

Nederland later II - thema klimaatadaptatie



Auteur(s)

Ad Jeuken

Henk Wolters

Eva Schoonderwoerd

Herman van der Most

NL Later thema klimaatadaptatie

Opdrachtgever	Planbureau voor de Leefomgeving
Contactpersoon	Frank van Gaalen
Referenties	--
Trefwoorden	Klimaatadaptatie; wateropgaven; droogte; landbouw; grondwaterafhankelijke natuur; binnenscheepvaart; stedelijk gebied; wateroverlast; waterveiligheid

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	24-02-2021
Projectnummer	11206520-000
Document ID	11206520-000-ZWS-0002
Pagina's	100
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

Ad Jeuken, Henk Wolters, Eva Schoonderwoerd, Herman van der Most	Bijdragen van: Bas Breman (WUR), Marjolein Sterk (WUR), Judith ter Maat, Marco Hoogvliet, Perry de Louw, Marjolein Mens, Joost Delsman, Bart van den Hurk, Marjolijn Haasnoot, Rutger van der Brugge	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Ad Jeuken	Frans Klijn	Gerard Blom	

Samenvatting en conclusies

In dit achtergrondrapport bij de PBL-studie Nederland Later II zijn de meest recente inzichten ten aanzien van de ernst en urgentie van klimaatverandering, de mogelijke aanpassingsmogelijkheden en de effectiviteit, betaalbaarheid en haalbaarheid daarvan op een rij gezet voor:

- het landelijke gebied, opgesplitst naar hoog en laag Nederland en met aandacht voor droogte en watertekorten in verband met verdroging, verzilting en bodemdaling;
- het stedelijke gebied met aandacht voor droogte, hittestress en wateroverlast;
- het rivierengebied specifiek voor transport over water;
- waterveiligheid landelijk.

Er is daarbij uitsluitend gebruik gemaakt van bestaand materiaal. Er zijn geen nieuwe analyses uitgevoerd. De meeste aandacht ging uit naar het thema droogte dat vanwege een aantal recente droge zomers maatschappelijk in de aandacht staat. Vanuit het perspectief van de wateropgaven en mogelijke adaptatiestrategieën, is ook gekeken naar mogelijke ruimtelijke knelpunten en synergieën tussen verschillende water opgaven en met andere gebiedsopgaven. Hieronder de belangrijkste conclusies:

Tabel 0.1 Belangrijkste impacts van droogte op een rij

	Economische impact droogte			Andersoortige impacts
	Schade in extreem droog jaar	Droogterisico in Referentiescenario 2017	Droogterisico in scenario Stoom 2050	
Landbouw hoge zandgronden	657 M€ in jaar als 1976, prijspeil 2018, ex btw	106 M€/jr, prijspeil 2018, ex btw	159 M€/jr, prijspeil 2018, ex btw	Discussie over impact op bedrijfsniveau gaande
Landbouw rest van Nederland	1030 M€ in jaar als 1976, prijspeil 2018, ex btw	182 M€/jr, prijspeil 2018, ex btw	275 M€/jr, prijspeil 2018, ex btw	
Stedelijk gebied – droogte: bodemdaling		€12-57 miljard tot 2050 bij huidig klimaat*	€15-73 miljard tot 2050 bij Wh*	
Scheepvaart		66 M€/jr, prijspeil 2020, ex btw	130-135 M€/jr, prijspeil 2020, ex btw	Aanpassing voorraadstrategie bij verladers; modal shift -> extra CO2-uitstoot
Natuur (als combinatie van droogte en verdroging)				Onherstelbare schade aan (grond)-waterafhankelijke natuur
Bodemdaling veengebieden (als combinatie van droogte en verdroging)		Extra kosten: €2 miljard tot 2050 schade aan infrastructuur en funderingen in landelijk gebied**; €21 miljard tot 2050 in stedelijk gebied**; 200** tot 1000*** M€ tot 2050 voor het waterbeheer		6-8 mm daling/jaar; per jaar verdwijnt ca 870 ha veengrond door oxidatie

* Klimaatschadeschatter 2019

** PBL 2016; bedrag stedelijk gebied bestaat uit 5.2 miljard voor schade aan infrastructuur door bodemzetting en 16 miljard voor funderingsherstelkosten

*** de Graeff et al. 2020

Droogte en watertekorten in het landelijke gebied

Er moet rekening worden gehouden met toenemende droogte en watertekorten

Klimaatscenario's voor Nederland laten een grote bandbreedte zien voor de toename van droogte samenhangend met hogere temperaturen, grotere verdamping (met name in het binnenland) en mogelijke veranderingen in atmosferische circulatie (KNMI, 2015; Wolters et al. 2017). Hoewel de totale hoeveelheid neerslag over het jaar met circa 20% is toegenomen, komen sinds 1950 drogere voorjaar- en zomerperioden in het binnenland steeds vaker voor. Ook de afgelopen zomers passen binnen een beeld van vaker voorkomende droogtes met oplopende watertekorten om de verschillende functies te kunnen bedienen. De waargenomen neerslag- en verdampingstrends laten zien dat zowel individuele als meerjarige extreem droge zomers waarschijnlijker worden (Philip et al., 2020). Onder het droogste KNMI scenario W_H zal een zomer als in 2018 in 2050 twee keer zo vaak voorkomen (nu 1/30 jaar, in 2050 1/15 jaar), op basis van het landelijk gemiddeld neerslagtekort.

Daarmee is het ook waarschijnlijk dat in zo'n scenario de impacts hiervan, zoals forse achteruitgang van grond- en regenwaterafhankelijke natuurgebieden, landelijke opbrengstderving in de landbouw, schade aan funderingen en infrastructuur en extra bodemdaling meer en meer voelbaar zullen worden. Dit komt bovenop al optredende effecten van interne verzilting en bodemdaling en verdroging.

Na 2050 zetten deze trends zich door en zullen de wateraanvoer- en buffermaatregelen reeds ingezet en voorgenomen tot 2050 in het Deltaprogramma, mogelijk onvoldoende soelaas bieden. Zo zal het gat tussen wateraanbod en watervraag voor het voorzieningsgebied van het IJsselmeer onoverbrugbaar worden onder een W_H -scenario als niet in zekere mate verzilting wordt geaccepteerd en de landbouw, natuur en het waterbeheer zich hieraan aanpassen. Immers de behoefte aan zoetwater voor doorspoeling en peilbeheer blijft doorstijgen bij toenemende verdamping en verzilting. Voor grote delen van West-Nederland is dat beeld niet anders. De zeespiegelstijging zal, zeker bij een versnelling, in de tweede helft van de eeuw ook leiden tot een toename van de zoutindringing in de delta, zowel intern als extern.

Op de zandgronden versterkt de toenemende droogte de jarenlang opgebouwde effecten van verdroging als gevolg van ontwatering en drinkwaterwinningen. Niet alleen leiden de droge en hete zomers tot een grotere watervraag van de al kwetsbare natuur, ook de concurrerende watervraag voor drinkwater en beregening neemt toe, met een verdere daling van grondwaterstanden tot gevolg. Dit is in 2018 ook gebleken. Bijna alle grond- en regenwaterafhankelijke natuurgebieden staan hierdoor onder druk met soms onomkeerbare schade tot gevolg. Opbrengstderving in de landbouw als gevolg van droogte en verzilting neemt verder toe onder de vigerende scenario's. Studies laten echter ook zien dat in recente droge jaren vanwege prijselasticiteit individuele agrariërs economisch kunnen profiteren van toenemende schaarste die ontstaat tijdens periode van droogte.

In laag Nederland heeft droogte een versterkend effect op bodemdaling

In de veenweidegebieden versterkt droogte de bestaande bodemdalingsproblematiek. De gemiddelde bodemdaling in veenweidegebieden in Nederland is 8-9 mm/jaar. Onder een W_H -scenario komt daar nog 3 mm/jaar extra bij. Met name, in Noord-Nederland waar aan de randen van de veengebieden de veenlagen reeds dun zijn, leidt dit tot een onomkeerbaar verlies van jaarlijks 870 ha veengrond door oxidatie (op een totaal veenareaal van 200.000 ha in Nederland) en het verdwijnen van bijbehorende natte natuur. Bodemdaling brengt grote kosten met zich mee voor de bebouwde omgeving, infrastructuur en het waterbeheer. Bovendien dient volgens het klimaatakkoord de jaarlijkse 4-7 megaton uitstoot van CO_2 uit het veenweidegebied te worden gereduceerd. Een flinke uitdaging die vraagt om een waterbeheer dat nauwkeurig afgestemd is op zowel wat nodig is voor het landgebruik als voor minimalisering van CO_2 - en methaanuitstoot. Dit kan nopen tot aangepaste landbouwpraktijken, een omkering van de trend tot intensivering van de landbouw of zelfs tot omvorming naar natuur.

Een beheer dat probeert de eisen te verenigen van landgebruik dat onvoldoende op hydrologisch-fysische grondslagen is gebaseerd, loopt tegen grenzen aan

Er is in de loop van de tijd in Nederland een gedifferentieerd landgebruik ontstaan van verschillende functies die allemaal andere eisen stellen aan grondwater- en oppervlaktewater -niveaus, -kwaliteit, -volumes etc. Het waterbeheer in Nederland probeert zo goed mogelijk aan deze eisen te voldoen, met een uitgekiend systeem van peilbeheer, doorspoeling, aanvoer en afvoer.

Het wordt steeds lastiger om dit zonder afwenteling van negatieve gevolgen van de ene functie op de andere te blijven volhouden nu het klimaat grilliger wordt. Deze afwenteling speelt nu vooral waar kwetsbare natuurgebieden die gebaat zijn bij natte omstandigheden direct grenzen aan agrarische activiteiten die gebaat zijn bij een goede drainage en/of bemaling. Denk aan diepe landbouwpolders naast laagveengebieden of aan landbouweengebieden in beekdalen of grenzend aan hoogveengebieden.

Er is daarom reeds een beweging in gang gezet (zie ook NOVI) om de gebruiksfuncties beter af te stemmen op het hydrologische en fysieke systeem. Een versnelling en schaalsprong lijken nodig, ook gezien de ernst en urgentie vanuit klimaatverandering. En er is behoefte aan een concretere invulling:

- Voor de **zandgronden** betekent dit dat vooral in de beekdalen en kwelgebieden aanpassingen nodig zijn. Structurele **vernatting** van deze gebieden, via hermeandering, stuwtjes, verondiepen en verbreden of dempen van sloten, is nodig. Landbouw zal zich hieraan aan moeten passen of moeten worden omgevormd tot natuur. Uiteindelijk is een grootschalige ruimtelijke herschikking van landbouw- en natuurgebieden nodig om grondwaterstanden voldoende te herstellen en kwetsbare natuur duurzaam te laten voortbestaan. Het is het beste om allereerst maatregelen te nemen in **bufferzones** rond de huidige natuurgebieden aangezien ze hier het meest profijt opleveren voor de natuur.
- Voor **laag Nederland** bestaat er minder een natuurlijke hydrologische referentie waarop landgebruik kan worden gebaseerd. Hier is het vooral van belang om tot een robuuster peilbeheer (hoger peil voor grotere aaneengesloten gebieden) te komen ter ondersteuning van de bodemdaling- en natuuropgave en om de behoefte aan doorspoeling te verkleinen. Ook hier geldt dat een strategie die begint met bufferzones rond natuurgebieden het meeste oplevert. 'Slim' watermanagement, aparte wateraanvoerleidingen voor zoetwater maar ook het accepteren van en het aanpassen van het landgebruik aan hogere zoutconcentraties zijn nodig. Zeker ook omdat de opgave om bodemdaling tegen te gaan meer wateraanvoer zal vragen.

Maatregelen om gebruik van zoetwater voor beregening en drinkwater te verminderen zijn een geen-spijt optie

Zeker in de nabijheid van kwetsbare natuur-, bos- en veengebieden is een structurele beperking van grondwateronttrekkingen gewenst. Vooral het verplaatsen van drinkwaterwinningen kan flink bijdragen aan herstel van de diepere grondwatervoorraden en kwelfluxen. Beregening in de landbouw, en daarmee gepaard gaande verdroging van omliggende land- en natuurgebieden, kan worden beperkt via het vergroten van de waterefficiëntie van de bedrijfsvoering (bijv. druppelirrigatie), ander gewaskeuzen, meer water conserveren in en op het boerenland (verondiepen sloten, stuwen, regelbare drainage etc.). Ook in gebieden met toenemende verzilting en beperkingen in de aanvoer van zoetwater zijn dit doorgaans maatregelen die de kwetsbaarheid van de landbouw zelf voor periodes van droogte kunnen verkleinen.

Op termijn lijkt een schaalsprong nodig

Het is helder dat duurzame oplossingen zoals hierboven genoemd op grote schaal nodig zijn voor natuur en landbouw om beter om te kunnen gaan met de effecten van verdroging en verzilting en bodemdaling onder klimaatverandering en zeespiegelstijging. De vraag is alleen: hoe komen we daar?

Het Deltaprogramma Zoetwater heeft maatregelen ter verdere uitbreiding van de aanvoercapaciteit en buffercapaciteit al meerdere malen onderzocht en kwam daarbij doorgaans tot de conclusie dat de kosten hoger zijn dan de baten¹. In 2020 hebben ook de regio's plannen aangeleverd waarin aanvullende maatregelen zijn voorgesteld. De meest kansrijke maatregelen uit een aantal regio's zijn doorgerekend. Hieruit blijkt dat slechts een beperkt deel van de landbouw- en natuuropgaven met deze maatregelen wordt opgelost (Mens et al., 2020; Stratelligence, 2021). Dit geldt nu voor de hoge zandgronden en in de toekomst bij sterke klimaatverandering voor alle gebieden.

Er zijn dus maatregelen op grotere schaal nodig, een schaal waarvoor momenteel in de verschillende gebiedsprocessen nog onvoldoende draagvlak is gevonden. Enkel vanuit het belang van natuur zal deze schaal ook niet worden bereikt. Een schaalessprong is alleen mogelijk indien deze de synergieën met andere gebiedsopgaven, bijvoorbeeld het landelijke stikstofdossier en de voorgenomen transitie naar een meer circulaire vorm van landbouw, ten volle benut. Een schaalessprong moet daarnaast ondersteund worden door actief en adaptief grondwaterbeheer: een grondwaterbeheer dat enerzijds gebruik maakt van de mogelijkheden voor structurele aanpassingen van het grond- en oppervlaktewatersysteem en anderzijds van de actieve elementen van het grondwaterbeheer zoals beregeningsverboden of maximering van onttrekkingsdebieten. Tot die tijd is het zaak de maatregelen voor de korte termijn zo te kiezen dat ze de in te zetten transitie niet belemmeren.

Hitte, droogte en wateroverlast in het stedelijke gebied

Hittestress, droogte en wateroverlast vormen in toenemende mate uitdagingen voor steden

Het stedelijk gebied (waar 49% van de Nederlandse bevolking woont)² krijgt vaker en ingrijpender te maken met droogte, hittestress en wateroverlast.

De jaargemiddelde temperatuurstijging in Nederland bedraagt over de afgelopen honderd jaar bijna 2 °C. Dat is tweemaal zoveel als het wereldgemiddelde. Deze opwarming zet door en gaat in Nederland samen met een toenemende hoeveelheid neerslag, met name in de kuststrook, maar ook met een toenemende verdamping. Vooral in de zomer komen steeds zwaardere piekbuien voor (mogelijk tot 25% meer neerslag per uur in 2050). Het aantal tropische dagen boven de 30°C kan verdrievoudigen tot 2050. In het bebouwde gebied loopt bij hitte bovendien de temperatuur in het stadscentrum tot mogelijk 5-8 graden hoger op dan in het landelijk gebied. Bij gevoelstemperaturen boven de 23 graden is er sprake van hittestress. Door extreme hittestress (> 41 °C) kunnen mensen zelfs komen te overlijden. Tijdens de hittegolf in juli 2019 overleden in een week tijd 400 mensen meer dan normaal.

Wateroverlast leidt tot aanzienlijke schades aan panden. Schadeschattingen lopen uiteen van 10-17 miljard euro tot 2050 onder het huidige klimaat tot 16-26 miljard euro onder klimaatverandering. Droogte in stedelijk gebied leidt tot grondwaterstands dalingen, (versnelde) bodemdaling, zetting en krimp en tot aantasting van houten funderingen, verzakking van gebouwen en infrastructuur en schade aan stedelijk groen. De totale schade hiervan is onzeker maar wordt geschat tussen 12-57 miljard euro tot 2050 in het huidige klimaat en 15-73 miljard onder klimaatverandering. Deze schades treden vooral op in de bebouwde gebieden van laag Nederland.

¹ Waarbij vooral gekeken is naar vermeden opbrengstderiving in de landbouw en scheepvaart

²(CBS, 2020, via <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/70072ned/table?ts=1610442446977>)

Stedelijk gebied heeft enerzijds meer water nodig om de gevolgen van droogte en hitte te beperken...

Het voorkomen van uitzakken van grondwaterstanden en van bodemdaling in stedelijke gebieden vraagt om het handhaven van hogere grondwaterstanden. Dit kan in bepaalde mate en op sommige plaatsen door middel van oppervlaktewaterpeilbeheer als ook door het voorkomen van het uitzakken van grondwater, bijvoorbeeld door het plaatsen van infiltratiesystemen. Hierdoor wordt echter wel meer water vanuit het regionale watersysteem gevraagd, bovenop de huidige watervraag voor het landelijk gebied voor peilbeheer, grondwateraanvulling en doorspoeling. Het wateraanvoersysteem moet daar, zeker na 2050, op worden aangepast. Als het mogelijk zou zijn om in de huidige omstandigheden en onder het huidige klimaat een minimum grondwaterpeil in stedelijk gebied te handhaven, zou dat leiden tot een extra watervraag in de orde van 30 tot 180% van de huidige maximale watervraag per decade. Deze vraag bestaat echter niet omdat de middelen niet aanwezig zijn om het water in de grond te laten infiltreren. Deze extra watervraag kan door klimaatverandering tot 2050 nog eens extra toenemen met 15 tot 50%. Daarnaast leidt vergroening, één van de maatregelen om hittestress te verminderen, van steden tot een toename van de watervraag. De extra watervraag kan ten dele binnen het stedelijk systeem worden beantwoord door in te zetten op adaptatiemaatregelen die het bufferen van neerslag bevorderen.

.... anderzijds zal de kwetsbaarheid van gebouwen en infrastructuur stapsgewijs moeten worden verlaagd

Immers, met de maatregelen om een hoger grondwaterpeil in de steden te handhaven, die vaak kostbaar zijn, kan grondwateronderlast en bodemdaling nooit geheel worden voorkomen. Een duurzamere strategie is daarom om de kwetsbaarheid van de bebouwing en de infrastructuur te verkleinen, bijvoorbeeld door het vernieuwen van funderingen, lichte wegfunderingen te gebruiken in gebieden met een slappe bodem en in de groenvoorziening soorten te planten die minder water vragen en bestand zijn tegen drogere, maar ook nattere omstandigheden

Benut voorgenomen investeringen in stedelijke nieuwbouw en herstructurering

De huidige opgave voor nieuwbouw en herstructurering bedraagt in totaal circa 1 miljoen woningen, waarvan 70% nieuwbouw en 30% als herstructurering. Dit biedt belangrijke kansen om de kwetsbaarheid voor klimaatverandering te beperken. Nieuwe wijken kunnen zo worden aangelegd dat ze gesteld staan voor het klimaat van 2050. Het sleutelwoord voor bestaand stedelijke gebied is meekoppelen: klimaatadaptatiemaatregelen doorvoeren op het moment dat onderhoud plaatsvindt aan infrastructuur en bij renovatie of herinrichting van wijken, zowel in de constructie van gebouwen als in de private en openbare ruimte. Ook stedelijke transitie naar nieuwe energie en herziening van vervoerssystemen bieden aanknopingspunten. .

Laagwater en scheepvaart in het rivierengebied

De scheepvaart heeft in toenemende mate te maken met vaarbepeningen en vertragingen

De laagste afvoeren in de Rijn en Maas kunnen onder verdergaande klimaatverandering flink afnemen met maximaal 20% en 45% voor de Rijn respectievelijk de Maas. In deze schattingen is nog geen eventuele toename van de bovenstroomse watervraag verdisconteerd. De mogelijk afnemende lage afvoeren hebben consequenties voor de landelijke zoetwatervoorziening maar ook zeker voor de scheepvaart.

De binnenvaart ondervindt nu al in droge zomers hinder en schade van droge perioden in de stroomgebieden van Rijn en Maas. Het scheepvaatarisico (van 66 miljoen euro op jaarbasis) kan in droge scenario's verdubbelen in 2050.

De internationaal afgesproken vaargeuldimensies bij OLR (150 m breedte, 2,80 m diepte) kunnen bij toenemende lage afvoeren niet worden gehandhaafd op de vrij-afstromende Waal en IJssel.

De maatregelen om de negatieve gevolgen te beperken lopen uiteen van betere informatievoorziening voor schippers naar technische maatregelen om de vaargeul op diepte te houden naar maatregelen bij de verladereis zoals aangepast voorraadbeheer. De verwachting is dat geen enkele maatregel op zichzelf afdoende is. Een optimale combinatie van maatregelen is nog niet opgesteld of geëvalueerd.

Waterveiligheid

Hoogwaterbescherming nog tot 2050 geborgd. Na 2050 wordt het met versnelde zeespiegelstijging duurder en moeilijker

De Deltascenario's projecteren een mogelijke zeespiegelstijging met tot 80 cm einde deze eeuw en een mogelijke toename van de 'maatgevende afvoer' van Rijn en Maas met zo'n 10-15%. De hoofdlijnen van het waterveiligheidsbeleid zijn vastgelegd in de Deltabeslissing Waterveiligheid DP2015, waarmee het tot 2050 goeddeels is vastgelegd. Dit beleid bestaat in de praktijk, nadat het programma Ruimte voor de Rivier is geïmplementeerd, vrijwel uitsluitend uit hoogwaterbescherming door dijkverzwaring (HWBP) en zandsuppletie op de kust. Bij de herijking van het Deltaprogramma in 2026 zal bezien worden of deze waterveiligheidsstrategie aanpassing behoeft.

