

## Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal

Functie Zoetwatervoorziening



**Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal**  
Functie Zoetwatervoorziening

**Auteur(s)**

Marnix van der Vat

Voorkant: Langsdam bij Dreumel (foto door Frank Collas)

## Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal

Functie Zoetwatervoorziening




<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	Arjan Sieben
<b>Referenties</b>	Van der Vat (2021), Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal; Functie Zoetwatervoorziening. Rapport Deltares, 11204644, Delft, september 2021.
<b>Trefwoorden</b>	Waal, langsdammen, zoetwatervoorziening

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	19-11-2021
<b>Projectnummer</b>	11204644-011
<b>Document ID</b>	11204644-011-ZWS-0002
<b>Pagina's</b>	38
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Marnix van der Vat met een bijdrage van Wim de Lange in paragraaf 5.4.1	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Marnix van der Vat	Marjolein Mens	Bianca Peters	
				

# Samenvatting

Langsdammen in een rivier zijn naar verwachting gunstiger voor hoogwaterveiligheid, vaarweg, natuur en zoetwatervoorziening dan kribben. Daarom zijn in 2014 en 2015 in de Waal bij Wamel, Dreumel en Ophemert (rivierkilometer 911-922) drie langsdammen aangelegd, als een pilot binnen het project Kribverlaging op de Waal van het programma Ruimte voor de Rivier. De pilot moet uitwijzen of de verwachte baten in de praktijk daadwerkelijk behaald worden zonder excessieve toename van beheer en onderhoud. Voor, tijdens en na de aanleg van de langsdammen is een uitgebreid monitorings- en onderzoeksprogramma uitgevoerd. Bij de afronding van dit programma heeft Rijkswaterstaat aan Deltares gevraagd om een integrale eindevaluatie te verzorgen van de resultaten. Het doel van deze eindevaluatie is het met kennis en feiten onderbouwen van een advies dat Rijkswaterstaat moet geven aan de Minister van Infrastructuur en Waterstaat.

Deze eindevaluatie is onderverdeeld in 11 inhoudelijke deelprojecten, aangeduid met "WP" (werkpakket), die elk een afzonderlijk achtergrondrapport leveren. Voor u ligt het achtergrondrapport van WP9 over het effect van langsdammen op de functie Zoetwatervoorziening. Het effect op hoogwaterveiligheid is het onderwerp van de rapportage van WP6. Aanleg van langsdammen in de Waal bij Wamel, Dreumel en Ophemert kan de zoetwatervoorziening beïnvloeden doordat de waterstand bij lage afvoeren kan veranderen, waarbij van een toename van de waterstand een positief effect op de zoetwatervoorziening verwacht wordt. Dit rapport beoogt de vraag te beantwoorden hoe langsdammen bij kunnen dragen aan de nationale zoetwatervoorziening (de hoofdvraag). Om deze vraag te beantwoorden is gekeken wat de effecten van de langsdammen uit de pilot op de waterstand bij lage rivierafvoeren zijn en wat de effecten daarvan zijn voor de zoetwatervoorziening.

Naast de hoofdvraag zijn er drie deelvragen geformuleerd:

1. Welke instelling van de instroomopeningen verhoogt de rivierwaterstand bij het Amsterdam-Rijnkanaal?
2. Hoe beïnvloedt optimalisatie van de zoetwatervoorziening de andere functies en thema's?
3. Wat is met name de invloed van de afvoer over het Amsterdam-Rijnkanaal op de waterstanden in de Waal bij lage rivierafvoer? Wat is de consequentie voor de diepte in de vaarweg?

De effecten van de langsdammen uit de pilot op laagwaterstanden zijn geanalyseerd op basis van metingen en Delft3D-berekeningen. De metingen laten zien dat na de aanleg van de langsdammen de dalend trend in de waterstand bij Tiel, bij gelijke afvoer, gestopt is. Het blijkt niet mogelijk om op basis van de metingen het waterstandseffect van de verschillen in de instroomopeningen te bepalen, hoewel er wel aanwijzingen zijn dat het gedeeltelijk sluiten van de instroomopeningen geleid moet hebben tot meer afvoer door de hoofdgeul en een hogere waterstand.

De modelresultaten zijn gebruikt om het effect van de verschillende varianten van de langsdammen op de zoetwatervoorziening te bepalen. Het voordeel van numerieke simulaties is dat het geïsoleerde effect van de langsdammen onderzocht kan worden, zonder dat andere effecten zoals andere ingrepen of variabiliteit in afvoer of andere variabelen het beeld verstoren. De modelresultaten lijken de gemeten waterstandseffecten van de langsdammen goed weer te geven, hoewel er mogelijk sprake is van lichte overschatting van het waterstandseffect.

Volgens de modelresultaten wordt de waterstand het meest verhoogd door de langsdammen waarbij de instroomopeningen van de oevers gesloten zijn. Dit leidt tot een maximale toename van de waterstand bij het Amsterdam-Rijnkanaal van 13 cm, bij een afvoer bij Lobith van 1.020 m<sup>3</sup>/s, en van 10 cm bij een afvoer van 800 m<sup>3</sup>/s (deelvraag 1).

Voor vijf onderwerpen is het effect van de langsdammen uit de pilot nader onderzocht.

#### *Aanvoer van zoetwater naar West-Nederland door het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal*

Bij droogte wordt zoetwater uit de Waal naar West-Nederland gevoerd via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal, de stuw Hagestein en de Prinses Irenesluizen. Het verval bij de stuw Hagestein en de Prinses Irenesluizen verandert door de verhoging van de waterstand die een gevolg is van de aanleg van de langsdammen. Dat verval bedraagt bij lage afvoeren circa 2 meter. Een toename van dit verval met maximaal 20 cm als gevolg van de langsdammen zal geen significant effect hebben op de afvoer. Daarom hebben de langsdammen van de pilot geen effect op de watervoorziening voor West-Nederland.

#### *Effect van wateronttrekking op de diepte in de vaarweg*

De Hotspotanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater voorziet een maximale onttrekking van 80 m<sup>3</sup>/s zoetwater voor West-Nederland via het Amsterdam-Rijnkanaal. Dit verlaagt de afvoer en de waterstand op de Waal benedenstrooms. Bij laagwater leidt dit tot een afname van de waterstanden en een toename van de vaarbeperingen. Het benedenstroomse riviertraject met de grootste vaarbepering bevindt zich bij Sint Andries op rivierkilometer 927. De langsdammen van de pilot liggen bovenstrooms van Sint Andries en hebben daardoor logischerwijs geen effect op deze waterstand. Nader onderzoek zou uit kunnen wijzen of langsdammen ter plaatse bij Sint Andries de vaarbeperingen kunnen verminderen en zo de afname van de diepte in de vaarweg door wateronttrekking voor West-Nederland kunnen beperken. Het is aan te bevelen hierbij vooral te kijken naar langsdammen met gesloten openingen bij lagere waterstanden.

#### *Regionale inlaatpunten*

Hogere laagwaterstanden op de Waal bij Tiel, in het Betuwepand en in het stuwpand Hagestein beïnvloeden de regionale inlaatpunten gunstig doordat ze ertoe leiden dat de drempelwaarden voor het onder vrij verval inlaten van water minder vaak overschreden worden. Een analyse van de waterstanden in het droge jaar 2018 gecombineerd met de gesimuleerde waterstandseffecten van de langsdammen uit de pilot, laat zien dat de langsdammen met gedeeltelijk afgesloten instroomopeningen voor de regionale inlaatpunten Kromme Rijn, Prins Bernhardsluizen en Tiel geleid hebben tot enkele dagen minder overschrijding ten opzichte van de variant zonder langsdammen, op een totaal van 25 tot 109 dagen. De variant met maximale waterstandverhoging, met geheel gesloten instroomopeningen, verkleint het aantal dagen overschrijding met 19 tot 24 dagen.

#### *Grondwatervoorraad*

Verandering van de waterstand op de Waal heeft ook effect op de uitwisseling met het regionale grondwater en het grondwater in de uiterwaarden. Bij laagwater is de waterstand in de rivier lager dan de grondwaterstand en vindt er wegzijging plaats van het grondwater naar de rivier. Er is een inschatting gemaakt van het effect op de regionale waterbalans van het Land van Maas en Waal voor een waterstandstijging op de rivier met gemiddeld 5 cm over een traject van 10 km. De wegzijging naar de rivier vermindert daardoor, volgens een grove schatting met ongeveer 5%.

Eerdere studies laten zien dat een stijging van de grondwaterstand in de uiterwaarden leidt tot een lichte verbetering van de omstandigheden voor het habitatype vochtige alluviale bossen.

### *Zoutindringing in de Rijn-Maasmonding*

De langsdammen zouden verder nog effect kunnen hebben op de zoetwatervoorziening als zij de zoutindringing in de Rijn-Maasmonding zouden beïnvloeden, doordat de bodemligging in het riviertraject met zoutindringing of de afvoerverdeling over de Rijntakken verandert. Dit is niet het geval voor de langsdammen van de pilot, maar zou wel een effect kunnen zijn bij de toepassing van langsdammen in het gebied gevoelig voor zoutindringing of in de buurt van de splitsingspunten van de Rijntakken.

### *Conclusie*

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat de bijdrage van de langsdammen uit de pilot bij Wamel, Dreumel en Ophemert op de zoetwatervoorziening vooral zit in de interactie met het regionale watersysteem via inlaten en via het grondwater (hoofdvraag).

De eerder uitgevoerde *Hotspotanalyses voor het Deltaprogramma Zoetwater* formuleert voor de hotspot Midden-rivierengebied een aantal keuzes met betrekking tot de waterverdeling die naar verwachting onder het Warm2050 scenario eens in de 5 jaar gemaakt moet worden:

- Extra wateraanvoer uit de Waal via het ARK-Betuwapand (met als gevolg negatieve effecten voor de scheepvaartsector);
- Minder water naar de Lek (effecten drinkwatersector);
- Minder water naar het ARK-Noordpand (effecten regionale watervoorziening, natuur, drinkwatersector);
- Meer water via sluis Driel (effect op IJsselafvoer); en
- Minder regionale onttrekkingen vanuit het ARK-Betuwapand en vanuit de Nederrijn.

Deze lijst geeft een overzicht van de functies en thema's die beïnvloed worden door de optimalisatie van de watervoorziening (deelvraag 2).

Op basis van metingen uit het droge jaar 2018 wordt ingeschat dat het effect van een onttrekking uit de Waal naar het Amsterdam-Rijnkanaal van 68 m<sup>3</sup>/s een waterstandsdaling van 15 cm bij Tiel geeft. Dit komt redelijk overeen met het op basis van modelberekeningen verwachte effect van 2,1 mm per m<sup>3</sup>/s voor St. Andries. Beleidsmatig wordt nu uitgegaan van een maximale onttrekking van 80 m<sup>3</sup>/s, wat op basis van bovenstaande neerkomt op een waterstandsdaling van 17 tot 20 cm. Deze waterstandsdaling verkleint de diepte in de vaarweg met een zelfde aantal centimeters. (deelvraag 3). Sluiting van de instroomopeningen van de langsdammen uit de pilot kan bij Tiel hiervan tot 13 cm compenseren.

Uitvoering van langsdammen over een langer traject zal naar verwachting leiden tot een groter waterstandseffect over een langer traject dan uit de pilot naar voren is gekomen. Het benedenstrooms verlengen van de langsdammen uit de pilot tot voorbij Sint Andries zou de bovengenoemde effecten van de langsdammen uit de pilot kunnen versterken. De effecten van onttrekkingen ten behoeve van zoetwatervoorziening zouden hierdoor kunnen verkleinen. Dit zou een bijdrage kunnen leveren aan de nationale zoetwatervoorziening als hiermee de waterstandsverlaging als gevolg van de extra afvoer via het Amsterdam-Rijnkanaal gecompenseerd zou kunnen worden.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Aanpak</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Doorgerekende varianten</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Effect op de waterstand bij laagwater</b>	<b>14</b>
4.1	Metingen	14
4.2	Modelresultaten	16
<b>5</b>	<b>Effecten op de zoetwatervoorziening</b>	<b>21</b>
5.1	Aanvoer naar West-Nederland via het Betuwepand	21
5.2	Effect van onttrekking op de diepte in de vaarweg	23
5.3	Regionale inlaatpunten	24
5.4	Grondwatervoorraad	25
5.4.1	Regionaal grondwater	26
5.4.2	Grondwater in de uiterwaarden	28
5.5	Zoutindringing in de Rijn-Maasmonding	29
<b>6</b>	<b>Invloed zoetwatervoorziening op de andere functies en thema's</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Mogelijke effecten van verder uitrollen langsdammen</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Conclusies</b>	<b>33</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>37</b>

# 1 Inleiding

Het riviersysteem van de Rijn, met daarin alle Nederlandse Rijntakken, kent problemen met onder meer hoogwaterveiligheid, insnijding van de zomerbedbodem, daling van laagwaterstanden en grondwaterstanden, de kwaliteit van het rivierecosysteem, en het gebruik van de rivier als vaarweg. De laatste decennia wordt onderkend dat de sectorale aanpak niet efficiënt is. De beleidsdirecties van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat hebben de wens uitgesproken voor een meer innovatieve systeem- en gebiedsgerichte aanpak, met integrale aandacht voor alle probleemvelden tegelijk. Deze integrale aanpak beoogt de som van alle problemen te reduceren in plaats van slechts de problemen van een beperkt aantal sectoren.

Voor deze integrale aanpak heeft Rijkswaterstaat Oost-Nederland een idee gelanceerd onder de werknaam WaalSamen. Dit is een plan voor herinrichting van het zomerbed in de gehele Waal. De herinrichting wijzigt het principe van het bestaande normalisatiesysteem door het zomerbed te verdelen in twee parallelle stroomgeulen, gescheiden door een langsdam. Om de eigenschappen van deze systeemwijziging in de praktijk te beproeven is over een lengte van tien kilometer de pilot Langsdammen uitgevoerd. Het doel daarvan is een proof of concept, om meer zekerheid te verkrijgen over de integrale werking en de potenties van een dergelijke systeemwijziging.

