

Rijkswaterstaat

Waterverdelings- en verziltingsvraagstukken in het hoofdwatersysteem in West- en Midden-Nederland

Eindrapport



Maart 2013

HydroLogic

HydroLogic BV
Bureau voor Waterbeheer en ICT Postbus 2177 3800 CD Amersfoort
Tel: 033 4753535 E-mail: info@hydrologic.nl Web: www.hydrologic.nl

Rijkswaterstaat

Waterverdelings- en verziltingsvraagstukken in het hoofdwatersysteem in West- en Midden-Nederland

Eindrapport

maart 2013

P475

HydroLogic BV
Watermanagement & ICT

Postbus 2177
3800 CD Amersfoort

Tel: 033 4753535
Email: info@hydrologic.com
Web: www.hydrologic.com

HydroLogic



Inhoud

0.	Samenvatting.....	1
1.	Inleiding	3
1.1.	Aanleiding	3
1.2.	Doelstelling.....	3
1.3.	Uitgangspunten en afbakening	3
1.4.	Leeswijzer.....	4
2.	Beschrijving hoofwatersysteem Midden-Nederland.....	5
2.1.	Het projectgebied.....	5
2.2.	Huidig beheer hoofwatersysteem	6
2.3.	Kleinschalige wateraanvoer Midden-Holland (KWA).....	9
2.4.	Verziltning Rijn-Maasmonding	10
2.4.1.	Gebruikte methode	10
2.4.2.	Effect van de hoogte van de rivierafvoer	12
2.4.3.	Effect van windopzet.....	14
2.4.4.	Effect van de duur van de laagwaterperiode	15
2.4.5.	Duur van de overschrijding	16
2.5.	Afvoercapaciteit stuw Driel.....	19
2.6.	Waterverdeling en -balansen bij laagwater en droogte.....	21
2.6.1.	Matig droog (1400 m ³ /s)	23
2.6.2.	Droog (1000 m ³ /s).....	24
2.6.3.	Zeer droog (800 m ³ /s).....	25
3.	Optimalisatie van het beheer bij laagwater	27
3.1.	Verwachte verandering in watervraag en –aanbod.....	27
3.2.	Effecten van toename onttrekkingen Midden-West-Nederland	28
3.2.1.	Vergelijking van de beheersvarianten	29
3.2.2.	Beheersvarianten bij extreem lage afvoeren en inzet Hagestein	31
3.2.3.	Effect van windopzet.....	32
3.3.	Bovenstroomse zoetwateraanvoer Hollandse IJssel	34
3.4.	Optimalisatie inzet Stuw Driel.....	35
3.5.	Effecten vergroten en verplaatsen Inlaat Kromme Rijn	36
3.5.1.	Varianten 1 en 2	37
3.5.2.	Variante 3.....	37
3.5.3.	Variante 4.....	38
3.6.	Alternatieve waterinlaat Amsterdam-Rijnkanaal vanuit het IJmeer	38
3.7.	Droogtscenario's LCW	40
4.	Synthese, conclusies en aanbevelingen.....	43
4.1.	Synthese.....	43
4.1.1.	Stuurknoppen hoofwatersysteem.....	43
4.1.2.	Vergroting van de onttrekkingen naar regionale watersystemen	44
4.1.3.	Verziltning.....	45
4.2.	Conclusies.....	46
4.3.	Aanbevelingen	47
5.	Referenties	49
	Colofon.....	51

Bijlagen

- Bijlage A Beschouwde onttrekkingen uit het hoofdwatersysteem naar het regionaal watersysteem
- Bijlage B Detailbeschrijving stuwcomplexen Nederrijn en Lek
- Bijlage C Waterverdeling, spuiregime en waterstanden bij laag water
- Bijlage D Verantwoording berekeningen verzilting
- Bijlage E Detailinformatie waterbalansen
- Bijlage F Berekening afvoercapaciteit Stuw Driel bij laagwater
- Bijlage G Beschrijving en effecten beheersvarianten

0. Samenvatting

In opdracht van Rijkswaterstaat heeft HydroLogic een aantal analyses uitgevoerd naar de huidige waterverdeling en de mogelijkheden tot optimalisatie in het hoofdwatersysteem bij lage afvoeren van de Nederrijn, de Lek, de Hollandse IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal. Deze vragen zijn onder andere voortgekomen uit de knelpuntenanalyse van het Regionale deelprogramma zoetwater Midden-West-Nederland van het Deltaprogramma, uit de evaluaties van de droogte-periode van 2011 (LCW en KWA) en andere onderzoeken.

In dit onderzoek is een samenhangend beeld verkregen van het functioneren van het onderzochte deel van het hoofdwatersysteem onder droge en laagwateromstandigheden. Het onderzochte deel van het hoofdwatersysteem functioneert naar behoren onder droge tot extreem droge situaties. De meeste watervragen worden adequaat bediend en kunnen zelfs onder extreme omstandigheden worden geleverd. Het openstellen van de Prins Bernhardsluizen is hierin een essentiële factor waarmee de grote watervraag in Midden-West-Nederland kan worden geleverd. Het grote verhang bij de Prinses Irenesluizen waarborgt een robuuste watervoorziening voor een groot deel van Midden-West-Nederland.

De levering van 25 m³/s via Driel is het minst robuuste element in het onderzochte deel van het hoofdwatersysteem. Deze hoeveelheid water kan bij Lobith-afvoeren van 800-900 m³/s en lager niet meer worden geleverd. Een lagere afvoer over Driel leidt in het huidige watersysteem overigens niet direct tot problemen. Als het toch wenselijk is de doorvoer over de Nederrijn te handhaven, verdient het aanbeveling de mogelijkheden en consequenties te onderzoeken van het sturen met Stuw Amerongen in plaats van Stuw Driel. Vanwege de beperkte afvoercapaciteit van Stuw Driel wordt geadviseerd om Driel niet zwaarder te belasten door de benedenstroomse onttrekkingen aan het pand Amerongen-Driel substantieel te vergroten.

De belangrijke inlaatpunten op de Lek voor de Krimpener- en Lopikerwaard zijn weinig gevoelig voor verzilting. Zelfs in het geval van een verhoogde onttrekking in de Lek voor KWA+ blijven deze locaties onder de meeste omstandigheden gevrijwaard van verzilt water. Dit berekeningsresultaat stemt overeen met de in de praktijk beperkte afvoer via Hagestein. Onder bepaalde extreme omstandigheden kan doorvoer via Hagestein wel een oplossing zijn om verzilting van inlaatpunten te voorkomen. Deze beheerstrategie verdient nadere uitwerking.

Het hoofdwatersysteem biedt de mogelijkheid om in een toenemende watervraag uit Midden-Nederland te voorzien. Een verhoogde onttrekking is mogelijk en leidt niet tot een grote toename van de verzilting op de Hollandse IJssel en Lek. Vanuit het hoofdwatersysteem kunnen hierdoor adequate oplossingen van de zoetwaterknelpunten Gouda en Kromme Rijn worden gefaciliteerd. Het gebruik van de Hollandse IJssel voor de levering van extra zoet water aan de boezem van Rijnland – de zoetwaterbuffer – lijkt een realistische optie. Het is de moeite waard deze optie in meer detail uit te werken, bijvoorbeeld met een praktijkproef.

Omdat het hoofdwatersysteem grotendeels al goed functioneert, zijn de optimalisatiemogelijkheden beperkt, gegeven de huidige beleidskaders en het huidige beheer. Flexibilisering van het beheer naar situatie en omstandigheid, gebaseerd op actuele metingen is gewenst.

In het Amsterdam-Rijnkanaal – en het Noordzeekanaal – kan een aantal (verwachte) ontwikkelingen leiden tot toename van de verzilting: zeespiegelstijging, vergroting van de zeesluis bij IJmuiden, het verwijderen van het sluiseland Zeeburg. Als compenserende maatregel is het vergroten van de inlaat op de Vecht, via de Grote Zeesluis bij Muiden, kansrijk. Dit verdient nader onderzoek, rekening houdend met de mogelijke flexibilisering van het Markermeerpeil en de beperkingen die dat met zich meebrengt. Het inzetten van de inlaten Muiden en Oranjesluizen kan onderdeel zijn van een flexibel beheersplan voor het Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal.

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

Over de huidige en toekomstige waterverdeling en werking van het hoofdwatersysteem bij lage afvoeren van de rivieren de Nederrijn, de Lek, de Hollandse IJssel en het Amsterdam-Rijnkanaal leven een aantal vragen. Deze vragen zijn onder andere voortgekomen uit de knelpuntenanalyse van het Regionale Deelprogramma Zoetwater Midden-West-Nederland van het Deltaprogramma, uit de evaluaties van de droogte-periode van 2011 (LCW en KWA) en andere onderzoeken.

Het in beeld brengen en beantwoorden van deze vragen is belangrijk voor verfijning van het huidige beheer en voor het ontwikkelen en beoordelen van maatregelen in het kader van het Deltaprogramma zoetwater. De vragen bestrijken het gezamenlijke beheersgebied, geheel of gedeeltelijk, van de regionale diensten van Rijkswaterstaat in Oost-Nederland (DON), Utrecht (RDU), Zuid-Holland (DZH) en Noord-Holland (DNH).

1.2. Doelstelling

Het eerste doel van dit project is om te komen tot een gemeenschappelijk beeld van het functioneren van het in paragraaf 2.1 afgebakende deel van het hoofdwatersysteem (HWS) onder verschillende laagwateromstandigheden. De beschrijving dient van een zodanig detailniveau te zijn, dat de invloed van eventuele toekomstige veranderingen in het hoofdwatersysteem of daarbuiten kan worden bepaald ten aanzien van waterkwantiteit, -kwaliteit en beheer. Het gerealiseerde beeld van het hoofdwatersysteem dient zowel door Rijkswaterstaat als de aanliggende waterschappen te worden gedragen. Om dit te realiseren is veel aandacht besteed aan samenwerking met de verschillende diensten en het intensief betrekken van de waterschappen bij de voorliggende vraagstukken.

Het tweede doel is om te onderzoeken of het beheer van het hoofdwatersysteem kan worden geoptimaliseerd zodat beter aan de verschillende watervragen, op dit moment en in de toekomst, kan worden voldaan. Op basis van inzicht in het huidige functioneren van de belangrijke waterverdelingsknoppen in het hoofdwatersysteem (doel 1), is per knop geanalyseerd of er verbetermogelijkheden zijn. Onderdeel van dit tweede doel is de vraag wat de effecten zijn van een grotere onttrekking vanuit Midden-Nederland op de verzilting op de Hollandse IJssel en Lek.

1.3. Uitgangspunten en afbakening

Onderstaand worden de centrale uitgangspunten van het onderzoek gegeven:

- Het onderzoek richt zich op laagwateromstandigheden in het hoofdwatersysteem, dat wil zeggen: weinig bovenstroomse aanvoer en daardoor een gelimiteerd aanbod van water voor de regionale onttrekkingen. Vaak vallen deze situaties samen met droge tot zeer droge omstandigheden in de regionale stroomgebieden en een daarbij horende verhoogde watervraag. In dit rapport wordt gesproken over laagwatersituaties, waarmee situaties worden bedoeld waarbij zoetwatertekorten optreden die ontstaan door een combinatie van bovenstaande factoren.
- Het onderzoek is uitgevoerd voor het in paragraaf 2.1 beschreven projectgebied. Waar noodzakelijk voor de analyse zijn ook meer benedenstroomse delen van het hoofdwatersysteem beschouwd. Tenzij dit expliciet is aangegeven, heeft dit onderzoek geen betrekking op locaties of situaties buiten het projectgebied.
- Centraal uitgangspunt van dit onderzoek is het huidige watersysteem inclusief het huidige beheer. In beeld is gebracht hoe het huidige systeem onder droge omstandigheden functioneert én

of er binnen de kaders van het huidige beheer optimalisaties mogelijk zijn. Een andere waterverdeling over de rijntakken of het toevoegen van kunstwerken in het hoofdwatersysteem is buiten dit onderzoek gelaten.

- Het project focust zich op het hoofdwatersysteem en de vraag in hoeverre het hoofdwatersysteem kansen of beperkingen biedt aan de regionale systemen.
- In het project is waar nodig aangesloten bij de uitgangspunten van het Deltaprogramma en de hierin toegepaste modellen, zodat voorliggend onderzoek consistent is met in het Deltaprogramma uitgevoerde analyses.

1.4. Leeswijzer

De opbouw van het rapport sluit aan bij de twee doelstellingen van het onderzoek. In hoofdstuk 2 wordt de werking van het watersysteem onder verschillende laagwatersituaties beschreven (doel 1). Daaropvolgend wordt in hoofdstuk 3 beschreven in hoeverre het beheer van het hoofdwatersysteem onder diezelfde omstandigheden kan worden verbeterd (doel 2). Het rapport wordt afgesloten met een synthese in hoofdstuk 4. Conclusies en aanbevelingen zijn hier onderdeel van.

2. Beschrijving hoofdwatersysteem Midden-Nederland

Dit hoofdstuk beschrijft het hoofdwatersysteem in Midden-Nederland. De focus ligt daarbij op het functioneren van het watersysteem bij laagwatersituaties en de elementen die daarbij een rol spelen.

2.1. Het projectgebied

De deelvragen in dit project hebben betrekking op de Nederrijn, de Lek, de Hollandse IJssel (Hollandse IJssel) en het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK). Deze wateren ontvangen water uit de Bovenrijn, die bij Lobith Nederland binnenstroomt en zich bij Nijmegen splitst in de Waal en het Pannerdens kanaal. Het Pannerdens Kanaal splitst zich bij de IJsselkop in de IJssel en Nederrijn. Via de stuw Driel wordt water doorgelaten naar de Nederrijn die vanaf de inlaat Kromme Rijn bij Wijk bij Duurstede Lek wordt genoemd. Vanaf de stuw Hagestein is de Lek ongestuwd en staat deze in open verbinding met de Nieuwe Maas.

In het benedenrivierengebied komt het water uit de Waal en de Lek weer bij elkaar en verdeelt zich, samen met het water uit de Maas, over diverse stromen. Via de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet stroomt het rivierwater uit in zee. Ook wordt water uit het Haringvliet naar het Volkerak gestuurd. De Nieuwe Waterweg vormt een open verbinding tussen de rivieren en de zee, zodat het zeewater ook in de benedenloop van de rivieren (Lek en Hollandse IJssel) kan doordringen. Dit proces heet externe verzilting. Het ARK voert water af naar het Noordzeekanaal. Ook via de zee-sluizen bij IJmuiden kan zout water in het hoofdwatersysteem terecht komen. Op het NZK ontstaat hierdoor een natuurlijke zoet-zout gradiënt. In het geval van beperkte afvoer van zoetwater via het ARK, het NZK en de Oranjesluizen kan de zouttong vanuit het NZK het ARK opdringen. Daarnaast komt er chloride op het hoofdwatersysteem via door boezemgemalen uitgemalen zoute kwel. Dit laatste wordt interne verzilting genoemd.



Fig. 1 Topografisch overzicht projectgebied

De waterverdeling vindt in het projectgebied deels op natuurlijke wijze plaats, en is deels gestuurd. Hiervoor worden diverse kunstwerken ingezet. Deze stuwen, schut- en/of spuisluisen zijn schematisch weergegeven in Fig. 2.

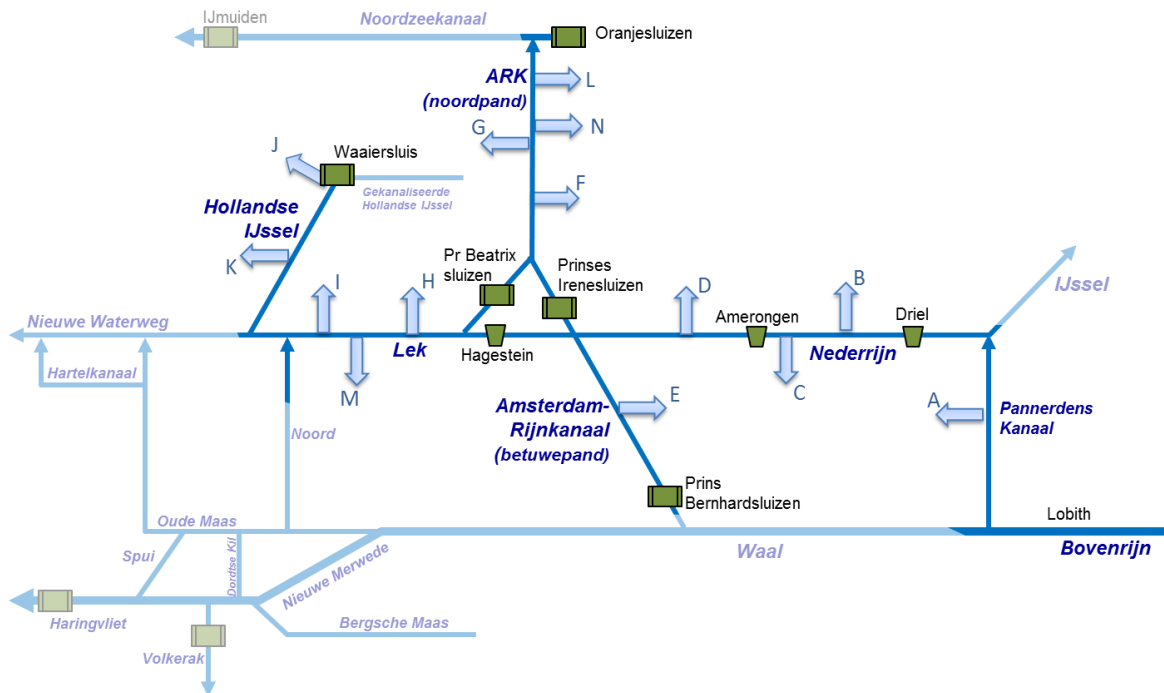


Fig. 2 Schematische weergave van het projectgebied, inclusief kunstwerken en onttrekkingen

In Fig. 2 is het onderzoeksgebied aangegeven met blauwe lijnen. Het deel van het hoofwatersysteem dat buiten het projectgebied ligt is gemaskeerd weergegeven, omdat de fluxen over deze takken wel van belang zijn voor het begrip van het watersysteem maar niet de focus van het onderzoek betreffen.

De relevante onttrekkingen, die in de huidige situatie tijdens droogte plaatsvinden uit het hoofwatersysteem naar het regionaal watersysteem of voor drinkwater, zijn met pijlen aangegeven. Deze pijlen zijn voorzien van een letter. Omwille van de leesbaarheid van het schema zijn in een aantal gevallen meerdere onttrekkingen samengevoegd tot één pijl en letter. In Bijlage A staat per letter aangegeven om welke onttrekking(en) het gaat en naar welk regionaal systeem het water wordt onttrokken.

2.2. Huidig beheer hoofwatersysteem

De waterverdeling van het hoofwatersysteem is gericht op peilbeheer ten behoeve van de scheepvaart, de landelijke zoetwatervoorziening en verziltingsbestrijding in de Rijnmond (Ref. 14). Als uitwerking hiervan is er een stuwprogramma voor de stuwen in de Nederrijn (zie Ref 20) en een lozingsprogramma voor de Haringvlietsluizen (zie Ref 15) opgesteld. De bediening van de kunstwerken is in deze documenten gekoppeld aan de gemeten waterstand en daarvan afgeleide afvoer bij Lobith. In aanvulling hierop wordt bij laagwatersituaties in de beschouwde regio de waterverdeling bepaald door het beheer van de Prins Bernardsluizen en Prinses Irenesluizen in het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en de inzet van de Kleinschalige Wateraanvoer Midden-Nederland (KWA). Het debiet dat bij laagwater via de Prins Bernardsluizen naar het noorden stroomt, wordt niet gestuurd en is een resultante van de aanvoer via stuw Amerongen en de afvoer via Hagestein, de Prin-

ses Irenesluizen, Kromme Rijn inlaat en in mindere mate de inlaat bij gemaal Van Beuningen, langs het Betuwepand van het ARK.

Stuw Driel

De Stuw bij Driel is het meest bovenstrooms gelegen stuwcomplex in de Nederrijn. Het beheer van deze stuw bepaalt in belangrijke mate de waterverdeling tussen de Nederrijn, IJssel en Waal (zie Bijlage B). Bij laag water moet er onder alle omstandigheden $25 \text{ m}^3/\text{s}$ worden doorgelaten naar de Nederrijn voor peilhandhaving, doorspoeling, regionale onttrekkingen en de energiecentrale in de stuw Amerongen. Het resterende water van het Pannerdens kanaal stroomt via de IJssel naar het IJsselmeer. Het IJsselmeer is van groot belang voor de zoetwatervoorziening van grote delen van Nederland.

Het dagelijks beheer van Stuw Driel is, naast het faciliteren van de scheepvaart, gekoppeld aan de gemeten waterstanden bij Lobith. Er wordt daarmee alleen indirect gestuurd op de debietverdeling tussen IJssel, Nederrijn en Waal. Het gehanteerde stuwprogramma, waarbij de te realiseren waterstand bij Driel afhankelijk is van de gemeten en verwachte waterstand bij Lobith, is zodanig vormgegeven dat de gewenste waterverdeling over IJssel, Nederrijn en Lek wordt gewaarborgd. Onder droge omstandigheden is de vizersluis van Driel volledig gesloten. Het gewenste minimale debiet van $25 \text{ m}^3/\text{s}$ naar de Nederrijn wordt geregeld met de cilinderschuif (een fijnregeling). In Bijlage C staat het stuwprogramma voor de stuwen in de Nederrijn en Lek weergegeven.

Prins Bernhardsluizen

De Prins Bernhardsluizen bij Tiel vormen de verbinding tussen de Waal en het Betuwepand van het ARK. Onder normale omstandigheden is het peil in de Waal hoger dan in het ARK. Bij afnemende afvoer kan het peil op de Waal dalen tot onder het peil in het ARK. De Bernhardsluizen worden dan geopend, omdat de constructie alleen kerend is naar de Waalzijde. Hierdoor ontstaat een open verbinding tussen Waal, ARK Betuwepand en het Hagestein-Amerongenpand van de Lek. Dit gebeurt gemiddeld circa 60-80 dagen per jaar. Voor de waterverdeling betekent dit dat er water uit de Waal naar het ARK en de Nederrijn kan stromen (en vice versa) (Ref 33). De afvoer via de PBS naar het noorden is bij een geopende sluis niet gereguleerd, maar een resultante van de verschillende onttrekkingen uit en aanvoer via Amerongen naar het gehele pand.

Stuw Amerongen en Hagestein

De stuwen bij Amerongen en Hagestein zijn vergelijkbaar met stuw Driel. Aanvullend op het complex bij Driel is bij zowel Amerongen als Hagestein een waterkrachtcentrale aanwezig, die van Hagestein is niet in gebruik. Bij voldoende afvoer wordt een deel van het water door de centrale bij Amerongen geleid. Bij lage afvoeren worden de centrales stilgelegd. Een minimaal debiet van $5\text{-}10 \text{ m}^3/\text{s}$ is nodig voor (efficiënte) energieopwekking.

Onder laagwateromstandigheden bedraagt het te handhaven peil bij Stuw Amerongen 6 m NAP en bij Hagestein 3 m NAP. Bij Hagestein kan dit peil gehandhaafd blijven tot het moment dat de Prins Bernhardsluizen in het ARK geopend worden en er een open verbinding ontstaat tussen de Waal en de Nederrijn. Het peil in het stuwpannd Hagestein fluctueert dan mee met de waterstand op de Waal ter hoogte van Tiel. Deze varieert bij laagwater doorgaans tussen 2 en 3 m NAP.

Waaiersluis

De Waaiersluis bij Gouda is een sluiscomplex met een schutsluis en een spuisluis in de Hollandse IJssel. Het scheidt de Gekanaliseerde Hollandse IJssel van de getijderivier Hollandse IJssel, die in open verbinding staat met de Nieuwe Maas. De getijderivier wordt gerekend tot het hoofwatersysteem, het gekanaliseerde deel is onderdeel van de boezem van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Bij de Waaiersluis kan water in twee richtingen worden uitgewisseld.

Haringvlietsluizen

De spuisluizen in het Haringvliet vormen, tezamen met Stuw Driel, de belangrijkste regelkranen in het hoofwatersysteem. In het Lozingsprogramma Haringvliet 1984 (LPH'84, zie Bijlage C) wordt de grootte van de in te stellen spui-opening direct gekoppeld aan de gemeten afvoer van de Rijn bij Lobith. Bij het opstellen van het lozingsprogramma zijn de volgende randvoorwaarden gebruikt:

- voor zover de natuurlijke omstandigheden het toelaten wordt de grootte van de spui-opening zo bepaald dat de waterstand bij Moerdijk niet onder NAP komt, zodat het havengebied Moerdijk bereikbaar blijft voor zeeschepen;
- zo lang als de afvoer van de Rijn het toelaat wordt een getijgemiddeld debiet van 1500 m³/s langs de Nieuwe Waterweg gestuurd om de verzilting van de Hollandse IJssel zo lang mogelijk te voorkomen.

Deze randvoorwaarden zijn uitgewerkt in een concreet lozingsprogramma, dat op hoofdlijnen is weergegeven in Bijlage C.

Prinses Irenesluizen

De Prinses Irenesluizen bij Wijk bij Duurstede vormen de verbinding tussen het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek en liggen op de scheepvaartroute tussen Amsterdam en Duitsland. Jaarlijks passeren ongeveer 37.000 schepen via een van de twee kolken.

In laagwatersituaties wordt er water uit de Lek op het Amsterdam-Rijnkanaal gelaten, om te kunnen voorzien in de watervraag aan het kanaal en voor het beperken van de zoutindringing op het ARK vanuit het Noordzeekanaal. Tot ca. 20 m³/s kan het inlaten gelijktijdig plaatsvinden met het schutten van schepen. Als de waterbehoefte groter is, wordt één van de twee kolken gesloten voor scheepvaart en gebruikt voor de watervoorziening.

Prinses Beatrixsluizen

De Prinses Beatrixsluizen bij Nieuwegein vormen de verbinding tussen de ongestuwde Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal. Er passeren jaarlijks ongeveer 50.000 schepen.

Voor de watervoorziening zijn deze sluizen minder belangrijk dan de Irenesluizen. De reden hiervoor is dat het peilverschil over de Beatrixsluizen doorgaans veel kleiner is dan over de Irenesluizen. Bij eb op de Lek is het peil van het ARK zelfs hoger.

2.3. Kleinschalige wateraanvoer Midden-Holland (KWA)

De KWA is een wateraanvoersysteem dat in werking treedt wanneer de inlaat van water uit de Hollandse IJssel naar de boezem van Rijnland – bij Gouda – gestaakt moet worden als gevolg van te hoge chlorideconcentraties op de Hollandse IJssel. Via de boezem van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden wordt extra water onttrokken aan de Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal. Dit water wordt bij Bodegraven doorgeleverd aan Rijnland. Het Hoogheemraadschap van Rijnland levert op haar beurt een deel van het water door aan Delfland en zij leveren een deel door aan het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard. Een overzicht van de aanvoerroutes is gegeven in Fig. 3.



Fig. 3 Waterlopen en kunstwerken ingezet bij de Kleinschalige Wateraanvoer Midden-Holland

In het waterakkoord Kleinschalige wateraanvoervoorzieningen Midden-Holland zijn de afspraken tussen de waterbeheerders rond de KWA vastgelegd. De KWA treedt in werking zodra:

- de afvoer bij Lobith lager wordt of dreigt te worden dan 1100 m³/s;
- er een verhoogde chlorideconcentratie gemeten wordt ten opzichte van normaal bij de monding van de Hollandse IJssel;
- de waterbeheerders verwachten dat deze situatie enige tijd blijft bestaan. Ook andere ‘ongunstige omstandigheden’ dan de hierboven genoemde kunnen in dit oordeel betrokken worden.

De KWA is in de praktijk ontstaan tijdens de droogte van 1976. In de jaren daarna is de aanvoer-route geformaliseerd. In 2003 is de KWA voor het eerst formeel ingezet en in 2011 voor de tweede keer. Voor de regionale watersystemen is het een tamelijk ingrijpende maatregel, door hoge waterstanden en stroomsnelheden, wat leidt tot extra onderhoud en beperkingen voor de recreatievaart..

Omdat de geleverde hoeveelheid minder is dan de watervraag, is de KWA altijd een tijdelijke oplossing: als de droogte aanhoudt raakt de boezem van Rijnland, als gevolg van zoute kwel uit droogmakerijen, te zeer verzilt en moeten er aanvullende maatregelen genomen worden. Dit kan zijn het alsnog inlaten van water uit de Hollandse IJssel, of het aanboren van een tweede alternatieve zoetwaterbron. Overigens is dit niet altijd noodzakelijk: in 2011 is de KWA 35 dagen in werking geweest, maar bleek het niet nodig aanvullende maatregelen te treffen.

2.4. Verzilting Rijn-Maasmonding

De Nieuwe Waterweg is een open verbinding tussen het rivierengebied en zee. Hierdoor is de Rijn-Maasmonding een overgangsgebied tussen het zoete riviersysteem en de zoute kustwateren en is er sprake van getijdeinvloed. De mate waarin zout zeewater doordringt in de rivieren is afhankelijk van veel factoren. De belangrijkste zijn de waterstand op zee, die fluctueert als gevolg van getijdewerking en windinvloeden en de rivierafvoer.

In de Rijn-Maasmonding wordt water onttrokken uit het hoofdsysteem voor diverse doeleinden: drinkwater, proceswater, beregening, peilbeheer en doorspoeling regionale wateren. De meeste van deze gebruiksfuncties stellen eisen aan de maximale chlorideconcentraties. De belangrijkste zijn opgenomen in Tabel 1.

Tabel 1 Chlorideconcentraties waarboven onttrekking uit het hoofdwatersysteem worden gestaakt.