Maar door de ruimtelijke ontwikkeling wordt Nederland kwetsbaarder

Zonder sturing van de ruimtelijke ontwikkeling zal de groei van de bevolking en de stedelijke ontwikkeling vooral in het overstromingsgevoelige gebied plaatsvinden. De kwetsbaarheid voor overstromingen neemt daardoor met maximaal 20% toe (hoog scenario). Een gemiddelde economische groei is weliswaar in de veiligheidsnormen verdisconteerd, maar we zien nu al bovengemiddelde groei in relatief gevaarlijke gebieden als de Betuwe, Randstad en Flevopolder. En datacentra in de Wieringermeer. Nederland wordt daardoor kwetsbaarder voor overstromingen, waarvan de waarschijnlijkheid en consequenties groter worden als de zeespiegelstijging zich versneld doorzet en boven de 1 meter uit zal komen.

Vernieuwde prognoses van de zeespiegelstijging wijzen op een mogelijke sterkere stijging van de zeespiegel in de tweede helft van deze eeuw dan eerder was aangenomen in de Deltascenario's. Dit kan ingrijpende consequenties hebben voor de hoogwaterbescherming in de Rijn-Maasmonding en in het IJsselmeer gebied. Bij een hogere zeestand kunnen grotere piekafvoeren in de rivieren niet of moeilijker worden verwerkt. Dat vraagt mogelijk eerder om een heroverweging rondom de vervanging van de Maeslantkering en de pomp en spuicapaciteit op het IJsselmeer en extra bergingscapaciteit in of rond het noordelijk deltabekken en IJsselmeer.

Andere mogelijkheden om de komende decennia de klimaatbestendigheid te vergroten zijn de inzet van doorbraakvrije dijken en een sturing van de ruimtelijke ontwikkelingen in het rivierengebied om mogelijk hogere rivierafvoeren veilig af te voeren in combinatie met een verder gestegen zeespiegel. Omdat de gevolgen van overstromingen bij doorbraakvrije dijken structureel kleiner zijn, wordt Nederland minder gevoelig voor extremen die voortvloeien uit klimaatverandering.

Bestuurlijke implementatie

Effectief adaptatiebeleid vereist heldere doelen, een integrale ruimtelijke strategie en samenwerking tussen alle betrokken partijen

De beoogde omslag naar een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland vraagt heldere adaptatiedoelen, zodat die geïntegreerd kunnen worden in andere voorgenomen transitie in de stedelijke ontwikkeling, landbouw-, natuur- en bosontwikkeling. Voor de stad zijn er strijdige opgaven: de strategie die is gericht op een compacte stad staat al gauw op gespannen voet met een adaptatiestrategie waarin meer ruimte voor groen en water in de stad wordt gevraagd. Deze strijdigheid in de stad en het benutten van de bovengenoemde transitie voor klimaatadaptatie vragen een integrale ruimtelijke strategie en een sector-overstijgende regie.

De transitie in het waterbeheer vergen brede en diepgaande maatschappelijke aanpassingen. Daarmee schuift de bestuurlijke opgave op naar het managen van transitie.

Dit onderschrijft de noodzaak om tot een nieuw beslismodel te komen op hoger schaalniveau, verwoord in de review van het Deltaprogramma (Klijn et al., 2020): 'Agendeer de noodzaak om op landelijk schaalniveau de regie te nemen om te komen tot inhoudelijke integratie van ruimtelijke inrichting en waterbeleid, domeinen die trans-ministeriële samenwerking vragen'. In het antwoord op de review van de Deltacommissaris laat deze weten dat het kabinet in september 2019 zijn advies heeft overgenomen dat water door alle overheden als ordenend principe gehanteerd dient te worden in het omgevingsbeleid.

Inhoud

	Samenvatting en conclusies	4
1	Inleiding	14
1.1	Doel	14
1.2	Uitgangspunten voor de aanpak	15
1.2.1	Ernst en urgentie van klimaateffecten	15
1.2.2	Effectieve en duurzame oplossingsrichtingen voor 2050 en verder	16
1.2.3	Synergieën en knelpunten tussen opgaven	17
2	Klimatologische en hydrologische randvoorwaarden	18
2.1	Temperatuur en neerslag(tekorten)	18
2.2	Zeespiegelstijging	19
2.3	Afvoerregime van de Rijn en de Maas	20
3	Adaptatie aan droogte, bodemdaling en verzilting in het landelijke gebied	24
3.1	Inleiding	24
3.2	Ernst en urgentie droogte hoge zandgronden	25
3.2.1	In het kort	25
3.2.2	Systeembeschrijving	26
3.2.3	Effecten op natuur	28
3.2.4	Effecten op landbouw	30
3.2.5	Effecten op drink- en proceswater	31
3.3	Ernst en urgentie droogte in laag Nederland	31
3.3.1	In het kort	31
3.3.2	Systeembeschrijving	31
3.3.3	Bodemdaling	36
3.3.4	Effecten op natuur	37
3.3.5	Effecten op landbouw	37
3.3.6	Effecten op drink- en proceswater	38
3.3.6.1	Koelwatervraag datacenters	39
3.4	Samenvatting opgaven droogte landelijk gebied	40
3.5	Maatregelen	40
3.5.1	Hoge zandgronden	40
3.5.1.1	Is het voldoende?	43
3.5.1.2	Betaalbaarheid	44
3.5.2	Laag Nederland	46
3.5.2.1	Is het voldoende?	48
3.5.2.2	Betaalbaarheid	49
3.6	Synergieën en knelpunten	51
3.6.1	Ruimtelijke kansen - zoekgebieden	52
3.7	Implementatie	54
4	Scheepvaart	56

4.1	Inleiding	56
4.2	Impact, ernst en urgentie	56
4.3	Maatregelen	58
4.4	Synergieën en knelpunten	61
5	Droogte, hitte en wateroverlast in de stad	62
5.1	In het kort	62
5.2	Ernst en urgentie droogte, hitte en wateroverlast in de stad	63
5.2.1	Ontwikkelingen in stedelijk gebied	63
5.2.2	Gevolgen van droogte in de stad	64
5.2.3	Gevolgen van hitte in de stad	67
5.2.4	Wateroverlast	67
5.2.5	Conclusies over kwetsbaarheid en urgentie	69
5.3	Mogelijke maatregelen en synergieën en knelpunten	70
5.3.1	Droogte en hitte	70
5.3.2	Gevolgen voor de watervraag aan het regionale systeem	74
5.3.3	Meekoppelmomenten	75
5.3.4	Wateroverlast	75
5.3.5	Samenvatting mogelijke maatregelen stedelijk gebied	78
6	Waterveiligheid	79
6.1	Ernst en urgentie	79
6.2	Opgave	81
6.3	Maatregelen	81
6.4	Synergieën en knelpunten	83
7	Bestuurlijke implementatie	85
7.1	Inleiding	85
7.2	Meekoppelkansen, synergieën en knelpunten	86
7.2.1	Landelijk gebied	86
7.2.2	Stedelijk gebied	86
7.3	Funcieveranderingen en transitie management	87
8	Bronnen	89
A	Geraadpleegde Experts	92
B	Rivierbodemdaling en differentiële bodemerrosie	93
C	Droogteanalyse voor het IJsselmeergebied	94
C.1	Toelichting op de droogteanalyse voor het IJsselmeergebied	94
C.1.1	Introductie	94
C.1.2	Watergebruik nu, in 2050 en in 2100	95
C.1.3	Bouwstenen voor het vergroten van het aanbod en verkleinen van de vraag in 2100	98
C.1.4	Referenties	99

1 Inleiding

Het project NL Later II beoogt dilemma's en keuzes voor ruimtelijk beleid in beeld te brengen, met aandacht voor zowel het 'wat en waar' als het 'hoe'. Door te verwachten problemen en mogelijke oplossingen in kaart te brengen wil het project op de korte termijn bijdragen aan de agendering van ruimtelijke orderingsopgaven in de komende kabinetsformatie en op de lange termijn aan een toekomstbestendige Nationale Omgevingsvisie (NOVI). De producten van NL Later II richten zich op strategische beleidsmakers en bestuurders op centraal en decentraal niveau op het gebied van de leefomgeving.



Figuur 1.1 Uitdagingen met betrekking tot droogte en klimaatverandering voor de verschillende hoofd- en deelregio's (bron: Mens et al., 2019)

Het voorliggende Deltares rapport dient als achtergrondrapport bij het eindrapport Nederland Later II van PBL voor fase 1 (PBL, 2021). Naast het thema klimaatadaptatie bevat het PBL-rapport voor Nederland Later de thema's Energietransitie, Landelijk gebied en Stad. Voor klimaatadaptatie is in dit rapport het accent gelegd op het onderwerp droogte dat daarom in meer detail is uitgewerkt dan wateroverlast, waterveiligheid en scheepvaart. Het rapport vat vooral die kennis samen die gedurende de looptijd van fase 1 nodig was om vragen van PBL te beantwoorden en moet derhalve niet gezien worden als volledig of als het resultaat van een eigenstandige studie.

1.1 Doel

Doel van de voorliggende studie naar klimaatadaptatie is om de ernst en urgentie van klimaatverandering, de mogelijke aanpassingsmogelijkheden en de effectiviteit, betaalbaarheid en haalbaarheid daarvan op een rij te zetten voor:

- Het landelijke gebied, opgesplitst naar hoog- en laag Nederland en met aandacht voor droogte en watertekorten i.r.t. verdroging, verzilting en bodemdaling.
- Het stedelijke gebied met aandacht voor droogte, hittestress en wateroverlast
- Het rivierengebied specifiek voor transport over water
- Waterveiligheid landelijk

Er is daarbij volledig gebruik gemaakt van bestaand materiaal. Er zijn geen nieuwe analyses uitgevoerd. De meeste aandacht gaat uit naar het thema droogte dat vanwege een aantal recente droge zomers maatschappelijk in de belangstelling staat.

1.2 Uitgangspunten voor de aanpak

De analyses in dit rapport zijn gebaseerd op de resultaten van lopende of recent afgesloten studies. Denk daarbij vooral aan het Deltaprogramma (DP), o.a. zoetwatervoorziening (DPZW) en ruimtelijke adaptatie (DPRA), aangevuld met regionale studies, de lange-termijnverkenning naar extreme zeespiegelstijging en een beperkt aantal overige studies (zie bronnenlijst). Verder zijn diverse experts geraadpleegd (zie geraadpleegde experts, annex I). Voor de vier thema's: i) Droogte in het landelijke gebied (hfst. 3); ii) Droogte, hittestress en wateroverlast in de stad (hfst. 4); iii) Transport over water in het rivierengebied (hfst. 5) en iv) Waterveiligheid op landelijke schaal (hfst.6) worden de volgende stappen doorlopen:

- Bepalen van de ernst en urgentie van klimaateffecten;
- Het in beeld brengen van mogelijke oplossingen en de effectiviteit en duurzaamheid hiervan

1.2.1 Ernst en urgentie van klimaateffecten

Klimaatscenario's worden gebruikt om effecten van klimaatverandering te projecteren naar 2050 en verder. In de diverse studies gebruikt voor dit rapport zijn deze klimaatscenario's gebruikt als randvoorwaarden voor analyses en modelberekeningen om de projecties van de diverse effecten op het watersysteem en gebruiksfuncties te berekenen. De ernst van deze effecten wordt uitgedrukt in fysieke (bijvoorbeeld m³ water, waterpeilen, hectares aangetaste natuur) en waar mogelijk ook economische grootheden (bijvoorbeeld verwachte schade, kosten van adaptatie of gedeerde inkomsten) voor zowel gemiddelde als extreme omstandigheden in het huidige klimaat en onder klimaatverandering. In hoofdstuk 2 worden klimatologische en hydrologische randvoorwaarden

Urgentie wordt uitgedrukt in termen van wanneer de ernst van de effecten zodanig is dat de strategie moet worden veranderd en de consequenties van uitstel van adaptatie onacceptabel worden. Waar lopen we in Nederland tegen grenzen aan? Deze knikpuntenbenadering (Haasnoot et al., 2020; Kwadijk et al., 2010) is vaker toegepast in studies over klimaatadaptatie in het Nederlandse waterbeleid.

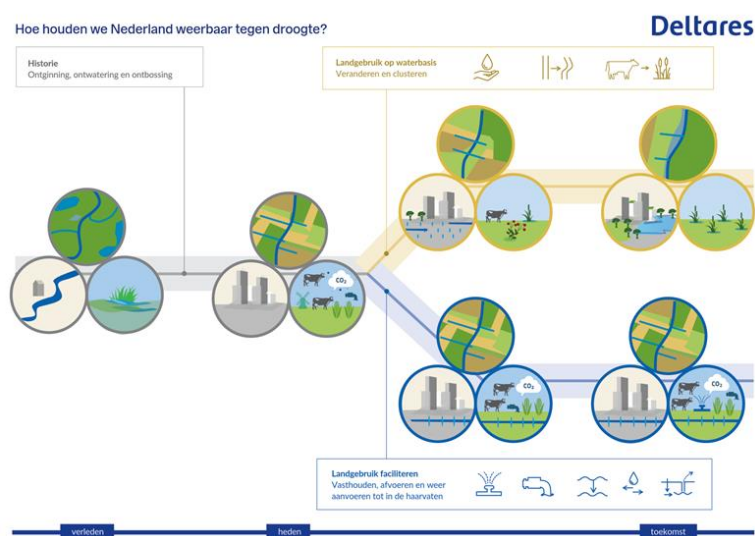
Knikpunten zijn vaak lastig te duiden gezien het subjectieve karakter van wat als acceptabel wordt gezien (tenzij wettelijk verankerd) maar ook door de grilligheid van het klimaat zelf. Deze grilligheid is dusdanig dat verschillen tussen jaren veel groter zijn dan de trend als gevolg van klimaatverandering zelf. De vraag wanneer een impact onacceptabel wordt hangt aldus samen met abstracte verschuivingen in kansen op extremen. Daarom wordt urgentie per definitie groter als zulke extremen in het recente verleden zijn opgetreden, passen binnen een trend van klimaatverandering en tot ingrijpende gevolgen hebben geleid. De droge zomers van de afgelopen jaren zijn hiervan een goed voorbeeld en hebben de kwetsbaarheden van ons watersysteem blootgelegd en daarmee een gevoel van urgentie gecreëerd.

Ook een niet-lineaire respons op klimaatverandering helpt om de ernst en urgentie te duiden. Dit wordt in de praktijk vaak geoperationaliseerd met de term onomkeerbare schade, waarbij er fundamenteel iets verloren gaat of verandert en er geen gemakkelijke weg terug lijkt. Bij het duiden van de effecten in dit rapport wordt daarom naar al deze aspecten gekeken van ernst en urgentie.

1.2.2 Effectieve en duurzame oplossingsrichtingen voor 2050 en verder

Nederland later II is op zoek naar oplossingen voor adaptatie aan klimaat en economische verandering waarin een duurzame, ofwel ook op de langere termijn houdbare, balans gevonden wordt tussen het water- en bodemsysteem enerzijds en het ruimtegebruik anderzijds. Daarbij worden twee wezenlijk verschillende strategieën tegen het licht gehouden:

- Strategie 1: Aanpassen van het fysieke systeem aan eisen en wensen van het economisch gebruik van land en water (systeem volgt functie - SVF). Deze strategie vertrouwt op technische maatregelen om het bestaande landgebruik te continueren, ook als het klimaat en de sociaaleconomische omstandigheden veranderen. Dit is de strategie die door de eeuwen heen bij de ontwikkeling van de Nederlandse delta is toegepast maar ook zijn keerzijdes kent in bodemdaling, verdroging en een verhoogde kwetsbaarheid bij overstromen. Andere duidingen voor deze strategie zijn: peil volgt functie of landgebruik op technologische basis.
- Strategie 2: Aanpassen van het gebruik van land en water aan de mogelijkheden van het fysieke systeem (functie volgt systeem - FVS). Deze strategie is erop gericht om het menselijk gebruik van land en water binnen de grenzen die het fysieke systeem (water, bodem, ruimte) stelt, te brengen en te houden. Daarbij hoort ook het herstellen en versterken van het natuurlijke/fysieke systeem waar dit in de loop van de tijd zijn draagkracht heeft verloren zodanig dat het ook weer beter en duurzamer de gevraagde ecosystemendiensten kan leveren. Ook met deze strategie wordt meer en meer ervaring opgedaan in Nederland, o.a. in het Deltaprogramma maar ook in natuurherstelprojecten in het kader van KRW, Natura2000 en programma's van natuurorganisaties. Andere duidingen voor deze strategie zijn: functie volgt peil of landgebruik op fysiografische basis (Klijn et al. 2020).



Figuur 1.2 Hoofdrichtingen voor adaptatie aan droogte: landgebruik op waterbasis (functie volgt systeem) en landgebruik faciliteren (systeem volgt functie). Bron: (Haasnoot & Mens, 2020).

In dit rapport worden voor beide strategieën de mogelijke maatregelen in beeld gebracht inclusief, waar informatie beschikbaar is, de volgende kenmerken:

- Effectiviteit – in hoeverre wordt de ernst van de klimaateffecten gereduceerd als ze op realistische schaal worden ingezet;
- Flexibiliteit - leidt maatregel niet tot te sterke pad-afhankelijkheid zodat er ook na 2050 opties overblijven voor aanpassing aan verdere klimaatverandering en zeespiegelstijging;
- Betaalbaarheid – Wat zijn de kosten en baten van de maatregelen?

1.2.3 Synergieën en knelpunten tussen opgaven

In Nederland later II wordt nadrukkelijk gekeken naar mogelijke synergieën en knelpunten die kunnen ontstaan of worden benut tussen verschillende ruimtelijke opgaven. Land- en watergebruik leiden in een druk land als Nederland voortdurend tot competitie tussen verschillende gebruiksfuncties. Het gaat dan vaak over verdeling van beschikbare kubieke meters of over het handhaven van optimale waterpeilen voor de verschillende gebruiksfuncties. Waar het voor de droogtebestrijding gunstig is om hoge peilen te handhaven is het voor het voorkomen van wateroverlast beter om de peilen lager in te stellen. Voor de verschillende oplossingsrichtingen is daarom in dit rapport bekeken welke synergieën er zijn te behalen en welke knelpunten met andere domeinen kunnen ontstaan, bijvoorbeeld competitie om water en ruimte of afwenteling van droogte- naar natschade.

2 Klimatologische en hydrologische randvoorwaarden

In de in dit rapport gebruikte bronnen worden meestal de Deltascenario's (Wolters et al., 2018) gebruikt om de ernst van de effecten te projecteren naar 2050 en verder. Voor droogte wordt aangesloten bij de gangbare aanpak voor het Deltaprogramma met karakteristieke droogtejaren (gemiddeld, droog en extreem) aangevuld met wat is geconstateerd aan effecten in voorbije jaren, met speciale aandacht voor 2018. Karakteristieke jaren kunnen bij benadering gerelateerd worden aan herhalingstijden nu en in de toekomst. Zo wordt gekeken hoe de fysieke en economische effecten variëren van een gemiddeld tot een droog en extreem droog jaar zowel in het huidige klimaat als onder klimaatverandering. Hieronder worden de belangrijkste randvoorwaarden op een rij gezet van belang voor droogte, hitte, wateroverlast evenals de hydrologische randvoorwaarden voor de Rijn en de Maas. Waar bovengrenzen genoemd worden wordt uitgegaan van het W_H (KNMI, 2015) scenario dat onderdeel is van het deltasenario STOOM. Om de kans op voorkomen van klimaat effecten te duiden wordt gebruik gemaakt van herhalingstijden in veel van de gebruikte studies. Het belangrijkste zichtjaar voor deze studie is 2050. Maar om ook te toetsen of oplossingen bij verdergaande klimaatverandering en zeespiegelstijging nog houdbaar blijven, worden ook in sommige delen van het rapport projecties voor 2100 gebruikt.

2.1 Temperatuur en neerslag(tekorten)

De gemiddelde temperatuurstijging in Nederland bedraagt over de afgelopen honderd jaar bijna 2°C . Dat is tweemaal zoveel als het mondiale gemiddelde. Deze opwarming gaat in Nederland samen met een toenemende hoeveelheid neerslag, met name in de kuststrook, maar ook met een toenemende verdamping, met name in het binnenland.

Hoewel de totale hoeveelheid neerslag over het jaar met circa 20% is toegenomen, komen sinds 1950 drogere voorjaar- en zomerperioden in het binnenland steeds vaker voor. De neerslag- en verdampingstrends zorgen voor een grotere kans op extreem droge zomers, zowel eenmalige als meerjarige (Philip et al., 2020). Het cumulatieve verschil tussen verdamping en neerslag uitgedrukt in mm wordt het neerslagtekort genoemd en is een veelgebruikte maat voor een droogte (zie tabel 2.1).

Vooral in de zomer komen steeds zwaardere piekbuien voor: met elke graad temperatuurstijging neemt de intensiteit van de neerslag met 7 tot 14% toe³. Tijdens hevige buien valt dan mogelijk tot 25% meer neerslag per uur in 2050 (zie ook tabel 2.2).

De gemiddelde temperatuur is in Nederland is sinds 1951, met $1,4^\circ\text{C}$ ongeveer twee keer zo veel toegenomen als de wereldwijde temperatuur. Tot 2050 kan daar onder het meest extreme scenario nog $2,3^\circ\text{C}$ bij komen tot 2050. Temperaturen in warme zomers nemen daarbij relatief het meest toe. Zo kan het aantal tropische dagen boven de 30°C verdrievoudigen in 2050 (KNMI, 2015) (zie ook tabel 2.3). De opwarming kan leiden tot hittestress. Het is daarbij van belang te realiseren dat in een hoog-stedelijke omgeving bij hitte de temperatuur tot 5 à 8°C hoger kan zijn dan in het omringende landelijke gebied.

³ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/intensiteit-van-extreme-neerslag-in-een-veranderend-klimaat>

Tabel 2.1 Een aantal karakteristieke droge jaren met neerslagtekorten en herhalingstijden in het huidige klimaat en onder de KNMI'14-scenario's.

	Neerslagtekort	Herhalingstijd (nu)	Herhalingstijd meest extreme KNMI'14 scenario (2050)	Herhalingstijd minst extreme KNMI'14 scenario (2050)
1976	361 mm	90 jaar	30 jaar	60 jaar
1967	151 mm	2.5 jaar	<i>Onbekend</i>	1 jaar
2003	234 mm	10 jaar	3 jaar	8 jaar
2018	309 mm	30 jaar	15 jaar	25 jaar

Tabel 2.2 Herhalingstijden extreme jaren piekneerslag en hittegolven (Beersma et al., 2004; KNMI, 2015; Sluijter et al., 2018).