Voor de pilot werd het Waaltraject Wamel-Ophemert (km 911.5-921.5) bij Tiel gekozen. Om redenen van efficiëntie werd de pilot tegelijk uitgevoerd met Fase III van het project Kribverlaging Waal van het programma Ruimte voor de Rivier. Hiervoor leverde Rijkswaterstaat Oost-Nederland op 30 juni 2011 de producten van een SNIP-3-besluit op aan de Programmadirectie Ruimte voor de Rivier van Rijkswaterstaat, inclusief een omwisselbesluit om geplande kribverlaging te vervangen door langsdammen. De Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat bekrachtigde dit eind 2011. De langsdammen tussen Wamel en Ophemert werden vervolgens in de periode van augustus 2014 tot maart 2016 gerealiseerd.

Voor, tijdens en na de aanleg van de langsdammen is een uitgebreid monitorings- en onderzoeksprogramma uitgevoerd door de partners van de samenwerkingsovereenkomst 'WaalSamen'. Dit programma is afgesloten met een integrale eindevaluatie, onderverdeeld in 12 inhoudelijke deelprojecten die worden aangeduid met "WP" (werkpakket). Voor u ligt het deelrapport van WP9 over het onderdeel van de evaluatie van het tweegeulensysteem met langsdammen dat gericht is op de functie zoetwatervoorziening. De deelrapporten vormen de ondergrond van het hoofdrapport, maar de inzichten en conclusies zijn bij het opstellen van dat hoofdrapport integraler beschouwd, verder geëvolueerd en verduidelijkt. Waar dat mogelijk tot verschillen heeft geleid, zijn de conclusies van het hoofdrapport leidend.

Aanleg van langsdammen in de Waal bij Wamel, Dreumel en Ophemert kan de zoetwatervoorziening beïnvloeden doordat de waterstand bij lage afvoeren kan veranderen, waarbij van een toename van de waterstand een positief effect op de zoetwatervoorziening verwacht wordt. Dit rapport beoogt de vraag te beantwoorden hoe langsdammen bij kunnen dragen aan de nationale zoetwatervoorziening (de hoofdvraag). Om deze vraag te beantwoorden is gekeken wat de effecten van de langsdammen op de waterstand bij lage rivierafvoeren zijn en wat de effecten daarvan zijn voor de zoetwatervoorziening.

Naast de hoofdvraag zijn er drie deelvragen geformuleerd:

- 1 Welke instelling van de instroomopeningen verhoogt de rivierwaterstand bij het Amsterdam-Rijnkanaal?
- 2 Hoe beïnvloedt optimalisatie van de zoetwatervoorziening de andere functies en thema's?



- 3 Wat is met name de invloed van de afvoer over het Amsterdam-Rijnkanaal op de waterstanden in de Waal bij lage rivierafvoer? Wat is de consequentie voor de diepte in de vaarweg?

Hoofdstuk 2 beschrijft de aanpak van dit onderzoek en hoofdstuk 3 de varianten. In hoofdstuk 4 worden de effecten van de langsdammen op de waterstand bij laagwater gepresenteerd. De mogelijke effecten op de zoetwatervoorziening worden in hoofdstuk 5 geanalyseerd:

- Aanvoer van zoetwater van de Waal naar West-Nederland door het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal (Hoofdstuk 5.1);
- Effect van onttrekking op de diepte in de vaarweg (Hoofdstuk 5.2)
- Regionale inlaatpunten (Hoofdstuk 5.3);
- Grondwatervoorraad (Hoofdstuk 5.4); en
- Zoutindringing in de Rijn-Maasmond (Hoofdstuk 5.5).

Hoofdstuk 6 geeft een beschrijving van de invloed van de optimalisatie van de zoetwatervoorziening op de andere functies en thema's en met name de invloed op de waterstanden in de Waal. In Hoofdstuk 7 worden beknopt de mogelijke effecten van een verdere uitrol van langsdammen besproken en Hoofdstuk 8 vat kort de conclusies samen.

## 2 Aanpak

De beschrijving van de aanpak in dit rapport is ontleend aan de beschrijving in het achtergrondrapport van WP6 met betrekking tot waterveiligheid (Asselman & de Grave, 2021).

Bij het bestuderen van het effect van de langsdammen op laagwaterstanden is gebruik gemaakt van meetgegevens en modelberekeningen. De analyse van de meetgegevens is beschreven in het achtergrondrapport van WP0 (De Jong et al, 2021). In deze rapportage worden de resultaten van deze analyse gebruikt om het effect op de zoetwatervoorziening te analyseren. De volgende meetgegevens zijn gebruikt:

- Waterstandsmetingen van waterstanden op verschillende locaties op de aslijn van de rivier;
- Waterstandsmetingen in de oeversgeulen die ontstaan zijn tussen de langsdammen en de uiterwaarden;
- Grondwaterstandsmetingen; en
- Waterstandsmetingen in het regionale oppervlaktewater.

De modelberekeningen zijn uitgevoerd met Delft3D en zijn uitgebreid beschreven in de technische achtergrondrapporten van WP1 en WP2 (Paarlberg et al., 2021, en Zuidervijk & De Jong, 2021). WP1 (Paarlberg et al., 2021) beschrijft de berekeningen die zijn uitgevoerd voor de basisvarianten en WP2 (Zuidervijk & De Jong, 2021) beschrijft de berekeningen die zijn uitgevoerd bij het verkennen van de mogelijkheden voor de optimalisatie .

Het model bestaat uit een 2D diepte gemiddeld Delft3D-model van de Waal (Omer et al., 2019). Dit model bevat de langsdammen die in 2015 zijn aangelegd, evenals de geulen die achter de langsdammen zijn aangelegd. Het model is 47 km lang. De bovenrand van het model ligt bij Nijmegen (~km888). De benedenrand bevindt zich ongeveer bij Zaltbommel (~km 934,7). De basisgegevens zijn conform de data in Baseline-j18. Voor de referentiesituatie is op de locatie waar nu de langsdammen liggen gebruik gemaakt van de baseline gegevens uit 2014 (Baseline-j14).

Met het model is een reeks aan afvoeren door gerekend, te weten 800 m<sup>3</sup>/s, 1.020 m<sup>3</sup>/s, 1.500 m<sup>3</sup>/s, 2.500 m<sup>3</sup>/s, 4.000 m<sup>3</sup>/s, 6.000 m<sup>3</sup>/s, 8.000 m<sup>3</sup>/s, 10.000 m<sup>3</sup>/s, 12.000 m<sup>3</sup>/s, 16.000 m<sup>3</sup>/s en 18.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith. Om het effect van langsdammen op de zoetwatervoorziening te bepalen is enkel gekeken naar het waterstandseffect bij lage afvoeren, 1.500 m<sup>3</sup>/s bij Lobith en minder.

Voor meer informatie over de uitgevoerde berekeningen, de daarbij gehanteerde uitgangspunten en de verificatie van de modelresultaten wordt verwezen naar Paarlberg et al. (2021).

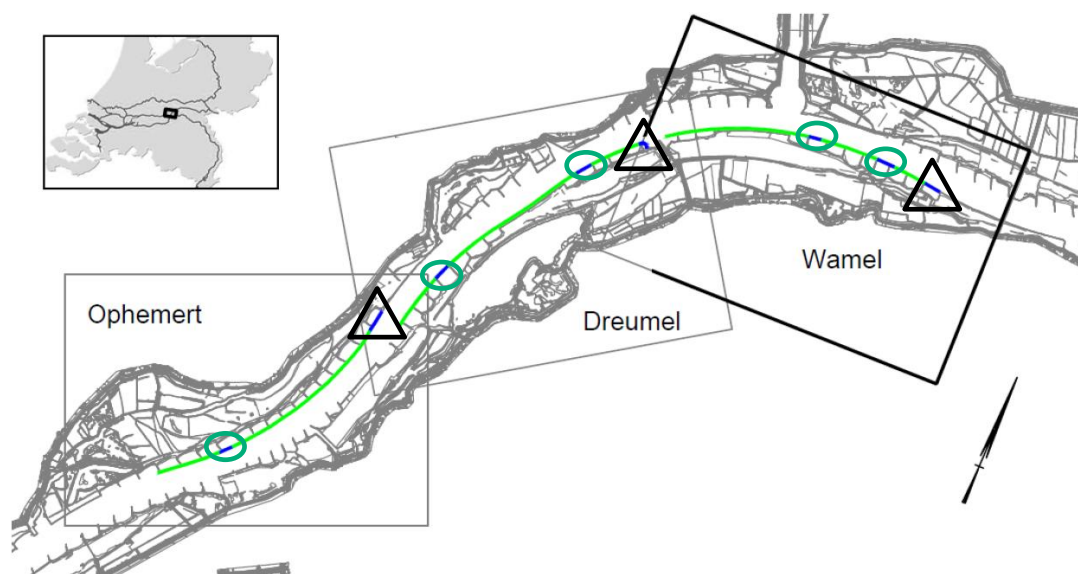
### 3 Doorgerekende varianten

De beschrijving van de doorgerekende varianten in dit rapport is ontleend aan de beschrijving in het achtergrondrapport van WP6 met betrekking tot waterveiligheid (Asselman & de Grave, 2021).

In 2014 en 2015 zijn drie langsdammen aangelegd in de Waal, bij Wamel, bij Dreumel en bij Ophemert (Figuur 1). De situatie na aanleg vormt de basis van variant 1 in deze studie. Naast variant 1, is het effect van een aantal andere varianten verkend. Hierbij is onderscheid gemaakt in een aantal basisvarianten die sterk lijken op variant 1, en een aantal varianten die zijn gericht op de verdere optimalisatie van het ontwerp van de langsdammen voor 1 of meer functies.

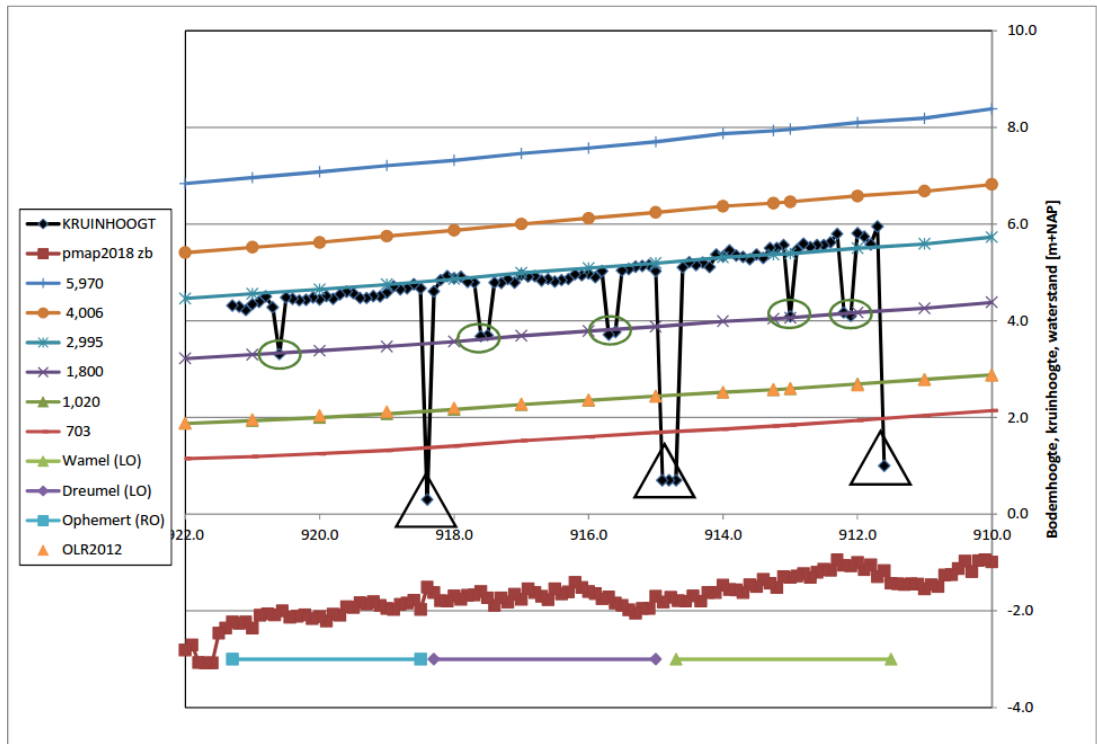
De basisvarianten bestaan uit:

- V0+ - referentie situatie: deze variant is gebruikt om de waterstanden voor aanleg van de langsdammen te bepalen.
- V1 - langsdammen met volledige open instroomopening: Er is sprake van 3 langsdammen bij Wamel, Dreumel en Ophemert. In de geul achter de langsdammen bevindt zich aan de bovenstroomse zijde steeds een instroomopening met een overlaat (zie de driehoekjes in Figuur 1). In deze variant, zijn de instroomopeningen geheel open. In onderstaande tekst wordt deze situatie nader beschreven.
- V2- langsdammen met gesloten instroomopeningen: deze variant komt overeen met V1, alleen zijn de instroomopeningen aan de bovenstroomse zijde van de oevergeul geheel gesloten.
- V3 – langsdammen met hoger liggende instroomopeningen: deze variant lijkt op V1, maar de instroomopeningen aan de bovenstroomse zijdes, zijn deels gesloten. Deze variant komt overeen met de huidige situatie in het veld, na aanpassing in 2018.



Figuur 1 Ligging van de langsdammen in de Waal. Driehoekjes tonen de ligging van de overlaten aan de bovenstroomse zijde van de langsdammen, de cirkels tonen de ligging van de tussenopeningen.

Alle langsdammen hebben een instroomopening aan de bovenzijde. De instroming wordt bepaald via een overlaat die beneden OLR<sup>1</sup> ligt. De langsdammen bij Wamel en Dreumel hebben 2 tussenopeningen. De langsdam bij Ophemert heeft slechts 1 tussenopening. De hoogteligging van de langsdammen is te zien in Figuur 2. De kruinhoogte ligt bijna 3 m boven OLR en stroomt over bij een afvoer te Lobith van ongeveer 3.000 m<sup>3</sup>/s. De tussenopeningen liggen 1,15 m lager dan de kruin (OLR +1,25m). Deze stromen over bij een afvoer te Lobith van ongeveer 1.800 m<sup>3</sup>/s. De overlatten aan de bovenstroomse zijde van langsdam liggen bijna 2 m beneden OLR.



**Figuur 2** Kruinhoogte langsdammen en hoogteligging overlatten instroomopeningen V1. De zwarte driehoeken hebben betrekking op de hoogteligging van de instroomopeningen aan de bovenzijde (ligging zie Figuur 1). De groene cirkels tonen de hoogteligging van de tussenopeningen. Deze stromen over bij een afvoer te Lobith van ongeveer 1800 m<sup>3</sup>/s. De kruin stroomt over bij een afvoer van ongeveer 3000 m<sup>3</sup>/s.

