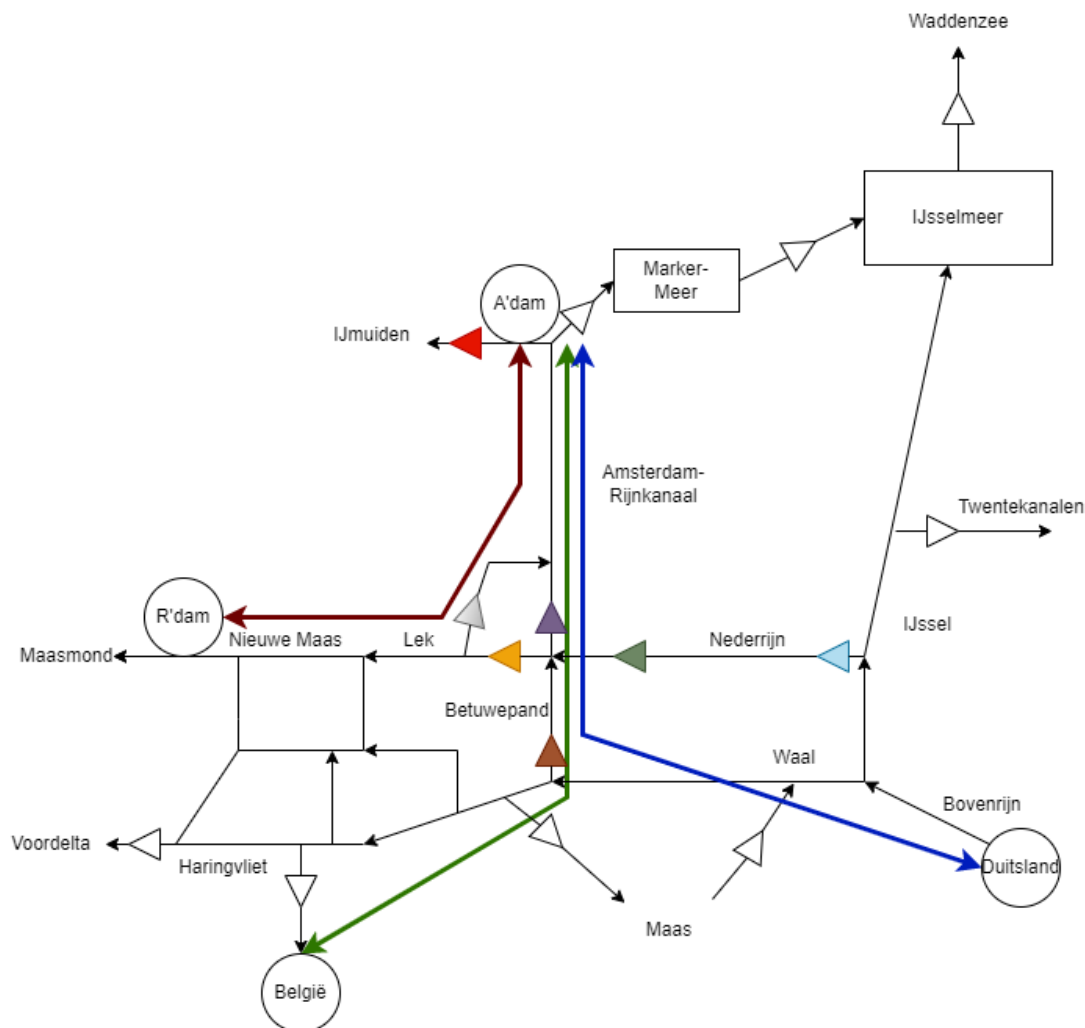
Vanuit Rijkswaterstaat is voor de stresstest Indirecte Bedreigingen behoefte aan een zo compleet en kwantitatief mogelijk overzicht van de samenhang tussen de verschillende maatregelen en functies. Het startpunt voor deze analyse is het zo kwantitatief mogelijk maken van de impact van de maatregelen op de scheepvaartsector en de logistiek van de haven van Amsterdam. De resultaten van de wachttijden bij de Irenesluizen uit het vorige hoofdstuk worden hier ook voor gebruikt. Dit hoofdstuk start met een data-analyse van de sluisregistraties bij IJmuiden om de impact van schutbepalingen op de zeevaart en haven Amsterdam te bepalen. Daarna volgt een overzicht van de maatregelen voor het zoetwaterbeheer en de impact daarvan op scheepvaart en waar mogelijk op andere functies. Het laatste onderdeel van de analyse is het schetsen van het afwegingskader voor dit gebied. Hierbij wordt ook gekeken naar de Lek en de maatregelen die daar genomen kunnen worden omdat voor de waterverdeling ook een keuze wordt gemaakt tussen de Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal.

De kwantitatieve impact van maatregelen op de zoutindringing is lang niet altijd bekend en er wordt constant nieuwe kennis en inzichten vergaard. Een volledig kwantitatieve weging tussen de verschillende functies is daarmee nog niet mogelijk. De waarde van andere functies in het zoetwaterbeheer is dan ook een discussie die in andere programma's wordt gevoerd. Dat neemt niet weg dat er voor scheepvaart met de bestaande middelen mogelijk een optimalisatie is te realiseren zonder dat dit ten koste gaat van de andere functies.

Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal



Figuur 6-1 Schematische weergave van het Amsterdam-Rijnkanaal-Noordzeekanaal. Het peil op het Betuwepand volgt bij afvoeren bij Lobith van lager dan 1200 m³/s de waterstand op de Waal doordat de Prins Bernhardsluizen geopend staan. De Prinses Marijkesluis is alleen in gebruik bij hoge afvoeren als keersluis Ravenswaaij wordt gesloten. Voor meer informatie wordt verwezen naar Rijkswaterstaat (2020a).



Figuur 6-2 Overzicht van het watersysteem van Nederland met de belangrijkste corridors en objecten. De rode driehoek zijn de zeesluizen bij IJmuiden, lichtgrijs zijn de Beatrixsluizen, paars de Irenesluizen, oranje stuwcomplex Hagestein, groen stuwcomplex Amerongen, blauw stuwcomplex Driel en in bruin de Bernhardsluizen. NB; de Marijkesluizen zijn bewust weggelaten omdat deze voor het waterbeheer met lage afvoeren niet een rol spelen

6.1 Effect schutbeperkingen op haven Amsterdam

Voor het bepalen van het effect van de schutbeperkingen op de zeevaart zijn twee datasets aangeleverd.

- Haven Amsterdam heeft een dataset aangeleverd met de registraties van de zeevaart voor de haven waarbij de gebruikte sluis is vermeld. De Noordersluis en Zeesluis zijn samen genomen en er is geen onderscheid gemaakt tussen de twee sluisen. De geladen en geloste tonnen van het schip worden gesommeerd getoond als het overslagtonnage. Het type vracht wordt daar tevens bij getoond.
- Vanuit Rijkswaterstaat is een combinatie aan datasets aangeleverd waar de schutbewegingen en geladen en geloste tonnen in aparte bestanden zijn geregistreerd. In beide datasets is ook informatie te vinden over de afmetingen van de schepen. Geen van de datasets geeft een indicatie over de precieze tonnage van het schip op het moment van het passeren van de sluisen bij IJmuiden.
- Voor de transparantie wordt de gebruikte dataset aangegeven in het onderschrift.

- Vanwege de grote variatie per week worden de gegevens gemiddeld per maand om deze fluctuaties te verminderen. In alle datasets van 2020 en 2021 is een afname in transport zichtbaar als gevolg van de coronapandemie.

In Figuur 6-3 zijn het aantal schuttingen door de Noordersluis en Zeesluis te zien. Figuur 6-4 laat zien hoeveel vracht er wordt vervoerd door de sluisen. Per maand zijn er door de Noordersluis en Zeesluis ongeveer 400 – 500 schuttingen. Per maand wordt er (buiten coronajaren) ongeveer 7 miljoen ton aan goederen vervoerd via de sluisen, waarvan het overgrote deel natte of droge bulk is (Figuur 6-5).

In Figuur 6-6 en Figuur 6-7 is het aantal schuttingen en gemiddeld aantal schepen per schutting te zien voor 2022. Duidelijk is dat er veel meer schuttingen zijn door de Noordersluis, maar dat er gemiddeld meer schepen door de Zeesluis gaan, zeker in de periode met schutbeperkingen (17 juli tot 21 september, 66 dagen). Hierbij is het goed om op te merken dat 2022 statistisch gezien een herhalingstijd heeft van ~1/10 (Hendriks & Mens, 2024), maar dat de afvoer in het groeiseizoen al extreem laag was.

Op basis van de data van Rijkswaterstaat is te concluderen dat voor de gehele periode met schutbeperkingen **meer** vracht is vervoerd door de Zeesluis met **minder** schuttingen (Tabel 6-1). Met name het aantal schuttingen door de Noordersluis is sterk afgenomen in deze periode. Met meer schepen per schutting door de Zeesluis is de vervoerde vracht door deze sluis (iets) toegenomen. Er wordt per dag 38.527 ton minder vervoerd in de periode met schutbeperkingen ten opzichte van de eerste helft van 2022¹¹. In totaal is er 2.542.782 ton minder vervoerd in 2022 als gevolg van de *ernstige* schutbeperkingen.

Met de data van Haven Amsterdam is een maximale impact van schutbeperkingen bepaald door het aantal schuttingen van de zeesluisen met 30 en 60% te laten afnemen (Figuur 6-8 & Tabel 6-2). Het resultaat is een maximale afname in vervoerde vracht omdat er, zoals in de vorige alinea is gebleken, met optimalisatie van schuttingen een deel van de vracht alsnog de haven kan bereiken. Op basis van deze aanpak is er een verlies van 133.000 ton per dag aan vervoerde vracht. Er is hierbij sprake van een grote spreiding in het mogelijke verlies aan vracht, door een aanzienlijke spreiding in het vervoerde tonnage per schip.

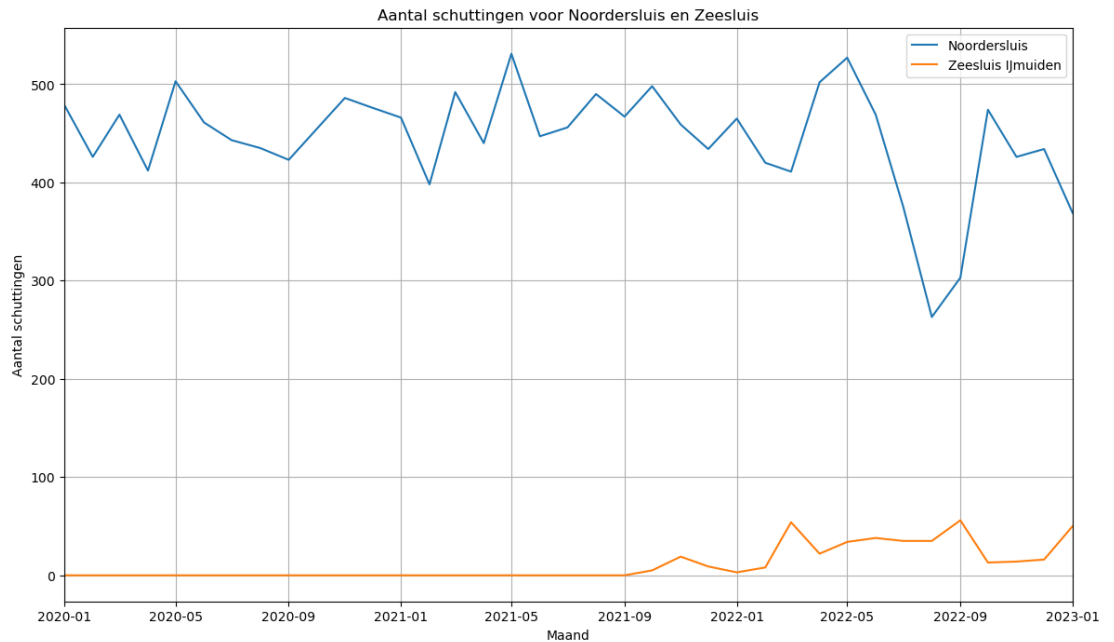
Uit de gegevens van Haven Amsterdam is gebleken dat per maand ongeveer 15 – 20 cruiseschepen Amsterdam aandoen (buiten de periode van de coronapandemie). Door schutbeperkingen, die leiden tot langere wachttijden, zal deze scheepvaart echter volledig uit Amsterdam verdwijnen. In 2022 is een deel van de cruisevaart uitgeweken naar Rotterdam en deels per riviercruiseschip alsnog binnendoor naar Amsterdam gevaren. Met de optimalisatie van schuttingen is om en nabij 100.000 ton per dag alsnog te schutten richting de haven bij *ernstige* schutbeperkingen.

De verloren vracht van de zeevaart is moeilijk te koppelen aan verloren vracht voor binnenvaart door vaardieptebeperkingen. De kosten voor een tonkm¹² is 10 keer lager voor zeevaart ten opzichte van binnenvaart (Panteia, 2023). Maar daarentegen kan het niet arriveren van droge en natte bulk cruciale gevolgen hebben voor de (zware) industrie en energievoorziening.

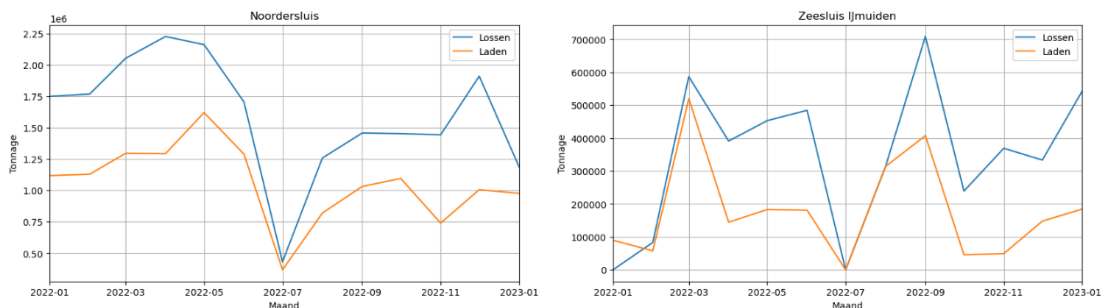
In reactie op de schutbeperkingen doet een deel van de scheepvaart andere (Nederlandse) havens aan. Op langere termijn zal met vaker terugkerende schutbeperkingen de aantrekkelijkheid van de Haven van Amsterdam onder druk komen te staan. Als gevolg hiervan kan een deel van de industrie verdwijnen uit Nederland. Deze reacties worden nu niet verder meegenomen in het afwegingskader.