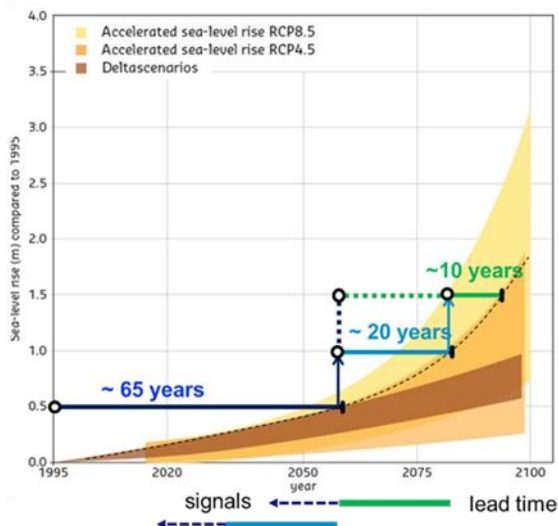
Maximale uurneerslag huidig klimaat die eens per jaar wordt overschreden	Meest extreme scenario in 2050	Minst extreme scenario in 2050
15.1 mm/u	+13 tot +25%	+5.5 tot +11%
Dagelijkse hoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	Meest extreme scenario in 2050	Minst extreme scenario in 2050
44 mm	+2.5 tot +22%	+1.7 tot +10%
Aantal zomerse dagen (max temp > 25 °C)	Meest extreme scenario in 2050	Minst extreme scenario in 2050
21 dagen	+ 70% (35.7 dagen)	+ 22% (25.6 dagen)

Tabel 2.3 Toename neerslagtekort (t.o.v. nu) in de zomer in een gemiddeld en een droog jaar in 2050. Bron: (KNMI, 2015).

	Neerslagtekort in het groeiseizoen, huidig klimaat	Meest extreme klimaatscenario in 2050	Minst extreme klimaatscenario in 2050
Gemiddeld jaar	144 mm	+ 30% (187.2 mm)	+4.5% (150 mm)
1/10 jaar	230 mm	+ 25% (287.5 mm)	+5% (241 mm)

2.2 Zeespiegelstijging

De snelheid van de zeespiegelstijging ligt momenteel in Nederland op ongeveer 20 centimeter per eeuw (Baart et al., 2019). Hoewel er mondiaal een versnelling in de zeespiegelstijging is vastgesteld (Veng & Andersen, 2020), wordt deze versnelling voor de Nederlandse kust nog niet waargenomen. De verwachting is echter dat de zeespiegelstijging later deze eeuw zal versnellen en volgens de huidige Deltascenario's tussen de 35 en 85 centimeter zal uitkomen voor 2100. Nieuw e wetenschappelijk inzichten leiden echter ook tot mogelijk hogere schatting.



Figuur 2.1 Scenario's voor versnelde zeespiegelstijging (Haasnoot et al., 2020).

2.3 Afvoerregime van de Rijn en de Maas

In een gemiddeld jaar is de aanvoer van zoet water in Nederland door rivieren en neerslag (110 miljard m³) groter dan de vraag (23 miljard m³). Ook in een droog jaar zoals 1976 is dat het geval (66 miljard m³ met een vraag van 25 miljard m³) (Klijn et al., 2012). In de zomerperiode is er een neerslagtekort en is de aanvoer van water via de rivieren de belangrijkste bron. Van het water dat via de Rijn het land binnenkomt, stroomt 80% – ook in extreem droge jaren – weg via de Nieuwe Waterweg, en helpt zo bij de bestrijding van de externe verzilting vanuit zee.

Impact van klimaatverandering op het afvoerregime van Rijn en Maas

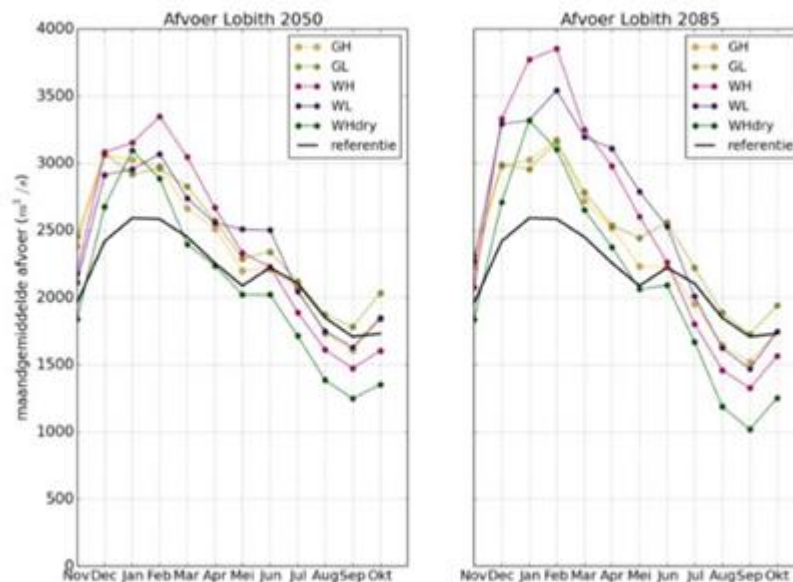
Tabel 2.4 Afname aanvoer rivieren (t.o.v. nu) in de zomer in een gemiddeld en een droog jaar in 2050.

Bron: (Sperna Weiland et al., 2015; Wolters et al., 2018).

	Gemiddelde jaarlijkse laagste 7-daagse afvoer (m ³ /s)	Meest extreme klimaatscenario in 2050	Minst extreme klimaatscenario in 2050
Rijn, bij Lobith	1010 m ³ /s	-20% (808 m ³ /s)	+5% (1061 m ³ /s)
Maas, bij Borgharen	45 m ³ /s	-45% (25 m ³ /s)	+5% (47 m ³ /s)
	Gemiddelde afvoer in september (m ³ /s)	Meest extreme klimaatscenario in 2050	Minst extreme klimaatscenario in 2050
Rijn, bij Lobith	1710	-27% (1248 m ³ /s)	+4% (1778 m ³ /s)
Maas, bij Borgharen	103	-50% (52 m ³ /s)	+5% (108 m ³ /s)

Als gevolg van klimaatverandering wordt verwacht dat de watertoevoer voor Nederland in de zomerperiode structureel afneemt.

Dit is onderzocht door Deltares en KNMI (Klijn et al., 2015). In aansluiting op de klimaatscenario's voor Nederland (KNMI, 2015) zijn vijf scenario's opgesteld voor de stroomgebieden van de Rijn en de Maas.



Figuur 2.2 Afvoerregime van de Rijn in de KNMI'14 scenario's in 2050 en 2085 voor een gemiddeld jaar in vergelijking met het huidige afvoerregime (Klijn et al., 2015).

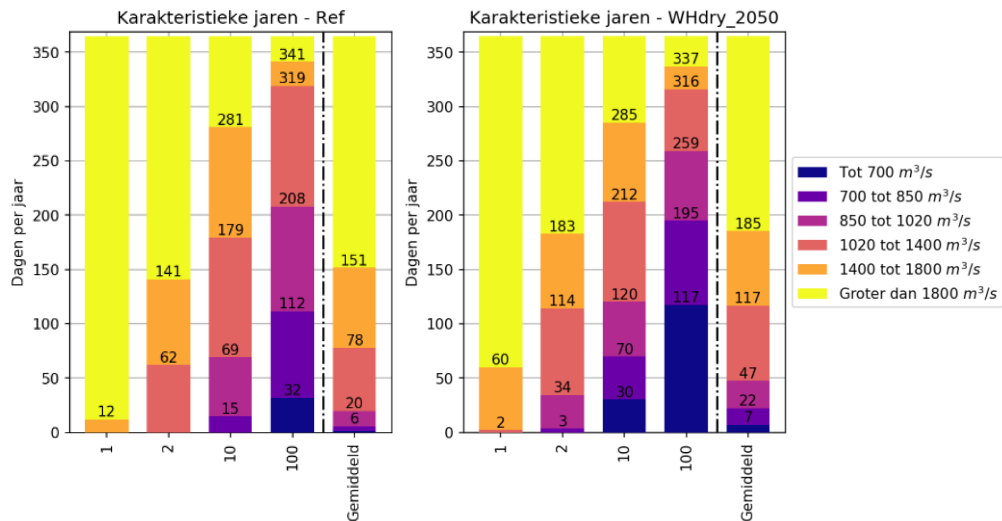
In alle klimaatscenario's wordt het veel natter, gemiddeld, maar vooral in de winter. In de zomer wordt het in de meeste scenario's iets droger, in een enkel scenario wordt het veel droger. In alle scenario's wordt het afvoerregime van de Rijn door het jaar heen grilliger. De winterafvoeren nemen toe, terwijl de zomerafvoeren afnemen. De afname is echter beperkt, doordat het Rijnstroomgebied heel groot is, met veel demping door onder andere de grote meren.

Momenteel wordt in opdracht van de internationale Commissie voor de Hydrologie van het Rijnstroomgebied (CHR) onderzoek gedaan naar het effect van het smelten van gletsjers en sneeuw op het afvoerloop van de Rijn. De verwachting is dat in de tweede helft van de eeuw de meeste gletsjers in Zwitserland weggesmolten zullen zijn en de hydrologie in het stroomgebied daardoor blijvend veranderd is (ASG II studie, in uitvoering).

In de eerdere ASG I studie was berekend dat tijdens laagwaterperiodes de afvoer bij Lobith voor meer dan 20% uit smeltwater van sneeuw en gletsjers bestaat (ieder 10%). In de ASG II studie wordt ook gekeken naar het 'dempende, mixende' effect van de tussenliggende reservoirs en meren op het huidige en toekomstig afvoerregime, in het bijzonder tijdens laagwatersituaties.

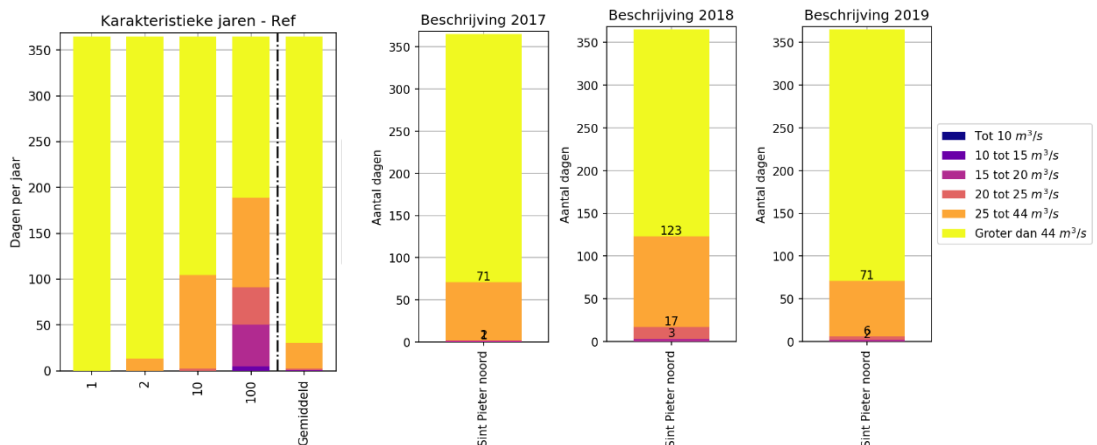
Een extreem lage Rijnaflower bij Lobith (minder dan 750 m³/s) komt in het huidige klimaat eens in de 10 jaar voor en dat wordt bij sterke klimaatverandering in 2050 elke 3 jaar. De duur van een periode met lage afvoeren neemt bij sterke klimaatverandering toe tot 51 dagen (0 dagen bij huidig klimaat) (Mens et al., 2019).

Voor de Rijn en Maas is recent (de Jong, 2020a,b) onderzoek gedaan naar de ernst en terugkeertijd van lage afvoeren (zie Figuur 2.3 en 2.4). Hierin wordt de mogelijk toename van lage afvoeren uit Mens et al. 2019 bevestigd en verder gedetailleerd.



Figuur 2.3 Aantal dagen met overschrijding van kritische afvoeren voor de Rijn met herhalingstijden van 1, 2, 10 en 100 jaar in het huidige klimaat (links) en het klimaat WHdry_2050 (rechts) met 5 afvoerniveaus. Bron: (de Jong, 2020b).

Voor de Maas is ook gekeken wat dit betekent voor watertekorten op basis van de afvoer bij St. Pieter. Voor het huidige klimaat en vier scenario's voor het toekomstige klimaat is voor vijf afvoerniveaus gekeken hoe vaak deze werden overschreden. Voor ieder van de klimaatscenario's zijn karakteristieke droge jaren afgeleid voor gegeven terugkeertijden. Ook is een vergelijking uitgevoerd met de recente droge jaren in 2017, 2018 en 2019.



Figuur 2.4 Aantal dagen met overschrijding van kritische afvoeren voor de Maas met herhalingstijden van 1, 2, 10 en 100 jaar voor het huidige klimaat (figuur links). Opbouw van de lage afvoeren van 2017, 2018 en 2019 (figuur rechts). Bron: (de Jong, 2020a).

Uit de analyse blijkt dat in het huidige klimaat de problemen van geringe rivierafvoer voor de scheepvaart al merkbaar worden (in de noodzaak om water terug te pompen bij de sluisen en om zuinig te schutten) bij droge jaren met een terugkeertijd van 2 jaar. In een jaar als 2018 - met een terugkeertijd van ongeveer eens per 25 jaar - hanteren meerdere sluisen maatregelen als 'zuinig' en 'beperkt' schutten, waarbij de passeertijd voor de schepen significant toeneemt.

Bij matige klimaatverandering (G_L 2050/2085) zien we maar kleine veranderingen in de afvoer bij St. Pieter. De verwachting is dat in de meeste droge jaren de afvoer zelfs een klein beetje toeneemt.

Bij snelle klimaatverandering (W_H 2050/2085) zien we een grote afname in de binnenkomende afvoer bij St. Pieter. In droge jaren nemen de afvoeren af met ongeveer 40% in 2050 tot 50% in 2085. Problemen door watertekort ontstaan bij dit klimaatscenario al gemiddeld elke 2 jaar. De terugkeertijd van een jaar als 2018 neemt daarbij in 2050 toe tot elke 3 à 4 jaar. In een droog jaar (T10) zal in dit klimaat de daggemiddelde afvoer van 25 m³/s al 20% van het jaar (ruim 2 maanden) worden onderschreden, bij extreme droogte (T100) kan dit toenemen tot ruim een derde van het jaar.

Mogelijke impact van sociaal-economische veranderingen bovenstrooms

In opdracht van de CHR wordt ook onderzoek gedaan naar de impact van sociaal-economische veranderingen op het afvoerregime. Naar aanleiding van de uitkomsten van een eerste fase van de studie (Ruijgh, 2019) gaat in de vervolgstudie specifieke aandacht uit naar de impact van veranderingen in de landbouw (bijvoorbeeld uitbreiding van geïrrigeerde landbouw als gevolg van drogere zomers), de koelwatervraag voor de energievoorziening (energietransitie) en reservoirmanagement. De ambitie is om meer inzicht te krijgen in wat de impact van de watervraag op de afvoer is in relatie tot de impact van klimaatverandering op het afvoerregime, op de middellange en langere termijn.

De eerste fase van de studie van (Ruijgh, 2019) laat de volgende conclusies zien:

- Volgens schattingen van het huidige waterverbruik in het stroomgebied van de Rijn zijn koelwater (15-25 m³/s op jaarbasis), mijnbouw (10 m³/s) en irrigatie (10-65 m³/s) waarschijnlijk de grootste verbruikers. De gegevens voor koelwater en irrigatie zijn echter erg onzeker en moeten geactualiseerd worden.
- Drink- en industriewater zijn met respectievelijk 2-8 m³/s en 1-3 m³/s kleinere verbruikers.
- Toekomstige scenario's voor gebruik laten een aanzienlijke variatie zien, vooral vanwege onzekerheden in toekomstige irrigatiepatronen.
- Het geschatte waterverbruik in de zomerperiode voor irrigatie neemt in het meest extreme scenario (S2) toe van de huidige 50-75 m³/s tot 250 m³/s. Dit betekent dat de lage afvoeren in het zomerseizoen met 200 m³/s zouden kunnen afnemen. Dit zijn effecten in dezelfde ordegrootte als klimaatverandering, dus relevant.

Voor de Maas zijn vergelijkbare studies voor dit rapport niet onderzocht.

3 Adaptatie aan droogte, bodemdaling en verzilting in het landelijke gebied

3.1 Inleiding

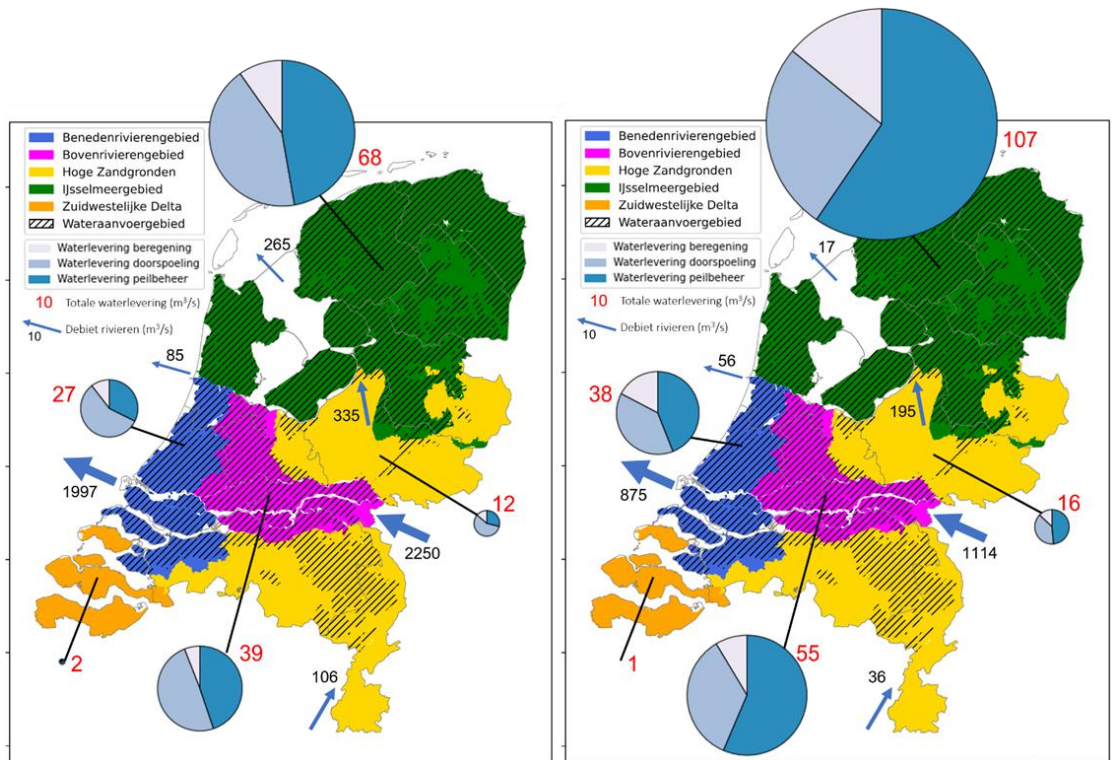
Adaptatie aan droogte in het landelijke gebied gaat met name over de vraag hoe op duurzame wijze de kwantitatieve en kwalitatieve watervraag van natuurlijke vegetatie en landbouwgewassen afgestemd kan worden op het beschikbare water. De uitwerking hiervan verschilt sterk met factoren zoals concurrerend economisch gebruik (bijv. drinkwaterwinningen), ondergrond, kwel en wegzijging en wateraanvoermogelijkheden. In laag Nederland speelt daarnaast de problematiek van zoutbestrijding en het tegengaan van bodemdaling, die beide een aanzienlijke watervraag met zich meebrengen.

Via het regionale watersysteem wordt in de zomerperiode een groot deel van Nederland voorzien van water vanuit de Rijkswateren. Verreweg het grootste deel van dit water wordt gebruikt voor peilbeheer, het doorspoelen om verzilting te bestrijden en het beheer van de waterkwaliteit. Het directe gebruik in de landbouw voor beregening en drenking is op het totale watergebruik beperkt, maar kan lokaal grote effecten hebben.

Er zijn grote verschillen in wateraanvoer en -gebruik in de verschillende regio's in Nederland. Op hoofdlijnen kunnen worden onderscheiden (Figuur 3.1):

- i) gebieden zonder aanvoer vanuit het hoofdwatersysteem: grote delen van de hogere zandgronden en eilanden in de Waddenzee en Zuidwestelijke Delta; de niet-gearceerde gebieden in de figuur. Deze gebieden zijn voor hun watervoorziening afhankelijk van de neerslag en, waar beregening of druppelirrigatie wordt toegepast, van het grondwater. Op de hogere zandgronden wordt ongeveer 30% van de jaarlijkse neerslag als grondwater opgeslagen.
- ii) het noorden met een groot zoetwaterbekken (IJsselmeergebied) en kleine aanvoer (IJssel) en
- iii) het westen met een grote aanvoer (Rijn) en kleine zoetwaterbekkens (Haringvliet, Volkerak-Zoommeer)

De laatste jaren is er een stijgende trend waarneembaar in het percentage landbouwbedrijven dat gebruik maakt van beregening (Asseldonk et al., 2021). Dit geldt zowel voor akkerbouw- als melkveebedrijven.



Figuur 3.1 Jaargemiddelde wateraanvoer rivieren en gebruik oppervlaktewater in m^3/s in de verschillende zoetwaterregio's voor beregening, doorspoeling en peilbeheer in de zomerperiode (april-oktober) een gemiddeld jaar, 1967 (links) en extreem droog jaar, 1976 (rechts) (bron data: Deltaprogramma Zoetwater (DPZW)).

3.2 Ernst en urgentie droogte hoge zandgronden

3.2.1 In het kort

Historische ontwikkelingen zoals ruilverkavelingen, toename van grondwateronttrekkingen, intensivering van de landbouw en ontwatering hebben geleid tot versnippering van natuurgebieden, verdroging, bodemdaling en verandering van de grondwaterkwaliteit. Daardoor zijn de functies van het landelijke gebied afhankelijk geworden van nauwkeurig afgestemd waterbeheer. Deze paragraaf presenteert signalen dat het beheer in de toekomst in toenemende mate tegen grenzen kan gaan oplopen. Het is een open vraag of er in het landelijke gebied maatregelen te vinden zijn die klimaatverandering afdoende compenseren zonder de genoemde ontwikkelingen uit het verleden aan te pakken. Daarom bestaat dit hoofdstuk ook aandacht aan verdroging.

