

Klimaatverandering bemoeilijkt het halen van de ecologische doelen in beken

Een modelstudie naar het effect van veranderende beekafvoeren op de ecologie.



Colofon

Uitgave

Waterschap Aa en Maas
20 juni 2022

Auteurs

Luuk van Gerven, Chris van Rens, Carlo Rutjes en Frank van der Bolt
afdeling Onderzoek & Monitoring
Jacco Hoogewoud
Advies in Water

Contact

Waterschap Aa en Maas
Pettelaarpark 70
5216 PP 's-Hertogenbosch
tel 088-17 88 000
info@aaenmaas.nl
www.aaenmaas.nl

© waterschap Aa en Maas. Alle rechten voorbehouden

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting.....	4
1 Introductie	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel, aanpak en afbakening.....	5
1.3 Leeswijzer	5
2 Methode	6
2.1 Studiegebied	6
2.2 Berekenen van beekafvoeren	7
2.3 Vergelijken van berekende beekafvoeren met metingen	8
2.4 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de beekafvoeren.....	8
2.5 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de beekecologie	9
3 Resultaten	11
3.1 Vergelijken van berekende beekafvoeren met metingen	11
3.2 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de grondwaterstand.....	12
3.3 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de beekafvoeren.....	14
3.4 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de beekecologie	16
4 Conclusies en aanbevelingen.....	19
4.1 Conclusies	19
4.2 Aanbevelingen	20
Referenties	21
Bijlage A – Effect klimaat en maatregelen op basis- en piekafvoeren in Graafse Raam	22
Bijlage B – Voorbeeldfactsheet (Bakelse Aa) met effect klimaat en maatregelen op beekafvoer en ecologie	23

Samenvatting

De effecten van klimaatverandering worden steeds beter voelbaar: extreme wateroverlast in 2016 en 2021 en extreem droge zomers in de tussenliggende jaren. Klimaatverandering heeft mede daardoor ook een groot effect op het leven in en onder water. Het realiseren van de ecologische doelen is sterk afhankelijk van het op orde krijgen van hydrologische randvoorwaarden in de zomerperiode: geen of beperkte droogval, voldoende doorstroming, voldoende grote stroomsnelheid en passende stromingsdynamiek.

In de SGBP-plannen die Aa en Maas heeft opgesteld, is tot nu toe geen rekening gehouden met effecten van klimaatverandering, en ook is de realiseerbaarheid van de hydrologische randvoorwaarden niet getoetst. Daarom is voor het beheergebied van Aa en Maas per KRW-waterlichaam verkend of de voor de ecologische doelen noodzakelijke hydrologische randvoorwaarden gerealiseerd kunnen worden bij zowel het huidige als toekomstig klimaat. Onderzocht is hoe het effect van klimaat via neerslag en verdamping leidt tot andere beekafvoeren en daarmee tot veranderingen in de hydrologische randvoorwaarden stroomsnelheid, watervoerendheid en fluctuatie in debieten. Er is geen rekening gehouden met het klimaateffect van een hogere watertemperatuur op het leven in de beek en ook is geen rekening gehouden met een wijziging in de beschikbare hoeveelheid aanvoerwater als gevolg van klimaatverandering.

In grote delen van het beheersgebied blijken de hydrologische randvoorwaarden bij het huidige klimaat al niet te kunnen worden gehaald. De klimaatverandering belemmert het realiseren van de ecologische KRW-doelen in de beken van Aa en Maas nog verder. Voor het KNMI2013 klimaatscenario WH50 worden in 2050 25% tot 40% lagere basisafvoeren in de zomer berekend. Dit leidt in de zomerperiode tot lagere stroomsnelheden en tot meer stagnatie en droogval, vooral in de bovenlopen van beken zonder wateraanvoer. Verder neemt de kans op piekafvoeren toe, resulterend in een grotere fluctuatie in debieten (het verschil tussen hoge en lage afvoeren neemt toe). Dit alles is ongunstig voor het leefklimaat van planten en dieren in de beek en zet het realiseren van de ecologische KRW-doelen onder druk. Niet alleen voor 2027, het jaar waarin de KRW-doelen gerealiseerd dienen te worden, maar ook voor de periode erna. De door de KNMI aangekondigde aanscherping van de klimaatscenario's in 2023 zal deze effecten nog vergroten.

Om het handelingsperspectief in beeld te brengen, zijn de effecten berekend van een serie rigoureuze hydrologische maatregelen gericht op klimaatbestendige, veerkrachtige watersystemen. Deze maatregelen bevorderen de sponswerking van het stroomgebied door en meer water vast te houden en minder water te onttrekken. Water wordt vastgehouden door het opzetten van het winterpeil, het verwijderen van buisdrainage, het dempen van sloten en het stimuleren van infiltratie van regenwater in het stedelijk gebied. De effecten van beekherinrichting en extra waterinlaat zijn niet verkend. De onttrekking is verkleind door te stoppen met beregenen en het verminderen van drinkwater- en industriële onttrekkingen. Het totaalpakket van deze rigoureuze maatregelen, die veel verder gaan dan voorzien in het huidige beleid, blijkt het effect van de klimaatverandering in 2050 op de droogval en de stroomsnelheid in de zomer deels te kunnen compenseren maar ook dan worden op veel plaatsen niet de hydrologische randvoorwaarden bereikt die nodig zijn om de vastgestelde ecologische KRW-doelen te kunnen realiseren.

Deze studie toont aan dat het behalen van de gestelde ecologische KRW-doelen een grote uitdaging vormt. De beschikbaarheid van voldoende water in de zomerperiode belemmert de realisatie van de KRW-doelen. En door de klimaatverandering wordt dit probleem nog groter. Alleen rigoureuze maatregelen kunnen er voor zorgen dat de beschikbare hoeveelheid water in de zomerperiode toeneemt, maar ook dan lijken door de klimaatverandering niet alle voor de ecologische doelen noodzakelijke hydrologische eisen te kunnen worden bereikt. De uitgangspunten die in de watersysteemanalyse (2018/2019) zijn gehanteerd voor het vaststellen van de watertypen en de KRW-doelen lijken niet allemaal even realistisch waardoor een aantal KRW-doelen niet bereikt zal kunnen worden.

Voor een realistisch toekomstgericht waterbeheer zullen de uitgangspunten en doelen ten aanzien van de inrichting, beheer en gebruik van het watersysteem moeten worden herzien. Dat impliceert dat ook de ecologische doelen op basis van de nieuwe inzichten moeten kunnen worden herzien. Het is daartoe noodzakelijk in de 'midterm review KRW' (2024) te motiveren waarom de KRW-doelen in 2027 waarschijnlijk niet zullen worden gerealiseerd en waarom op termijn realistische klimaat-inclusieve KRW-doelen zullen moeten worden afgeleid.

1 Introductie

1.1 Aanleiding

Bij de start van de laatste SGBP-periode voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) voldoet nog geen enkele beek van Waterschap Aa en Maas aan de gestelde ecologische doelen (zie Waterbeheerplan 2022-2027). De uitvoering van alle daarvoor nodige maatregelen moet eind 2027 zijn gerealiseerd. De KRW-doelen dienen vanaf 2027 te worden gehaald, om zo een gezond leefklimaat te garanderen voor planten en dieren. De KRW-doelen van onze KRW-waterlichamen zijn afgeleid met watersysteemanalyses (Rost et al. 2020). Bij deze analyses is rekening gehouden met het verwachte effect van nog voor 2027 te nemen inrichtingsmaatregelen zoals beekherstel en de aanleg van natuurvriendelijke oevers (Rost et al. 2020). Het effect van klimaatverandering is echter niet meegenomen, terwijl klimaatverandering naar verwachting van grote invloed is op de toekomstige beekecologie. Namelijk via veranderende neerslagpatronen en hogere temperaturen (meer verdamping) die leiden tot veranderingen in beekafvoeren en daarmee in stroomsnelheid, afvoerdynamiek en watervoerendheid (droogval). Deze hydrologische randvoorwaarden zijn sturend voor de beekecologie.

Welk effect heeft de klimaatverandering op de beekafvoeren? Zijn de KRW-doelen daardoor op langere termijn nog haalbaar? Hoe groot is dit klimaateffect? Kun je het klimaateffect tegengaan door het nemen van hydrologische maatregelen? De antwoorden op deze vragen zijn nog onbekend, terwijl klimaatverandering steeds meer van zich laat horen. De kans op droge zomers zoals in 2018 en 2019 zal toenemen. Ook extreem natte situaties zoals in juni 2016 en in juli 2021 zullen waarschijnlijk vaker voor gaan komen. De uitdaging is om onze watersystemen in te richten op deze extremen. Door ze goed te laten functioneren qua hydrologie en ecologie in zowel natte, normale en droge situaties. Kernwoorden hierbij zijn klimaatbestendig, robuust, veerkrachtig en stuurbaar, zoals beschreven in het Waterbeheerplan 2022-2027 en het dossier 'Water in transitie'. Hoe gaan we hier invulling aan geven? Wat werkt wel en wat werkt niet?

1.2 Doel, aanpak en afbakening

Het hoofddoel van deze studie is:

- Aftasten of klimaatverandering het halen van de ecologische KRW-doelen in onze beken bemoeilijkt. Verslechteren de benodigde hydrologische randvoorwaarden? En wat kunnen we hieraan doen?

Hiertoe zijn onderstaande nevendoelen onderzocht:

- Het voorspellen van het effect van het toekomstige klimaat rond 2050 (KNMI scenario WH50) op de beekafvoeren in ons beheergebied. Dit WH50 scenario is het meeste extreme van de vier KNMI'14 klimaatscenario's, maar tevens het scenario dat gezien de huidige ontwikkelingen het meest reëel lijkt.
- Het bepalen van het effect van een rigoureuus pakket aan hydrologische maatregelen op de beekafvoeren. Het pakket bevat klimaatadaptieve maatregelen gericht op systeemherstel, i.e. een betere sponswerking door water vast te houden in natte tijden en na te leveren in droge tijden.

Qua aanpak vormt het Grondwatermodel Aa en Maas (GRAM) de basis van deze studie. Per KRW-waterlichaam is de beekafvoer berekend voor de afgelopen 10 jaar en uitgebreid gevalideerd. Daarna is het toekomstige klimaat rond 2050 (klimaatscenario WH50) opgelegd aan het model, om het klimaateffect op de afvoeren te voorspellen. Vervolgens is het effect van hydrologische (klimaatadaptieve) maatregelen doorgerekend, onder zowel het huidige als toekomstige klimaat. Afsluitend zijn de effecten op de beekafvoeren vertaald naar de consequenties voor de beekecologie en de haalbaarheid van de ecologische doelen. De uitkomsten van deze studie zijn beschikbaar als factsheets per beek, voor toepassing binnen projecten en/of gebiedsteams.

De afbakening is als volgt. De studie is uitgevoerd voor de vrij afwaterende zandgronden in het beheergebied van Aa en Maas, met hun ingelegen beeksystemen (KRW-waterlichamen) en achterliggende stroomgebieden. De kleipolders (Hertogswetering) zijn niet beschouwd. Het effect van klimaatverandering is geanalyseerd in termen van hydrologie (andere patronen van neerslag en verdamping) en de daardoor veranderende beekafvoeren. Er is niet gekeken naar andere aspecten van klimaatverandering zoals de toenemende watertemperatuur en de gevolgen daarvan voor de leefomgeving van planten en dieren in de beek.

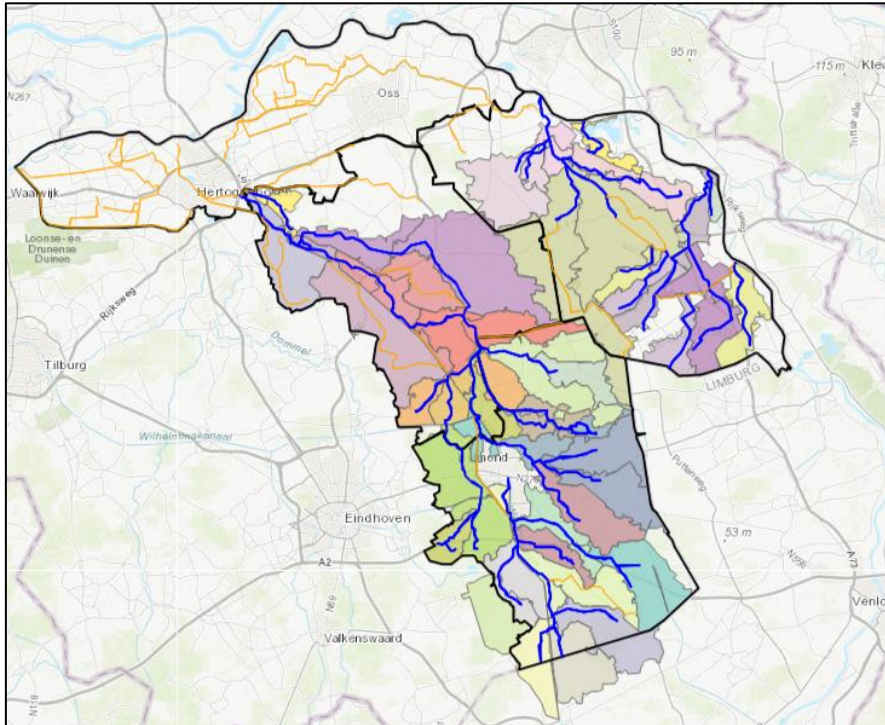
1.3 Leeswijzer

Dit rapport heeft een standaardindeling waarin de aanpak is beschreven in de 'methode' (hoofdstuk 2), de belangrijkste uitkomsten worden gepresenteerd in de 'resultaten' (hoofdstuk 3) en de hoofdbevindingen en vervolgieeën zijn beschreven in de 'conclusies en aanbevelingen' (hoofdstuk 4).

2 Methode

2.1 Studiegebied

Het studiegebied omvat de beeksystemen in de vrij afwaterende zandgronden (Figuur 2.1). Het gaat om 22 KRW-waterlichamen (Tabel 2.1), waarvan het totale vanggebied is onderverdeeld in 65 deelstroomgebieden.



Figuur 2.1: Het studiegebied: de (gekleurde) deelstroomgebieden van de (blauwe) beeksystemen in Tabel 2.1.

Tabel 2.1: De beschouwde beeksystemen in deze studie en hun deelstroomgebieden. Drie KRW-beken missen in deze tabel, maar liggen wel in de deelstroomgebieden. Dit zijn de Voordeldonkse Broekloop (in AEH-stroomgebied), de Landmeerse Loop (in AGD-stroomgebied) en de Sint Anthonisloop (in GRR-stroomgebied).