¹¹ In deze periode was er nog wel sprake van corona en was het economische klimaat niet geheel vergelijkbaar

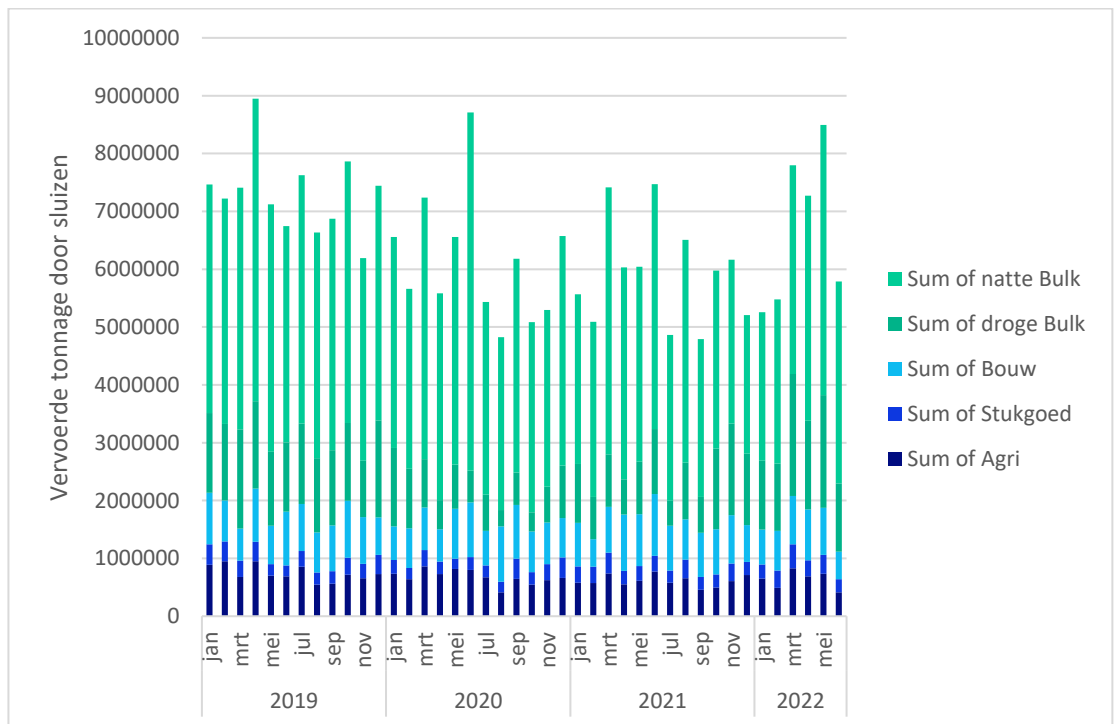
¹² vervoerd tonnage in ton, vermenigvuldigd met de afgelegde weg in km. Het product is de 'vervoersprestatie'.



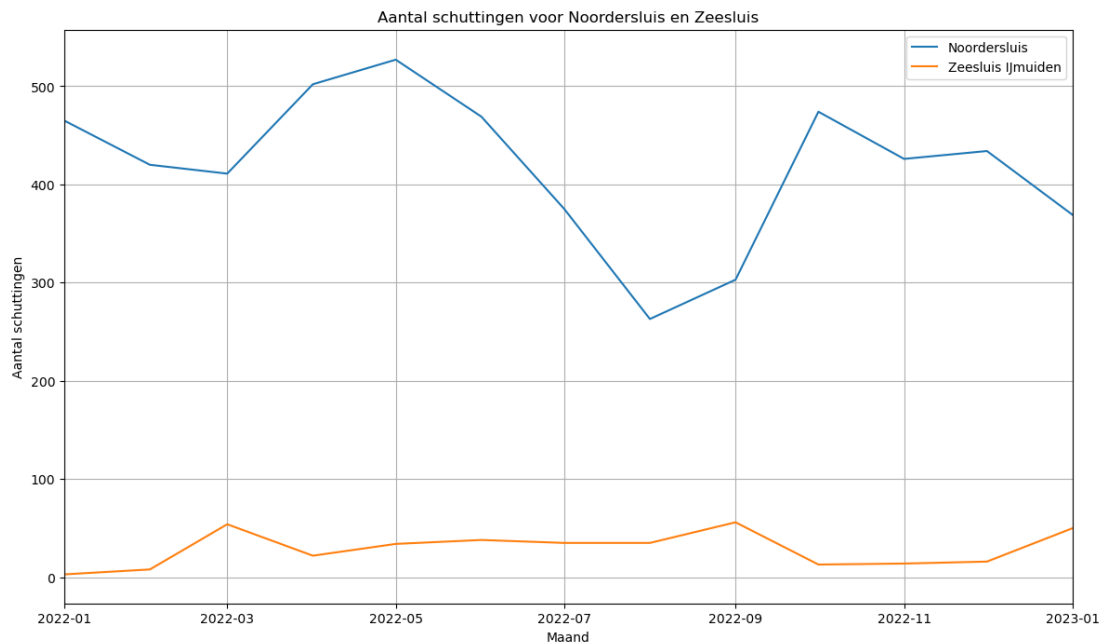
Figuur 6-3 Aantal schuttingen voor de Noordersluis en Zeesluis (bron RWS)



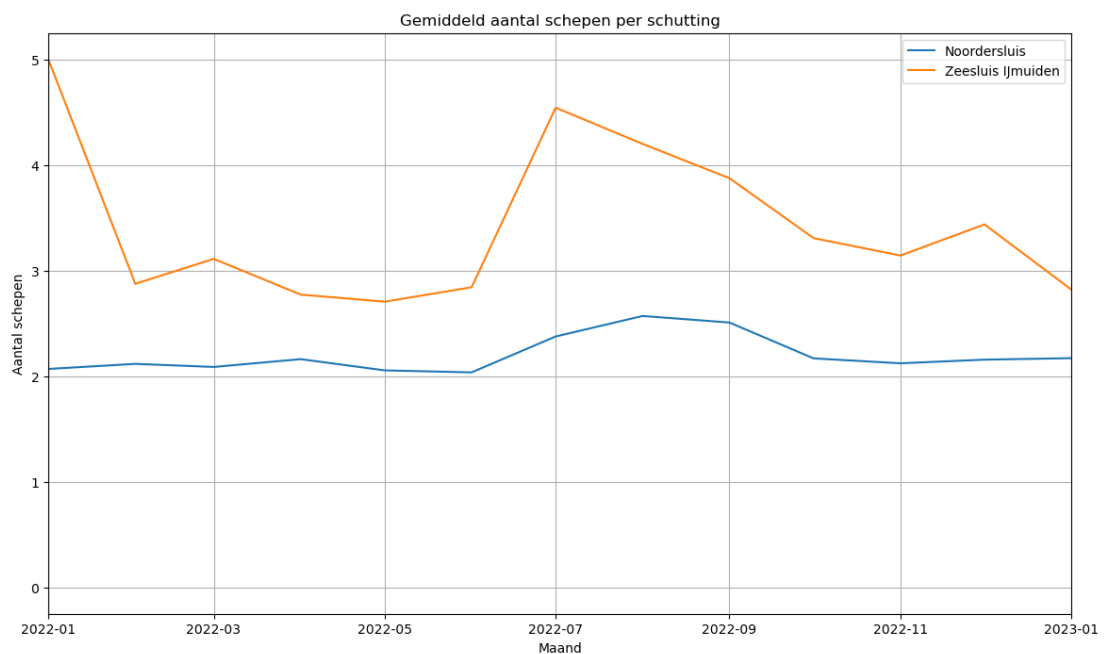
Figuur 6-4 Vervoerde tonnage door de Noordersluis en Zeesluis voor 2022 (bron RWS)



Figuur 6-5 Vervoerde tonnage per maand door alle sluisen (bron Haven Amsterdam)



Figuur 6-6 Aantal schuttingen voor de Noorder- en Zeesluis in 2022 (bron RWS)

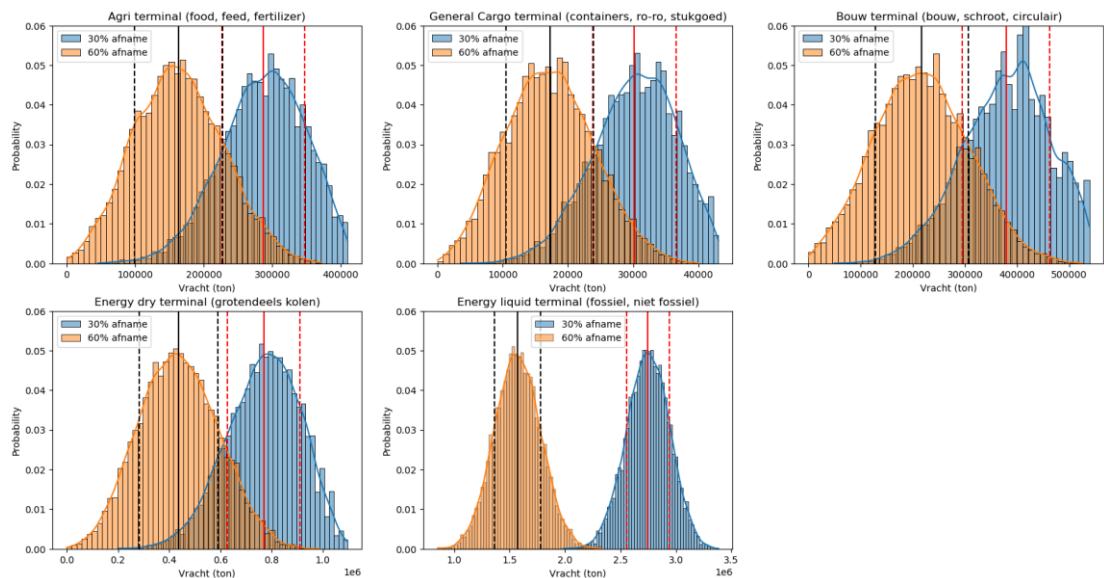


Figuur 6-7 Gemiddeld aantal schepen per schutting in 2022 voor de Noorder- en Zeesluis (bron RWS)

Tabel 6-1 Vervoerde ton per dag voor alle sluisen van IJmuiden en per sluis voor begin 2022 en de periode met (ernstige) schutbeperkingen (bron RWS)

	Totaal	Middensluis	Zuidersluis	Noordersluis	Zeesluis IJmuiden
2022 jan - jun	111423	9738	1039	102977	17198
2022 jul – sept (schutbeperkingen)	72896	11759	1344	58883	23882

Zeesluis



Figuur 6-8 Afname in de vervoerde vracht door het aantal schuttingen met 30 of 60% af te laten nemen van de zeesluizen (Noorder- en Zeesluis, bron Haven Amsterdam)

Tabel 6-2 Vervoerde vracht en gemiddelde afname per maand door een reductie in het aantal schuttingen van de zeesluizen (Noorder- en Zeesluis, bron Haven Amsterdam)

	Agri terminal (food, feed, fertilizer)	General Cargo terminal (containers, ro-ro, stukgoed)	Bouw terminal (bouw, schroot, circulair)	Energy dry terminal (grotendeels kolen)	Energy liquid terminal (fossiel, niet fossiel)
Scenario					
Normale situatie	409954	43100	538335	1096552	3925364
Afname 30%	337284	32820	449219	858763	2744149
Afname 60%	189117	21680	114274	349481	1346877
Vershil (normale-afname 60%)	220837	21420	424061	747071	2578487

6.2 Overzicht maatregelen tegen zoutindringing

De maatregelen in dit systeem richten zich ten tijde van droogte op het zoet houden van het Amsterdam-Rijnkanaal (en in mindere mate ook het Noordzeekanaal – IJ). Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de metingen bij Diemen en in het Noordzeekanaal (z5-waarde, een 5-daags voortschrijdend gemiddelde van 5 locaties).

In van der Wijk et al. (2024) is een overzicht gemaakt van de verschillende maatregelen om zoutindringing te gaan onderverdeeld in verschillende categorieën. In dit hoofdstuk wordt dezelfde onderverdeling aangehouden. Per maatregel wordt de impact op de scheepvaart en waar mogelijk op andere functies geschetst.

Na de beschouwing van de maatregelen wordt gekeken naar de opties om de Lek zoet te houden. De wateraanvoer voor de Lek gaat daarbij ten koste van de Waal en/of het Amsterdam-Rijnkanaal. Het schetsen van een afwegingskader voor de scheepvaart op het Amsterdam-Rijnkanaal is daarmee niet mogelijk zonder de watervraag vanuit de Lek mee te nemen. De maatregelen worden als volgt ingedeeld:

- I. Gericht afvoeren van zout;
- II. Vergroten van wateraanvoer;
- III. Beperken zoutlast bij schutsluizen;
- IV. Aanpassen uitwisseling regionaal systeem;
- V. Overige maatregelen die niet onder één van de voorgaande categorieën vallen.

6.2.1 Gericht afvoeren van zout

Het afvoeren van zout (met zo min mogelijk water) is te realiseren door gericht water uit de zoute laag te spuien. Deze maatregel wordt geïmplementeerd en staat bekend als de Selectieve Onttrekking en vormt in 2025 onderdeel van het operationele systeem.

De maatregel is geïmplementeerd als mitigatie voor de hogere zoutlast vanuit de nieuwe en grotere zeesluis. De ontworpen effectiviteit zou er toe moeten leiden dat er geen hogere zoutlast is van de nieuwe zeesluis ten opzichte van de voorgaande situatie (Bijlsma & Weiler, 2019; de Fockert et al., 2022). De Selectieve Onttrekking is feitelijk een onderdeel van de nieuwe Zeesluis, maar is niet tegelijkertijd opgeleverd.

De Selectieve Onttrekking heeft geen negatief effect op de scheepvaart. Aanpassingen aan de Selectieve Onttrekking zijn geen operationele maatregelen maar een systeemingreep waarbij er een afweging ontstaat tussen de kosten van de investering en de baten voor de andere functies.

6.2.2 Vergroten van wateraanvoer

Het aanvoeren van water is een bewezen maatregel voor het terugdringen van het zout op het Amsterdam-Rijnkanaal (en Noordzeekanaal). Er wordt gestuurd op een 5-daags gemiddelde van 25 m³/s bij Weesp (monding Amsterdam-Rijnkanaal). Er zijn een aantal bronnen voor het aanvoeren van zoet water, hieronder is een overzicht te vinden van de mogelijke aanvoerroutes (cursief wordt de naam van aanvoerroute weergegeven):

- 1 Vanuit het stuwpand Hagestein – Amerongen (in open verbinding met de Waal via het Betuwepand bij lage afvoeren) via de *Irenesluizen*;
- 2 Vanuit de Lek met de *Beatrixsluizen*;
- 3 Vanuit het Buiten-IJ/Markermeer op het IJ via de *Oranjesluizen*;
- 4 Vanuit het IJmeer/Markermeer via het regionale systeem (Zeesluis Muiden, Vecht) op het Amsterdam-Rijnkanaal bij *Nigtevecht*;
- 5 Vanuit het IJmeer/Markermeer en de *Elektriciteitscentrale bij Diemen* op het Amsterdam-Rijnkanaal;
- 6 Vanuit Rijnland / Hollands Noorderkwartier op het Noordzeekanaal (*regionale aanvoer Noordzeekanaal*).