De structurele en intensieve ontwatering in landbouwgebieden zorgt al decennia voor een toenemende verdroging van natuurgebieden. Deze wordt versterkt door de steeds vaker voorkomende droge en warme voorjaren en zomers en door de grondwateronttrekkingen van drinkwater en landbouw, in sommige gevallen met onomkeerbare schade tot gevolg.

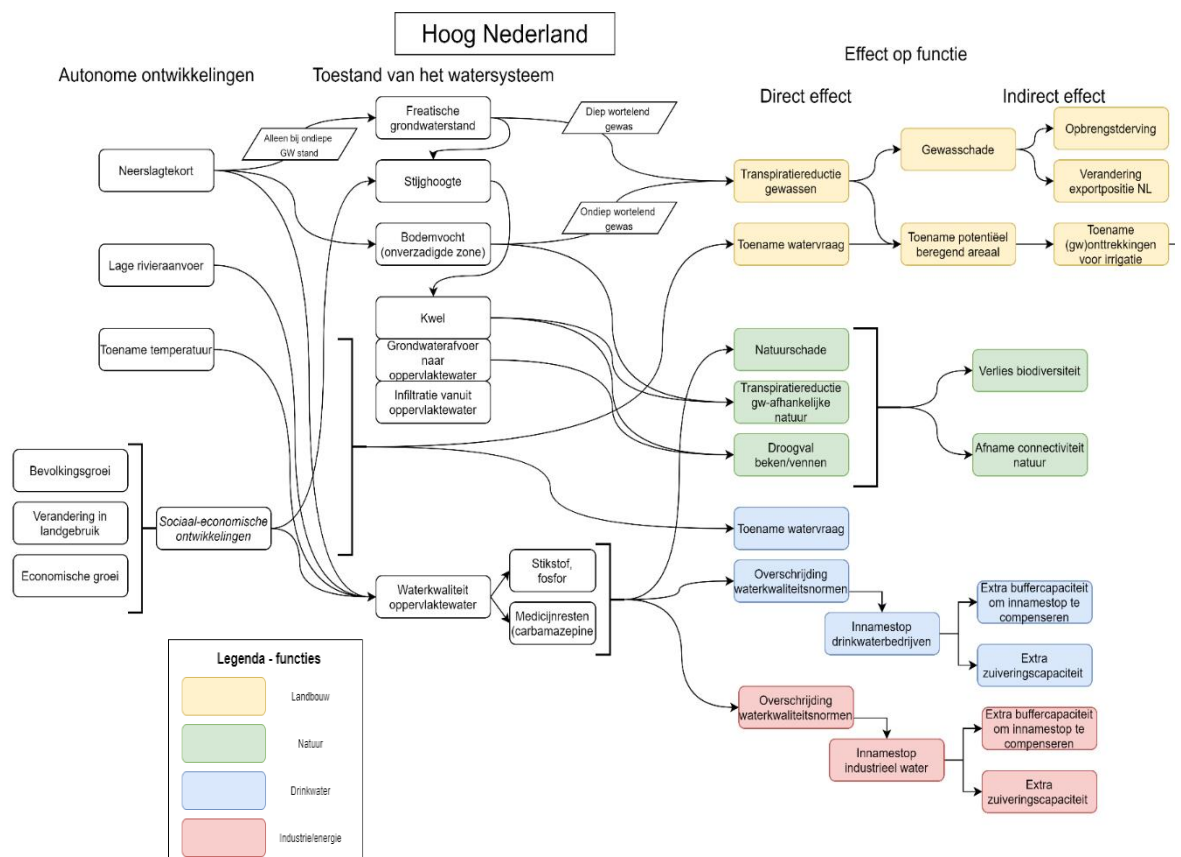
Ook de landbouw op de hoge zandgronden zelf heeft te lijden van de toenemende neerslagtekorten in het zomerseizoen. Dit geldt zeker op macro-economisch niveau en in termen van opbrengsten in kg/ha . Op bedrijfsniveau kan de impact van droogte grote verschillen te zien geven, afhankelijk van de droogtegevoeligheid van de bodem, de mogelijkheden tot beregening en de relatieve impact van de droogte ten opzichte van concurrerende producenten.

Ook al kunnen er in droge perioden beregeningsverboden worden ingesteld (er is hiervoor overigens geen landelijk beleid), dan nog blijft drinkwater onttrokken worden uit diepere grondwaterlagen. Met neerslagtekorten die met 30% procent kunnen toenemen (in scenario Stoom 2050) en gezien het feit dat we nu in droge jaren, zoals in 2018, reeds met landbouw- en natuurschades te maken hebben is er sprake van een zekere urgentie voor adaptatie.

3.2.2 Systeembeschrijving

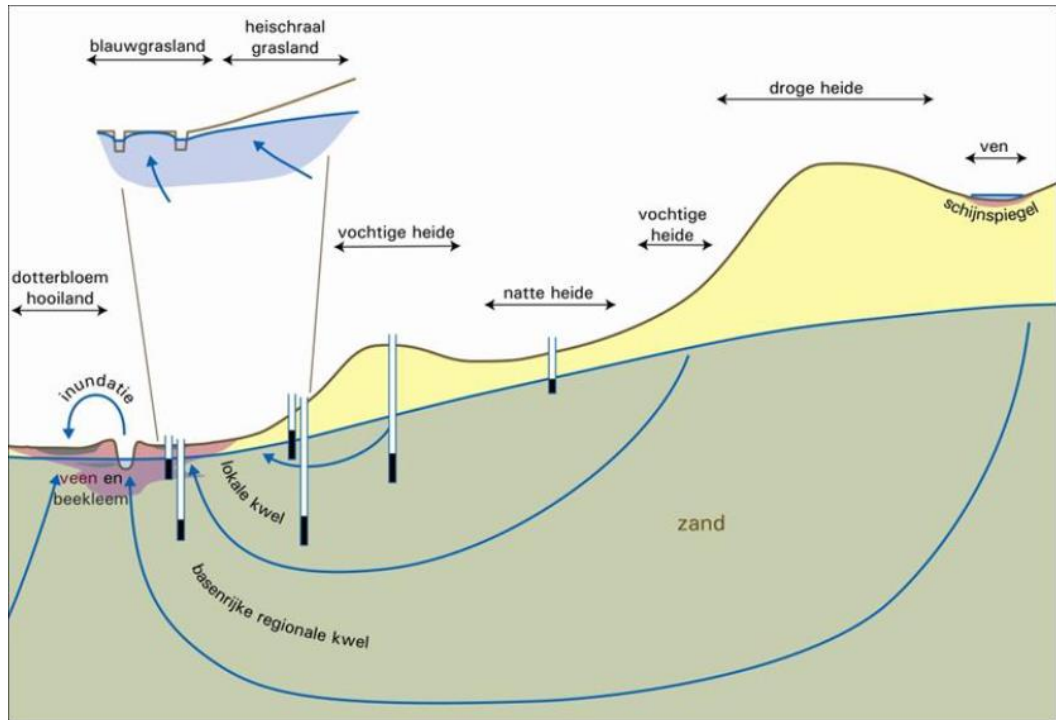
De hoge zandgronden omvatten grote delen van Limburg, Brabant, Gelderland, Overijssel en Drenthe. De delen van deze gebieden die mogelijkheden hebben voor wateraanvoer zijn in figuur 3.1 gearceerd weergegeven.

Figuur 3.2 illustreert de belangrijkste verbanden die op de hoge zandgronden spelen tussen de autonome ontwikkelingen op het gebied van meteorologie/klimaat en sociaal-economische ontwikkeling, en de geselecteerde gebruiksfuncties natuur, landbouw, drinkwatervoorziening, watervoorziening industrie en energie. Omdat de twee laatstgenoemde sectoren in de huidige omstandigheden slechts een beperkte impact hebben op het watersysteem zijn deze in het vervolg van deze paragraaf niet verder uitgewerkt.



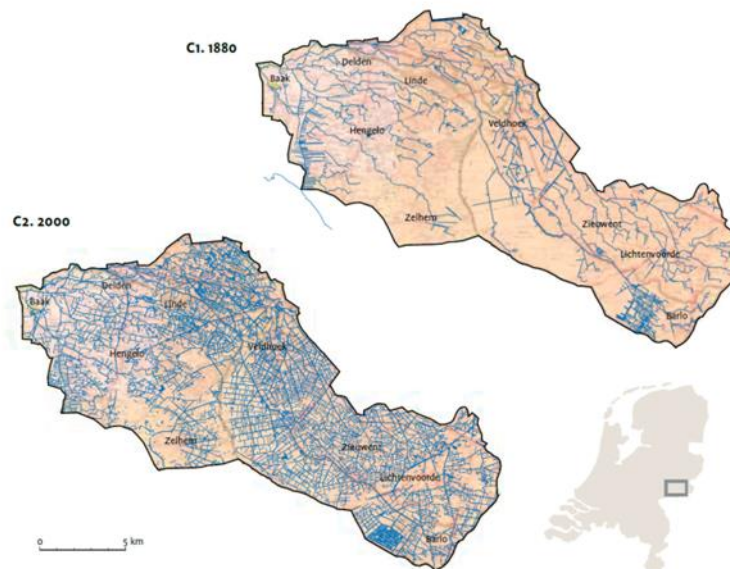
Figuur 3.2 Systeembeschrijving hoge zandgronden

Figuur 3.3 geeft schematisch de hydrologie van een beekdalgebied weer. Op de hoge delen infiltrereert neerslagwater, in de lage delen treedt kwel op, al dan niet tot in het maaiveld.



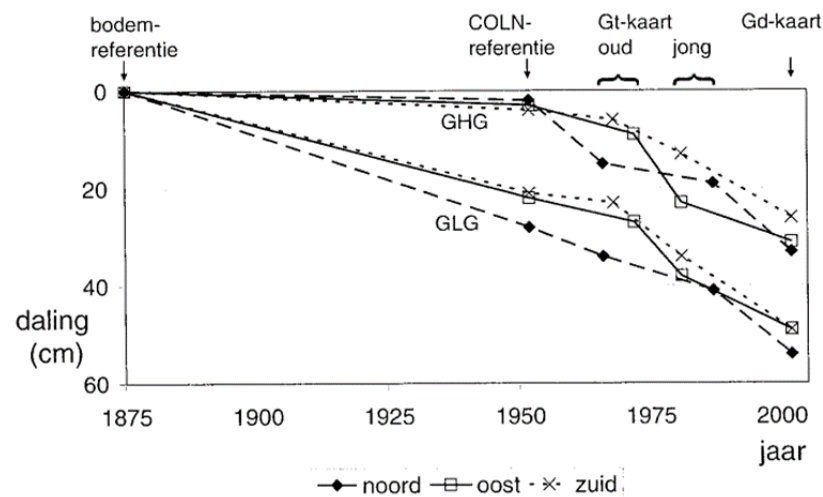
Figuur 3.3 Voorbeeld van een dwarsdoorsnede van een beekdalgebied met natuurterreinen (Witte et al., 2007a). De doorwerking van droogte hangt af van onder andere de ligging binnen het bodem-grondwater-systeem, de dikte van de onverzadigde zone, de interactie tussen infiltratie- en kwelgebieden en activiteiten zoals grondwateronttrekkingen. Uit: vdEertwegh et al., 2020.

Als gevolg van structurele uitbreiding van het landbouwareaal en de intensivering van de landbouw is in de loop van de vorige eeuw de intensiteit van drainagesystemen van landbouwpercelen en een deel van de bosgebieden sterk toegenomen. Figuur 3.4 laat daarvan een ruimtelijk voorbeeld zien.



Figuur 3.4 Voorbeeld van de toegenomen ontwatering van 1880-2000 voor het stroomgebied van de Baakse Beek (Witte et al., 2020).

Als gevolg van de toegenomen drainage-intensiteit dalen de zomer- en wintergrondwaterstanden op de zandgronden al meer dan 100 jaar. Sinds 1875 gaat het gemiddeld om ongeveer 0,5 meter voor de zomer (zie Figuur 3.5).

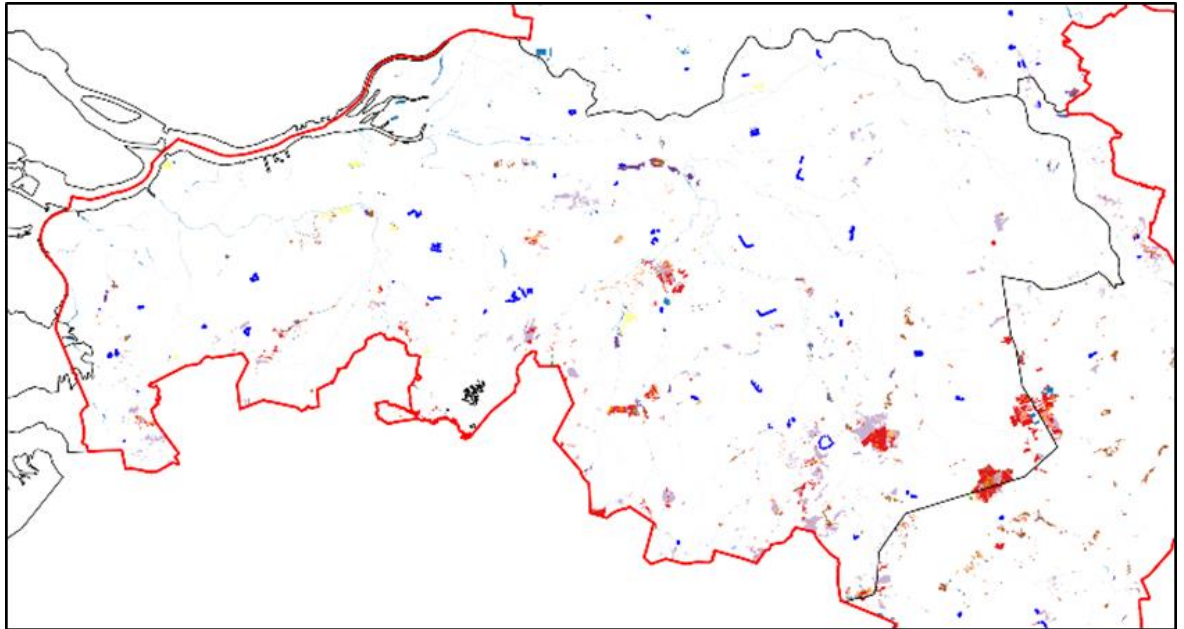


Figuur 3.5 Structurele daling gemiddelde grondwaterstanden op de zandgronden in Nederland (Knotters & Jansen, 2005).

3.2.3 Effecten op natuur

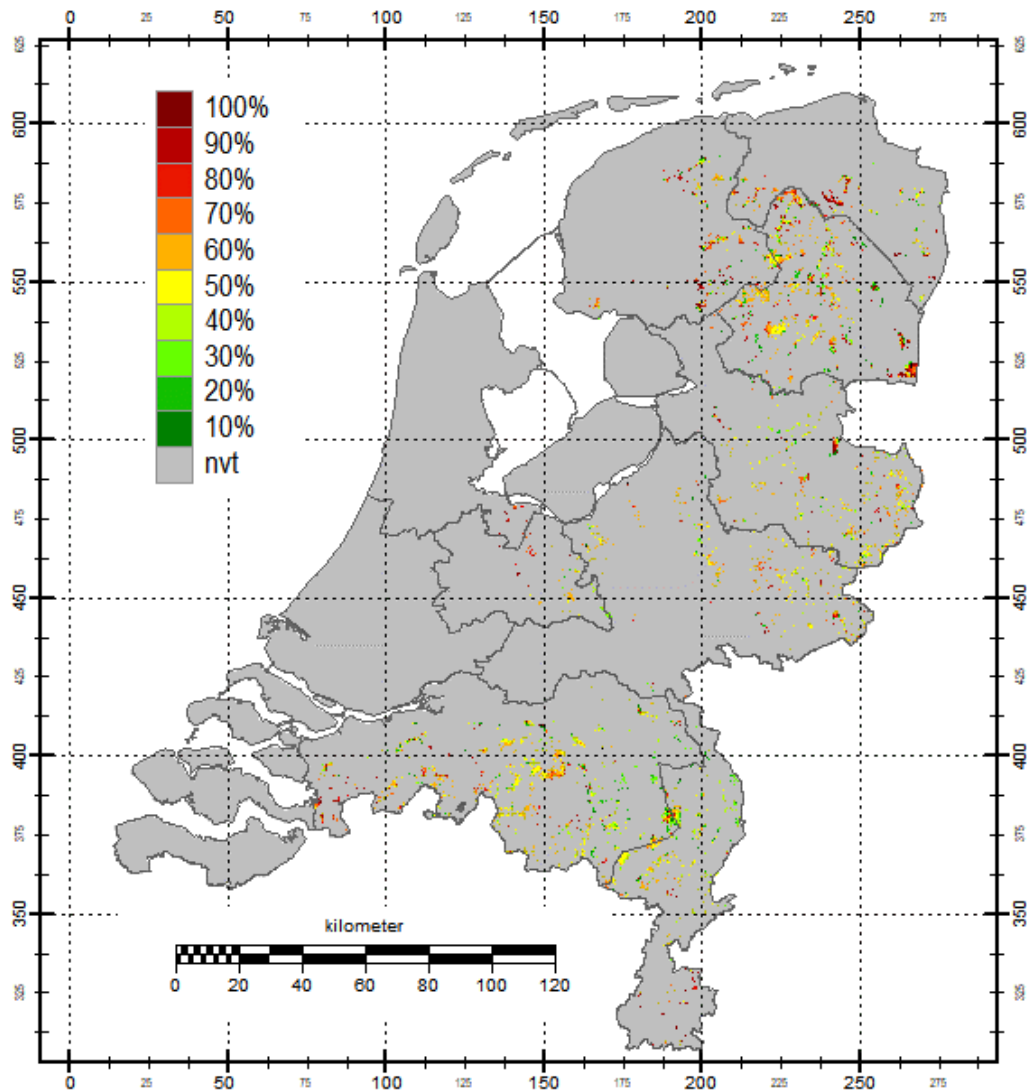
In de inventarisatie van natuurschade door droogte in 2018 door Witte et al. (2019) komt naar voren dat met name in de nattere natuurtypen aanzienlijke achteruitgang is opgetreden. Dit proces is gaande en geconstateerd gedurende de afgelopen drie droge jaren. De urgentie van maatregelen voor natuur is daarom hoog, zeker ook omdat volgens de geënquêteerde natuurbeheerders in een deel van de natuurgebieden de schade zich niet binnen de komende 5 jaar zal herstellen (zie het beeld hiervan in Noord-Brabant in Figuur 3.6).

De opeenvolgende droge jaren 2018 en 2019 hebben laten zien dat het algehele beeld niet eenduidig is. Er bestaat sterke samenhang met andere stressfactoren zoals hitte, luchtverontreinigingen (bijv. verzuring), ziekte en plagen, en vooral met de aanhoudende trend van verdroging. Er is geconstateerd dat bij meerdere droge jaren op rij het grondwaterpeil zich onvoldoende kan herstellen.



Figuur 3.6 Natuurtypen in Noord-Brabant en Limburg met ernstige achteruitgang en kleine kans op herstel in komende 5 jaar (gebaseerd op van den Eertwegh et al. 2020). In blauw zijn drinkwateronttrekkingen aangegeven. De Peelgebieden zijn herkenbaar en de vele drinkwaterwinningen aan de randen van de bosgebieden. Locaties natuurtypen gebaseerd op de beheertypenkaart uit het Natuurbeheerplan (NBP) 2019. <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/subsidiestelsel-natuur-en-landschap/het-natuurbeheerplan/>

In (Mens et al., 2020) is op basis van *expert judgement* een grenswaarde voorgesteld voor de grondwaterstand waarbij onherstelbare schade aan natuur optreedt. De voorgestelde grenswaarde is het niveau dat in het huidige klimaat maximaal eens in de tien jaar wordt overschreden. In Figuur 3.7 is aangegeven waar en met welke frequentie dit in scenario Stoom verwacht wordt. Uit de figuur kan worden geconcludeerd dat in dit scenario ernstige schade aan de natuur optreedt.



Figuur 3.7 Percentage van het aantal jaren dat de LG3 (gemiddelde 3 laagste grondwaterstanden per jaar) onder de kritische waarde voor onherstelbare schade komt in scenario Stoom. Bron: Mens et al. (2020).

3.2.4 Effecten op landbouw

Landbouw op de hoge zandgronden ondervindt geleidelijk steeds sterkere negatieve gevolgen van klimaatverandering. In de huidige vorm kan de landbouw op lange termijn alleen overleven door aanvoer van water of door extra grondwateronttrekkingen. Een knippunt waar de huidige landbouwpraktijk onmogelijk wordt is moeilijk aan te geven, de schattingen variëren van 10 tot 50 jaar vanaf heden. Er zijn diverse autonome ontwikkelingen denkbaar die tijdelijk respijt bieden en die het knippunt vooruit schuiven. Gemiddeld is het berekende droogterisico voor de landbouw op de hoge zandgronden ongeveer 106 miljoen euro per jaar. In een zeer droog jaar als 1976 loopt dit op tot 657 miljoen euro. Door klimaatverandering kan het gemiddelde droogterisico oplopen tot 159 miljoen euro per jaar in 2050 onder een Stoom-scenario. Genoemde bedragen gelden voor prijspeil 2018 en zijn exclusief btw (Mens et al., 2020).

Voor de zuidelijke gebieden met aanvoer vanuit de Maas is er een grote kans van samenvallen van een extra beregeningsvraag met beperkingen in de aanvoer als een gevolg van lage Maasafvoeren.

In 2018 was er op de hoge zandgronden een toename van de grondwateronttrekkingen voor beregening met een factor 3 tot 4 (van den Eertwegh et al., 2020). De opbrengstderiving in kg/ha liep op tot 20 à 30% (Asseldonk et al., 2021).

3.2.5 Effecten op drink- en proceswater

Zolang het uitgangspunt van het beleid blijft dat onder alle omstandigheden aan de drinkwatervraag voldaan moet worden, is deze sector relatief weinig kwetsbaar. Voor de drinkwaterbedrijven is niet zozeer de beschikbare hoeveelheid grondwater het probleem, als wel de beperkingen die zich beginnen af te tekenen door eisen van natuur en door concurrerend gebruik (van der Aa, 2015). Mogelijk zijn aanvullende maatregelen nodig om aan de vraag te blijven voldoen, zoals de verplaatsing of nieuwe stichting van winlocaties of verhoging van de capaciteit van het landelijke netwerk.