Naast de basisvarianten, is ook gekeken naar een aantal optimalisatievarianten (zie Zuiderwijk & De Jong, 2021). Deze varianten zijn kort beschreven in Tabel 1.

<sup>1</sup> OLR is de overeengekomen lage rivierstand. Deze waterstanden horen bij een afvoer van 1020 m<sup>3</sup>/s te Lobith.

Tabel 1 Varianten die onderzocht zijn om het ontwerp te optimaliseren.

Code	Modelvariant	Omschrijving
Vopt_01	LD_h_min_0p5	De langsdam wordt 0,5 m verlaagd (hoogte verandert van OLR+2,75 m naar OLR+2,25 m)
Vopt_02	LD_h_min_1p0	De langsdam wordt 1,0 m verlaagd (hoogte verandert van OLR+2,75 m naar OLR+1,75 m)
Vopt_03	TO_h_dicht_050p	De drempel in de tussenopeningen wordt verhoogd, zodat de doorstroomopening met 50% afneemt. In V1 was de drempelhoogte OLR-1,25 m, dit wordt OLR+2,0 m
Vopt_04	TO_h_dicht_100p	De drempel in de tussenopeningen wordt verhoogd tot OLR+2,75 m. De doorstroomopening is 100% gesloten.
Vopt_05a	OG_h_OLR_min_0p00	De minimale bodemhoogte in de oevertgeul bedraagt OLR0,0 m. In V1 varieert de bodemligging (~ OLR-4,75 m).
Vopt_05b	OG_h_OLR_min_2p75	De minimale bodemhoogte in de oevertgeul bedraagt OLR-2,75 m. In V1 varieert de bodemligging (~ OLR-4,75 m).
Vopt_06a	OG_w_100p_d_OLR_min_2p75	De breedte van de oevertgeul bedraagt overal 110/120 m en de bodemhoogte ligt overal op OLR-2,75. Bij V1 varieert de breedte (ca 50 tot 120m).
Vopt_06b	OG_w_075p_d_OLR_min_2p75	De breedte van de oevertgeul bedraagt 75% <sup>2</sup> van de breedte van optie 6a
Vopt_06c	OG_w_050p_d_OLR_min_2p75	De breedte van de oevertgeul bedraagt 50% <sup>2</sup> van de breedte van optie 6a
Vopt_07	V1_no_dam_in_bed_weir	De langsdam wordt verwijderd, er komt een verticale damwand voor in de plaats.

Voor optimalisatievarianten Vopt\_01 en Vopt\_02 geldt dat deze lijken op basisvariant V1, maar dat de bovenkant van de langsdam is verlaagd met respectievelijk 0,5 en 1,0 m.

Voor optimalisatievarianten Vopt\_03 en Vopt\_04 geldt dat de hoogte van de tussenopeningen is verhoogd, zodat het doorstroomoppervlak van de tussenopeningen met 50%, respectievelijk 100% wordt gereduceerd. In dat laatste geval zijn de tussenopeningen dus geheel gesloten.

Bij optimalisatievarianten Vopt\_05a en Vopt\_05b is gekeken naar het effect van de bodemhoogte in de oevertgeul achter de langsdam. In optie 5a is de bodemligging gelijk gesteld aan OLR. Bij Vopt\_05b ligt de bodem 2.75 m lager dan OLR.

Bij optimalisatievarianten Vopt\_06a t/m Vopt\_06c is de breedte van de oevertgeul gevarieerd. Hierbij is aangenomen dat de geul een uniforme bodemligging van 2,75 m beneden OLR heeft. De breedte van de geul is maximaal in Vopt\_06a en bedraagt daar 110 à 120 m. Ter vergelijking: in variant V1 is sprake van oevertgeul met variabele breedte, variërend van ongeveer 50 m tot 120 m. In Vopt\_06b is de oevertgeul 25% smaller dan in Vopt\_06a. De hoogteligging is ongewijzigd. In Vopt\_06c neemt de breedte met 50% af<sup>2</sup>.

Bij optimalisatievariant Vopt\_07 is de langsdam verwijderd en vervangen door een verticale damwand. Ter vergelijking, in variant V1 is sprake van een langsdam gemaakt van breuksteen, met een kruinhoogte van OLR+2,75m en een talud van 1:2,5. Ook in Vopt\_08 is de langsdam vervangen door een damwand, alleen is de damwand hier poreus.

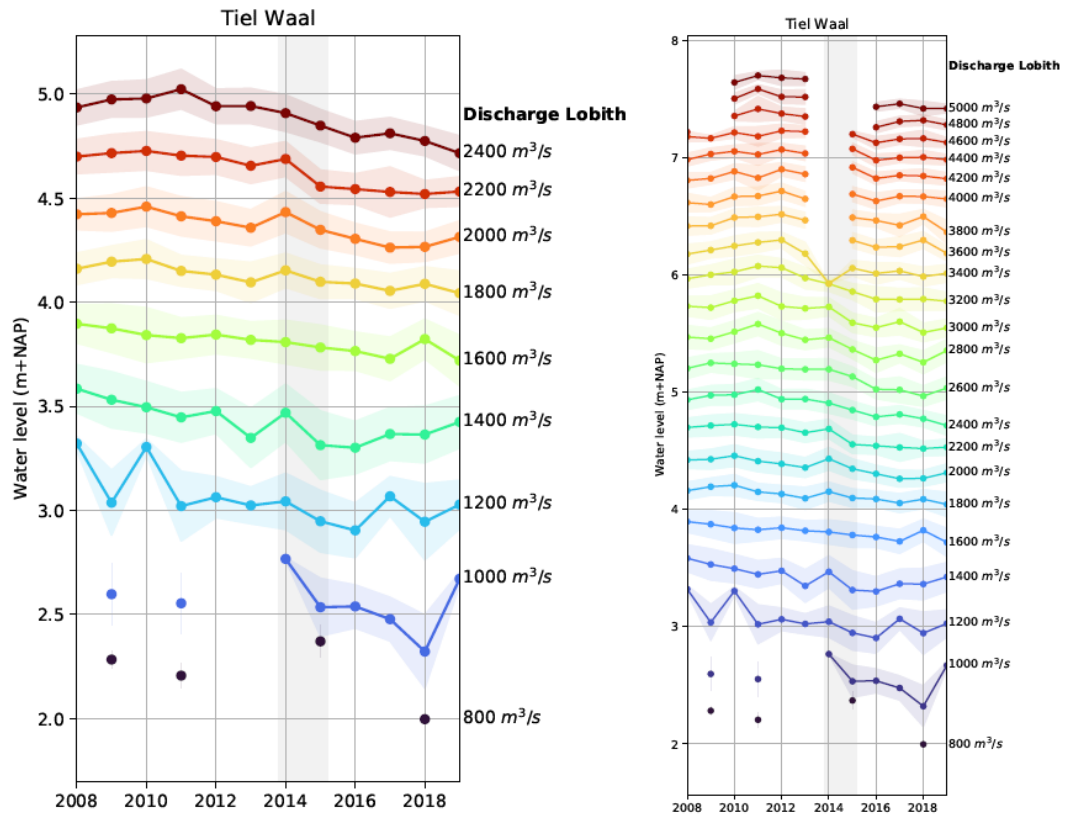
Het effect van deze optimalisatievarianten op de laagwaterstanden is alleen bepaald voor een afvoer bij Lobith van 1.500 m<sup>3</sup>/s voor optimalisatievarianten Vopt\_05 t/m Vopt\_07 en voor een afvoer van 1.020 m<sup>3</sup>/s voor optimalisatievarianten Vopt\_05 en Vopt\_06.

<sup>2</sup> In eerdere versies van deze rapportage stond ten onrechte een afname van 50% voor Vopt6b en 75% voor Vopt6c

# 4 Effect op de waterstand bij laagwater

## 4.1 Metingen

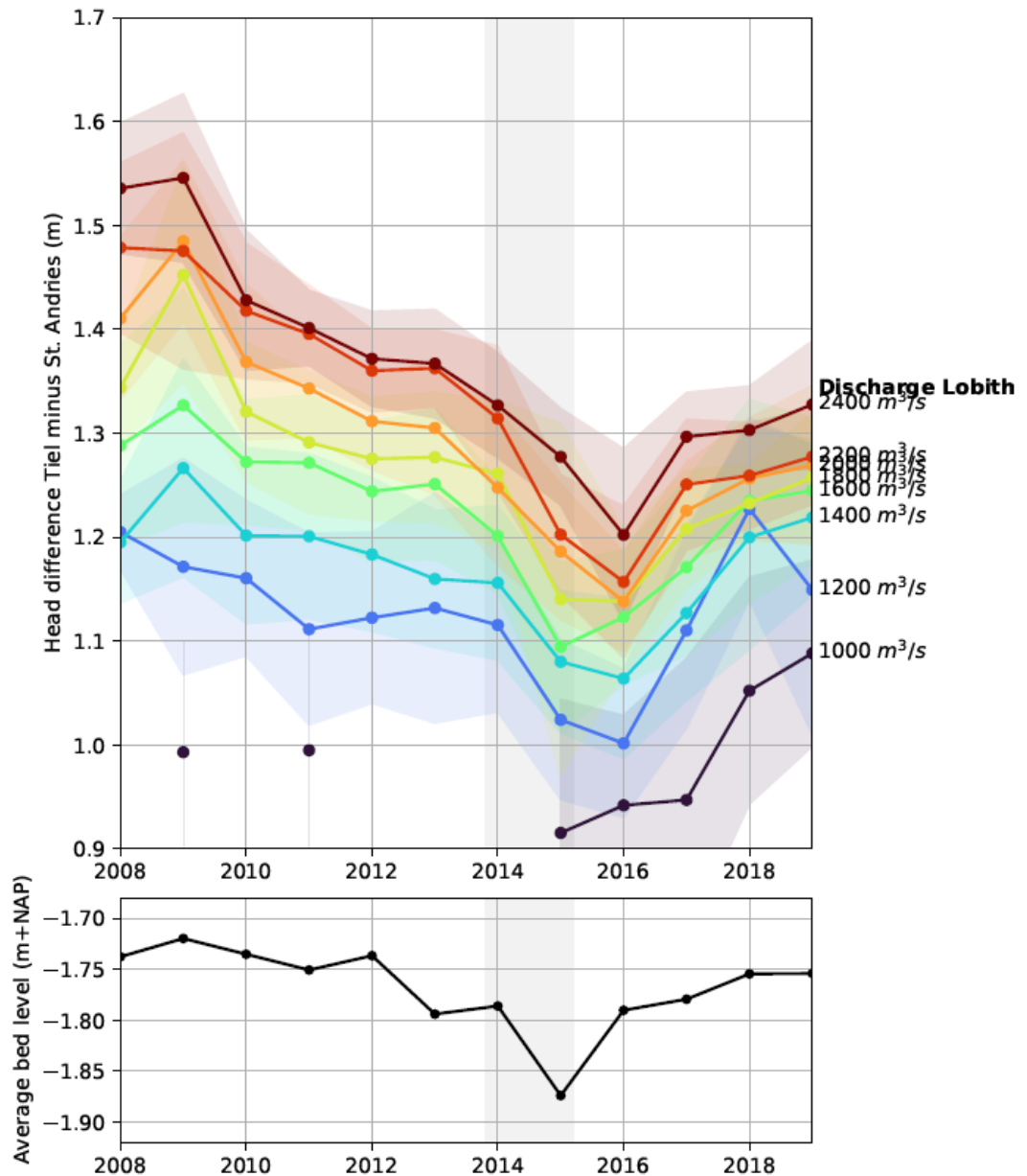
WP0 (De Jong et al., 2021) heeft een uitgebreide analyse van de waterstandsmetingen gepresenteerd om het effect van de pilot langsdammen te bepalen. Hiervoor is gekeken naar de ontwikkeling in de periode 2008 tot 2019 van de waterstand op de Waal bij Tiel bij verschillende afvoeren bij Lobith. Figuur 3 toont het resultaat.



Figuur 3 Trend in de waterstand op de Waal bij Tiel weergegeven als het gemiddelde (de punten verbonden door de lijn) en de standaard deviatie (de schaduw daar omheen) per afvoergroep (+/- 100 m<sup>3</sup>/s). De linker grafiek toont de trend tot een afvoer van 2.400 m<sup>3</sup>/s en de rechter tot een afvoer van 5.000 m<sup>3</sup>/s. De jaren waar de waterstanden beïnvloed zijn door de aanleg van de langsdammen zijn met grijs gemarkeerd. (Overgenomen van De Jong et al., 2021, Figuur 2.6).

Figuur 3 laat zien dat er voorafgaand aan de aanleg van de langsdammen sprake is van een dalende trend in de waterstanden bij gelijke afvoer, hoewel er ook vreemde schommelingen tussen de jaren zichtbaar zijn. Na de aanleg van de langsdammen is de dalende trend gestopt voor afvoeren lager dan 2.400 m<sup>3</sup>/s, die belangrijk zijn voor de zoetwatervoorziening. Voor hogere afvoeren zet de daling van de waterstanden zich wel voort (De Jong et al., 2021).

De resultaten in Figuur 3 worden beïnvloed door ontwikkelingen benedenstrooms van de langsdammen. Om het effect van de langsdammen te isoleren wordt daarom in Figuur 4 een analyse gepresenteerd van het waterstandverschil tussen de stations Tiel en St. Andries. De langsdammen zijn aangelegd in het grootste deel van dit traject. De onderste grafiek in Figuur 4 toont de ontwikkeling van de ligging van de rivierbodem voor het gehele traject als een indicator voor de trend in de bodemhoogte.



Figuur 4 Boven - trend in waterstandsverschil Tiel minus St. Andries weergegeven als het gemiddelde (de punten verbonden door de lijn) en de standaard deviatie (de schaduw daar omheen) per afvoergroep (+/- 100 m<sup>3</sup>/s). Onder – de ontwikkeling van de ligging van de rivierbodem over het gehele trajectvak. De jaren waar de waterstanden beïnvloed zijn door de aanleg van de langsdammen zijn met grijs gemarkeerd. (Overgenomen van De Jong et al., 2021, Figuur 2.9).