Watersysteem	Gebruiksfuncties	locatie	Maximale chlorideconcentratie [mg/l]
-	Drinkwater	Noord en Oude Maas bij Ridderkerk	150
Brielse Meer	Proceswater, Peilbeheer, Glastuinbouw	Spui bij Bernisse	150
Schieland en Krimpenerwaard	Peilbeheer, volle grondteelt	Hollandse IJssel, Nieuwe Maas	400
Rijnland	Peilbeheer, boomteelt, natuur	Hollandse IJssel bij Gouda	250
De Stichtse Rijnlanden	Peilbeheer, natuur	Hollandse IJssel bij Gouda (Waaiersluis)	250
Alblasserwaard	Peilbeheer	Lek bij Kinderdijk	

In deze paragraaf worden de resultaten gepresenteerd van een analyse naar de natuurlijke fluctuaties van de chlorideconcentraties op enkele kenmerkende locaties in de Rijn-Maasmonding. Uitgangspunt is het huidige beheer van het hoofdwatersysteem bij laagwatersituaties. Aanpassingen aan het beheer, om ongewenste situaties te voorkomen of te verzachten komen in hoofdstuk 3 aan bod.

2.4.1. Gebruikte methode

De natuurlijke fluctuatie in de chlorideconcentraties is in beeld gebracht met behulp van een kwantitatieve modelanalyse met het eendimensionale Noordelijk Deltabekken Model (NDB), een deelmodel van het Deltamodel 1.0.

Het gebruik van dit model impliceert een aantal uitgangspunten, die ten grondslag liggen aan de analyse:

- De waterbeweging wordt verondersteld eendimensionaal te zijn, dat wil zeggen dat waterbeweging loodrecht op de hoofdstroomrichting verwaarloosd kan worden. Gezien de globale aard van de analyse is dit uitgangspunt geldig.
- De zoutconcentratie wordt geacht uniform verdeeld te zijn over de verticaal. In werkelijkheid is er vaak sprake van gelaagdheid (stratificatie), waarbij het zoute water zich onder het zoete water bevindt. Met name dicht bij de monding en in diepe wateren zoals de Nieuwe Waterweg is er sprake van een sterke gelaagdheid. Op grotere afstand van de monding en in ondiepere rivieren, zoals de Lek en de Hollandse IJssel, is er geen sprake van gelaagdheid en is het uitgangspunt geldig.
- Met het model worden situaties doorgerekend die in werkelijkheid nog nooit zijn opgetreden en daarom niet te valideren zijn. Zodoende kan er geen kalibratie worden uitgevoerd op de wijze waarop het model verzilting op de Lek simuleert. Wel heeft er een kalibratie op chlorideconcentraties op de Hollandse IJssel plaatsgevonden (Ref 37).

Onder andere vanwege het laatste punt zijn de uitkomsten van het model getoetst aan experts van de Waterdienst en Deltares (Ref 36, Ref 37), die hebben geconstateerd dat de uitkomsten plausibel zijn en in lijn met de analyses van het Deltaprogramma.

Door het samenspel van afvoer, wind en getijde is er een grote natuurlijke fluctuatie in chlorideconcentraties, die optreden op een locatie. In deze analyse is het spectrum aan natuurlijke omstandigheden afgedekt door verschillende combinaties van randvoorwaarden door te rekenen en onderling te vergelijken. Het betreft weliswaar realistische combinaties, maar nadrukkelijk geen werkelijk opgetreden situaties.

Het uitgangspunt voor de bovenstroomse Rijnaanvoer is de situatie van augustus 2003, waarbij de periode van zeer laag water ongeveer twee weken aanhield, waarna de afvoer weer toenam tot normale lage waarden. Er zijn drie laagwatersituaties doorgerekend, overeenkomend met een afvoer bij Lobith van 1000 (droog), 800 (zeer droog) en 600 m³/s (extreem droog). Voor de benedenstroomse randvoorwaarde is een normale astronomisch getijdencyclus opgelegd, al dan niet in combinatie met springtij en een windopzet van 60 cm gedurende twee dagen. De achtergrondwaarden voor het chloridegehalte in de Rijn en de Maas zijn afgeleid uit literatuur. In Bijlage D wordt dieper ingegaan op de gebruikte randvoorwaarden.

In Tabel 2 worden de in dit onderzoek gehanteerde laagwatersituaties gekenschetst. Het zijn opeenvolgende maatgevende droogtestadia waarmee het speelveld aan droogte- en laagwatersituaties wordt afgedekt (zie verder Bijlage D). In het rapport ligt de focus op de situatie Zeer droog: een rijnaafvoer van 800 m³/s, een normale getijdencyclus zonder windopzet en een neerslagtekort en bijbehorende watervraag als in 1976. Dit is een zeer droge situatie met een lage herhalingsstijd (~T100) die zich echter wel in werkelijkheid heeft voorgedaan. Aanvullend zijn in dit onderzoek extremere situaties doorgerekend – 600 m³/s met en zonder windopzet, vooral om een indicatie te krijgen van het functioneren van het systeem onder dergelijke extreme omstandigheden en de robuustheid van oplossingen.

Tabel 2. Herhalingsstijd representatieve laagwatersituaties en referentiejaar.

	Debiet [m ³ /s]	Referentie- jaar	Herhalingsstijd [j ⁻¹]
Matig droog	1400	1996	1/7
Droog	1000	2003	1/10
Zeer droog	800	1976 / 2003	1/10 – 1/100
Extreem droog	600	1976 (STOOM)	< 1/100

De in Tabel 2 gegeven situaties doen zich zowel in het huidige als het toekomstig klimaat voor. Alleen zullen de droge situaties zich in het geval van klimaatontwikkeling volgens W+ frequenter voordoen dan nu.

De fluctuaties zijn in beeld gebracht voor zeven karakteristieke locaties in de Rijn-Maasmonding:

- De Hollandse IJssel bij Gouda
- De monding van de Hollandse IJssel, nabij de stormvloedkering in Krimpen aan den IJssel
- De Lek ter hoogte van het inlaatpunt voor de Alblasserwaard, nabij Kinderdijk
- De Lek ter hoogte van het inlaatpunt voor de Krimpenerwaard, nabij Streefkerk
- De Lek ter hoogte het inlaatpunt bij gemaal Koekoek nabij Lopik
- De Noord ter hoogte van Ridderkerk
- Het Spui ter hoogte van Bernisse en de inlaat naar het Brielse Meer



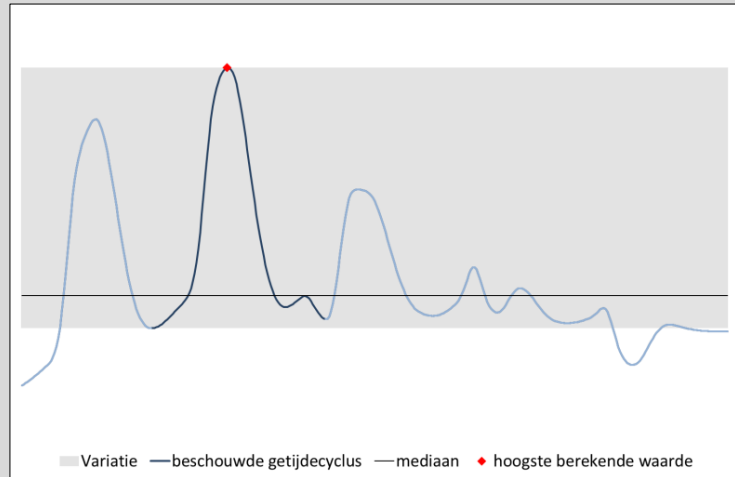
Fig. 4 De locaties waarvoor de verziltings situatie is berekend

2.4.2. Effect van de hoogte van de rivierafvoer

In deze paragraaf – Fig. 5 op pagina 13 – worden de berekende chlorideconcentraties weergegeven voor de zeven locaties bij drie afvoersituaties. De getallen bij de afvoersituaties verwijzen naar de afvoer bij Lobith en niet naar de daadwerkelijke afvoer op de locaties. Zie voor een toelichting op de totstandkoming van Fig. 5 nevenstaand kader.

Toelichting bij de verziltingsgrafieken

De grafiek in Fig. 5 en de andere verziltingsgrafieken zijn tot stand gekomen door voor elke locatie de hoogst berekende chlorideconcentratie tijdens de laagwaterperiode van twee weken te zoeken. Omdat de meeste locaties onder invloed staan van getijde, is tevens de laagste waarde bepaald binnen de getijdencyclus van ten hoogste 18 uur – zodat ook rekening wordt gehouden met asymmetrische getijdesignalen – waarin de hoogste waarde valt; zie nevenstaande figuur. Tevens is de mediaan bepaald van de getijdencyclus.



De grijze horizontale balken in de grafieken geven de chlorideconcentraties aan waarbij voor een of enkele gebruiksfuncties problemen ontstaan. Gezien de globale aard van de analyse, zijn de berekeningen niet geschikt om te bepalen tot welk moment een bepaald gebruiksfunctie water kan innemen uit het hoofwatersysteem. De grijze balken geven een overgangsgebied aan: eronder zijn er geen problemen te verwachten, erboven zullen alle gebruiksfuncties in enige mate hinder of schade kunnen ondervinden van verzilting.

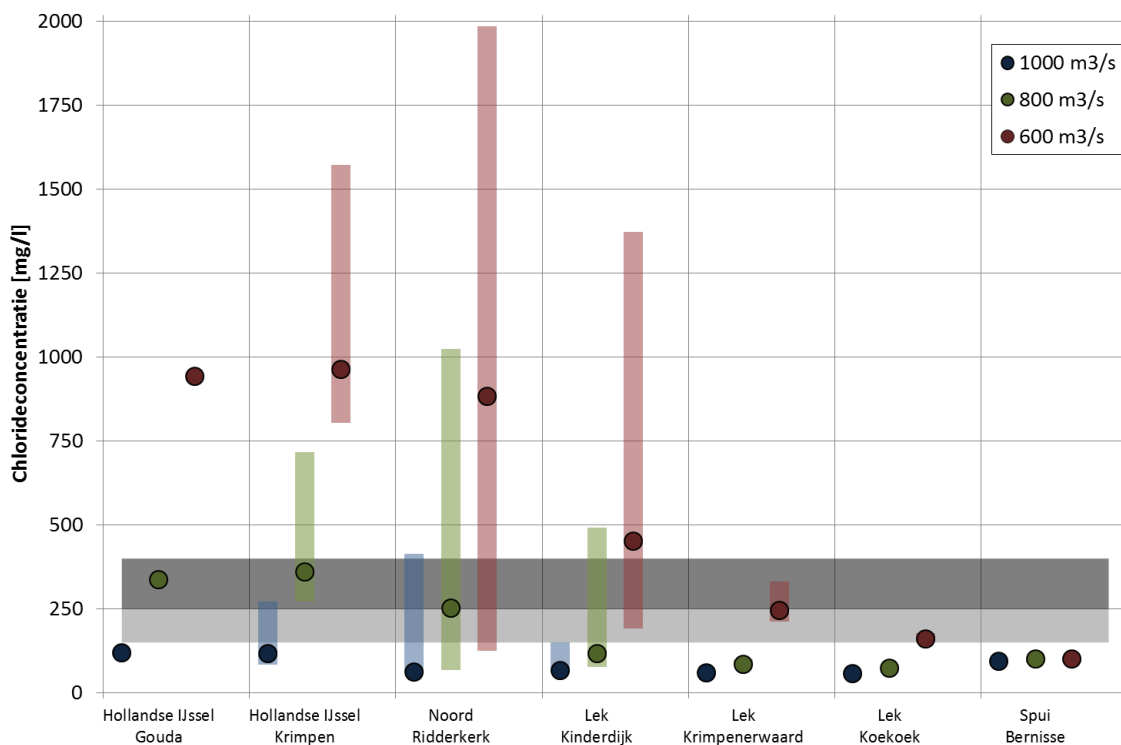


Fig. 5 Variatie van de chlorideconcentraties bij normaal getijde voor verschillende rivierafvoeren.

Uit Fig. 5 blijkt dat de mate van verzilting, zoals mag worden verwacht, samenhangt met de rivierafvoer. Bij afnemende rivierafvoer neemt én de gemiddelde concentratie én de amplitude toe. Niet alle locaties zijn even gevoelig voor afnemende rivierafvoer: op de bovenstroomse locaties langs de Lek treedt verzilting pas bij extreme lage afvoeren op. Het Spui bij Bernisse is niet gevoelig voor lagere afvoeren.

De Hollandse IJssel is, zowel bij Krimpen als bij Gouda, gevoelig voor verzilting. In de berekeningen is aangenomen dat de KWA in werking is en er daarom gedurende de gehele berekening geen water wordt onttrokken bij Gouda. In werkelijkheid zal het onttrekken uit de Hollandse IJssel bij Gouda langer doorgaan, waardoor de maximale chlorideconcentraties hoger zullen liggen en/of eerder bereikt zullen worden dan hier berekend. Ook is in Fig. 5 zichtbaar dat er aan de bovenstroomse zijde van de Hollandse IJssel geen chloridefluctuaties optreden als gevolg van getijdewerking. Meer benedenstrooms is dit wel het geval.

De verziltingssituatie bij Ridderkerk en de Lek wordt sterk beïnvloed door het getij. Hier wordt de inlaatnorm afwisselend enkele uren wel en enkele uren niet overschreden.

2.4.3. Effect van windopzet

Op dezelfde wijze als in de voorgaande paragraaf beschreven, is in Fig. 6 het effect weergegeven van een windopzet, dat wil zeggen een waterstandsverhoging op zee als gevolg van opwaaiing, van 60 cm gedurende twee dagen gecombineerd met springtij.

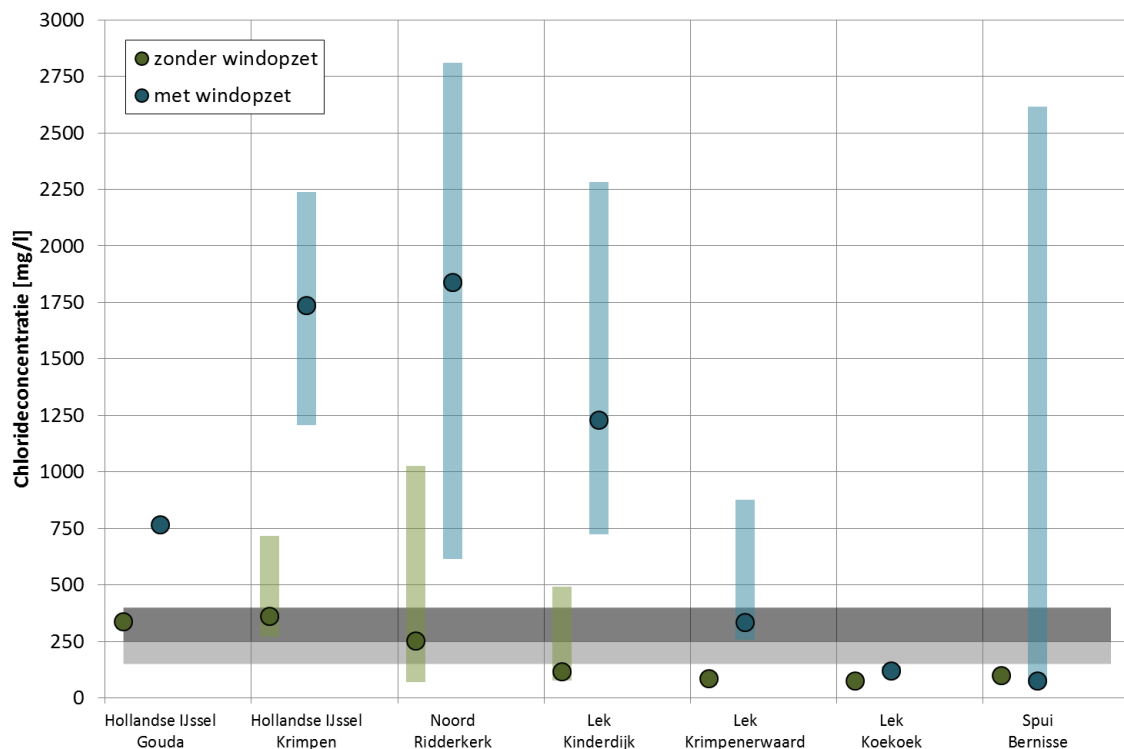


Fig. 6 Chlorideconcentraties bij een rivierafvoer van 800 m³/s, met en zonder windopzet.

Het effect van windopzet is groot. Op alle locaties worden verhoogde concentraties berekend. Zelfs tot bij de inlaat bij gemaal Koekoek is het effect merkbaar, zij het beperkt en zonder dat het tot problemen leidt.

Het effect van windopzet op de chlorideconcentraties is groter dan het effect van een afnemende rivierafvoer. Een belangrijk verschil is dat windopzet doorgaans een tot enkele dagen duurt, terwijl laagwater op de rivier veel langer aanhoudt, een tot enkele weken. Op de doorgaande afvoerroutes (Noord, Nieuwe Maas, Nieuwe Waterweg, Spui) zullen de chlorideconcentraties na enkele dagen weer naar het oude niveau zijn teruggebracht. Dit geldt niet voor de ‘dode’ zeearmen Hollandse IJssel en –zij het in mindere mate- Lek. De afname van de verzilting zal hier afhangen van de doorlaat bij Hagestein en regionale afvoer naar de Hollandse IJssel. Wanneer dit niet of slechts in beperkte mate mogelijk is, zullen de chlorideconcentraties gedurende langere tijd verhoogd blijven. Vanzelfsprekend biedt dit mogelijkheden voor een slim beheer van de knoppen op de Hollandse IJssel en Lek (zie hoofdstuk 3).

Hoewel het effect op de chlorideconcentraties groot is, blijkt uit analyse in het kader van het Delta-programma dat de factor wind nauwelijks een bijdrage levert aan maatgevende zoetwateromstandigheden (Ref 37). De reden hiervoor is dat de combinatie van grote watervraag, lage rivierafvoeren en storm uiterst zeldzaam is. Stormen die tot aanzienlijke verzilting leiden doen zich doorgaans ofwel later in het seizoen voor (oktober 2003, november 2005) ofwel op een moment dat de watervraag beperkt is. Daarnaast leidt een storm voor veel inlaatlocaties tot een tijdelijke verhoging van chlorideconcentraties die – mits er mogelijkheden voor doorspoeling zijn – na enkele dagen weer verdwenen is. Op rivierarmen zonder bovenstroomse aanvoer, zoals de Hollandse IJssel, kan de verhoging wel langer aanhouden.

2.4.4. Effect van de duur van de laagwaterperiode

In Fig. 7 is het effect weergegeven van de duur van de laagwaterperiode op de hoogte van de chlorideconcentraties. Uitgaande van het huidige beheer is de duur van de periode waarin een afvoer van 800 m³/s optreedt gevarieerd tussen twee weken en twee maanden.

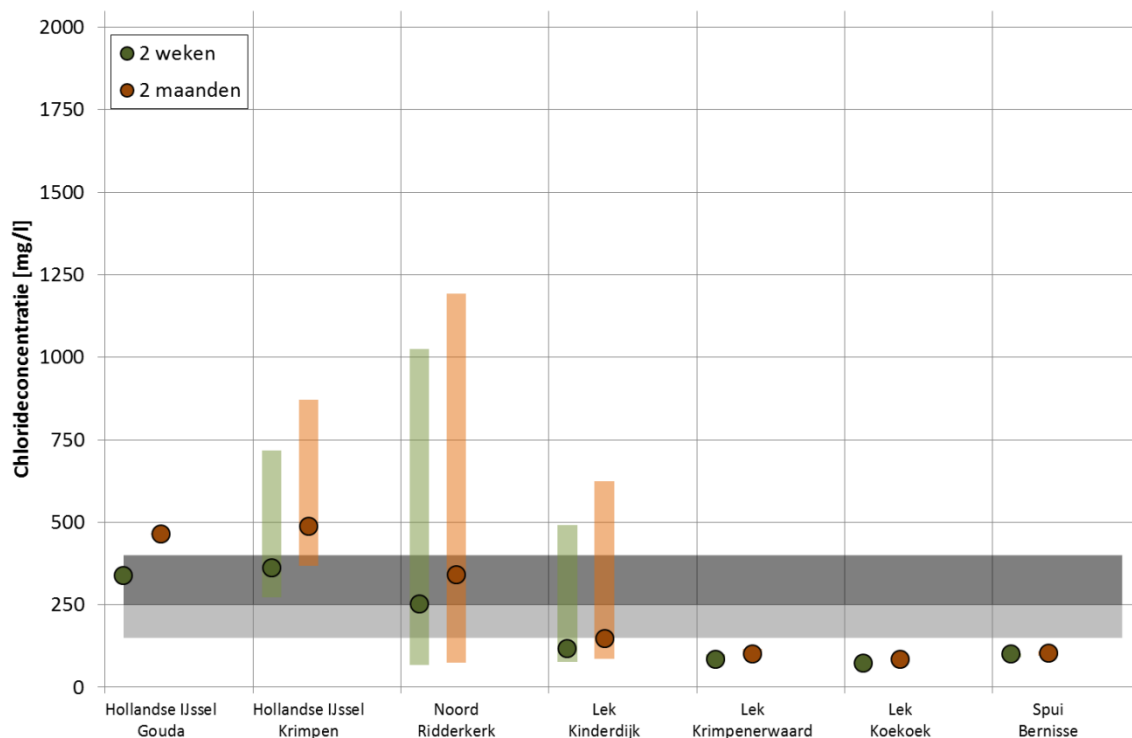


Fig. 7 Chlorideconcentraties bij een rivierafvoer van 800 m³/s, met variabele duur.

In het algemeen is het effect van het langer aanhouden van de laagwaterperiode beperkt. Alleen in de Hollandse IJssel wordt een significant verschil berekend. Vooral voor de inlaten naar Schieland en de Krimpenerwaard kan de duur van laagwaterperiode belangrijk zijn, omdat de waarden rond de 400 mg/l schommelen. Dit is de grens waarop deze inlaten wel of niet gesloten worden.

Het langer aanhouden van de laagwaterperiode heeft behalve op de hoogte van de chlorideconcentraties ook effect op de duur van eventuele overschrijdingen. Ook dit effect is alleen op de Hollandse IJssel significant, omdat voor de andere locaties ofwel geen overschrijdingen worden berekend, ofwel omdat de overschrijding binnen een getijdencyclus eindigt.

Voor de sterk door het getij beïnvloede locaties bij Ridderkerk en Kinderdijk geldt dat een aanhoudende periode van laagwater toch tot problemen kan leiden. Op deze locaties wordt drinkwater gewonnen met behulp van oeverinfiltratie. Een aantal kortdurende overschrijdingen achter elkaar is problematisch, omdat oeverinfiltratie een niet te stoppen proces is. Via het grondwater die verhoging weer teruggevonden in het ruwwater en vraagt dan extra behandeling door het waterbedrijf.

2.4.5. Duur van de overschrijding

De duur van de overschrijding van een kritische chlorideconcentratie op een locatie hangt samen met verschillende factoren. Naast de al genoemde aspecten rivierafvoer, getijde en wind speelt ook de locatie in het watersysteem van de Rijn-Maasmonding een rol en het beheer. Dit laatste aspect komt in Hoofdstuk 3 uitgebreid aan de orde.

De locatie in het watersysteem bepaalt enerzijds de directe invloed van in- en uitstromend zeewater en anderzijds of er van nature sprake is van doorspoeling door bovenstroomse aanvoer van zoet water.

Voor de in dit onderzoek betrokken locaties kan onderscheid gemaakt worden naar drie verziltingskarakteristieken. In Fig. 8 zijn de verschillende typen afgebeeld.

- Type Gouda: op deze locatie is geen invloed merkbaar van het getij op de chlorideconcentratie. De veranderingen in concentraties zijn relatief traag. De chlorideconcentratie zelf is ook relatief laag, maar een overschrijding van een kritische grens duurt relatief lang: doorgaans enkele dagen of langer.
- Type Ridderkerk: deze locatie staat onder directe invloed van de zee, maar heeft ook een grote bovenstroomse aanvoer van zoetwater. Tijdens vloed zijn de chlorideconcentraties hoog, maar binnen de zelfde getijdencyclus keren de waarden weer terug naar de achtergrondconcentratie.
- Type Krimpen: dit is een tussenvorm van beide andere typen. De chlorideconcentratie fluctueert met het getij, maar de minimumwaarden keren niet elke cyclus terug naar het achtergrondniveau.

De in Fig. 8 gegeven grafieken gelden zijn bepaald bij een equivalente afvoer van 800 m³/s. Bij verdere afname van de rivierafvoer kan de zouttong verder landinwaarts dringen en verandert het verziltingstype bij Ridderkerk in Type Krimpen. Bij 600 m³/s is de zouttong dusdanig ver landinwaarts gedrongen dat zowel tijdens eb als tijdens vloed verhoogde zoutconcentraties bij Ridderkerk optreden en neemt de duur van de verzilting op deze locatie toe.

Op vergelijkbare wijze is ook windopzet van invloed op de duur van de verzilting op een locatie. Doorgaans is dit effect van kortere duur: nadat er weer sprake is van normaal getijde zal het zoutevenwicht zich herstellen.

Fig. 9 geeft dit proces conceptueel weer. Het verziltingstoplicht geeft de robuustheid van de inlaatpunten aan tegen verzilting, onder verschillende natuurlijke omstandigheden. In Fig. 9 is zichtbaar dat het onttrekkingspunt Gouda het meest kwetsbaar is. De onttrekkingspunten op de Lek zijn echter vrij robuust: bij inlaatpunt Koekoek is alleen bij de zeer zeldzame combinatie van extreem lage afvoer en windopzet mogelijk sprake van verhoogde chlorideconcentraties.

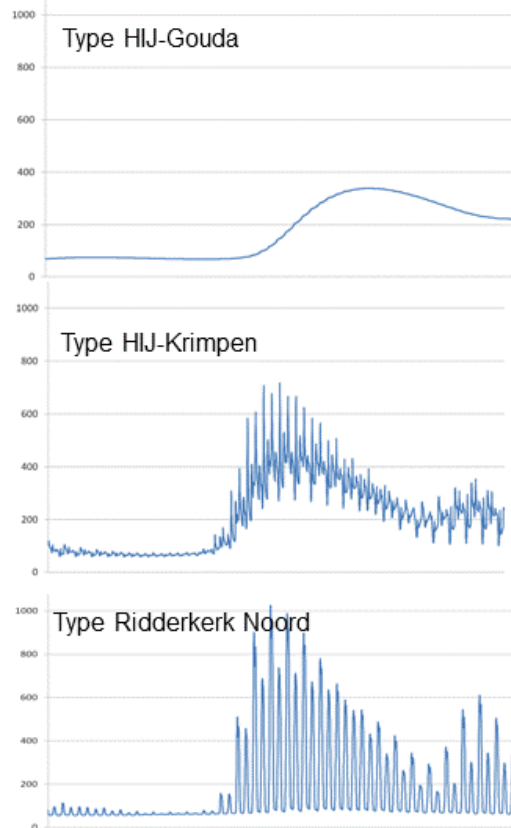


Fig. 8 Drie verschillende types verzilting in de Rijn-Maasmonding

In Fig. 9 is ook het zoutfront conceptueel aangegeven. Dit dringt verder door in het riviersysteem bij afnemende rivierafvoeren. Het zoutfront varieert met het getij, wat ertoe leidt dat in sommige gevallen bij eb wel kan worden ingelaten en bij vloed niet. Zie ook de opmerking over oeverinfiltratie in paragraaf 2.4.4.

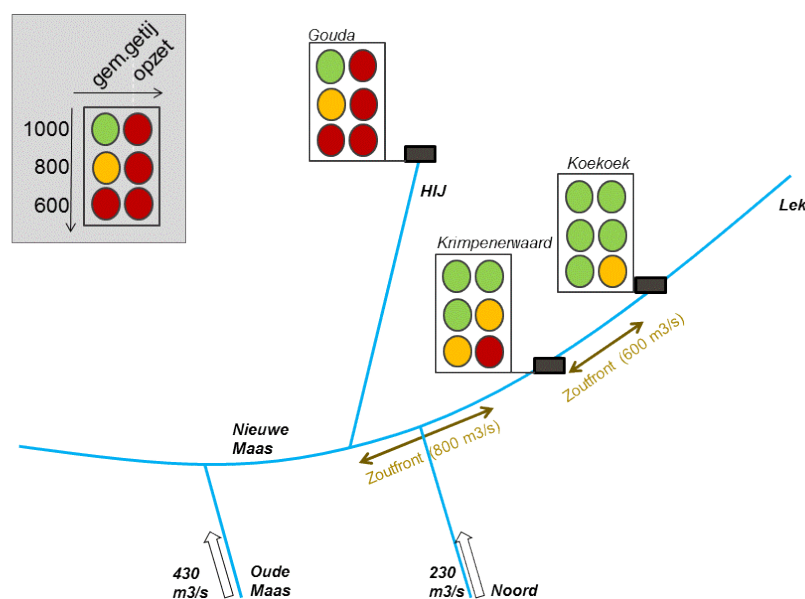


Fig. 9. Verziltingsstoplicht en zoutfront.

Tabel 3 geeft meer detailinformatie over de zoutconcentratie per inlaatlocatie. De aangegeven range geeft de variatie aan als gevolg van de invloed van getijde.

Tabel 3 Berekende chlorideconcentraties in mg/l per locatie, zonder windopzet

Locatie	1400 m³/s (min-max)	1000 m³/s (min-max)	800 m³/s (min-max)	600 m³/s (min-max)
<i>Achtergrondconcentratie Rijn bij Lobith</i>	90	100	120	150
Hollandse IJssel (Gouda)	90	100	350	900
Hollandse IJssel (Krimpen)	90	100-250	250-700	800-1600
Lek (Kinderdijk)	90	100-150	120-500	200-1400
Lek (Krimpenerwaard)	90	100	120	200-350
Lek (Koekoek)	90	100	20	150-200
Noord (Ridderkerk)	90	100-400	100-1000	150-2000
Spui (Bernisse)	90	100	100	100

2.5. Afvoercapaciteit stuw Driel

De Stuw bij Driel is het meest bovenstrooms gelegen stuwcomplex in de Nederrijn en Lek. Het beheer van deze stuw bepaalt in belangrijke mate de waterverdeling tussen de Nederrijn en de IJssel. Bij laag water moet er, volgens het stuwprogramma, $25 \text{ m}^3/\text{s}$ worden doorgelaten naar de Nederrijn. Het resterende water gaat naar de IJssel.