KRW-waterlichaam	KRW-type	Code	Deelstroomgebieden
Aa bij Helmond	R5	AAH	2
Astense Aa en Soeloop	R4	AAS	3
Aa vanaf Eeuwselse Loop tot Helmond	R5	AEH	4
Aa, Eeuwselse Loop en Kievitsloop	R4	AEK	4
Aa van Gemert tot Den Bosch	R6	AGD	9
Beekerloop	R4	BEE	1
Bakelse Aa, Oude Aa en Kaweise Loop	R4	BOK	4
Esperloop en Snelle Loop	R4	ESL	4
Goorloop, Boerdonkse Aa en Aa van Helmond	R5	GBA	4
Goorloop tot aan Wilhelminakanaal	R5	GOW	3
Graafse Raam, Lage Raam, Peelkanaal ea	R5	GRR	6
Halsche Beek en Hooge Raam	R14	HBH	2
Kleine Aa	R4	KLA	2
Lactariabeek	R4	LAC	1
Ledeackerse Beek	R4	LBS	1
Leijgraaf	R5	LEI	3
Oploosche Molenbeek, Oeffeltsche Raam ea	R5	OPM	5
Peelse Loop	R4	PEL	2
St Jansbeek	R5	STJ	1
Tovensche Beek	R4	TOB	1
Tochtsloot	R4	TOC	1
Wambergse Beek	R5	WB	2

2.2 Berekenen van beekafvoeren

Per deelstroomgebied is de dagelijkse beekafvoer bij het uitstroompunt bepaald in de periode 2010-2019 via een optelsom van:

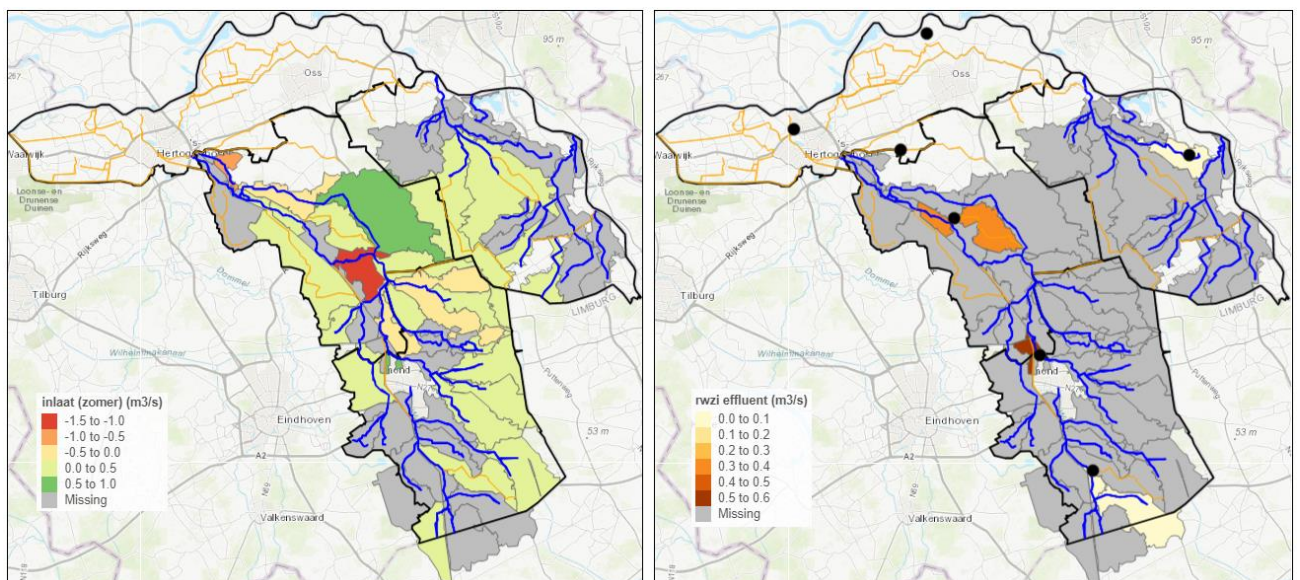
1. de gebiedseigen neerslag en/of het grondwater die tot afvoer komen in het achterliggende deelstroomgebied
2. de externe aanvoer van water via inlaten en RWZI's
3. de aanvoer van water vanuit bovenstroomse deelstroomgebieden

Het model gaat er van uit dat al dit water dezelfde dag tot afvoer komt bij het uitstroompunt. Deze aanname is valide voor de beschouwde beken, omdat de watersystemen van Aa en Maas snel reageren systemen waardoor afvoerpieken binnen 1 à 2 dagen de Maas bereiken.

In stap 1 is met het Grondwatermodel Aa en Maas (GRAM) berekend hoeveel gebiedseigen water er elke dag terecht komt in de waterlopen vanuit het achterliggende deelstroomgebied. Dit kan neerslagwater zijn maar ook diep grondwater dat via regionale kwelstromen tot afvoer komt. Hiertoe simuleert het model de hydrologische processen en het watertransport in de bodem en de ondergrond. Het model berekent welk deel van de dagelijkse neerslag (KNMI gegevens) infiltreert in de bodem (naar gelang verdamping, landgebruik en bodemtype) om vervolgens de grondwaterstand aan te vullen en/of te worden afgevoerd naar oppervlaktewater. Hierbij maakt het model gebruik van de erkende state-of-the-art hydrologische data, modellen en hulpmiddelen van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI). Meer informatie over de GRAM-berekeningen en hoe het is toegepast in deze studie is te vinden in Hoogewoud et al. (2021).

In stap 2 is ingeschat hoeveel water er gemoeid is met externe bronnen van water in het gebied, namelijk inlaatwater (bijvoorbeeld vanuit de Peelkanalen) en RWZI-effluent (Figuur 2.2). Hierbij is per externe bron een constant debiet gebruikt, waarbij is aangenomen dat de RWZI's het hele jaar door lozen en dat inlaat alleen plaatsvindt in het zomerhalfjaar (1 april – 1 oktober). In sommige deelstroomgebieden is er sprake van 'externe uitlaat'. Dit is het geval wanneer niet al het water het gebied verlaat via het uitstroompunt maar een deel onderweg wordt geloosd op een 'extern water'/kanaal (bijvoorbeeld de Zuid-Willemsvaart).

In stap 3 is de wateraanvoer vanuit bovenstrooms gelegen stroomgebieden opgeteld bij het debiet. Zo wordt het uitstroompunt van de Aa in ons model van water voorzien door 42 deelstroomgebieden. Per deelstroomgebied zijn de stappen 1 en 2 doorlopen, en is de resulterende waterafvoer opgeteld bij de waterafvoer van benedenstroomse deelgebieden. Hiervoor is een routing opgesteld, waarin is gedefinieerd welke gebieden op elkaar afwateren.

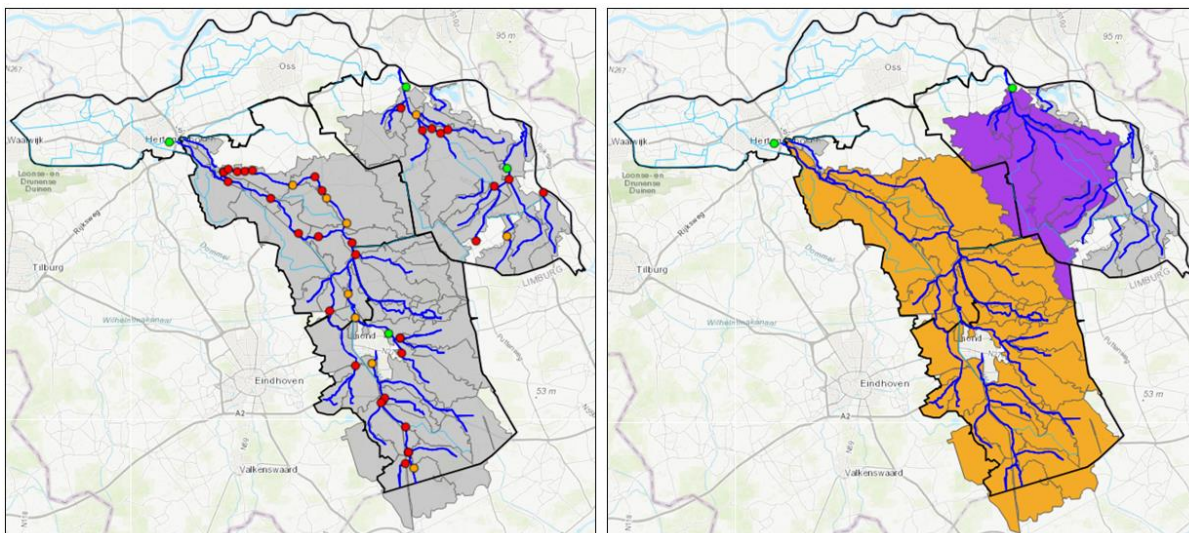


Figuur 2.2: Externe wateraanvoer per deelstroomgebied voor wat betreft waterinlaat (links) en RWZI-effluent (rechts). De grijze gebieden ontvangen geen extern water. De zwarte punten geven de ligging van de RWZI's. Een negatieve inlaat betekent dat er water wordt uitgelaten op 'extern water' (zoals een kanaal).

2.3 Vergelijken van berekende beekafvoeren met metingen

De berekende afvoeren zijn vergeleken met de gemeten afvoeren. Dit is gedaan voor 2012-2019. Het gaat om:

- Een vergelijking op hoofdlijnen voor 48 debietmeetpunten (Figuur 2.3 links) qua lage, mediane en hoge afvoeren in het zomerhalfjaar (apr-sept) en het winterhalfjaar (okt-mrt) van 2012-2019.
- Een gedetailleerde vergelijking voor de uitstroompunten van de Aa (met oranje stroomgebied) en de Graafse Raam (met paars stroomgebied) (Figuur 2.3 rechts) qua dagelijkse beekafvoer in 2017-2019. Deze stroomgebieden omvatten vrijwel het gehele studiegebied en hun debietmetingen zijn betrouwbaar. Daarom geeft deze vergelijking inzicht in de betrouwbaarheid van het model op gebiedsniveau.



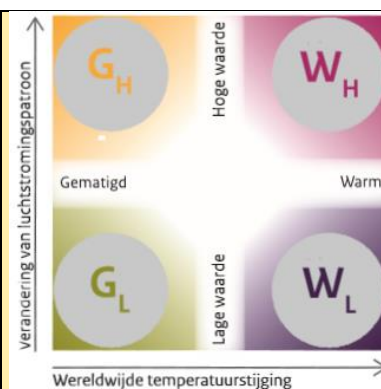
Figuur 2.3: **Links:** debietmeetpunten (groen=betrouwbaar, oranje=matig betrouwbaar, rood=weinig betrouwbaar) waarvan de gemeten afvoer is vergeleken met de berekende afvoer. **Rechts:** debietmeetpunten en hun achterliggende vanggebied waar gemeten en gemodelleerde afvoer in detail met elkaar zijn vergeleken: meetpunt ADM120 = oranje vanggebied (Aa), meetpunt ADM108 = paarse vanggebied (Graafse Raam).

2.4 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de beekafvoeren

Met GRAM is berekend welk effect het toekomstige klimaat (rond 2050) heeft op de beekafvoeren. Hierbij is uitgegaan van het KNMI WH50 scenario (zie tekstkader 'Klimaatscenario'). Ook is bepaald in hoeverre het klimateffect kan worden gecompenseerd door het nemen van een aantal rigoureuze hydrologische maatregelen, gericht op een klimaatrobuust watersysteem (zie tekstkader 'Maatregelen').

Klimaatscenario

Voor het toekomstige klimaat in 2050 gaat deze studie uit van het WH50 scenario. Dit is het meeste extreme van de vier KNMI'14-klimaatscenario's (zie figuur, overgenomen uit KNMI, 2014). WH50 gaat namelijk uit van de grootste verandering qua luchtstromingspatronen en wereldwijde temperatuurstijging. In 2023 publiceert het KNMI nieuwe klimaatscenario's die extremer zullen zijn. In 2021 zijn deze nieuwe scenario's aangekondigd in het Klimaat signaal '21 (KNMI 2021). Het WH50 scenario komt het meest in de buurt van de nieuwe scenario's.



Maatregelen

Voor deze studie zijn zeven klimaatadaptieve maatregelen doorgerekend, en een combinatie daarvan (nummer 1 t/m 8 in Tabel 2.2). De maatregelen zorgen voor hogere grondwaterstanden en minder wateronttrekking. Zo wordt het water in nattere tijden beter vastgehouden zodat het bodemsysteem in droge tijden langer water kan naleveren. Het gaat om rigoureuze maatregelen. De maatregel 'dempn sloten' is het meest ingrijpend en maakt landbouw praktisch onmogelijk. Toch zijn dergelijke maatregelen doorgerekend om een gevoel te krijgen voor de maximale bandbreedte van maatregel effecten. Het gaat dus om een verkennende studie.

De doorgerekende modelvarianten zijn weergegeven in Tabel 2.2 (maatregelen) en Tabel 2.3 (klimaat en maatregelen). De klimaatberekeningen zijn uitgevoerd voor een andere periode (2000-2009) dan de losse maatregelberekeningen (2010-2019). Dit komt doordat het gebruikte KNMI klimaatscenario (WH50) niet beschikbaar is als projectie op 2010-2019, maar wel voor de jaren daarvoor (1981-2010). In 2023 komt het KNMI naar verwachting met nieuwe klimaatscenario's die zijn geprojecteerd op 2010-2019. Er is voor gekozen om de rekenperiode 2010-2019 te gebruiken (in plaats van alle berekeningen uit te voeren voor 2000-2009) om de modelafvoeren te kunnen vergelijken met metingen. Voor 2010 zijn er namelijk nauwelijks afvoermetingen, in tegenstelling tot na 2010. Het verschil in rekenperiodes (2000-2009 versus 2010-2019) zorgt voor andere referentie-beekafvoeren. Het leidt voor 2010-2019 tot lagere (basis)afvoeren in de zomer als gevolg van een aantal zeer droge jaren in deze periode (2018 en 2019).

Het effect van klimaat en maatregelen op de beekafvoeren is berekend voor alle deelstroomgebieden. De resultaten zijn beschikbaar als factsheets (zie Bijlage B voor een voorbeeld). In dit rapport laten we als selectie alleen de resultaten zien voor de uitstroompunten van de Aa en de Graafse Raam (Figuur 2.3, rechts). Hun achterliggende stroomgebieden baselaan namelijk vrijwel het gehele studiegebied en geven daardoor een goed beeld van het gebiedsgemiddelde effect van het toekomstige klimaat en de maatregelen. Allereerst is gekeken naar het effect op de gemiddelde beekafvoeren in de winter, lente, zomer en herfst. Daarna is gekeken naar het voorkomen van piekafvoeren (p90=90% hoogste afvoer) en basisafvoeren (p10=10% laagste afvoer) in het zomerhalfjaar (apr – sep) en het winterhalfjaar (okt – mrt) en het effect van klimaat en maatregelen hierop.

Tabel 2.2: Doorgerekende maatregelvarianten (2010-2019).