Figuur 4 laat een duidelijke afname zien van het waterstandsverschil in de periode 2008-2014, voor de aanleg van de langsdammen. Tijdens de aanleg van de langsdammen neemt het waterstandsverschil versneld af, mogelijk als gevolg van de constructiewerkzaamheden. Vanaf 2017 herstelt het waterstandsverschil weer tot de situatie van voor de aanleg van de langsdammen en vertoont vanaf dan een stijgende trend. Deze trend in waterstandsverschil toont een sterke correlatie met de trend in de bodemligging, zoals gepresenteerd in het onderste deel van de grafiek (De Jong et al., 2021).

Op basis van bovenstaande kan geconcludeerd worden dat de langsdammen ervoor gezorgd hebben dat de dalende trend in de waterstand bij Tiel gestopt is. Voor het station St. Andries, benedenstreams van de langsdammen, zet de dalende trend wel door, wat ertoe leidt dat het waterstandsverschil tussen Tiel en St. Andries toeneemt. Voor de analyse hiervan wordt verwezen naar De Jong et al. (2021). De ontwikkeling van de bodemligging lijkt een belangrijke oorzaak te zijn van het waterstandseffect van de langsdammen.

De Jong et al. (2021) hebben ook onderzocht of de metingen wijzen op een effect van de verschillen, die aangebracht zijn in de instroomopeningen van de langsdammen, op de waterstand van de rivier. Zij concluderen echter dat de meetresultaten te veel variatie bevatten om hierover conclusies te trekken. Wel zijn er aanwijzingen in de metingen dat het gedeeltelijk sluiten van de instroomopeningen in 2018 het debiet door de oeversgeul bij een afvoer van 1.020 m<sup>3</sup>/s bij Lobith verminderd heeft van 12% - 15% tot ongeveer 4% van de totale Waal-afvoer. Dit zou betekenen dat er ongeveer 60 m<sup>3</sup>/s meer afvoer door de hoofdgeul gaat en dat daardoor de waterstand van de rivier met zo'n 10 - 20 cm toegenomen zou moeten zijn. Door de ruis in de waterstandsmetingen is het echter niet mogelijk dit uit de metingen te concluderen.

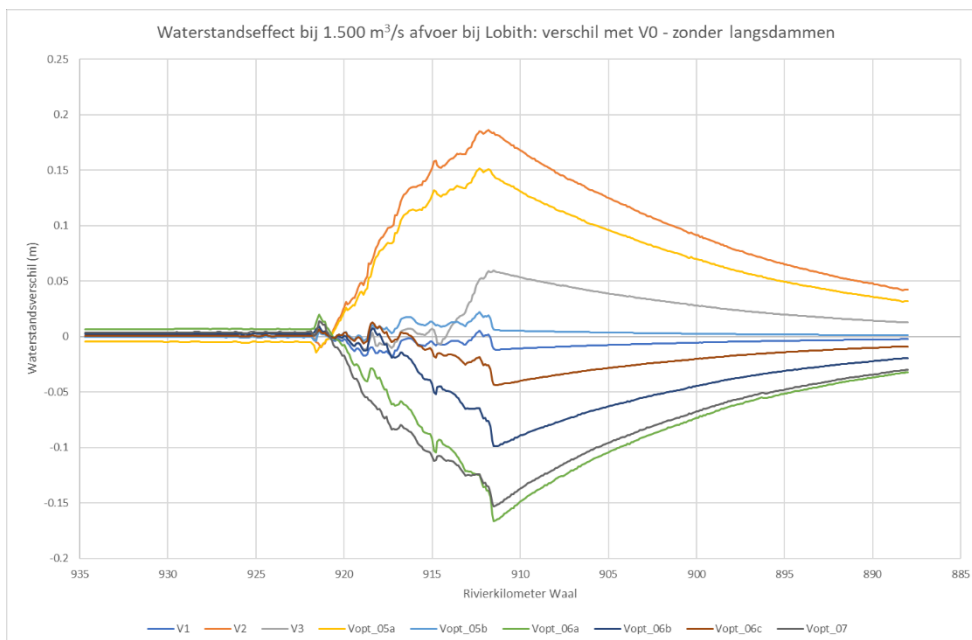
## 4.2 Modelresultaten

Uit het bovenstaande blijkt dat de metingen aangeven dat de langsdammen gezorgd hebben voor een (relatieve) stijging van de waterstand van de rivier en dat er aanwijzingen zijn dat het gedeeltelijk sluiten van de instromingsopeningen tot een verdere verhoging geleid zal hebben, maar dat dit niet direct uit de waterstandsmetingen af te leiden is.

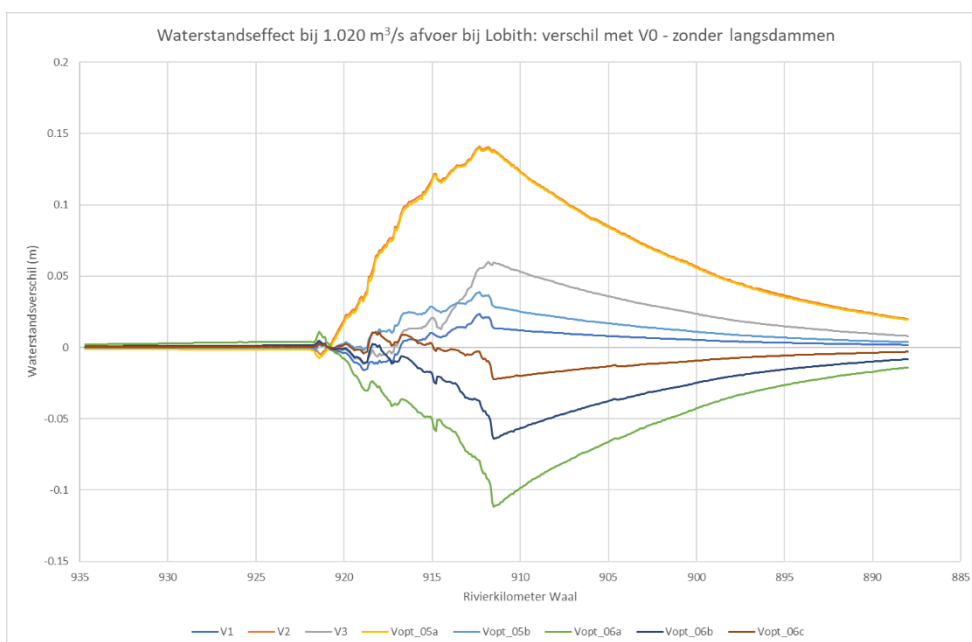
Het voordeel van numerieke simulaties is dat het geïsoleerde effect van de langsdammen onderzocht kan worden, zonder dat andere effecten zoals andere ingrepen of variabiliteit in afvoer of andere variabelen het beeld verstoren. De situatie met en zonder langsdammen kan gemodelleerd worden ver in de toekomst, waarbij alle andere condities gelijk blijven. Het toegepaste model van Paarlberg et al. (2021) is gekalibreerd aan de hand van metingen voor aanvang van de evaluatie van de pilot langsdammen (Omer et al., 2019a; Omer et al., 2019b). Modeluitkomsten van morfologische berekeningen in termen van absolute stroomsnelheden, bodemliggingen, afvoerverdelingen en baggervolumes zijn onnauwkeurig. Daarom worden geen absolute vergelijkingen gedaan, maar alleen relatieve vergelijkingen. Voor de zoetwatervoorziening kijken we vooral naar het effect van de verschillende varianten van de langsdammen op de waterstand in de hoofdgeul in vergelijking tot de situatie zonder langsdammen.

Figuur 5, Figuur 6, Figuur 7 en Tabel 2 geven een overzicht van het gesimuleerde effect van de verschillende varianten van de langsdammen uit de pilot op de waterstand op het traject tussen Nijmegen, rechts in de figuren bij rivierkilometer 888, en Zaltbommel, links in de figuren, bij rivierkilometer 935. Het waterstandseffect is berekend als het verschil met de referentie situatie V0+, zonder langsdammen. Positieve waarden duiden op een toename van de waterstand ten opzichte van de situatie zonder langsdammen. De langsdammen liggen ongeveer tussen rivierkilometer 911 en 921.

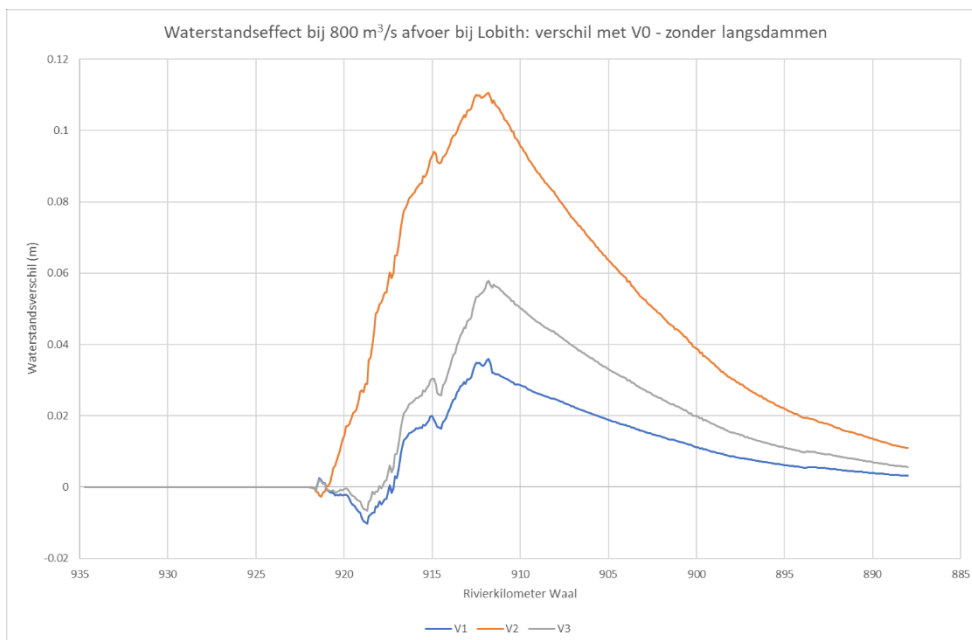




**Figuur 5** Effect van verschillende varianten van de langsdammen uit de pilot op de waterstand bij een afvoer van 1.500 m<sup>3</sup>/s bij Lobith (uitgedrukt als waterstand variant minus waterstand zonder langsdammen)



**Figuur 6** Effect van verschillende varianten van de langsdammen uit de pilot op de waterstand bij een afvoer van 1.020 m<sup>3</sup>/s bij Lobith (uitgedrukt als waterstand variant minus waterstand zonder langsdammen)



Figuur 7 Effect van verschillende varianten van de langsdammen uit de pilot op de waterstand bij een afvoer van  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Lobith (uitgedrukt als waterstand variant minus waterstand zonder langsdammen)

Tabel 2 Maximale gesimuleerde waterstandverhoging en – verlaging en het waterstandseffect bij het Amsterdam-Rijnkanaal voor de verschillende lage afvoeren en de verschillende varianten van de langsdammen uit de pilot.

Afvoer (m <sup>3</sup> /s)	Maximale waterstandsverhoging (cm)			Maximale waterstandsverlaging (cm)			Waterstandseffect ARK (cm)		
	800	1,020	1,500	800	1,020	1,500	800	1020	1500
Variant									
V1	4	2	1	1	2	2	3	1	-1
V2	11	14	19	0	1	1	10	13	16
V3	6	6	6	1	1	1	4	3	2
Vopt_05a		14	15		1	1		13	13
Vopt_05b		4	2		0	0		3	1
Vopt_06a		1	2		11	17		-7	-12
Vopt_06b		0	1		6	10		-3	-6
Vopt_06c		1	1		2	10		0	-2
Vopt_07			1			15			-12

Het is lastig om de gemeten en gesimuleerde waterstandseffecten rechtstreeks met elkaar te vergelijken. Het lijkt erop dat de simulaties de waterstandseffecten licht overschatten ten opzichte van de metingen. De Jong et al. (2021) geven hiervoor een aantal mogelijke oorzaken:

- Benedenstroomse maatregelen die de waterstand verlaagd hebben (maar dit effect ziet niet in het gemeten waterstandsverschil tussen Tiel en St. Andries, Figuur 4);
- Vermindering van de ruwheid;
- Wegvallen van de horizontale menging die eerder veroorzaakt werd door de kribben;
- De doorlatendheid van de langsdammen;
- Er stroomt meer water in werkelijkheid door de oeversgeulen dan in het model; en
- Veranderingen in de bodemligging gedurende en na de aanleg van de langsdammen.

Daarnaast is er sprake van een trend in de afvoerverdeling over de Rijntakken als gevolg van verandering in de bodemligging: bij eenzelfde afvoer van de Rijn bij Lobith neemt de afvoer van de Waal geleidelijk toe.

Dit speelt zowel voor als na de aanleg van de langsdammen, maar zit niet in de modelresultaten. Zonder deze extra afvoer zouden de gemeten waterstanden lager zijn, waardoor het verschil tussen gemeten en gemodelleerde waterstandseffecten zou toenemen.

In het vervolg van dit rapport zullen de modelresultaten gebruikt worden om de waterstandseffecten van de verschillende varianten van de langsdammen te bepalen. Hierbij dient er rekening mee gehouden te worden dat er mogelijk sprake is van een lichte overschatting van het waterstandseffect in de modelresultaten.