Uit metingen en eerder onderzoek (Ref 32) is gebleken dat het waarschijnlijk niet mogelijk is onder alle omstandigheden $25 \text{ m}^3/\text{s}$ door te laten. Deze paragraaf gaat hier dieper op in.

Bij lage afvoeren zijn de vizierbogen volledig gesloten en wordt de waterstand bovenstrooms en het debiet gereguleerd met een zogenaamde fijnregeling. Dit is een met een cilinderschuif afsluitbare koker, die zich in de middenpijler van het stuwcomplex bevindt. Zie ook Fig. 10.



Fig. 10 In- en uitstroomlocaties van de cilinderbuis in de middenpijler van het stuwcomplex.

Behalve door de fijnregeling wordt er bij Stuw Driel ook een beperkte hoeveelheid water doorgelaten via de vistrap en bij de schutsluis. De bij de stuw geïnstalleerde debietmeting registreert het water dat door de fijnregeling en door de vistrap stroomt.

De afvoercapaciteit van stuw Driel is op drie manieren berekend: met analytische formules en een nauwkeurige inschatting van de energieverliezen op basis van literatuur, met het operationele stromingsmodel van het hoofwatersysteem (LSM 1.0) en op basis van metingen. Deze analyse is weergegeven in Bijlage F. De resultaten van de analyse staan in Fig. 11.

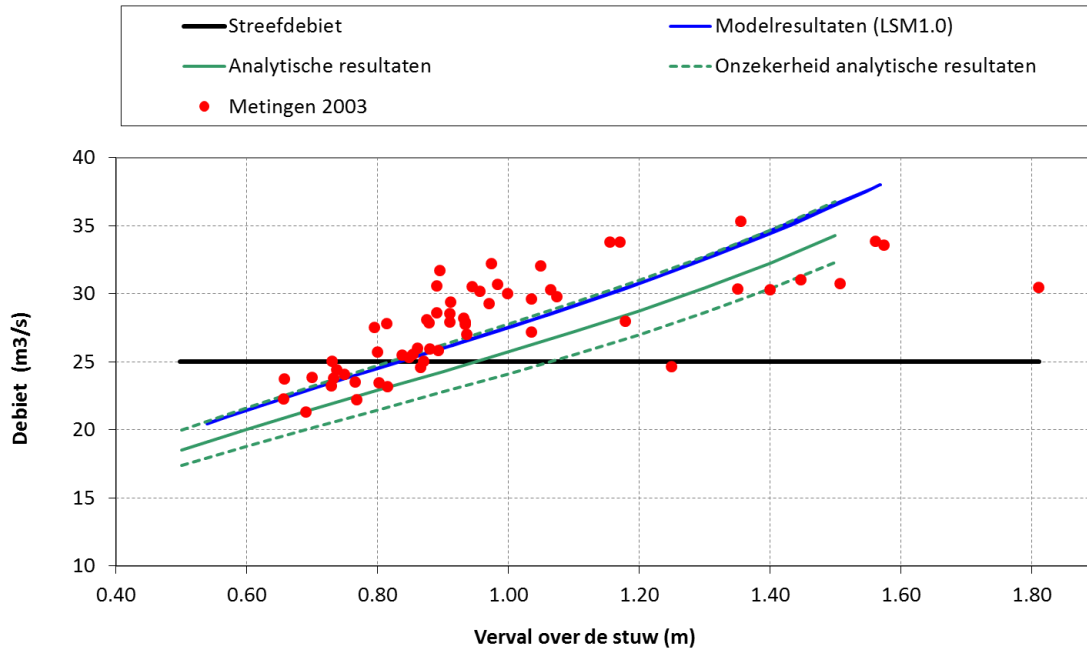


Fig. 11 Afvoercapaciteit Stuw Driel als functie van het verval over de stuw

Uit de analyse en Fig. 11 blijkt dat het verval over stuw Driel 80 cm à 1 m moet zijn om een doorlaatdebiet van 25 m³/s te kunnen halen. Bij een benedenstroomse waterstand van 6 m NAP, het normale stuwpeil van stuw Amerongen, is een doorlaat van 25 m³/s haalbaar tot het peil bij Driel 6,80 à 7,00 m NAP nadert. Op basis van (Ref 18) komt dit overeen met een afvoer bij Lobith van circa 800 à 900 m³/s. Dit betekent dat bij een Rijnafoer van 800 m³/s veelal net geen 25 m³/s via Driel kan worden doorgelaten, wat in de huidige situatie niet tot problemen leidt omdat de onttrekkingen in het pand Amerongen-Driel aanzienlijk lager zijn dan 25 m³/s zodat het benodigde restdebiet voor doorspoeling en de energiecentrale bij Amerongen geleverd wordt. Benedenstrooms Amerongen kan er vanwege de open verbinding met de Waal bij Tiel in voldoende water worden voorzien. Bij Rijnafoeren beneden de 800 m³/s neemt het maximaal door te laten debiet vervolgens verder af tot er geen noemenswaardig verhang meer is.

Behalve de situatie van 2003 is ter verificatie de laagwaterperiode van het najaar van 2011 onderzocht. In deze periode is structureel minder water doorgelaten dan mogelijk (ordegrootte 10 m³/s), omdat gedurende die laagwaterperiode de cilinderschuif gedeeltelijk gesloten is geweest. De (vermoedelijke) reden hiervoor is een beperkte watervraag uit de regio in dat jaargetijde zodat zoveel mogelijk water ten goede zou komen aan de scheepvaart op de IJssel.

2.6. Waterverdeling en -balansen bij laagwater en droogte

In een eerdere studie (Ref 32) heeft HydroLogic waterbalansen opgesteld voor Nederrijn/Lek en Amsterdam-Rijnkanaal. In voorliggend rapport zijn deze waterbalansen uitgebreid voor het hoofdwatersysteem tot en met de Hollandse IJssel.

Voor de waterbalansen zijn in navolging van Ref 32 de situaties matig droog, droog en zeer droog in beeld gebracht (zie ook Tabel 2 op pagina 11). Omdat de situatie extreem droog, met een referentieafvoer van $600 \text{ m}^3/\text{s}$, zich in werkelijkheid nog nooit heeft voorgedaan, is het niet goed mogelijk om in detail de watervraag per onttrekking voor een dergelijke situatie te bepalen, anders dan deze puur te baseren op modeluitkomsten en inschatting van de watervraag. Daarom is ervoor gekozen om deze situatie niet voor de waterbalans in beeld te brengen, maar wel door te rekenen voor het verziltingsvraagstuk.

Naast de geografische uitbreiding is de waterbalans van het ARK-Noordpand op twee onderwerpen nader onderzocht, om de betrouwbaarheid van de waterbalans te vergroten. Dit betreft ten eerste de kwel en wegzijging direct op kanaal en ten tweede de uitwisseling via de open verbindingen met de AGV-boezem.

Voor beide aspecten heeft het onderzoek niet tot andere getallen geleid in de waterbalans dan die eerder zijn gehanteerd. Wel is een betere onderbouwing voor deze waarden verkregen. De netto kwel-wegzijgingsflux naar het ARK-Noordpand lijkt volgens de beschikbare informatie verwaarloosbaar ($< 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$). De onttrekking vanuit AGV aan het ARK-Noordpand onder droge omstandigheden is relatief beperkt omdat deze grotendeels wordt gecompenseerd door kwel uit diepe droogmakerijen en effluent van RWZI's. De detailinformatie per onttrekking is weergegeven in Bijlage E.

Voor een goed begrip van de waterverdeling is het noodzakelijk ook het resterende deel van de Rijn-Maasmonding in beschouwing te nemen. De waterverdeling is voor dit deel op hoofdlijnen overgenomen uit de beschikbare gegevens, maar er is geen detailanalyse uitgevoerd van onttrekkingen en andere interacties met de regionale watersystemen.

Omdat het beheer van het hoofdwatersysteem in dit gebied sterk gericht is op verziltingsbestrijding, is in de waterbalansen op een aantal locaties ook de mate van verzilting weergegeven, via een icoon. Deze zijn gebaseerd op de berekeningen die zijn gepresenteerd in paragraaf 2.4. In Tabel 3 in paragraaf 2.4.5 worden de bij deze icoontjes horende ranges van cholorideconcentraties gegeven. Windopzet is hier buiten beschouwing gelaten.

De kaartbeelden tonen de belangrijkste waterstromen. Niet elke inlaat is individueel weergegeven ten gunste van het overzicht. Tevens zijn fluxen afgerond op hele waarden. Op een aantal locaties, bijvoorbeeld bij De Pannerling en de inlaat Kromme Rijn, is de waterstand beperkend voor de maximale inlaatcapaciteit. Dergelijke effecten zijn verwerkt in de waterbalansen.

Belangrijk om te beseffen is dat onderstaande informatie weliswaar een representatieve uitsnede van de werkelijkheid is, maar dat zich in de praktijk altijd op meerdere locaties bijzondere omstandigheden voordoen, zodat er geen moment in het verleden is aan te wijzen dat de beschreven situatie zich exact heeft voorgedaan. De geven wel inzicht in de verschillende droogtestadia en de hierbij optredende knelpunten.

Seizoensvariaties in de watervraag

Voor het gehele hoofwatersysteem is het einde van zomer, waarbij het neerslagtekort samenvalt met lage Rijnafoeren, maatgevend voor de zoetwatervoorziening. Specifieke locaties, regio's of inlaatpunten kunnen echter van deze regel afwijken. Zo stelt nachtvorstbestrijding in het Kromme Rijngebied en in de Betuwe hogere eisen aan de watervraag dan een zeer droge zomer. Een ander voorbeeld is het inlaatpunt Bernisse, dat alleen als gevolg van windopzet verzilt raakt.

Voor het voorjaar geldt vooral het belang van nachtvorstbestrijding en voldoende zoetwater voor gewasontwikkeling. Deze laatste factor varieert per gewas, maar is doorgaans maximaal aan het eind van het voorjaar. Omdat er op dat moment vaak nog water in het gebied zelf aanwezig is, valt de maximale inlaatbehoefte vaak later in de zomer, als het grondwater te laag staat voor vochtvoorziening. Naast de fruitteelt in het Krommerijngebied en de Betuwe heeft ook de bollenteelt in de oude duinen in Rijnland belang bij voldoende zoetwater in het voorjaar. Vrijwel alle andere belangen hebben in het voorjaar minder water nodig dan in de zomer (landbouw, koelwater, peilhandhaving). Voor koelwater geldt dat niet de hoeveelheid water maatgevend is of sterk fluctueert per seizoen, maar de thermische capaciteit. Deze is in het voorjaar meestal groter, omdat de watertemperatuur lager is dan in de zomer.

Voor het projectgebied is onderzocht of de watervraag in het voorjaar groter kan zijn dan de in zomer. Dit is niet het geval omdat de extra watervraag voor de nachtvorstbestrijding in het vroege voorjaar wordt gecompenseerd door de op datzelfde moment lagere watervraag voor peilhandhaving en landbouw in de polder-boezemsystemen van AGV, HDSR, Rijnland, Delfland en Schieland.

In het voorjaar van 2011 is gebleken dat nachtvorstbestrijding tegelijkertijd kan optreden met de inzet van de KWA. Juist uit de evaluatie van de inzet van de KWA in 2011 volgt dat het waterverbruik in de polder-boezemsystemen onder deze omstandigheden een stuk lager is dan 's zomers. Normaliter wordt via de KWA ca. 7 m³/s doorgeleverd aan Rijnland. In 2011 was dit 10 à 12 m³/s, vanwege het lagere waterverbruik door HDSR. Daarnaast was het niet nodig water door te leveren aan Delfland en Schieland waardoor Rijnland twee tot drie keer zoveel water beschikbaar had als bij een 'zomerse' KWA.

Ook in het najaar is de watervraag vanuit de regionale watersystemen aanzienlijk lager dan 's zomers, omdat de watervraag voor de landbouw dan beperkt is. Zoetwater is dan vooral nodig voor doorspoeling van de boezems en het hoofwatersysteem om interne en externe verzilting tegen te gaan. Hierdoor zijn najaarssituaties voor grotere systemen nooit maatgevend ten opzichte van zomersituaties. Uitzonderingen zijn hier de permanente inlaatpunten voor drinkwater en proceswater bij Ridderkerk en Bernisse, die onder invloed staan van windopzet als gevolg van najaarsstormen.

Een bijzonder geval is het drinkwaterinnamepunt Nieuwersluis op het ARK-Noordpand. Normaliter is een daggemiddeld debiet van 10 m³/s bij Weesp in combinatie met enige doorspoeling van het Noordzeekanaal via Oranjesluizen voldoende om het zoute water niet veel verder dan Diemen te laten oprukken. Echter in het najaar, bij winterpeil op het IJmeer-Markermeer, kan er geen water via de Oranjesluizen of de Grote Zeesluis bij Muiden worden ingelaten om het ARK-Noordpand en Noordzeekanaal door te spoelen. Normaal is dat geen probleem omdat de regionale afvoeren naar het hoofwatersysteem voor voldoende tegendruk zorgen. Echter in het zeer droge najaar van 2011 was dit niet het geval. Bij de Prinses Irenesluizen moest extra water worden ingelaten om de zouttong terug te dringen. Dit extra water kon zonder problemen 's nachts bij de Prinses Irenesluizen worden ingelaten. Omdat ook andere onttrekkingen aan het hoofwatersysteem op dat moment beperkt waren, was er voldoende water beschikbaar.

2.6.1. Matig droog (1400 m³/s)

Een matig droge situatie wordt gerepresenteerd door een Rijnafvoer te Lobith van 1400 m³/s (Fig. 12). Bij een dergelijk debiet zijn de Waalwaterstanden bij Tiel ruimschoots boven de +3 m NAP zodat de Prins Bernhardsluizen gesloten zijn. Dit heeft als consequentie dat de meeste aanvoer voor de Lek, Nederrijn en het ARK-Noord- en Betuwepand via Driel plaatsvindt. Conform het stuwprogramma wordt er bij een Lobith afvoer van 1400 m³/s via Driel 25 m³/s doorgelaten naar de Nederrijn. In een dergelijke situatie is de afvoer over Hagestein zeer beperkt: 0 tot 5 m³/s. De waterstand op de ongestuwde Lek, dus benedenstrooms Hagestein, is in deze situatie gelijk aan die op de Nieuwe Waterweg en varieert met het getij.

Het beheer van het Haringvliet is zodanig dat de sluisen gesloten blijven als de Rijnafvoer lager wordt dan 1700 m³/s. Bij een afvoer van 1400 m³/s wordt er ca. 50 m³/s gespuid, om het Haringvliet nog beperkt door te kunnen laten spoelen. Er gaat nog voldoende water door de Nieuwe Waterweg om de externe verzilting tegen te kunnen gaan. Ook het Volkerak kan nog van water worden voorzien.

Omdat er geen sprake is van externe verzilting (zie groene icoontjes op inlaatlocaties), kunnen waterschappen en drinkwaterbedrijven onbeperkt water innemen uit de Hollandse IJssel en de Lek. Bij het boezemgemaal Gouda wordt – onder vrij verval – ca. 20 m³/s water ingelaten naar de boezem van Rijnland. Dit is een daggemiddelde inlaathoeveelheid. Het inlaten gebeurt bij Gouda doorgaans in blokken van 6 uur: alleen bij afnemend tij op de Hollandse IJssel. Dit gebeurt o.a. om te voorkomen dat het zilte water van de Nieuwe Maas de Hollandse IJssel wordt ‘opgetrokken’.

Op dezelfde manier wordt bij de nog iets verder bovenstrooms gelegen Waaiersluis bij hoogwater op de Hollandse IJssel water ingelaten naar de Gekanaliseerde Hollandse IJssel en de boezem van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.

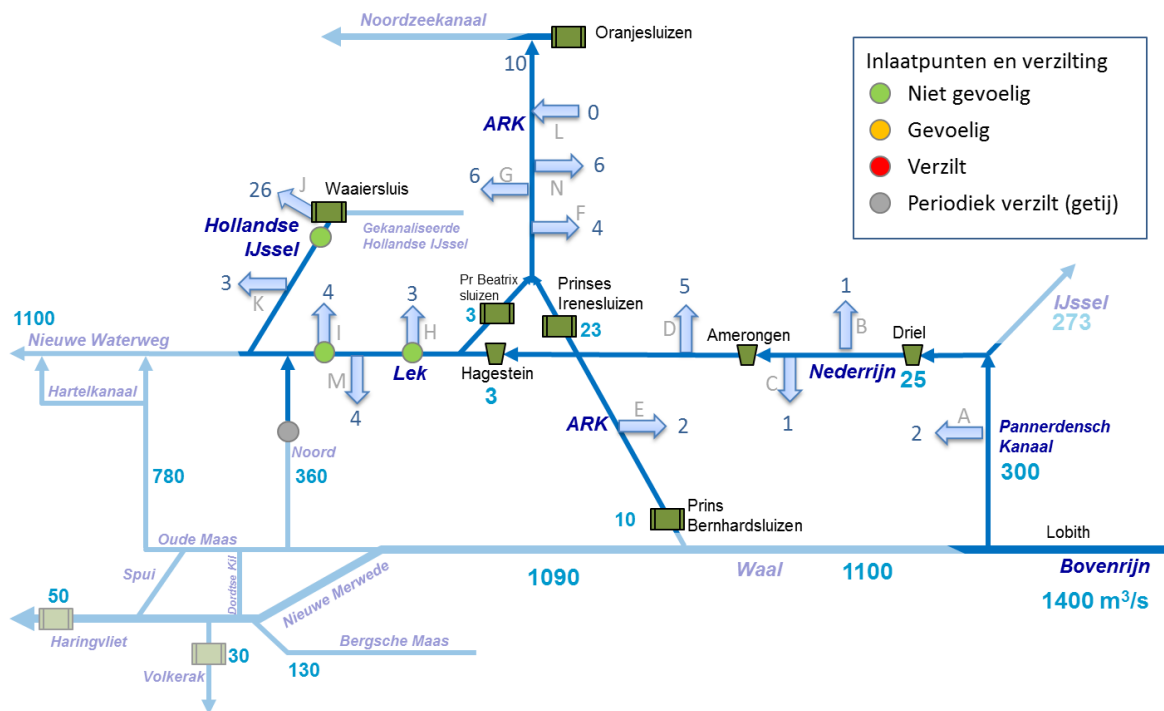


Fig. 12 Waterbalans voor een matig droge situatie.

2.6.2. Droog (1000 m³/s)

De waterverdeling in een droge situatie, waarbij de Rijnafvoer ca. 1000 m³/s bedraagt, is weergegeven in Fig. 13.

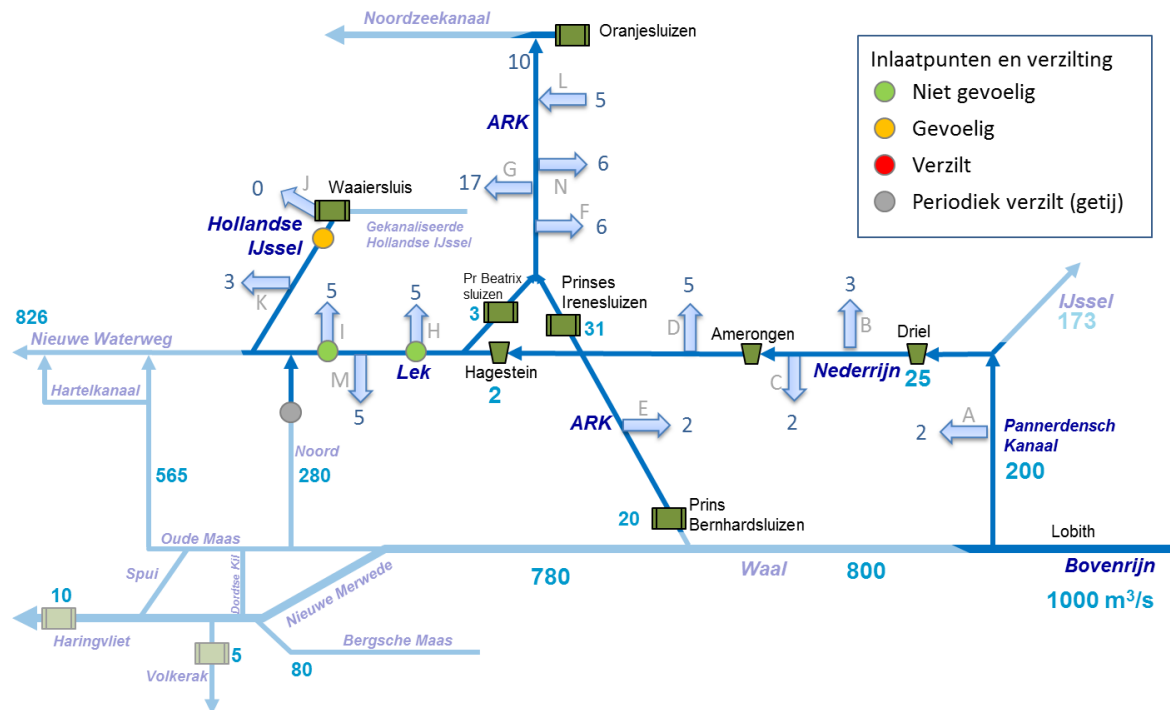


Fig. 13 Waterbalans voor een droge situatie, waarbij de KWA in werking is.

In deze situatie is de waterstand op de Waal bij Tiel circa NAP +2.5 m. Dit betekent dat de Prins Bernhardsluizen geopend zijn en de Waal via het ARK in open verbinding staat met het Hagestein-Amerongenpand van de Nederrijn/Lek. Doordat er een forse watervraag is vanuit vooral het ARK-Noordpand wordt er een noordwaartse stroming in het ARK-Betuwepand van circa 20 m³/s op gang gebracht. Deze aanvulling is essentieel omdat er met alleen het Drieldebiet niet aan de gewenste watervraag kan worden voldaan.

Door het openzetten van de Prins Bernhardsluizen wordt de waterstand in het Hagestein-Amerongen pand niet meer gestuwd op NAP +3 m, maar daalt deze mee met de Waal. Een waterstand van NAP +2.5 m in dit pand leidt tot een halvering van de inlaatcapaciteit (onder vrij verval) op de Kromme Rijn. Bij Gemaal de Pannerling (inlaat Linge) leiden dalende waterstanden op het Pannerdens kanaal nog niet tot inlaatbeperkingen.

De Haringvlietsluizen zijn volledig gesloten behoudens beperkte lekverliezen. Ook de aanvoer naar het Volkerak vanuit het Hollands Diep is gestaakt. Dit is een gevolg van de verdringingsreeks: de waterbehoefte van de gebruikers van het Volkerak-Zoommeer is niet minder, maar omdat zij in de verdringingsreeks in categorie vier vallen (overige belangen), krijgt de verziltingsbestrijding in de Rijnmond (drinkwater, categorie 2 en kapitaalintensieve teelten, categorie 3) voorrang. Om deze reden wordt een zo groot mogelijk deel van het beschikbare water uit de Waal en de Maas naar de Nieuwe Waterweg geleid.

Desondanks is de tegendruk op de Nieuwe Waterweg onvoldoende om de externe verzilting buiten te houden. Hierdoor neemt de chlorideconcentratie op de Hollandse IJssel toe. De inlaat bij Gouda, bij het boezemgemaal en de Waaiersluis, wordt gestaakt zodra de chlorideconcentratie hoger wordt

of dreigt te worden dan 250 mg/l. Wanneer voorzien wordt dat deze situatie zich meerdere dagen zal handhaven, wordt een alternatief aanvoersysteem in werking gezet voor de boezem van Rijnland: de Kleinschalige Wateraanvoer (KWA). De hiervoor benodigde hoeveelheid water wordt onttrokken uit het Noordpand van het ARK en de Lek. In de praktijk kan hiermee 6 à 12 m³/s geleverd worden aan Rijnland. Dit is een aanzienlijke hoeveelheid, maar nog altijd minder dan de watervraag van Rijnland, die ongeveer 20 m³/s bedraagt. Dit water wordt gebruikt voor peilbeheer en om de interne verzilting van de boezem van Rijnland te bestrijden, een gevolg van zoute kwel uit diepe droogmakerijen.

De overige inlaten langs de Hollandse IJssel, naar Schieland en de Krimpenerwaard, kennen minder strenge chloride-eisen: 400 mg/l. Deze inlaten zijn in een droge situatie zoals hier beschreven dan ook nog in bedrijf.

2.6.3. Zeer droog (800 m³/s)

De situatie zeer droog, die zich kenmerkt door een Rijnafoer van ca. 800 m³/s, verschilt niet wezenlijk van de situatie droog. De waterverdeling blijft ongeveer gelijk: de verminderde hoeveelheid water wordt volgens de vaste verhouding verdeeld over IJssel en – uiteindelijk – Nieuwe Waterweg.

Het noordpand van het ARK ondervindt geen gevolgen van een verminderde Rijnafoer: de aanvoer vanuit het Betuwepand en de Nederrijn blijft ongeveer 30 m³/s en ook de onttrekkingen naar het regionale watersysteem nemen nauwelijks toe. Dit laatste komt vooral om dat de inlaatkunstwerken al in een droge situatie (1000 m³/s) maximaal worden ingezet. Dit kan in de toekomst veranderen wanneer de capaciteit van het wateraanvoersysteem wordt vergroot, zoals bijvoorbeeld in de WARM studie en het Deltaprogramma wordt onderzocht. In hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op de alternatieve aanvoerroutes en de effecten daarvan op waterverdeling en verzilting.

Omdat wel de waterstanden verder dalen ontstaan op verschillende locaties in de bovenstroomse delen van het projectgebied knelpunten omdat de inlaatcapaciteit van het regionale systeem vermindert:

- De capaciteit van het inlaatwerk voor de Kromme Rijn bij Wijk bij Duurstede (pijl D) is afhankelijk van de waterstand op het pand Hagestein-Amerongen van de Nederrijn. Onder zeer droge omstandigheden is zorgt dit voor een reductie van de inlaatcapaciteit, waardoor in het Kromme Rijn gebied niet meer aan de vraag kan worden voldaan. Hierom is in 2003 bij de inlaat een noodpomp geplaatst, waarmee wél aan de vraag kon worden voldaan. In de waterbalans in Fig. 14 is geen rekening gehouden met noodvoorzieningen. Omdat het in de lijn der verwachting ligt dat deze situatie zich in de toekomst, door klimaatverandering, vaker voor zal doen, zoekt HDSR naar een structurele oplossing van dit probleem. Meer hierover in paragraaf 3.5.
- de Pannerling (pijl A). Hoewel ook de capaciteit van de Pannerling afneemt zijn alternatieven beschikbaar voor het westelijke deel van de Betuwe: Kuijk vanuit het Amerongen-Driel pand en Beuningen vanuit ARK-Betuwepand. De totale capaciteit van deze inlaten is voldoende om aan de totale watervraag van de Linge ten oosten van het ARK en ten westen van het Kuijk gemeaal te bedienen.

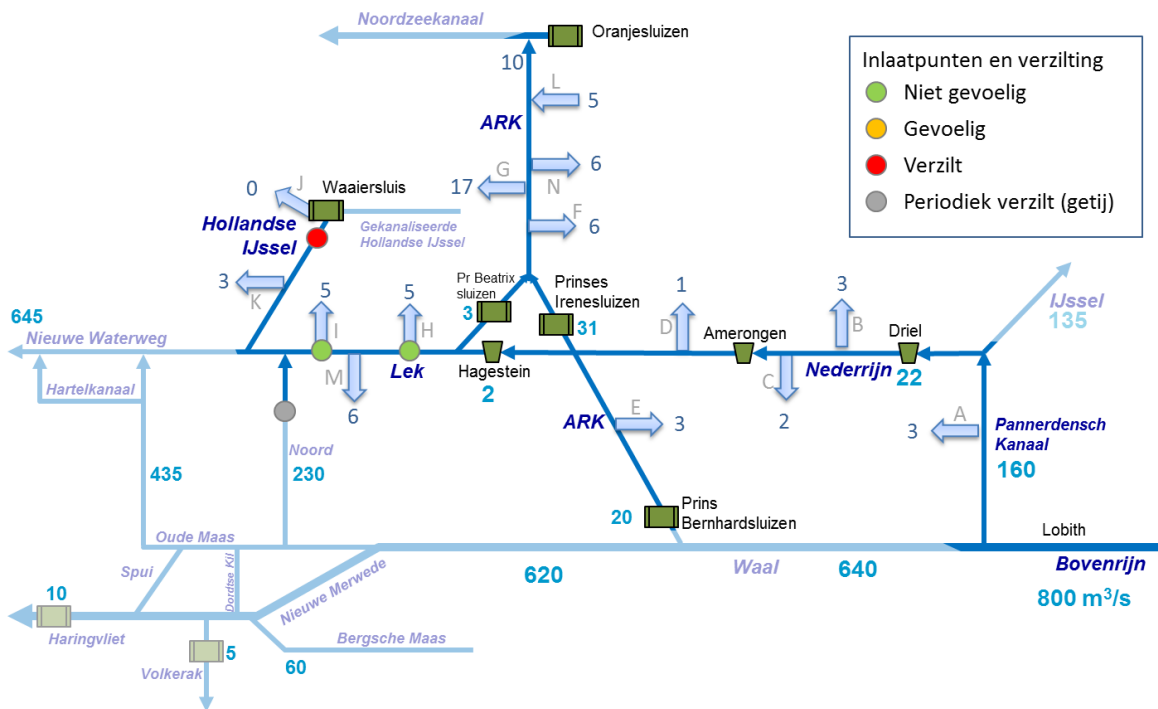


Fig. 14 Waterbalans voor een zeer droge situatie.

Zoals uit Fig. 14 kan worden afgeleid, verandert de situatie in West-Nederland niet wezenlijk ten opzichte van een afvoer van 1000 m³/s. De KWA is in werking. De benodigde hoeveelheden worden onttrokken uit de Lek en het ARK.

Omdat de tegendruk op de Nieuwe Waterweg verminderd is, dringt de verziltiging verder landinwaarts binnen en lopen diverse benedenstrooms gelegen zoetwaterinlaten een verhoogd risico om verzilt te raken. Het gaat hierbij vooral om de drinkwaterinnamepunten bij Ridderkerk en Kinderdijk (en Berenplaat langs de Oude Maas). De zoutconcentraties bij de inlaat naar de Krimpenerwaard bij Krimpen aan de Lek nemen wel toe maar blijven nog onder de kritische grens van 400 mg/l.