Nr	Variant	Omschrijving
0	referentie	referentiesituatie zonder maatregelen (basismodel)
1	stoppen met beregenen	stoppen met grondwateronttrekking voor het beregenen van gewassen
2	verwijderen buisdrains	verwijderen van aanwezige buisdrainage onder percelen
3	dempen sloten	verwijderen van buisdrainage (zie maatregel 2) in combinatie met het dempen van detailwatergangen (watergangen buiten legger)
4	meer infiltreren in stad	bevorderen van infiltratiemogelijkheden in de stad door reductie van verhard oppervlak van 60% naar 36%
5	30% minder onttrekken	reduceren van grondwateronttrekking voor drinkwaterwinning en industrie met 30%
6	opzetten winterpeil 20cm	opzetten van waterpeil in leggerwatergangen met 20 cm in de winter (1 okt - 1 apr). In het voorjaar zakt het peil met 4 cm per halve maand (april-juni) om zo op 14 juni het oorspronkelijke peil (zomerpeil) te bereiken.
7	opzetten winterpeil 40cm	opzetten van waterpeil in leggerwatergangen met 40 cm in de winter (1 okt - 1 apr). In het voorjaar zakt het peil met 8 cm per halve maand (april-juni) om zo op 14 juni het oorspronkelijke peil (zomerpeil) te bereiken.
8	pakket maatregelen	Pakket aan maatregelen: combinatie van maatregel 1,3,4,5 en 7

Tabel 2.3: Doorgerekende klimaatscenario's in combinatie met een pakket aan maatregelen (2000-2009)

Nr	Scenario	Omschrijving
0	huidig klimaat	referentie bij huidig klimaat (basismodel)
1	pakket bij huidig klimaat	effect maatregelpakket (zie maatregel 8 in Tabel 2.2) bij huidig klimaat
2	klimaat 2050	effect toekomstig klimaat in 2050 volgens WH50 scenario
3	pakket bij klimaat 2050	effect maatregelpakket (zie maatregel 8 in Tabel 2.2) bij toekomstig klimaat

2.5 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de beekecologie

Om te verkennen of klimaatverandering en maatregelen gunstig of ongunstig uitpakken voor de beekecologie zijn de berekende beekafvoeren vertaald naar:

- De gemiddelde **stroomsnelheid** in het zomerhalfjaar
- De **debietfluctuatie** gedurende het jaar (een maat voor de afvoerdynamiek)
- De kansen voor **vismigratie** (voldoende afvoer in het voorjaar)
- Het voorkomen van **stagnatie** (lage afvoeren in het zomerhalfjaar)

Bovenstaande vier Ecologische StuurVariabelen (ESV's) zijn gekozen omdat ze van groot belang zijn voor de leefomgeving van macrofauna, vis en waterplanten. Ze vormen daarom belangrijke hydrologische randvoorwaarden voor het halen van de KRW-doelen.

De waarden van deze vier hydrologische ESV's zijn berekend voor de huidige situatie, het toekomstige klimaat (2050) en het toekomstige klimaat in combinatie met een pakket aan maatregelen (zie scenario 0, 1 en 2 in Tabel 2.4). Dit is gedaan voor elk van de 22 beschouwde KRW-waterlichamen en hun deeltrajecten. De berekende waarden zijn vervolgens vergeleken met de toetswaarden voor een goede beekecologie (Tabel 2.5). Dit resulteert in kaarten waarin met kleuren is aangegeven of de beken voldoen aan de gewenste hydrologisch randvoorwaarden (groen = ja, oranje = beperkt, rood = nee). Deze kaarten zijn uitgebreid met de ESV-waarden waarop de KRW-doelen in 2027 zijn gebaseerd (zie 'KRW-doel 2027' in Tabel 2.4). Namelijk de waarden die tijdens de watersysteemanalyse in 2019 haalbaar werden geacht in 2027, na het nemen van de geplande inrichtingsmaatregelen bij gelijkblijvend klimaat (Rost et al. 2019). Zo geven de kaarten inzicht of de klimaatverandering het halen van de KRW-doelen in de weg staat, en of (aanvullende) hydrologische maatregelen soelaas bieden.

Hieronder volgen details over de precieze berekening van de vier hydrologische ESV's. Bepaalde aannames zijn gedaan, om de stroomsnelheid te bepalen (omdat deze niet direct door het model is berekend), en om het effect van klimaat en maatregelen te projecteren op de huidige periode (2012-2020) in plaats van op de decade ervoor (2002-2009: de periode waarop de klimaatberekeningen zijn gebaseerd). De projectie is uitgevoerd volgens de formules in Tabel 2.4 (zie omschrijving bij scenario 1 en 2). De stroomsnelheid is voor 'referentie (huidig)' overgenomen van de eerdere watersysteemanalyse, gebaseerd op een stroomgebiedsbreed SOBEK model (Rost et al. 2020). Voor scenario 1 en 2 is de stroomsnelheid berekend via lineaire projectie van de beekafvoeren: neemt de afvoer bijvoorbeeld toe met 10% t.o.v. de referentie, dan neemt de stroomsnelheid ook toe met 10%.

Tabel 2.4: Scenario's waarvoor de vier hydrologische ESV's (Tabel 2.5) zijn bepaald en getoetst.

Nr	Scenario	Omschrijving
0	referentie (huidig)	Referentie bij huidig klimaat (2012-2019) (zie maatregel 0 in Tabel 2.2).
1	klimaat 2050*	Effect van het toekomstige klimaat in 2050 (WH50 scenario). Zie scenario 2 in Tabel 2.3, maar nu t.o.v. 2012-2019 i.p.v. 2002-2009: <i>'klimaat 2050*' = 'referentie (huidig)' + ('klimaat 2050' – 'huidig klimaat')</i>
2	pakket bij klimaat 2050*	Effect maatregelpakket (maatregel 8 in Tabel 2.2) bij toekomstig klimaat. Zie scenario 3 in Tabel 2.3, maar nu t.o.v. 2012-2019 i.p.v. 2002-2009: <i>'pakket bij klimaat 2050*' = 'referentie (huidig)' + ('pakket bij klimaat 2050' – 'huidig klimaat')</i>
3	KRW-doel 2027	de waardes waarop de in 2027 te behalen ecologische KRW-doelen zijn afgeleid (Rost et al. 2020).

Tabel 2.5: De vier beschouwde hydrologische ESV's in deze studie, met een omschrijving en hun toetswaarden voor een goede beekecologie (groen = goed, oranje = matig, rood = slecht) (bron: Rost et al. 2020). Naast deze vier hydrologische ESV's zijn er nog andere ESV's die van invloed zijn op de beekecologie maar die in deze studie niet zijn beschouwd. Denk daarbij aan de oeverinrichting, het maai-beheer, de chemische waterkwaliteit (nutriënten en toxische stoffen) en de mate van meandering en beschaduwing.

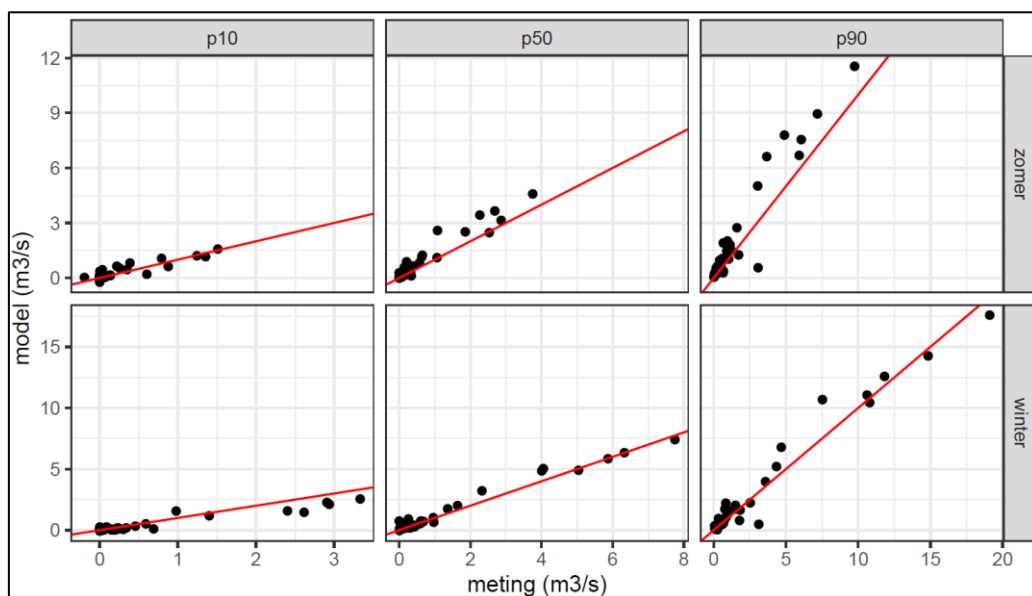
ESV	Omschrijving	Eenheid	Geen knelpunt	Beperkt knelpunt	Knelpunt
Stroomsnelheid	Gemiddelde stroomsnelheid in zomerhalfjaar (apr-sept)	cm/s	> 18	10 - 18	< 10
Debietfluctuatie	Hoogste dagelijkse afvoer gedeeld door de mediane dagelijkse afvoer, op jaarbasis	-	< 4	4 – 8	> 8
Vismigratie	Aantal dagen in het voorjaar (mrt-mei) met een dagelijkse afvoer > 50 l/s. Dit is de minimale afvoer nodig voor vismigratie die vooral speelt in het voorjaar	% van de dagen in het voorjaar	> 90	75 - 90	< 75
Stagnatie	Aantal dagen in het zomerhalfjaar (apr-sept) met een beekafvoer kleiner < 10 l/s	aantal dagen	< 7	7-14	> 14

3 Resultaten

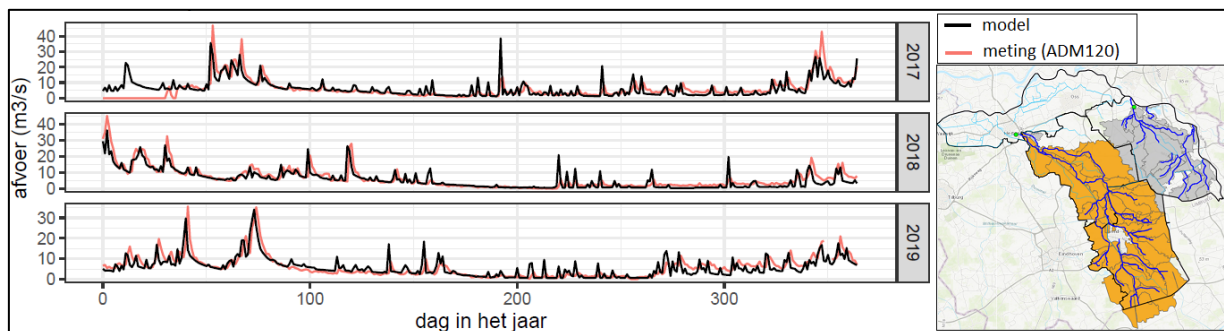
3.1 Vergelijken van berekende beekafvoeren met metingen

De door het model berekende beekafvoeren komen voor de periode 2012-2019 goed overeen met de gemeten afvoeren. Figuur 3.1 laat dit zien voor elk van de 48 debietmeetpunten in het studiegebied. Zowel in het zomer- als het winterhalfjaar liggen de punten nabij de rode lijn, voor zowel de lage (p10), mediane (p50) als hoge (p90) afvoeren. Dit geeft aan dat er langjarig gemiddeld een goede fit is tussen model en meting, ondanks onzekerheden in model en meting. Zo is ruim 70% van de debietmeetpunten door de meetnetbeheerder bestempeld als weinig betrouwbaar (zie Figuur 2.3 links). Daarom worden sinds kort nauwkeurige debietmeters geplaatst en worden bestaande debietmeters beter gevalideerd. Deze nieuwe metingen zijn niet meegenomen omdat deze studie zich richt op de periode 2012-2019. Toen waren de nieuwe debietmeters nog niet actief.

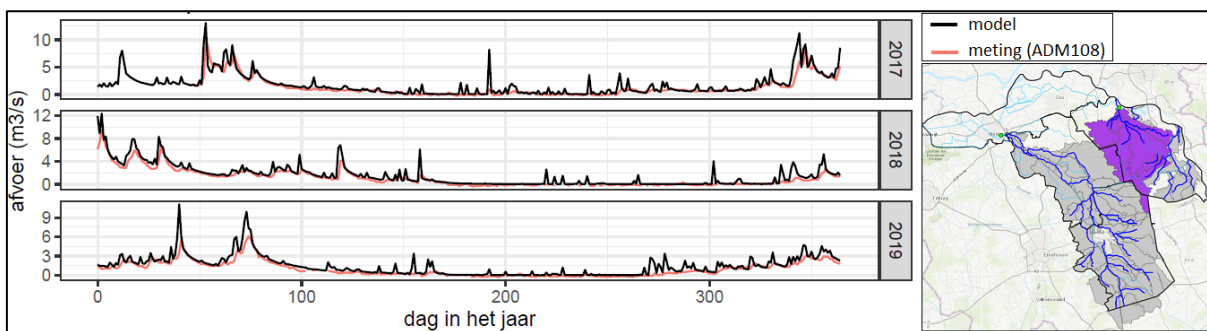
Niet alleen langjarig gemiddeld maar ook qua afvoerdynamiek is er een goede fit tussen model en meting. Dit is te zien voor de belangrijkste uitstroompunten in het studiegebied, namelijk het uitstroompunt van de Aa (Figuur 3.2) en het uitstroompunt van de Graafse Raam (Figuur 3.3). Op beide locaties komt de voorspelde beekafvoer door de tijd goed overeen met op deze locaties betrouwbare debietmetingen. De iets grotere gemeten debieten bij de Aa zijn te verklaren doordat het meetpunt ook de toestroom vanuit de Groote Wetering meet, terwijl het model geen rekening houdt met deze toestroom. Geconstateerd wordt dat het model (GRAM aangevuld met de routing) geschikt is voor het doorrekenen van de effecten van klimaatverandering en maatregelen op de beekafvoeren.



Figuur 3.1: Lage (p10=10% laagste afvoer), mediane (p50) en hoge (p90=90% hoogste afvoer) beekafvoeren volgens model en meting in het zomerhalfjaar (boven; april-september) en het winterhalfjaar (beneden; oktober-maart), voor 2012-2019. Elk punt representeert een meetlocatie (zie Figuur 2.3, links). De rode lijn geeft de 1:1 lijn; de lijn waarop alle punten zouden liggen als de afvoer volgens model en meting exact hetzelfde zou zijn. Modelresultaten zijn alleen meegenomen voor dagen met afvoermetingen.



Figuur 3.2: Beekafvoeren volgens model (zwart) en meting (rood) van 2017-2019 op het uitstroompunt van de Aa. Het vanggebied is weergegeven in het oranje.



Figuur 3.3: Beekafvoeren volgens model (zwart) en meting (rood) van 2017-2019 op het uitstroompunt van de Graafse Raam. Het vanggebied is weergegeven in het paars.

3.2 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de grondwaterstand

Alvorens de effecten op de beekafvoer te laten zien, gaat deze paragraaf in op de gevolgen van de klimaatverandering en de maatregelen voor de grondwaterstanden. Inzicht hierin is belangrijk omdat grondwaterstanden van grote invloed zijn op functies in het gebied, zoals landbouw, wonen en natuur.