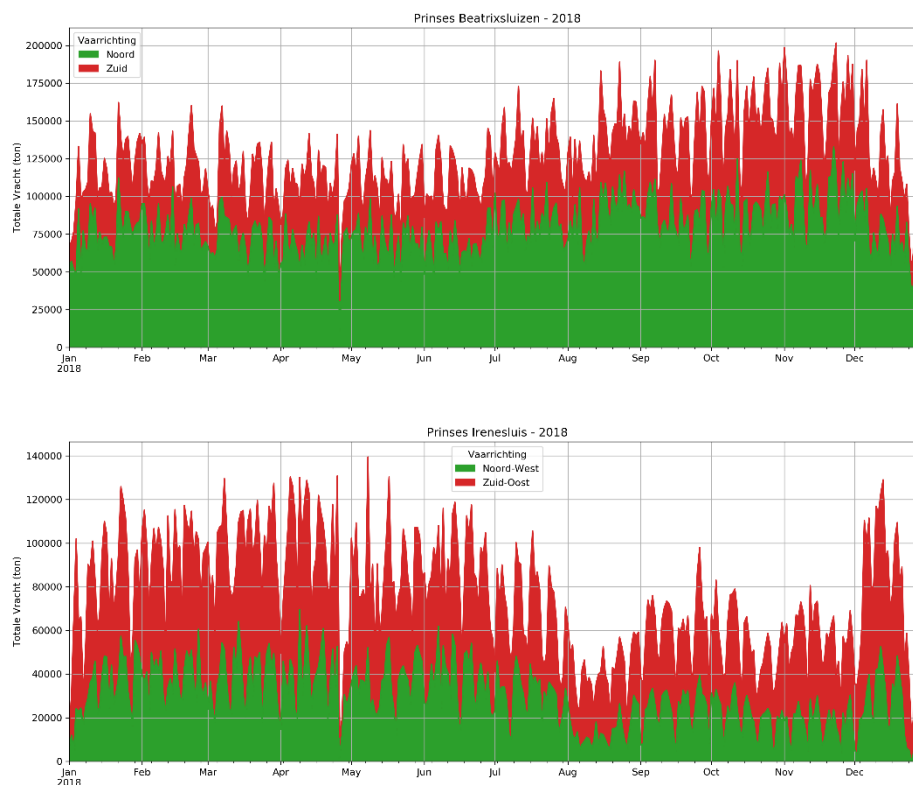
Vervolgens is gekeken naar het effect van voorspoelen op de chlorideconcentraties in het systeem, wat los staat van de precieze aanvoerroute. De laatste paragraaf vat op hoofdlijnen de voor- en nadelen per route samen.

6.2.2.1 Irenesluizen

Dit is de gangbare aanvoerroute voor water richting het Amsterdam-Rijnkanaal. Water wordt bij de Irenesluizen via het waterinlaatsysteem (WIS) in de scheepvaartkolken doorgevoerd richting het Amsterdam-Rijnkanaal onder vrij verval. Er is op dit moment niet een systeem wat alleen toegewijd is aan het aanvoeren van water. Hierdoor is het niet mogelijk om meer debiet aan te voeren zonder de scheepvaartkolken te stremmen. De impact hiervan is beschreven in §5.3. Daarnaast zal door het aanvoeren van water vanuit de Waal de vaardiepte op deze riviertak afnemen en ontstaan bij hele hoge debieten stremmingen voor de scheepvaart op het Betuwepand (Bernhardsluizen). De impact op de scheepvaart is beschreven in §4.2.

6.2.2.2 Beatrixsluizen

Door het schutverlies wordt er gemiddeld 3 m³/s aangevoerd richting het Amsterdam-Rijnkanaal. Bij deze sluizen is geen WIS en kan er alleen water (tot 20 m³/s) worden aangevoerd door de scheepvaart te stremmen. De Beatrixsluizen vormen een belangrijke schakel in de corridor Amsterdam – Rotterdam en het volledig stremmen van de scheepvaartsluizen heeft een belangrijke impact (800 – 2000 kEur per dag afhankelijk van de afvoer, Bijlage B tabel B-2). Sterker nog, ten tijde van droogte zijn er meer schuttingen door de Beatrixsluizen dan door de Irenesluizen (Figuur 6-9). Verder zal de zoutindringing op de Lek toe kunnen nemen als gevolg van het onttrekken van water. De invloed van het onttrekken van water bij de Beatrixsluizen op de zoutindringing benedenstreams is niet onderzocht. Hiermee lijkt deze maatregel een meer theoretische optie die alleen in noodsituaties overwogen kan worden. Hierbij is wel de opmerking te plaatsen dat het gebruik van een deel van de kolken bij de Beatrixsluizen een beperkte impact kan hebben op de scheepvaart afhankelijk van de scheepvaartintensiteit. Dit zou nader onderzocht moeten worden. Het voordeel kan zijn dat er minder water doorgevoerd hoeft te worden bij de Irenesluizen waarmee de beperkingen verspreid worden over twee corridors.



Figuur 6-9 Aantal vaarbewegingen door de Beatrixsluizen (boven) en Irenesluis in 2018 met een onderverdeling in richting van de schutting. Er zijn netto meer schuttingen vanaf het Amsterdam-Rijnkanaal richting de Lek voor beide sluizen.

6.2.2.3 Oranjesluizen

Door water aan te voeren vanuit het Buiten-IJ/Markermeer richting het IJ neemt de zoutconcentratie bij de monding van het Amsterdam-Rijnkanaal af. Het aanvoeren van water is alleen mogelijk als de waterstand op het Buiten-IJ/Markermeer hoger is dan het IJ (normaliter wel het geval) en er voldoende water beschikbaar is. Het laatste criterium is in situaties van droogte niet een garantie. De aanvoer van water via de Oranjesluizen is minder effectief dan aanvoer van water rechtstreeks naar het Amsterdam-Rijnkanaal zelf. Het verlagen van de zoutconcentratie op het IJ resulteert in een lagere zoutconcentratie in het Amsterdam-Rijnkanaal, maar er is relatief meer debiet nodig doordat het natte oppervlak groter is op het IJ. Daarnaast spelen circulatie en mengingsprocessen ook een rol in de effectiviteit van de maatregel. Het gebruik van de Oranjesluizen als aanvoermiddel heeft, doordat er spuisluisen zijn, geen invloed op de scheepvaart¹³.

6.2.2.4 Nigtevecht

Het Amsterdam-Rijnkanaal en het regionale systeem (Vecht) staan in open verbinding met elkaar. Normaliter wordt water aangevoerd vanuit het IJmeer/Markermeer richting het regionale systeem en wordt er een klein surplus geloosd op het ARK. Dit kan worden vergroot door meer water in te nemen bij Zeesluis Muiden¹⁴.

¹³ Bij extreem hoogwater kan scheepvaart wel worden gestremd, zoals in 2024 ook het geval was. Maatregelen voor hoogwater vallen buiten de scope van dit onderzoek

¹⁴ Benaming stamt nog uit de tijd vóór de afsluiting van de Zuiderzee (1673).

Hiervoor moet de waterstand bij Muiden hoog genoeg zijn in het IJmeer/Markermeer¹⁵, wat bij zuidwestelijke wind niet altijd het geval is. Daarnaast is, net als bij de aanvoer via de Oranjesluizen, niet altijd voldoende water beschikbaar op het IJmeer/Markermeer. Daarentegen wordt hiermee wel water afgevoerd op het Amsterdam-Rijnkanaal wat effectiever is voor de zoutindringing dan afvoeren op het IJ. Deze manier van aanvoeren van water heeft geen invloed op de scheepvaart.

6.2.2.5 Elektriciteitscentrale bij Diemen

Het aanvoeren van water vanuit het IJmeer/Markermeer via de elektriciteitscentrale is een maatregel die in bijzondere omstandigheden ingezet kan worden (Hydrologic, 2021). Net als bij de maatregelen Oranjesluizen en Nigtevecht komt het water uiteindelijk vanuit het IJmeer/Markermeer, waar ook niet altijd voldoende water beschikbaar is. Het maximale koelwaterdebiet is 20 m³/s (HKV & Royal HaskoningDHV, 2023). Net als bij maatregel Nigtevecht is het object niet in beheer van Rijkswaterstaat, al zijn er voor beide maatregelen afspraken gemaakt. Door de lozing kan er lokaal een sterke dwarsstroming ontstaan en heeft lozen van koelwater op een klein volume aan water negatieve gevolgen voor de ecologie (in dit geval specifiek de vismigratie (HKV & Royal HaskoningDHV, 2023)).

6.2.2.6 Regionale aanvoer Noordzeekanaal

Zowel Rijnland als Hollands Noorderkwartier lozen water op het Noordzeekanaal. Dit water is door brakke kwel in de polders niet zoet, maar duidelijk zoeter dan het water op het Noordzeekanaal. Beide waterschappen zullen ten tijde van droogte zo min mogelijk water proberen af te voeren om toename van kwel tegen te gaan en de zoutconcentraties in het regionale systeem binnen de gestelde normen te houden. Het vergroten van de afvoer van water is daarmee naar alle waarschijnlijkheid niet mogelijk voor de waterschappen. De invloed van deze afvoer van brak water op de zoutindringing op het Noordzeekanaal is naar verwachting relatief beperkt. Voor beroepsvaart heeft de regionale aanvoer naar het Noordzeekanaal geen impact.

Vanwege de verwachte beperkte haalbaarheid en effectiviteit wordt deze maatregel verder niet meer overwogen in het rapport.

6.2.2.7 Voorspoelen Amsterdam-Rijnkanaal

In Buschman et al. (2018) is gekeken naar de effectiviteit van het voorspoelen van het NZK-ARK om (korte) periodes van lage afvoeren te overbruggen. Hierbij is gebleken dat het voor twee weken verhogen van het debiet van 5 – 15 m³/s naar 30 m³/s (daarna dalen de afvoeren) de zoutconcentraties significant verlaagd voor enkele weken (in de getoetste situatie 6).

Voor de bekeken situatie was de afvoer lager dan het richtdebiet van het huidige beheer (25 m³/s). Dat neemt niet weg dat het relatief kortstondig verhogen van de afvoer de uitgangssituatie kan verbeteren voor een langere tijd. Deze maatregel komt logischerwijs niet ter sprake binnen studies waar wordt gewerkt met een evenwichtssituatie (zoals Kennisprogramma Zeespiegelstijging). Hierdoor is op basis van de laatste studies niet te zeggen hoe effectief deze maatregel is in vergelijking met andere beschouwde opties. Voor scheepvaart is de impact eerder groter, maar op het moment dat de vaardieptes kleiner worden zou er minder water nodig kunnen zijn. Op die manier kan deze maatregel netto voordeliger uitpakken voor de scheepvaart.

¹⁵ In 2022 zijn er noodpompen door het waterschap geplaatst om genoeg water aan te kunnen voeren (HKV & RoyalHaskoningDHV, 2023)

6.2.2.8 Samenvatting aanvoer water

Voor het realiseren van het gewenste debiet op het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal om het zout terug te dringen zijn meerdere routes beschreven. Hieronder worden de verschillende opties met elkaar vergeleken qua effectiviteit, impact op scheepvaart en impact op andere functies.

Effectiviteit terugdringen zout

De Irenesluizen en Beatrixsluizen vormen de meest effectieve manier van water aanvoeren. Nigtevecht en Diemen zijn mogelijk iets minder effectief door de hogere achtergrondconcentratie (vanuit IJmeer/Markermeer en brakke kwel). De Oranjesluizen zijn minder effectief doordat er op het IJ in plaats van het Amsterdam-Rijnkanaal wordt geloosd.

Impact Scheepvaart

De Oranjesluizen, Nigtevecht en Diemen hebben geen impact op de beroepsvaart, al kan er een lokale dwarsstroming ontstaan bij Diemen bij inzet van die maatregel. Indien het water voor de Irenesluizen en Beatrixsluizen uit de Waal komt, neemt de vaardiepte daar af en kunnen er beperkingen ontstaan qua doorvaarbaarheid van de Bernhardsluizen voor grote schepen. Bij de Irenesluizen en Beatrixsluizen kunnen schutbeperkingen ontstaan als er water doorgevoerd moet worden; de potentiële impact van de Beatrixsluizen is groter doordat er meer transport langs die sluizen gaat.

Voor de Beatrixsluizen is in theorie ook water direct uit de Lek te halen zonder dit aan te voeren uit de Waal. Hierdoor neemt de impact op de scheepvaart af, maar neemt de kans op verzilting van de Lek iets toe.

Impact andere functies

Zowel de Irenesluizen als de Beatrixsluizen hebben - mits het water uit de Waal wordt aangevoerd - alleen een beperkte invloed op de zoutindringing in de Rijn-Maasmonding door het afnemen van de afvoer. Als het water voor de Beatrixsluizen niet wordt aangevoerd uit de Waal, kan de zoutindringing op de Lek toenemen.

Overigens geldt voor de opties om water aan te voeren via de Irenesluizen, dat er pas genoeg water is aan te voeren voor het stuwpand, als de Bernhardsluizen open zijn. Dat maakt de inzet van de maatregel pas echt mogelijk vanaf een afvoer van ~1200 m³/s bij Lobith.

Alle andere aanvoerroutes nemen water in vanuit het IJmeer en Markermeer, wat de waterbeschikbaarheid daar niet ten goede komt. Diemen zal daarnaast een negatieve invloed hebben op de ecologie in het Amsterdam-Rijnkanaal door de verhoogde temperaturen. Daarnaast is de aanvoerroute van Diemen moeilijker te realiseren op korte termijn.

6.2.3 Beperken zoutlast bij schutsluizen

Door de zoutlast te beperken bij de zeesluizen neemt de zoutindringing op het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal af. Omdat de zoutlast van de grote kolken vele malen groter is dan die van de kleinere kolken wordt vrijwel alleen gekeken naar het beperken van de zoutlast van de grote kolken (Zeesluis en Noordersluis).

Het beperken van de zoutlast wordt in verschillende stappen gerealiseerd:

- De eerste stap is het optimaliseren van de schuttingen van de Zeesluis en Noordersluis. De deur-opentijden worden zoveel mogelijk beperkt. Dit resulteert in een langere wachttijd voor de scheepvaart. Dit heeft uiteraard impact op de scheepvaart, maar de langere wachttijd is op de totale reisafstand van de zeevaart relatief beperkt. Daarnaast heeft het voor de nautische operatie de voorkeur om pas richting de sluis te varen als de deuren al open zijn voor het geval dat de deuren onverhoopt niet open gaan¹⁶.

¹⁶ Mogelijk zijn er in de operatie andere maatregelen te nemen om het openen van de deuren te kunnen garanderen zoals het altijd aanwezig zijn van een monteur op de sluis.

Daarbij moet wel de kanttekening worden geplaatst, dat schepen de sluisen sowieso op lage snelheid moeten naderen en dus onverhoopt alsnog kunnen stoppen, zij het met extra moeite, in geval van een gesloten buitendeur. Immers moeten ze ook vóór de binnendeur al tot stilstand zijn gekomen.

- De stap daarna is het beperken van het aantal schuttingen van de Zeesluis op een dag. In eerste instantie wordt gestreefd naar 7 in plaats van 10 schuttingen op een dag. Maar de stap daarna is een maximum van 4 schuttingen op een dag. De impact hiervan op de scheepvaart is beschreven in §6.1. In 2022 resulteerde de schutbeperkingen in een verlaging van meer dan 50% van de zoutvracht vanuit IJmuiden (Hendriks & Mens, 2024).
- Het beperken van het aantal schuttingen heeft een bewezen effect op de zoutconcentratie bij het Amsterdam-Rijnkanaal, al zal het effect pas na geruime tijd zichtbaar zijn (>30 dagen). Eerder zijn al wel verlagingen in de zoutconcentratie op het Noordzeekanaal zichtbaar.

Het beperken van de zoutlast van de Zeesluis door andere maatregelen als bellenschermen is geen reële optie door de grootte van de schutsluisen (Weiler & Bijlsma, 2019). Het is ook mogelijk om de zoutlast van de Zeesluis te mitigeren met het verhogen van de afvoer over het Noordzeekanaal of door de zoutlast te beperken van de Noordersluis (kortere deur-opentijden of minder schuttingen (Weiler & Bijlsma, 2023)). In dezelfde studie is ook gekeken naar het instellen van eenrichtingsverkeer door de Zeesluis en/of Noordersluis. Deze laatste twee maatregelen vragen veel inspanning vanuit het loodswezen en de operatie van de sluisen.