3. Optimalisatie van het beheer bij laagwater

De tweede hoofdvraag van het onderzoek is of er kansen zijn om het huidige beheer van het hoofdwatersysteem te verbeteren, binnen de bestaande beleidskaders rond de waterverdeling. Dit houdt in dat ingrepen in de waterverdeling tussen Waal, IJssel en Lek niet zijn beschouwd, evenmin als bijvoorbeeld het verdubbelen van de afvoer via Driel of Hagestein. Er is vooral geanalyseerd of er redenen zijn om de sturing van de knoppen in het hoofdwatersysteem binnen de beleidskaders aan te passen.

De optimalisatiemogelijkheden van het huidige beheer zijn onderzocht in het licht van toenemende onttrekkingen vanuit Midden-West-Nederland, de effecten hiervan benedenstrooms en de mogelijkheden voor compensatie van eventuele negatieve effecten. Deze vraag vloeit voort uit een voorgaand onderzoek (Ref 32) waarin is vastgesteld dat er voldoende wateraanbod is om aan een sterk verhoogde watervraag van Midden-West-Nederland te voldoen, mits dit vanuit landelijk waterverdelingsoogpunt toelaatbaar wordt geacht. Deze sterk verhoogde watervraag komt voort uit verwachte veranderingen in klimaat en ruimtelijke inrichting (zie paragraaf 3.1).

Het onderzoek heeft zich gericht op de volgende aspecten:

- Het effect van toenemende onttrekking uit Midden-West-Nederland op de verziltingssituatie in de Rijn-Maas-monding, in combinatie met mitigerende maatregelen (paragraaf 3.2);
- Een nadere analyse van de verziltingssituatie op de Hollandse IJssel (paragraaf 3.3);
- Het beheer van Stuw Driel (paragraaf 3.4);
- Het aanpassen en vergroten van de inlaat uit het hoofdwatersysteem naar het Kromme-Rijngebied (paragraaf 3.5);
- Een nadere analyse van de waterbalans van het noordpand van het Amsterdam-Rijnkanaal (paragraaf 3.6);
- Een advies voor verfijning van de LCW-scenario's in het onderzoeksgebied (paragraaf 3.7).

3.1. Verwachte verandering in watervraag en –aanbod

De afvoercharacteristiek van de Rijn – en de Maas – en de daarmee samenhangende beschikbaarheid van water voor het Nederlandse hoofdwatersysteem, is aan verandering onderhevig. De aard en snelheid van de verandering is met veel onzekerheden omgeven, omdat zijn zowel bepaald worden door klimaateffecten, als door sociaal-economische ontwikkelingen in een zeer groot en divers stroomgebied.

Om toch kwantitatieve toekomstverkenning te kunnen uitvoeren, zijn voor de Nederlandse situatie Deltascenario's ontwikkeld. Ook op Europese schaal zijn er toekomstscenario's opgesteld. Voor de verwachte verandering van afvoeren bij Lobith – als gevolg van klimaatveranderingen – lijken deze Europese en Nederlandse scenario's consistent (Ref 11). De scenario's die uitgaan van een snelle opwarming van het klimaat, voorzien een afname van de zomerafvoer; in de gematigde scenario's blijft de zomerafvoer ongeveer gelijk. De verschillen tussen de scenario's en daarmee de onzekerheid in toekomstige ontwikkelingen is wel relatief groot.

Over de veranderingen in watergebruik in de stroomgebieden van de Rijn en de Maas is (nog) meer onzekerheid. Scenario's lopen uiteen van een afname in 2050 van ca. 70 m³/s tot een even grote toename, voor de scenario's met een beperkte respectievelijk snelle economische ontwikkeling.

Als uitgangspunt voor de verwachte veranderingen worden in dit rapport de Deltascenario's gehanteerd. Enkele kentallen voor de afvoercharacteristiek van de Rijn staan in Tabel 4.

Tabel 4. Enkele kentallen voor de Rijn uit de Deltascenario's.

	Referentie	STOOM / WARM		RUST / DRUK	
		2050	2100	2050	2100
gem. afvoer Rijn in februari (m ³ /s)	2900	3400	4000	3100	3200
gem. afvoer Rijn in september (m ³ /s)	1800	1300	900	2000	2100
extreem lage afvoer Rijn 1 / 10 jaar (m ³ /s)	630	520	420	650	670
Zeespiegelstijging (cm)		35	85	15	35
gemiddelde neerslaghoeveelheid zomer		- 19%	- 38%	+ 3%	+ 6%

3.2. Effecten van toename onttrekkingen Midden-West-Nederland

In de regionale knelpuntenanalyse zoetwater en verkennende maatregelen van het platform Zoetwater West-Nederland (maart 2012) zijn bouwstenen aangegeven voor kansrijke aanvoerroutes van zoetwater naar West-Nederland. Een van deze kansrijke maatregelen is het optimaliseren en uitbreiden van de KWA routes. Naast de KWA is ook rekening gehouden met een grotere onttrekking vanuit Waterschap Rivierenland.

Het platform Zoetwater West-Nederland gaat ervan uit dat de watervraag voor de Hoogheemraadschappen Rijnland, Delfland en Schieland en de in 2050 maximaal 30 m³/s bedraagt voor het scenario STOOM. In gefaseerde vorm zijn verkennende oplossingen uitgewerkt (in de zgn. WARM-studie voor vergroting van de aanvoer naar de KWA-overdrachtpunten bij Bodegraven (Oude Rijn) en de Waaiersluis bij Gouda (Hollandse IJssel). Het benodigde water wordt onttrokken uit het ARK-Noordpand en/of de ongestuwde Lek.

De voorkeursvariant van de WARM studie gaat uit van zowel een onttrekking uit de ongestuwde Lek (van 23 m³/s extra, resulterend in een totale onttrekking van ca. 28 m³/s) als uit het ARK (circa 6 m³/s extra tot 18 m³/s). Deze onttrekkingen komen in de plaats van de naar verwachting langdurige verzilte onttrekking bij boezememaal Gouda van ca. 20 m³/s. De mogelijkheden voor extra onttrekkingen uit het ARK-Noordpand worden in paragraaf 3.6 besproken. Voor de extra onttrekking uit de ongestuwde Lek is de waterbeschikbaarheid geen probleem. Het effect op de verzilting wordt in deze paragraaf besproken.

Het onttrokken water wordt via de boezem van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden getransporteerd naar zowel Bodegraven als Gouda. De capaciteit van het huidige overdrachtpunt bij Bodegraven is namelijk ontoereikend voor de gevraagde hoeveelheid. Daarom wordt in de variant uitgegaan van een levering vanuit de Gekanaliseerde Hollandse IJssel op de Hollandse IJssel (via de Waaiersluis). Dit water kan vervolgens bij Boezememaal Gouda ingelaten worden op de boezem van Rijnland.

Aanvullend op de WARM-studie is door Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard de Krimpenerwaardroute uitgewerkt. Hierbij wordt ter hoogte van Streefkerk water uit de Lek ingelaten in de Krimpenerwaard, doorgevoerd naar de noordzijde van de polder en vervolgens uitgeslagen op de Hollandse IJssel.

Om inzicht te krijgen in het effect van deze extra onttrekkingen op het hoofdwatersysteem is, analoog aan de beschreven werkwijze in paragraaf 2.4.1, de verandering van de verziltingssituatie berekend voor vier beheersvarianten, weergegeven in Tabel 5. Een uitgebreidere en getalsmatige beschrijving van de varianten staat in Bijlage D. Hierbij is ook rekening gehouden met extra onttrekkingen uit het Hoofdwatersysteem naar bijvoorbeeld Waterschap Rivierenland.

Het gebruikte model omvat alleen het benedenstroomse deel van het hoofdwatersysteem. Het ARK is er niet in opgenomen, evenmin als de KWA-routes. Daarom zijn de relevante lozingen en onttrekkingen als randvoorwaarden of laterale debieten opgelegd.

Tabel 5. Beheersvarianten waarvoor de effecten op de verzilting in beeld zijn gebracht.

<i>Beheersvariant</i>	<i>Beschrijving</i>
Referentie	Huidige situatie, huidig beheer. De KWA is in werking, de inlaat bij Gouda op de Hollandse IJssel is dicht.
Referentie excl. KWA	Huidige situatie waarbij de KWA niet in werking is; d.w.z. de inlaat bij Gouda is in werking.
KWA+	De KWA+ is in werking, d.w.z er wordt extra onttrokken aan de Lek en bij de Waaiersluis wordt zoetwater aangevoerd naar de Hollandse IJssel. In deze variant is de Krimpenerwaardroute niet in werking.
KWA+ en Hagestein	Als de vorige, waarbij er in deze variant continu 25 m ³ /s wordt doorgelaten bij Hagestein, in plaats van 0 m ³ /s in de huidige situatie.
STOOM/Max	Als de vorige, waarbij alle regionale onttrekkingen maximaal inlaten zoals in het Rivierengebied. De Krimpenerwaardroute zorgt voor extra onttrekking op de Lek en toevoer van zoet water op de Hollandse IJssel.

3.2.1. Vergelijking van de beheersvarianten

In Fig. 15 is voor de uitvoerlocatie Gouda de mediane chlorideconcentratie en de variatie binnen de getijdencyclus weergegeven voor de referentiesituatie en de vier beheersvarianten. In alle gevallen bedraagt de afvoer bij Lobith 800 m³/s en is er geen sprake van windopzet.

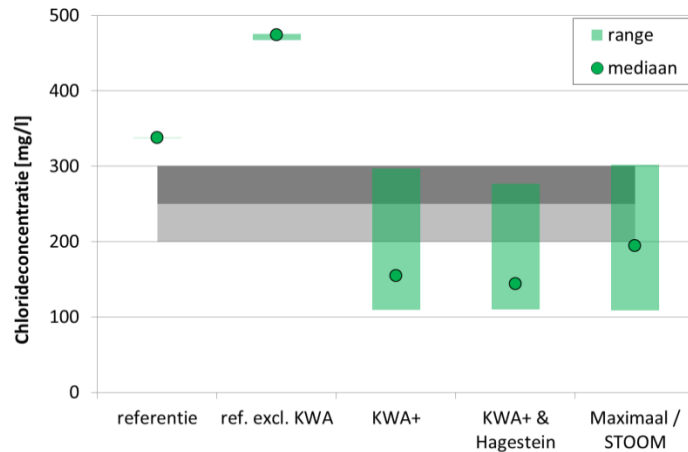


Fig. 15 Effect van de beheersvarianten op de chlorideconcentraties op de locatie Gouda bij een afvoer van 800 m³/s zonder windopzet.

In de referentiesituatie is er geen variatie door getijde, maar ligt de concentratie constant boven de norm van 250 mg/l. In deze situatie is de inlaat bij Gouda dicht en de KWA in werking. In de eerste variant is er geen extra toevoer van zoet water, maar wordt de inlaat toch gebruikt. Het zoute water wordt naar binnen getrokken en de chlorideconcentraties nemen toe.

De overige drie varianten gaan uit van extra toevoer van zoet water via de Waaiersluis en/of de Krimpenerwaard. De inlaat Gouda laat evenveel water in als door de Waaiersluis wordt aangevoerd. In deze varianten nemen de chlorideconcentraties bij Gouda significant af en ze gaan enigszins fluctueren met het getij. Het grootste deel van de tijd ligt de concentratie lager dan 250 mg/l.

In Fig. 16 zijn dezelfde gegevens voor de drie uitvoerlocaties langs de Lek weergegeven.

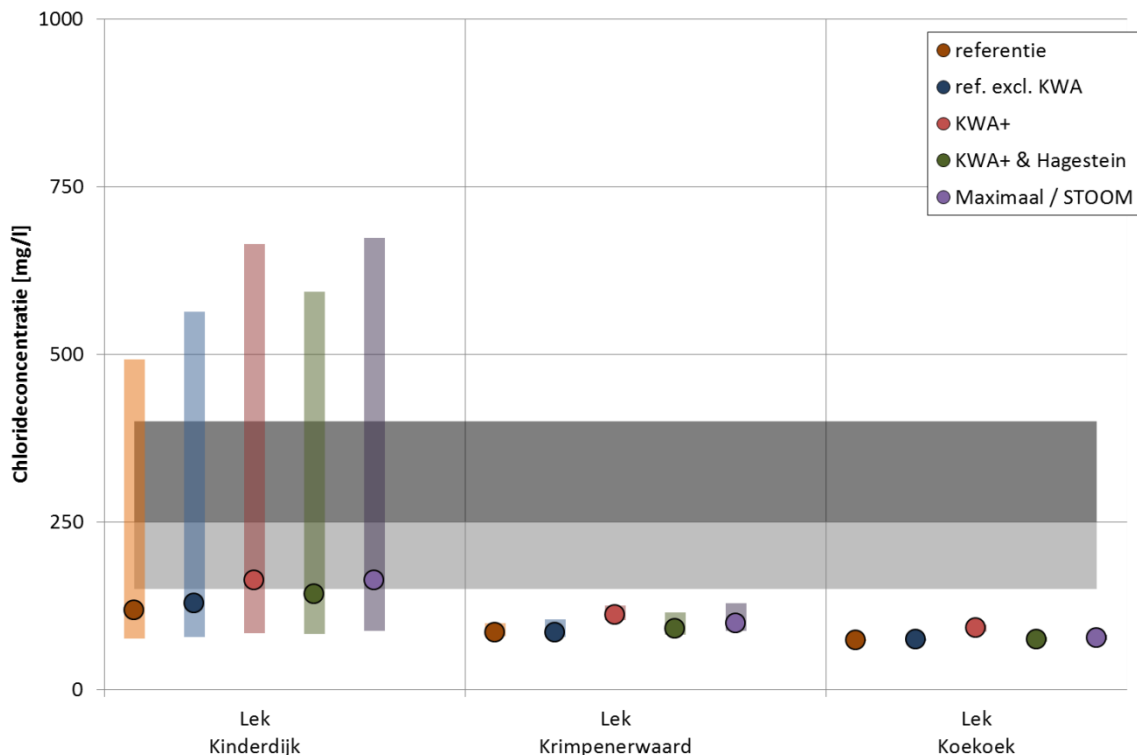


Fig. 16 Effect van de beheersvarianten op de chlorideconcentraties op drie locaties langs de Lek bij een afvoer van 800 m³/s zonder windopzet.

De bovenstroomse locaties op de Lek (Koekoek, Krimpenerwaard) ondervinden geen significant effect van de varianten. Opmerkelijk is dat zelfs bij een continue onttrekking van 20 m³/s in de bovenloop van de Lek, de chlorideconcentraties bij de Krimpenerwaard en Koekoek nauwelijks toenemen. De verklaring hiervoor is dat bij een debiet van 800 m³/s het water op de Lek voor een belangrijk deel afkomstig is van de Noord en minder van de Nieuwe Maas. Het doorlaten van extra water bij Hagestein is onder deze omstandigheden – 800 m³/s zonder windopzet – niet nodig.

In Bijlage G zijn ook de berekeningsresultaten van de andere uitvoerlocaties opgenomen. Hieruit blijkt dat ook voor Bernisse geen negatieve effecten worden berekend.

3.2.2. Beheersvarianten bij extreem lage afvoeren en inzet Hagestein

In Fig. 17 is voor de uitvoerlocatie Gouda de variatie binnen de getijdencyclus weergegeven voor de referentiesituatie en de vier beheersvarianten, ingeval de afvoer bij Lobith 600 m³/s bedraagt en er geen sprake is van windopzet.

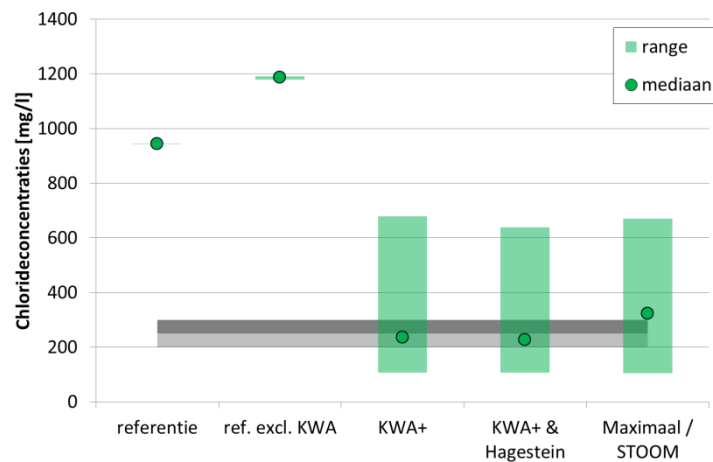


Fig. 17 Effect van de beheersvarianten op de chlorideconcentraties op de locatie Gouda bij een afvoer van 600 m³/s zonder windopzet.

De toevoer van zoet water naar de Hollandse IJssel bij Gouda is ook in deze omstandigheden zeer effectief, al liggen de berekende waarden wel aanzienlijk dichterbij de norm van 250 mg/l. Precieze afstemming en optimalisatie van de aanvoer via de Waaiersluis en de Krimpenerwaardroute enerzijds en het inlaatregime bij gemaal Gouda is voor deze omstandigheden gewenst.

Ook bij de inlaat van de Krimpenerwaard en zelfs bij inlaat Koekoek worden verhoogde chlorideconcentraties berekend. Zie Fig. 18 op pagina 32. In deze omstandigheden is de extra doorvoer over Hagestein wel zeer gewenst en effectief. Het verdient daarom aanbeveling om Hagestein onder dergelijke omstandigheden wel in te zetten. Alleen onder zeer extreme omstandigheden (lage afvoeren en/of storm) is een tijdelijke doorlaat (mogelijk zelfs hoger dan 25 m³/s) bij Hagestein zinvol bij het terugdringen van de zouttong op de Lek.

Hier wordt nogmaals opgemerkt dat een Rijnafvoer van 600 m³/s een zeer extreme situatie betreft. Een dergelijke afvoer is nog nooit gemeten en ook in de ongunstige klimaatscenario's heeft een dergelijke afvoer een kleine kans van optreden.

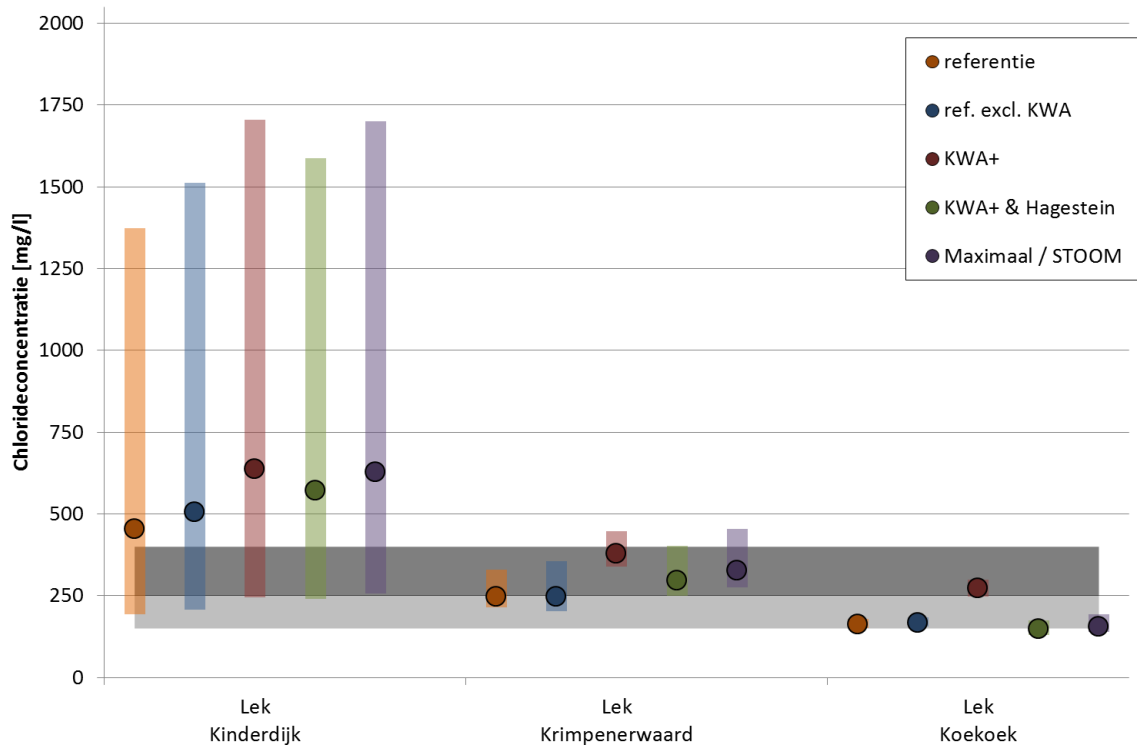


Fig. 18 Effect van de beheersvarianten op de chlorideconcentraties op drie locaties langs de Lek bij een afvoer van 600 m³/s zonder windopzet.

In Bijlage G zijn ook de berekeningsresultaten van de andere uitvoerlocaties opgenomen. Er worden geen effecten berekend in het Spui bij Bernisse, zelfs niet bij deze extreem lage afvoer.

3.2.3. Effect van windopzet

In Fig. 19 is voor een aantal uitvoerlocaties de variatie binnen de getijdencyclus weergegeven voor de referentiesituatie en de vier beheersvarianten, ingeval de afvoer bij Lobith 600 m³/s bedraagt en er daarnaast ook sprake is van windopzet.

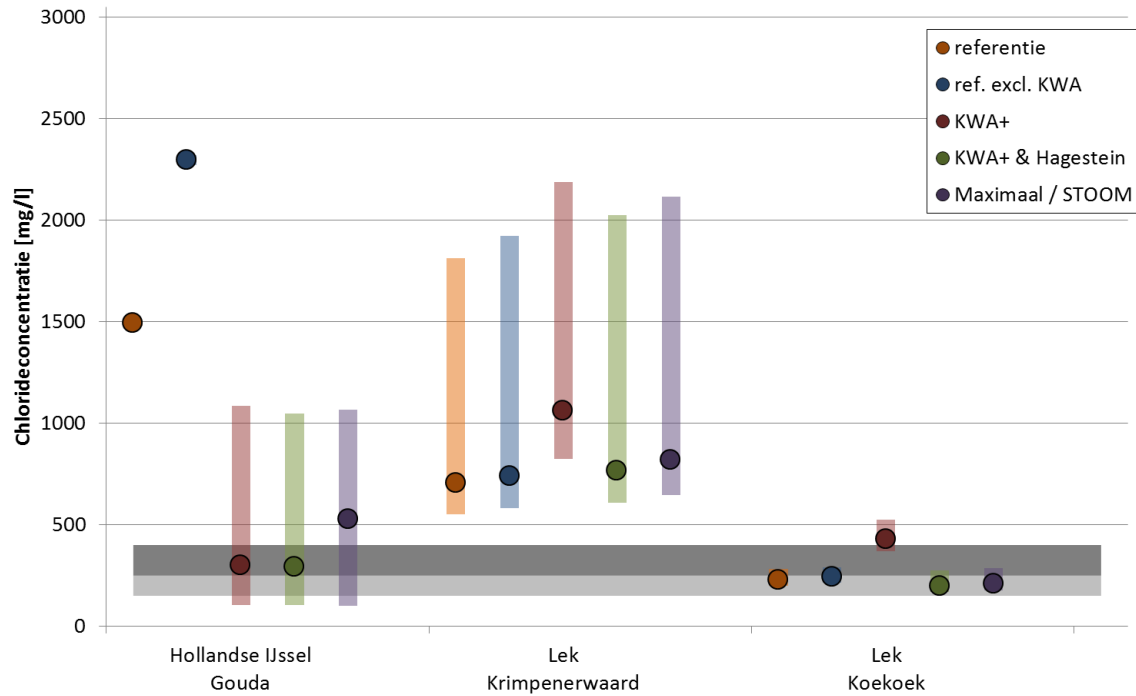


Fig. 19 Effect van de beheersvarianten op de chlorideconcentraties op drie locaties bij een afvoer van $600 \text{ m}^3/\text{s}$ met windopzet.

De combinatie van windopzet en extreem lage afvoer zorgt ervoor dat alle locatie hinder ondervinden van verzilting. Alleen bij inlaat Koekoek kan de schade beperkt worden gehouden door extra water over Hagestein te sturen. In dit geval dient de extra onttrekking te worden gecompenseerd met extra doorlaat via Hagestein. Overigens is deze extra doorlaat via Hagestein geen onttrekking maar een omleiding en stroomt dit water evengoed via de Nieuwe Waterweg naar zee. Het sturen van $25 \text{ m}^3/\text{s}$ via Hagestein en Lek naar de Nieuwe Waterweg in plaats van via de Waal heeft zelfs een licht positief effect op de verziltingssituatie van de Hollandse IJssel. Overwogen kan worden om alsnog standaard $25 \text{ m}^3/\text{s}$ via Hagestein te sturen, alhoewel de positieve effecten in veel situaties beperkt zijn.

De inlaat van de Krimpenerwaard op de Lek moet in alle gevallen gesloten blijven en kan dus ook niet ingezet worden voor extra doorvoer naar de Hollandse IJssel. Sowieso is in deze omstandigheden – die doorgaans maar een paar dagen duren – de vraag of de KWA+ nog effectief is, omdat alle doorvoer via de Waaiersluis terechtkomt in een verzilte Hollandse IJssel, waar het grootste deel van de tijd de chlorideconcentraties hoger zijn dan 250 mg/l .

In Bijlage G zijn ook de berekeningsresultaten van de andere uitvoerlocaties opgenomen. Het meest opvallend is hier het Spui bij Bernisse. Deze locatie raakt sterk verzilt, maar de concentraties keren ook binnen één getijdencyclus weer terug naar achtergrondwaarden. De verzilting is hier dus hevig, maar van korte duur.

3.3. Bovenstroomse zoetwateraanvoer Hollandse IJssel

In de vorige paragraaf is uiteengezet dat de berekende maximale extra watervraag van 30 m³/s voor de Hoogheemraadschappen Rijnland, Delfland en Schieland en de Krimpenerwaard voor een deel via de Hollandse IJssel naar de boezem van Rijnland moet worden getransporteerd. Hierdoor komt het aangevoerde zoetwater in contact met het verzilte water in de Hollandse IJssel. Er ontstaat op de Hollandse IJssel ter hoogte van Gouda een ‘zoetwaterbuffer’, die enerzijds voorkomt dat het verzilte water tot aan Gouda kan doordringen, en anderzijds een bron van zoetwater vormt voor de inlaat naar het regionaal watersysteem. Zie Fig. 20.

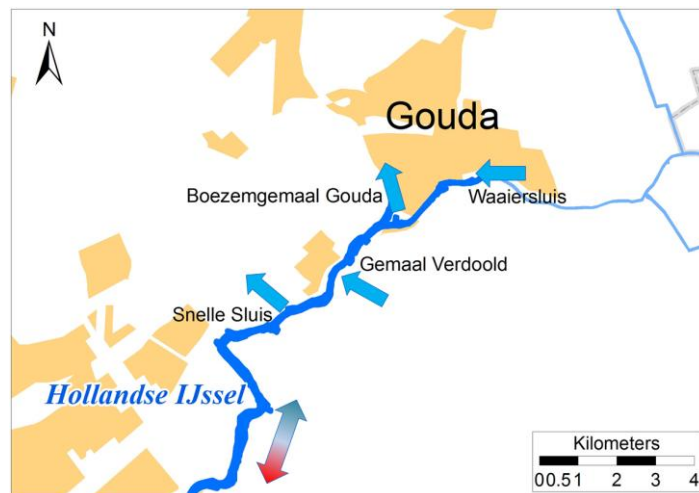


Fig. 20 Aanvoer en onttrekkingen bij een zoetwaterbuffer in de bovenloop van de Hollandse IJssel

Om het verzilte water ‘op afstand’ te houden, ligt het voor de hand te veronderstellen dat er meer water moet worden ingelaten dan er onttrokken wordt. In het kader van deze studie zijn verkennende berekeningen uitgevoerd naar de grootte van deze ‘reststroom’. In Fig. 21 is de chlorideconcentratie op de Hollandse IJssel ter hoogte van Gouda weergegeven als functie van het inlaatsurplus, d.w.z. het verschil tussen het totaal van de bovenstroomse aanvoer en de onttrekking bij Gouda. De bandbreedte is bepaald door het variëren van de in het model opgegeven waarde voor de dispersie, een maat voor de snelheid waarmee het zout zich verspreidt.

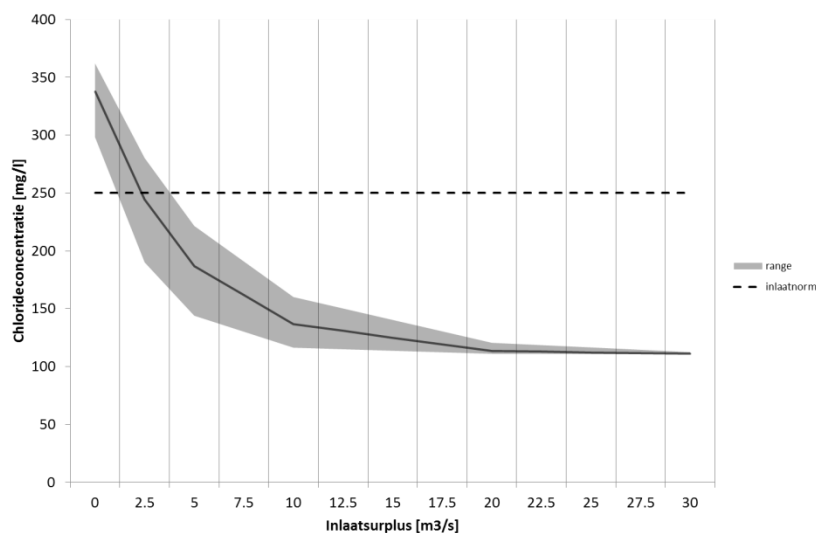


Fig. 21 Chlorideconcentratie bij Gouda als functie van het verschil tussen bovenstroomse aanvoer via de Waaiersluis en/of gemaal Verdoold en de onttrekking bij het boezemgemaal Gouda

Uit de grafiek is af te leiden dat een inlaatsurplus van 3 à 5 m³/s volstaat om de chlorideconcentratie op de Hollandse IJssel lager dan 250 mg/l te houden.