Het toekomstige klimaat in 2050 (WH50) zorgt voor meer dynamiek in de grondwaterstanden.

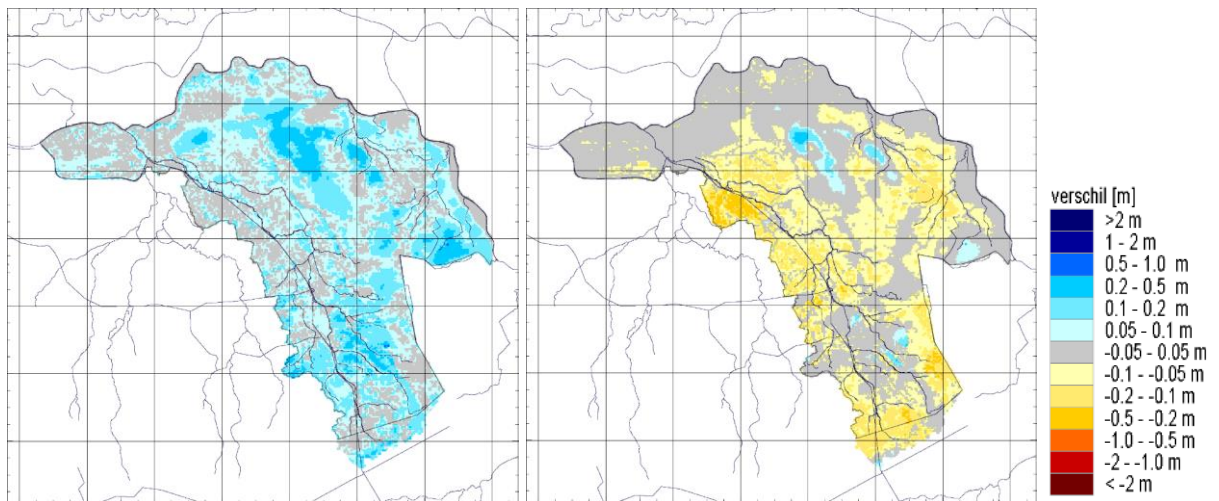
Gebiedsgemiddeld stijgt de GHG (gemiddeld hoogste waterstand in de winter) met ongeveer 8 cm en daalt de GLG (gemiddeld laagste waterstand in de zomer) met zo'n 5 cm (Tabel 3.1). Oftewel, de winters worden natter en de zomers droger.

De doorgerekende maatregelen leiden gebiedsgemiddeld allen tot nattere omstandigheden vergeleken met de huidige situatie. Dat is zoals verwacht, omdat de maatregelen gericht zijn op het vasthouden van water in natte tijden (de winter) om het in drogere tijden te kunnen naleveren (zomer). Van de losse maatregelen leidt 'dempen sloten' tot de grootste stijging van de grondwaterstand, tot wel 24 cm voor de GHG. Ook de peilopzet van 40cm in de winter heeft een behoorlijke grondwaterstijging tot gevolg, van zo'n 13 cm voor de GHG. Als alle maatregelen samen worden doorgevoerd stijgt de grondwaterstand in de winter tot bijna een halve meter. Voor de meeste maatregelen geldt dat de vernatting met name plaatsvindt in de winter, omdat het neerslagoverschot (=neerslag minus verdamping) dan groter is dan in de zomer waardoor er meer water is om vast te kunnen houden. Alleen het stopzetten van beregening zorgt voor een grotere grondwaterstijging in de zomer dan in de winter. Dit komt doordat beregening vooral plaatsvindt in droge zomerperiodes.

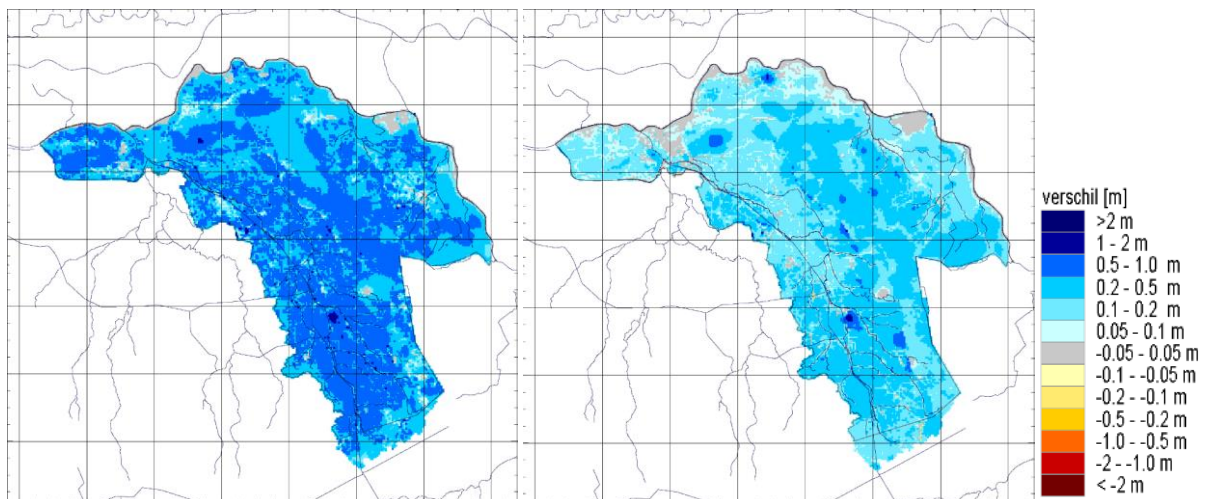
De verandering van de grondwaterstand is ruimtelijk in beeld gebracht voor het klimaat in 2050 (Figuur 3.4) en voor het pakket aan maatregelen (Figuur 3.5). Te zien is dat het effect niet overall hetzelfde is. Figuur 3.6 illustreert hoe rigouros het pakket aan maatregelen is. Het pakket leidt namelijk tot zeer hoge grondwaterstanden. Grote delen van het beheergebied komen blank te staan in natte tijden. Helder is dat dit tot grote problemen zal leiden voor de verschillende functies, met name de landbouw. Het ruimtelijk effect van de losse maatregelen op de grondwaterstanden is niet weergegeven in dit rapport, en is terug te vinden in Hoogewoud et al. (2021).

Tabel 3.1: Langjarig gebiedsgemiddeld effect van klimaatverandering en maatregelen (onder huidig klimaat) op de grondwaterstand, berekend als verandering in de GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand; winter) en de GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand; zomer) t.o.v. de huidige situatie. Een positieve waarde betekent vernatting, een negatieve waarde duidt op verdroging.

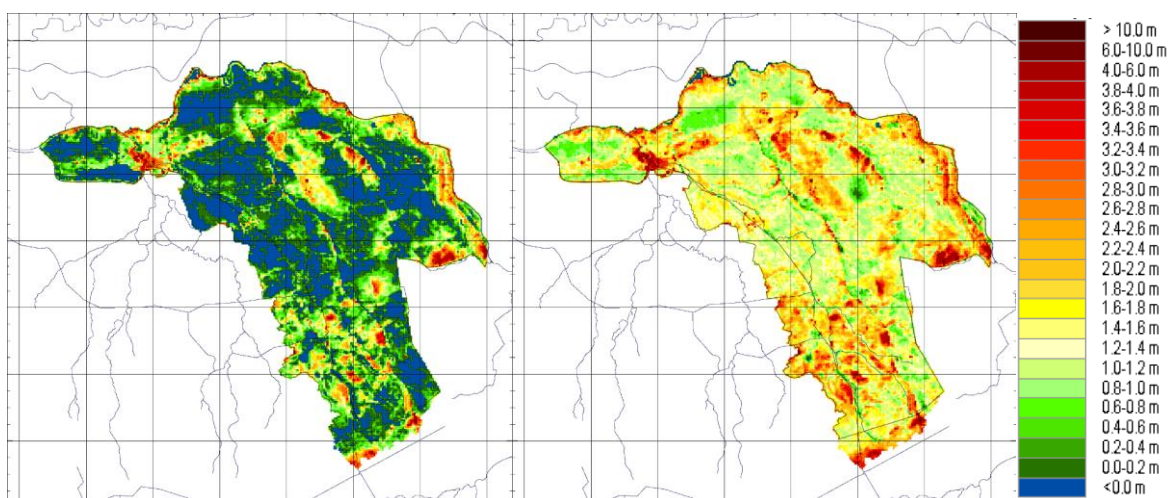
Nr	Variant	Verschil in grondwaterstand t.o.v. huidig (cm)	
		GHG	GLG
	klimaat 2050	8	-5
1	stoppen met beregenen (uit grondwater)	1	4
2	verwijderen buisdrains	10	3
3	dempen sloten (en geen buisdrains meer)	24	7
4	meer infiltreren in stad	3	1
5	30% minder onttrekken (BW en industrie)	2	2
6	opzetten winterpeil 20cm (leggerwatergangen)	7	3
7	opzetten winterpeil 40cm (leggerwatergangen)	13	6
8	pakket maatregelen (maatregel 1, 3,4 ,5 en 7 samen)	46	19



Figuur 3.4: Effect van het toekomstige klimaat in 2050 (WH50) op de grondwaterstanden, uitgedrukt als verschil t.o.v. het huidige grondwaterpeil, voor natte situaties in de winter (GHG, links) en droge situaties in de zomer (GLG, rechts). Blauw betekent vernatting en geel/rood staat voor verdroging.



Figuur 3.5: Effect van het pakket aan maatregelen (onder huidig klimaat) op de grondwaterstanden, uitgedrukt als verschil t.o.v. het huidige grondwaterpeil, voor natte situaties in de winter (GHG, links) en droge situaties in de zomer (GLG, rechts). Blauw betekent vernatting en geel/rood staat voor verdroging.



Figuur 3.6: Effect van het pakket aan maatregelen (onder huidig klimaat) op de absolute grondwaterstanden, uitgedrukt in meter onder maaiveld, voor natte situaties in de winter (GHG, links) en droge situaties in de zomer (GLG, rechts). Blauw geeft aan dat het land blank staat, terwijl rood duidt op een diep grondwaterpeil.

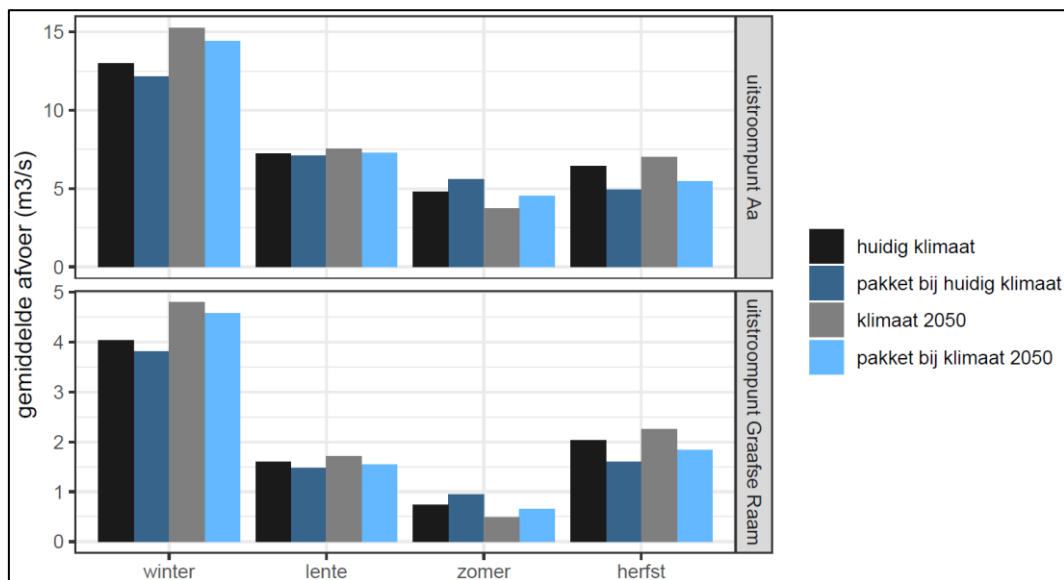
3.3 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de beekafvoeren

De hier besproken resultaten hebben betrekking op de belangrijkste uitstroompunten van het studiegebied (Aa en Graafse Raam). Hun stroomgebieden beslaan vrijwel het gehele studiegebied en weerspiegelen daarmee de algehele reactie van het studiegebied op klimaat en maatregelen. De afzonderlijke resultaten van de kleinere beken, die vaak uitstromen op de Aa en de Graafse Raam, zijn in grote lijnen vergelijkbaar. Al kunnen ze afwijken naar gelang de kenmerken van het achterliggende stroomgebied. De afzonderlijke resultaten per beek zijn beschikbaar in factsheets (zie Bijlage B voor een voorbeeld van de Bakselse Aa).

Effect op gemiddelde beekafvoeren in winter, lente, zomer en herfst

Het toekomstige klimaat (rond 2050) zorgt voor gemiddeld hogere beekafvoeren in de winter en lagere afvoeren in de zomer. Zo berekent het model dat de gemiddelde winterafvoer toeneemt met 17% in de Aa en 19% in de Graafse Raam, terwijl de gemiddelde zomerafvoer afneemt met 22% in de Aa en met 34% in de Graafse Raam (Figuur 3.7). In de lente en de herfst zorgt het toekomstige klimaat voor een lichte stijging van de gemiddelde beekafvoeren; voor de Aa en de Graafse Raam zo'n 5% meer afvoer in de lente en ongeveer 10% meer afvoer in de herfst. De jaargemiddelde beekafvoer neemt volgens het model toe met ongeveer 10% voor zowel de Aa als de Graafse Raam.

Het nemen van hydrologische maatregelen compenseert het effect van het toekomstige klimaat deels. Een rigoureuus pakket aan maatregelen, vooral gericht op het stimuleren van de sponswerking van het watersysteem, verhoogt de gemiddelde zomerafvoer en verlaagt de gemiddelde afvoer in de winter, lente en herfst (Figuur 3.7). Echter, deze rigoureuze maatregelen zijn onvoldoende om het effect van het toekomstige klimaat op de gemiddelde zomer- en winterafvoeren volledig te compenseren. Zo is de gemiddelde zomerafvoer bij toekomstig klimaat inclusief maatregelen volgens het model nog steeds zo'n 5% (Aa) tot 10% (Graafse Raam) lager dan de huidige beekafvoer. In de winter blijven de afvoeren na maatregelen hoger dan in de huidige situatie; ongeveer 10% hoger in de Aa en 15% hoger in de Graafse Raam. Verder laten de resultaten zien dat de maatregelen zorgen voor een lagere jaargemiddelde beekafvoer. Zowel onder het huidige als het toekomstige klimaat veroorzaken de maatregelen een 5% lagere jaargemiddelde beekafvoer. Dit komt vooral doordat de maatregelen zorgen voor meer verdamping. Vooral het opzetten van het winterpeil en het dempen van de sloten dragen hieraan bij, omdat ze leiden tot meer plassen op het land en daardoor meer verdamping.