In de droge zomers van 2018 en 2019 vond er een sterke stijging van de piekvraag plaats, waardoor knelpunten ontstonden in de zuivering en levering van drinkwater, die in veel gevallen leidden tot verminderde waterdruk. In 2018 bijvoorbeeld werd volgens gegevens van Brabant Water gedurende de zomermaanden 27% meer water voor drinkwater onttrokken. Onduidelijk is nog hoeveel extra water is onttrokken ten behoeve van industrieel gebruik, met eigen winputten.

3.3 Ernst en urgentie droogte in laag Nederland

3.3.1 In het kort

In laag Nederland is watervoorziening tijdens droogte sterk gericht op het tegengaan van interne (door middel van doorspoelen) en externe verzilting (zorgen voor voldoende debiet op de rivieren en bij de sluizen in de Afsluitdijk). Onder klimaatverandering wordt de aard van deze uitdaging niet anders, maar wel de omvang; bijv. in scenario Stoom wordt rekening gehouden met een dubbel zo grote watervraag voor doorspoelen (Wolters et al., 2018). Na 2050 komen er met een onzekere versnelde zeespiegelstijging mogelijk aanzienlijke opgaven bij die tot nog verdere ingrepen in het waterbeheer nopen.

Tegelijkertijd kan onomkeerbare schade door bodemdaling in veenweidegebieden en schade aan funderingen en infrastructuur niet altijd worden voorkomen.

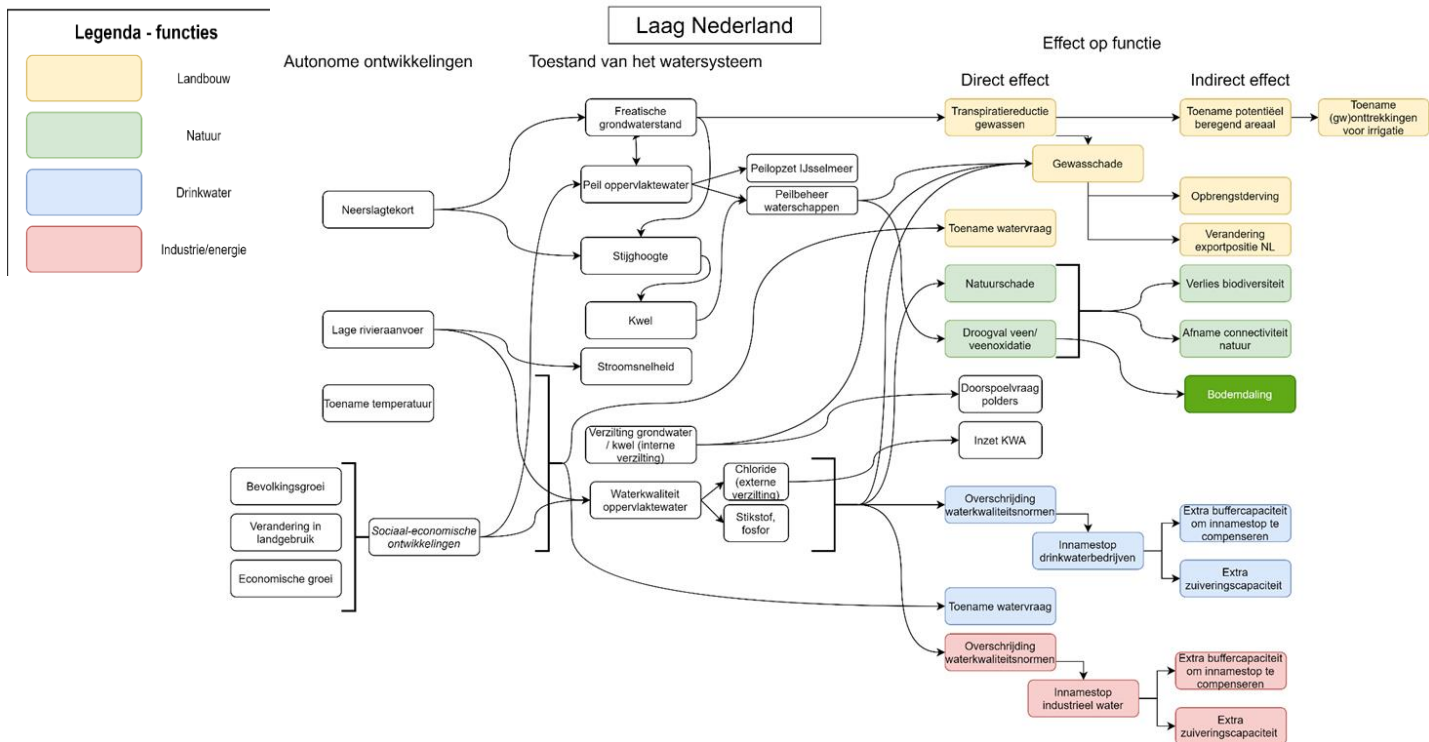
De vraag is of er niet meer koers gezet moet worden naar duurzamer hogere waterpeilen voor grotere robuustere gebieden om verdere daling te verminderen en veenweide-natuurgebieden beter te beschermen. Voor de gebieden zonder wateraanvoer (Zuidwestelijke Delta) is het de uitdaging om de voorraden ondiep zoetwater in regenwaterlenzen en in kreekruigen op peil te houden onder een droger wordend klimaat. Onder extremere scenario's (Stoom) is de verwachting dat dit na 2050 lastig zal worden en zal er meer en meer in deze gebieden overgeschakeld worden op meer zouttolerante teelten.

3.3.2 Systeembeschrijving

Laag Nederland omvat zeer diverse gebieden. Het Deltaprogramma Zoetwater onderscheidt:

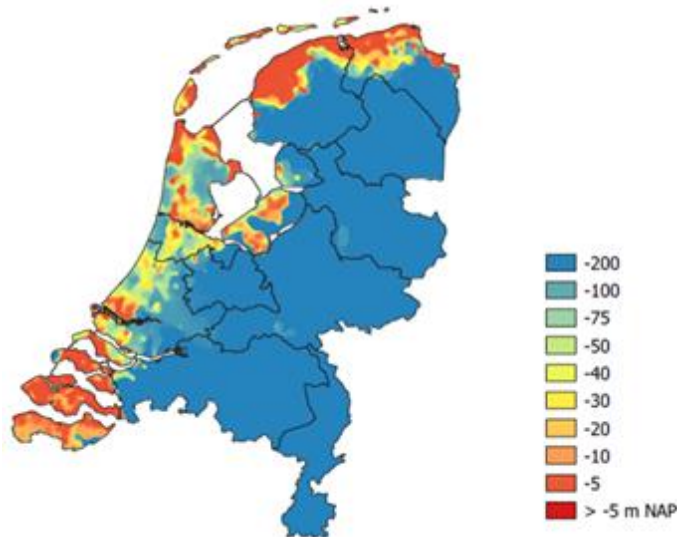
- *Benedenrivieren*: wateraanvoer vanuit Rijn en Maas, waarin sprake kan zijn van externe verzilting. Een deel van dit gebied bestaat uit veenweidegebieden waar bodemdaling optreedt;
- *Bovenrivieren*: met wateraanvoer vanuit de Rijn en Maas. Externe verzilting speelt nagenoeg geen rol;

- *IJsselmeergebied*: het gebied in Noord-Nederland rondom het IJsselmeer dat afhankelijk is van de watervoorraad van het IJsselmeer. In delen van het gebied treedt verzilting op, ook zijn er veenweidegebieden die onder druk van droogte en bodemdaling staan;
- *Zuidwestelijke Delta*: in tegenstelling tot de andere deelgebieden kan hier geen zoet oppervlaktewater worden aangevoerd (met uitzondering van Goeree) doordat het oppervlaktewater voornamelijk zout of brak is.



Figuur 3.8 Systeembeschrijving laag Nederland

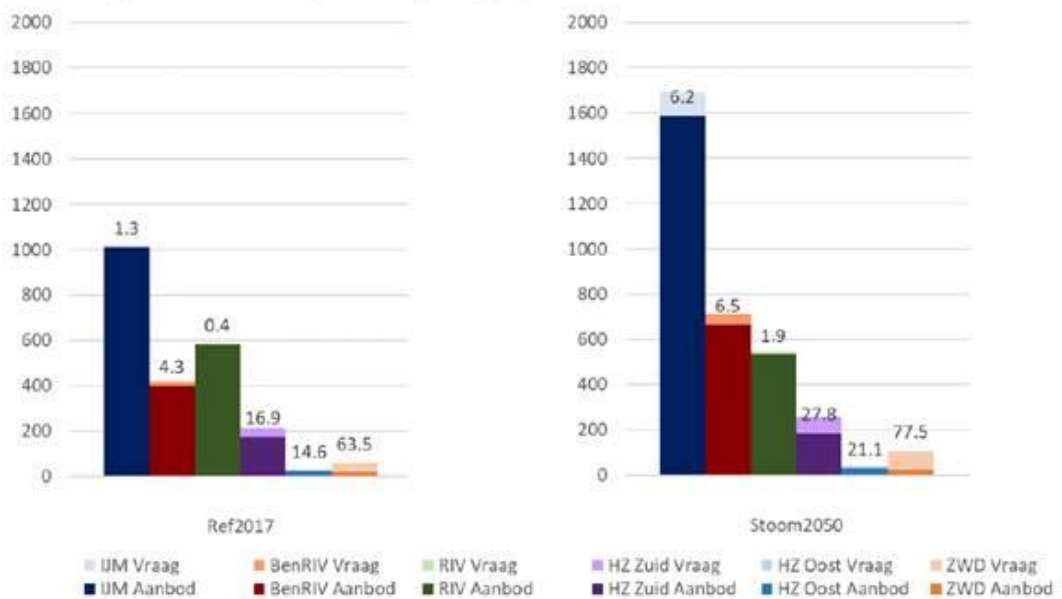
Het watersysteem in laag Nederland wordt in hoge mate gecontroleerd en gestuurd wordt door het waterbeheer. De opgave van droogte en klimaatverandering in laag Nederland gaat voornamelijk om de vraag in welke mate het huidige waterbeheer (met zijn aan-, afvoer- en verdeelsystemen, verbindingen met de Rijkswateren en met het, gebruik van het IJsselmeer als zomervoorraad, gehandhaafd kan blijven, wanneer de watervraag van natuur, drinkwater en landbouw toeneemt onder oplopende neerslagtekorten, verdamping en zeespiegelstijging.



Figuur 3.9 Verziltingsgevoelige gebieden in Nederland. De kaart toont de diepte van het zoute grondwater (met zoutconcentratie hoger dan 1 g/l) in m -NAP.

In het DPZW en voor het IJsselmeergebied zijn beslissingen genomen om een grotere zoetwaterbuffer in te stellen (+20 cm op het IJsselmeer) en alternatieve wateraanvoerroutes voor West-Nederland te ontwikkelen (uitbreiding Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening⁴ (KWA)) om verzilting te bestrijden. .

Watervraag en wateraanbod - gemiddeld (Mm³/jaar)



Figuur 3.10 Langjarig gemiddelde van de watervraag en -aanbod per zomerhalfjaar. De getallen boven de staven geven het percentage watertekort ten opzichte van de vraag. Bron: Mens et al., (2020).

Ondanks de uitbreiding van de KWA zal de capaciteit grofweg eens in de 10 jaar (Stoom 2050) à 15 jaar (Warm) niet toereikend voor de toenemende watervraag in deze scenario's.

⁴ KWA: Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening, heette voorheen Kleinschalige Wateraanvoervoorziening. De KWA is een stelsel van stuwen, watergangen en gemalen dat in tijden van watertekort zoet water naar West-Nederland aanvoert

Ook de duur van verziltingsgebeurtenissen waarvoor de KWA ingezet moet worden neemt toe: van weken naar maanden (Mens et al., 2019).

Bij sterke klimaatverandering wordt de direct beschikbare buffer van het IJsselmeer van 20 cm gemiddeld eens in de 20 jaar volledig ingezet en is deze niet meer voldoende voor alle watervragen. Ook zal bij sterke klimaatverandering in 50% van de jaren een deel van de buffer gebruikt worden. In het huidige klimaat en bij matige klimaatverandering wordt de beschikbare buffer in 10% van de jaren aangesproken en is de buffer in alle jaren toereikend.

Onder een extremer klimaatscenario kan de afvoer van Rijn en Maas flink teruglopen. De Rijn voert in principe voldoende water aan om aan alle watervragen te voldoen. De vraag is echter of de capaciteit van het aanvoer-, opslag- en distributiesysteem tegen acceptabele kosten kan worden vergroot. De afvoer van de Maas is in extremere klimaatscenario's in de zomermaanden aanzienlijk vaker een beperkende factor. Ook zeespiegelstijging vergroot de verziltingsproblematiek (Haasnoot et al. 2020).

Mogelijke impacts na 2050

Toenemende interne verzilting door een stijgende zeespiegel speelt tot 2050 een ondergeschikte rol. Vanaf 2050 kan zeespiegelstijging een significante toename van de externe verzilting, via de rivieren, opleveren. Hierdoor zullen inlaatpunten in het benedenrivierengebied (Gouda, Lek, Bernisse) vaker en langer moeten sluiten.

Om dit te compenseren zou vanaf een zeespiegelstijging van rond 1 m een permanent alternatief nodig zijn voor inlaatpunt Gouda, bijvoorbeeld de dagelijkse inzet van wat nu de calamiteitenaanvoer is in geval van extreme droogte: de klimaatbestendige wateraanvoer (KWA). Bij een opwarming van 2 °C is dit rond 2100 mogelijk noodzakelijk, in de meer extremere projectie die uitgaat van 4 °C opwarming is dat mogelijk rond 2070 al aan de orde. Capaciteitsvergroting is dan mogelijk ook nodig door toename van het neerslagtekort, het vaker samenvallen van verzilting en piek in watervraag, en een toename van de vraag door verzilting via de ondergrond.

Rond 2 m zeespiegelstijging en in combinatie met lage afvoeren volgens de Deltascenario's Warm en Stoom is inlaatpunt Bernisse regelmatig niet bruikbaar voor het Brielse Meer. De alternatieve inlaat via Spijkenisse is mogelijk al bij minder zeespiegelstijging beperkt bruikbaar.

Door toenemende zoute kwel vanuit het diepe grondwater kunnen in de laaggelegen gebieden aan de kust (in een zone van 10 tot 20 km) grondwaterproblemen optreden, en kan de zoetwatervraag voor doorspoelen toenemen. Dit is het gevolg van zowel zeespiegelstijging als autonome ontwikkeling door inpoldering, bodemdaling en grondwateronttrekkingen.

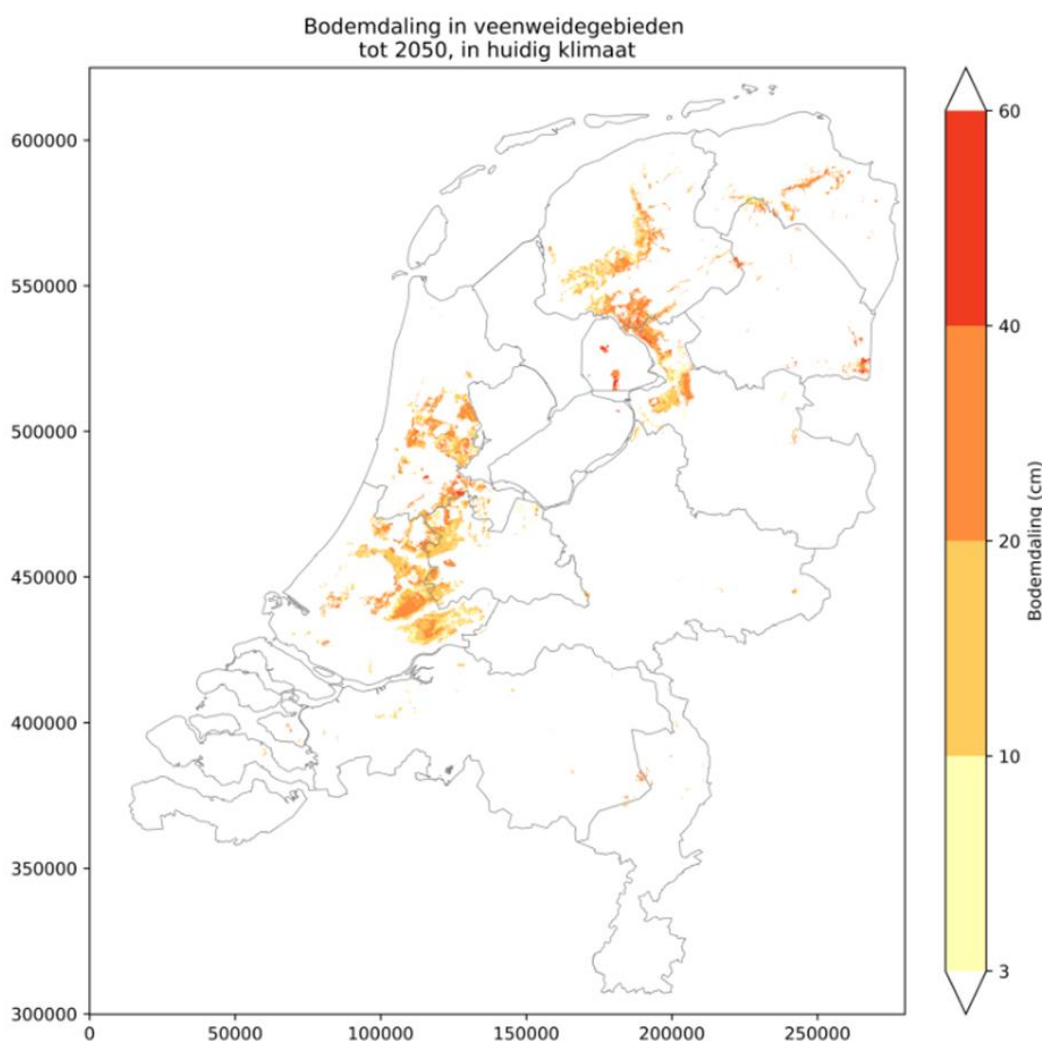
De toenemende verzilting in de diepe polders ten zuiden van het Noordzeekanaal wordt tot 2100 met name veroorzaakt door autonome ontwikkelingen. In andere gebieden (Noord-Holland, Friesland en Groningen) domineert waarschijnlijk de invloed van de stijgende zeewaterstand. Nader onderzoek moet uitwijzen wat dit betekent voor de benodigde beschikbare zoetwatervoorraden in het IJsselmeer en de delta.

Het peilverschil aan weerskanten van de Afsluitdijk veroorzaakt een grondwaterstroming vanuit de Waddenzee naar het IJsselmeer, een zogenaamde dijkse kwel. Omdat het grondwater hier brak tot zout is zal dit gepaard gaan met een toenemende zoutvracht naar het IJsselmeer. Volgens een eerste schatting op basis van analytische formules zal bij een zeespiegelstijging van 3 m (de bovenwaarde van RCP8.5 projectie in 2200 en later) de zoutvracht onder de Afsluitdijk naar het IJsselmeer toenemen met een factor 10 (Haasnoot et al., 2018).

3.3.3 Bodemdaling

In de veenweidegebieden daalt de bodem met gemiddeld 6 tot 8 mm/jaar, wat bij ongewijzigd beleid zal leiden tot het verdwijnen van veengebied met ongeveer 870 ha/jr tot 2050 (bepaald op basis van nog ongepubliceerde data van Deltares). De oorzaak hiervan is grotendeels de voortschrijdende verlaging van polderpeilen, waar die de verlaging van het maaiveld door oxidatie volgt. Negatieve gevolgen hiervan zijn een afname van de natuur- en waterkwaliteit, verhoging van het veiligheidsrisico, toename van de kosten voor waterbeheer en relatief hoge uitstoot van CO₂.

Onder een veranderend klimaat zal de bodemdaling sneller verlopen dan de huidige 6 tot 8 mm per jaar, doordat veenoxidatie wordt versterkt door hogere temperaturen (de Graeff et al., 2020). Er is nog veel onduidelijk over de kosten als gevolg van bodemdaling. (PBL, 2016) gaf als eerste indicatie, tot 2050: 2 miljard euro schade aan infrastructuur en funderingen in het landelijk gebied, 21 miljard euro schade in stedelijk gebied en 200 miljoen euro als extra kosten voor waterbeheer. In (de Graeff et al., 2020) wordt die laatste post veel hoger geschat: minimaal één miljard euro tot 2050 voor het blijven ophogen van alle kades en keringen in het veenweidegebied.



Figuur 3.11 Bodemdaling (cm) to 2050, zonder het effect van klimaatverandering en bij ongewijzigd beleid, in de veengebieden (bron: ongepubliceerde data van Deltares). Veengebieden zijn bepaald aan de hand van de BOFEK kaart, versie 2.1 (WUR, 2012), BOFEK klassen 101, 105, 107.

3.3.4 Effecten op natuur

Veel natuurgebieden in laag Nederland zijn veengebieden. Veengebieden zijn erg gevoelig voor droogte, omdat door lage grondwaterstanden het veen kan oxideren. Daarom zijn veel van deze gebieden aangemerkt als 'categorie 1' natuurgebieden: deze gebieden krijgen voorrang in de waterverdeling in tijden van droogte. In de figuur hieronder staat de extra grondwaterstandsddaling in een extreem droog jaar ten opzichte van de GLG. Deze extra grondwaterstandsddaling zal waarschijnlijk leiden tot onomkeerbare veenaafbraak. In de huidige situatie zal een extreem droog jaar al leiden tot een extra daling van de GLG van 10-85 cm (Mens et al., 2020).



Figuur 3.12 Midden en rechts: Extra daling zomergrondwaterstand ten opzichte van GLG in de referentie (midden) en in een extreem droog jaar (rechts). Mens et al. (2020). Links: Veengebieden met locatie categorie 1-natuurgebieden en ander landgebruik (veengebieden zijn bepaald aan de hand van de BOFEK kaart, versie 2.1 (WUR, 2012), BOFEK klassen 101, 105, 107)

Daarnaast kan er schade door droogte optreden aan biotische componenten, zoals aquatische natuur, insecten en weidevogels.

3.3.5 Effecten op landbouw

Beregening uit grondwater vindt nauwelijks plaats in laag Nederland, zeker niet in vergelijking met de hoge zandgronden. Als er beperkingen zijn aan het gebruik van water voor beregening zijn deze volledig toe te schrijven aan onvoldoende kwaliteit of kwantiteit van het beschikbare oppervlaktewater. Het droogterisico van de landbouw in laag Nederland (dat wil zeggen heel Nederland behalve de zandgronden, waarvoor de bedragen zijn vermeld in par.3.2.4) is nu jaarlijks ruim 180 miljoen euro. In een extreem droog jaar (1976) loopt dit op tot 1030 miljoen euro. In scenario Stoom in 2050 loopt het gemiddelde droogterisico op tot 275 miljoen euro. Alle genoemde bedragen gelden voor prijspeil 2018 en zijn exclusief btw (Mens et al., 2020).