6.2.4 Aanpassen uitwisseling regionaal systeem

Het aanpassen van de uitwisseling met regionale systeem kan op verschillende manieren dienen als maatregel. Vanuit het regionale systeem kan er sprake zijn van een zoutlast door brakke kwel in de polders; het beperken van deze zoutlast verlaagt de druk op het hoofdwatersysteem in theorie. Het verminderen van de watervraag zorgt er voor dat er meer water over blijft om het zout terug te dringen in het hoofdwatersysteem. Het afsluiten van het regionale systeem is er op gericht om te voorkomen dat zout uit het hoofdwatersysteem op kwetsbare locaties komt.

De (potentiële) maatregel wordt beschreven voor drie gebieden langs het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal:

- I. Stad Amsterdam
- II. Vechtsysteem tussen Amsterdam en Utrecht
- III. West-Nederland (Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA))

I. Stad Amsterdam

De Amsterdamse grachten staan in open verbinding met het IJ (en Noordzeekanaal). In normale omstandigheden is het water in de grachten brak (en is er sprake van enige stratificatie). De zoutconcentratie mag niet te hoog worden in de grachten voor de waterkwaliteit en infrastructuur (te veel zout water kan negatieve gevolgen hebben voor kades, bruggen en andere infrastructuur). Als het zout oprukt op het Noordzeekanaal worden de grachten ook steeds zouter. Door het regionale systeem af te sluiten van het hoofdwatersysteem kan de zoutconcentratie worden gecontroleerd. Maar dit heeft negatieve gevolgen voor zowel de ecologie (vismigratie) als het regionale scheepvaartverkeer (recreatief en beroepsvaart zonder vracht). Verder zal er mogelijk extra water aangevoerd moeten worden stroomopwaarts om de grachten door te spoelen. Voor de beroepsvaart op het Noordzeekanaal heeft deze maatregel geen negatieve gevolgen.

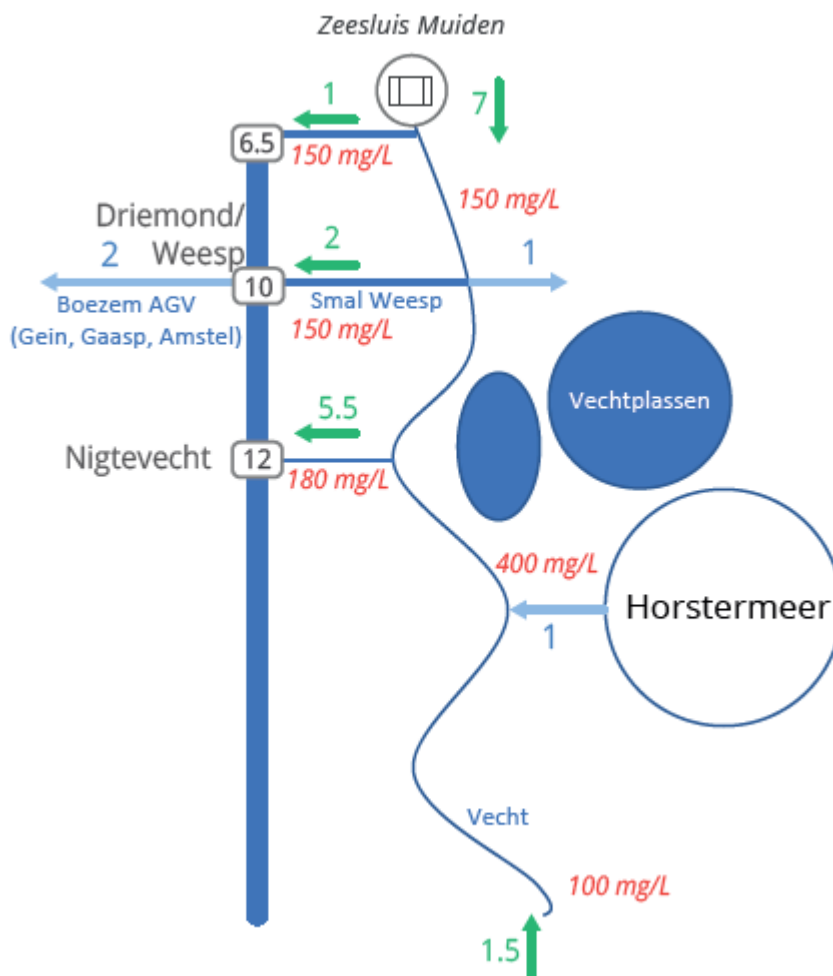
II. Vechtsysteem tussen Amsterdam en Utrecht

In Figuur 6-10 is het regionale systeem tussen Amsterdam en Utrecht ten oosten van het Amsterdam-Rijnkanaal schematisch weergegeven (Hydrologic, 2021). Het regionale systeem staat in open verbinding met het hoofdwatersysteem bij de trekvaart van Muiden (rkm 6.5), Weesp (rkm 10) en Nigtevecht (rkm 12). Het beheer van dit gebied is er onder andere op gericht om de kwetsbare natuur van de Vechtplassen niet te laten verzilten. De complicerende factor is de brakke kwel van de polder Horstermeer. Om dit zout af te voeren is er genoeg debiet nodig vanuit Muiden waardoor het zoutere water bij Nigtevecht wordt geloosd op het Amsterdam-Rijnkanaal (met een beperkt verhoogde zoutconcentratie).

Als het zout oprukt op het Amsterdam-Rijnkanaal kan worden besloten om het regionale systeem af te sluiten bij de trekvaart van Muiden en Weesp (HKV & Royal HaskoningDHV, 2023). Het afsluiten bij Muiden en Weesp zorgt ervoor dat de zouttong iets verder kan oprukken zonder dat er zout bij kwetsbare natuur komt. Dit heeft logischerwijs negatieve gevolgen voor het regionale scheepvaartverkeer (met name recreatievaart).

Het wordt problematisch als het zout Nigtevecht bereikt omdat hier het water vanuit regionale systeem geloosd moet worden, daarnaast is enkele kilometers stroomopwaarts van Nigtevecht het drinkwaterinnamepunt (bij Nieuwersluis). Het geloosde debiet vanuit het regionale systeem, ook al is de zoutconcentratie iets verhoogd, heeft daarentegen ook een positieve invloed op het terugdringen van het zout op het Amsterdam-Rijnkanaal.

Het afsluiten van trekvaart Muiden en Weesp (en boezem van Amstel, Gooi en Vecht) heeft geen negatieve gevolgen voor de beroepsvaart op het Amsterdam-Rijnkanaal.



III. West-Nederland

Gedurende het groeiseizoen neemt de watervraag vanuit de regio toe en wordt er meer onttrokken uit het Amsterdam-Rijnkanaal. Hierdoor is, om hetzelfde debiet bij de monding over te houden, een grotere aanvoer van water benodigd. Met name de Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA) verhoogt de watervraag uit het Amsterdam-Rijnkanaal. De KWA is een alternatieve route voor zoet water richting West-Nederland (waterschappen Rijnland, Delfland en Schieland & Krimpenerwaard) via het regionale systeem. De KWA wordt ingezet bij (dreigende) verzilting van de Rijn-Maasmonding en in het bijzonder van de Hollandsche IJssel.

Voor de hier genoemde waterschappen is de KWA een cruciale bron van zoetwater omdat er weinig tot geen alternatieve routes zijn voor de aanvoer van zoetwater. Voor Rijnland geldt dat er, als er geen water ingenomen kan worden bij Gouda bij (dreigende) verzilting van de Hollandsche IJssel, geen alternatieve routes zijn om te voldoen aan de minimale watervraag. Zoet water is benodigd voor het in stand houden van het peil voor de waterveiligheid en voor het tegengaan van zoute kwel. Daarnaast is voor de hoogwaardige landbouw (bollenteelt) zoet water nodig voor de irrigatie ten tijde van droogte. Delfland kan water aanvoeren vanuit het Brielse Meer (gemaal Winsemius) en een deel daarvan doorvoeren naar Schieland & Krimpenerwaard. Maar de capaciteit van het gemaal is niet voldoende om aan de volledige watervraag te voldoen voor beide waterschappen. Daarnaast is het Brielse Meer een cruciale bron van zoetwater voor proceswater voor de havenindustrie.

Het onttrekken van water uit het Amsterdam-Rijnkanaal heeft, er van uitgaande dat het debiet bij de monding gelijk moet blijven, direct gevolgen voor de scheepvaart omdat er meer water moet worden onttrokken aan de Waal en de wachttijd kan toenemen bij de Irenesluizen. In §6.2.6 wordt nader ingegaan op het benodigde debiet voor de Lek en Hollandsche IJssel en komt de samenhang tussen de verschillende aanvoerroutes nog terug.

6.2.5 Overige maatregelen

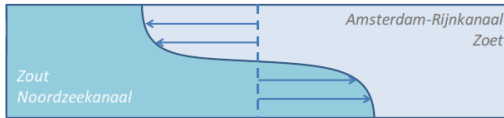
Voor deze paragraaf wordt gekeken naar maatregelen die niet passen in de vorige categorieën.

De eerste maatregel is een bellenscherm in de monding van het Amsterdam-Rijnkanaal. Een bellenscherm richt zich op het tegenhouden van het zout. Daarnaast bevordert het bellenscherm de menging van zout waardoor zout makkelijker kan worden afgevoerd (Figuur 6-11). In 2018 is een tijdelijk bellenscherm geïnstalleerd dat later is vervangen door een permanente installatie. In 2020 is deze met metingen geëvalueerd (Rijkswaterstaat, 2020b). Bellenschermen kosten veel energie en hebben negatieve gevolgen voor de vismigratie. Daarnaast kunnen er hinderlijke stromingen ontstaan voor de scheepvaart, al is de invloed op de beroepsvaart kleiner dan voor de recreatievaart. In situaties met fluctuerende debieten (als gevolg van translatiegolven) kan de effectiviteit van de bellenschermen afnemen.

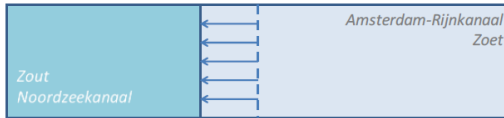
Om de menging te bevorderen is het mogelijk om de spui- en schutsluizen anders te bedienen. Studies lijken te bevestigen dat debietfluctuaties in de aanvoer bij de Irenesluizen invloed hebben op de menging en daarmee de afvoer van zout kunnen bevorderen (HKV, 2022). Het gevolg kan zijn dat er daggemiddeld evenveel of minder debiet wordt ingenomen bij de Irenesluizen maar dat het maximale debiet hoger is. Als gevolg hiervan kan de wachttijd bij de Irenesluizen toenemen, maar blijft er gemiddeld een hoger debiet op de Waal beschikbaar (en/of zijn er geen beperkingen bij de Bernhardsluizen).

Huidige situatie

Het zoete water van het Amsterdam-Rijnkanaal drijft op het zwaardere water van het Noordzeekanaal en stroomt richting IJmuiden. Daaronder stroomt zouter water naar het Amsterdam-Rijnkanaal.



Door de lage afvoer over de rivier is er maar een beperkte afvoer van zoet water mogelijk over het Amsterdam-Rijnkanaal.

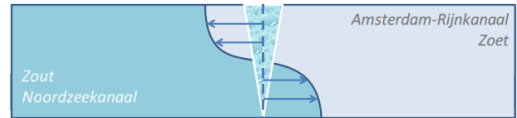


Deze beperkte afvoer remt de stroming van zout water wel af, maar kan die niet tot staan brengen.

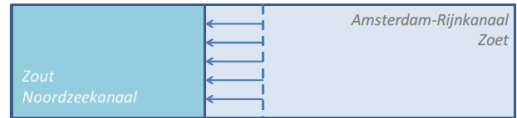


Nieuwe situatie met bellenscherm

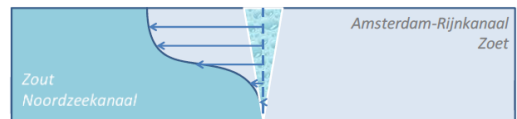
Door inzet van een bellenschermen worden de tegengestelde stromingen van zoet en zout water afgeremd.



Dezelfde beperkte afvoer over het Amsterdam-Rijnkanaal



... is nu wel in staat om het indringen van zout water tot staan te brengen.



Figuur 6-11 Werking bellenscherm monding Amsterdam-Rijnkanaal (Weiler, 2018)

6.2.6 Maatregelen Lek en Hollandsche IJssel

Zoals in §6.2.4 al is besproken wordt water onttrokken aan het Amsterdam-Rijnkanaal voor de aanvoer van zoet water richting West-Nederland.

Daarnaast wordt ook water bij Hagestein doorgelaten om de Lek zoet te houden en om water door te voeren richting de Hollandsche IJssel. Het water voor Hagestein komt uiteindelijk ook uit de Waal. De aanvoer van zoet water richting de Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal komt dus gemeenschappelijk uit de Waal en kan zorgen voor hinder bij de Bernhardsluizen. In deze paragraaf wordt de achtergrond van het benodigde debiet voor de Lek en Hollandsche IJssel op een rij gezet om de samenhang tussen de maatregelen en de impact op de scheepvaart te schetsen.

Recentelijk is uitgebreider gekeken naar het benodigde debiet over Hagestein om de Lek zoet te houden (Huisman et al., 2024). Gedurende droge periodes wordt 17 m³/s onttrokken aan de Lek. Om het zout terug te dringen is er een (klein) surplus nodig. In de studie is gekeken naar een debiet van 20 of 35 m³/s over Hagestein voor een surplus van 3 of 18 m³/s. De maatregel is vooral effectief voor zoutindringing als gevolg van afnemende rivierafvoeren. Een surplus op de Lek heeft slechts beperkt effect op zoutindringing als gevolg van (wind)opzet. Daarnaast ontzilt het systeem vrij snel na de afname in waterstand op zee. De maatregel is effectief tussen ~680 – 880 m³/s bij Lobith. Met hogere afvoeren bij Lobith is er vrijwel geen verzilting op de Lek en met nog lagere afvoeren heeft de maatregel niet voldoende effect. De maatregel heeft vrijwel direct enig effect op de zoutconcentraties, met enkele dagen is het grootste deel van het effect op de Lek bereikt.

In het huidige klimaat is het regelmatig (elke 5 – 20 jaar) nodig om de afvoer enkele dagen over Hagestein te verhogen en soms (elke 20 – 40 jaar) noodzakelijk om de afvoer weken te verhogen. Het aandeel van de afvoer van Lobith richting de Rijn-Maasmonding varieert behoorlijk (71 – 84%) en heeft veel invloed op het benodigde debiet over Hagestein. Maatregelen die invloed op de afvoerverdeling hebben (zoals bodemligging) kunnen resulteren in een andere frequentie van inzet van maatregel Hagestein.

Het zoet houden van de Lek is gericht op de innamepunten Krimpenerwaard en Bergambacht (drinkwater). Vanaf de inname bij Krimpenerwaard wordt water doorgevoerd richting de Hollandsche IJssel om een (extra) zoet water buffer te realiseren, dit wordt ook wel de Alternatieve Zoetwateraanvoer genoemd (AZA). Door het aanvoeren van zoet water richting de Hollandsche IJssel kan er water worden ingenomen door de waterschappen Rijnland en Schieland & Krimpenerwaard. Voor het zoet houden van de bovenloop van de Hollandsche IJssel is een klein surplus noodzakelijk (1 – 5 m³/s, Laan et al., 2021). Hierbij is het effectiever om de AZA in te zetten indien de bovenloop nog niet is verzilt, maar is het verschil in effectiviteit nog niet voor alle mogelijke condities bepaald (Laan et al., 2021).