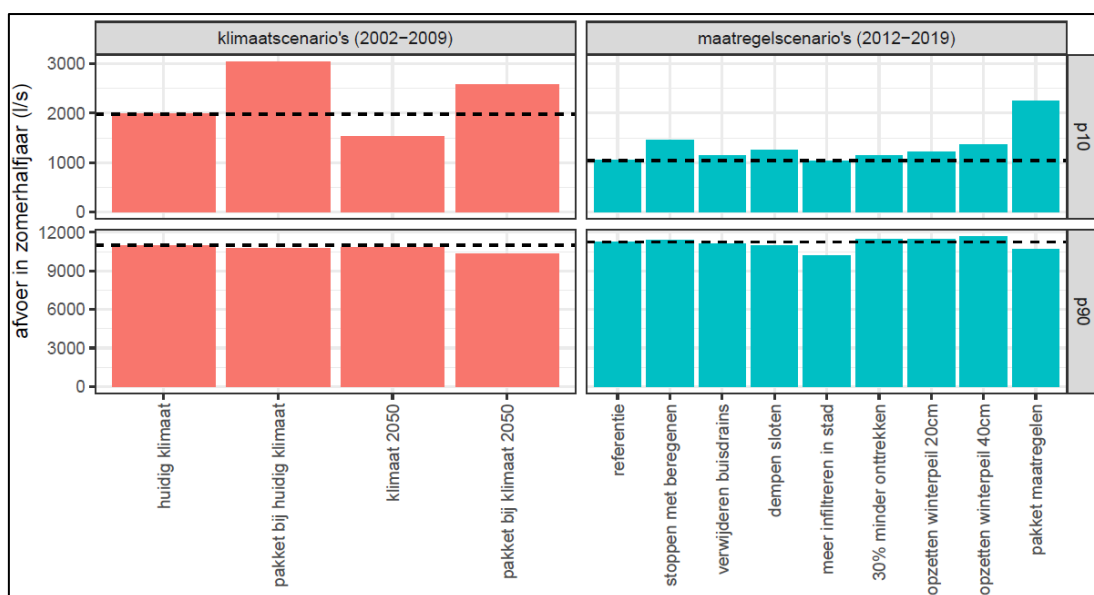
Figuur 3.7: Effect van het klimaat in 2050 (grijs) op de huidige gemiddelde beekafvoeren (zwart) in de winter (jan-mrt), lente (apr-jun), zomer (jul-sept) en herfst (okt-dec) van de Aa (boven) en de Graafse Raam (beneden). Ook is het effect van een rigoureuus maatregelpakket te zien bij het huidige klimaat (donker blauw) en bij het toekomstig klimaat (licht blauw). Tabel 2.3 geeft meer informatie over de scenario's.

Effect op lage en hoge beekafvoeren in winterhalfjaar en zomerhalfjaar

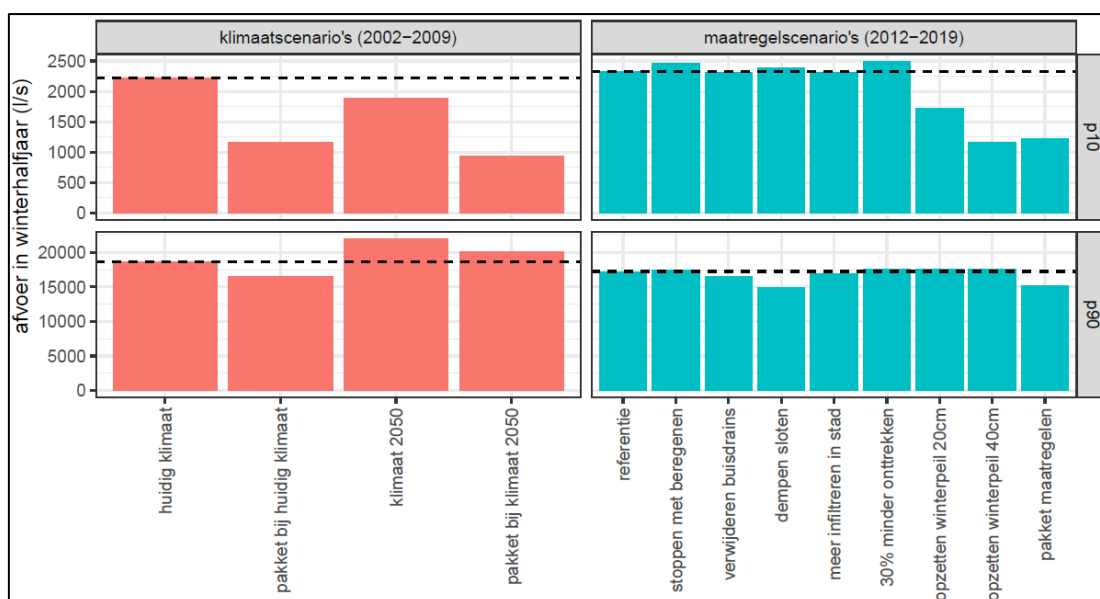
Het toekomstige klimaat (rond 2050) zorgt voor lagere basisafvoeren in de winter en vooral in de zomer, en voor hogere piekafvoeren in de winter. Dit volgt uit de modelvoorspellingen voor het uitstroompunt van de Aa (Figuur 3.8 en 3.9); de basisafvoer neemt in het toekomstige klimaat af met zo'n 25% in de zomer en 15% in de winter, terwijl de piekafvoer in de winter met bijna 20% toeneemt. De Graafse Raam laat vergelijkbare resultaten zien, al neemt de basisafvoer in de zomer hier met 40% af (zie Figuur A.1 en A.2 in Bijlage A). De

piekafvoeren in de zomer blijven ongeveer gelijk in het toekomstige klimaat, althans volgens het gebruikte WH50 klimaatscenario. Bij de nieuwe KNMI-klimaatscenario's (beschikbaar in 2023) neemt de kans op piekbuien in de zomer toe, zoals aangekondigd in het Klimaatsignaal '21 (KNMI 2021).

Het rigoureuze pakket aan hydrologische maatregelen compenseert het klimaateffect door te zorgen voor hogere basisafvoeren in de zomer en lagere piekafvoeren in de winter. Vooral het stoppen van beregenen en het opzetten van de winterpeilen zorgt voor een hogere zomer-basisafvoer, zelfs nog hoger dan in de huidige situatie. Voor het tegengaan van de piekafvoeren in de winter pakt vooral het dempen van de sloten goed uit, al is het niet voldoende om het klimaateffect volledig te compenseren. Ook na het nemen van maatregelen is de kans op winter-piekafvoeren namelijk nog steeds hoger dan in het huidige klimaat. Verder zorgt het opzetten van de winterpeilen voor een fikse afname van de winter-basisafvoer.



Figuur 3.8: Effect van klimaat en maatregelen op lage afvoeren (boven; p10 = basisafvoer = 10% laagste afvoer) en hoge afvoeren (beneden; p90 = piekafvoer = 90% hoogste afvoer) bij het uitstroompunt van de Aa in het **zomerhalfjaar** (apr-sept). Zie Tabel 2.2 en 2.3 voor de exacte definitie van de scenario's. In het rood het effect van het klimaat en maximale maatregelen. In het blauw het effect van de afzonderlijke maatregelen.



Figuur 3.9: Effect van klimaat en maatregelen op lage afvoeren (boven; p10 = 10% laagste afvoer) en hoge afvoeren (beneden; p90 = 90% hoogste afvoer) bij het uitstroompunt van de Aa in het **winterhalfjaar** (okt-mrt).

3.4 Effect van klimaatverandering en maatregelen op de beekecologie

Stroomsnelheid

De berekende gemiddelde stroomsnelheid in het zomerhalfjaar is in het gros van de beken te laag (vanuit ecologisch oogpunt) in de huidige situatie, en komt door de klimaatverandering nog verder onder druk te staan. Figuur 3.10 laat namelijk zien dat de gemiddelde stroomsnelheid van alle beken nu zo'n 11.5 cm/s bedraagt en bij het toekomstige klimaat (2050) zo'n 15% daalt tot een kleine 10 cm/s. Het nemen van een rigoureuus pakket aan hydrologische maatregelen compenseert het klimaateffect op de stroomsnelheid vrijwel volledig, al is zelfs dit rigoureuus pakket onvoldoende om te leiden tot de gemiddelde stroomsnelheid van 13.5 cm/s zoals, die benodigd is voor het halen ecologische KRW-doelen in 2027. De modelberekeningen houden geen rekeningen met stroomsnelheidsveranderingen door nog uit te voeren herinrichtingsprojecten. Herinrichting kan namelijk leiden tot hogere stroomsnelheden (bij dezelfde afvoer), bijvoorbeeld door versmalling/verondieping van het beekprofiel of het verwijderen van stuwten.

Debietfluctuatie

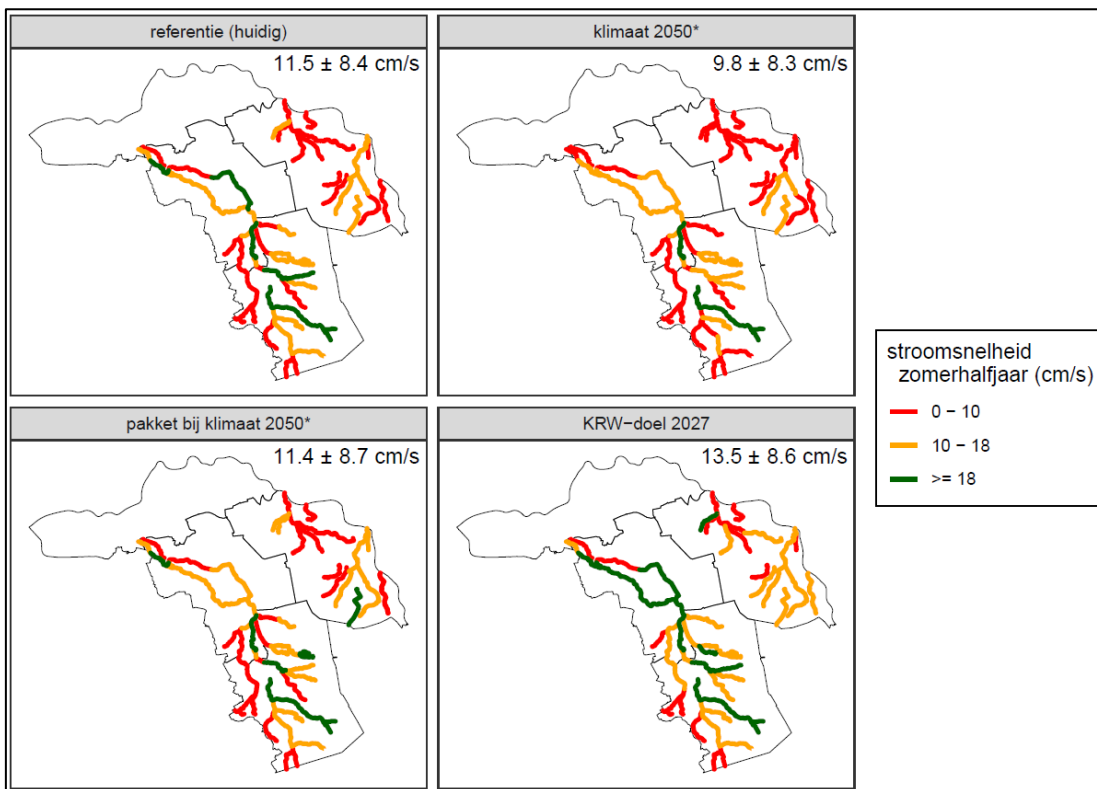
De huidige jaarlijkse debietfluctuatie van de beken (= hoogste dagafvoer gedeeld door mediane dagafvoer) is in de meeste beken ecologisch gezien te hoog, en klimaatverandering maakt het er niet beter op. Figuur 3.11 laat namelijk zien dat de jaarlijkse debietfluctuatie bij het toekomstige klimaat (2050) gemiddeld met bijna 30% toeneemt. Dit illustreert dat het watersysteem (te) snel reageert op neerslag en (te) weinig water vasthoudt om de verschillen tussen hoge en lage afvoeren te verkleinen. Het nemen van een rigoureuus pakket aan hydrologische maatregelen, gericht op het vasthouden van water, leidt verassend genoeg tot een nog verdere toename van de debietfluctuatie. Dit komt vooral doordat de maatregelen kunnen leiden tot hogere piekafvoeren. Ze zorgen namelijk voor hogere grondwaterstanden waardoor bij langdurige hevige regenval het land blank komt te staan (zie Figuur 3.6 links) en daardoor snel over het land naar de waterlopen stroomt. Hoe dan ook, de aangenomen debietfluctuatie ter bepaling van de ecologische KRW-doelen in 2027 lijkt buiten bereik.

Vismigratie

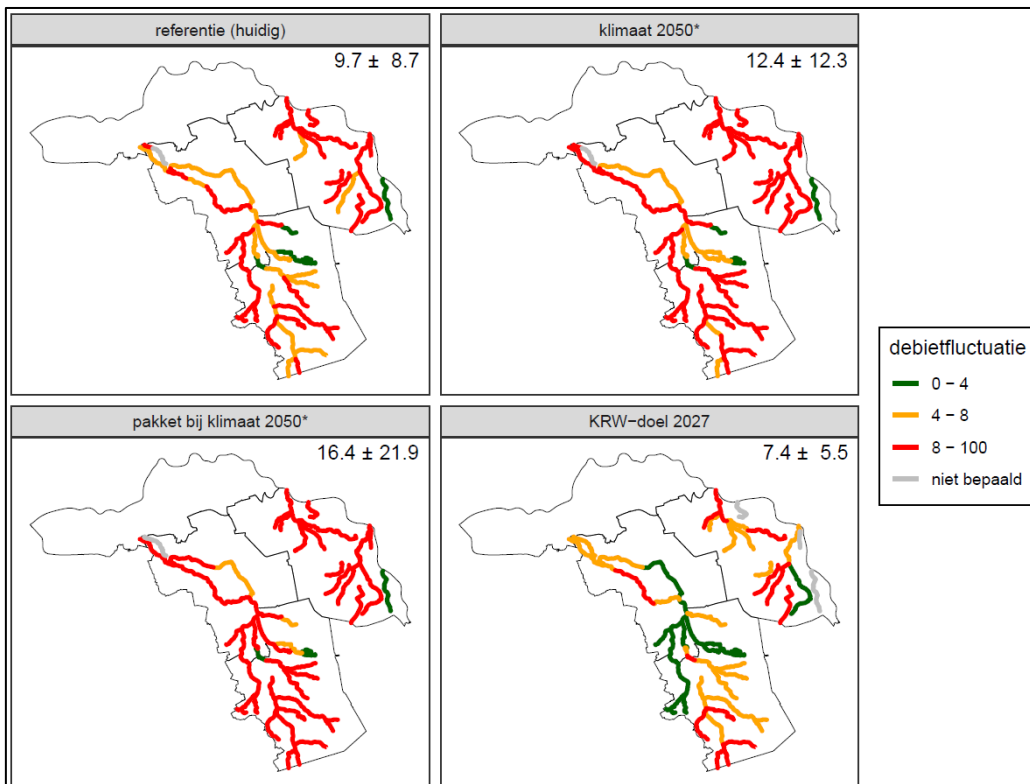
De meeste beken zijn in de huidige situatie geschikt voor vismigratie, vanuit het oogpunt van voldoende beekafvoer (meer dan 50 l/s) in het voorjaar (mrt t/m mei). Alleen in sommige bovenlopen is de voorjaarsafvoer te laag. De klimaatverandering en de maatregelen veranderen hier weinig aan, zoals te zien in Figuur 3.12. Gebiedsgemiddeld neemt het aantal dagen in het voorjaar met een afvoer van minstens 50 l/s marginaal toe (2%) door klimaatverandering. Het is echter de vraag of dit gunstig uitpakt voor de bovenlopen waar vismigratie een knelpunt is. Dit omdat de kans op droogval toeneemt in deze bovenlopen door het klimaat (zie volgende alinea), met vissterfte tot gevolg.