Deze berekeningen zijn indicatief. Er is geen rekening gehouden met de exacte locaties van inlaten en onttrekken. Ook het effect op de iets verder benedenstrooms gelegen inlaat Snelle Sluis is niet bepaald. De werkelijke situatie op de bovenloop van de Hollandse IJssel is complex en daarom moeilijk in een model te schematiseren. Een praktijkproef zou in dit geval een goede methode zijn om de werkelijke interacties in beeld te brengen.

3.4. Optimalisatie inzet Stuw Driel

In de huidige situatie is 25 m³/s gegarandeerd tot aan 0.8-1 m verval over Driel, wat overeenkomt met een debiet van 800-900 m³/s bij Lobith. Om 25 m³/s door te kunnen blijven laten bij afvoeren van 800 m³/s en lager moet de afvoercapaciteit vergroot worden.

Een lager debiet leidt overigens niet direct tot problemen, vooral omdat – vanwege de open verbinding van het Hagestein-Amerongen pand met de Waal – het Driel-water onder droge omstandigheden alleen de belangen van het Amerongen-Driel pand hoeft te bedienen. Deze belangen, namelijk de onttrekkingen van Waterschap Rivierenland (Kuijk en Bontemorgen) en Waterschap Vallei en Veluwe (Grebbesluis), peilhandhaving, doorspoeling voor waterkwaliteit en de energiecentrale bij Stuw Amerongen, kunnen met een debiet van 10 à 18 m³/s voldoende bediend worden (zie paragraaf 3.5). Dit is tot een verval van 60 cm over de stuw zeer waarschijnlijk haalbaar en sluit aan bij de praktijkervaringen waarin lagere Driel-debeten in 2003 en 2011 niet tot problemen hebben geleid. In het najaar van 2011 is er zelfs tijdelijk slechts 15 m³/s doorgelaten wat vanwege de beperkte watervraag niet tot problemen leidde.

Een tweede aspect is het benedenstroomse peil in het pand Amerongen-Driel. Dit peil zou enigszins kunnen worden verlaagd om zodoende meer verhang en daarmee een groter debiet over Driel te realiseren. Vanwege minimale scheepvaartdiepte en de ligging van de regionale inlaten is de mate van verlaging beperkt, circa 0.2-0.4 m. Dit levert bij dalende rivierafvoeren een beperkte verlenging op van de duur dat 25 m³/s kan worden geleverd. Bij het in overweging nemen van deze maatregel dienen de consequenties van de tijdelijke verlaging van het peil in dit deel van de Nederrijn op de gebruiksfuncties, waterkeringen en kunstwerken nauwkeurig in beeld te worden gebracht. Daarbij kan het aanwezige bodemverhang in de Nederrijn er mogelijk voor zorgen dat het benedenstroomse peil bij Stuw Driel niet volledig meedaalt met een peilverlaging bij Stuw Amerongen.

Indien een blijvende doorvoer van 25 m³/s over de Nederrijn gewenst is, verdient het aanbeveling te onderzoeken of de debietregelende functie van stuw Driel in extreme laagwatersituaties overgenomen zou kunnen worden door Stuw Amerongen, waarbij in dat geval Stuw Driel uit bedrijf zou kunnen worden gesteld. Een dergelijke maatregel kan grote consequenties hebben voor de scheepvaart, inlaatmogelijkheden en gebruiksfuncties in en rond de gehele Nederrijn en dient dus zeer zorgvuldig onderzocht en afgewogen te worden.

De stuwcomplexen in de Nederrijn worden de komende jaren gerenoveerd. Om preciezer te kunnen sturen en op die manier de waterverdeling over de Nederrijn en de IJssel zorgvuldiger uit te voeren, verdient het aanbeveling voor Stuw Driel na te gaan of met automatisering van de fijnregeling een betere en nauwkeurigere debietsturing mogelijk is, met het oog op vermindering van fluctuaties in het debiet bij laagwater en uiteindelijk betere benutting van het schaarse water. Een dergelijke automatisering is momenteel niet voorzien bij de renovatie van de stuwcomplexen.

3.5. Effecten vergroten en verplaatsen Inlaat Kromme Rijn

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) wil de mogelijkheden voor waterinlaat uit het hoofdsysteem naar het Kromme Rijngebied verbeteren. De inlaat naar de Kromme Rijn bevindt zich momenteel langs de Lek bij Wijk bij Duurstede, in het pand Hagestein-Amerongen.

In een studie (Haalbaarheidsstudie Extra Inlaat Kromme-Rijngebied, kortweg HEIK) zijn vier alternatieven uitgewerkt. In deze paragraaf worden de vier varianten beoordeeld op hun effecten op het hoofwatersysteem, en daarbij specifiek op de waterbeschikbaarheid en de scheepvaart onder laagwateromstandigheden.

De analyse is uitgevoerd aan de hand van de volgende vragen:

- Is onttrekking op de voorgestelde locatie mogelijk?
- Wat zijn de consequenties voor andere onttrekkingen uit pand of deel van het hoofwatersysteem?
- Wat zijn de consequenties voor scheepvaart en eventuele andere benedenstroomse effecten?

Effecten op waterveiligheid en hoogwatersituaties zijn buiten beschouwing gelaten, evenals het aspect vismigratie. Ook is er geen expliciete kosten-baten-analyse uitgevoerd. Uitgangspunt van de analyse is dat de huidige maximale vraag van 10 à 12 m³/s bij Wijk bij Duurstede in principe beschikbaar is.

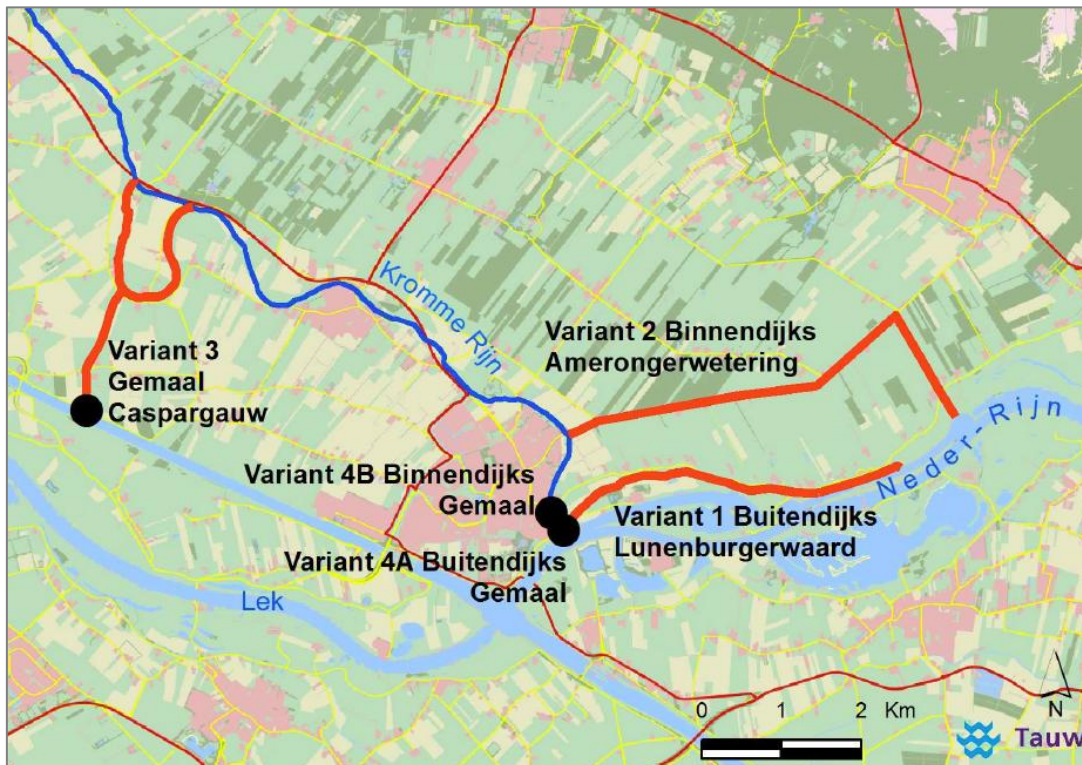


Fig. 22 De HEIK-varianten (Afbeelding: Ref 17)

3.5.1. Varianten 1 en 2

De in de HEIK studie uitgewerkte varianten 1 en 2 zijn vanuit het perspectief van het hoofdwatersysteem identiek: de onttrekking wordt verplaatst naar een locatie bovenstrooms Stuw Amerongen.

De onttrekking van het water vindt bij deze varianten plaats uit het pand Amerongen-Driel en niet meer uit het Hagestein-Amerongenpand. Het pand Amerongen-Driel is voor de aanvoer uitsluitend aangewezen op de doorvoer bij Driel, terwijl het pand Hagestein-Amerongen bij laagwater ook water uit de Waal ontvangt, via het ARK-Betuwepand.

In theorie zou de verplaatsing precies passen binnen het huidige stuwprogramma, dat voorschrijft dat Stuw Driel 25 m³/s doorlaat. Het water wordt gebruikt voor:

- 5 à 8 m³/s voor onttrekkingen naar Waterschap Vallei en Veluwe en Rivierenland
- 5 à 10 m³/s voor peilbeheer, doorspoeling en de electriciteitscentrale bij Stuw Amerongen
- 10 à 12 m³/s voor de verplaatste onttrekking naar de Kromme Rijn

In totaal maakt dit een debiet van 20 à 30 m³/s, afhankelijk van het seizoen en de mate van droogte. Hiermee is de watervraag ongeveer even groot als het aanbod. Het beheer van een dergelijke situatie vergt nauwkeurige afstemming van alle inlaatkunstwerken, ook gezien het feit dat het peil op de Nederrijn niet teveel mag fluctueren, laat staan uitzakken uit oogpunt van de scheepvaart. In de praktijk is een dergelijke situatie alleen te realiseren als de aanvoer, over Driel, vergroot wordt. Enige beheersmarge is altijd nodig.

In paragraaf 2.5 is uiteengezet dat de gewenste afvoer bij Driel van 25 m³/s niet geleverd kan worden als de Rijnafoer bij Lobith daalt tot onder 800 à 900 m³/s. Een vergroting van de afvoer van Driel ligt alleen al om die reden niet voor de hand. Bovendien gaat het meerdere water over Driel ten koste van het debiet over de IJssel.

Dit maakt deze varianten weinig robuust, omdat er bij laagwatersituaties alsnog te weinig water beschikbaar is voor alle gebruikers. Naarmate de klimaatverandering leidt tot lagere rivierafvoeren en een toename van de regionale watervraag, wordt dit effect nog verder versterkt.

De conclusie is dat deze varianten uit oogpunt van het hoofdwatersysteem niet wenselijk zijn en niet toekomstvast.

3.5.2. Variant 3

In deze variant wordt de bestaande inlaat bij Wijk bij Duurstede intact gelaten en wordt de eveneens bestaande inlaat bij Caspargouw vergroot. De extra onttrekking komt hierdoor ten laste van het ARK-Noordpand.

Het noordpand wordt 's zomers van water voorzien uit de Lek en het Betuwepand via de Prinses Irenesluizen. De extra watervraag voor het Kromme Rijngebied zal ook via deze sluizen moeten worden geleid. Bij inlaten vanaf 20 m³/s dient een van de twee sluisgolven (tijdelijk) te worden gesloten voor de scheepvaart omdat te hoge stroomsnelheden voor scheepvaart ontstaan. Deze sluiting vindt 's nachts plaats, zodat er de scheepvaart overdag geen langere wachttijden ondervindt. Bij een benodigd inlaatdebiet van 30-35 m³/s zal ook overdag stremming voor de scheepvaart ontstaan. Via de Prinses Irenesluizen kan in ieder geval 45 m³/s water naar het ARK-Noordpand worden geleid.

In de huidige situatie wordt er bij laagwater en droogte ca. 30 m³/s gespuid via de Pr. Irenesluizen. Alleen een extra onttrekking bij Caspargouw met 6 m³/s is dan ook geen probleem. Mogelijk ont-

staat wel een knelpunt als ook elders op het noordpand extra onttrekkingen worden gerealiseerd, bijvoorbeeld bij uitbreiding van de KWA. Deze maatregelen moeten dan ook in samenhang beschouwd worden: de uitbreiding van de KWA kan mogelijk ook uit de ongestuwde Lek benedenstrooms Hagestein onttrekken, de extra inlaat hoeft mogelijk alleen volledig te worden ingezet bij nachtvorstbestrijding, waardoor beide inlaten niet samen hoeven te vallen. Overigens zou een extra onttrekking voor KWA+ van 10 m³/s uit het Noordpand in combinatie met 6 m³/s extra voor Caspargouw wel door de Irenesluizen kunnen worden gefaciliteerd. Zonder extra voorziening zal er dan wel vaker stremming voor de scheepvaart bij de Irenesluizen optreden.

Mede daarom is deze variant vanuit het hoofwatersysteem geredeneerd niet het meest ideaal. Het heeft de voorkeur om water uit het Hagestein-Amerongen-Betuwapand te onttrekken omdat hier via de Waal altijd voldoende water beschikbaar is. Een grotere onttrekking uit het Noordpand kan in de toekomst uitbreiding van andere onttrekkingen uit het Noordpand bemoeilijken en tevens de stremming voor scheepvaart intensiveren.

3.5.3. Variant 4

De vierde variant van de HEIK-studie gaat uit van de realisatie van een gemaal op de locatie van de huidige onttrekking, die kan worden ingezet als het water niet meer onder vrij verval kan worden ingelaten op de Kromme Rijn. In deze variant verandert er niets, afgezien van het onttrokken debiet uit het pand Hagestein-Amerongen. Omdat dit punt in open verbinding staat met de Waal, is er 'altijd' voldoende water beschikbaar. Deze variant heeft dan ook geen negatieve consequenties voor de watervraag aan het huidige pand, bovenstroomse en benedenstroomse panden en de scheepvaart. Vanuit het hoofwatersysteem geredeneerd heeft deze variant de voorkeur.

Vanzelfsprekend is het van belang dat het gemaal zodanig wordt gedimensioneerd dat deze onder alle relevante laagwatersituaties voldoende water kan onttrekken.

3.6. Alternatieve waterinlaat Amsterdam-Rijnkanaal vanuit het IJmeer

Een deel van het via de Prinses Irenesluizen ingelaten water wordt gebruikt voor het terugdringen van de zouttong op het ARK. Primair bedoeld om verzilting van het drinkwaterinnamepunt bij Nieuwersluis (km 18 op het ARK) te voorkomen. Daarnaast wordt er zoveel mogelijk naar gestreefd om de zouttong niet verder dan Diemen (km 3.5 op het ARK: chloridemeetpunt) te laten komen zodat er geen zout water via open verbindingen naar de AGV-boezem kan stromen. Door een daggemiddeld debiet van minimaal 10 m³/s bij Weesp richting het NZK te creëren, wordt in ieder geval de drinkwaterfunctie bediend, in combinatie met enige doorspoeling van het NZK vanuit de Oranjesluizen wordt meestal ook de andere functie bediend.

In het Amsterdam-Rijnkanaal is een aantal ontwikkelingen voorzien in het kader van de scheepvaart, die mogelijk een effect hebben op de chlorideconcentraties op het Noordzeekanaal en het ARK: de voorgenomen aanleg van een extra zeesluis bij IJmuiden en de verwijderen van een vernauwing (sluiseiland van de voormalige sluis Zeeburg). De precieze effecten die deze maatregelen mogelijk hebben op de verzilting zijn op dit moment nog niet bekend.

In dit project is verkennend onderzocht of de inlaat via de Prinses Irenesluizen kan worden vermindert door meer water vanuit het IJmeer/Markermeer in te laten via de Oranjesluizen of Grote Zeesluis bij Muiden. Het is hierbij belangrijk te beseffen dat een noordwaarts debiet op het ARK voor verschillende doeleinden nodig is, zoals koelwater en waterkwaliteit. Zo is voor koelwater (Lage Weide) een doorstroomdebet van 10 m³/s benodigd.

De waterinlaat via de Oranjesluizen is in principe gericht op het voorkomen van verzilting van het IJmeer en het doorspoelen van het Markermeer waarop ook zout kwelwater vanuit de Flevopolders wordt geloosd. De inlaat bij Schellingwoude wordt gestuurd op het zoutgehalte van het Buiten-IJ, dat onder de 150 mg/l moet blijven. Het vanuit de Oranjesluizen doorspoelen van het Noordzeekanaal met 5-20 m³/s heeft een positief bijeffect op het zoutgehalte in de monding van het ARK. Wanneer de inlaat bij Schellingwoude niet mogelijk is (bijvoorbeeld in de winter) kan dit tot een toename van de zoutindringing op het ARK leiden, waarbij Diemen (3.5 km) kan verzilten.

Onder bijzondere omstandigheden wordt bij verzilting ook nu al overwogen om de inlaat bij Oranjesluizen te vergroten, teneinde de verzilting op het ARK te verminderen. Of dit mogelijk is, verschilt per situatie, het beschikbare verval en vooral de verschillende watervragen die aan het IJsselmeer-Markermeer worden gesteld. In overleg met Dienst IJsselmeer kan de inlaat worden vergroot voor het terugdringen van de zouttong op het IJmeer en het ARK. Enkel bedoeld als maatregel voor het ARK lijkt het vergroten van de inlaat Oranjesluizen minder effectief. Vooral omdat het effect op het ARK indirect is, zeker in het geval van een reeds op het ARK gedrongen zouttong. Daarbij zijn er vanuit waterverbruik effectievere alternatieven beschikbaar om de zouttong op het ARK terug te dringen. Uiteindelijk is zowel het zoete water in het ARK, Lek en IJsselmeer afkomstig van de Rijn en verdient het aanbeveling te kiezen voor een oplossing waarbij per m³/s maximale effectiviteit wordt bewerkstelligd.

In de praktijk is gebleken dat een (verhoogde) aanvoer via Prinses Irenesluizen een effectieve aanpak is voor het terugdringen van de zouttong op het ARK. Dit bleek bijvoorbeeld in het najaar van 2011 toen zoutindringing op het ARK optrad vanwege het niet kunnen inlaten via de Oranjesluizen (geen verval bij winterpeil). Door een verhoogde (nachtelijke) inlaat bij Wijk bij Duurstede, afgestemd met het spuiregime bij IJmuiden, werd het zoutgehalte bij Diemen in twee dagen teruggebracht van 650 mg/l naar 200 mg/l.

Een andere mogelijkheid voor het terugdringen van de zouttong op het ARK, is een verhoogde inlaat via de Zeesluis bij Muiden. Via de Vecht wordt het merendeel van dit water naar het ARK afgevoerd. Dit gebeurt reeds in de huidige situatie (Fig. 23), overwogen kan worden deze inlaat te vergroten. De reden voor de relatief hoge inlaat bij Muiden is het beschermen van de waterkwaliteit en natuurwaarden in de Natura 2000 gebieden zoals het Naardermeer. Deze Vechtplassen moeten worden voorzien van voldoende zoetwater. Hoewel deze plassen slechts circa 1 m³/s verbruiken is een veel grotere hoeveelheid water nodig om op de juiste locatie in de Vecht een zoet-zout scheiding te realiseren. Vanuit de Horstermeerpolder wordt namelijk zoute kwel uitgemalen op de Vecht die zonder zoete tegendruk vanuit het noorden kan leiden tot een verzilting van de Vechtplassen. Door een overdruk vanuit Muiden te realiseren, wordt voorkomen dat zout water de Vechtplassen instroomt en wordt dit water op het ARK gedrongen. Tezamen met een groot deel van het bij Muiden ingelaten water, leidt dit tot een netto stroom van circa 7 m³/s naar het ARK. Deze afvoer levert daarmee in de huidige situatie al een substantiële bijdrage aan het terugdringen van de zouttong op het ARK.

Daarnaast kan de inlaat bij Muiden worden versterkt. Een eerste inschatting is dat deze toevoer naar het ARK met 5 m³/s kan worden vergroot zonder speciale ingrepen aan het inlaatkunstwerk. Het peil van het IJmeer moet dit dan wel toestaan, aangezien onder natuurlijk verval wordt ingelaten. Het vergroten van de inlaat bij Muiden biedt hiermee de mogelijkheid om een belangrijkere bijdragen aan het terugdringen van de zouttong te leveren. Blijft staan dat een doorstroomdebiet van ordegrrootte 10 m³/s over het ARK als ondergrens mag worden beschouwd, zodat deze maatregel niet als alternatief voor de inlaat bij de Prinses Irenesluizen moet worden beschouwd. Wel verdient het aanbeveling deze maatregel mee te nemen als klimaatadaptieve maatregel om de negatieve effecten van zeespiegelstijging te voorkomen, een flexibel peil op IJmeer/Markermeer (waarvoor minder via Oranjesluizen wordt doorgespoeld) en/of als maatregel om de negatieve effecten van de vergrote zeesluis en het verwijderen van het sluseiland te compenseren. Nader onderzoek is nodig om de effectiviteit en haalbaarheid van deze maatregel aan te tonen.

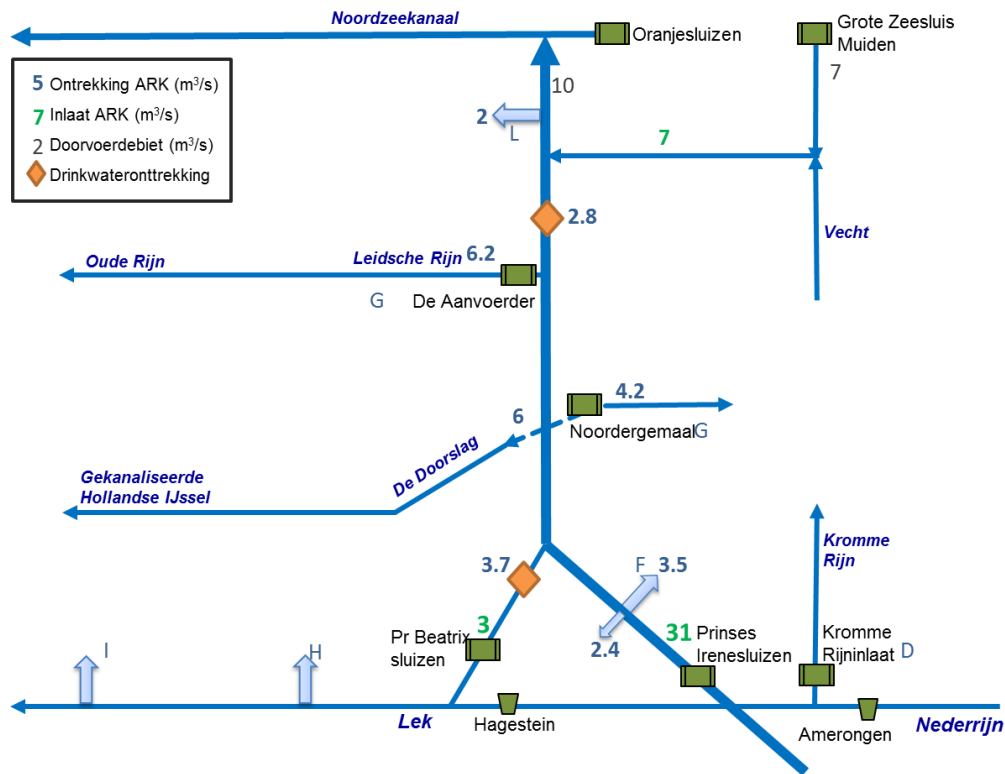


Fig. 23. Detailweergave van de waterbalans ARK-Noordpand bij zeer droge omstandigheden.

3.7. Droogtescenario's LCW

In het kader van deze studie zijn de droogtescenario's van het regionaal droogteoverleg West-Midden-Nederland getoetst aan de in deze en eerdere studies opgedane kennis. In een separate rapportage is de tekst van de droogtescenario's integraal opgenomen en voorzien van commentaar. De voorgestelde aanpassingen betreffen zowel toevoegingen van kennis als aanbevelingen voor beheeroptimalisaties.

Een belangrijk deel van deze aanbevelingen volgt uit de voorgaande hoofdstukken. In deze paragraaf worden de aanbevelingen voor de Droogtescenario's LCW samengevat.

- Aanbevolen wordt om het schaarse zoete water zo efficiënt mogelijk te gebruiken door het benutten van realtime informatie over regionale onttrekkingen, chlorideconcentraties en temperatuur. Zodoende kan via Hagestein en de Prinses Irenesluizen exact die hoeveelheid water worden doorgelaten die nodig is om de verschillende belangen te dienen.
 - Voor de Prinses Irenesluizen zal dan in bepaalde droge situaties minder hoeven te worden ingelaten als de regionale onttrekkingen niet volop in gebruik zijn. Eveneens zal de inlaat bij de Prinses Irenesluizen worden verhoogd wanneer de Oranjesluizen in de zomer of een droog najaar minder dan normaal kan worden ingezet zodat de monding van het ARK sterker verzilt.
 - Stuw Hagestein kan gericht worden ingezet om verzilting van de Krimpenerwaard inlaat (en in extremis Koekoek) te voorkomen of de verziltingsduur te verkorten wanneer dit het geval is na een hevige storm met daaraan voorafgaand lage afvoeren. Hagestein kan dan kortdurend een bepaald debiet doorlaten totdat de meting aangeeft dat de chlorideconcentraties beneden het gewenste niveau zijn gedaald.

- Het is belangrijk om bij de verzilting van het ARK-Noordpand onderscheid te maken tussen twee criteria: 1. Het voorkomen van verzilting van de drinkwaterinlaat Nieuwersluis (km 18 ARK) en 2. Het voorkomen van verzilting van de open verbindingen van de AGV-boezem met ARK (km 3.5 ARK, Diemen). Het tweede doel stelt scherpere eisen wat betreft zoutterugdringing dan het eerste doel en in de praktijk wordt sterk op dit tweede doel gestuurd. Onder zeer droge omstandigheden zou het tweede doel kunnen worden losgelaten aangezien deze van een lagere orde (categorie 4) is dan de drinkwatereis (categorie 2).
- Er dient rekening te worden gehouden met de beperkingen van Driel (zie paragraaf 3.4). Aanbevolen wordt om ook voor Driel twee criteria te hanteren voor zeer droge omstandigheden: 1. 25 m³/s, conform stuwprogramma; 2. 10-18 m³/s, de op dat moment daadwerkelijk benodigde watervraag die op basis van een realtime inzicht in de metingen kan worden bepaald. Een probleem ontstaat pas wanneer criterium 2 niet meer kan worden geleverd. Bij voortschrijdende daling van de Rijnafvoer (<~700 m³/s) kan overwogen worden om de waterstroom via Amerongen te reguleren en Driel buiten bedrijf te stellen. Of dit (technisch) mogelijk en wenselijk is, dient nader te worden onderzocht (zie aanbevelingen).
- Verziltingsbestrijding van de ‘dode’ armen Hollandse IJssel en (in mindere mate) Lek vraagt een andere benadering dan de delen van het systeem waar continu Rijnwater wordt afgevoerd. Op het juiste moment dient een tegendruk van zoet water te worden gecreëerd om de zouttong in voldoende mate terug te dringen. Het juiste moment hangt samen met de oorzaak van de verzilting. Wanneer de zouttong door een storm ver de Lek en Hollandse IJssel is opgedrongen, is het mogelijk om na afloop van de storm vanuit Hagestein en de Waaiersluis/Krimpenerwaard tijdelijk een flinke hoeveelheid zoet water af te voeren om de zouttong terug te dringen. Tijdens een storm zal dit niet effectief zijn en bij dalende rivierafvoeren zal het enkel tijdelijk soelaas bieden. Daarbij kan zeker vanuit de regionale systemen niet onbeperkt zoetwater worden aangevoerd.
Op de doorgaande routes (Noord, Spui, Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas) valt weinig aan verziltingsbestrijding te doen qua beheer (wel bellenscherm). De zouttong rukt op tot er evenwicht ontstaat tussen zoutindringing vanuit zee en de rivierafvoer. Extra rivierafvoer (of lagere zee-waterstanden) is nodig om de zouttong zeewaarts te laten bewegen.
- Aanbevolen wordt om expliciet onderscheid te maken tussen verzilting door wind en verzilting door alleen een lage rivierafvoer al dan niet gecombineerd met regionale onttrekkingen. Verzilting door wind is in doorgaande routes van tijdelijke aard (en vraagt geen bijzondere ingrepen, uitgezonderd een mogelijk langdurig negatief effect op de oeverinfiltraties), verzilting door wind op de Hollandse IJssel en Lek vraagt een tijdelijke push van zoet water vanuit Hagestein/Gouda (zie voorgaand punt).
- Geadviseerd wordt om de afspraken omtrent de KWA te flexibiliseren. Deze zijn op dit moment digitaal (aan of uit) terwijl het slimmer is om de inzet van de KWA op de werkelijke situatie af te stemmen. Ook nu al verschilt het effect van de KWA sterk per inzetmoment. Zo kon Rijnland in 2011 via de KWA 10-12 m³/s benutten terwijl Rijnland volgens het akkoord recht heeft op 4 m³/s. Aanbevolen wordt om de KWA in de praktijk zo in te zetten dat precies die hoeveelheid water wordt onttrokken die nodig is. Hierbij kan nog onderscheid worden gemaakt naar water dat voor peilhandhaving (categorie 1) nodig is en water dat voor doorspoeling (categorie 3 en 4) wordt ingezet. In ieder geval dient (bijvoorbeeld via een dashboard) op elk moment inzichtelijk te zijn wat de onttrekkingen zijn van KWA, hoeveel water in HDSR-West achterblijft, hoeveel water via Bodegraven naar Rijnland wordt doorgeleverd, wat het chloride gehalte is en hoeveel water Delfland en Schieland ontvangen.

4. Synthese, conclusies en aanbevelingen

De onderzoeksvragen in dit rapport zijn steeds gericht op onderdelen en/of aspecten van het hoofwatersysteem en de interactie met de regionale watersystemen. In dit hoofdstuk worden de resultaten van de analyses bij elkaar gebracht in een synthese, conclusies en aanbevelingen.

4.1. Synthese

4.1.1. Stuurknoppen hoofwatersysteem

In onderstaande tabel is het huidige functioneren voor de belangrijke stuurknoppen in het onderzochte deel van het hoofwatersysteem samengevat, tezamen met eventuele mogelijkheden tot optimalisatie.