Het doorspoelen van water via Hagestein om de zoutconcentraties bij de monding van de Hollandsche IJssel te verlagen is slechts beperkt effectief. Eerdere studies (Laan et al., 2021) laten zien dat er enig effect is op de zoutconcentraties bij de monding. Maar er zal nog steeds zout oprukken op de Hollandsche IJssel en het aanvoeren van water richting de Hollandsche IJssel is veel effectiever.

Overwegingen aanvoer zoet water richting West-Nederland

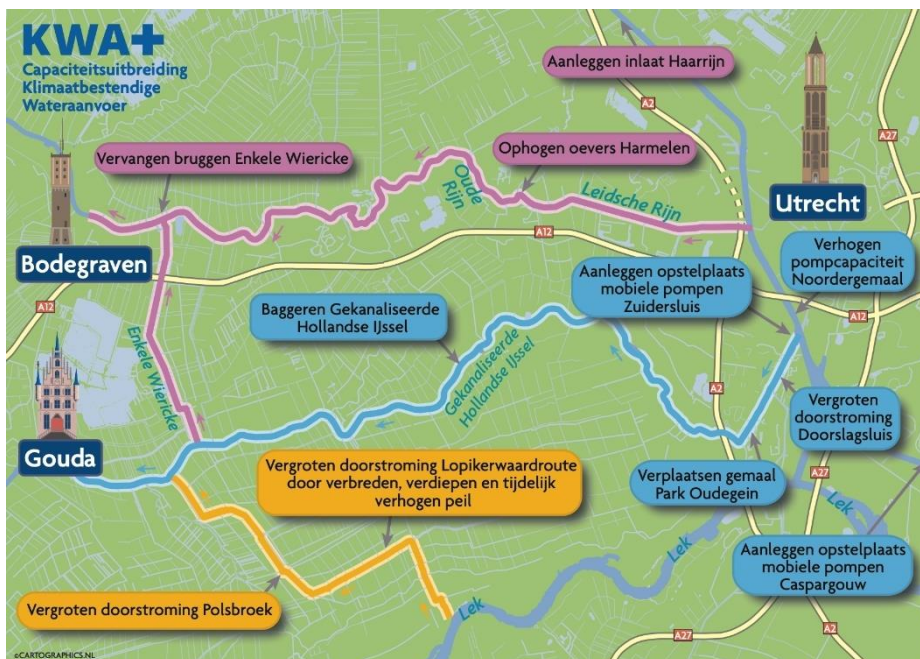
De aanvoer van zoet water richting het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek gaat vrijwel altijd ten koste van de afvoer over de Waal (en daarmee vaardiepte). Bij een grote aanvoer van water ontstaan daarnaast beperkingen van de scheepvaart bij de Bernhardsluizen en Irenesluizen. Het is niet mogelijk om de watervraag van West-Nederland kwantitatief te vergelijken met de gevolgen voor de scheepvaart.

Er is wel te stellen dat een kuub water over Hagestein en via het regionale systeem minder impact heeft dan een kuub water richting het Amsterdam-Rijnkanaal als het dezelfde bestemming heeft.

Voor de KWA is deze route al een deel van de aanvoer (Lopikerwaardroute) richting West-Nederland (Figuur 6-12). Daarnaast wordt voor de watervraag van de Hollandsche IJssel ook water aangevoerd via de AZA.

Van de drie routes voor de KWA is de Leidsche Rijn ook in normale situaties de gangbare aanvoerroute van water. Met het uitbreiden van de aanvoer ontstaat er hinder voor de recreatievaart door de hoge stroomsnelheden. Voor de Hollandsche IJssel route zijn de beperkingen kleiner. Voor de Lopikerwaardroute moet er water worden opgepompt en wordt gebruik gemaakt van kleinere wateren. Het alleen gebruiken van de Lopikerwaardroute is, mede door de hoge watervraag, niet mogelijk en geeft hoge energiekosten.

De AZA wordt al uitgebreid om een grotere aanvoer mogelijk te maken. Bij een nog grotere verhoging van het doorvoerdebiet zijn zeer kostbare ingrepen noodzakelijk aan het systeem (Hydrologic, 2019b). De aandachtspunten voor een grotere aanvoer zijn het aanpassen van de gemalen, afkalving van de oevers en het risico op wateroverlast.



Figuur 6-12 Overzicht regionale onderdelen van de KWA en actieve aanpassingen die worden doorgevoerd (bron: website Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)

6.3 Afwegingskader

Het is niet mogelijk om een compleet kwantitatief afwegingskader te schetsen. Dit is het gevolg van het niet kwantitatief kunnen maken van alle aspecten, zoals de impact op andere functies. Het is wel mogelijk om het gehele afwegingskader op te splitsen in keuzes die zo veel mogelijk met elkaar te vergelijken zijn.

De eerste afweging is de keuze tussen water aanvoeren en het instellen van schutbeperkingen bij IJmuiden en het aanvoeren van water via de Irenesluizen. Aannemend dat 2022 een 1/10-jaar was vergelijken wij de impact van 2,5 miljoen ton aan niet vervoerde vracht door de sluisen met de impact van *extra* aanvoer richting het Amsterdam-Rijnkanaal. De maatregel ARK (extra aanvoer richting IJsselmeer) resulteert in €1,2 miljoen per jaar aan schade (vaardiepte en toegenomen wachttijden) bij de Irenesluizen voor een 1/10-jaar in 2050Hd. Weliswaar zijn deze getallen niet 1-op-1 te vergelijken, maar wel in context te plaatsen met elkaar. Met het stremmen van de Bernhardsluizen nemen de kosten voor de scheepvaart (potentieel) sterk toe. Voor een 1/10-jaar levert dat €4,9 miljoen per jaar extra aan schade op. Daarnaast is het de vraag of een vermindering van 50% in zoutlast is op te vangen met een additioneel debiet van 25 m³/s op het ARK, al lijkt dat op basis van de resultaten van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wel zo (Arcadis & Hydrologic, 2023 - tabel 9).

Voor het aanvoeren van water zijn, zoals beschreven in paragraaf 6.2.2 verschillende opties mogelijk. De belangrijkste afwegingen staan beschreven in 6.2.2.8. De Irenesluizen en Beatrixsluisen hebben de grootste impact op de beroepsvaart, maar beïnvloeden andere functies niet negatief. Water uit het IJmeer/Markermeer via één van de drie routes heeft geen noemenswaardig effect op de beroepsvaart, maar kent andere nadelen en er is niet altijd water over in het IJmeer/Markermeer.

Er zijn drie potentiële afwegingen die nu niet volledig uit te werken zijn:

- De eerste afweging is de aanvoer van water via de Irenesluizen **en/of** Beatrixsluizen. Als er wordt uitgegaan van dezelfde herkomst van water voor de aanvoer (water uit de Waal via het Betuwepand), kunnen de wachttijden voor scheepvaart worden geminimaliseerd door bij beide sluizen water door te laten. Door de schutbeperingen te spreiden over twee sluiscomplexen is het in theorie mogelijk om de impact op wachttijden te beperken. Dit vraagt wel een gedetailleerde analyse waarbij de werking van aanvoer via de Beatrixsluizen nader moet worden bekeken.
- De andere afweging is de aanvoer van water **voordat** de Bernhardsluizen open zijn vanuit een andere route. Tot een Lobith afvoer van 1200 m³/s is aanvoer van water richting de Irenesluizen alleen mogelijk via de Neder-Rijn. In deze situatie kan alleen water worden aangevoerd via de Beatrixsluizen en vanuit het IJmeer/Markermeer.
- Het tijdelijk verhogen van het debiet voorafgaand aan het moment dat de afvoer verder daalt verlaagt de zoutconcentraties in het systeem. Hierdoor is daarna voor een langere periode minder afvoer benodigd. Dit zou een netto positief effect kunnen hebben op de scheepvaart door met (iets) hogere afvoeren, wanneer de druk op het systeem nog kleiner is, tijdelijk de impact te vergroten. In de periode met lagere afvoeren, wanneer de druk op het systeem groter is, kan met minder water genoeg tegendruk worden geboden waardoor er meer vaardiepte (of minder hinder) voor de scheepvaart is. Door de tijdscomponent lijkt deze maatregel situationeel kansrijk als optie om de hinder te minimaliseren voor de scheepvaart. Een voorbeeld kan zijn om de maatregel te gebruiken om te voorkomen dat er water nodig is voor zowel het ARK als de Lek wat kan resulteren in een stremming van de Bernhardsluizen. Of en wanneer dit voor kan komen en hoe de maatregel dan precies is in te zetten kan nog niet volledig worden uitgewerkt.

De watervraag van West-Nederland moet aangevoerd worden via het Amsterdam-Rijnkanaal en/of vanuit de Lek. Doordat doorvoer via Hagestein niet resulteert in langere wachttijden voor de scheepvaart is de impact kleiner. Binnen het huidige systeem zijn alle routes nodig om te voldoen aan de watervraag. In een andere studie is geconcludeerd dat het huidige systeem voor West-Nederland weinig robuust is en sterk afhangt van externe aan- en afvoer van water (Klijn et al., 2024). Het vergroten van de robuustheid van het gehele watersysteem biedt de mogelijkheid om, afhankelijk van de omstandigheden, de sturing van het water te optimaliseren om de impact op andere functies (waaronder scheepvaart) te minimaliseren.

Het is lastig om de impact op andere functies eenduidig te kwantificeren. Hiermee zijn maatregelen als het afsluiten van de regionale systemen of het bellenschermbaan niet te vergelijken met de impact op de scheepvaart. Het nader kwantificeren van de impact of de operatiekosten maakt het samenstellen van een afwegingskader voor alle functies haalbaarder. De vervolgstap is het kwantificeren van de impact op de zoutindringing van maatregelen, vergelijkbaar met de aanpak uit HKV & RoyalHaskoningDHV (2023).

6.4 Openstaande vragen en ontwikkelingen

In de vorige paragraaf is ingegaan op het afwegingskader en zijn al enkele zaken benoemd die nodig zijn voor een volledig beeld. In deze paragraaf worden specifiekere vragen of ontwikkelingen benoemd voor het waterbeheer die relevant zijn voor het afwegingskader.

De belangrijkste vraag is wat de plannen en systeemingrepen zijn bij het WIS van de Irenesluizen. In veel toekomstscenario's is een hoger debiet dan 60 m³/s gewenst richting het Amsterdam-Rijnkanaal. Dat maakt aanpassingen aan het WIS bij de Irenesluizen vrijwel noodzakelijk. Met systeemingrepen zou ook de impact voor de scheepvaart bij de sluizen zelf kunnen worden verminderd.

Op dit moment zorgt het WIS voor hinderlijke stromingen voor de scheepvaart, met een andere opzet van het WIS, eventueel in combinatie met omloopriolen, is dat te vermijden.

Op dit moment is het niet (goed) mogelijk om water aan te voeren richting het pand Hagestein – Amerongen doordat de Bernhardsluizen nog zijn gesloten. Het aanvoeren van water vanuit de Neder-Rijn via Driel is, door het beperkte verval, ook niet eenvoudig. Het maakt het eerder aanvoeren van water richting het Amsterdam-Rijnkanaal en West-Nederland via deze route vrijwel onmogelijk. Voor de geplande zoetwaterstrategie zullen hier mogelijk aanpassingen nodig zijn die ook invloed zullen hebben op de scheepvaart. Het aanleggen van een bypass bij de Bernhardsluizen zou onderzocht moeten worden.

De Beatrixsluizen worden gezien als een theoretische optie om water aan te voeren richting het Amsterdam-Rijnkanaal. Als er water moet worden aangevoerd zal dit resulteren in beperkingen voor de scheepvaart. Hoeveel impact de beperkingen hebben op de scheepvaart is nog niet bekend. Met het in gebruik nemen van een grote nieuwe kolk is er mogelijkheid capaciteit over voor het doorvoeren van water via een van de oude kolken.

Waterschappen in West-Nederland zijn voor de wateraanvoer afhankelijk van externe bronnen. Het robuuster *en* waar mogelijk zelfvoorzienend maken van het systeem staat hoog op de agenda, al zal dat grote aanpassingen vragen. Wat de gevolgen hiervan zijn voor het hoofdwatersysteem en daarmee scheepvaart is moeilijk te voorspellen.

Het koppelen van de bediening van de sluizen, zowel IJmuiden als Irenesluizen, met de zoutindringing is niet operationeel opgenomen. Hiermee wordt bedoeld dat de invloed van aanpassingen in bediening van de sluizen niet direct is terug te zien voor de waterbeheerders. Het integreren maakt het mogelijk om de verschillen in bediening direct terug te zien in de zoutconcentraties en de aanvoer van water daar mogelijk op aan te passen.

7 Tot slot

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies, kanttekeningen en aanbevelingen gepresenteerd. Voor de conclusies wordt gekeken naar de belangrijkste resultaten of systeemwerking. De kanttekeningen zijn de aandachtspunten waarmee de resultaten in context geplaatst moeten worden. De aanbevelingen vormen de aanknopingspunten voor vervolgwerkzaamheden.

7.1 Conclusies

- Het niet heffen van de vizierbogen bij Driel lijkt een gering positief effect te hebben op de vaardiepte (~4 centimeter bij $Q_{\text{lobith}} = 600 \text{ m}^3/\text{s}$) bij Arnhem. Het verder uitzakken van de waterstand op het stuwpand Driel-Amerongen resulteert in problemen voor de wateraanvoer.
- Op basis van het klimaatscenario WHdry is voor 2050 de watervraag bepaald. Op basis van het nieuwe Hd2050 klimaatscenario zijn de onderschrijdingsniveaus van de afvoeren bepaald. Voor een gemiddeld, 1:10 en 1:100 jaar (spreiding in mogelijke kosten) zijn de extra vaarkosten voor het systeem berekend. Dit resulteert in de volgende resultaten, waarbij het combineren van ARK en Hagestein maatregelen resulteert in een stremming bij de Bernhardsluizen:
 - Driel: 1 – 8 M€/jaar
 - ARK: 0,4 – 2,5 M€/jaar
 - Hagestein: 0,2 – 1,3 M€/jaar
 - ARK + Hagestein: 2,5 – 16 M€/jaar
- Voor de maatregel ARK neemt de wachttijd toe bij de Irenesluizen, het gaat om een kostentoeename in 2050 met het Hd scenario van €79.271 per gemiddeld jaar, oplopend naar €203.839 en €371.440 per 1/10 en 1/100 jaar. Deze kosten komen bovenop de kosten voor de scheepvaart als gevolg van de vaardiepte vermindering of mogelijke stremming van de Bernhardsluizen (zie bovenstaande bullet).
- Het is te overwegen om meer water aan te voeren vanuit de Waal om het invoeren van schutbeperkingen bij IJmuiden te voorkomen.
 - Hierbij resulteren schutbeperkingen bij IJmuiden in een verlies van 2,5 miljoen ton aan niet vervoerde vracht richting Amsterdam. De impact op de binnenvaart voor een vergelijkbare situatie van meer water aanvoeren is €4,9 miljoen.
 - Het lijkt mogelijk dat het aanvoeren van extra water de 50% hogere zoutlast kan beperken.
- Voor het aanvoeren van water hebben de Irenesluizen en Beatrixsluizen de grootste impact op de beroepsvaart, maar beïnvloeden andere functies niet negatief. Water uit het Markermeer via één van de drie potentiële routes heeft geen noemenswaardig effect op de beroepsvaart, maar kent andere nadelen en er is niet altijd water beschikbaar vanuit het Markermeer. Voor specifieke omstandigheden zou eerder zoet water aangevoerd kunnen worden om het systeem zo zoet mogelijk te maken voorafgaand aan de lagere afvoeren, dat vraagt nog wel een nadere uitwerking van de effectiviteit en wanneer deze maatregel overwogen moet worden. Daarnaast beperkt het moment van openen van de Bernhardsluizen de mogelijkheden in eerder aanvoeren van water.