Stagnatie

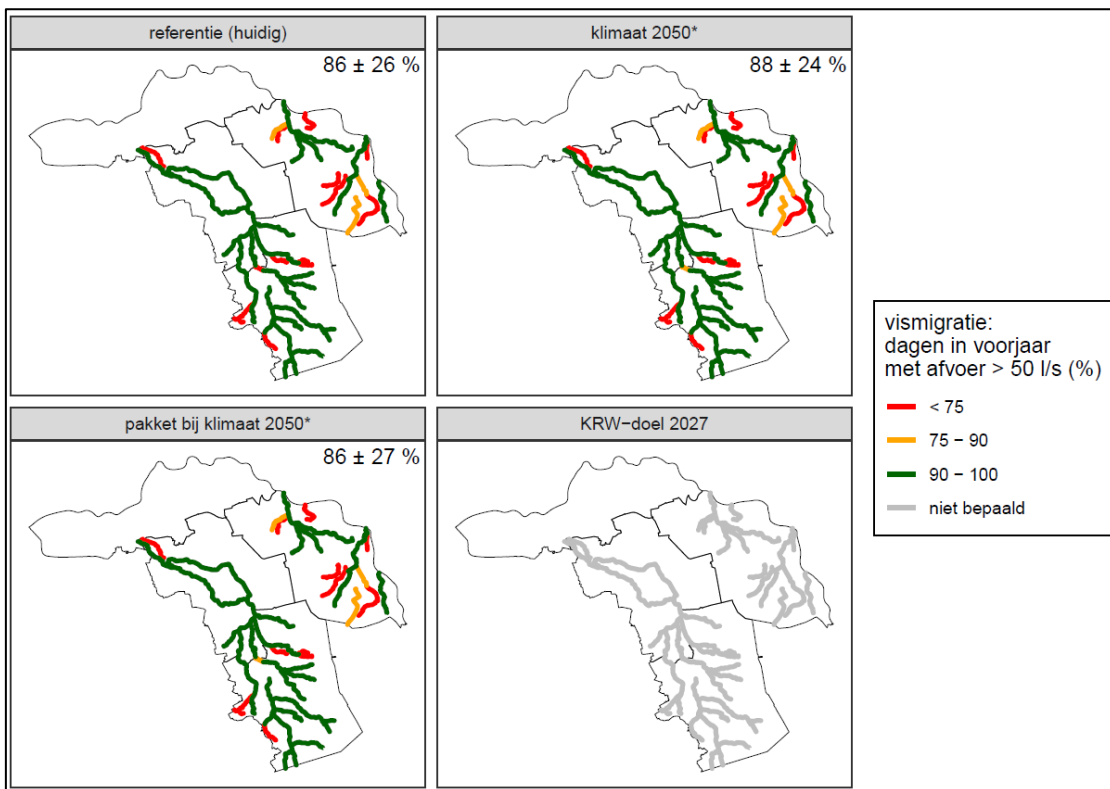
Stagnerende beekafvoeren (kleiner dan 10 l/s) in het zomerhalfjaar (apr-sept) komen in de huidige situatie vooral voor in de bovenlopen met weinig tot geen inlaatwater. Klimaatverandering zorgt voor meer stagnatie. Zo is in Figuur 3.13 te zien dat het aantal dagen met stagnatie toeneemt van gemiddeld 26 nu naar 31 dagen in het toekomstige klimaat (2050). Het rigoureuze pakket aan maatregelen overcompenseert dit klimaateffect door te leiden tot minder stagnatiedagen dan nu (gemiddeld 24 dagen). Dit komt doordat de maatregelen zorgen voor een hogere basisafvoer (p10) in het zomerhalfjaar, zoals we eerder constateerden in Figuur 3.8. Het aangenomen aantal stagnatiedagen (gemiddeld 17) ter bepaling van de ecologische KRW-doelen in 2027 lijkt echter buiten bereik. Om dit te bereiken kun je kijken naar mogelijkheden voor (extra) waterinlaat, in de beken waar stagnatie een knelpunt vormt.



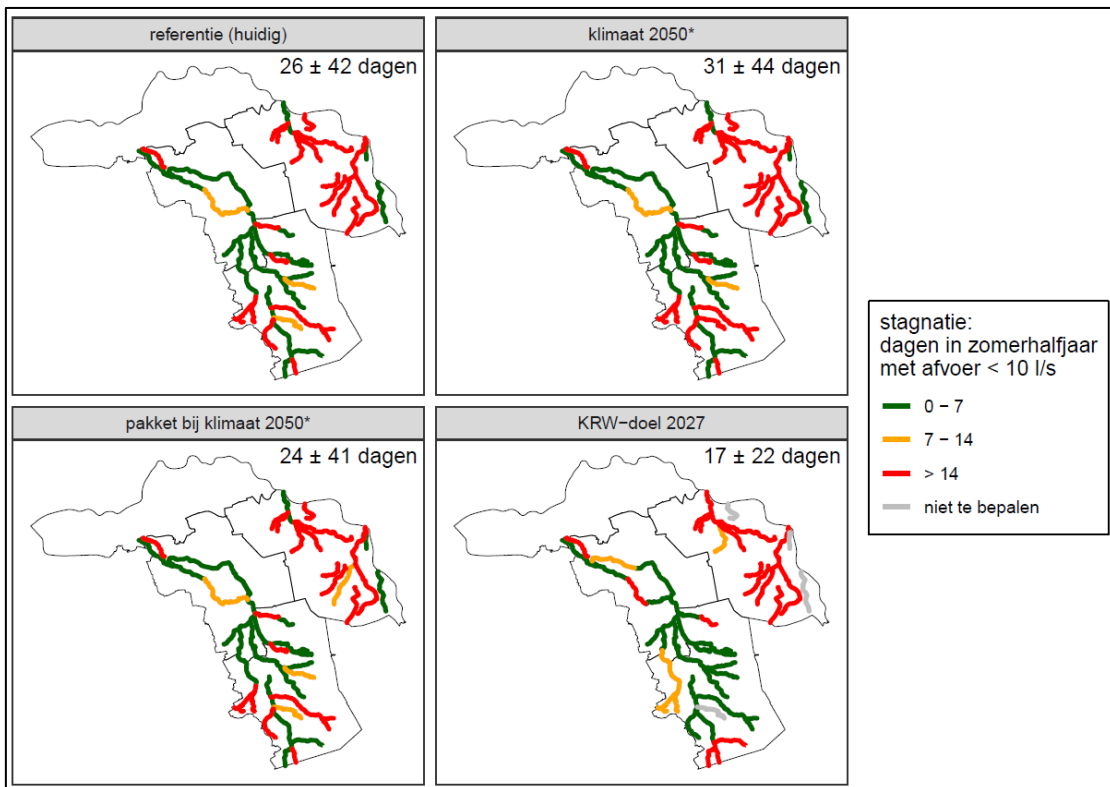
Figuur 3.10: Gemiddelde **stroomsnelheid** van de beken in het zomerhalfjaar (apr-sept) en of deze een knelpunt vormt voor de beekecologie (groen=nee, oranje=beperkt, rood=ja), voor de huidige situatie (linksboven), de situatie bij het toekomstig klimaat zonder (rechtsboven) en met (linksonder) maatregelen, en de situatie in 2027 zoals eerder ingeschat ter bepaling van de ecologische KRW-doelen (rechtsonder). De getallen rechtsboven in ieder paneel geven de gemiddelde stroomsnelheid van alle beektrajecten ± de standaarddeviatie.



Figuur 3.11: Jaarlijkse **debietfluctuatie** van de beken (= hoogste dagafvoer / mediane dagafvoer) en of deze een knelpunt vormt voor de ecologie (groen=nee, oranje=beperkt, rood=ja), voor de huidige situatie (links-boven), het toekomstig klimaat zonder (rechtsboven) en met (linksonder) maatregelen, en de situatie in 2027 zoals eerder ingeschat ter bepaling van de ecologische KRW-doelen (rechtsonder). De getallen rechtsboven in ieder paneel geven de gemiddelde debietfluctuatie van alle beektrajecten ± de standaarddeviatie.



Figuur 3.12: Geschiktheid van de beken voor **vismigratie** op basis van het aantal dagen in het voorjaar (mrt-mei) met een afvoer van minstens 50 l/s, en of dit een knelpunt is voor de beeeceologie (groen=nee, oranje=beperkt, rood=ja), voor de huidige situatie (linksboven), bij toekomstig klimaat zonder (rechtsboven) en met (linksonder) maatregelen. Voor het KRW-doel in 2027 (rechtsonder) is geen afvoercriterium gedefinieerd voor vismigratie. De getallen in de figuren geven het gemiddelde van alle beektrajecten \pm de standaarddeviatie.



Figuur 3.13: Voorkomen van **stagnatie** op basis van het aantal dagen in het zomerhalfjaar (apr-sept) met een afvoer kleiner dan 10 l/s, en of dit een knelpunt is voor de beeeceologie (groen=nee, oranje=beperkt, rood=ja), voor de huidige situatie (linksboven), bij toekomstig klimaat zonder (rechtsboven) en met (linksonder) maatregelen, en in 2027 zoals eerder geschat ter bepaling van de ecologische KRW-doelen (rechtsonder). De getallen in de figuren geven het gemiddelde van alle beektrajecten \pm de standaarddeviatie.

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport is modelmatig verkend of klimaatverandering het halen van de ecologische doelen in beken bemoeilijkt, en wat we eraan kunnen doen. Hiervoor is gekeken naar beekafvoeren, en het effect van het klimaat daarop. Het klimaateffect op ecologie via hogere temperaturen is niet onderzocht. Tevens is verkend of klimaatadaptieve maatregelen ervoor kunnen zorgen dat onze beken goed blijven functioneren in hydrologisch en ecologisch opzicht. Los van de invloed van klimaatverandering geeft deze studie meer inzicht in de huidige beekafvoeren en hoe deze worden beïnvloed door hydrologische maatregelen. Deze informatie kan handig zijn bij het verkennen van beleidsopties en bij inrichtingsprojecten. Al helemaal voor beken waarvan de afvoer tot nu toe onbekend was door het ontbreken van afvoermetingen. Het geeft daarbij vertrouwen dat de berekende beekafvoeren in het algemeen goed overeenkomen met beschikbare afvoermetingen.

4.1 Conclusies

Effect van klimaatverandering en maatregelen op bekeceologie

- Klimaatverandering bemoeilijkt het halen van de ecologische doelen in beken. Het zet de hydrologische randvoorwaarden nodig voor een goede leefomgeving voor planten en dieren in de beek verder onder druk. Het zorgt namelijk voor lagere stroomsnelheden in de zomer, een grotere afvoerdynamiek (debietfluctuatie) en meer kans op droogval (stagnatie). Hieronder volgt een nadere toelichting op hoofdlijnen (voor de specifieke gevolgen per beek zijn factsheets opgesteld):
 - De zomerhalfjaargemiddelde stroomsnelheid, die nu in veel beken ecologisch gezien al te laag is, daalt in het toekomstige klimaat (rond 2050) met ongeveer 15% van 11.5 cm/s naar 10 cm/s voor alle beeksystemen gemiddeld.
 - Klimaatverandering zorgt voor een toename van de debietfluctuatie (= hoogste dagafvoer gedeeld door mediane dagafvoer) van zo'n 30%, terwijl de huidige debietfluctuatie in de meeste beken ecologisch gezien al te hoog is in de huidige situatie.
 - Op vismigratie heeft het toekomstige klimaat weinig effect, kijkend naar de minimale beekafvoer (meer dan 50 l/s) in het voorjaar (mrt-mei) nodig voor vismigratie. In de bovenlopen waar dit een knelpunt is, vormt toekomstige stagnatie (droogval) een groter probleem voor vis(migratie).
 - De kans op stagnerende beekafvoeren (kleiner dan 10 l/s in het zomerhalfjaar) neemt toe door klimaatverandering. Het aantal stagnatiedagen in het zomerhalfjaar neemt voor alle beken gemiddeld namelijk toe van 26 naar 31 dagen. De kans op droogval (vooral relevant voor de bovenlopen) neemt dus toe, met alle negatieve ecologische gevolgen van dien.
- Klimaatadaptieve maatregelen compenseren bovengenoemde klimaateffecten deels. Voor de stroomsnelheid vrijwel volledig en voor stagnatie leiden maatregelen tot minder stagnatie dan in de huidige situatie. Echter, deze rigoureuze ingrepen zijn onvoldoende om de waardes te bereiken waarop de ecologische KRW-doelen zijn afgeleid; de haalbaar geachte waardes vanaf 2027.

Effect van het klimaatverandering en maatregelen op de beekafvoeren

- Qua gemiddelde beekafvoeren zorgt het toekomstige klimaat (2050) voor 10% meer afvoer op jaarbasis. Zo'n 20% meer in de winter, 10% meer in herfst en 5% meer in de lente, terwijl de gemiddelde zomerafvoer juist afneemt met zo'n 20% tot 35%.
- Qua afvoerextremen leidt klimaatverandering tot lagere basisafvoeren (p10), zo'n 15% lager in het winterhalfjaar (okt-mrt) en 25% tot 40% lager in het zomerhalfjaar (apr-sept). Verder zijn 20% hogere piekafvoeren (p90) te verwachten in het winterhalfjaar, en gelijke piekafvoeren in het zomerhalfjaar.
- Een set aan rigoureuze klimaatadaptieve maatregelen compenseert het klimaateffect deels door te zorgen voor hogere basisafvoeren (p10) in de zomer en lagere piekafvoeren (p90) in de winter. Vooral het stoppen van beregening en het opzetten van de winterpeilen met 40 cm zorgt voor een hogere zomer-basisafvoer, zelfs nog hoger dan in de huidige situatie. Ook het dempen van alle kleine sloten zorgt voor een toename van de basisafvoer. Deze maatregel pakt ook goed uit voor het tegengaan van de piekafvoeren in de winter, al is zelfs deze rigoureuze maatregel (die leidt tot fiks hogere grondwaterstanden) niet voldoende om het klimaateffect volledig te compenseren.
- Bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op de twee belangrijkste stroomgebieden (Aa en Graafse Raam) die vrijwel het gehele studiegebied beslaan, en daardoor een goed beeld geven van het gebiedsgemiddeld effect van klimaatverandering en maatregelen. De onderliggende beeksystemen kunnen echter een andere reactie laten zien, naar gelang stroomgebiedskennmerken als waterinlaat, hoogteligging en het landgebruik. De kans op een andere reactie neemt toe naarmate het

achterliggende stroomgebied kleiner is. Oftewel, het effect is maatwerk. Daarom zijn factsheets gemaakt per deelstroomgebied met de effecten op de beekafvoer en de beekecologie. In Bijlage B staat een voorbeeld van zo'n factsheet voor de Bakelse Aa, 1 van de 65 deelstroomgebieden.