Uit de modelresultaten blijkt het volgende:

#### *Algemeen*

- Het effect van de langsdammen uit de pilot is het grootst bij het begin van de langsdammen bij rivierkilometer 912 en neemt geleidelijk af richting het einde van de langsdammen bij kilometer 921. Benedenstrooms hiervan is geen effect gesimuleerd. Het bovenstroomse effect loopt tot Nijmegen, dat 23 km bovenstrooms van de langsdammen gelegen is;
- Het absolute waterstandseffect van de langsdammen uit de pilot neemt af met afnemende afvoeren en waterstanden. Het is echter aannemelijk dat het belang van de waterstandseffecten voor de zoetwatervoorziening bij lagere afvoeren van 800 en 1.020 m<sup>3</sup>/s groter is dan bij afvoeren van 1.500 m<sup>3</sup>/s en meer, omdat er bij lagere afvoeren knelpunten in de watervoorziening kunnen optreden;
- De verschillende varianten van de langsdammen uit de pilot hebben sterk verschillende effecten, variërend van een maximale verhoging van de waterstand van 19 cm tot een maximale verlaging met 17 cm;

#### *Invloed instroomopeningen*

- Variant 1, met geheel open instroomopeningen, heeft van alle varianten het minste effect op de lage waterstanden met een maximale verlaging van ongeveer 1 cm bij een afvoer van 1.500 m<sup>3</sup>/s en een maximale verhoging van 4 cm bij een afvoer van 800 m<sup>3</sup>/s;
- Variant 2, met geheel gesloten instroomopeningen en optimalisatievariant 5a, waarbij de bodem van oevergeul opgehoogd is tot OLR, de waterstand die overeenkomt met een afvoer van 1.020 m<sup>3</sup>/s, leiden tot de grootste verhoging van de waterstand, toenemend van maximaal 11 cm bij een afvoer van 800 m<sup>3</sup>/s tot maximaal 14 cm bij 1.020 m<sup>3</sup>/s. Deze varianten zijn hetzelfde voor een afvoer bij Lobith van 1.020 m<sup>3</sup>/s en lager. Bij hogere afvoeren stroomt bij optimalisatievariant 5a de oevergeul mee, waardoor de toename van de waterstand met maximaal 15 cm dan lager is dan bij variant 2 met maximaal 19 cm;
- Variant 3, de huidige situatie van de langsdammen uit de pilot met deels gesloten instroom opening leidt tot een verhoging van de waterstand die ligt tussen die van variant 1 en die van variant 2 met een maximale verhoging van 6 cm voor afvoeren bij Lobith van zowel 800, 1020 als 1500 m<sup>3</sup>/s;

#### *Invloed bodem oevergeul*

- Optimalisatievariant 5b, met een verhoging van de bodemligging van de oevergeul tot 2.75m onder OLR leidt tot een verhoging van de waterstand van maximaal 4 cm; en

#### *Invloed breedte oevergeul*

- Optimalisatievariant 6, met aangepaste breedte oevergeul, en variant 7, met damwand in plaats van langsdam, leiden tot een verlaging van de waterstand, waarbij een bredere oevergeul tot een verder verlaging leidt.

Het effect op de waterstand bij de Pannerdensche Kop is niet berekend, maar is minder dan net benedenstrooms van Nijmegen. Het effect op de afvoerdeling tussen Waal en Pannerdensch Kanaal is daardoor zeer gering en is verder buiten beschouwing gelaten.

## 5 Effecten op de zoetwatervoorziening

De verandering van de waterstanden bij lage afvoeren als gevolg van de aanleg van verschillende varianten van de langsdammen, zoals geanalyseerd in Hoofdstuk 4, kunnen van invloed zijn op de zoetwatervoorziening. Er zijn vijf mogelijke effecten op de zoetwatervoorziening onderzocht:

- Aanvoer van zoetwater van de Waal naar West-Nederland door het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal (Hoofdstuk 5.1);
- Effect van onttrekking op de diepte in de vaarweg (Hoofdstuk 5.2)
- Regionale inlaatpunten (Hoofdstuk 5.3);
- Grondwatervoorraad (Hoofdstuk 5.4); en
- Zoutindringing in de Rijn-Maasmonding (Hoofdstuk 5.5).

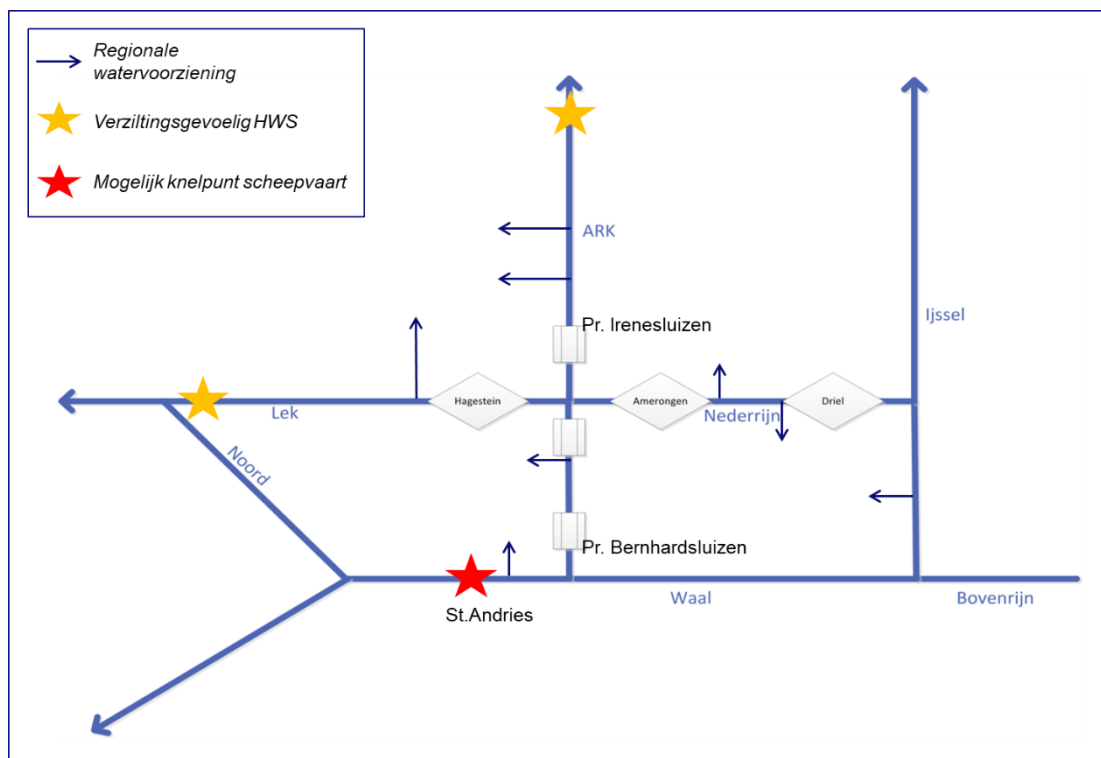
Als er effect is, wordt van een stijging van de waterstand een positief effect op de zoetwatervoorziening verwacht en van een daling van de waterstand een negatief effect.

### 5.1 Aanvoer naar West-Nederland via het Betuwepand

Tijdens droogte wordt water uit het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal en het stuwpand Hagestein van de Nederrijn-Lek gebruikt om in verschillende waterbehoeften van West-Nederland te voorzien (zie Figuur 8 en Mens et al., 2018):

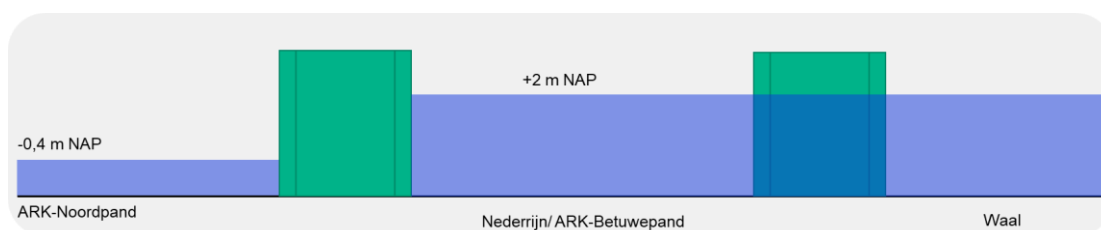
- Afvoer via stuwcomplex Hagestein om zoutindringing op de Lek en de Hollandse IJssel te voorkomen (in het huidige beheer nihil, maar wordt mogelijk opgevoerd naar minimaal 25 of 50 m<sup>3</sup>/s); en
- Afvoer via de Prinses Irenesluizen naar het Amsterdam-Rijnkanaal ten behoeve van de Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA, maximaal 15 m<sup>3</sup>/s) en het terugdringen van de zoutbelasting in Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal via de zeesluizen bij IJmuiden (gewenst debiet bij Weesp is hiervoor nu 10 m<sup>3</sup>/s, maar in de praktijk wordt al gestuurd op 25 m<sup>3</sup>/s).

De Jong et al. (2021) beschrijven metingen van de afvoer door het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal gedurende een aantal dagen. De maximaal gemeten afvoer is 68 m<sup>3</sup>/s.



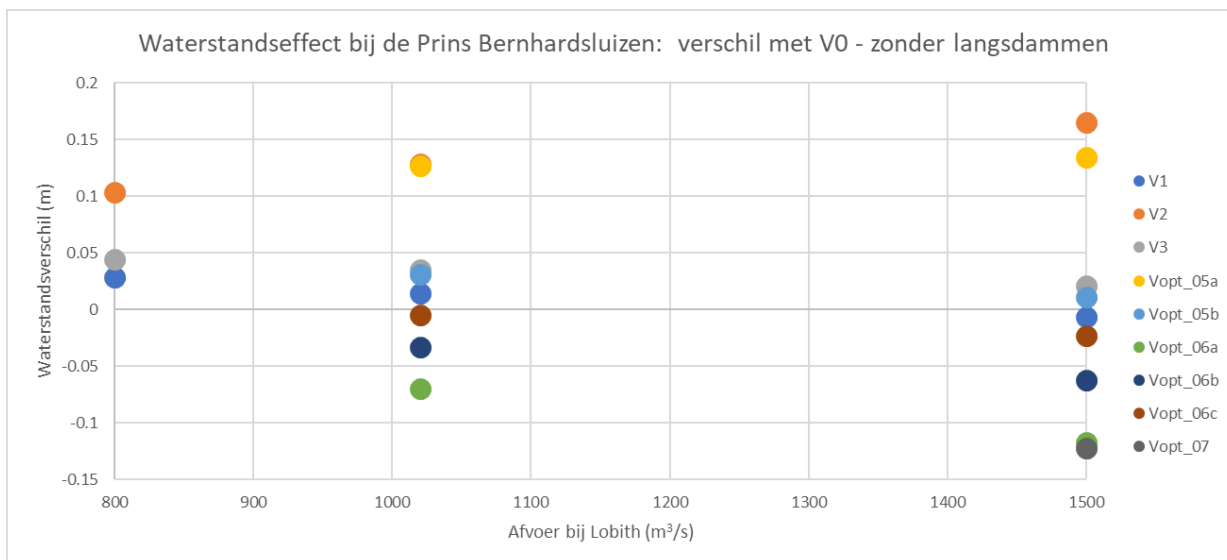
Figuur 8 Schematische weergave van zoetwatervoorziening voor West-Nederland uit de Waal en mogelijke knelpunten (Mens et al., 2018). De langsdammen liggen op de Waal ter hoogte van de Prins Bernhardsluizen

Bij laagwater staan de Prins Bernhardsluizen tussen Waal en Betuwepand en de Marijkesluis tussen Betuwepand en het stuwpand Hagestein van de Nederrijn-Lek open, waardoor Betuwepand en stuwpand Hagestein dezelfde waterstand hebben als de Waal bij de Prins Bernhardsluizen (Figuur 9). Bij een afvoer van  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Lobith is deze waterstand ongeveer +2m NAP. Het Amsterdam-Rijnkanaal (Noordpand) heeft een waterstand van -0,40 m NAP. De gemiddelde waterstand benedenstrooms van de stuw bij Hagestein is ongeveer +0,10m NAP. Er is dus een aanzienlijk verval over de Prinses Irenesluizen en de stuw bij Hagestein van rond de 2 meter.



Figuur 9 Waterstand in Waal, Nederrijn / Lek en Amsterdam-Rijnkanaal bij laagwater

Figuur 10 toont het gesimuleerde effect van de verschillende varianten van de langsdammen uit de pilot op de waterstand bij de Prins Bernhardsluizen bij verschillende laagwater afvoeren (zie ook Tabel 2). Overigens zijn de Prins Bernhardsluizen bij een afvoer van  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Lobith gesloten en vindt er geen onttrekking via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal plaats. Alleen variant 2, langsdammen met gesloten instroomopeningen, en optimalisatievariant 5a, waarbij de bodem van oevergeul opgehoogd is tot OLR, laten een aanzienlijke verhoging van de waterstand zien van ongeveer 10 tot 15 cm. Optimalisatievarianten 6, met aangepaste breedte oevergeul, en 7, met damwand in plaats van langsdam, leiden tot een verlaging van de waterstand. De overige varianten hebben slechts beperkt effect op de waterstand.



Figuur 10 Effect van verschillende varianten van de langsdammen uit de pilot op de waterstand bij afvoeren van 800, 1.020 en 1.500 m<sup>3</sup>/s bij Lobith (uitgedrukt als waterstand variant minus waterstand zonder langsdammen)

De vraag is nu of de stijging van de waterstand bij lage afvoeren effect zal hebben op de watervoorziening voor West-Nederland. Dat lijkt niet waarschijnlijk. De waterstand in het Betuwepand en het stuwpand Hagestein zal mee veranderen met de waterstand op de Waal. Het verval bij de stuw Hagestein en de Prinses Irenesluizen zal maximaal 10% toenemen. Dit verval is echter niet beperkend voor het realiseren van de gewenste wateraanvoer naar West-Nederland. Daarom wordt geconcludeerd dat de langsdammen uit de pilot op de op de Waal waarschijnlijk geen significant effect zullen hebben op de watervoorziening voor West-Nederland.

## 5.2 Effect van onttrekking op de diepte in de vaarweg

De in de voorgaande paragraaf beschreven aanvoer van water naar West-Nederland van maximaal 80 m<sup>3</sup>/s uit de Waal via het Betuwepand, leidt tot een vermindering van de afvoer en de waterstand benedenstrooms op de Waal. Hierdoor zullen bij laagwater de waterstanden afnemen en zullen vaarbepalingen toenemen. Het benedenstroomse riviertraject dat het meest tot vaarbepalingen leidt bevindt zich bij St. Andries, rivierkilometer 927. De Jong et al. (2021) schatten op basis van de verschillende metingen dat het effect van een onttrekking van 68 m<sup>3</sup>/s een waterstandsval van 15 cm bij Tiel geeft<sup>3</sup>. Mens et al. (2018, pagina 17) laten voor St. Andries op basis van modelresultaten zien dat de afname van de waterstand als gevolg van een bovenstroomse onttrekking bij een afvoer van 1.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith ongeveer 2,1 mm/(m<sup>3</sup>/s) bedraagt. Dit komt redelijk overeen met het gemeten effect.

Een onttrekking van 80 m<sup>3</sup>/s zou dus kunnen leiden tot een waterstanddaling van ongeveer 17 tot 20 cm. Deze waterstandsval verkleint de diepte in de vaarweg met een zelfde aantal centimeters. Sluiting van de instroomopeningen van de langsdammen uit de pilot kan bij Tiel hiervan tot 13 cm compenseren.