De opbrengstderiving per hectare in gebieden met beregening is hoger dan in gebieden zonder beregening. Dit komt vooral doordat in beregende gebieden vaak hoogwaardigere gewassen geteeld worden, waardoor de kosten van een mislukte oogst hoger liggen.

Vooral in de gebieden zonder wateraanvoermogelijkheden spelen de regenwaterlenzen in de percelen en in kreekruigen een belangrijke rol voor de landbouw. Deze lenzen kunnen in droge jaren uitgeput raken, waardoor er brak of zout water in de wortelzone terecht komt. Voor Zeeland, waar dit afgezien van de landbouwwaterleiding de enige zoetwaterbron is, gebeurt dit in de referentiesituatie jaarlijks in ongeveer 500 ha; dit neemt toe tot 2000 ha bij sterke klimaatverandering (Warm en Stoom). In de referentiesituatie treedt de verzilting van de wortelzone eens in de 10 jaar op voor ongeveer 3000 ha, ruim 2% van het totale landbouwareaal in dit gebied. Bij sterke klimaatverandering wordt dit areaal ruim verdubbeld (Mens et al., 2019).

3.3.6 Effecten op drink- en proceswater

Zo'n 40% van het Nederlandse drinkwater wordt gemaakt uit oppervlaktewater: uit rivieren of meren. De locaties van de winpunten daarvan zijn in Figuur 3.13 aangegeven met zwarte en rode stippen. Met uitzondering van enkele winningen langs de Maas in Limburg liggen de winningen van oppervlaktewater in laag Nederland, omdat het grondwater in West-Nederland ongeschikt is voor drinkwaterproductie (bron: Vewin, Waterspiegel, 2017).



Figuur 3.13 Drinkwaterwinlocaties (bron: Vewin)

Een belangrijk beginsel van de Nederlandse drinkwatervoorziening is de twee-ankerbenadering die voor oppervlaktewater wordt gebruikt. Om de kwetsbaarheid te verminderen, streven drinkwaterbedrijven naar de beschikbaarheid van minimaal twee onafhankelijke bronnen. Als de inname van water op een bepaald punt moet worden gestaakt – bijvoorbeeld door lage waterstand of vanwege een verontreiniging in het rivierwater – dan is er een alternatieve bron. Daarnaast zijn de distributienetten van de drinkwaterbedrijven aan elkaar gekoppeld, zodat eventuele tekorten altijd kunnen worden aangevuld vanuit delen van het land waar geen schaarste is.

De kwaliteit van zowel het oppervlaktewater als het grondwater staat onder druk, zowel door verontreinigingen als gevolg van menselijke activiteiten als door gevolgen van klimaatverandering. Met name laagwater is een probleem voor de drinkwatervoorziening: de in oppervlaktewater geloosde verontreinigingen uit de landbouw, industrie en medicijnresten worden bij een lage waterafvoer minder verdund. Dit kan in de toekomst aanvullende zuivering voor de productie van drinkwater onvermijdelijk maken, wat in strijd is met de Kaderrichtlijn Water. Oplossingen zullen moeten worden gevonden door een integrale aanpak binnen de Nederlandse waterketen en, internationaal, in EU-verband.

Oppervlaktewaterbedrijven hebben vaak maar twee of drie punten waar ze oppervlaktewater innemen. Het verplaatsen van zo'n inlaatpunt vanwege verontreiniging is eigenlijk nooit aan de orde. Weliswaar komen verontreinigingen in het rivierwater vaker voor dan in grondwater, maar ze trekken ook veel sneller voorbij. Een uitzondering is het verplaatsen van een innamepunt wegens verzilting van het rivierwater vanuit zee. Als dit probleem structureel is, zal een innamepunt verder landinwaarts moeten worden geplaatst.

Zo verplaatst Evides een innamepunt bij Stellendam naar Middelharnis vanwege het Kierbesluit. Behalve een nieuw innamepunt betekent dit ook de aanleg van 14 km watertransportbuis en het verwijderen van het oude innamestation en de bijbehorende leidingen.

Verplaatsen van een inlaatpunt gebeurt dus niet vaak, maar innamestops zijn er des te meer: het oppervlaktewater is dan zó vervuild dat een drinkwaterbedrijf besluit tijdelijk te stoppen met de inname ervan. Gemiddeld gebeurt dat bij de winningen langs de Maas zo'n 40 tot 50 keer per jaar.

3.3.6.1 Koelwatervraag datacenters

Deltares (2020) heeft in een memo voor DPZW een quick scan uitgevoerd naar de ontwikkeling van de koelwaterbehoefte van datacenters en de mogelijke impact daarvan op het waterbeheer. Enkele bevindingen van die memo zijn:

- Gegevens over het gezamenlijke koelwatergebruik van de datacenters in Nederland ontbreken. De maximale koelwaterbehoefte (piek- en redundantiebehoefte) ligt in de orde van 0.8 tot 1 l/s/MW. de huidige maximale landelijke koelwatervraag van datacenters is geschat op 1,3 m³/s tijdens warme zomerdagen. Deze vraag kan tot 2030 oplopen tot maximaal 3,5 m³/s, maar waarschijnlijker is een groei tot ca 2 m³/s. Al deze getallen zijn met ruime onzekerheidsmarges omgeven.
- Op landelijke schaal zijn deze hoeveelheden niet zo groot dat ze vragen om aanvullende uitwerking, maar lokaal kan dit wel tot knelpunten leiden.
- Het watergebruik waarvoor datacenters vergunning aanvragen is afgestemd op de piek- en redundantiebehoefte bij een worst-case scenario. Deze omstandigheden komen vrijwel nooit voor. Het praktijkverbruik van koelwater op jaarbasis ligt in de orde van 20% van de vergunde hoeveelheid.
- Waar de ontwikkelingen leiden tot tekorten kan overwogen worden om de bestaande verdringingsreeks(en) opnieuw tegen het licht te houden.

De ontwikkelingen in de Wieringermeer gaan zeer snel. Ten tijde van het schrijven van de memo stond er in Middenmeer één datacenter, met een vermogen van 100 MW, en werd een verdubbeling daarvan voorbereid. In een scenarioanalyse voor Middenmeer tot 2035 ten behoeve van een economische impactstudie presenteert Digital Gateway to Europe enkele scenario's waarbij eerst de voorgenomen investeringen van Microsoft worden gerealiseerd tot 2021, voor in totaal 211 MW; daarna breiden Microsoft en andere bedrijven uit tot in totaal maximaal 944 MW in 2035. Dit ligt weliswaar binnen de marges van de verwachte maximale groei voor heel Nederland (naar 3.5 GW in 2030), maar de groei is ruimtelijk zeer sterk geconcentreerd. Met de bovenvermelde vuistregel voor de waterbehoefte (1 l/s/MW) leidt de groei in Middenmeer tot een extra piekwatervraag van ca 0.8 m³/s. Dat is in het regionale systeem een significante hoeveelheid. Het totale ruimtebeslag gaat in de richting van 100 ha. Een ander knelpunt is het grote beslag dat deze hyper-scale datacenters leggen op de beschikbare groene energie.

Het rapport gaat er verder vanuit dat na 2030 er een afvlakking gaat komen omdat andere hyperscale-locaties in NW-Europa zich sterk gaan ontwikkelen.

3.4 Samenvatting opgaven droogte landelijk gebied

Onderstaande tabel vat de omvang en impact, urgentie samen

Tabel 3.1 Samenvatting van de belangrijkste opgaven voor droogte in het landelijke gebied.

Opgave	Omvang	Impact	Urgentie	Uitdaging
Droogte op de hoge zandgronden				
Verdroging van natuurgebieden	Nagenoeg alle natte natuurtypen staan onder druk.	Biodiversiteitsverlies, voor een deel onomkeerbaar	Speelt nu	Keren grondwaterdaling, herstel kwel
Watertekorten in de landbouw	1:10 jaar watervraag 2800 Mm ³ , oplopend naar 3600 Mm ³ /j in Stoom2050*	Gemiddeld risico 106 miljoen euro/j (huidig klimaat); in een extreem droog jaar als 1976 oplopend tot 657*** miljoen euro; prijspeil 2018, ex btw.	In 2050 komt een jaar als 2018, 1 keer in 15 jaar voor	Aangepaste landbouw
Droogte en bodemdaling in laag Nederland				
Bodemdaling	Gemiddelde bodemdaling in veenweidegebieden in Nederland is 6-8 mm/j, in Stoom wordt dat 3 mm/j meer	Schade aan infrastructuur 23 miljard euro stad + platteland tot 2050 (PBL 2016) + natuurschade	Speelt nu, sluipend probleem	Vernatten van veenweidegebieden
Zoetwaterbeschikbaarheid Landbouw	1:10 jaar watervraag 17.000 Mm ³ , oplopend naar 26.000 Mm ³ /j in Stoom2050**	Gemiddeld risico 182 miljoen euro/j (huidig klimaat); in een extreem droog jaar als 1976 oplopend tot 1030*** miljoen euro; prijspeil 2018, ex btw.	Hangt af van perspectief agrariër	Buffercapaciteit en aanvoer vergroten, aangepaste landbouw

*exclusief Drenthe

**inclusief Drenthe

***Al is de absolute opbrengstderiving op de zandgronden lager dan in Laag-Nederland, relatief t.o.v. omzet is deze hier hoger.

3.5 Maatregelen

3.5.1 Hoge zandgronden

Mogelijke oplossingsrichtingen zijn:

- *Functie volgt systeem* - Herstel en versterking natuurlijke watersysteem (vasthouden, bergen), bezuinigen (hybride, no-regret)
 - Landbouwontwatering verminderen – bijvoorbeeld door: vernatten beekdalen, verbreden en verondiepen legger-watergangen, water vasthouden en bergen in de haarvaten (inclusief verondiepen en dempen);
 - Verplaatsen van drinkwaterwingebieden naar minder kwetsbare zones en het sterker reguleren van grondwateronttrekkingen in de landbouw; minder grondwater onttrekken door transitie naar oppervlaktewater als bron.
 - Grondwater aanvullen door (1) verloofing: naaldbos vervangen door loofbos; (2) kunstmatige infiltratie van overtollig water (overtollig oppervlaktewater, aanvoer rivierwater, effluent, (3) afkoppelen van regenwater en vermindering van het percentage verhard oppervlak in stedelijk gebied;

- Herschikken landbouw- en natuurgebieden. Instellen van bufferzones rondom natte natuurgebieden waarin hogere grondwaterstanden worden gerealiseerd en waarin grondwateronttrekkingen worden beperkt of zelfs verboden.
- *Systeem volgt functie* – huidig landgebruik zoveel mogelijk behouden onder toenemende druk van klimaat, bezuinigen (hybride, no-regret)
 - Optimalisatie van het landbouwwatergebruik (gewaskeuze, irrigatietechnieken);
 - Vergroten aanvoercapaciteit;
 - Grondwater aanvullen door middel van aanvoer en actieve infiltratie.

De huidige eerste kwantitatieve studies naar oplossingen voor droogte op de hoge zandgronden laten een eerste beeld zien van hoeveel verschillende oplossingen bijdragen (van den Eertwegh et al., 2020). De maatregelen zijn met de nu voorgestelde omvang van implementatie echter nog niet voldoende om de verdroging duurzaam te keren (Mens et al., 2020). Verhoging van de gemiddelde grondwaterstanden en stijghoogten en beperking van de watervraag lijken beide nodig om tot een duurzamere situatie te komen, zeker gezien het feit dat door klimaatverandering en een toenemende economische en bevolkingsdruk watertekorten nog vaker zullen gaan voorkomen. Tegelijkertijd zijn ze alleen mogelijk als er een perspectief bestaat voor de aanpassing aan nattere omstandigheden of voor een ruimtelijke herschikking of uitkoop van landbouw.

Op kleinere schaal zien we in natuurherstelprojecten dat er in de praktijk resultaten geboekt kunnen worden. Binnen de grenzen van hun eigen bedrijfsvoering is er voor agrariërs ruimte om water te besparen (bijv. door andere gewaskeuzes, in beperkte mate (want snel in conflict met de eis om vroeg in het jaar het land op te kunnen) door een hoger voorjaarsgrondwaterpeil te handhaven). De wateraanvoer voor landbouw kan alleen worden vergroot door nieuwe aanvoerroutes aan te leggen of de capaciteit van bestaande routes te vergroten, hetgeen met grote kosten gepaard gaat.

Tabel 3.2 Maatregelen en effectiviteit voor droogte op de hoge zandgronden

Maatregel	Opgave	Effectiviteit	Synergie of knelpunt			
			Natuur	Landbouw	Drinkwater	Overig
Herschikken landbouw en natuur, i.c.m. instellen bufferzones rond natte natuur	Natuur + Landbouw	++	robuuster	robuuster	Grotere buffer	
Verhoging beekpeilen	Natuur	++	Terplekke direct herstel	Natschade landbouw	Grotere buffer	recreatie
Bergen en vasthouden in haarvaten, dempen van sloten.	Natuur + Landbouw	+	Herstel grondwaterstand	Hogere grondwaterstand in voorjaar. Mogelijk natschade	Grotere buffer	
Verbreden en verondiepen legger watergangen	Natuur + Landbouw	++	Herstel grondwaterstand en kwel	0/- kost ruimte	0	
Verplaatsen drinkwater onttrekking; beperking watervraag; overstap op opp.water als bron	Natuur	++	Herstel grondwaterstand en kwel	+		
Reguleren landbouw onttrekkingen	Natuur + Landbouw	+	Herstel grondwaterstand en kwel	Droogteschade	0	
Wateraanvoer landbouw	Landbouw	+	Mogelijk negatieve effecten door onvoldoende kwaliteit	Vermindering droogteschade		Competitie regionale/andelijke verdeling
Wateraanvoer natuur	Natuur	+(maar niet kosten effectief)	Mogelijk onvoldoende kwaliteit	Vermindering droogteschade; maar natte natuur is meestal niet gebaat bij aanvoer.	Kwaliteits-effect	Competitie regionale/andelijke verdeling
Vergroten infiltratie stedelijk gebied	Natuur + Landbouw	+	+	+	+	

In het DPZW (Mens, 2020) is de drainagebasis verhoogd door het peil en de bodem van primaire, secundaire en tertiaire regionale waterlopen met 30 cm te verhogen, en het peil van de buisdrainage te verhogen met 10 cm. Aanvullend is met de Regioscan het effect van landbouwmaatregelen zoals druppelirrigatie en bodemverbetering geschat. De Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) wordt door deze maatregelen zo'n 10 tot 25 cm hoger in het gehele gebied van de hoge zandgronden. De maatregelen zijn in totaal toegepast op ca. 600.000 hectare landbouwgrond en 380.000 hectare natuurgebied. De verdeling van de maatregelen over het landbouwareaal is als volgt bepaald door de Regioscan:

Tabel 3.3 Verdeling van de maatregelen over het landbouwareaal (Mens, 2020)

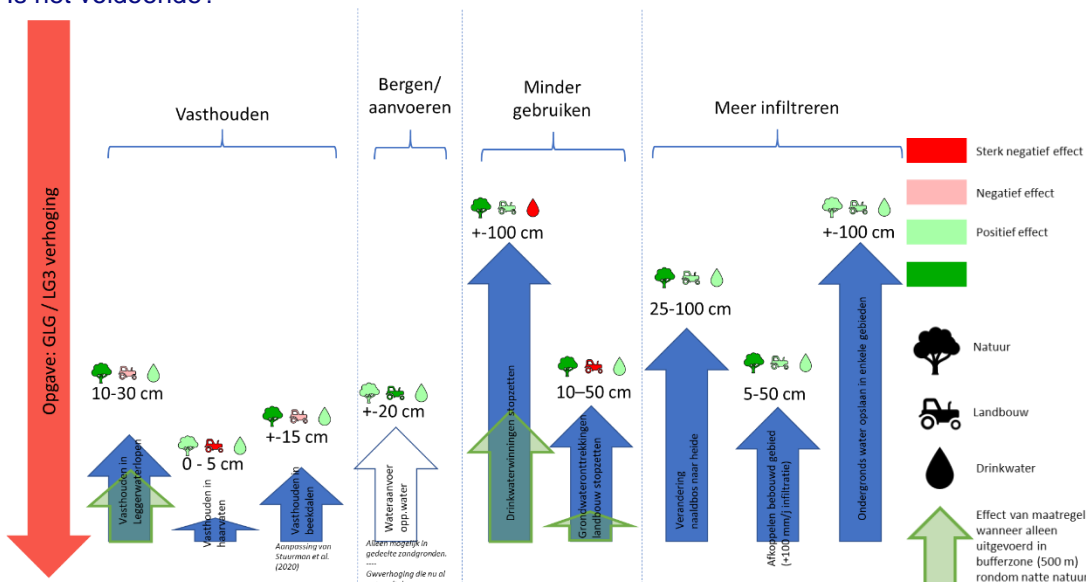
Maatregel	Implementatie Regioscan (hectare)			
	Ref2017		Stoom2050	
Druppelirrigatie	38475	6%	58888	11%
Regelbare drainage	142175	24%	111694	21%
bodemverbetering	140406	23%	97150	18%
perceelstuwen	234388	39%	245444	45%
slootboderverhoging	46863	8%	27538	5%
totaal	602306		540513	

Het verschil in areaal tussen Stoom en Ref is het gevolg van omzetting van landbouwareaal in natuur in scenario Stoom.

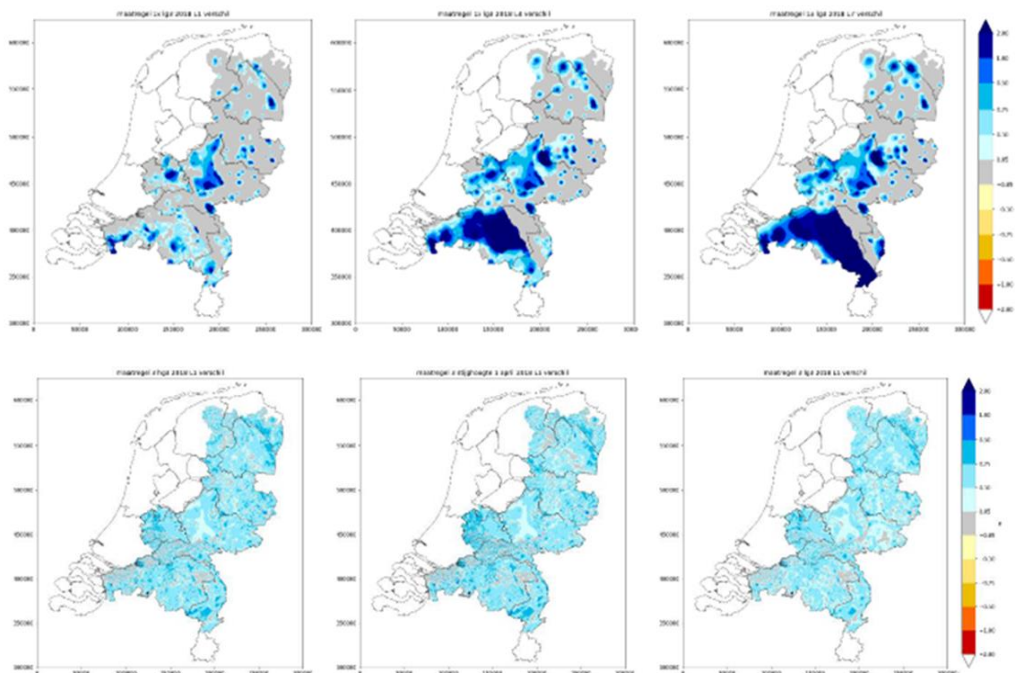
Dit pakket met maatregelen voor de zandgronden (inclusief Drenthe) verlaagt het landbouwriscio met circa 25 miljoen euro per jaar in de referentie (Ref2017) en circa 41 miljoen euro per jaar in scenario Stoom2050. Het grootste effect wordt berekend voor het zuidelijk zandgebied (grote delen van Noord-Brabant), waar de maatregelen over het grootste areaal worden uitgevoerd (in hectares).

Voldoen aan de grenswaarde voor natuur volgens (Mens et al., 2020), namelijk zorgen dat het grondwater niet verder uitzakt dan het niveau dat in het huidige klimaat maximaal eens in de tien jaar wordt onderschreden, resulteert in een opgave om de laagste grondwaterstand met 20 tot 40 cm te verhogen. Het effect van de maatregelen op de opgave voor natuur blijft echter beperkt: ca 30% van de opgave wordt hiermee vervuld. Dit betekent dat aanvullende maatregelen nodig zijn om onherstelbare schade aan grondwaterafhankelijke natuur te voorkomen: herinrichting van het watersysteem, vermindering van grondwateronttrekkingen of het beter vasthouden van winterneerslag.

3.5.1.1 Is het voldoende?



Figuur 3.14 Opgave verhoging kritische grondwaterstanden voor natte natuur op de hoge zandgronden en de potentiële bijdrage van verschillende maatregelen aan de reductie daarvan. Effecten uitgedrukt in verhoging GL3 (3 laagste zomerwaterstanden) in 2018 (afgeleid uit Van de Eertwegh et al. 2020). Let wel afzonderlijke pijlen/peilen kunnen niet zondermeer overal bij elkaar opgeteld worden daar het ruimtelijk effect sterk gedifferentieerd is.



Figuur 3.15 Twee voorbeelden van de effecten van maatregelen op grondwaterstanden en stijghoogten in het klimatologische jaar 2018: het volledig stopzetten van de drinkwatervoorziening (boven vlnr: freatische grondwaterstand in zomer 2018, 6,5 jaar na stopzetten; en stijghoogte in L4 en L7) en het verhogen van de peilen (met 30 cm) in het primair en secundair ontwateringssysteem (onder, vlnr HG3, grondwaterstand op 1 april en LG3). Bron: Van den Eertwegh et al., 2020

3.5.1.2 Betaalbaarheid

(Stratelligence, 2021) heeft recentelijk de kosten en baten berekend van de in de regio voorgestelde droogtmaatregelen. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen hoge zandgronden in Zuid-Nederland (Limburg en Noord-Brabant), Oost-Nederland (Gelderland, Overijssel), en Drenthe. De conclusies zijn samengevat in tabel 3.4. In tegenstelling tot de regio's in laag Nederland is op de hoge zandgronden nog niet bekend hoe het voorkeurspakket van de regio er precies uit zal zien. Dit omdat gewerkt wordt met een programma dat via een gebiedsproces nader zal worden ingevuld.