4.2 Aanbevelingen

- Deze studie laat zien dat klimaatverandering een grote uitdaging vormt voor het toekomstig waterbeheer. Het effect op de ecologie en hydrologie van onze beken is immers groot, en zelfs een set aan rigoureuze klimaatadaptieve maatregelen biedt soms maar beperkt soelaas. Dit toont de urgentie om nadrukkelijk rekening te houden met klimaatverandering in planvorming en beleid. Zoals bij het bepalen van de haalbaarheid van doelen en de te verwachten effecten van maatregelen. Zo laat deze studie zien dat je je onterecht rijk rekent qua maatreegeffect als je geen rekening houdt met klimaatverandering.
- Uit deze studie blijkt dat klimaatverandering het behalen van de ecologische KRW-doelen bemoeilijkt. De uitgangspunten die in de watersysteemanalyse (2018/2019) zijn gehanteerd voor het afleiden van de vanaf 2027 te realiseren KRW-doelen lijken daardoor niet meer allemaal haalbaar in de toekomst. De inzichten kunnen worden gebruikt om bij de 'midterm review KRW' (2024) te motiveren waarom we de KRW-doelen in 2027 mogelijk niet gaan halen. Voor zo'n motivatie is het aan te raden om alle uitgangspunten die destijds zijn gebruikt voor de doelafleiding onder de loep te nemen en eventueel aan te passen op basis van recente ontwikkelingen of inzichten. Dus niet alleen de hydrologische uitgangspunten die volgen uit deze studie. Ook kan gekeken worden naar het effect van klimaatverandering op de ecologie via verhoogde watertemperaturen.
- De resultaten van deze studie kunnen helpen bij het verkennen van beleidsopties met het oog op klimaatbestendige watersystemen. Daarnaast kunnen de berekende beekafvoeren en het effect van maatregelen hierop worden ingezet bij inrichtingsprojecten. Daarom is het aan te bevelen om de resultaten van deze studie beschikbaar te maken voor waterschapmedewerkers. En dan het liefst per beekstelsysteem, omdat elke beek op een andere manier reageert op het klimaat en maatregelen. De factsheets (zie Bijlage B voor een voorbeeld) zijn een eerste aanzet hiertoe. Mogelijk kunnen de resultaten in samenwerking met het Datalab worden ontsloten via een gebruiksvriendelijk dashboard.
- De in deze studie gebruikte methode kan nog verder worden verfijnd. Bijvoorbeeld door de nieuwe klimaatscenario's van het KNMI (naar verwachting gereed in 2023) door te rekenen. Maar ook door het simpele bakjesmodel voor het oppervlaktewater te vervangen door een hydrodynamisch model zoals SOBEM voor de hoofdwaterlopen. Een dergelijk gekoppeld grond- en oppervlaktewatermodel kan de beekafvoeren nauwkeuriger bepalen, o.a. door de werkelijke reistijden tot het uitstroompunt te simuleren in plaats van uit te gaan van instantane afvoer zoals het simpele bakjesmodel doet. Daarnaast kun je de stroomsnelheid en het waterpeil direct berekenen met zo'n gekoppeld model. Dit geeft beter zicht op eventuele overstromingsrisico's in natte tijden en de behoefte aan waterinlaat in droge periodes.
- Het opgestelde model en de resultaten van deze studie geven belangrijke kaderstellende inzichten die ingezet kunnen worden bij inrichtingsprojecten en het werken aan de gebiedsopgaven die bedoeld zijn voor het halen van de KRW doelen. De uitvoering van deze projecten vormen bij uitstek het moment waarop aan toekomstgerichte ingrepen in de hydrologie gewerkt kan worden.

Referenties

Hoogewoud, J.C., C. van Rens, 2021. Modelling van de basisafvoer met het Grondwatermodel van Aa en Maas. Studie naar de basisafvoer en het effect van maatregelen en klimaatscenario's op de basisafvoer. Advies in Water-rapport, 2021, Houten

KNMI, 2014. KNMI'14: Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective. Scientific Report WR2014-01, KNMI, De Bilt, The Netherlands.

KNMI, 2021. KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 pp.

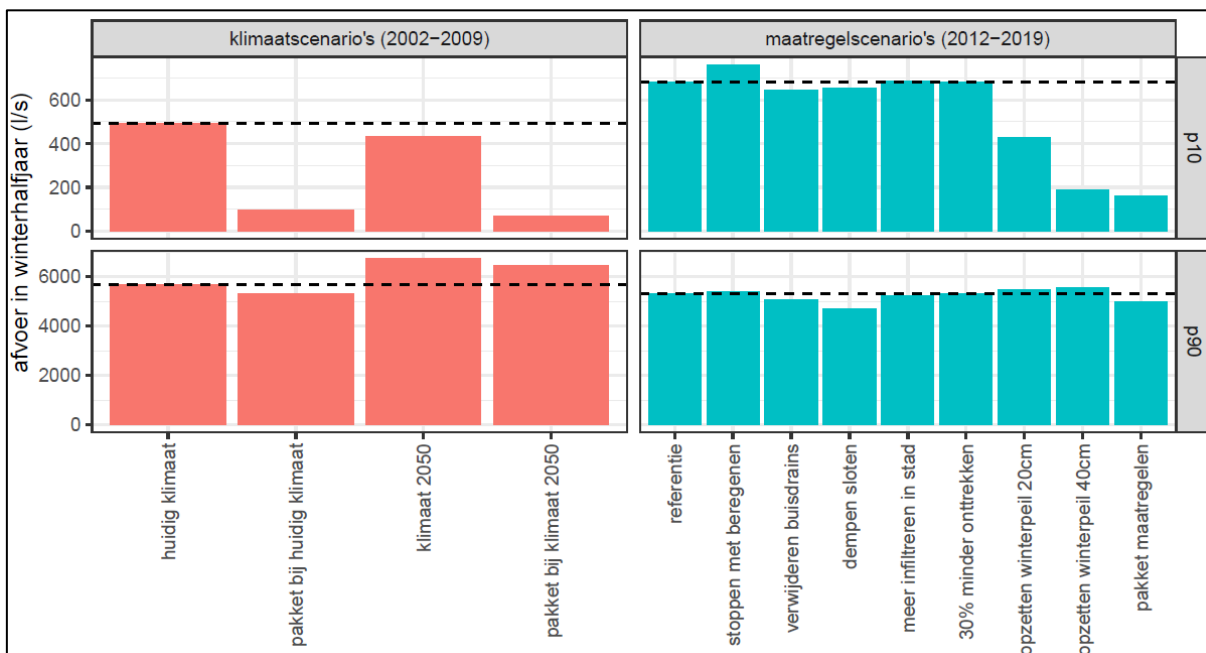
Rost, J., M. Schipper, F. van Herpen, 2020. Watersysteemrapportage KRW-Waterlichamen Aa en Maas. RoyalHaskoning DHV rapport BG7833WATRP2001241239.

Waterschap Aa en Maas, 2021. Waterbeheerplan 2022-2027, ontwerp.

Bijlage A – Effect klimaat en maatregelen op basis- en piekafvoeren in Graafse Raam

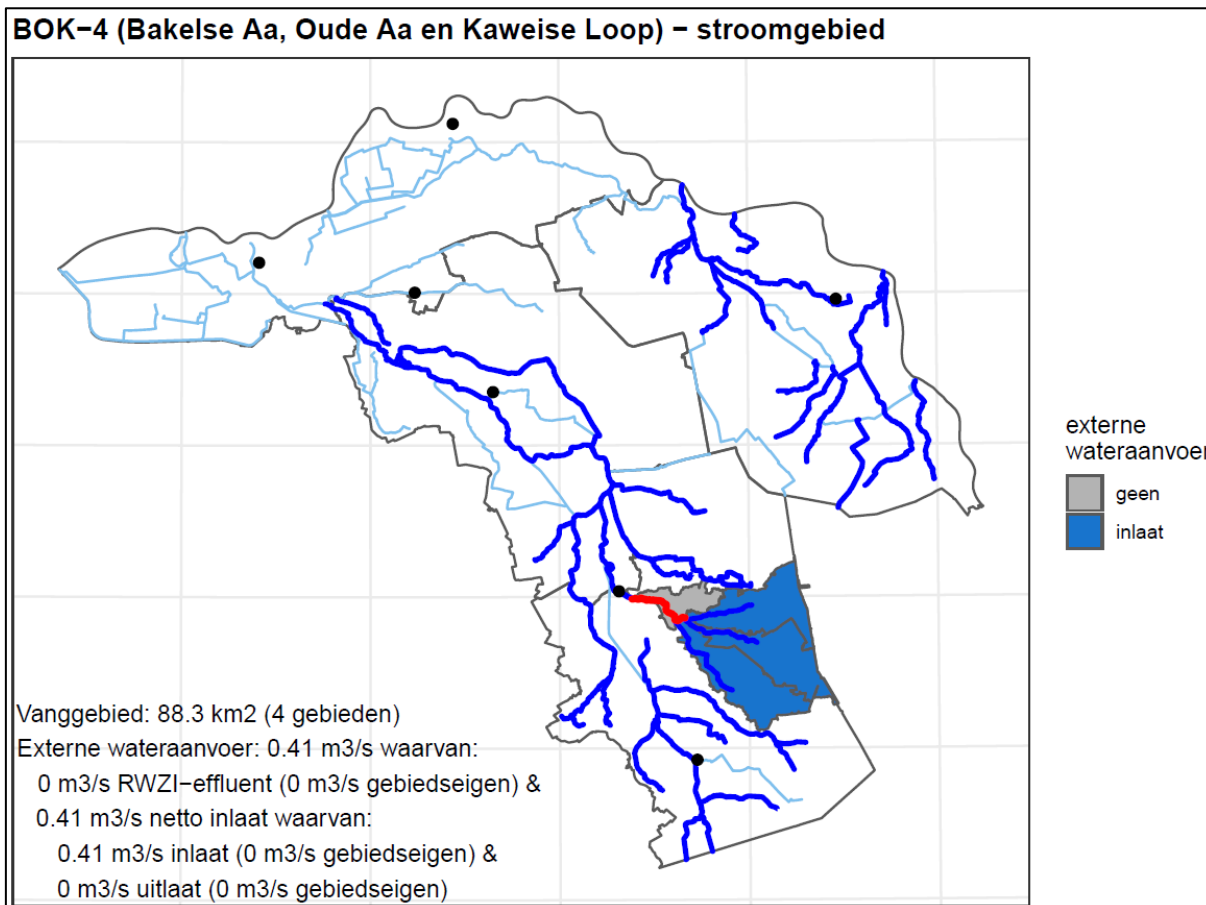


Figuur A.1: Effect van klimaat en maatregelen op lage afvoeren (boven; p_{10} = basisafvoer = 10% laagste afvoer) en hoge afvoeren (beneden; p_{90} = piekafvoer = 90% hoogste afvoer) bij het uitstroompunt van de Graafse Raam in het **zomerhalffjaar** (apr-sept). Zie Tabel 2.2 en 2.3 voor de definitie van de scenario's. In het rood het effect van het klimaat en maximale maatregelen. In het blauw het effect van de afzonderlijke maatregelen.

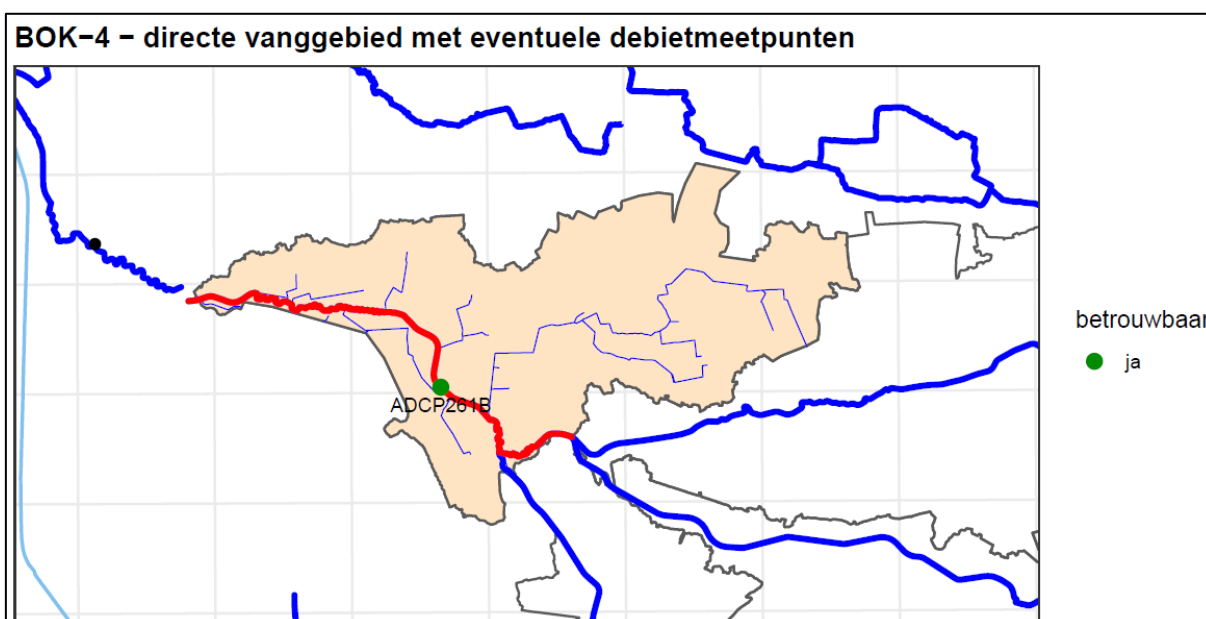


Figuur A.2: Effect van klimaat en maatregelen op lage afvoeren (boven; p_{10} = basisafvoer = 10% laagste afvoer) en hoge afvoeren (beneden; p_{90} = piekafvoer = 90% hoogste afvoer) bij het uitstroompunt van de Graafse Raam in het **winterhalffjaar** (okt-mrt). Zie Tabel 2.2 en 2.3 voor de definitie van de scenario's. In het rood het effect van het klimaat en maximale maatregelen. In het blauw het effect van de afzonderlijke maatregelen.