Er is hier dus sprake van een afweging tussen de zoetwatervoorziening voor West-Nederland en de scheepvaart bij St. Andries. Langsdammen zouden een indirect effect op de zoetwatervoorziening kunnen hebben, als zij de waterstand bij St. Andries zouden beïnvloeden.

<sup>3</sup> Deze afvoer is het gemiddelde van 10 achtereenvolgende metingen. Deze metingen hebben een grote spreiding met een gemiddelde van 68 m<sup>3</sup>/s en een standaarddeviatie van 37 m<sup>3</sup>/s.

Figuur 5, Figuur 6 en Figuur 7 laten echter zien dat er logischerwijs geen effect van de langsdammen uit de pilot bij Wamel, Dreumel en Ophemert is op de waterstanden bij St. Andries, rivierkilometer 928. Het gemeten effect van de langsdammen strekt zich niet verder benedenstrooms uit dan rivierkilometer 921, het benedenstroomse einde van de langsdammen.

Het aanleggen van langsdammen op het traject bij St. Andries zou wel een lokaal waterstandseffect tot gevolg kunnen hebben, waarbij het dan waarschijnlijk zou zijn dat varianten met gesloten instroomopeningen of een bodemligging van de oevers op of boven OLR zouden leiden tot een toename van de waterstand. De Jong en te Nijenhuis (2020) noemen dit als een mogelijke oplossingsrichting voor de ondiepte bij St. Andries. Zij geven echter ook aan dat er hier weinig ruimte voor is. De mogelijkheid en effectiviteit van langsdammen op deze locatie zou nader onderzocht kunnen worden.

### 5.3 Regionale inlaatpunten

Tabel 3 geeft een overzicht van de regionale inlaten die afhankelijk zijn van de waterstand op de Waal bij de Prins Bernhardsluizen. Als de drempelwaarde van een inlaat onderschreden wordt, kan er geen water meer ingelaten worden onder vrij verval. In de meeste gevallen worden er dan als alternatief pompen gebruikt.

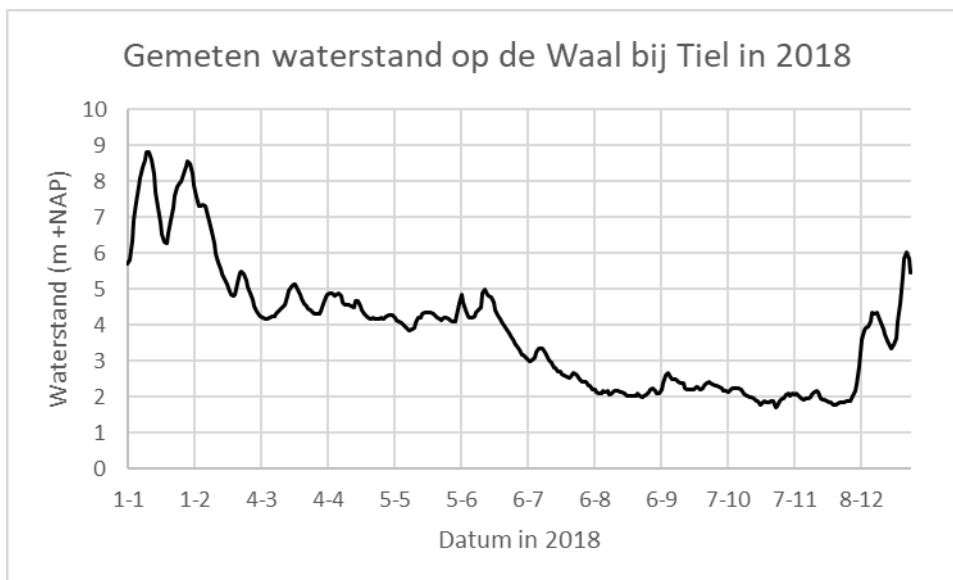
Zoals hierboven beschreven, is bij laagwater de waterstand in stuwpand Hagestein en het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal gelijk aan de waterstand op de Waal bij de Prins Bernhardsluizen. De drempelwaarde van de inlaten varieert tussen -0,6 en +2,32 m NAP. Bij een afvoer bij Lobith van 800 m<sup>3</sup>/s is de waterstand hier zonder langsdammen +1,90 m NAP en bij 1.020 m<sup>3</sup>/s +2,57 m NAP.

*Tabel 3 Overzicht van regionale inlaten die afhankelijk zijn van de waterstand op de Waal bij de Prins Bernhardsluizen (Mens et al., 2018, Tabel 3.3, pagina 19)*

Naam	Onttrekt uit	Onttrekking (m <sup>3</sup> /s)	Drempelwaarde (m NAP)
Inlaat Kromme Rijn	Nederrijn-Lek (stuwpand Hagestein)	10	+1,5 – +2,3
H.A. van Beuningengemaal	Betuwepand	5 (toekomst 12)	-0,6
Gemaal Drielandenpunt	Betuwepand	0,06	+1,2
Inlaat Prins Bernhardsluizen	Betuwepand	0,5	+2,32
Inlaat Tiel	Waal	0,2	+1,92

Figuur 10 laat zien dat de langsdammen uit de pilot een effect kunnen hebben op de waterstand op de Waal bij de Prins Bernhardsluizen variërend tussen plus 16 cm en minus 12 cm, afhankelijk van de afvoer en de variant. Figuur 11 toont de gemeten waterstand op de Waal bij Tiel gedurende het zeer droge jaar 2018. De metingen zijn overgenomen van WPO (De Jong et al. (2021) en zijn afkomstig van het Landelijk Meetnet Water. De minimale gemeten waterstand is +1,71 m NAP. Hieruit blijkt dat het waterstandseffect van de langsdammen uit de pilot effect kan hebben op de inlaten Kromme Rijn, Prins Bernhardsluizen en Tiel. De overige inlaten hebben een dermate lage drempelwaarde dat de waterstandseffecten van de langsdammen geen effect op de inlaat zullen hebben.





Figuur 11 Gemeten waterstand op de Waal bij Tiel in het zeer droge jaar 2018

Tabel 4 laat het aantal dagen zien dat de drempelwaarde per inlaat in 2018 wordt onderschreden. De gemeten waterstanden komen in 2018 overeen met variant 3, langsdammen van de pilot met verhoogde instroomopeningen. Als de metingen aangepast worden voor het verschil tussen variant 3 en de situatie zonder langsdammen, geeft dat enkele dagen meer onderschrijding van de drempelwaarden. De variant met maximale waterstandsverlaging, optimalisatievariant 6a, met een uniforme en brede oeversgeul, leidt tot een verdere toename het aantal dagen onderschrijding met 7 tot 11 dagen. De variant met maximale waterstandverhoging, variant 2, met geheel gesloten instroomopeningen, leidt tot een afname van het aantal dagen onderschrijding met 19 tot 24 dagen. Voor de inlaat Kromme Rijn valt verder op dat de onderste drempelwaarde nooit onderschreden wordt.

Tabel 4 Aantal dagen onderschrijding van de drempelwaarde per inlaat voor verschillende varianten

Inlaat	Drempelwaarde (m NAP)	Gemeten	V0+	V2	Vopt_6a
Inlaat Kromme Rijn	+2,3	106	109	85	116
Inlaat Kromme Rijn	+1,5	0	0	0	0
Inlaat Prins Bernardsluizen	+2,32	109	112	93	119
Inlaat Tiel	+1,92	25	27	5	38

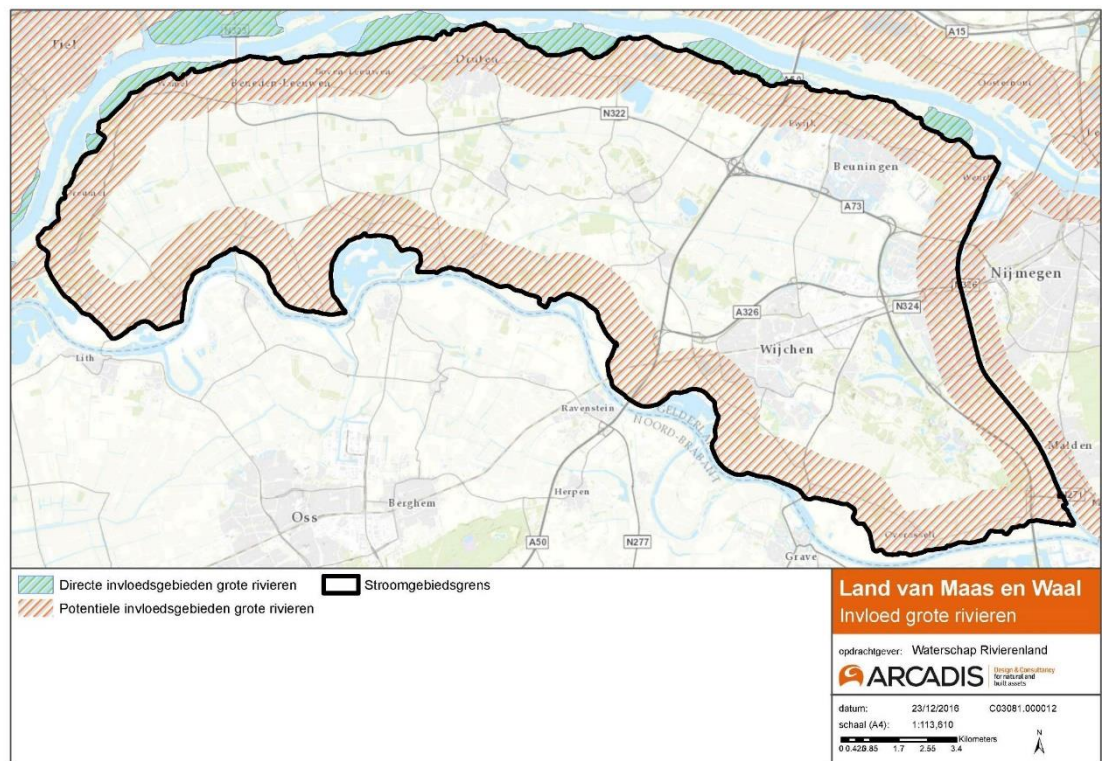
De conclusie is dat de waterstandseffecten van de langsdammen uit de pilot van invloed zijn op het aantal dagen dat de drempelwaarde van de waterstand voor regionale inlaten onderschreden wordt. Er zal dus sprake zijn van een beperkte verbetering van de regionale zoetwatervoorziening als de langsdammen uit de pilot leiden tot een waterstandverhoging, zoals in varianten 2 en 5a, en een beperkte verslechtering bij een waterstandsverlaging, zoals in varianten 6 en 7.

## 5.4 Grondwatervoorraad

Verandering van de waterstand op de Waal heeft ook effect op de uitwisseling met het grondwater in het omliggende gebied. Voor het bepalen van de gevolgen hiervan is onderscheid gemaakt in het regionale grondwater en het grondwater in de uiterwaarden.

### 5.4.1 Regionaal grondwater

In de grondwatersysteembeschrijving van Waterschap Rivierenland (Hobbelt et al., 2017a) staat dat de grote rivieren veel invloed hebben op de stijghoogten in het watervoerend pakket onder de deklaag, omdat ze de deklaag doorsnijden. De stijghoogten in het watervoerend pakket beïnvloeden weer de grondwaterstanden in het freatisch pakket. De mate van beïnvloeding is echter afhankelijk van lokale factoren, zoals de deklaagdikte en de insnijding van de waterlopen in het watervoerende pakket en de grootte van het doorlaatvermogen van dat laatste. Figuur 12 laat zien dat alleen de uiterwaarden beschouwd worden als direct invloedsgebied van de grote rivieren en dat een strook van enkele kilometers binnendijks beschouwd wordt als een potentieel invloedsgebied.



Figuur 12 Invloedsgebied van de grote rivieren op het grondwater in het Land van Maas en Waal (Hobbelt & et al., 2017b, pagina 145).

Figuur 13 toont de waterstanden op de rivier, in het regionale watersysteem en in het grondwater bij Wamel voor het droge jaar 2018. De waterstand in het regionale water is zeer constant. De grondwaterstand daalt geleidelijk vanaf maart tot november, wat zowel kan komen door het neerslagtekort (ook in het achterland) als door wegzijging van water dat via het watervoerende pakket naar de rivier stroomt. Er is geen verdere analyse van peilbuisdata uitgevoerd, omdat dit buiten de opdracht en reikwijdte van deze eindevaluatie valt.

Op basis van overleg met grondwaterexperts binnen Deltares en bij Waterschap Rivierenland is een inschatting gemaakt van het effect op de wegzijging van een waterstandsverhoging op de rivier als gevolg de langsdammen uit de pilot gedurende een droge zomer periode door toepassing van de Wet van Darcy (Tabel 5).