	Huidig systeem	Optimalisatie
<i>Driel</i>	Inlaat 25 m ³ /s mogelijk tot aan 800-900 m ³ /s bij Lobith. De fysieke grens van het hoofwatersysteem om de waterverdeling te reguleren lijkt daarmee in zicht. Bij 800 m ³ /s en lager neemt de inlaat af, niet direct leidend tot knelpunten omdat 25 m ³ /s niet volledig nodig is.	Vergroten aanvoer via Driel niet noodzakelijk en niet duurzaam. Vergroting van de Inlaat Kromme Rijn kan uit pand Hagestein, maar is niet wenselijk uit pand Amerongen vanwege limiet Driel. Flexibiliseren peil Amerongen kan wellicht in beperkte mate bijdragen. Sturen met Amerongen in plaats van Driel is voor de langere termijn mogelijk te overwegen.
<i>Hagestein</i>	Huidige doorlaat van 0-5 m ³ /s zeer beperkt, lager dan stuw- en sluisregime. Lagere aanvoer heeft vrijwel nooit geleid tot verziltingsproblemen op de Lek. Verzilting Krimpenerwaard inlaat wel mogelijk onder extreme omstandigheden.	Standaard leveren van 25 m ³ /s niet nodig voor Lek. Zelfs bij 20 m ³ /s extra onttrekking voor KWA+. Standaard Lekafvoer wel licht voordelig voor Hollandse IJssel. Alleen bij extreem droge omstandigheden en storm is doorlaat nodig om inlaatpunten Krimpenerwaard en Koekoek zoet te houden.
<i>Irenesluizen</i>	Inlaat 30 m ³ /s onder (zeer) droge omstandigheden. Consequenties voor scheepvaart door sluiten scheepvaartkolk. Grotere inlaat is mogelijk. Inlaat zeer robuust door grote verhang bij sluis.	Inlaat vergroten tot in ieder geval 45 m ³ /s, waarmee KWA+ kan worden gefaciliteerd. Optimalisatie inlaat mogelijk door hoeveelheid af te stemmen op werkelijke situatie wat betreft onttrekkingen, verzilting en watertemperatuur.
<i>Bernhardsluizen</i>	Bij laagwater zijn Bernhardsluizen geopend. Dit is van essentieel belang voor zoetwatervoorziening Midden-West Nederland omdat afvoer via Driel niet volstaat en bij afvoeren vanaf 800 m ³ /s en lager niet meer kan worden gegarandeerd.	Functioneren optimaal. Zonder actieve sturing wordt de hoeveelheid geleverd die nodig is voor de watervraag aan het ARK-Noordpand, ARK-Betuwapand en het stuwpan Hagestein-Amerongen.

Onder meer uit bovenstaande tabel volgt dat het huidige hoofwatersysteem onder laagwateromstandigheden naar behoren functioneert. Ook biedt het hoofwatersysteem mogelijkheden om in een grotere watervraag vanuit Midden-Nederland te voorzien. Wel is geconstateerd dat er grenzen zijn aan de doorlaatcapaciteit van stuw Driel, hoewel dit niet direct als knelpunt hoeft te worden beschouwd. Voorkomen moet worden dat Driel zwaarder belast wordt, zoals het geval zou zijn wanneer besloten zou worden de extra inlaat naar de Kromme Rijn in pand Amerongen te realiseren. Voor de toekomst dient nader te worden onderzocht of onder extreme omstandigheden kan

worden gestuurd met Amerongen in plaats van Driel. Zeker als blijkt dat het klimaat daadwerkelijk een stuk droger wordt en lage afvoeren zich steeds vaker voordoen.

4.1.2. Vergroting van de onttrekkingen naar regionale watersystemen

Uit het onderzoek volgt dat extra onttrekkingen uit het hoofdwatersysteem ter grootte van 30 m³/s ter vergroting van de KWA kan worden gefaciliteerd, zelfs onder zeer tot extreem droge omstandigheden. De locatie van de onttrekkingen is hierbij wel van belang. Uit het ARK-Noordpand is een levering tot ca. 10 m³/s extra mogelijk. Dit extra water moet via de Prinses Irenesluizen aangevoerd worden. Zonder extra inlaatvoorzieningen aan dit sluizencomplex treedt hierbij hinder op voor de scheepvaart, omdat één van de sluiskolken dan ook overdag gesloten moet blijven ten behoeve van de inlaatfunctie.

Het overige benodigde water voor de KWA+ kan onttrokken worden uit de ongestuwde Lek. Een onttrekking van 20 m³/s extra uit de bovenloop van de ongestuwde Lek leidt bijna nooit – uitgezonderd de zeer zeldzame combinatie van extreem lage rivierafvoeren en storm – tot het verzilten van de inlaten in de Krimpener- en Lopikerwaard (inlaat Koekoek). Onder extreme omstandigheden verdient het aanbeveling om water bij Hagestein door te laten om Koekoek te vrijwaren van verzilting en de inlaat Krimpenerwaard – bijvoorbeeld na een storm – te verzoeten. De extra doorlaat bij Hagestein wordt via het ARK-Betuwapand onttrokken aan de Waal. Dit heeft geen negatieve consequenties voor de scheepvaart, omdat de Minst Gepeilde Diepte (MGP) op de Waal ver genoeg bovenstrooms ligt, namelijk in de buurt van Nijmegen, zodat het effect van de extra onttrekking daar niet meer doorwerkt.

Het totaal van 30 m³/s extra onttrekking naar de regionale watersystemen in Midden-West Nederland – als alternatief voor de huidige 20 m³/s bij Gouda – leidt wel tot een beperkte toename van de verzilting benedenstrooms, echter niet tot een omslag in het functioneren van het systeem: er zijn geen inlaatlocaties die door deze extra onttrekking afvallen.

Indicatief is het functioneren van de zoetwaterbuffer, een van de KWA+ varianten, geanalyseerd. Berekeningen laten zien dat, bovenop de gewenste onttrekking, een extra zoetwateraanvoer nodig is om het zout niet te ver de Hollandse IJssel op te laten dringen. Een inlaatsurplus van 3 à 5 m³/s zou hiervoor volgens de berekeningen voldoende zijn. De werkelijke situatie op de bovenloop van de Hollandse IJssel is complex en daarom moeilijk in een model te schematiseren. Een praktijkproef zou in dit geval een goede methode zijn om de werkelijke interacties in beeld te brengen. Hierbij kunnen de chlorideconcentraties bij de verschillende inlaatpunten (Boezemgemaal Gouda, inlaat Snelle Sluis) worden gemeten en gerelateerd aan variaties in aanvoerdebieten via de Waaier-sluis en/of gemaal Verdoold.

Naast de inlaat bij Gouda is de inlaat bij de Kromme Rijn een tweede belangrijke knelpunt voor de zoetwatervoorziening in het onderzoeksgebied. In de HEIK-studie zijn verschillende varianten uitgewerkt voor vergroting van deze inlaat. In deze studie is geconstateerd dat de variant waarbij uit het pand Amerongen wordt onttrokken voor het hoofdwatersysteem minder wenselijk is, vooral vanwege het feit dat het niet mogelijk blijkt om in zeer droge situaties voldoende water door te laten bij Stuw Driel. Het creëren van een extra inlaatvoorziening tussen Amerongen en Driel is vanuit dat oogpunt geen wenselijke ontwikkeling en lijkt geen toekomstvaste optie omdat de aanvoer via Driel niet gegarandeerd is, in tegenstelling tot de aanvoer via de Prins Bernhardsluizen naar het pand Hagestein.

Het vergroten van de waterinlaat naar het Amsterdam-Rijnkanaal via Zeesluis Muiden en de Vecht lijkt een kansrijke maatregel. Vooral om de toename van de zoutindringing als gevolg van zeespiegelstijging, de grotere zeesluis bij IJmuiden en het verwijderen van het sluiseland bij Zeeburg te compenseren. Het lijkt niet realistisch te veronderstellen dat de 10 m³/s basisflux vanuit de Prinses

Irenesluizen met deze maatregel kan worden verminderd, aangezien deze ook andere doelen dient zoals peilhandhaving, koelwater, waterkwaliteit en drinkwater. Onder bepaalde omstandigheden is het ook mogelijk de Oranjesluizen in te zetten ter bestrijding van de verzilting op het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal. Als structurele maatregel voor verziltingsbestrijding op het ARK is deze maatregel minder effectief dan de alternatieven Prinses Irenesluizen en Muiden. Vanuit deze inlaatpunten is minder zoetwater nodig om hetzelfde effect te bereiken. Aandachtspunt voor zowel de inlaat bij Muiden als de inlaat via de Oranjesluizen is dat de inzet van deze aanvoerpunten afhankelijk is van het peil op het Markermeer. Bij uitzakken van het Markermeerpeil tot winterpeil (-0.40 m NAP) is er geen peilverschil meer met het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal en is inlaten niet meer mogelijk.

4.1.3. Verzilting

Allereerst is vastgesteld dat een grotere onttrekking uit het hoofdwatersysteem tot een beperkte toename leidt van de verzilting in de Hollandse IJssel en de Lek. Deze toename is in vergelijking met verschillen die door natuurlijke omstandigheden worden veroorzaakt beperkt. Zo neemt de verzilting als gevolg van een daling van de rivierafvoer van 800 naar 600 m³/s of een storm op zee in veel sterkere mate toe dan door een extra onttrekking van 20 à 40 m³/s. Deze extra onttrekking leidt op geen van de onderzochte inlaatlocaties tot een omslagpunt.

De bepalende factoren voor de mate van verzilting zijn, in volgorde van belangrijkheid:

1. De natuurlijke omstandigheden: rivierafvoer, getijdewerking en wind;
2. De totale onttrekking uit het hoofdwatersysteem. Variaties hierin zijn ordegrrootte kleiner (20-40 m³/s) dan de natuurlijke variaties (200 m³/s);
3. De waterverdeling over de Rijntakken (het beheer).

Wel kan met het beheer de verziltings situatie op een specifieke locatie aanzienlijk worden verbeterd. Beheersmatige ingrepen zijn vooral effectief op locaties waar het heen- en weer stromen van zout water door getijdewerking minder dominant is, zoals in de Hollandse IJssel en op de Lek. Zo kan eventuele verzilting van Koekoek worden opgelost met een tijdelijk forse inlaat via Hagestein. Ook verdient het aanbeveling om de waterverdeling optimaal af te stemmen op de operationele water-vraag. Daarnaast zijn beheersmatige ingrepen effectief bij minder lage afvoeren en in het verkorten van de duur van de verzilting.

Verder geldt dat de aard van de verzilting sterk per locatie verschilt. Het maakt veel uit of een inlaatlocatie wel of niet langs een doorgaande afvoerroute van het rijnwater is gelegen en wat de afstand tot zee is. Vooral in de duur van de verzilting ontstaan grote verschillen. Deze kan in de Hollandse IJssel weken aanhouden, terwijl het bij Ridderkerk over uren gaat en de effecten van een hevige storm ook snel worden geneutraliseerd. De Hollandse IJssel is veruit het meest gevoelig voor verzilting. De Lek verzilt niet snel, wat ook aansluit bij de ervaringen en metingen. De inlaat bij de Krimpenerwaard en zeker die bij Koekoek verziltten nauwelijks, ook niet bij grotere onttrekkingen bovenstrooms.

4.2. Conclusies

1. In dit onderzoek is een samenhangend beeld verkregen van het functioneren van het onderzochte deel van het hoofwatersysteem onder droge en laagwateromstandigheden.
2. Het onderzochte deel van het hoofwatersysteem functioneert naar behoren onder droge tot extreem droge situaties. De meeste watervragen worden adequaat bediend en kunnen zelfs onder extreme omstandigheden worden geleverd. Het openstellen van de Prins Bernhardsluizen is hierin een essentiële factor waarmee de grote watervraag in Midden-West-Nederland kan worden geleverd. Het grote verhang bij de Prinses Irenesluizen waarborgt een robuuste watervoorziening voor een groot deel van Midden-West-Nederland.
3. Er zijn grenzen aan Driel. De levering van 25 m³/s via Driel is het minst robuuste element in het onderzochte deel van het hoofwatersysteem. Deze kan bij Lobith afvoeren van 800-900 m³/s en lager niet meer worden geleverd. Een wat lagere afvoer leidt in het huidige watersysteem niet direct tot problemen. Het ligt echter niet voor de hand de bestaande onttrekkingen in het pand Amerongen-Driel uit te breiden.
4. De belangrijke inlaatpunten op de Lek voor de Krimpener- en Lopikerwaard (Koekoek) zijn weinig gevoelig voor verzilting. Zelfs in het geval van een verhoogde onttrekking in de Lek voor KWA+ blijven deze locaties onder de meest omstandigheden gevrijwaard van zout water. Dit is dan ook de reden dat in de praktijk weinig water via Hagestein wordt doorgevoerd. Onder bepaalde extreme omstandigheden kan doorvoer via Hagestein wel een oplossing zijn om verzilting van inlaatpunten te voorkomen.
5. Het hoofwatersysteem biedt de mogelijkheid om in een toenemende watervraag uit Midden-Nederland te voorzien. Een verhoogde onttrekking uit Lek en Amsterdam-Rijnkanaal, als alternatief voor een langdurig verzilte Hollandse IJssel, is mogelijk en leidt niet tot een grote toename van de verzilting op de Hollandse IJssel en Lek, wel tot een kleine toename die in vergelijking met de door natuurlijke omstandigheden veroorzaakte verschillen beperkt is. Ook het effect op de scheepvaart op de Waal is zeer beperkt of verwaarloosbaar, omdat het kritische riviertraject verder bovenstrooms, nabij Nijmegen gelegen is. Vanuit het hoofwatersysteem kunnen hierdoor adequate oplossingen van de zoetwaterknelpunten Gouda en Kromme Rijn worden gefaciliteerd.
6. De optimalisatiemogelijkheden van het hoofwatersysteem bezien vanuit de huidige beleidskaders en het huidig beheer zijn beperkt. Vooral omdat het hoofwatersysteem op hoofdlijnen al goed functioneert. Wel is flexibilisering van het beheer naar situatie en omstandigheid gewenst waarbij deze dient te worden gebaseerd op actuele metingen in het systeem. Hiermee kan het beheer van de Prinses Irenesluizen en de stuwen Driel en Hagestein in enige mate worden verbeterd.
7. Het gebruik van de Hollandse IJssel voor de levering van extra zoet water aan de boezem van Rijnland – de zoetwaterbuffer – lijkt een realistische optie. Het is de moeite waard deze optie in meer detail uit te werken, bijvoorbeeld met een praktijkproef.
8. Dit onderzoek geeft inzicht in de mogelijkheden die het hoofwatersysteem heeft, gegeven de huidige inrichting en beheer, om geconstateerde knelpunten op te lossen en een extra watervraag uit regionale systemen te faciliteren. Het rapport doet geen uitspraak over de prioritering van de belangen die ten grondslag liggen aan de huidige en toekomstige knelpunten, of de mate waarin aan een verzoek tot extra onttrekking voldaan zou moeten worden.

4.3. Aanbevelingen

- Aanbevolen wordt om het huidige beheer van het hoofwatersysteem te verbeteren door de sturing te flexibiliseren en afhankelijk te maken van specifieke omstandigheden. Deze aanbeveling betreft in elk geval Stuw Driel en de inlaat bij de Prinses Irenesluizen, en mogelijk ook de bediening van de Haringvlietsluizen.
 - Hiervoor is een operationeel inzicht nodig in waterstanden, debieten, chlorideconcentraties en temperatuur.
 - Dit inzicht zou via een dashboard (IWP) toegankelijk gemaakt kunnen worden voor de regionale en landelijke waterbeheerders zodat slimme sturing en onderlinge afstemming mogelijk wordt.
 - Op basis van dit inzicht kan de waterverdeling optimaal worden afgestemd op de onttrekkingen en mate van verzilting. Met als doel om de duur en omvang van de verzilting te beperken en het beschikbare zoetwater maximaal te benutten.
- Naar de zoetwaterbuffer dient nader onderzoek te worden gedaan om vast te kunnen stellen of het een effectieve, efficiënte en robuuste zoetwatermaatregel is. Aanbevolen wordt om het functioneren van de zoetwaterbuffer in ieder geval in een praktijkproef te onderzoeken.
- Ingeval het wenselijk is de doorvoer over de Nederrijn te handhaven, ook bij Rijnafvoeren beneden 800 m³/s, verdient het aanbeveling de mogelijkheden en consequenties te onderzoeken van het sturen met Stuw Amerongen in plaats van Stuw Driel. Bij dit onderzoek moeten, naast de directe effecten op het waterbeheer op en rond de Nederrijn, ook de gevolgen voor de landelijke waterverdeling over IJssel, Waal en Nederrijn in beeld gebracht worden.
- Vanwege de beperkte afvoercapaciteit van Stuw Driel onder laagwateromstandigheden wordt geadviseerd om Driel niet zwaarder te belasten door de benedenstroomse onttrekkingen aan het Amerongen-Driel pand substantieel te vergroten. Ook verdient het aanbeveling om voor Stuw Driel na te gaan of met automatisering van de fijnregeling een betere en nauwkeurigere debietsturing mogelijk is, met het oog op vermindering van fluctuaties in debiet en uiteindelijk beter benutting van het schaarse water.
- Aanbevolen wordt om concreet vast te stellen onder welke omstandigheden welke hoeveelheid water via Hagestein de Lek op moet worden gelaten. Bijvoorbeeld wanneer de zouttong door storm voorbij de inlaat bij Krimpenerwaard is getrokken. Het is niet noodzakelijk om permanent 25 m³/s door te laten, al is er gezien de licht positieve effecten voor verzilting op de Hollandse IJssel ook geen reden om het niet te doen.
- Aanbevolen wordt om een nader onderzoek uit te voeren naar nut en noodzaak van een vergrote inlaat bij de zeesluis Muiden, bijvoorbeeld als compensatiemaatregel voor zeespiegelstijging, vergroting zeesluis bij IJmuiden en het verwijderen van het sluseiland Zeeburg, rekening houden met een mogelijke flexibilisering van het Markermeerpeil en de beperkingen die dat met zich meebrengt. Mogelijk kan het inzetten van de inlaten Muiden en Oranjesluizen onderdeel zijn van een flexibel beheersplan van het gehele NZK-ARK systeem.
- Aanbevolen wordt de aanvullingen op de tekst van de LCW scenario's van het RDO Midden-West-Nederland te verwerken in een nieuwe versie van deze scenario's.

5. Referenties

1. Arcadis (2012) Bouwstenen zoetweraanvoer West Nederland, in opdracht van het platform Zoetwater West-Nederland, concept r5, project C01014.000124.0100.
2. Beijk, V. (2012) Rijkswaterstaat Zuid-Holland, pers. mededeling.
3. Biesma, J. en Meertens, P. (2011) Technisch draaiboek Tolhuissluisroute AGV en Hoogheemraadschap van Rijnland.
4. Bonte M., en Zwolsman, G. (2009) Klimaatverandering en verzoeting van de Rijn, H₂O 2009-20.
5. COT Instituut voor Veiligheids- en crisismangement (2003) Droogtemanagement 2003, analyse van procedures en besluitvorming tijdens extreme droogte.
6. De Groot, E. (2012) Droogte voorjaar 2011, Evaluatie inzet Kleinschalige Weraanvoer Voorzieningen Midden-Holland, versie 1.1, corsanummer 12.08084.
7. HakkersWerkendam BV (2001) Herinrichting stuweiland Driel, Beheer- en Onderhoudsplan Vispassage.
8. Hoogheemraadschap van Delfland, Hoogheemraadschap van Rijnland, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Rijkswaterstaat Utrecht (2005), Waterakkoord Kleinschalige Weraanvoervoorzieningen Midden-Holland.
9. Hoogheemraadschap van Rijnland (2011) Droogte 2011, Technische en beleidsmatige evaluatie, versie 0.5.
10. Hoogheemraadschap van Rijnland en Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht (2009), Waterakkoord Rijnland – Amstel, Gooi en Vecht, inclusief bijlagen en kaarten.
11. Jeuken, A., Hoogvliet, M., Van Beek, E. en Van Baaren, E. (2012) Opties voor een klimaatbestendige zoetwatervoorziening in Laag-Nederland, Tussentijds integratierapport, KvK thema Climate Proof Fresh Water Supply (CPFWS).
12. Klijn, F., Ter Maat, J, Van Velzen, E. (red.) (2011) Zoetwatervoorziening in Nederland, landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw, Deltares rapport 1204358-002.
13. Kuijper, C., V.d. Kaaij, Th. (2009), Herstel van de "trapjeslijn" in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas, Fase 1: Voorstudie naar de effecten op de zoutindringing, Deltares rapport 1002366-001-ZKS-0002.
14. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (2009) Nationaal Waterplan 2009-2015.
15. Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2006) MIT Verkenning vaarwegsplitsing Dordtsche Kil - Hollandsch Diep.
16. Oranjewoud (2010) Mogelijkheden opplussen KWA, in opdracht van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.
17. Putter, J. de, Van Dam, R. (2012) Haalbaarheidsstudie Extra Inlaat Kromme Rijn, concept 24 april 2012, TAUW-rapport R001-4824595JDP-V01 in opdracht van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.
18. Rijkswaterstaat (2012) Referentiewaarden en statistieken Afvoeren en Waterstanden op basis van betrekkinglijnen 1991.0, http://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata_waterberichtgeving/watergegevens/.

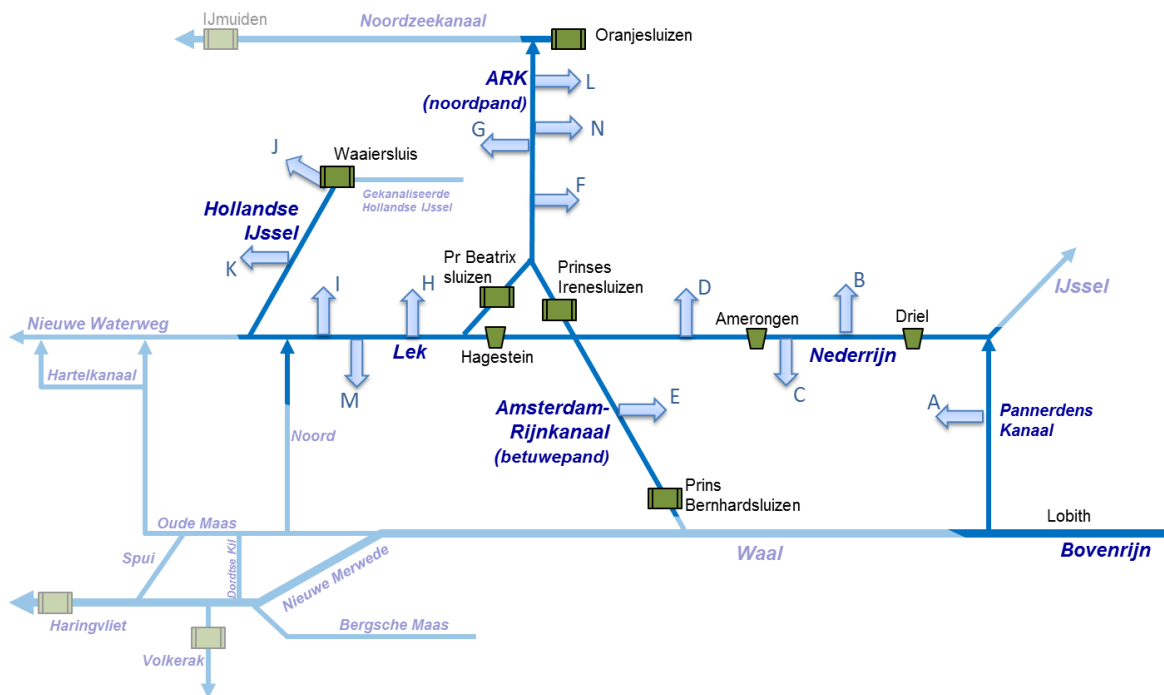
19. Rijkswaterstaat directie Benedenrivieren (1985) Bedieningsprogramma voor de Haringvlietsluizen (LPH'84).
20. Rijkswaterstaat (2012) Deltaprogramma en het perspectief van Rijkswaterstaat, Hoofdlijnen Geel in het Deltaprogramma (Geel-2), interne uitgave WD0612HD020.
21. Rijkswaterstaat Oost-Nederland (2011) Handboek Neder-Rijn en Lek, Bediending stuw-/sluiscomplexen, 4^e druk.
22. Rijkswaterstaat Oost-Nederland (2012) Vaste en incidentele debietmetingen in het beheersgebied van RWS-DON periode jan 2011 – jun 2012.
23. Rijkswaterstaat Zeeland (2012) varend gemeten Chloride concentraties in de periode 2 mei – 11 juli 2011 op Lek, Nieuwe Maas, Hollandsche IJssel en Noord.
24. Rijkswaterstaat Zuid-Holland (2004) Evaluatie droogteperiode 2003, Waterbeweging en Verzilting, Nota AP/2401750/2004/03.
25. Rijkswaterstaat Zuid-Holland (2005) Waterakkoord Hollandsche IJssel en Lek, inclusief toelichting en bijlagen.
26. Rijkswaterstaat Zuid-Holland (2006) Draaiboek waterbeheer Hollandsche IJssel en Lek, behorend bij het waterakkoord Hollandsche IJssel en Lek, versie 1.0.
27. Rijkswaterstaat Zuid-Holland (2009) Resultaten zoutmetingen Hollandsche IJssel tijdens lage afvoer van de Rijn, periode 14 sep – 10 nov 2009.
28. Rijkswaterstaat Zuid-Holland (2009) Stroomwijzer Rijn-Maasmonding, watersysteemdeel de Boven Merwede, nota RWS/DZH/ARA/2009-14.
29. Rijkswaterstaat Zuid-Holland (2009) Stroomwijzer Rijn-Maasmonding, watersysteemdeel de Nieuwe Maas, nota RWS/DZH/ARA/2010-26.
30. Rijkswaterstaat Zuid-Holland (2010) Stroomwijzer Rijn-Maasmonding, watersysteemdeel de Hollandsche IJssel, nota RWS/DZH/ARA/2010-19.
31. Rijkswaterstaat Zuid-Holland (2010) Stroomwijzer Rijn-Maasmonding, watersysteemdeel de Lek, nota RWS/DZH/ARA/2010-22.
32. Spijker, M.J. en J. de Graaf (2012) Analyse watervraag en waterbeschikbaarheid Midden Nederland, HydroLogic rapport P428 i.o.v. Rijkswaterstaat Utrecht.
33. Spijker, M.J. en J. de Graaf (2011) Analyse waterbalans Betuwepand ARK, Nederrijn, Lek en Waal, HydroLogic rapport P356 i.o.v. Rijkswaterstaat Oost-Nederland.
34. Van Banning, G. en Pasmans, I. (2012) Effecten sluisseiland Zeeburg op Zoutdoordringing Amsterdam-Rijnkanaal, Arcadis in opdracht van Rijkswaterstaat Utrecht, project C03041.002875.
35. Van der Kaaij, Th, Van den Boogaard, H.F.P., Kuijper, C., Sloff, C.J., Van Zetten, J.W. (2010) Herstel van de "trapjeslijn" in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas (Fase 2), Vervolgstudie naar de effecten op de zoutindringing, Deltares rapport 1002366-000.
36. Van Luijn, F. (2012) Rijkswaterstaat Waterdienst, pers. mededeling.
37. Van Velzen, E. (2012) Deltares, pers. mededeling.
38. Van Velzen, E. en Werkman, W. (2012) Werkdocument Externe verzilting Rijn-Maasmonding, Rijkswaterstaat Waterdienst en Deltares.
39. Verkerk, M (2009) Zoetwaterverkenning Zuid-Holland Zuid, DHV rapport C2659 i.o.v. Provincie Zuid-Holland.