7.2 Kanttekeningen

- Bij de impactbepaling zijn meerdere aannames genomen die invloed hebben op het resultaat:
 - Het effect van een stremming bij de Bernhardsluizen kan in de praktijk lager uitvallen door mitigerende maatregelen vanuit de scheepvaart, zoals het inzetten van kleinere schepen die wel kunnen passeren.
 - De kostenrelaties zijn op basis van het jaar 2014 en houden geen rekening met economische groei. Met een update van de kostenrelaties en de toevoeging van economische groei zal het effect van de maatregelen groter worden op de scheepvaart.
 - De maatregelen zullen naar alle waarschijnlijkheid minder lang worden ingezet dan in deze studie is aangenomen. Hiermee wordt de impact op de scheepvaart kleiner.
- De maatregelen in het midden-rivierengebied zijn nu in isolatie beschouwd en vervolgens gecombineerd voor de impact bepaling. In de praktijk zullen de maatregelen invloed op elkaar hebben en kan de impact zowel groter als kleiner worden.
- Het in gebruik nemen van de selectieve onttrekking creëert een hele nieuwe situatie in het Noordzeekanaal waardoor de noodzaak voor het nemen van maatregelen als het goed is afneemt.

7.3 Aanbevelingen

- Het effect van het niet heffen van de stuw bij Driel tijdens negatief verval is nu niet volledig uitgewerkt. Hoewel het niet als een kansrijke optie wordt beschouwd, is het aan te bevelen om de gevolgen voor de hydrodynamica beter uit te werken.
- De samenhang tussen de stuurmogelijkheden van de Bernhard-, Beatrix- en Irenesluizen vraagt nog meer aandacht. Er zijn voor toekomstige situaties hoogstwaarschijnlijk systeemingrepen noodzakelijk en de interactie tussen de verschillende objecten is nog verder uit te diepen.
- De interactie tussen de bediening van de sluisen en de zoutindringing behoeft nog meer aandacht. Door een verandering in de aansturing van de sluisen (IJmuiden en Irenesluizen) kan de zoutindringing worden beperkt zonder extra maatregelen. Maar wat hiervan de impact is op de scheepvaart **en** de zoutindringing is niet met zekerheid te zeggen.
- De weging tussen schade voor de zeevaart en binnenvaart vraagt een ander type onderzoek. Hiervoor is een gegronde economische analyse nodig waarin ook de indirecte gevolgen meegenomen worden. Pas dan is een directe afweging tussen schutbeperkingen en maatregelen in het midden-rivierengebied te maken.

8 Referenties

- Arcadis, Hydrologic. (2023). Systeemanalyses zoetwater regio Amsterdam-Rijnkanaal - Noordzeekanaal | Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Rapportnummer 30101791.3.ANL
- Asselman, N., de Jong, J., Mens, M., Maarse, M., Maas, B., de Grave, P. en van der Deijl, E. (2022) Effectbepaling Nulalternatief IRM. Deltares rapport 11208036-004-ZWS-0002.
- Bijlsma, A.C., Weiler, O.M. (2019). Selectieve Onttrekking IJmuiden – Samenvatting hydraulisch onderzoek. Deltares, rapport 11203285-010-HYE-0001, december 2019
- Buschman, Frans, Henk van den Boogaard, Eveline van der Deijl, Wilbert Verbruggen en Meinard Tiessen (2018). Zoutverspreiding in het NZK en ARK Q1 2014- Q2 2018: Reactietijden, eenvoudige relatie en effectiviteit maatregelen, Deltares rapport 11202241-002-ZWS-0004.
- De Fockert, A., O'Mahoney, T. S. D., Nogueira, H. I. S., Oldenziel, G., Bijlsma, A. C., & Janssen, H. (2022). Assessing the Effectiveness of the IJmuiden Salt Screen Design for Nonuniform Selective Withdrawal by Physical and Numerical Modeling. *Journal of Hydraulic Engineering*, 148(2), [05021011]. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001958](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001958)
- Ten Harmsen van der Beek, N., Zuiderwijk, N., Weiler, O. (2024) Functionele prestaties stuw Hagestein – Negatief verval. Deltares memo d.d. 22 mei 2024 – 11207401-009-HYE-0003
- Hendriks, D., Mens, M. (2024) De droogte van 2022: een brede analyse van de ernst en maatschappelijke gevolgen – Achtergrondrapport. Deltares rapport 11210273-001-BGS-0001
- HKV (2022) Effectiviteit versmalling Amsterdam-Rijnkanaal. HKV rapport PR4772.10, Vincent Vuik, Joost Pol en Jan-Willem van Lente, definitief rapport, 28 september 2022.
- HKV, RoyalHaskoningDHV (2023) Verzilting monding Amsterdam-Rijnkanaal fase 2: onderzoek naar maatregelen. HKV rapport: PR4773.10
- Van den Hoek, A. en Van der Mark, R. (2024). Vergelijking KNMI'23 en KNMI'14 scenario's ten behoeve van stresstesten KBN-HVWN. Deltares rapport 11210314-000-ZWS-0001
- Huisman, Y., Leummens, L., Rodrigo, S., Laan, S., Kranenburg, W., van der Wijk, R. (2024). Extra debiet over stuw Hagestein voor het tegengaan van verzilting van de Lek – Deltares rapport 11210363-001-ZKS-0001
- Hydrologic (2019a). Factsheet Beleidstafel Droogte VW02 – versie 4. P1049, d.d. 27 februari 2019.
- Hydrologic (2019b). Optimalisatie Wateraanvoer West-Nederland – Een haalbaarheidsstudie Zoetwaterregio West-Nederland. P1073 – 25 oktober 2019
- Hydrologic (2021). Factsheet verzilting ARK-NZK P1231, d.d. 31 mei 2021.
- Hydrologic (2022). Evaluatie stuwprogramma Driel. P1342, d.d. 1 juli 2022
- Jong, J.S. de (2020a). Stresstest Droogte Rijntakken – Impact op de scheepvaart. Deltares rapport v1.1, kenmerk 11205274-004-BGS-0009

- Jong, J.S. de (2020b). KBN – Potentiële blootstelling. Deltares memo d.d. 19 februari 2020, kenmerk 11203738-005-BGS-0005
- Jong, J.S. de (2021) Quick Inland Navigation Cost Model (QINCoM) voor een snelle berekening van het effect van laagwater en maatregelen op kosten van de binnenvaartsector. Deltares memo 11205272-005-ZWS-0003, d.d. december 2021 v1.0
- Klijn, F., de Koning, R., Nieuwenhuis, M., van Buuren, M. (2024). Quickscan Centraal Holland – Deel 1: Analyse – Over de waterhuishouding van Midden-West-Nederland en de betekenis van het Amsterdam-Rijnkanaal, IJ en Noordzeekanaal daarvoor. Rapport d.d. 21 maart 2024
- Laan, S., Chavarrias, V., Huismans, Y., van der Wijk, R. (2021). Verzilting Hollandsche IJssel en Lek: Evaluatie en systeemanalyse op basis van metingen – Deltares rapport 11206830-017-ZWS-0001
- 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
- Panteia (2023). Kostenkengetallen voor Goederenvervoer – eindrapportage.
- Rijkswaterstaat (2018a). Hydraulische analyse laagwaterproblematiek stuw Driel – d.d. 19 oktober 2018.
- Rijkswaterstaat (2018b). RCT laagwater Driel – Rijkswaterstaat memo d.d. 19 oktober 2018.
- Rijkswaterstaat (2020a). Infographics operationeel water management van: ark-nzk, gestuwde Maas en Maas-Waalkanaal, Grevelingenmeer, Haringvliet, Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl, hoofdwatersysteem, IJsselmeergebied, kanaal Gent-Terneuzen, ml-nbk, Neder-Rijn Lek, Twentekanal, 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 (2020b). KRW-publicatie, 24 november 2020, <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2020/11/bellenscherm-gaat-verzilting-amsterdam-rijnkanaal-gegen>
- Rijkswaterstaat (2023). Lessons learned – Hoogwater 2021, Droogte 2022 – d.d. 6 juni 2023
- Weiler, O. (2018) Bellenscherm monding ARK. Deltares memo 11203093-000-HYE-0001 d.d. 25 juli 2018.
- Weiler, O., Bijlsma, A. (2019). Evaluatie bellenschermen Noordersluis IJmuiden. Deltares rapport: 11203735-006-ZWS-0004
- Weiler, O., Bijlsma, A. (2023). Zoutlast IJmuiden bij testen en ingebruikstelling nieuwe zeesluis. Deltares rapport: 11206830-020-ZWS-0002
- Van der Wijk, R., Van den Hoek, A. & Van der Mark, R. (2023). Vervolg Stresstest Indirecte Bedreigingen – Systeembeschrijving Hoofdwatersysteem. Deltares rapport: 11209214-003-ZWS-0001
- Zuiderwijk, N., Mahoney, T. (2024) Afvoerrelatie bij stuw Driel bij lage debieten. Deltares rapport 11209225-007-ZKS-0001

A Data vaarkosten en passages Irenesluis 2022

Tabel A-1 Vaarkosten per voor uur voor elke RWS-klasse voor containers, droge bulk en natte bulk.

RWS-klasse	Vaarkosten per uur		
	Container [€/uur]	Droge bulk [€/uur]	Natte bulk [€/uur]
M0	30,0	26,7	27,6
M1	35,0	31,8	37,2
M2	39,6	35,9	42,7
M3	42,9	39,5	46,0
M4	47,4	43,8	50,0
M5	60,7	51,9	59,8
M6	66,4	57,7	97,1
M7	87,9	84,4	127,6
M8	103,0	98,9	140,9
M9	120,5	111,1	153,1
M10	132,5	125,0	161,0
M11	140,2	130,0	177,3
M12	155,2	141,6	198,7
BO1	75,5	43,4	48,3
BO2	76,6	47,4	49,4
BO3	77,5	50,1	50,1
BO4	79,2	52,4	51,7
BI	103,0	88,1	82,2
BII-1	125,1	93,2	98,6
BII-2B	172,7	145,4	153,8
BII-2L	172,7	148,6	153,8
BII-4	243,0	250,5	266,5
BII-6B	287,1	309,6	367,0
BII-6L	287,1	310,1	367,0
C1b	61,8	45,3	47,3
C1I	61,8	45,1	47,3
C2b	100,3	112,2	91,3
C2I	100,3	112,7	91,3
C3b	127,8	132,6	153,5
C3I	127,9	135,1	153,5
C4	166,2	168,7	221,1

Tabel A-2 Aantal passages door de Irenesluizen in 2022 per RWS-klasse (en CEMT-klasse), inclusief de kosten per uur per scheepsklasse. De kosten per uur zijn berekend door het gemiddelde van de kosten voor verschillende type ladingen per RWS-klasse uit Tabel A-1 te nemen.

RWS-klasse	CEMT-klasse	Aantal in 2022	Kosten per uur
M0	0	53	28,1
M1	I	106	34,7
C1I	I	3	51,4
B01	I	2	55,7
C1b	I	1	51,5
M2	II	2501	39,4
B02	II	2	57,8
M3	III	2515	42,8
M4	III	2106	47,1
M5	III	1838	57,5
B03	III	26	59,2
B04	III	21	61,1
M6	IVa	4055	73,7
M7	IVa	775	100,0
BI	IVa	205	91,1
C2I	IVb	116	101,4
M8	Va	7151	114,3
M9	Va	1368	128,2
BIIa-1	Va	247	105,6
BII-1	Va	150	105,6
BIIIL-1	Va	55	105,6
C3I	Vb	2082	138,8
BII-2L	Vb	98	158,3
M10	Vla	108	139,5
M12	Vla	96	165,2
BII-2b	Vla	92	157,3
M11	Vla	38	149,2
C3b	Vla	21	138,0
C2b	Vla	11	101,3
C4	Vlb	93	185,4
BII-4	Vlb	91	253,3
BII-6I	Vlc	1	321,4

B Vaarbewegingen en kosten bij Beatrixsluizen

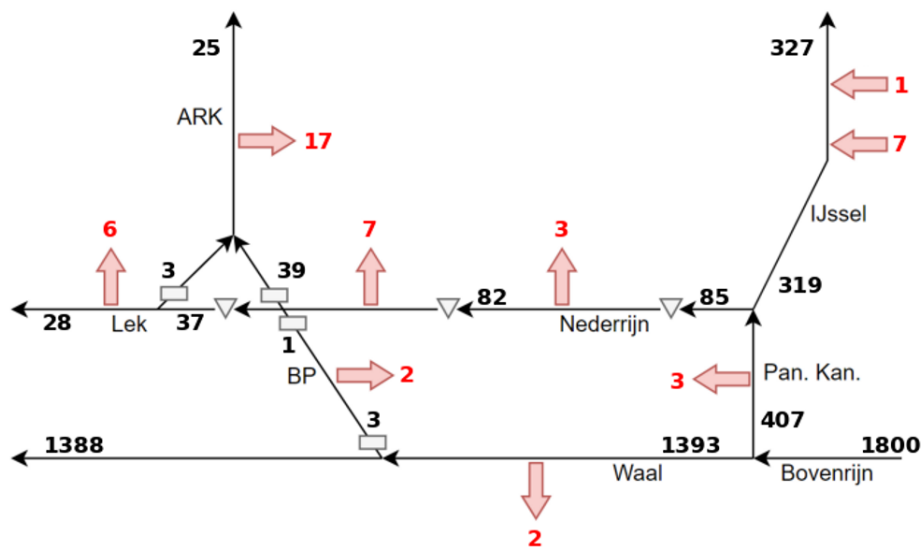
Tabel B-1 Aantal passages door de Beatrixsluizen in 2014 en 2018 per RWS-klasse (en CEMT-klasse)

Vaarbewegingen		
	Beatrixsluizen 2014	Beatrixsluizen 2018
0	312	363
I	548	280
II	3568	3098
III	7934	6846
IV	7760	9226
Va	20105	21096
Vb	786	676
Vla	4417	5681
Vlb	15	12
Vlc	1	
Totaal	45445	47278
per dag	124.42	129.44

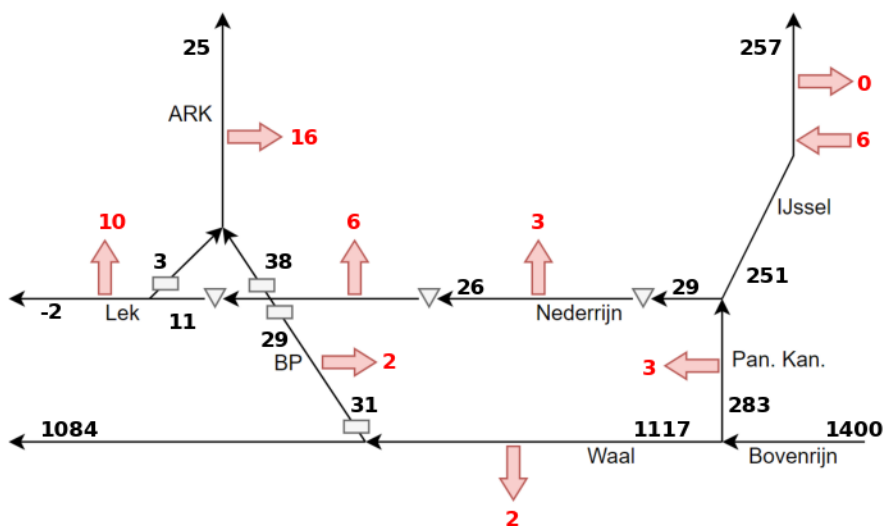
Tabel B-2 Vervoerde tonnage en vaarkosten voor verschillende stationaire afvoeren (op basis van BIVAS) voor het referentiejaar (2014)