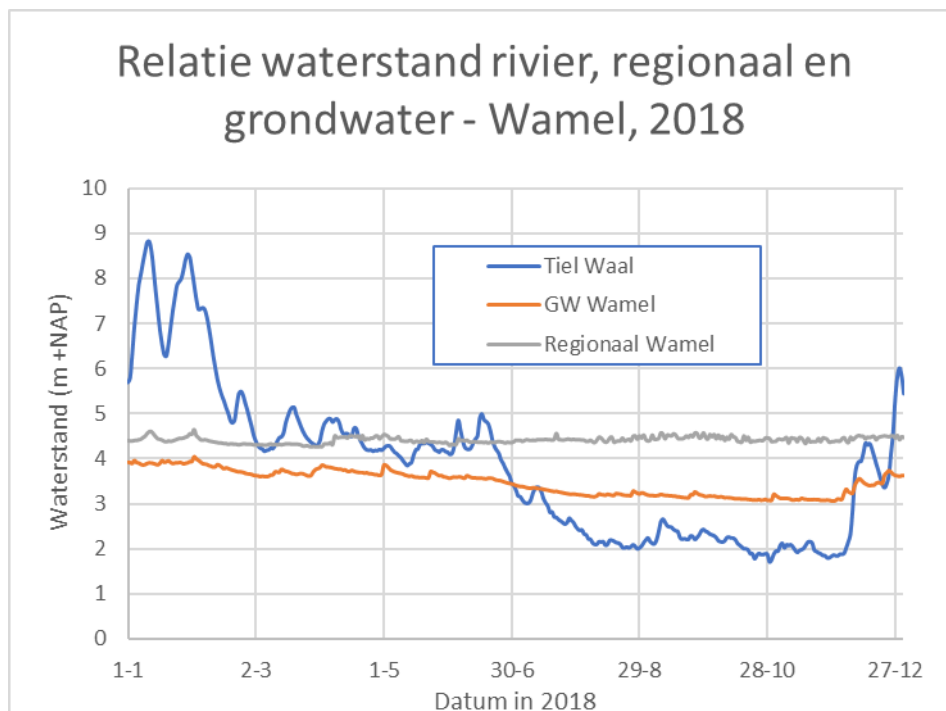
Tabel 5 Inschatting van het effect van de langsdammen uit de pilot op de wegzijging van regionaal grondwater naar de Waal

Omschrijving	Waarde
<b>a</b> Verschil in waterstand tussen grondwater en rivier	1 m
<b>b</b> Afstand waarover het verschil in grondwaterstand bestaat	100 m
<b>c</b> Doorlatendheid watervoerend pakket	75 m/d
<b>d</b> Dikte van het watervoerend pakket	20 m
<b>e</b> Gemiddeld waterstandseffect van de langsdammen	0,05 m
<b>f</b> Lengte langs de rivier waarover het waterstandseffect optreedt	10.000 m
<b>g</b> Wegzijging zonder langsdammen volgens de Wet van Darcy ( $a / b * c * d * f$ )	150.000 m <sup>3</sup> /dag (= 1,74 m <sup>3</sup> /s)
<b>h</b> Wegzijging met langsdammen ( $(a - e) / b * c * d * f$ )	142.500 m <sup>3</sup> /dag (= 1,69 m <sup>3</sup> /s)
<b>i</b> Verschilflux per strekkende meter rivier ( $(g-h) / f$ )	0,75 m <sup>3</sup> /dag per m
<b>j</b> Verschilflux gedurende de zomermaand ( $100 * i$ )	75 m <sup>3</sup> per m
<b>k</b> Porositeit van de grond	0,3 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
<b>l</b> Waterstandseffect als water berging in de grond ( $e * k$ )	0,015 m
<b>m</b> Breedte langs de rivier waarover berging volledig gebruikt moet worden ( $j / l / 1000$ )	5 km

Volgens deze inschatting neemt de wegzijging naar de rivier door de waterstandsstijging van de langsdammen af met 5% van 150.000 m<sup>3</sup>/dag naar 142.500 m<sup>3</sup>/dag.

Beschouwen we de waterbalans van het grondwater dan blijkt deze schatting een maximum. Voor de verschilflux gedurende een zomer moet in een strook langs de rivier van 5 km de berging volledig worden gebruikt. Omdat het verlagings-effect dempt met de afstand tot de rivier zal het bergingsgebied in werkelijkheid minstens 2 x zo groot zijn, dus rond 10 km. Dat is veel groter dan het realistische invloedsgebied in Figuur 12 en daarom is de geschatte flux waarschijnlijk een factor 2 à 5 hoger dan realistisch.

Om deze schatting in verhouding te zien tot andere posten van de regionale waterbalans, wordt hierbij vermeld dat totale inlaatcapaciteit van het Land van Maas en Waal ongeveer 5,8 m<sup>3</sup>/s is (Ogink, 2010). De vermindering van de wegzijging is dus waarschijnlijk minder dan 1% van de totale inlaatcapaciteit



Figuur 13 Vergelijking van de gemeten waterstand op de Waal bij Tiel, in het regionaal systeem bij Wamel (meetpunt Willem Alexanderbrug, gegevens geleverd door Waterschap Rivierenland) en in het grondwater bij Wamel (meetpunt Weteringstraat 6, Wamel, afkomstig van <https://grondwater.webscada.nl/waterdatagelderland/#>).

#### 5.4.2 Grondwater in de uiterwaarden

Royal HaskoningDHV heeft onderzoek gedaan naar het effect van wijziging van de grondwaterstand in de uiterwaarden op natuur en landbouw voor het traject langs de Waal van Millingen tot Dreumel (Engel en Van Heereveld, 2019a en 2019b). Hierbij zijn twee scenario's onderzocht: een verlaging van de grondwaterstand met 30 cm en een verhoging met 30 cm. Deze wijzigingen zijn uniform toegepast en dus niet gedifferentieerd in tijd en ruimte. Dezelfde wijziging is dus in het gehele gebied toegepast op de GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand), GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) en GVG (gemiddelde voorjaarswaterstand).

De langsdammen uit de pilot beïnvloeden de lage waterstanden en zullen daarmee invloed hebben op de GLG. Dat effect zal veel minder zijn dan 30 cm, omdat het effect in de hoofdgeul voor alle varianten en lage afvoeren minder is dan 30 cm en omdat dit af zal nemen verder van de rivier af in de uiterwaarden.

De langsdammen uit de pilot verlagen de hoge waterstanden, waarbij het omslagpunt tussen verhoging en verlaging rond de gemiddelde afvoer ligt. Het effect op de GHG zal daarom beperkt zijn.

Engel en Van Heereveld (2019b) laten zien dat tussen Wamel en Dreumel de habitattypen vochtige alluviale bossen en droge hardhoutoobossen voorkomen. Voor de vochtige alluviale bossen wordt op basis van resultaten van de Waterwijzer Natuur (zie <http://waterwijzer.stowa.nl/>) geconcludeerd dat de omstandigheden licht verbeteren bij hogere grondwaterstanden en verslechteren bij lagere grondwaterstanden. Habitattype droge hardhoutoobossen is niet opgenomen in de Waterwijzer Natuur. Engel en Van Heereveld (2019b) constateren echter dat dit type gevoelig is voor vernatting, maar wel enige vernatting kan hebben. Daarmee is er geen effect te verwachten.

Landbouw in de uiterwaarden tussen Wamel en Dreumel bestaat vooral uit grasland met wat bouwland. Het effect van de wijzigingen van de grondwaterstand is door Engel en Van Heereveld (2019a) berekend met de Waterwijzer Landbouw (zie <http://waterwijzer.stowa.nl/>). De invloed op de opbrengst verschilt per perceel. Engel en Van Heereveld (2019a, pagina 6) concluderen: “Het lijkt erop dat een lager Waalpeil gunstig is voor de landbouw in de uiterwaarden.” De aannames van deze studie verschillen echter te veel van het effect van de langsdammen op de grondwaterstand in de uiterwaarden om hier conclusies aan te verbinden voor het effect van de langsdammen op de landbouw in de uiterwaarden.

Op basis van de analyses van Engel en Van Heereveld (2019a en 2019b) kan geconcludeerd worden dat bij een grondwaterstandsstijging door de langsdammen uit de pilot de omstandigheden voor de natuur in habitatype vochtige alluviale bossen licht verbeteren. De omvang van deze effecten is echter moeilijk te schatten op basis van deze analyses, omdat de grondwaterstandsverandering als gevolg van de langsdammen in de uiterwaarden minder zal zijn dan de 30cm die voor deze analyses gebruikt is.

## 5.5 Zoutindringing in de Rijn-Maasmonding

De langsdammen uit de pilot zouden verder nog effect kunnen hebben op de zoetwatervoorziening als zij de zoutindringing op de rivieren zouden beïnvloeden. Dit zou kunnen als de stroomsnelheid afneemt en brak water daardoor verder stroomopwaarts in zou kunnen dringen. De langsdammen uit de pilot veranderen echter de afvoer, en daarmee de stroomsnelheid, niet. Dat zou wel kunnen gebeuren als langsdammen dichterbij de splitsingspunten van de Rijntakken aangelegd worden.

Een andere mogelijkheid zou kunnen zijn dat de langsdammen leiden tot verhoging het rivierbed en daardoor de indringing van de zouttong over de bodem zouden kunnen beperken. Dit speelt niet op het traject bij de langsdammen van de pilot, maar zou wel van invloed op locaties die gevoelig zijn voor zoutindringing.

## 6 Invloed zoetwatervoorziening op de andere functies en thema's

Deelvraag 2, "Hoe beïnvloedt optimalisatie van de zoetwatervoorziening de andere functies en thema's?" staat enigszins los van het effect van de langsdammen op de waterstanden en de zoetwatervoorziening, hoewel deze vragen er natuurlijk wel aan gerelateerd zijn. Deze vragen zijn behandeld in de *Hotspotanalyses voor het Deltaprogramma Zoetwater* (Mens et al., 2018). Hieronder volgt ter beantwoording van deze deelvragen een citaat uit de samenvatting van de hotspotanalyse met betrekking tot de hotspot Midden-rivierengebied.

*"Deze hotspot richtte zich op de waterverdeling op het kruispunt van Waal, Nederrijn, Lek, Amsterdam-Rijnkanaal Betuwepand en Noordpand. Er was behoefte aan inzicht in de gevolgen van verschillende waterverdelingsvarianten op de gebruiksfuncties drinkwater op de Lek en het ARK-Noordpand, scheepvaart op de Waal en het ARK-Betuwepand, en de regionale watervoorziening vanuit het ARK-Betuwepand en de Nederrijn. Voor deze analyse is gebruik gemaakt van NWM resultaten.*

*De varianten die zijn geanalyseerd sluiten aan bij de verwachte ontwikkelingen ten aanzien van: een grotere onttrekking om zoutindringing op het ARK-Noordpand tegen te gaan, een grotere afvoer over Hagestein om verzilting van de Lek tegen te gaan, het vaker en met grotere capaciteit inzetten van de Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA+) en toename van de regionale watervraag als gevolg van klimaatverandering en socio-economische ontwikkelingen. De varianten zijn in Excel geanalyseerd op basis van de NWM resultaten, door aan te nemen dat elke extra watervraag ten koste gaat van de Waalafvoer en opgeteld moet worden bij de afvoer door het ARK-Betuwepand. Voor analyse van effecten op de scheepvaart is LSM uitvoer vertaald naar vaardiepte met behulp van de tool LSM2BIVAS.*

*De extra watervraag aan het hoofdwatersysteem voor de KWA+, het zoet houden van de Lek en het zoet houden van ARK-Noordpand, komt naar verwachting minimaal overeen met de variant waarin minimaal 25 m<sup>3</sup>/s debiet over stuw Hagestein gaat en minimaal 25 m<sup>3</sup>/s debiet door het ARK-Noordpand bij Weesp stroomt. Als dit extra water uit de Waal wordt aangevoerd, zal dit volgens de berekeningen in de toekomst (Warm2050) minimaal eens in de 15 jaar leiden tot grote afvoeren door het Betuwepand, waardoor een deel van het scheepvaartverkeer in de problemen komt bij het passeren van de Prins Bernhardsluizen.*

*Scheepvaart op de Waal zal in de toekomst (Warm2050) vaak (~eens in de 5 jaar) hinder ondervinden. Door de extra watervraag zal de waterstand bij locatie St. Andries op de Waal enkele centimeters dalen waardoor de beladingsgraad van de binnenvaart (verder) gereduceerd zal worden. De impact van sterke klimaatverandering (Warm2050) is echter groter en heeft een negatief effect van enkele decimeters op de vaardiepte op de Waal.*

*Uitgaande van een kritische vaardiepte van 3 m, wordt de onderschrijdingsduur als gevolg van extra afvoer 3 tot 6 dagen langer bij T = 10 jaar in het huidige klimaat. Onder het Warm2050 scenario neemt deze duur toe met 4 tot 9 dagen. De gemiddelde jaarlijkse duur (H<3 m) neemt als gevolg van deze varianten in het Warm2050 scenario toe met 2 tot 4 dagen.*

*In gesprek met de regio zijn de volgende keuzes geformuleerd, die naar verwachting onder het Warm2050 scenario eens in de 5 jaar gemaakt moet worden:*

- Extra wateraanvoer uit de Waal via het ARK-Betuwapand (met als gevolg negatieve effecten voor de scheepvaartsector).
- Minder water naar de Lek (effecten drinkwatersector).
- Minder water naar het ARK-Noordpand (effecten regionale watervoorziening, natuur, drinkwatersector).
- Meer water via sluis Driel (effect op IJsselafvoer).
- Minder regionale onttrekkingen vanuit het ARK-Betuwapand en vanuit de Nederrijn.”(Mens et al., 2018, pagina i – ii).

## 7 Mogelijke effecten van verder uitrollen langsdammen

De resultaten van de modelberekeningen zoals gepresenteerd in Hoofdstuk 4.2 laten duidelijk zien dat langsdammen met bij laagwater gesloten instroomopeningen tot de grootste stijging van de waterstand bij laagwater leiden. Daarom wordt, vanuit het perspectief van de zoetwatervoorziening, aanbevolen bij eventuele verdere uitrol van de langsdammen deze variant te beschouwen.

Bij het eventueel verder uitrollen van langsdammen kan op basis van de hydraulische effecten verwacht worden dat een langer traject zal leiden tot een groter effect op de waterstand over een langer traject. Vanuit de in Hoofdstuk 5 gepresenteerde analyse van de effecten van de langsdammen uit de pilot op zoetwatervoorziening zou het interessant kunnen zijn nader onderzoek te doen naar het stroomafwaarts verlengen van het traject van de langsdammen uit de pilot. Dit zou de volgende effecten op de zoetwatervoorziening kunnen hebben:

- Verhoging van de waterstand bij laagwater bij Sint Andries, waardoor het negatieve effect op de scheepvaart van waterstandverlaging als gevolg van de aanvoer van water naar West-Nederland via het Betuwepand verminderd of gecompenseerd zou kunnen worden (zie Hoofdstukken 5.1 en 5.2);
- Verdere verhoging van de waterstand bij laagwater bij Tiel waardoor het aantal dagen dat niet onder vrij verval ingelaten kan worden bij een aantal regionale inlaatpunten verder beperkt zou kunnen worden (zie Hoofdstuk 5.3);
- (Verdere) verhoging van de waterstand bij laagwater waardoor de wegzijging vanuit het regionale grondwater naar de rivier verder beperkt wordt. Dit effect blijft echter ook dan beperkt tot ordegrrootte 1% van de totale inlaatcapaciteit van het Land van Maas en Waal (zie Hoofdstuk 5.4.1); en
- Verdere verhoging van de waterstand bij laagwater zal ook zorgen voor verdere verhoging van de grondwaterstanden in de uiterwaarden met een gunstig effect voor natuur aldaar (zie Hoofdstuk 5.4.2).