Colofon

Auteur(s) rapport	drs. M. Spijker en ir. M. van den Brink
Bijdrage(n) van	ir. J. de Graaf en M. Coonen MSc
Projectleider	drs. M. Spijker
Kwaliteitscontrole door	
Referentie opdrachtgever	31071308
Versienummer	D01 eindrapport
Datum revisie	11 maart 2013
Rapport titel	Waterverdelings- en verziltingsvraagstukken in het hoofwatersysteem in West- en Midden-Nederland
Rapport type	Eindrapport
Documentnaam	P475 HydroLogic Waterverdeling en -verzilting hws West-Midden-NL D01.docx
Kernwoorden	Waterverdeling, verzilting, sturing, hoofwatersysteem, uitwisseling, droogte, laagwater, KWA, Amsterdam-Rijnkanaal, ARK, LCW, waterbalans

© HydroLogic BV

Bijlage A Beschouwde onttrekkingen uit het hoofwatersysteem naar het regionaal watersysteem



Letter	Naam	Onttrekt uit	Onttrekt naar	Type
A	De Pannerling	Pannerdensch Kanaal	WS Rivierenland Linge	Gemaal
	Vitens	Pannerdensch Kanaal	WS Rivierenland Linge	
B	Grebbesluis	Nederrijn	WS Vallei en Veluwe Valleikanaal	Vrij verval
C	Kuijk	Nederrijn	WS Rivierenland Neder-Betuwe	Gemaal
	Bontemorgen	Nederrijn	WS Rivierenland Neder-Betuwe	Gemaal
D	Inlaat Kromme Rijn	Nederrijn	HDSR Kromme Rijn	Vrij verval
E	Van Beuningen	ARK-Betuwapand	WSRL Beneden-Linge	Gemaal
	Drielandenpunt	ARK – Betuwapand	WSRL Beneden-Linge	Gemaal
F	Caspargouw	ARK-Noordpand	HDSR Kromme Rijn	Gemaal
	Voorhavendijk	ARK-Noordpand	HDSR Kromme Rijn	Gemaal
	Kerkeland	ARK-Noordpand	HDSR Eiland van Schalkwijk	Gemaal
	Goyerbrug	ARK-Noordpand	HDSR Eiland van Schalkwijk	Gemaal

Letter	Naam	Onttrekt uit	Onttrekt naar	Type
G	De Aanvoerder	ARK-Noordpand	HDSR Leidsche Rijn KWA	Gemaal en vrij verval
	Noordergemaal (west)	ARK-Noordpand	HDSR GHollandse IJssel KWA	Gemaal
	Noordergemaal (oost)	ARK-Noordpand	Stadswater Utrecht	Gemaal
H	Koekoek	Lek	HDSR	Vrij verval
	Oude Sluis Vreeswijk	Lek	HDSR GHollandse IJssel (KWA)	Vrij verval
I	Krimpenerwaard	Lek	HHSK	Vrij verval
J	Gouda	Hollandse IJssel	Rijnland	Vrij verval en gemaal
	Waaiersluis	Hollandse IJssel	HDSR	Vrij verval
K	Snelle Sluis	Hollandse IJssel	HHSK Schieland	Vrij verval
	Langeland en Kortland	Hollandse IJssel	HHSK Krimpenerwaard	
	Kromme Geer en Zijde	Hollandse IJssel	HHSK Krimpenerwaard	
	Johannes Veurink	Hollandse IJssel	HHSK Krimpenerwaard	
	De Nesse	Hollandse IJssel	HHSK Krimpenerwaard	
	Verdoold	Hollandse IJssel	HHSK Krimpenerwaard	
L	Vecht	ARK	AGV	Open verbinding
	Amstelboezem	ARK	AGV	Open verbinding
M	Ameide	Lek	WS Rivierenland Alblasserwaard	
	Elshoutsluizen	Lek	WS Rivierenland Alblasserwaard	
N	Nieuwegein	ARK-Noordpand	Drinkwater	
	Nieuwersluis	ARK-Noordpand	Drinkwater	

Bijlage B Detailbeschrijving stuwcomplexen Nederrijn en Lek

De stuwen in de Nederrijn bestaan uit een aantal componenten (zie Fig. 24):

- Schutsluis
- Vistrap
- 2 vizierbogen
- Cilinderschuif

Bij voldoende hoge afvoeren is het hele complex buiten bedrijf: de vizierbogen staan omhoog en de scheepvaart hoeft geen gebruik te maken van de schutsluis. Ook de vistrap is buiten bedrijf. Bij afnemende afvoer worden de bogen gesloten en gaat de scheepvaart via de schutsluis. De waterstand wordt gereguleerd door de bogen verder of minder ver te openen. Het water stroomt onder de bogen door. Bij nog lagere afvoeren worden beide bogen volledig gesloten en wordt het waterpeil gereguleerd met de cilinderschuif, die zich in de middenpijler bevindt (zie Fig. 25).

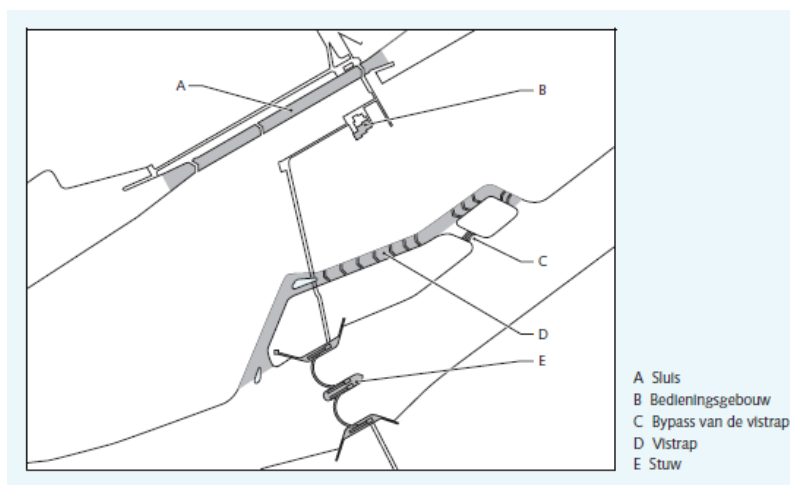


Fig. 24 Overzicht stuwcomplex Driel

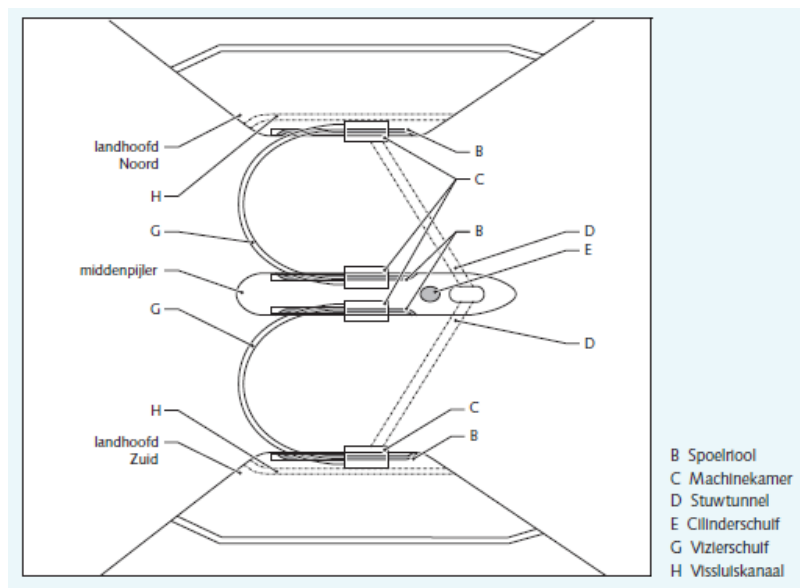


Fig. 25 vizierbogen en cilinderschuif Driel

Bijlage C Waterverdeling, spuiregime en waterstanden bij laag water

Stuwprogramma Nederrijn-Lek

Het stuwproces op de Nederrijn/Lek staat beschreven in een stuwschema, waarin de relaties tussen waterstanden en afvoeren staan vermeld die nagestreefd dienen te worden. Met behulp van dit schema worden de stuwen bij Driel, Amerongen en Hagestein bediend.

De uitgangspunten voor de stuwschema's zijn in de loop van de tijd altijd hetzelfde gebleven en gebaseerd op het stuwprogramma S285: bij afnemende Bovenrijnafvoer daalt de IJsselafvoer mee tot 285 m³/s. Daarna blijft de IJsselafvoer op dit niveau gehandhaafd tot op de Nederrijn een minimum afvoer is bereikt (tegenwoordig 30 m³/s). Vanaf dat moment zal, bij verder afnemen van de afvoer op de Bovenrijn, de afvoer over de IJssel ook afnemen. De stuw heeft dan geen invloed meer op de afvoerverdeling.

Als gevolg van natuurlijke veranderingen, wijzigen in de loop van de tijd de afvoerverdeling en de relaties tussen waterstanden en afvoeren (Q-h relaties). In de loop der jaren is formeel aan de waterstanden en afvoeren uit stuwschema's uit het verleden blijven vasthouden – uitgezonderd enkele afwijkingen uit scheepvaarttoegpunt. Het laatste formele stuwschema dateert uit 1990. Dit programma wijkt weinig af van de oorspronkelijke stuwprogramma's uit de jaren 70.

Stuw Driel

De stuw bij Driel (km 891) zorgt voor de waterverdeling over de IJsselkop en de vaardiepte op het traject Driel-IJsselkop. De huidige praktijk van het stuwen blijkt in beginsel weinig af te wijken van het stuwschema uit 1990. Bij een waterstand van NAP + 1000 cm bij Lobith wordt de stuw in bedrijf genomen conform het stuwschema. In de praktijk blijkt dat er vervolgens sneller dan beschreven in het stuwschema wordt opgestuwd naar een peil rond NAP + 760 cm bij Driel boven. Bij verder dalende afvoer wordt vervolgens het stuwschema gevolgd om de waterstand aan de IJsselkop zo lang mogelijk op NAP + 830 cm te houden. De waterstanden zijn herzien met behulp van de Afvoerverdeling Rijntakken 2000.1 en de Betrekkingslijnen Nederrijn/Lek 2001.1. Dit herziene stuwprogramma met bijbehorende grafiek vindt u in de bijlage.

Stuwen Amerongen en Hagestein

Stuw Amerongen bepaalt afhankelijk van de afvoer op de Nederrijn/Lek de waterstanden tussen Amerongen en Driel. Bij afnemende afvoer worden in het belang van de scheepvaart (vaardiepte), de polderdistricten (waterinlaten) en veerexploitanten (situatie bij de veerstoepen) maar vooral om voldoende verval te creëren voor de energiecentrale van de Nuon, de waterstanden direct bovenstrooms snel opgestuwd.

Stuw Hagestein regelt de waterstanden tussen Amerongen en Hagestein. De handhaving van de waterstand in dit rivierpand is niet alleen van belang voor de scheepvaart maar komt ook ten goede aan het deel van het Amsterdam-Rijnkanaal tussen Wijk bij Duurstede en Tiel. Daarnaast heeft de stuw Hagestein een rol in de energieopwekking door de waterkrachtcentrale Hagestein.

Stuw Hagestein en stuw Amerongen worden in principe gelijktijdig in bedrijf gesteld dan wel getrokken, bij een waterstand die al in 1978 is vastgelegd, NAP + 1140 cm bij Lobith. In de praktijk begint men bij Hagestein echter iets eerder met stuwen dan bij Amerongen: 2 à 3 uur eerder, maar wel op dezelfde dag. Dit om te voorkomen dat het water in dat 2e pand te snel wegzakt (om diezelfde reden haalt men ook liever bij vloed de stuw Hagestein uit bedrijf).

Bij het neerlaten van de stuw bij Amerongen stuwt men gelijk hoger op tot NAP + 550 cm bij Amerongen boven ten behoeve van hogere waterstanden bij de veerpont, het droog houden van de

vaste wachtplaats beneden en het opstarten van de turbines van de waterkrachtcentrale. Bij verder afnemende afvoeren sluit men de stuw geleidelijk tot het stuwpeil van NAP + 600 cm.

Bij stuw Hagestein stuwt men vanwege vaardiepte problemen ter plaatse van de bovenstroomse zwaairom van het sluiskanaal en de ondiepte in de bocht van de Redichemse Waard gelijk hoger op, tot NAP + 250 cm. Bij verder afnemende afvoeren sluit men de stuw geleidelijk tot het stuwpeil van NAP + 300 cm.

Gebruik van het stuwprogramma in de praktijk

Het stuwschema is meer een globale leidraad is dan een handleiding waarbij elke gewenste waterstand – afvoer relatie exact nagestreefd wordt. De reden is dat door de stuwmeesters bij de bediening rekening gehouden wordt met (voorspellingen van) afvoerverloop, waterstandsverloop en daarnaast ook met het voorkomen van ondieptes.

De tabel geeft de stuwschema's voor de 3 stuwen vanuit de laatst vastgestelde herziening in 2006. Deze zijn opgesteld met behulp van de Afvoerdeling Rijntakken 2000.1 en de Betrekkingslijnen Nederrijn/Lek 2001.1.

STUWPROGRAMMA Nederrijn-Lek

Gebaseerd op de Afvoerdeling Rijntakken 2000.1 en de Betrekkingslijnen Pann. Kan./Nederrijn/Lek 2001.1
Opgemaakt: 2005/2006

Stuw Driel					
Lobith	IJsselkop	Driel boven	Nederrijn	IJssel	
ws [cm]	ws [cm]	ws [cm]	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	
1000	880	740	435	350	open rivier
990	875	745	425	340	
980	865	750	415	330	
970	855	755	400	325	
960	850	760	385	315	
950	845	765	360	310	
940	840	770	340	305	
930	835	780	310	300	
920	835	790	280	300	
910	830	805	240	300	
900	830	815	200	295	
890	830	820	155	295	
880	830	825	105	295	
870	825	825	55	290	
865	820	820	30	285	voll. gestuwd

Stuw Amerongen				Stuw Hagestein			
Lobith		Nederrijn		Lobith	Hagestein bo- ven	Nederrijn	
Amerongen boven							
ws [cm]	ws [cm]	Q [m ³ /s]		ws [cm]	ws [cm]	Q [m ³ /s]	
1140	430	635	open rivier	1140	235	635	open rivier
1120	550	605		1120	245	605	
1100	560	570		1100	255	570	
1080	560	540		1080	265	540	
1060	570	515		1060	270	515	
1040	575	485		1040	280	485	
1020	575	460		1020	285	460	
1000	580	435		1000	285	435	
990	585	425		990	290	425	
980	590	415		980	295	415	
970	590	400		970	295	400	
960	590	385		960	295	385	
950	595	360		950	295	360	
940	595	340		940	300	340	
930	600	310		930	300	310	
920	600	280		920	300	280	
910	600	240		910	300	240	
900	600	200		900	300	200	
890	600	155		890	300	155	
880	600	105		880	300	105	
870	600	55		870	300	55	
865	600	30	voll. gestuwd	865	300	30	voll. gestuwd

Lozingsprogramma Haringvliet 1984

De manipulaties met de Haringvlietsluizen hebben direct invloed op de hydraulische situatie in de Rijn-Maasmonding. In grote lijnen ziet het lozingsprogramma er als volgt uit:

- bij afvoeren van de Rijn tot ca 1100 m³/s zijn de sluizen gesloten op de zout- en visriolen na. Deze staan alleen open als de buitenwaterstand lager is dan de binnenwaterstand. Via deze riolen wordt dan ongeveer 10 m³/s gespuid;
- bij afvoeren van de Rijn tussen 1100 m³/s en 1700 m³/s staan de sluizen 25 m² open als de buitenwaterstand lager is dan de binnenwaterstand. Op deze manier wordt een doorspoel-debiet voor het westelijk deel van het Haringvliet gehandhaafd van ca. 50 m³/s gemiddeld per getij;
- bij afvoeren van de Rijn tussen 1700 m³/s en 9500 m³/s wordt een bepaalde spui-opening ingesteld zodanig dat hoe groter de afvoer van de Rijn is des te groter de spui-opening. Natuurlijk wordt ook nu alleen gespuid als de buitenwaterstand lager is dan de binnenwaterstand;
- bij afvoeren van de Rijn groter dan ca. 9500 m³/s staan de sluizen helemaal open (6000 m²) als de buitenwaterstand lager is dan de binnenwaterstand. De benodigde spui-opening wordt ingesteld als de waterstand aan beide zijden van de sluizen gelijk is en het aan de zeezijde laagwater wordt. Als het aan de zeezijde hoogwater wordt, gaan de sluizen dicht bij gelijkwater.

Interacties

Het beheer van de verschillende kunstwerken beïnvloedt de waterverdeling en de bijbehorende chlorideconcentraties op de Rijntakken. In Tabel 6 is het beheer van de verschillende kunstwerken samengevat als functie van de waterstand bij Lobith.

Tabel 6 peilbeheer en waterverdeling op de Rijntakken afhankelijk van de waterstand bij Lobith

Lobith		Driel	Amerongen	Hagestein	Haringvliet	KWA	Prins Bernhard-sluizen
Waterstand [cm NAP]	Afvoer [m ³ /s]	Afvoer [m ³ /s]	stuwpeil [cm NAP]	Stuwpeil [cm NAP]	Afvoer [m ³ /s]		Waal bij Tiel < 300 cm NAP)
> 1140	> 3000	open	open	open	max. 9000	uit	dicht
1140	3000	open	550 – 580	245 – 285	ca 1400	uit	dicht
1000	2100	435	580 – 600	285 – 300	ca 400	uit	dicht
910	1700	240	600	300	50	uit	dicht
865	1500	25	600	300	50	uit	dicht
810	1300	25	600	300	50	uit	dicht/open
780	1200	25	600	300	50	uit	open
745	1100	25	600	280	10	aan	open
710	1000	25	600	255	10	aan	open
625	800	25	600	200	10	aan	open

Bijlage D Verantwoording berekeningen verzilting



Representatieve laagwatersituaties

Voor het beantwoorden van de centrale vragen van dit project is inzicht in de watervraag en het wateraanbod onder verschillende omstandigheden noodzakelijk. Het verkrijgen van dit inzicht is op een vergelijkbare wijze uitgewerkt als in Ref 32 en Ref 33, waarbij opeenvolgende maatgevende droogtestadia in beeld zijn gebracht. Met deze kenmerkende uitsneden wordt zo goed mogelijk het gehele speelveld aan droogte- en laagwatersituaties afgedekt.

Hierbij is het belangrijk te beseffen dat er in werkelijkheid vele variaties in vraag en aanbod optreden, bijvoorbeeld als gevolg van seizoensvariaties en ruimtelijke verschillen in neerslagtekort. Zo leidde de lage Rijnaafvoer van november 2011 tot weinig knelpunten vanwege de op dat moment lage watervraag. Vanwege het grote aantal variaties is voor het beschrijven van de kenmerkende droogte situaties uitgegaan van de meest waarschijnlijke representatie. Aanvullend hierbij worden belangrijke seizoensaspecten zoals nachtvorstbestrijding in het rapport benoemd.

In droge jaren kan de toestand zich vanuit het ene naar een volgend stadium ontwikkelen. Zo volgde bijvoorbeeld in 2003 de situatie 'Droog' op 'Matig droog'. Dit betekent dat de situatie 'Droog' niet de op de hele zomer van toepassing was, maar wel als de voor dat jaar maatgevende situatie mag worden beschouwd. In de knelpuntenanalyse van het Deltaprogramma Zoetwater worden gehele droogtejaren doorgerekend (met het Deltamodel), waarna aan de hand van indicatoren eventuele knelpunten tussen vraag en aanbod worden geïdentificeerd. De in het voorliggende rapport geschetste kenmerkende situaties geven geen informatie over de duur van een knelpunt, maar geven aan of er in de maatgevende situatie sprake is van een knelpunt (mismatch tussen vraag en aanbod).

In Tabel 7 zijn de beschouwde droge situaties beschreven. Voor de keuze van deze situaties is aangesloten bij Ref 32 en het Deltaprogramma Zoetwater. De herhalingstijden van de Lobith afvoeren zijn gebaseerd op een afvoerreeks van 1901 tot en met 2010.

Tabel 7. Herhalingstijd representatieve laagwatersituaties en referentiejaar.

	Debiet [m ³ /s]	Herhalingstijd Lobith-afvoer [jaar]	Referentie- droogtejaar	Herhalingstijd Totaal huidig [jaar]
Matig droog	1400	1.1	1996	7
Droog	1000	2.2	2003	10
Zeer droog	800	7.1	1976 / 2003	10 – 100
Extreem droog	600	120	1976 (STOOM)	>> 100

De in Tabel 7 gegeven situaties doen zich zowel in het huidige als het toekomstig klimaat voor. Alleen zullen de droge situaties zich in het geval van klimaatontwikkeling volgens W+ frequenter voordoen dan nu.

Het is belangrijk onderscheid te maken tussen het aspect laag water (rijnafvoeren) en droogte (neerslagtekort). Dit zijn twee verschillende factoren die veelal in combinatie leiden tot watertekort, een situatie waarbij het aanbod (vanuit het hoofdsysteem) onvoldoende is voor de vraag (vanuit het hoofdsysteem en de regionale systemen). Als er laagwater (weinig aanbod) optreedt tijdens situaties waarin de watervraag beperkt is, treden er geen knelpunten op, zoals in november 2011 is gebleken.

Binnen het Deltaprogramma zijn gehele jaren doorgerekend waarin het neerslagtekort zich gedurende het jaar ontwikkelt. De fluctuatie van de Rijnaafvoer is hierbij gebaseerd op modelberekeningen. In de tabel van de Deltascenario's wordt een extreem lage Rijnaafvoer van 630 m³/s gegeven (overschrijdingskans 0.1 per jaar). Deze is vooral bedoeld als indicator om de scenario's onderling te vergelijken. In het Deltaprogramma wordt niet met deze constante waarde gerekend, anders dan dat die waarde in een bepaald droogtejaar één dag zou kunnen zijn opgetreden (de waarde van 630 m³/s geeft het debiet aan dat één dag in de 10 jaar wordt onderschreden). Omdat voor de zoetwaterproblematiek langere perioden maatgevend zijn, kan het debiet dat één of meer decaden in de 10-100 jaar wordt onderschreden beter als basis kan gelden.

Randvoorwaarden rivierafvoer

Het uitgangspunt voor de bovenstroomse Rijnaafvoer is de situatie van augustus 2003, waarbij de periode van zeer laag water ongeveer twee weken aanhield, waarna de afvoer weer toenam tot normale lage waarden. Er zijn drie laagwatersituaties doorgerekend, overeenkomend met een afvoer bij Lobith van 1000 (droog), 800 (zeer droog) en 600 m³/s (extreem droog). In Fig. 26 is het afvoerverloop weergegeven, inclusief de stationaire inlooperperiode van twee maanden.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het Noordelijk Deltabekken Model (NDB), een deelmodel van het Deltamodel 1.0. Dit model strekt zich in oostelijke richting niet uit tot Lobith, maar slechts tot Tiel. Daarnaast is ook een bovenrandvoorwaarde noodzakelijk voor de Maas ter hoogte van Lith. De daadwerkelijk opgelegde bovenrandvoorwaarden (instroomdebieten) zijn afgeleid van de Lobith afvoer op basis van literatuur (Ref 32 en Ref 2) en staan weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Opgelegde instroomdebieten op de bovenrandvoorwaarden

Debiet Lobith [m ³ /s]	Debiet Waal bij Tiel	Debiet Maas bij Lith
600	465	55
800	620	65
1000	780	88
1400	1080	140

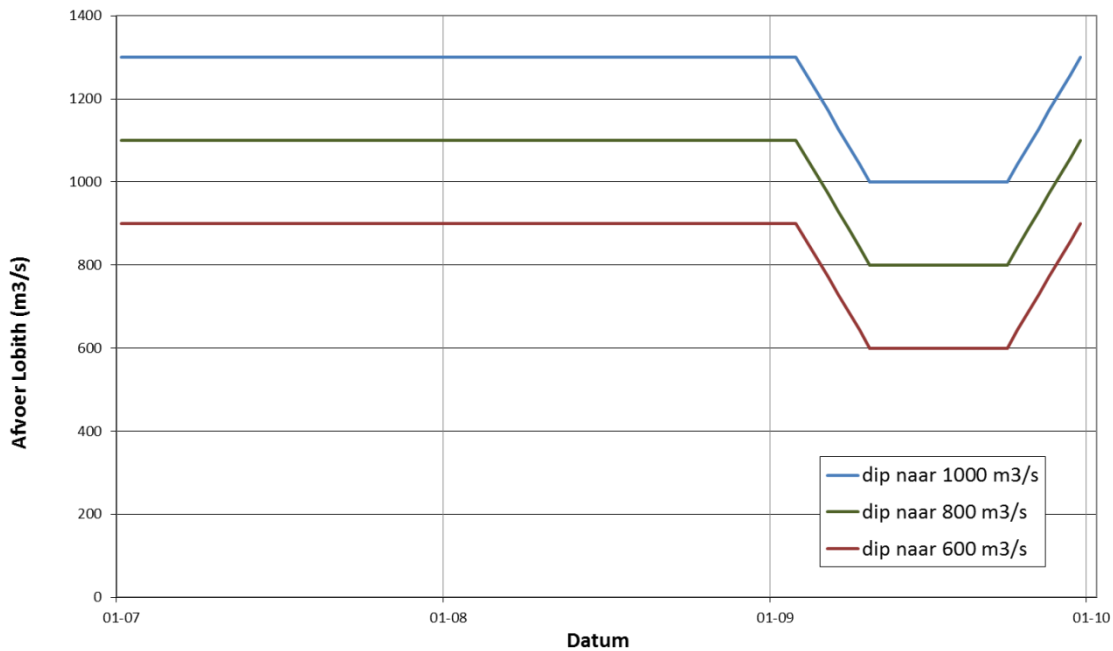


Fig. 26 Referentiesituatie voor de drie afvoervarianten. De opgelegde debieten op de instroompunten van het model zijn hiervan afgeleid.

Randvoorwaarden getijde en windopzet

Voor de benedenstroomse randvoorwaarde is een normale astronomisch getijdencyclus opgelegd, al dan niet in combinatie met springtij en een windopzet van 60 cm gedurende twee dagen. Zie Fig. 27. Een getijdencyclus duurt 28 dagen. Om de lengte van de meetreeks in overeenstemming te brengen met de rekenperiode, is de gemeten getijdencyclus – zonder windopzet – een aantal keer achter elkaar gezet. Het moment van windopzet is zo gekozen, dat deze altijd samenvalt met de laagste rivierafvoer.

De gebruikte waarden zijn afgeleid van gemeten waterstanden bij Hoek van Holland en opgelegd aan alle benedenstroomse randknopen, ook die bij het Haringvliet, hoewel de waterstanden hier iets verschillen van Hoek an Holland. Omdat deze studie zich richt op de zoutindringing via de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet niet in de beschouwing wordt betrokken, heeft deze vereenvoudiging geen invloed op de resultaten.

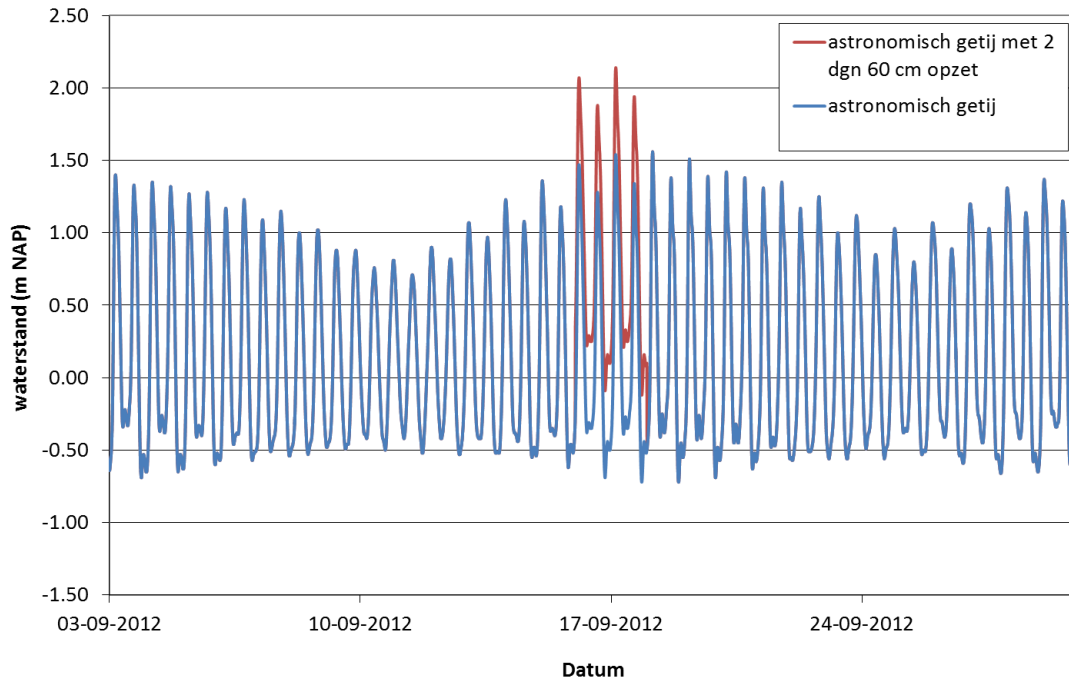


Fig. 27 Benedenstroomse randvoorwaarden, gebaseerd op een gemeten astronomisch getij en een met springtij samenvallende opzet van 60 cm gedurende 2 dagen.

Randvoorwaarden achtergrondconcentratie chloride

De achtergrondwaarden voor het chloridegehalte in de Rijn en de Maas zijn afgeleid uit literatuur. Voor Lobith is hierbij gebruik gemaakt van de in Ref 4 afgeleide relatie tussen afvoer en chlorideconcentratie:

$$C_t = C_c + 1000 \frac{L_c}{Q_t}$$

Waarbij voor deze studie is aangehouden:

$C_c = 47$ mg/l (basisconcentratie)

$L_c = 60$ kg/s (constante zoutvracht)

Voor Lith is een soortgelijke relatie aangereikt (Ref 2):

$$Cl_{Lith} = 48,35 \left(\frac{3000}{Q_{Lith}} \right)^{0.28}$$

De benedenstroomse chlorideconcentraties zijn overgenomen uit het NDB. Deze bedraagt voor Hoek van Holland 31 g/l en voor het Haringvliet buitengaats 34 g/l.

Bijlage E Detailinformatie waterbalansen

Letter	Naam inlaat (beheerder)	Inlaat vanuit	Inlaat naar	Watervraag bij de inlaat = gebruikte capaciteit (m ³ /s)				Opmerking
				Matig droog, 1996	Droog, 2003 (incl. KWA)	Droog, 2003 (excl. KWA)	Extreem droog, 1976 (incl KWA)	
	Lobith			1400	1000	1000	800	
-	Oranjesluizen (RWS)	IJ	Noordzee kanaal	0	0	0	0	Doorspoelen zouttong NZK gemiddeld 12 m ³ /s (bron: KA). In 2003 niet doorgespoeld. Daarom er vanuit gegaan dat in andere jaren dat ook niet het geval is geweest. Ligt buiten plangebied, dus niet in waterbalans opgenomen.
A	Pannerling ^{1,4} (WSRL)	Pannerdensch Kanaal	Linge		1.76	1.76	2.78	Mogelijk knelpunt bij lage waterstand Pannerdens Kanaal, waardoor lager wateraanbod is richting Neder-Betuwe en Beneden Linge en er in de Over-Betuwe (afhankelijk van dit inlaatpunt) een knelpunt kan ontstaan. Kritische waterstand is NAP +6.5 m. Waterstand bij 800 m ³ /s bedraagt ~NAP +6.8 m. Wel sprake van afnemende capaciteit als gevolg van hogere opvoerhoogte.
A	Vitens (WSRL)	Pannerdens Kanaal	Gebied 'Vitens'		0.02	0.02	0.03	
B	Grebbesluis (WSVV)	Nederrijn	Valleikanaal	1	2,5	2,5	2,5	
C	Kuykgemaal ² (WSRL)	Nederrijn	Neder-Betuwe		0.68	0.68	1.08	Mogelijk knelpunt bij lage waterstand Nederrijn wanneer waterstand tot onder NAP +5.60 m zakt (aanzanding watergang), waardoor lager wateraanbod is richting Neder Betuwe.
C	Bonte morgen (WSRL)	Nederrijn	Neder-Betuwe		0.32	0.32	0.51	Aanzanding van de watergang kan voor beperking inlaatmogelijkheden zorgen. Als de waterstand in stuwpannd Amerongen zakt tot NAP +5.80 m, kan dit tot lager wateraanbod richting Neder Betuwe leiden.
D	Inlaat Kromme Rijn (HDSR)	Lek	Kromme Rijn-gebied	6,0	7,0	7,0	max 10	Capaciteit varieert met waterstand op de Lek. Inlaat Kromme Rijn niet in waterbalans ARK-Noordpand. Getallen praktijk 2003 KWA inclusief inlaat (7 m ³ /s), gemaal Voorhavendijk (0,7 m ³ /s) en noodpomp (1 m ³ /s). Bij nachtvorstbestrijding is de watervraag van Kromme Rijn-gebied 12 m ³ /s/.