CEMT-klasse	Q700		Q850		Q1020		Q1400		Q1800	
	Tonnage	Vaarkosten	Tonnage	Vaarkosten	Tonnage	Vaarkosten	Tonnage	Vaarkosten	Tonnage	Vaarkosten
0	33906	€ 758,361.97	27396	€ 577,683.78	26945	€ 493,966.02	25141	€ 457,291.39	24291	€ 452,538.56
I	126385	€ 1,987,297.75	120764	€ 1,864,975.34	117512	€ 1,743,417.93	113095	€ 1,643,584.30	113095	€ 1,643,339.62
II	1365958	€ 10,630,097.42	1188763	€ 8,978,549.20	1024048	€ 7,467,155.93	1001890	€ 7,085,209.49	965551	€ 6,856,954.26
III	7642378	€ 63,321,085.96	5521243	€ 43,340,529.98	4758627	€ 33,518,657.26	3594668	€ 22,042,971.69	3526079	€ 21,696,806.24
IV	12243975	€ 121,848,710.45	8376939	€ 70,545,586.93	6901756	€ 53,235,640.85	5220879	€ 36,825,757.51	5145721	€ 36,409,990.17
Va	29016895	€ 324,909,028.58	25533801	€ 216,277,254.91	25678232	€ 197,707,423.74	21998084	€ 160,910,309.02	21262534	€ 158,002,982.47
Vb	2073009	€ 30,815,573.43	2044916	€ 20,983,779.09	2084694	€ 17,121,598.42	872060	€ 6,584,727.52	830889	€ 6,523,061.50
Vla	13477604	€ 172,541,789.44	10177725	€ 66,856,163.78	9882759	€ 52,761,362.15	8332303	€ 39,810,739.69	7885990	€ 38,376,399.93
Vlb	2140007	€ 47,952,781.82	595021	€ 13,876,457.71	597786	€ 6,961,595.68	138730	€ 693,070.22	138730.00	€ 690,325.92
Vlc	300	€ 63,625.71	300	€ 63,594.17	300	€ 63,542.22				
Total / dag	180644	€ 1,989,902.66	145083	€ 1,175,700.27	138192	€ 996,712.45	112685	€ 753,896.21	108841	€ 739,115.87

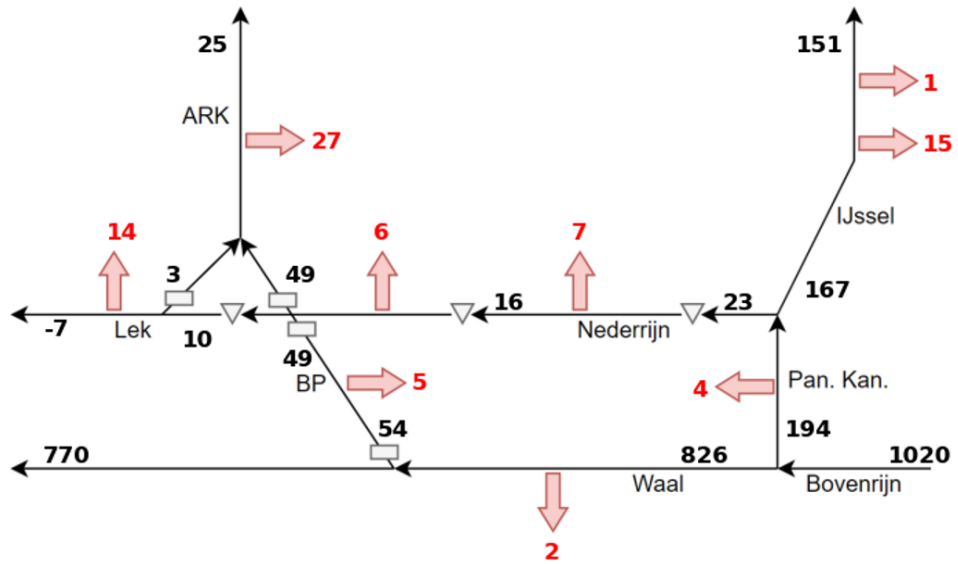
C Afvoerdiversie Hoofdwatersysteem



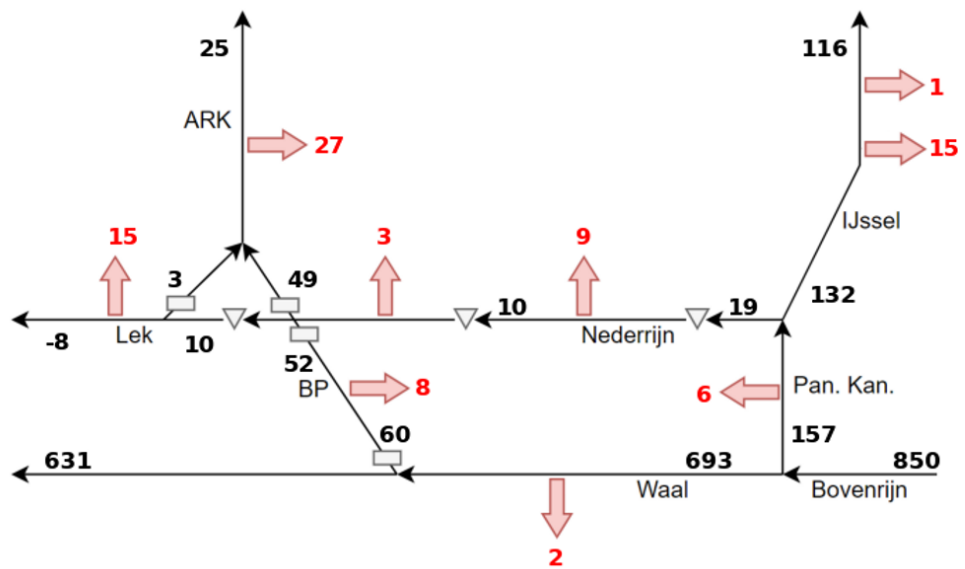
Figuur 8-1 Afvoerdiversie voor referentie klimaat voor 1800 m³/s



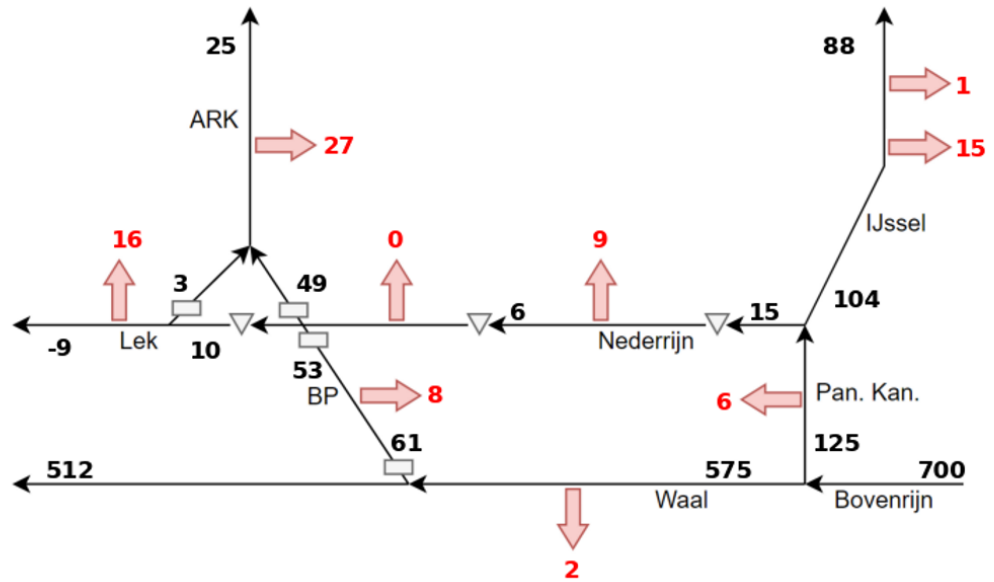
Figuur 8-2 Afvoerdiversie voor referentie klimaat voor 1400 m³/s



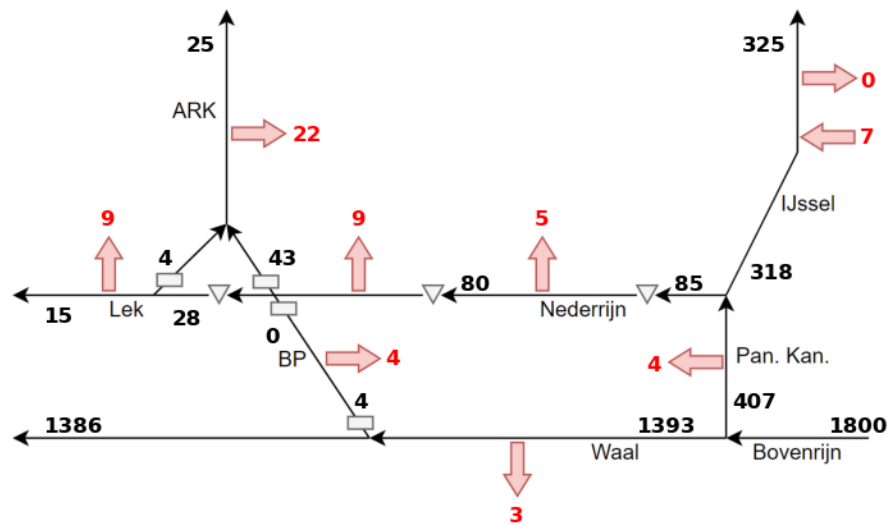
Figuur 8-3 Afvoerverdeling voor referentie klimaat voor 1020 m³/s



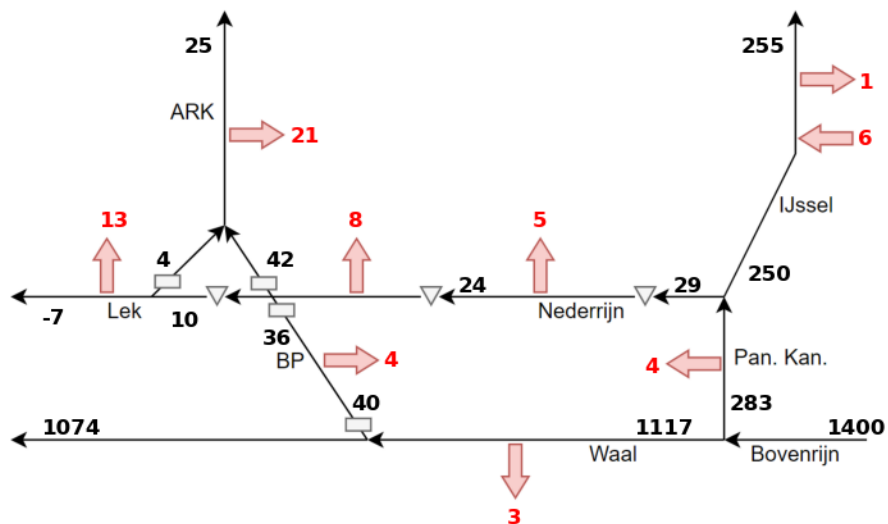
Figuur 8-4 Afvoerverdeling voor referentie klimaat voor 850 m³/s



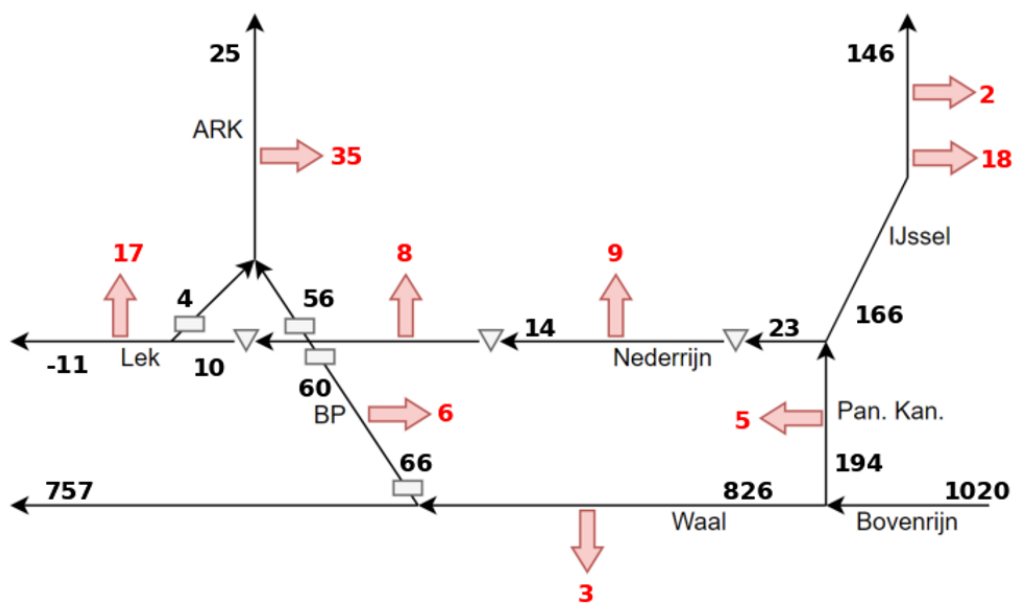
Figuur 8-5 Afvoerdeling voor referentie klimaat voor 700 m³/s



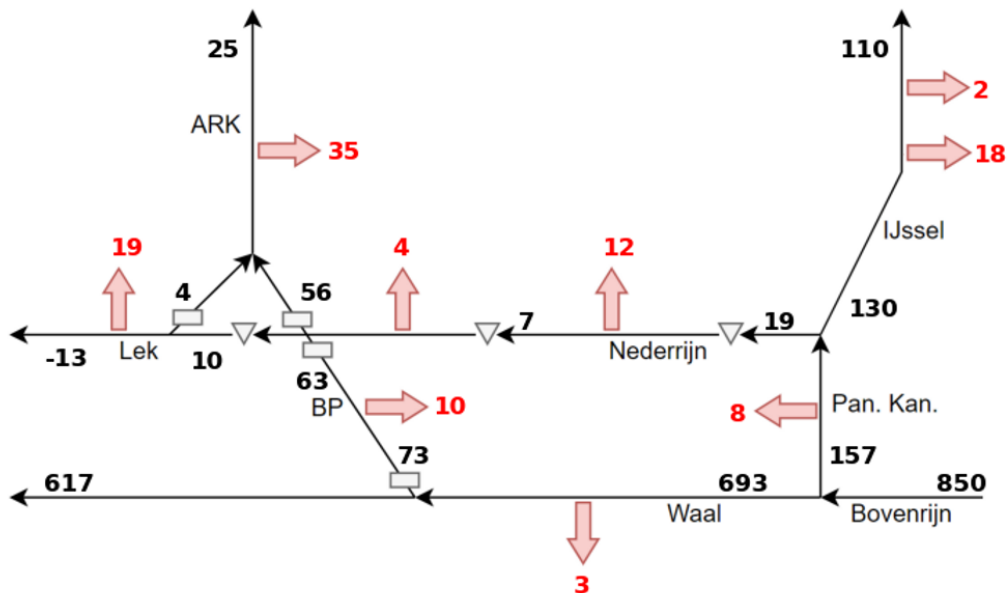
Figuur 8-6 Afvoerdeling voor 2050 (WHdry) voor 1800 m³/s