## 8 Conclusies

De hoofdvraag die dit rapport heeft proberen te beantwoorden is hoe langsdammen bij kunnen dragen aan de nationale zoetwatervoorziening. Om deze vraag te beantwoorden is gekeken wat het effect van de langsdammen uit de pilot is op de waterstand bij lage afvoeren en wat dat vervolgens betekent voor verschillende aspecten van de zoetwatervoorziening.

Naast de hoofdvraag waren er drie deelvragen geformuleerd:

- 1 Welke instelling van de instroomopeningen verhoogt de rivierwaterstand bij het Amsterdam-Rijnkanaal?
- 2 Hoe beïnvloedt optimalisatie van de zoetwatervoorziening de andere functies en thema's?
- 3 Wat is met name de invloed van de afvoer over het Amsterdam-Rijnkanaal op de waterstanden in de Waal bij lage rivierafvoer? Wat is de consequentie voor de diepte in de vaarweg?

De effecten van de langsdammen uit de pilot op laagwaterstanden zijn geanalyseerd op basis van metingen en Delft3D-berekeningen. De metingen laten zien dat na de aanleg van de langsdammen de dalend trend in de waterstand bij Tiel, bij gelijke afvoer, gestopt is. Het blijkt niet mogelijk om op basis van de metingen het waterstandseffect van de verschillen in de instroomopeningen te bepalen, hoewel er wel aanwijzingen zijn dat het gedeeltelijk sluiten van de instroomopeningen geleid moet hebben tot meer afvoer door de hoofdgeul en een hogere waterstand.

De modelresultaten zijn in het vervolg van deze studie gebruikt om het effect van de langsdammen op de zoetwatervoorziening te bepalen. Het voordeel van numerieke simulaties is dat het geïsoleerde effect van de langsdammen onderzocht kan worden, zonder dat andere effecten zoals andere ingrepen of variabiliteit in afvoer of andere variabelen het beeld verstoren. De modelresultaten lijken de gemeten waterstandseffecten van de langsdammen goed weer te geven, hoewel er mogelijk sprake is van lichte overschatting van het waterstandseffect.

De langsdammen uit de pilot bij Wamel, Dreumel en Ophemert hebben volgens de resultaten van de modelberekeningen, zoals ze nu aangelegd zijn en bij een lage afvoer, een effect op de waterstand van enkele centimeters. Met volledig open instroomopeningen, de situatie vóór 2018, varieert het maximale waterstandseffect tussen 1 cm daling en 4 cm stijging. De situatie sinds maart / april 2018 met deels gesloten instroomopeningen leidt volgens de simulaties tot een maximale stijging van de waterstand van 6 cm.

Andere onderzochte varianten leiden tot een groter effect op de waterstanden. Een uniforme brede oevergeul, variant Vopt\_06a, leidt tot een verlaging van de waterstand met maximaal 17 cm en vervanging van de langsdam door een damwand, variant Vopt\_07, leidt volgens de modelberekeningen tot een maximale verlaging van 15 cm.

Als de oevergeul bij laagwater niet mee stroomt, door het volledig sluiten van de instroomopeningen, variant V2, stijgt de waterstand volgens de modelberekeningen maximaal 19 cm. Dit leidt tot een maximale toename van de waterstand bij het Amsterdam-Rijnkanaal van 13 cm, bij een afvoer bij Lobith van 1.020 m<sup>3</sup>/s, en van 10 cm bij een afvoer van 800 m<sup>3</sup>/s (deelvraag 1). Het verhogen van de bodemligging van de oevergeul tot OLR, variant Vopt\_05a, leidt tot een maximale verhoging van de waterstand van 15cm.

Het waterstandseffect van de langsdammen uit de pilot op de waterstand is het grootst bij het bovenstroomse begin van de langsdam bij Wamel en neemt verder benedenstrooms en verder bovenstrooms af. Benedenstrooms van de langsdammen is er geen effect op de waterstand. Bovenstrooms is het effect nog maximaal enkele centimeters op de rand van het model bij Nijmegen, dat 23 km bovenstrooms van de langsdammen uit de pilot gelegen is. Het effect op de waterstand bij de Pannerdensche Kop is niet berekend, maar is minder dan bij Nijmegen. Het effect op de afvoerverdeling tussen Waal en Pannerdensch Kanaal is daardoor zeer gering en is verder buiten beschouwing gelaten.

Er zijn vijf mogelijk effecten op de zoetwatervoorziening onderzocht.

#### *1. Aanvoer van zoetwater naar West-Nederland door het Betuwepand*

Bij droogte wordt zoetwater uit de Waal naar West-Nederland gevoerd via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal, de stuw Hagestein en de Prinses Irenesluizen. Het verval bij de stuw Hagestein en de Prinses Irenesluizen verandert door de verhoging van de waterstand die een gevolg is van de aanleg van de langsdammen. Dat verval bedraagt bij lage afvoeren circa 2 meter. Een toename van dit verval met maximaal 20 cm als gevolg van de langsdammen zal geen significant effect hebben op de afvoer. Daarom hebben de langsdammen van de pilot geen effect op de watervoorziening voor West-Nederland.

#### *2. Effect van onttrekking op de diepte in de vaarweg*

De Hotspotanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater (Mens et al., 2018) voorziet een maximale onttrekking van 80 m<sup>3</sup>/s zoetwater voor West-Nederland via het Amsterdam-Rijnkanaal. Dit verlaagt de afvoer en de waterstand op de Waal benedenstrooms. Bij laagwater leidt dit tot een afname van de waterstanden en een toename van de vaarbeperkingen. Het benedenstroomse riviertraject met de grootste vaarbeperking bevindt zich bij Sint Andries op rivierkilometer 927. De langsdammen van de pilot liggen bovenstrooms van Sint Andries en hebben daardoor logischerwijs geen effect op deze waterstand. Nader onderzoek zou uit kunnen wijzen of langsdammen ter plaatse bij Sint Andries de vaarbeperkingen kunnen verminderen en zo de afname van de diepte in de vaarweg door wateronttrekking voor West-Nederland kunnen beperken. Het is aan te bevelen hierbij vooral te kijken naar langsdammen met gesloten openingen bij lagere waterstanden.

#### *3. Regionale inlaatpunten*

Hogere laagwaterstanden op de Waal bij Tiel, in het Betuwepand en in het stuwpand Hagestein beïnvloeden de regionale inlaatpunten gunstig doordat ze ertoe leiden dat de drempelwaarden voor het onder vrij verval inlaten van water minder vaak overschreden worden. Een analyse van de waterstanden in het droge jaar 2018 gecombineerd met de gesimuleerde waterstandseffecten van de langsdammen uit de pilot, laat zien dat de langsdammen met gedeeltelijk afgesloten instroomopeningen voor de regionale inlaatpunten Kromme Rijn, Prins Bernhardsluizen en Tiel geleid hebben tot enkele dagen minder overschrijding ten opzichte van de variant zonder langsdammen, op een totaal van 25 tot 109 dagen. De variant met maximale waterstandverhoging, met geheel gesloten instroomopeningen, verkleint het aantal dagen overschrijding met 19 tot 24 dagen.

#### *4. Grondwatervoorraad*

Verandering van de waterstand op de Waal heeft ook effect op de uitwisseling met het regionale grondwater en het grondwater in de uiterwaarden. Bij laagwater is de waterstand in de rivier lager dan de grondwaterstand en vindt er wegzijging plaats van het grondwater naar de rivier. Er is een inschatting gemaakt van het effect op de regionale waterbalans van het Land van Maas en Waal voor een waterstandstijging op de rivier met gemiddeld 5 cm over een traject van 10 km. De wegzijging naar de rivier vermindert daardoor inderdaad, volgens een grove inschatting met ongeveer 5%. Dit komt overeen met iets minder dan 1% van de totale inlaatcapaciteit voor het Land van Maas en Waal.

Eerdere studies van Royal HaskoningDHV (Engel en Van Heereveld, 2019a en 2019b) laten zien dat een stijging van de grondwaterstand in de uiterwaarden leidt tot een lichte verbetering van de omstandigheden voor het habitatype vochtige alluviale bossen in het gebied.

#### 5. Zoutindringing

De langsdammen zouden verder nog effect kunnen hebben op de zoetwatervoorziening als zij de zoutindringing in de Rijn-Maasmonding zouden beïnvloeden, doordat de bodemligging in het riviertraject met zoutindringing of de afvoerverdeling over de Rijntakken verandert. Dit is niet het geval voor de langsdammen van de pilot, maar zou wel een effect kunnen zijn bij de toepassing van langsdammen in het gebied gevoelig voor zoutindringing of in de buurt van de splitsingspunten van de Rijntakken. Nader onderzoek is nodig als in deze gebieden toepassing van langsdammen overwogen wordt.

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat de bijdrage van de langsdammen uit de pilot bij Wamel, Dreumel en Ophemert op de zoetwatervoorziening vooral zit in de interactie met het regionale watersysteem via inlaten en via het grondwater. Dit beantwoordt de hoofdvraag en heeft overigens meer betrekking op de regionale dan op de nationale watervoorziening.

Uitvoering van langsdammen over een langer traject zal naar verwachting leiden tot een groter waterstandseffect over een langer traject dan uit de pilot naar voren is gekomen. Het benedenstreams verlengen van de langsdammen uit de pilot tot voorbij Sint Andries zou de bovengenoemde effecten van de langsdammen uit de pilot kunnen versterken. De effecten van onttrekkingen ten behoeve van zoetwatervoorziening zouden hierdoor kunnen verkleinen. Dit zou een bijdrage kunnen leveren aan de nationale zoetwatervoorziening als hiermee de waterstandsverlaging als gevolg van de extra afvoer via het Amsterdam-Rijnkanaal gecompenseerd zou kunnen worden.

Bij eventueel verder uitrollen van de langsdammen gaat vanuit het oogpunt van de zoetwatervoorziening de voorkeur uit naar het toepassen van langsdammen met een gesloten instroomopening bij laagwater, omdat deze tot de grootste stijging van de waterstand bij laagwater leiden (deelvraag 1).

In eerder onderzoek zijn een aantal keuzes geformuleerd met betrekking tot de waterverdeling voor West-Nederland die naar verwachting onder het Warm2050 scenario eens in de 5 jaar gemaakt moet worden:

- Extra wateraanvoer uit de Waal via het ARK-Betuwepand (met als gevolg negatieve effecten voor de scheepvaartsector).
- Minder water naar de Lek (effecten drinkwatersector).
- Minder water naar het ARK-Noordpand (effecten regionale watervoorziening, natuur, drinkwatersector).
- Meer water via sluis Driel (effect op IJsselafvoer).
- Minder regionale onttrekkingen vanuit het ARK-Betuwepand en vanuit de Nederrijn.

Deze lijst geeft een overzicht van de functies en thema's die beïnvloed worden door de optimalisatie van de watervoorziening (deelvraag 2).

Op basis van metingen uit het droge jaar 2018 wordt ingeschat dat het effect van een onttrekking uit de Waal naar het Amsterdam-Rijnkanaal van 68 m<sup>3</sup>/s een waterstandsval van 15 cm geeft. Dit komt redelijk overeen met het op basis van modelberekeningen verwachte effect van 2,1 mm per m<sup>3</sup>/s. Beleidsmatig wordt nu uitgegaan van een maximale onttrekking van 80 m<sup>3</sup>/s, wat op basis van bovenstaande neerkomt op een waterstandsval van 17 tot 20 cm. Deze waterstandsval verkleint de diepte in de vaarweg met een zelfde aantal centimeters.

(deelvraag 3). Sluiting van de instroomopeningen van de langsdammen uit de pilot kan bij Tiel hiervan tot 13 cm compenseren .

.

# Literatuur

- Asselman, N. & P. de Grave (2021), Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal; Functie Hoogwaterveiligheid. Rapport Deltares, 11204644, Delft, september 2021.
- De Jong, J & te Nijenhuis, A. (2020), Probleembeschrijving en oplossingsrichtingen voor de ondiepte bij St. Andries. Deltares memo 11205271-009-ZWS-0001, april 2020. Voorlopig concept.
- De Jong, J., Chavarrías, V. & Ottevanger, W. (2021), Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal; Hydromorphological data and observations. Rapport Deltares, 11204644, Delft, september 2021..
- Engel, W. & Van Heereveld, M. (2019a), Kostenbeeld landbouw (verkenning). Notitie BG3998/N009/408540.
- Engel, W. & Van Heereveld, M. (2019b), Kostenbeeld natuur (verkenning). Notitie BG3998/N010/408540.
- Hobbelt, L., Klutman, W., Ter Harmsel, A., Van der Veen, R. & Van de Braak, J. (2017a), Grondwater in Waterschap Rivierenland. Grondwatersysteembeschrijving en GIS-omgeving. Arcadis, projectnummer C03081.000012.0100/LB, referentie 079840053.
- Hobbelt, L. & Klutman, W., Ter Harmsel, A., Van der Veen, R. & Van de Braak, J. (2017b), Kaartenrapportage. Watersysteembeschrijvingen Rivierenland. Arcadis, projectnummer C03081.000012.0100/LB, referentie 079840102 A.
- Mens, M., R. van der Wijk, N. Kramer, J. Hunink, B., J. de Jong, Becker, P. Gijsbers, C. ten Velden (2018), Hotspotanalyses voor het Deltaprogramma Zoetwater: Inhoudelijke rapportage. Deltares rapport 11202240-004-ZWS. Delft, mei 2018.
- Ogink, H.J.M. (2010), Validatie NHI voor Waterschap Rivierenland. Jaar 2006. STOWA rapport 2001-w02.
- Omer, A., W. Ottevanger, M. Yossef & F. Buschman (2019a). Case study of morphological modelling with Delft3D4 and Delft3D-FM (longitudinal dams in the Waal River). Deltares rapport 11202188-004-ZWS-0004, Maart 2019.
- Omer, A., Ottevanger, W. & Yossef, M. (2019b), Modelling the morphological effects of longitudinal dams in the Midden-Waal. Deltares report 11203681-002-ZWS-0001, december 2019.
- Paarlberg, A.J., Yossef, M.F.M. & A.Y.A. Omer (2021), Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal; Delft3D simulations. Report HKV Lijn in Water & Deltares, PR4153.10 (HKV), 11204644 (Deltares), Delft, september 2021.
- Zuijderwijk, W.M. & J. de Jong (2021), Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal; Optimalisatie. Rapport Witteveen+Bos & Deltares, 117743/20-006.749 (Wi+Bo), 11204644 (Deltares), Delft, september 2021.

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

**Deltares**

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