Letter	Naam inlaat (beheerder)	Inlaat vanuit	Inlaat naar	Watervraag bij de inlaat = gebruikte capaciteit (m ³ /s)				Opmerking
				Matig droog, 1996	Droog, 2003 (incl. KWA)	Droog, 2003 (excl. KWA)	Extreem droog, 1976 (incl KWA)	
	Lobith			1400	1000	1000	800	
E	Van Beuningen ³ (WSRL)	ARK (Betuwepand)	Beneden Linge		1,56	1,56	2,47	Wordt ingezet als er problemen zijn met inlaat vanuit Panerling of Kuijk, geen standaard onttrekking.
E	Drielandpunt (WSRL)	ARK (Betuwepand)	Beneden Linge		0,11	0,11	0,17	mogelijk knelpunt bij lage waterstand Lek, waardoor lager wateraanbod is richting Beneden Linge. Is sprake van vjz-el.
F	Gemaal Kerkeland (HDSR)	ARK Noordpand	Eiland van Schalkwijk	0,9	1,1	1,1	1,1	Bij sluis Zuid wordt soms noodpomp neergezet van 0,3 m ³ /s als extra inlaatwater voor Eiland van Schalkwijk.
F	Gemaal Goyerbrug (HDSR)	ARK Noordpand	Eiland van Schalkwijk	1,1	1,25	1,25	1,25	Bij sluis Zuid wordt soms een noodpomp neergezet van 0,3 m ³ /s als extra inlaat voor Eiland van Schalkwijk.
F	Gemaal Caspargouw (HDSR)	ARK Noordpand	Kromme Rijngebied	1,4	2,8	2,8	> 2,8	In 2003 totaal 9,1 m ³ /s Kromme Rijngebied. Voor HDSR is 1996 net zo droog als 2003, maar dan zonder KWA. Bij gemaal Caspargouw kunnen noodpompen geplaatst worden. Bij nachtvorstbestrijding is de watervraag voor Kromme Rijngebied 12 m ³ /s.
F	Gemaal Voorhavendijk (HDSR)	ARK Noordpand	Kromme Rijngebied	0,2	0,7	0,7	> 0,7	Bij nachtvorstbestrijding is de watervraag van het Kromme Rijngebied 12 m ³ /s.
G	Gemaal de Aanvoerder (HDSR)	ARK Noordpand	HDSR	0	6,2	0	6,2	(Bron: KA, 2011). Volgens KWA 7,0 maar 6,2 m ³ /s blijkt max.
G	Inlaat de Aanvoerder (HDSR)	ARK Noordpand	HDSR	3,4	0	4	0	bron: KA, 2011. Max. inlaatcapaciteit is niet bekend, 4 m ³ /s is haalbaar bij normaal peilverschil tussen ARK en Leidsche Rijn.
G	Noordergemaal (RWS)	ARK Noordpand	Doorslag/GHollands e IJssel	2,6	6,1	3	6,1	bron: KA, 2011

Letter	Naam inlaat (beheerder)	Inlaat vanuit	Inlaat naar	Watervraag bij de inlaat = gebruikte capaciteit (m ³ /s)				Opmerking
				Matig droog, 1996	Droog, 2003 (incl. KWA)	Droog, 2003 (excl. KWA)	Extreem droog, 1976 (incl KWA)	
	Lobith			1400	1000	1000	800	
G	Noordergemaal oost (RWS)	ARK Noordpand	Stadswater Utrecht of Merwedekanaal	2,6	4,1	3	5,9	in jaar als 2006, vraag is 0,4 m ³ /s, rest doorgespoeld naar AGV 3,8 m ³ /s (zie weerdsluis). In 2003 5,9, waarvan 2 m ³ /s naar Weerdsluis in 1996 ook. Bron: KA, 2011
H	Oude Sluis Vreeswijk (HDSR)	Lek	Merwede kanaal	0,4	0	0	0	Inname vanuit Lek, niet ARK, dus niet in waterbalans (bron, KA 2011). Er vanuit gaande dat aanvoer 0 is in alle andere droge jaren. In tijden van KWA kan deze inlaat vaak niet worden ingezet.
H	De Koekoek (HDSR)	Lek	Lopikerwaard	2,6	4,9	3,0	>4,9	In tijden van de KWA in werking. Waarde is waterakkoord, geen gemeten waarde uit 2003 (bron: KA, 2011). Zonder KWA 3 m ³ /s. Inname vanuit Lek, niet ARK, dus niet in waterbalans
I	Krimpenerwaard (HHSK)	Lek	Krimpenerwaard	0,9	2,4	2,4	?	De maximale watervraag voor de Krimpenerwaard in ca 4,5 m ³ /s. De weergeven inlaatcijfers voor 2003 betreffen de gemiddelde watervraag voor de inlaatperiode van de drie droge maanden in 2003.
J	Boezemgemaal Gouda (Rijnland)	Hollandse IJssel	Rijnland	16 ⁶	0	20-23 ⁵	0	Er wordt doorgaans ingelaten bij afnemend tij op Hollandse IJssel, in 2 blokken van ca. 6 uur per etmaal. Getallen in tabel zijn daggemiddelden
J	Waiersluis (RWS)	Hollandse IJssel	HDSR		0		0	Zie opmerking 8 onder deze tabel.
K	Snelle Sluis ⁷ (HHSK)	Hollandse IJssel	Schieland	?	0	2,5	?	Bron: Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (M. Lips 2012)
K	Langeland en Kortland (HHSK)	Hollandse IJssel	Krimpenerwaard	0,2	0	0	?	Bron: Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (M. Lips 2012)

Letter	Naam inlaat (beheerder)	Inlaat vanuit	Inlaat naar	Watervraag bij de inlaat = gebruikte capaciteit (m ³ /s)				Opmerking
				Matig droog, 1996	Droog, 2003 (incl. KWA)	Droog, 2003 (excl. KWA)	Extreem droog, 1976 (incl KWA)	
	Lobith			1400	1000	1000	800	
K	Kromme Geer en Zijde (HHSK)	Hollandse IJssel	Krimpenerwaard	0	0	0	?	Bron: Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (M. Lips 2012)
K	Johannes Veurink (HHSK)	Hollandse IJssel	Krimpenerwaard	0,1	0	0	?	Bron: Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (M. Lips 2012)
K	De Nesse (HHSK)	Hollandse IJssel	Krimpenerwaard	0	0	0	?	Bron: Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (M. Lips 2012)
K	Verdoold (HHSK)	Hollandse IJssel	Krimpenerwaard	0,2	0,6	0,6	?	Bron: Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (M. Lips 2012)
L	Open verbinding boezem AGV en ARK	nvt	nvt	< 2	2	2	2	Watervraag polders voorziening vanuit Lekwater (bron: KA 2011). Ingeschat dat in drogere jaren meer water nodig is en in minder droge jaren minder.
L	Zeesluis Muiden (AGV)	Gooimeer	ARK via Vecht	-2	-7	-7	-7	De Vechtboezem levert per saldo water aan het ARK. De waterinlaat bij Muiden is bedoeld voor eigen gebruik en doorspoeling. Een groot deel van dit water stroomt naar het ARK, daarbij aangevuld met kwelwater uit droogmakerijen (o.a. Horstermeer).
M	Elshoutsluizen Kinderdijk (WSRL)	Lek	Alblasserwaard	< 4	4,0	4,0	4,9	Bron: zoetwaterverkenning Rivierengebied (2011)
N	Nieuwegein	ARK	Drinkwater	3,7	3,7	3,7	3,7	Waarden gebaseerd op analyse Ref 32
N	Nieuwersluis	ARK	Drinkwater	2,8	2,8	2,8	2,8	Waarden gebaseerd op analyse Ref 32

Opmerkingen bij de tabel:

1. In de tabel staat de waterbehoefte voor de drie droogtejaren voor droge perioden in de nazomer. Met de nachtvorstbestrijding in het voorjaar is geen rekening gehouden. De waterbehoefte zal gemiddeld met een factor 2 à 3 toenemen over hele gebied (bron: mondeling toelichting dhr. Drost, Waterschap Rivierenland).
2. In de tabel is voor de solitaire, niet geschakelde aanvoergebieden de watervraag gegeven. Het inlaatgebied en het inlaatpunt zijn daarbij 1op1 gekoppeld. In werkelijkheid kunnen meerdere inlaatpunten hetzelfde gebied van water voorzien.
3. Het aanvoergebied van de Linge zelf is verdisconteerd in de andere aanvoergebieden.
4. Gemaal Pannerling is voor $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ vergund
5. Bij Boezemgemaal Gouda is in 2003 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ is ingelaten in de periode 26 augustus t/m 12 september 2003, via de KWA en de Tolhuissluis. Waren deze er niet geweest dan had er verzilt water ingelaten moeten worden bij Gouda, met alle consequenties van dien. In de betreffende periode was er slechts een beperkte doorvoer naar Delfland ($0.7 \text{ m}^3/\text{s}$). Wanneer de doorvoer naar Delfland en Schieland maximaal zou zijn, komt op de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ nog ca. $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bovenop. Vandaar de range van 20 tot $23 \text{ m}^3/\text{s}$.
6. Uit oude balansen blijkt dat in de 2^e decade van juni 1996 is gemiddeld $16,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ingelaten bij Gouda.
7. In 1976 is via de Krimpenerwaard (via inlaten uit de lek) extra water ingelaten met doorvoer naar gemaal Verdoold, bedoeld voor de watervoorziening van Schieland (dus lozing op een verzilte Hollandse IJssel en onttrekking bij de Snelle Sluis). Waarschijnlijk is zo ca $2 \text{ m}^3/\text{s}$ extra water ingelaten vanuit de Lek.
8. Bij een watervraag in de Lopikerwaard of elders op de westelijke boezem van HDSR wordt tegenwoordig in eerste instantie gekozen om in te laten bij het Waaiergemaal. Dit levert per tij ca $10 \text{ m}^3/\text{s}$ op. Als niet kan worden ingelaten, door bijv. te slechte kwaliteit (wat praktisch alleen voor komt bij KWA situaties), dan wordt het Noordergemaal ingezet. Dit levert $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (in de praktijk is dit $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$).

Bijlage F Berekening afvoercapaciteit Stuw Driel bij laagwater

Het stuwcomplex Driel kan via vijf wegen water doorvoeren naar het stuwpannd Amerongen (zie Fig. 28). De interesse gaat in dit geval hoofdzakelijk uit naar de afvoercapaciteit van de cilinderbuis (C), omdat deze verantwoordelijk is voor de doorvoer bij laagwater.

De analytische berekeningen en de modelresultaten hebben enkel betrekking op de afvoer via de cilinderbuis (C). Het debietmeetpunt (De ADM) staat bovenstrooms van de inlaat van de vistrap. Het debiet over de vistrap (E) is dan ook bij de meetwaarden inbegrepen. In de vergelijking van de drie analyses (zie Fig. 11 in paragraaf 2.5) wordt voor de verschillende locaties van de analyses gecompenseerd, zodat alle resultaten uiteindelijk de totale doorvoer naar het stuwpannd Amerongen laten zien. In deze bijlage staan de drie analysemethoden toegelicht.

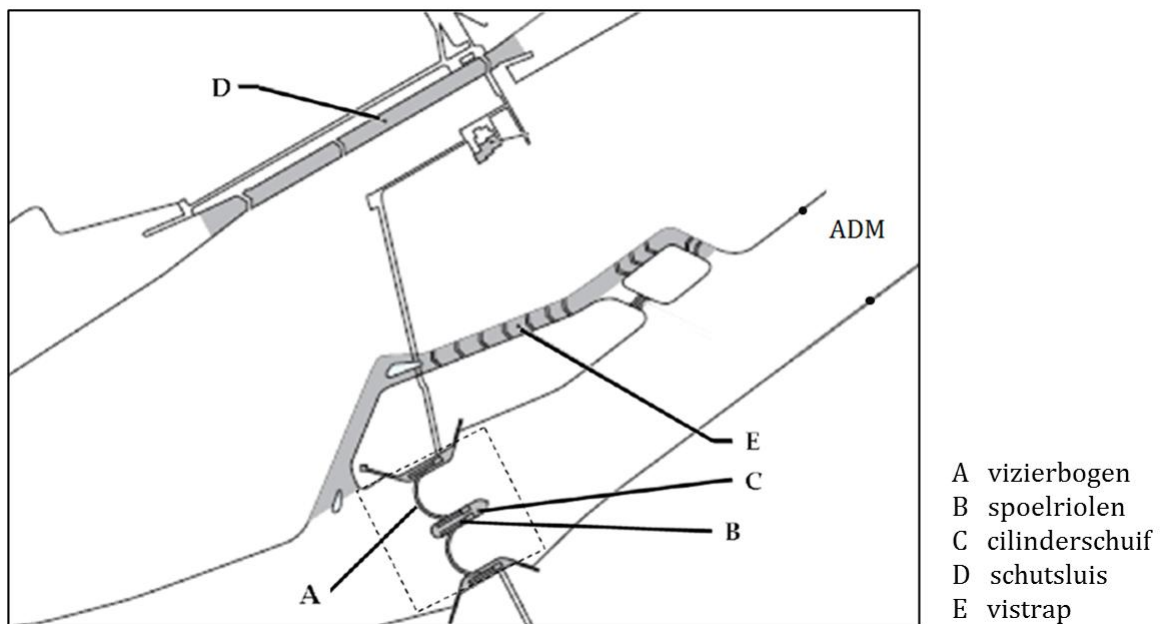


Fig. 28 Overzicht afvoerstromen stuwcomplex Driel

Analytische berekeningen

De inlaat van de cilinderbuis bevindt zich op +5,95 m NAP, terwijl de waterstand van stuwpannd Amerongen op +6,00 m NAP wordt gehouden (zie Fig. 29). Daarom wordt aangenomen dat de buis volledig gevuld is met water en de inlaat verdronken.

Het debiet Q door de buis wordt als volgt berekend:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{K}} A \sqrt{2g\Delta h}$$

Hierin is A de doorsnede van de buis, g de valversnelling, K de totale verliesfactor en Δh het verval.

Gegeven de afmetingen van de buis wordt het debiet bepaald door het verval (Δh) en de verliesfactor (K). Deze laatste wordt bepaald door de vorm en het materiaal van de buisconstructie.

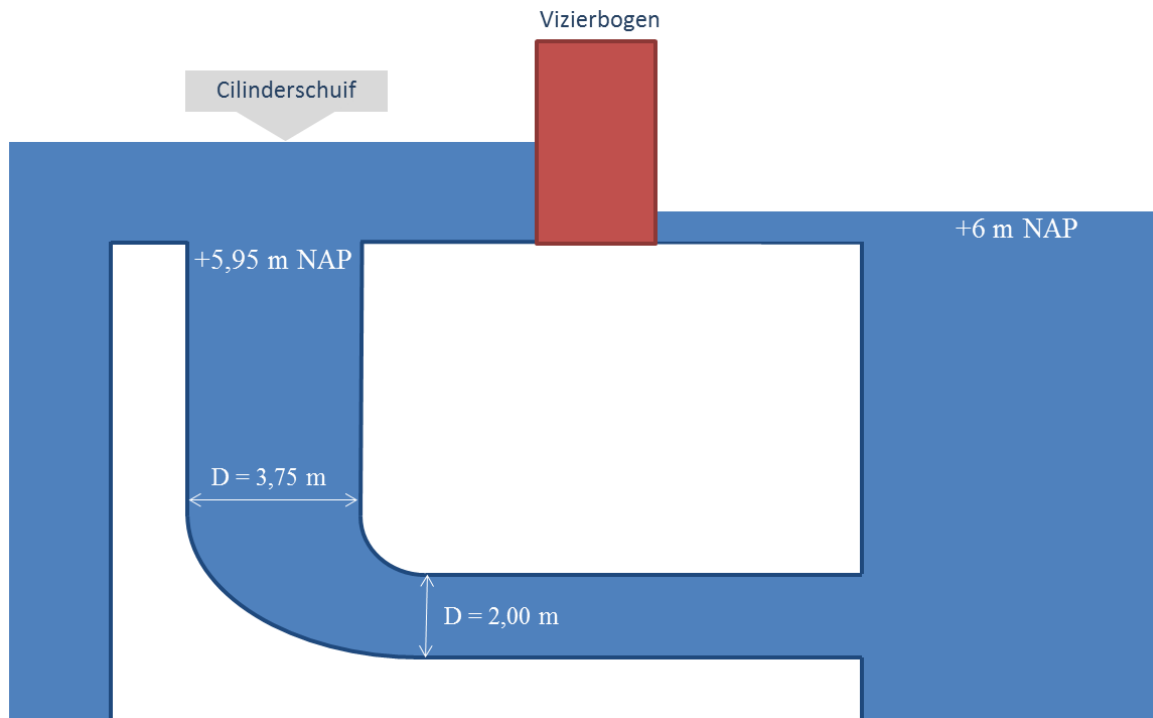


Fig. 29 Zijaanzicht cilinderbuis

De energieverliezen, in dit geval samengevat in factor K , zorgen voor een afname in de stroomsnelheid. In dit geval treden lokale energieverliezen op als gevolg van de intreeconstructie, de bocht met vernauwing en de uittreeconstructie van de buis. Daarnaast zorgt de wrijving met de wand voor energieverliezen. Tabel 9 geeft aan welke waarden voor de verliezen zijn aangenomen en tot welke totale factor dit heeft geleid.

Tabel 9 Samenstelling verliesfactor K

<i>Verliesfactor</i>	<i>Waarde [-]</i>
Intree	0.05
Bocht met vernauwing	0.21
Uittree	1.00
Wrijving (m.b.n. Darcy-Weisbach)	0.77
Totaal (K)	2.03
$\frac{1}{\sqrt{K}}$	0.70

Modelresultaten LSM1.0

Het Landelijk Sobekmodel versie 1.0 (LSM1.0) is gebruikt voor deze analyse. Het model berekent het debiet door de cilinderbuis onder laagwateromstandigheden volgens dezelfde methode als omschreven bij de analytische berekeningen. In het model, zoals op 1 oktober 2012 opgeleverd door de Waterdienst, zijn echter geen energieverliezen meegenomen, d.w.z. $K = 1$. De met het LSM berekende debiet door de cilinderbuis is dan ook structureel hoger dan de analytische berekeningen aangeven.

Voor de analyse is met het LSM het debiet in de periode 1 augustus – 10 oktober 2003 bepaald.

Meetdata ADM

De Akoestische debietmeetinstallatie (ADM) van Driel bevindt zich in de hoofdwaterloop tussen de inlaat naar het schutkanaal en de vistrap (zie Fig. 28). Een ADM meet de stroomsnelheid van het water op een vaste hoogte en rekent deze om naar een debiet.

Ook hier zijn de debieten uit de laagwaterperiode van 1 augustus tot en met 10 oktober 2003 gebruikt voor de analyse.

Bijlage G Beschrijving en effecten beheersvarianten

Om inzicht te krijgen in het effect van extra onttrekkingen op het hoofwatersysteem is de verandering van de verziltingssituatie berekend voor vier beheersvarianten. De getalsmatige beschrijving van de varianten (in m³/s) is in Tabel 10 weergegeven.

Tabel 10 Debieten en onttrekkingen [m³/s] per beheersvariant

Kraan	Referentie	Ref. excl. KWA	KWA+	KWA+ & Hagestein	Toekomst max (incl. KWA+)
Hoofwatersysteem					
Pr Bernardsluizen (ARK Betuwepand)	20	20	35	60	65
Pr Irenesluizen (ARK Noordpand)	30	30	40	40	40
Hagestein (Lek)	1	1	1	25	25
Regionale onttrekkingen					
Pannerling en Vitens	3	3	3	3	5
Kuijk en Bontemorgen	2	2	2	2	3
Vallei en Veluwe	3	3	3	3	3
Kromme Rijn	7	7	7	7	10
Beuningen en Drielandenpunt	3	3	3	3	5
Kinderdijk / Alblasserwaard	4	4	4	4	6.5
KWA	Aan	Uit	Aan	Aan	Aan
Gemaal Koekoek e.d. (onttrekkingen Lek)	5	3	25	25	25
Krimpenerwaard	3	3	3	3	9
Gouda (onttrekking Hollandse IJssel)	0	20	15	15	20

De fluctuaties zijn in beeld gebracht voor zeven karakteristieke locaties in de Rijn-Maasmonding:

- De Hollandse IJssel bij Gouda
- De monding van de Hollandse IJssel, nabij de stormvloedkering in Krimpen aan den IJssel
- De Lek ter hoogte van het inlaatpunt voor de Alblasserwaard, nabij Kinderdijk
- De Lek ter hoogte van het inlaatpunt voor de Krimpenerwaard, nabij Streefkerk
- De Lek ter hoogte het inlaatpunt bij gemaal Koekoek nabij Lopik
- De Noord ter hoogte van Ridderkerk
- Het Spui ter hoogte van Bernisse en de inlaat naar het Brielse Meer

De berekeningsresultaten zijn weergegeven in de grafieken op de volgende pagina's.

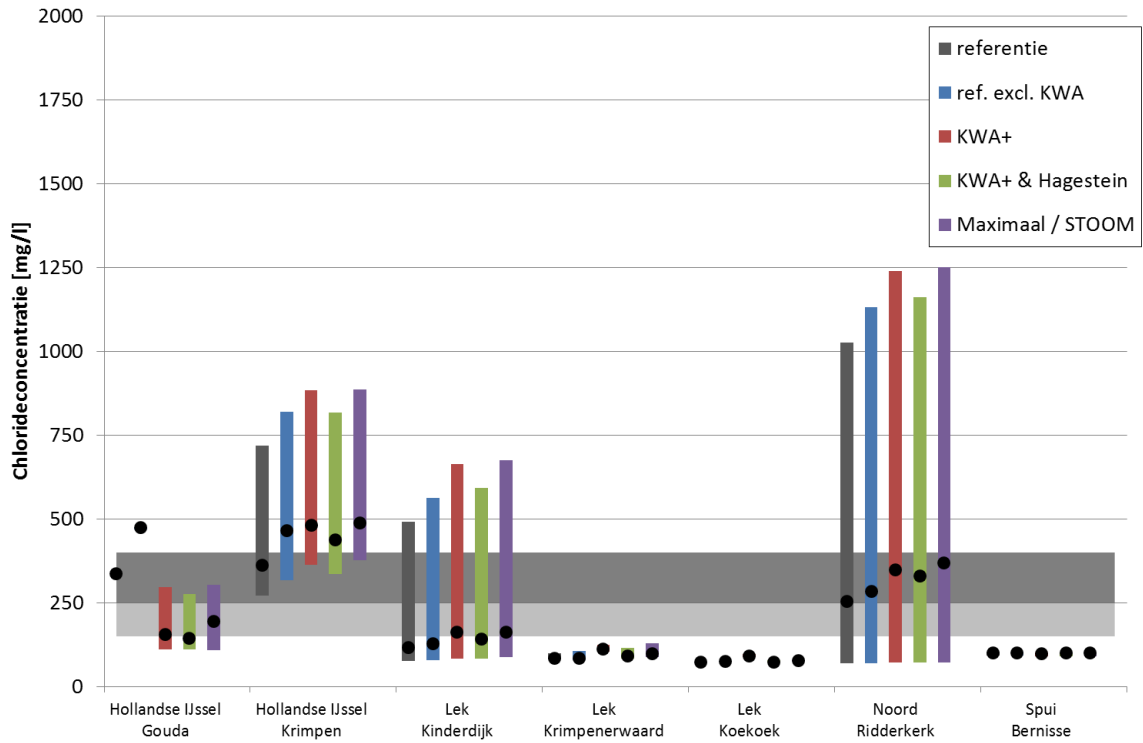


Fig. 30 Effect van de beheersvarianten op de chlorideconcentraties bij een afvoer van $800 \text{ m}^3/\text{s}$ zonder windopzet.

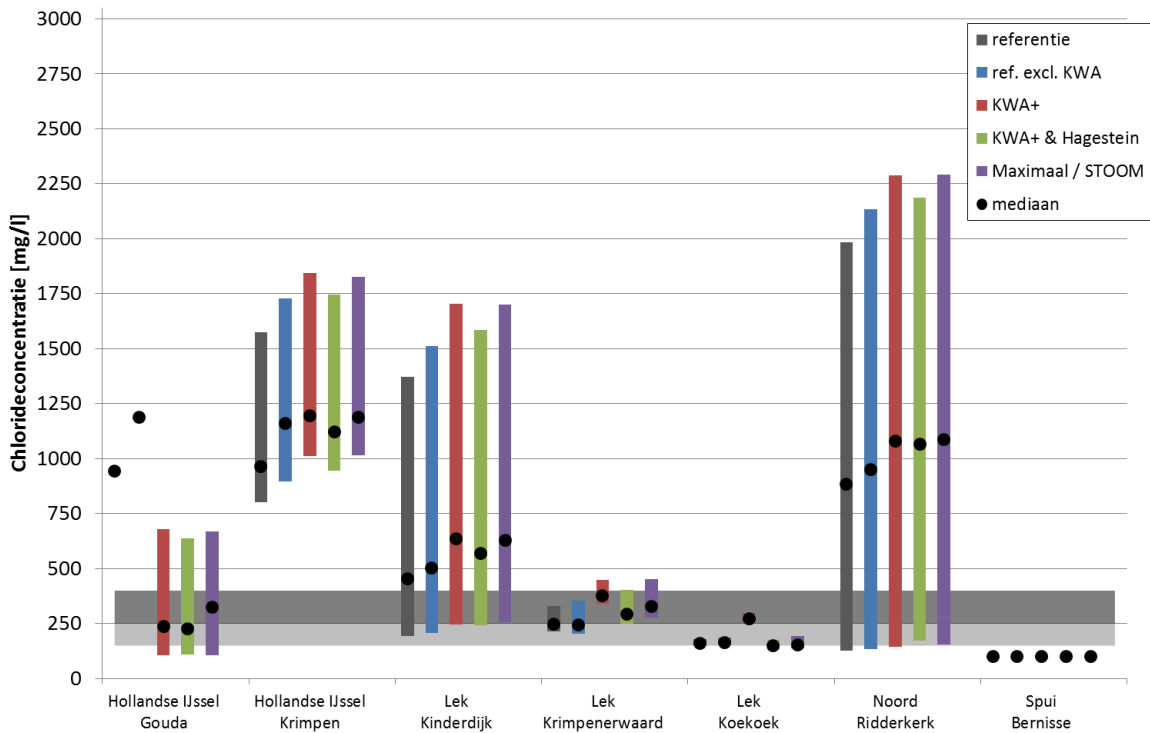


Fig. 31 Effect van de beheersvarianten op de chlorideconcentraties bij een afvoer van $600 \text{ m}^3/\text{s}$ zonder windopzet.

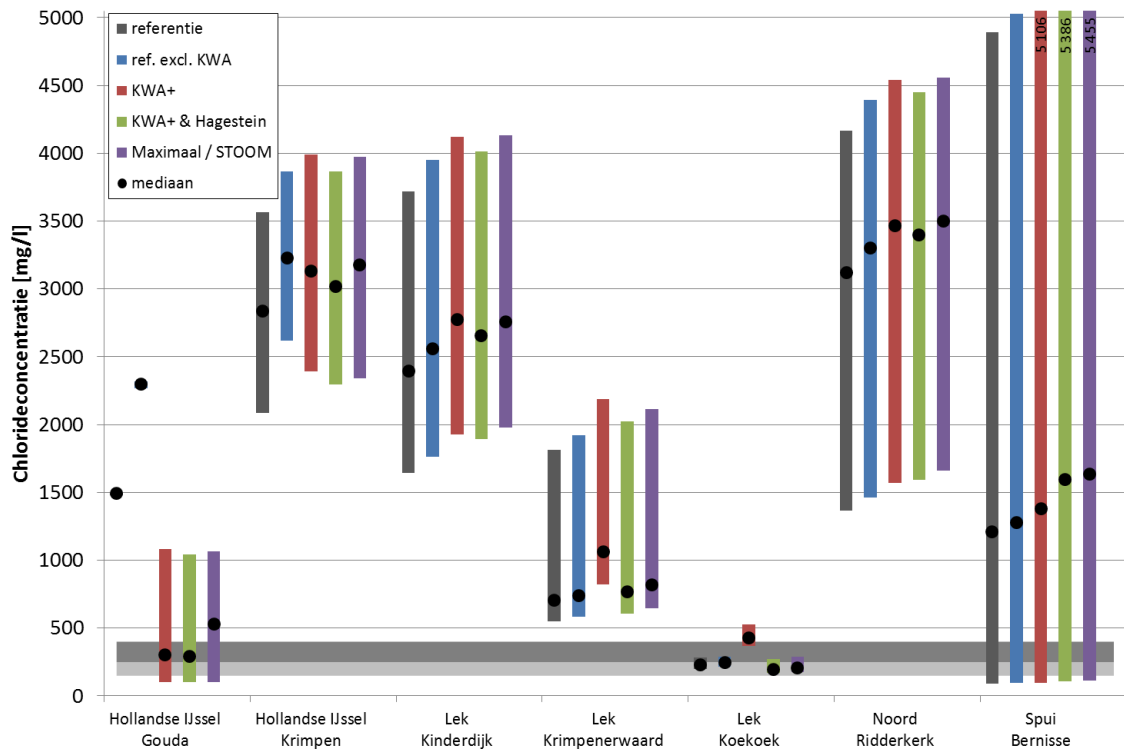


Fig. 32 Effect van de beheersvarianten op de chlorideconcentraties bij een afvoer van $600 \text{ m}^3/\text{s}$ met windopzet.