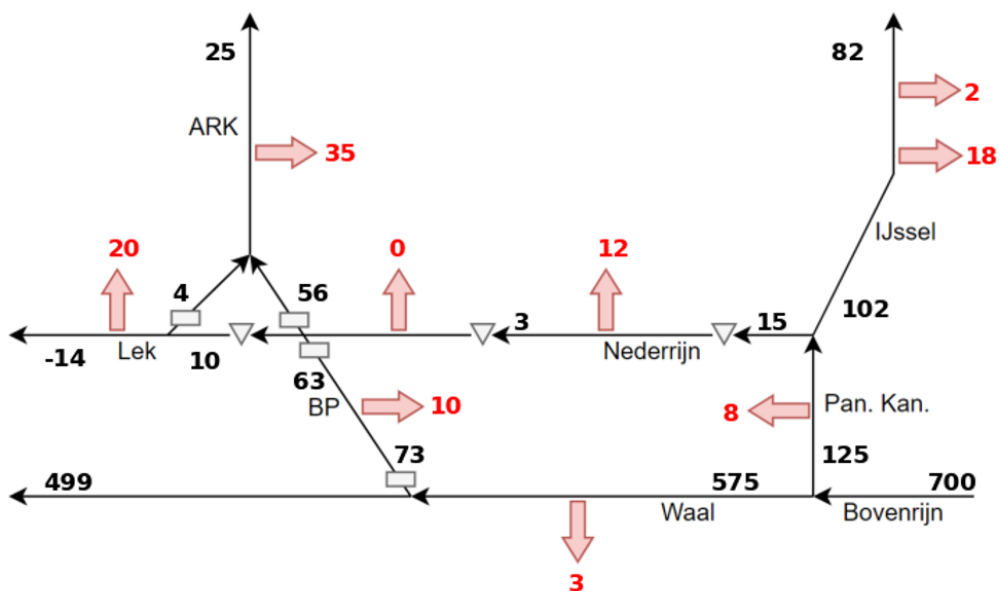
Figuur 8-7 Afvoerdeling voor 2050 (WHdry) voor 1400 m³/s



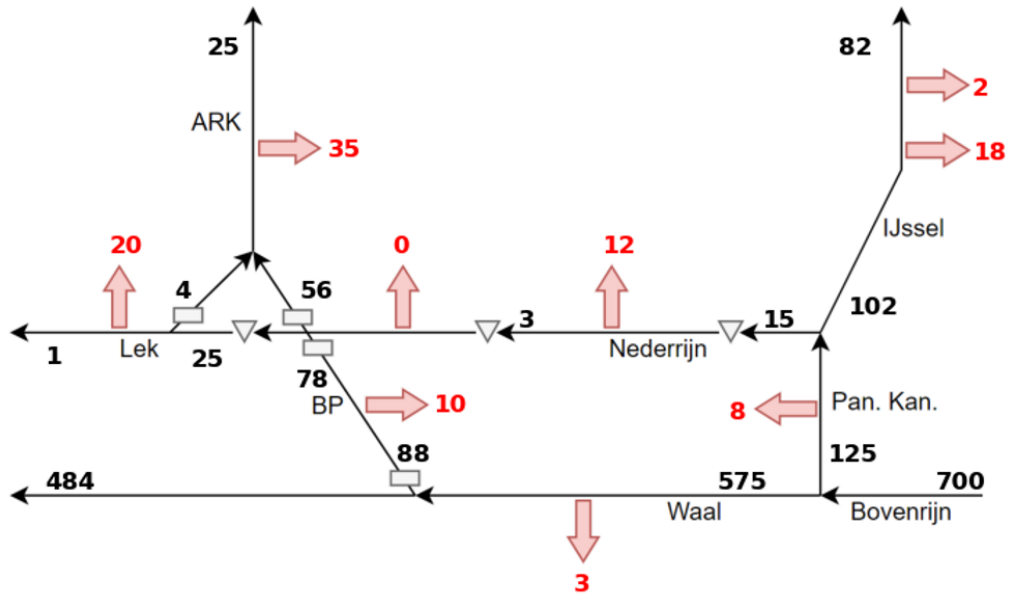
Figuur 8-8 Afvoerdeling voor 2050 (WHdry) voor 1020 m³/s



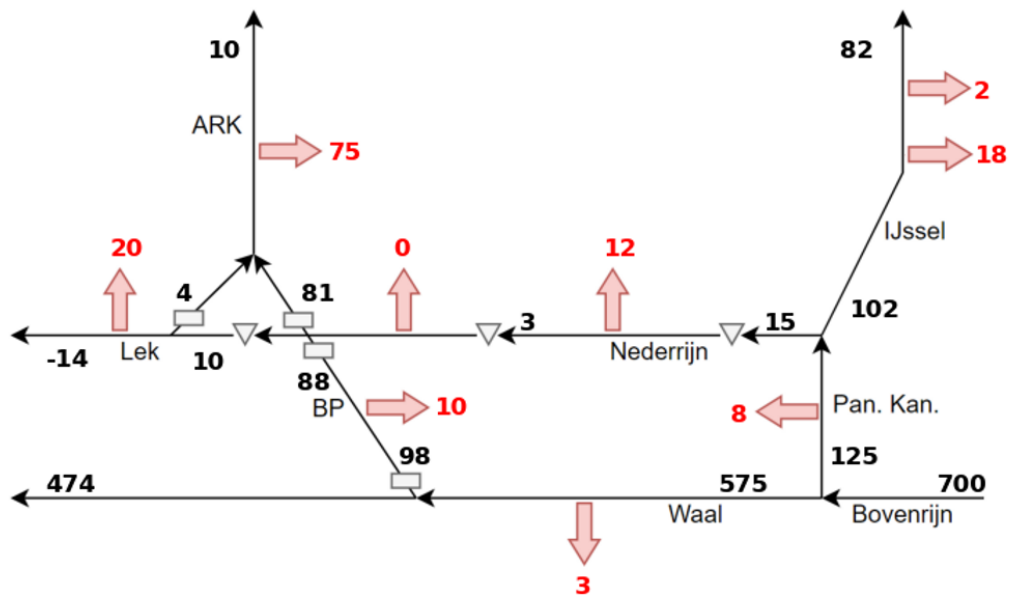
Figuur 8-9 Afvoerverdeling voor 2050 (WHdry) voor 850 m³/s



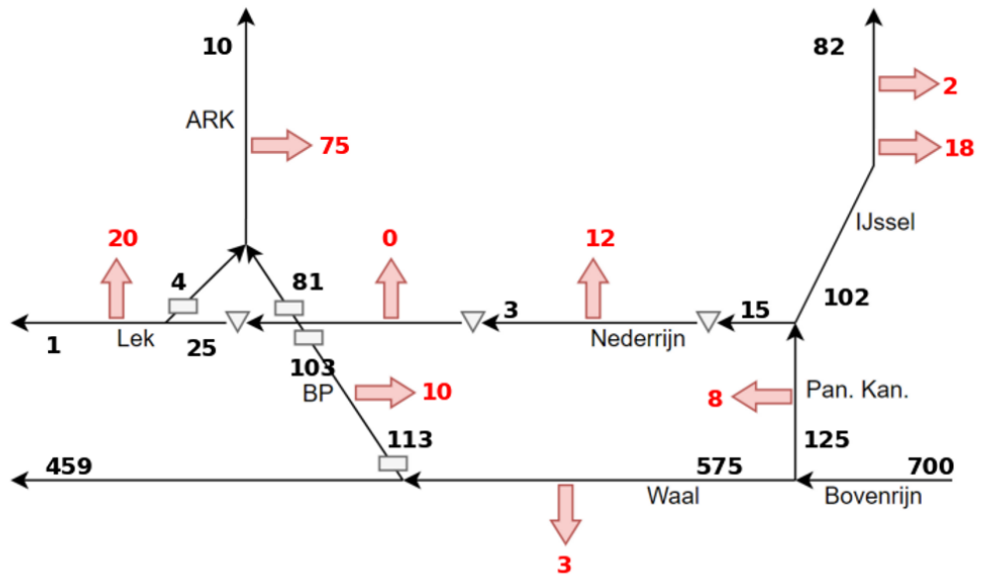
Figuur 8-10 Afvoerverdeling voor 2050 (WHdry) voor 700 m³/s



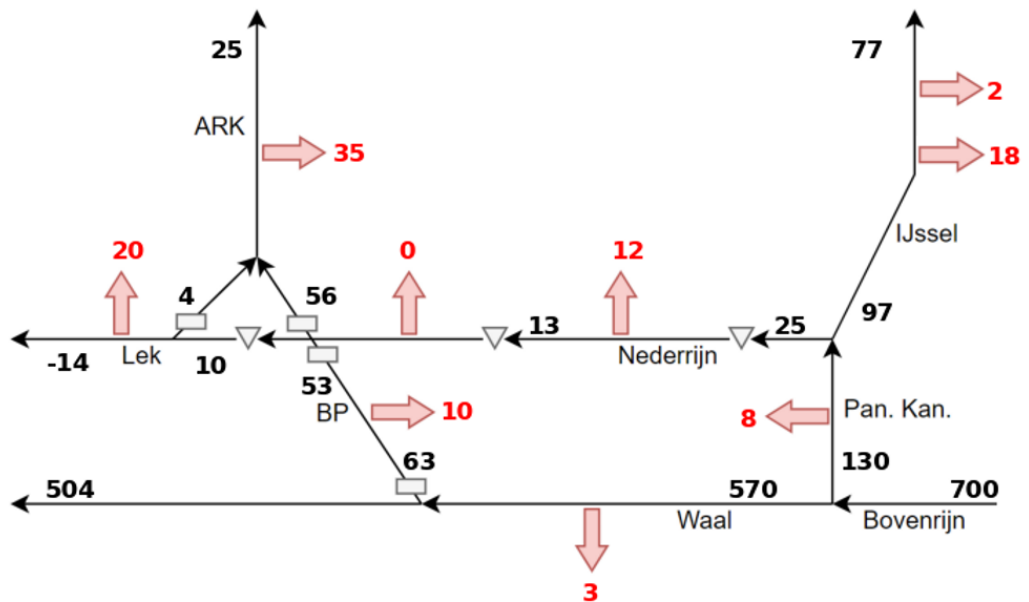
Figuur 8-11 Afvoerverdeling voor 2050 (WHdry) met Hagestein voor 700 m³/s



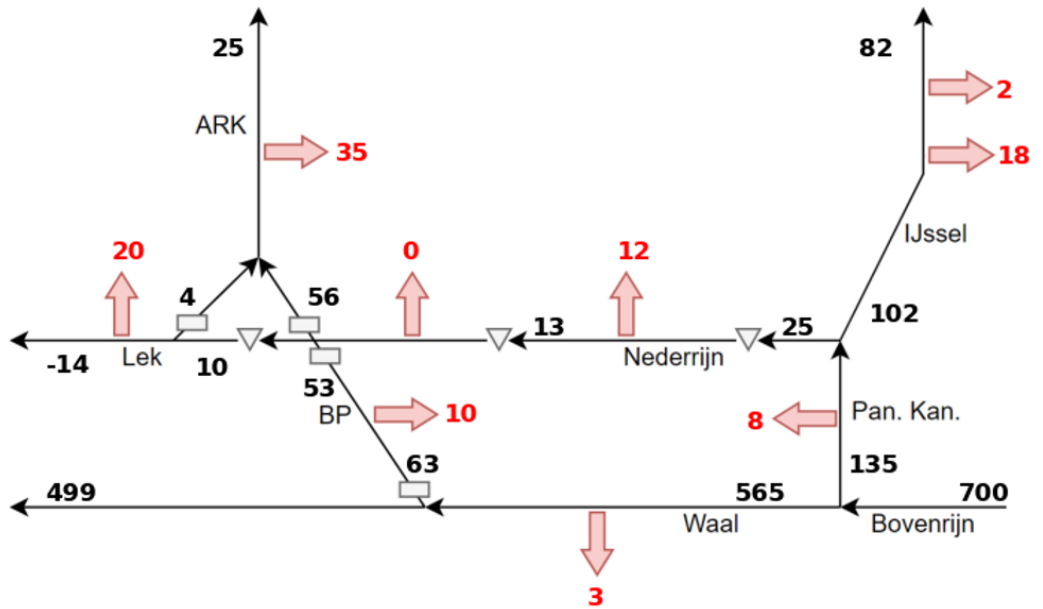
Figuur 8-12 Afvoerverdeling voor 2050 (WHdry) met ARK voor 700 m³/s, let op: de extra "watervraag" uit het ARK wordt pas onttrokken na de monding van het ARK, maar voor de monding van het Noordzeekanaal



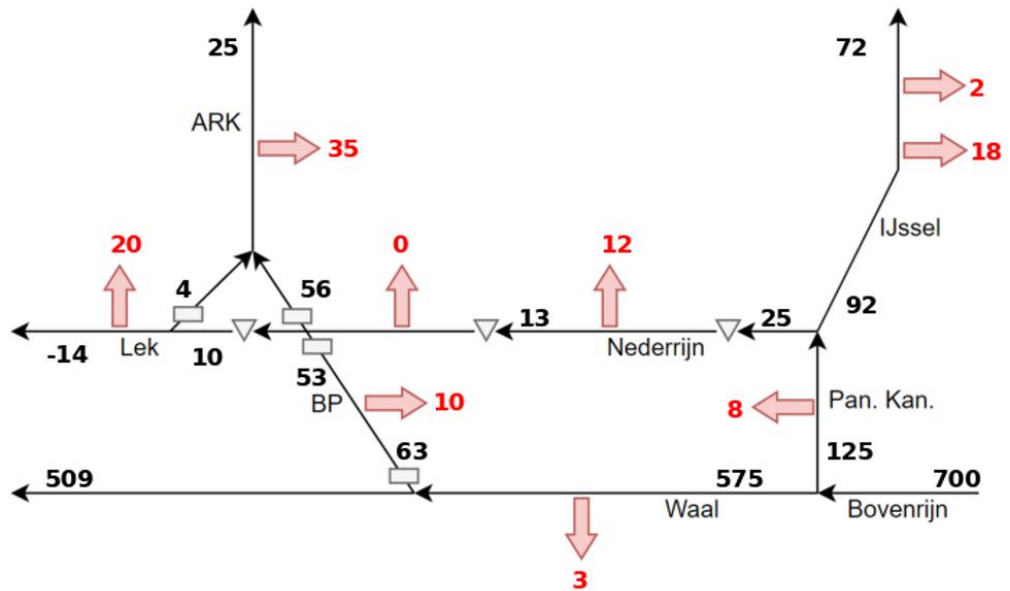
Figuur 8-13 Afvoerverdeling voor 2050 (WHdry) met ARK en Hagestein voor 700 m³/s, let op: de extra "watervraag" uit het ARK wordt pas onttrokken na de monding van het ARK, maar voor de monding van het Noordzeekanaal



Figuur 8-14 Afvoerverdeling voor 2050 (WHdry) met Driel 50/50 voor 700 m³/s



Figuur 8-15 Afvoerverdeling voor 2050 (WHdry) met Driel uit Waal voor 700 m³/s



Figuur 8-16 Afvoerverdeling voor 2050 (WHdry) met Driel uit IJssel voor 700 m³/s

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