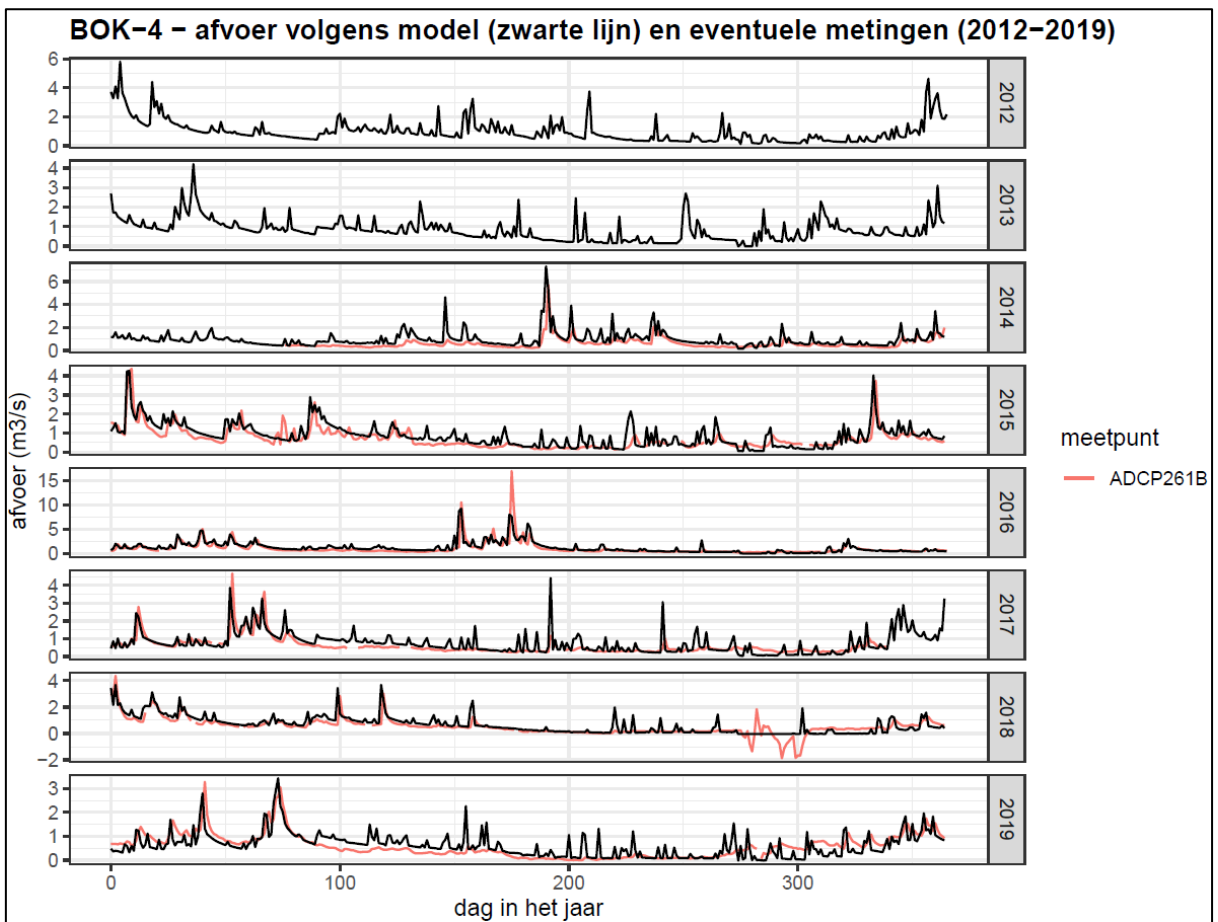
Bijlage B – Voorbeeldfactsheet (Bakelse Aa) met effect klimaat en maatregelen op beekafvoer en ecologie



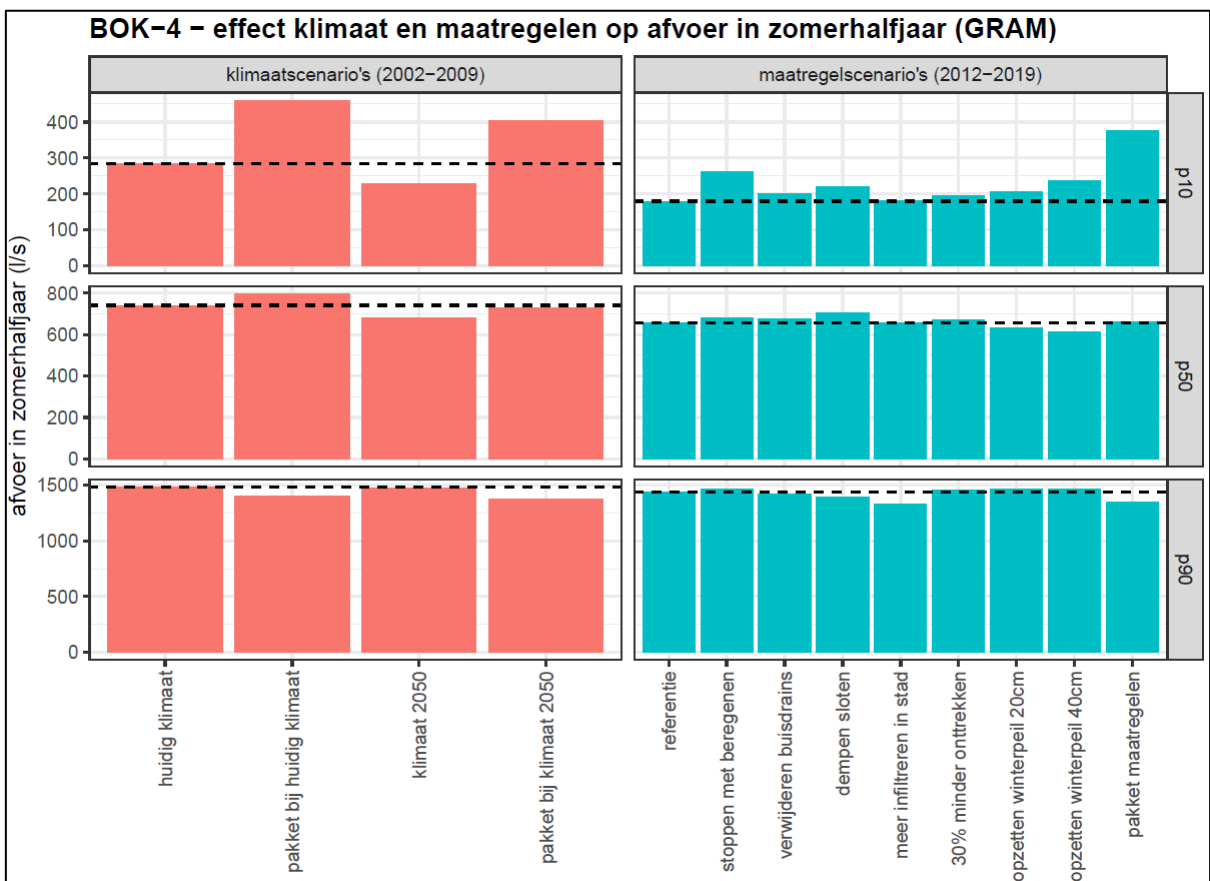
Pagina 1: Het beektraject (rood) en informatie over het achterliggende stroomgebied.



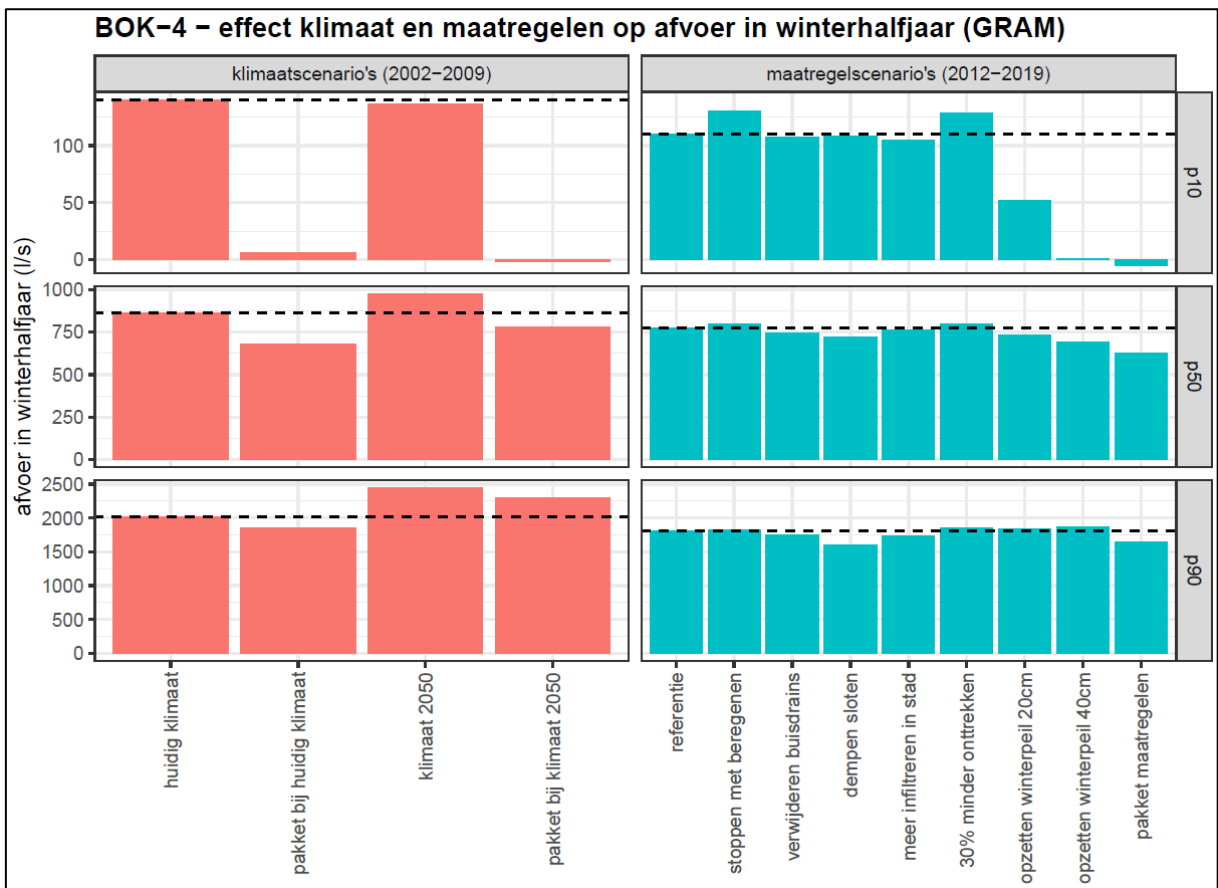
Pagina 2: Het direct vanggebied in detail, inclusief de locatie van eventuele debietmeetpunten.



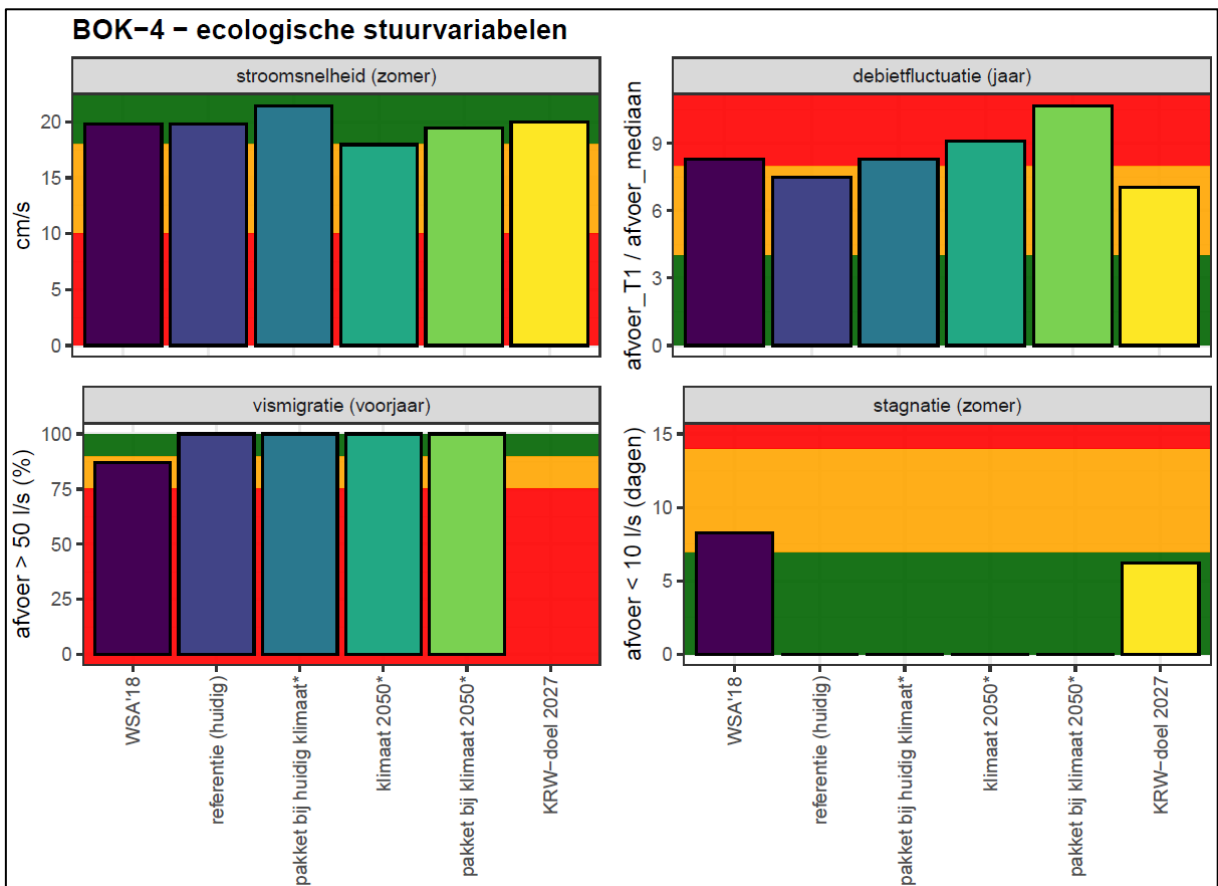
Pagina 3: Beekafvoeren bij het uitroempunt van het beektraject volgens model (zwart) en meting (rood).



Pagina 4: Effect van klimaat (links) en maatregelen (rechts) op lage (p10), mediane (p50) en hoge (p90) beekafvoeren in het zomerhalfjaar (apr-sept).



Pagina 5: Effect van klimaat (links) en maatregelen (rechts) op lage (p10), mediane (p50) en hoge (p90) beekafvoeren in het winterhalfjaar (okt-mrt).



Pagina 6: Effect van klimaat en maatregelen op de vier berekende ecologische stuurvariabelen.