Deze beoordeling komt gedeeltelijk overeen met de conclusies in van den Eertwegh et al. (2020) (bijv. als het gaat om beekherstel en maatregelen om sloten, greppels en drains aan te passen, met uitzondering van het plaatsen van stuwen in detailwaterlopen; beekherstel), maar voor bijv. stuwen in detailwaterlopen en druppelirrigatie lopen de conclusies uiteen. Op grond van deze resultaten en locatie-specifieke omstandigheden en gebiedsvoorkeuren zal door de regio per deelgebied een gedetailleerd maatregelenpakket worden opgesteld.

Niet alle maatregelen die in (van den Eertwegh et al., 2020) en (Stuurman et al., 2020) zijn voorgesteld zijn reeds door Stratelligence beoordeeld. Dat geldt met name voor kavelruil en voor de in Figuur 3. opgenomen maatregelen om drinkwaterwinnings te verplaatsen uit natuur- en buffergebieden, om grondwateronttrekkingen voor de landbouw stop te zetten en om water op te slaan in de ondergrond. Deze maatregelen zijn niet doorgerekend omdat ze niet in de voorkeurspakketten van de regio zijn opgenomen, maar de drie laatstgenoemde maatregelen zijn nu juist zeer effectief wat betreft de impact op de grondwaterstand.

Tabel 3.4 Beoordeling van de voorgestelde maatregelen tegen droogte voor de zandgronden in hoog Nederland (naar: Stratelligence, 2020).

Maatregel	beoordeling in vijf categorieën op basis van			aantal categorieën (leefomgeving & recreatie, waterkwaliteit, aquatische natuur, scheepvaart en 'overig') waarvoor positieve / negatieve effecten worden verwacht
	hoge zandgronden Zuid-Nederland	hoge zandgronden Oost-Nederland	zandgronden Drents plateau	
flexibel peilbeheer	positief	positief	positief	2 / 0
sloten dempen	positief	kansrijk	kansrijk	1 / 0
sloten verondiepen of afdammen	positief	kansrijk	kansrijk	-
greppels afsluitbaar maken	positief	kansrijk	kansrijk	-
duikers verhogen	positief	kansrijk	kansrijk	-
beperken oppervlakkige afstroming	positief	n.v.t.	n.v.t.	2 / 0
verbeteren bodemstructuur	positief	kansrijk	kansrijk	1 / 0
Beekherstel	kansrijk	twijfel	twijfel	3 / 0
regelbare drainage	kansrijk	twijfel	twijfel	2 / 0
afkoppelen verhard oppervlak	kansrijk	kansrijk	kansrijk	4 / 0
bedrijfsgerichte stimuleringsplannen	kansrijk	kansrijk	kansrijk	-
besparen drinkwater	kansrijk	kansrijk	kansrijk	2 / 0
hergebruik proceswater	kansrijk	kansrijk	kansrijk	3 / 0
hergebruik RWZI-effluent	kansrijk	kansrijk	kansrijk	3 / 0
functie veranderen in water	kansrijk	kansrijk	kansrijk	-
naaldbos omzetten	kansrijk	twijfel	twijfel	1 / 0
Onderwaterdrainage	twijfel	twijfel	twijfel	2 / 0
stuwen in detailwaterlopen plaatsen	twijfel	negatief	negatief	1 / 1
aanleg infiltratiegreppel	negatief	n.v.t.	n.v.t.	2 / 0
Druppelirrigatie	negatief	negatief	negatief	-
Subirrigatie	negatief	negatief	negatief	1 / 0
water opvangen in bassins	negatief	negatief	negatief	1 / 0
hergebruik regenwater	negatief	negatief	negatief	3 / 0
groenblauwe structuren	niet te bepalen	niet te bepalen	niet te bepalen	2 / 0
wadi's	niet te bepalen	niet te bepalen	niet te bepalen	3 / 0
ontsteden publiek verhard oppervlak	niet te bepalen	niet te bepalen	niet te bepalen	4 / 0
Inrichting Beekdal Linde	n.v.t.	n.v.t.	kansrijk	4 / 0
Beekherstel Hunze	n.v.t.	n.v.t.	kansrijk	4 / 0
Inrichting Beekdal Koningsdiep	n.v.t.	n.v.t.	kansrijk	4 / 0
Beekherstel Drentsche Aa	n.v.t.	n.v.t.	kansrijk	4 / 0

De tabel is geen uitvoeringsadvies. Maatregelen die hier als kansrijk of zelfs negatief zijn beoordeeld kunnen lokaal nog steeds kosteneffectief zijn. Het label 'twijfel' betekent dat niet kan worden vastgesteld of de maatregel kosteneffectief is. Er is meer onderzoek nodig en/of het is verstandig om eerst een pilot te doen.

De conclusies van Stratelligence zijn (Stratelligence, 2021):

Voor de zuidelijke hoge zandgronden lijkt een pakket met een positief kosten-batensaldo mogelijk. De modelvertaling van een voorkeurspakket laat per hectare voldoende potentie zien, zowel bij de gematigde als de meer extreme klimaatscenario's. Tegelijkertijd lijken de voorgestelde maatregelen niet in staat om onherstelbare droogteschade aan de grondwaterafhankelijke natuur te voorkomen.

Niet alle maatregelen kunnen overal technisch worden uitgevoerd en niet alle maatregelen kunnen gecombineerd worden. Uiteindelijk zal het programma een combinatie van maatregelen zijn met lokaal maatwerk, waarbij uit de hele lijst geput wordt.

Maatregelen die in zuidelijke hoge zandgronden positief beoordeeld zijn, zijn vaak in de andere twee regio's als kansrijk beoordeeld. Gemiddeld gezien, volgens modelberekeningen, leveren maatregelen in de zuidelijke hoge zandgronden landbouweconomisch meer op omdat daar deels hoogwaardiger gewassen worden geteeld. Dat vertaalt zich in een gemiddeld hoger kosten-batensaldo per hectare dan in de andere regio's.

3.5.2 Laag Nederland

Mogelijke oplossingsrichtingen zijn:

- Functie volgt systeem
 - Herstel en versterking 'natuurlijke' watersysteem
 - Creëren van een ruimtelijk robuuster peilbeheer, waarbij er zones ontstaan waar natte natuur kan floreren, met daaromheen bufferzones met aangepaste landbouw.
 - Aanpassen gewassen/landgebruik aan de omstandigheden: natter/droger/zilter.
- Systeem volgt functie
 - In het veenweidegebied kan met behulp van onderwaterdrains een hogere grondwaterstand worden gehandhaafd in de percelen;
 - Optimaliseren van de wateraanvoer, waterverdeling en de doorspoeling (slim watermanagement);
 - Vergroten van de zoetwateropslag en terugdringen van zoute kwel op perceelniveau en in kreekruggen met behulp van technische oplossingen als regelbare drainage, drains2buffer en actieve infiltratie van zoetwater.

Optimaliseren van wateraanvoer en -verdeling wordt in het DPZW reeds toegepast. De strategie slimmer doorspoelen (met minder water) is nog weinig getest maar lijkt niet veel bij te dragen, aangezien doorspoelen, wanneer het voor landbouw plaats vindt, reeds de laagste prioriteit heeft in de verdringingsreeks. Daarbij komt dat het lastig blijkt om met doorspoeling de haarvaten van het watersysteem te bereiken.

Er worden de laatste jaren binnen alle vier de oplossingsrichtingen stappen gezet. Zo zijn er meerdere gebiedspilots (o.a. Alblasserwaard, 'Groene Cirkels' project) gestart waarbij het grondwaterpeil wordt aangepast en waarbij nieuwe natuur wordt gecreëerd. Indien deze maatregelen op grotere schaal zouden worden toegepast zou dit leiden tot een toename van de gebiedswatervraag (vaker aanspreken KWA en IJsselmeerbuffer) en tot meer natschade in de landbouw. Dit zijn echter maatregelen waarmee ook bodemdaling kan worden bestreden en CO₂-emissies kunnen worden gereduceerd. Zilte en zoute teelten zijn volwaardig, zij het op bescheiden schaal, onderdeel geworden van het voedselaanbod. De vraag is hoeveel groei hierin nog mogelijk is

Er is op grote schaal geëxperimenteerd met allerlei kleinschalige landbouwgerichte maatregelen om zoetwaterbeschikbaarheid en efficiëntie van gebruik op perceelniveau te optimaliseren. Daarbij is er een goede indruk ontstaan van kosten en baten bij toepassing van de diverse technieken in relatie tot gewasopbrengsten en ook de effecten op de reductie van de regionale watervraag zijn beter in beeld. Hiermee wordt een perspectief geboden voor de landbouw in laag Nederland onder een droger klimaat met meer verzilting. Via recente studies bestaat een steeds beter beeld van effectieve maatregelen om de effecten van droogte te bestrijden. Geen enkele maatregel lijkt op zichzelf afdoende om de opgave op te lossen. Een minder duidelijk beeld bestaat er ook over de kosten versus baten en haalbaarheid van deze maatregelen.

Om bodemdaling tegen te gaan is peilverhoging nodig, maar dit zal leiden tot nattere landbouwpercelen, wat voor de landbouw doorgaans ongewenst is. In deze omstandigheden is het mogelijk om landbouw te bedrijven, maar dan is wel een omslag in bedrijfsvoering nodig. Denk hierbij aan extensivering door minder vee per hectare te houden of aan het telen van andere gewassen. Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit dat een te hoog peil in veenweidegebieden kan leiden tot de uitstoot van methaan en lachgas (de Graeff et al., 2020).

Tabel 3.5 Maatregelen en effectiviteit voor laag Nederland

Maatregel	Opgave	Effectiviteit	Synergie of knelpunt		
			Natuur	Landbouw	Overig
Herschikken natuur en landbouw	Natuur en Landbouw, bodemd.	++	Robuuster	Robuuster	Recreatie
Vernatting veenweide natuur	Natuur, bodemd.	++	Profiteert direct	Mogelijk natschade	Extra aanvoer nodig
Vernatting veenweide landbouw	Landbouw, bodemd.	+	Buffer voor natuur	Natschade, lagere opbrengst	Extra aanvoer nodig
Zoetwaterbuffer en aanvoer vergroten	Natuur en Landbouw, bodemd.	++			Lange termijn duurzaamheid. Watervraag HWS
Slimmer doorspoelen	Landbouw	+	Krijgt toch voorrang	Langer zoetwater beschikbaar	Reductie watervraag aan HWS
Zilte teelten	Landbouw	+	0	Duurzamer op LT	Reductie watervraag aan HWS
Zoetwaterbuffering in ondergrond	Landbouw	+	0	Grotere watervoorraad. Vraagt flinke investeringen	Reductie watervraag aan HWS
Optimalisatie watergebruik	Landbouw	+	0	Vraagt flinke investeringen	Reductie watervraag aan HWS

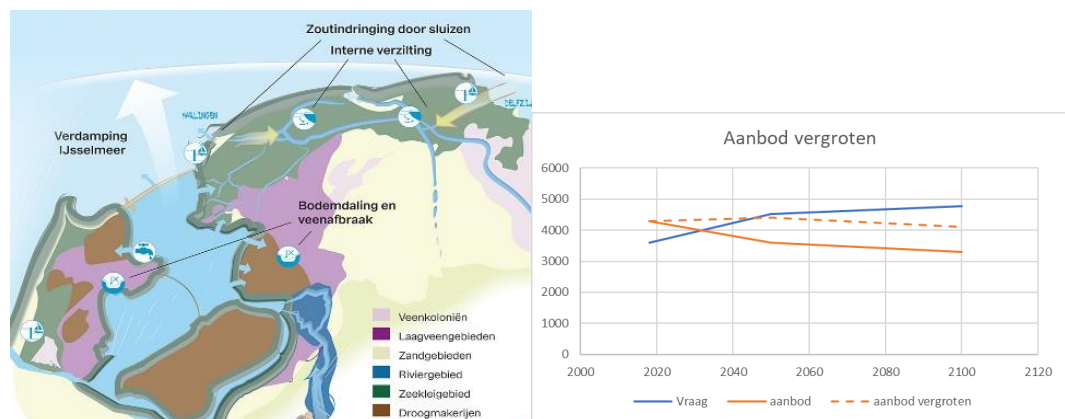
Het aanpassen van de landbouw om bodemdaling te verminderen kan tot hoge kosten leiden. Zo is voor de melkveehouderij in het Groene Hart berekend dat 20 cm bodemdaling tegengaan 332 euro/ha kost (Daatselaar & Prins, 2020).

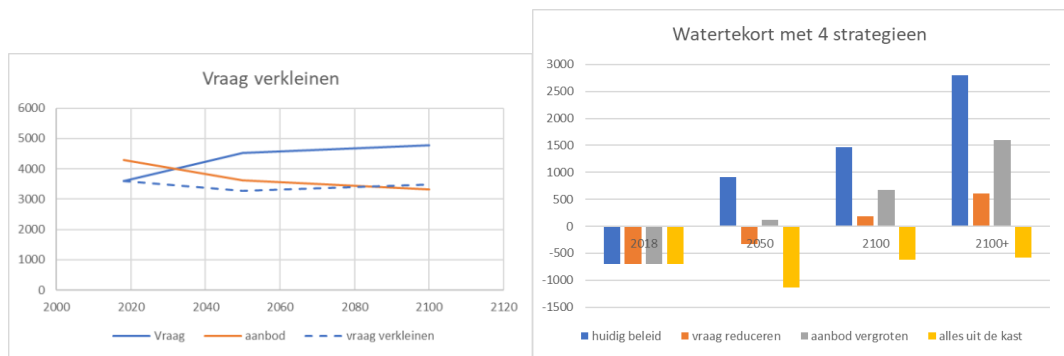
3.5.2.1 Is het voldoende?

Figuur 3.16 laat zien dat er op langere termijn in het voorzieningsgebied van het IJsselmeer in Noord-Nederland mogelijk een grote opgave ontstaat bij een verder stijgende zeespiegel, toenemende externe en interne verzilting, verminderde zoetwateraanvoer en een toenemende watervraag. De figuur is gebaseerd op een expert-inschatting, gebaseerd op berekeningen uit het Deltaprogramma Zoetwater voor de 1/20 jaarsituatie onder een extreem klimaatscenario. Een uitgebreide toelichting is te vinden in bijlage C.

Tot 2050 zijn de huidige maatregelen binnen het Deltaprogramma erop gericht de aanvoer van zoetwater op peil te houden. Na 2050 neemt het 1/20 jaar watertekort voor deze regio toe. Met andere woorden: het verschil tussen de watervraag (die toeneemt door verdamping, verzilting, bevolking en economische groei) en het wateraanbod (dat afneemt vanwege verminderde aanvoer) neemt toe. Men kan het tekort proberen te verkleinen met maatregelen om het aanbod extra te vergroten. Daarbij wordt gedacht aan maatregelen als het verdubbelen van de IJsselmeerbuffer en het in droge perioden extra aanvoeren van water via het Amsterdam-Rijnkanaal vanuit de Waal. Met deze maatregelen kan het tekort echter op termijn niet voldoende worden verkleind. Zo zullen er ook, of misschien wel in eerste instantie, maatregelen genomen moeten worden die de watervraag verkleinen. De genoemde aanbod-vergrotende maatregelen zijn immers duur en vergen veel afspraken met andere functies en regio's. Bij vraagverkleinende maatregelen gaat het om efficiënter beregenen, het afvangen van zout bij sluisen en het accepteren van verzilting in grote delen van Noord-Nederland om daarmee de doorspoelvraag in polders in kustgebieden sterk te reduceren. Hiermee kan men het tekort terugbrengen naar dicht bij nul in een 1/20 droog jaar.

Onder versnelde zeespiegelstijging neemt de interne verzilting echter nog harder toe, wat vraagt om extra doorspoeling. Als wordt besloten om bodemdaling te bestrijden met onderwaterdrainage neemt de watervraag aanzienlijk toe. Die discussie gaat ook al vóór 2050 spelen gezien de klimaatopgave die er ligt. Door een veranderende morfologie (zie ook bijlage B) rondom het splitsingspunt bij Pannerden zal er (als er niet actief iets aan wordt gedaan) rond 2100 minder water via de IJssel worden afgevoerd. Dit leidt tot een extra groot watertekort in het IJsselmeergebied in 2100. Om dat tekort op te lossen moet alles uit de kast worden gehaald en moeten zowel alle aanbodvergroten als vraagverkleinende maatregelen worden getroffen.





Figuur 3.16 Bijdragen van maatregelenpakketten aan watertekorten in Noord-Nederland voor een T=20 droog zomerhalfjaar. De doorgetrokken blauwe en rode lijn geven vraag en aanbodontwikkeling weer onder een STOOM-scenario tot 2100, de gestippelde lijn bij inzet van maatregelenpakketten voor vraagreductie (blauw) en aanbod vergroten (rood). De figuur rechtsonder geeft de watertekorten weer voor huidig beleid, de twee genoemde maatregelenpakketten apart en bij elkaar opgeteld ('alles uit de kast') voor verschillende zichtjaren. 2100+ geeft de watertekorten weer bij versnelde zeespiegelstijging, een verder gereduceerde IJsselafvoer en toegenomen watervraag voor onderwaterdrainage. De figuren geven de orde-grootte effecten aan van maatregelen ingeschat op basis van berekeningen uit het Deltaprogramma. Zie bijlage C voor een verdere toelichting.

3.5.2.2 Betaalbaarheid

In het kader van het Deltaprogramma hebben de regio's in laag Nederland en RWS elk een voorkeurspakket opgesteld. De zoektocht is daarbij naar een pakket van maatregelen dat een duurzame zoetwatervoorziening oplevert en vanuit maatschappelijk welvaartperspectief voordelig is. (Stratelligence, 2021) heeft het welvaartseffect van dit voorkeurspakket beoordeeld door het droogterisico bij uitvoering van de verschillende maatregelen te vergelijken met het droogterisico in het nulalternatief zonder maatregelen voor het scenario Stoom en voor de Referentie (= huidig klimaat) en vervolgens het verschil af te zetten tegen de kosten van de maatregelen. Bij een positief saldo is het pakket vanuit maatschappelijk welvaartperspectief voordelig.

Tabel 3.6 Beoordeling van de voorgestelde maatregelen tegen droogte in laag Nederland (naar: Stratelligence, 2020).

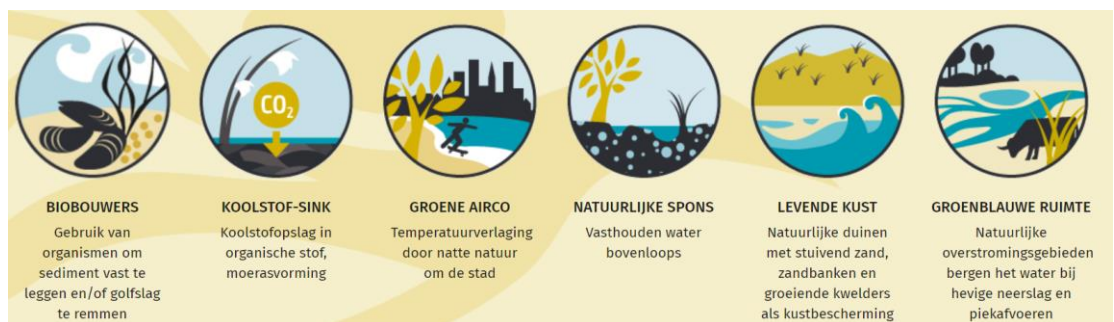
Lage gronden IJsselmeer		Benedenrivieren		Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer	
maatregel	NCW in REF2017 / Stoom2050	maatregel	NCW in REF2017 / Stoom2050	maatregel	NCW in REF2017 / Stoom2050
beperken externe verzilting Afsluitdijk	pos / pos	Aanvoerroutes: inlaatwerk Kromme Rijn	pos / pos	Slim regionaal waterbeheer	pos / pos
Twentekanalen / sluis Eefde	pos / pos	COASTAR: Case 1 brakwaterwinning polders	neg / neg	Slimmer doorspoelen zoute polders	pos / pos
Antiverziltings-maatregelen sluis Delfzijl + inlaat Hoogland + vergroten afvoerap. kanalen en gemalen	pos / pos	COASTAR: Case 2 brakwaterwinning kust(duinen)	neg / neg	Hergebruik effluent ZWD	pos / pos
Verbeteren infrastructuur Noordkop	neg / pos	COASTAR: Case 3 Westland droge voeten, voldoende gietwater	pos / pos	Wetland	pos / pos
Optimaliseren waterbeschikbaarheid op bedrijfsniveau: antiverziltingsdrainage	pos / pos	COASTAR: Case 4 Rotterdam: cities2recharge	neutr / neutr	Ondergrondse drinkwateropslag	pos / pos
Optimaliseren waterbeschikbaarheid op bedrijfsniveau: druppelirrigatie	neutr / neutr	Opschalen temmen van brakke kwel	neg / pos	Uitrollen proeftuin	pos / pos
Verbeteren bodemstructuur kleigronden	neg / neg	Hergebruik Effluent – Harnaschpolder	neg / pos	Optimalisatie watersysteem	pos / pos
Klimaatbuffer Noord-Kennemerland	pos / pos	Hergebruik Effluent: Realisatie Zoetwaterfabriek Kortenoord	neg / neg		
Ondergrondse drinkwateropslag	pos / pos	Doorvoer Lek-Schieland/Krimpenerwaard	neg / neg		
Hergebruik RWZI Garmerwolde	pos / pos	Aanvoerroutes: Beter benutten Bergsluis	neg / neg		
ARK-route	neg / pos	Krekensie West-Brabant fase 2	neutr / pos		
		alt. aanvoer W-Br, Thol. St Phil	pos / pos		
		alt. Aanvoer Oostflakkee	pos / pos		
		Reigersbergsche polder	pos / pos		

De conclusies van Stratelligence over de voorgestelde maatregelpakketten in laag Nederland zijn:

- de meeste voorgestelde zoetwatermaatregelen in laag Nederland zijn maatschappelijk voordelig;
- de meeste maatregelen in het voorkeurspakket zijn kansrijk te noemen of lijken op basis van de beschikbare analyses een positief kosten-batensaldo te hebben. De resultaten van het pakket als totaal zijn ook positief, zowel in het huidige klimaat en de Deltascenario's Druk en Stoom in 2050, en na afloop van DP-fase 2 in 2028;
- de meeste effecten hebben betrekking op vermindering van de droogteschade voor de landbouw;
- de berekeningstekorten, peilbeheer- en/of doorspoeltekorten nemen af en ook de natuur profiteert van de vermindering van de tekorten. Soms is een maatregel gericht op de industrie en drinkwatersector. Behalve de maatregelen op de Maas zijn er geen maatregelen die erop gericht zijn het risico van de (beroeps)scheepvaart elders te verminderen. Wel is soms sprake van een klein negatief effect; geen van de pakketten kan het huidige of toekomstige droogterisico volledig voorkomen, alleen verminderen.

3.6 Synergieën en knelpunten

Er zijn vele meekoppelkansen voor de aanpak van verdroging met andere opgaven in het landelijk gebied. Denk daarbij aan de stikstofcrisis, het tegengaan van biodiversiteitsverlies (Vogel- en Habitatrictlijn), de aanpak van bodemdaling en reductie van de CO₂-uitstoot en het verbeteren van de waterkwaliteit (Kaderrichtlijn Water). De invoering van extensieve landbouw kan bijvoorbeeld de watervraag verminderen en daarnaast een positief effect hebben op de stikstofuitstoot.



Figuur 3.17 Voorbeelden van 'nature-based solutions' (NBS).

Modelberekeningen suggereren dat de invoering van bepaalde waterbesparende en waterbergende maatregelen alleen in bufferzones rondom natuurgebieden al een groot deel van de grondwaterstandverlaging in grondwaterafhankelijke natuur kan tegengaan. De verhoging van de ontwateringsdiepte (+30 cm) in deze zones (500 m rondom natuur) leidt al tot 60-75% van het effect dat de maatregel zal hebben wanneer deze op de hele hoge zandgronden wordt toegepast (van den Eertwegh et al., 2020). In deze zones kan dan besloten worden om niet alleen de verdroging van grondwaterafhankelijke natuur aan te pakken, maar kan men door bijvoorbeeld de invoering van meer extensieve, landschaps-inclusieve landbouw ook gelijk de ammoniakuitstoot terugdringen. Dit impliceert niet dat er buiten de bufferzones rondom natuur geen veranderingen nodig zijn.

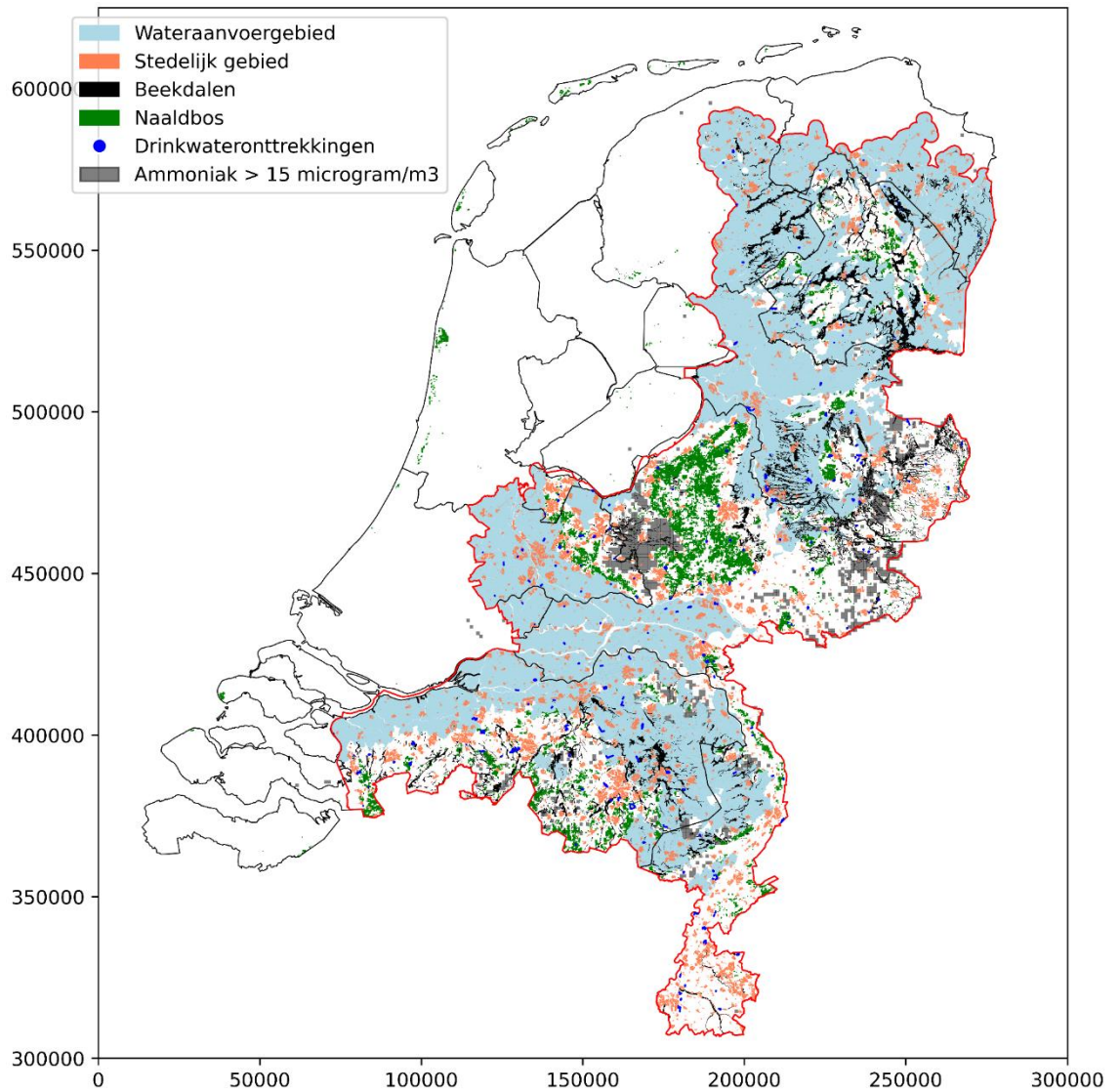
Bij dergelijke maatregelen zijn er externe prikkels nodig om de bedrijfsvoering aan te passen naar de gewenste situatie. Een voorbeeld hiervan is de Biodiversiteitsmonitor Melkveehouderij die door Friesland-Campina, Rabobank en Wereld Natuur Fonds ontwikkeld is (van Laarhoven et al., 2018).

Hier wordt met behulp van 'kritische prestatie-indicatoren' op meerdere aspecten getest of een bedrijf bijdraagt aan biodiversiteitsherstel. Agrariërs die hierop het beste scoren ontvangen een rentekorting van de Rabobank, een beloning van de provincie en een aangepaste melkprijs van Friesland-Campina. Deze prikkels stimuleren een duurzamere bedrijfsvoering.

Idealiter zou voor elke gebruiksfunctie gekeken moeten worden naar de positieve en negatieve effecten voor verschillende opgaves, waarbij de stapeling van deze baten de uiteindelijke inrichting bepaalt. Hierbij moet rekening gehouden worden met bijvoorbeeld de voedselproductie, maar ook de reductie van CO₂ door vernatting van veenweidegebieden en de effecten op biodiversiteit en watergebruik. De 'som der delen' zal dan leidend zijn in de bepaling van het landgebruik. Ook hierbij geldt dat er prikkels nodig zijn om agrariërs te stimuleren. Ze kunnen hierbij gesteund worden doordat ze bijvoorbeeld geld ontvangen voor de CO₂-reductie, door de invoering van belasting op vlees, door de aanleg van bijvoorbeeld zonneweides of windmolens op een perceel of andere vormen van beloning voor een meer natuur-inclusieve vorm van landbouw.

3.6.1 Ruimtelijke kansen - zoekgebieden

Veel van de doorgerekende mogelijke **maatregelen** zijn locatiegebonden, zoals het vernatting van beekdalen, het reduceren van verhard oppervlak in steden, het verplaatsen van drinkwaterwingebieden, het omzetten van naald- naar loofbos en het vergroten van de aanvoer. Ook de **opgaven**, zoals de negatieve effecten van verdroging en droogte of het niet kunnen handhaven van streefpeilen doen zich voor daar waar zich de meest kwetsbare natuur en waterafhankelijke economische functies zich bevinden. Ook andere gebiedsopgaven zijn in meer of mindere mate locatiegebonden, denk aan de opgave voor wonen, infrastructuur, CO₂-reductie, of het terugdringen van de stikstofuitstoot.



Figuur 3.18 Kaart met zoekgebieden voor diverse maatregelen in hoog Nederland. In lichtblauw is het gebied aangegeven waar in de huidige situatie aanvoer van oppervlaktewater mogelijk is. Bronnen: Van Delft, S. P. J., 2020. *De Landschappelijke Bodemkaart van Nederland (CONCEPT)*. Wageningen, Wageningen Environmental Research; Ammoniakconcentratie 2019. RIVM, <https://geodata.rivm.nl/gcn/>; Stedelijk gebied: CBS Bestand Bodemgebruik 2012 (via PDOK); data LHM: Janssen et al., 2020.

Een eerste identificatie van ruimtelijke kansen waarbij meerdere opgaven aangepakt kunnen worden met voor die gebieden mogelijke maatregelen kan worden verkregen door verschillende kaartlagen van opgaven en mogelijke maatregelen te combineren. Figuur 3.18 geeft een eerste indicatie van welke regio's de beste mogelijkheden bieden om de kwetsbare beekdalen minder kwetsbaar te maken door bijvoorbeeld drinkwaterwingebieden te verplaatsen. In aanvulling daarop worden ook gebieden met een hoge ammoniakconcentratie getoond. Gebruik van uitkoopregelingen voor boeren in deze gebieden zou zowel een reductie van stikstofemissies als van grondwateronttrekkingen betekenen.

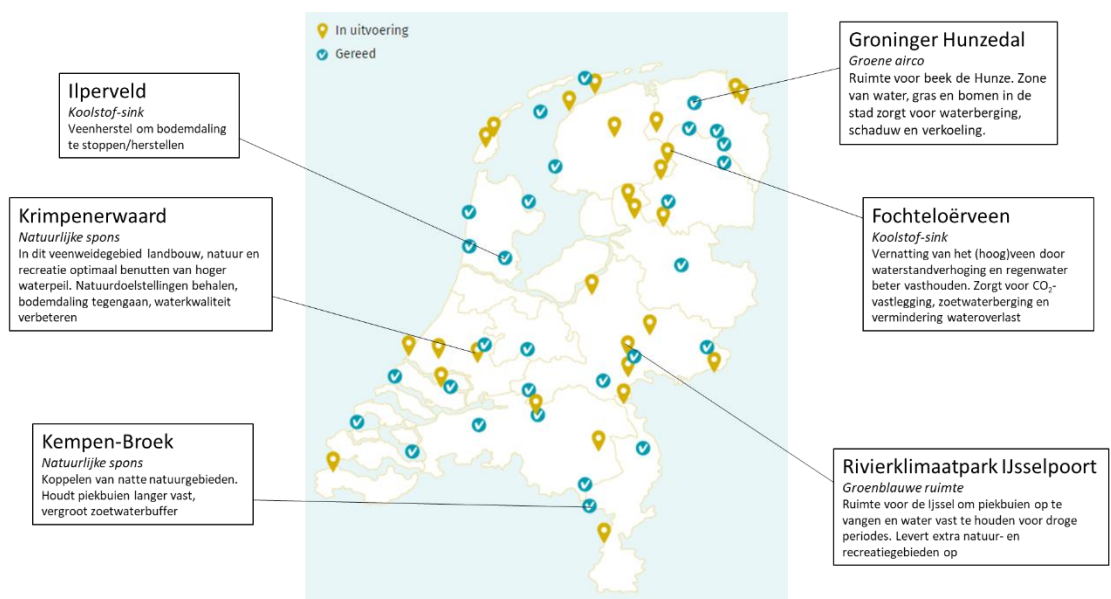
Kansrijke gebieden die hierbij naar voren komen zijn bijvoorbeeld Sallandse Heuvelrug, de Gelderse Vallei, Zuid Brabant, De Peel waarbij maatregelen met betrekking tot stikstof (uitkoopregelingen), terugdringen drinkwateronttrekkingen een gunstige uitwerking op nabijgelegen kwetsbare natuur zouden kunnen hebben.

Let wel: dit zijn slechts indicaties, waarin geen rekening is gehouden met lokale sociaaleconomische omstandigheden en inrichting. Aanvullende berekeningen zouden nodig zijn.

3.7 Implementatie

Er wordt in de huidige gebiedsprocessen al hard gewerkt aan oplossingen voor droogte, verdroging, verzilting, wateroverlast, bodemdaling, ecologie en waterkwaliteit ook vaak in samenhang met andere gebiedsopgaven.

Voor de hoge zandgronden is er een werkprogramma voor de huidige fase (2015-2021) vastgelegd in [werkprogramma wel goed water geven versie 21september2015.pdf](http://werkprogramma_wel_goed_water_geven_versie_21september2015.pdf) (gelderland.nl). Voor de komende fase van DPZW komt er iets vergelijkbaars. Het betekent dat er een lijst van mogelijke maatregelen om grondwaterstanden te verhogen is opgesteld met informatie over kosten en baten (zie 3.5.1 en 3.5.2). Vervolgens moet er meer maatwerk komen. Partijen gaan in gesprek over welke maatregelen waar kansrijk en haalbaar zijn.



Figuur 3.19 Locaties waar klimaatbufferprojecten worden uitgevoerd (www.klimaatbuffers.nl)

Acht natuurorganisaties werken onder de noemer 'Klimaatbuffers' aan projecten waarin meerdere water- en natuur doelen worden gebundeld (zie Figuur 3.19 voor enkele voorbeelden)

Omdat in de Klimaatwet is vastgelegd dat de CO₂-uitstoot in 2050 met 95% afgenomen moet zijn ten opzichte van 1990, is de staat wettelijk verplicht om de uitstoot in veenweidegebieden drastisch te verminderen. De Raad voor de Leefomgeving (de Graeff et al., 2020) leidt hieruit af dat ook in veenweidegebieden de CO₂-uitstoot met 95% af moet nemen, wat betekent dat in 2050 de bodemdaling met 70% verminderd moet zijn.

In het Nederlandse Klimaatkkoord, dat op 28 juni 2019 gepresenteerd werd, is afgesproken om de CO₂-uitstoot uit veenweidegebieden te verminderen. De beoogde emissiereductie in 2030 is 1 megaton CO₂-equivalent. Hiervoor is in de periode 2020-2030 276 miljoen euro vrijgemaakt. Een areaal van 10.000 hectare (ongeveer 5% van de veenweidegebieden) wordt omgezet naar agrarische natuur en boeren worden gestimuleerd om over te stappen naar landbouwwormen met een hoger waterpeil, zoals natte teelten.

Hierbij zal de focus liggen op agrarische bedrijven in de buurt van Natura2000-gebieden, waarmee ook extra kansen zullen ontstaan om stikstofdepositie in deze gebieden terug te dringen (Klimaatakkoord; (anon., 2019)).

De vraag is of alle regionale initiatieven samen voldoende soelaas zullen bieden om klimaat en natuurdoelen te halen ook onder een sterk veranderend klimaat en niet te veel tot versnippering leiden.

4 Scheepvaart

4.1 Inleiding

Op de Nederlandse binnenwateren worden jaarlijks ca 400.000 vaarbewegingen gemaakt voor goederenvervoer. Hiervan gaat ongeveer een kwart over de Waal en Boven-Rijn, de corridor Rotterdam – Lobith. Het grootste deel van de vaarkosten in het goederenvervoer over water wordt gemaakt door vaarbewegingen van grote schepen met veel vracht en een grote vaarafstand. Meer dan de helft van de vaarkosten worden gemaakt op de corridor Rotterdam-Lobith. Het aantal vaarbewegingen kan in een scenario van grote economische groei toenemen tot ca. 550.000 in 2050 (Schasfoort et al., 2019).

De invloed van droogte op de bevaarbaarheid verloopt voor de Rijn en de Maas via verschillende mechanismen. In de Rijn wordt de bevaarbaarheid tijdens droogte beperkt doordat de vaardiepte op een aantal kritieke punten in Nederland en Duitsland afneemt, waardoor schepen niet meer volledig beladen kunnen varen. Bij lage waterstanden gaan drempels in de rivier (vaste lagen) en drempels bij sluizen een obstakel vormen. Doordat bij rivierbodemdaling de hoogte van deze drempels niet mee daalt zal dit in de toekomst vaker een knelpunt kunnen worden. De Maas is een gestuwde rivier, waardoor de diepte vrijwel altijd op peil blijft. Het schutten van schepen door de sluizen bij de stuwen verplaatst echter aanzienlijke hoeveelheden water naar het benedenstroomse stuwpand, waardoor bovenstrooms watertekort kan ontstaan. Daarom wordt op de Maas tijdens droogte het aantal schuttingen beperkt. Dat leidt tot economische schade door de langere reistijd.

Internationaal is afgesproken dat in de Waal bij een afvoer van 1020 m³/s bij Lobith een diepgang (streefdiepte) beschikbaar moet zijn van 2.80 m in de vaargeul. In 2018 werd de streefdiepte gedurende 156 dagen niet gehaald. Dit is acht maal zo vaak als waar bij de normstelling vanuit werd gegaan. Op 21 dagen was de waterdiepte 1.60 m, waardoor een deel van de vloot niet meer kon varen (van de Velde et al., 2019).

4.2 Impact, ernst en urgentie

In perioden met lage afvoeren kunnen de vaardiepte en de vaargeulbreedte beperkt worden (m.n. op de Rijntakken) en kunnen vertragingen optreden bij het passeren van stuwen (m.n. op de Maas). Dit veroorzaakt economische schade. De omvang van die schade wordt in de economische analyse bepaald op basis van ernst en frequentie van de vaarbeperkingen in combinatie met de aard en omvang van de vervoerde vracht.

In (de Jong, 2020b) is een analyse gemaakt van de vaarbewegingen in 2018. Wat betreft de lage afvoeren van begin juli tot begin december 2018 zijn de conclusies:

- Droogte leidde tot een lagere beladingsgraad.
- Doordat er minder vracht per schip werd meegenomen nam het aantal scheepspassages toe. Bij de laagste afvoeren konden de natte-bulk- en containerschepen echter nauwelijks nog economisch rendabel varen, waardoor het aantal passages weer afnam. Hierdoor werd tijdens de droogte uiteindelijk minder vracht getransporteerd over water.
- Het hogere aantal reizen is merkbaar in het gehele achterland van de Rijn, maar met name op de Waal. De hogere verkeersintensiteit in combinatie met de lagere vaarwegcapaciteit (omdat de vaarweg smaller was dan normaal) zorgde voor een lagere vaarsnelheid op de Waal.
- Droogte leidde tot andere routing naar de Maas.
- Op de Nederrijn-Lek was er nauwelijks effect van droogte merkbaar.

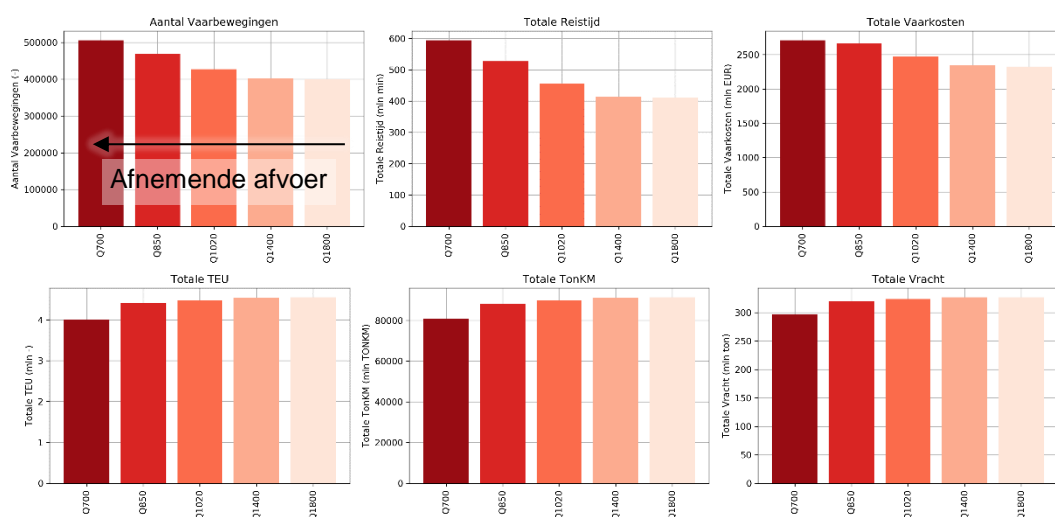
- De droogte leidde nauwelijks tot een toename in het aantal vaarbewegingen op de Schelde-Rijnverbinding.
- Ook op de vaarweg Lemmer-Delfzijl was geen grote verandering door droogte zichtbaar.

In (de Jong, 2020b) zijn diverse globale resultaten opgenomen van de BIVAS-simulaties met de huidige bodem en de huidige economie. Op de horizontale as staan diverse afvoerscenario's, waarbij bijvoorbeeld Q1020 verwijst naar een scenario waarbij een volledig jaar een afvoer van 1020 m³/s wordt vastgehouden.

De figuur laat zien dat bij afnemende afvoer het aantal vaarbewegingen toeneemt van 400.000 naar 500.000 (links boven). Doordat er vaker gevaren wordt om nog zoveel mogelijk vracht te vervoeren, wordt ook de totale reistijd langer; die neemt toe van 400 miljoen minuten naar ruim 600 miljoen minuten (midden boven). Deze extra inspanning zorgt voor een toename in de vaarkosten van 2,3 miljard euro naar 2,8 miljard euro (rechts boven).

Toch kan niet alle vracht vervoerd worden en zien we de vervoerde vracht afnemen van 4,5 naar 4 miljoen TEU⁵ (links onder) en van 320 naar 300 miljoen ton (midden onder). Ook de vervoersprestatie in tonkm (=tonnen x kilometers; rechts onder) neemt af, maar door de toename in de afstand (vergelijkbaar met reistijd) en de afname in vracht, is dit beperkt, van 90 naar 88 miljard tonkm (rechts onder).

Deze resultaten gelden voor alle vaarbewegingen in en door Nederland. Om de resultaten te interpreteren zijn in (de Jong, 2020b) verschillende uitsplitsingen gemaakt van deze resultaten.



Figuur 4.1 Enkele globale resultaten van de reacties van de scheepvaart bij afnemende afvoer. Bron: (de Jong, 2020b).

Het droogterisico (de gemiddelde extra transportkosten door lage afvoeren) voor de scheepvaart is 66 miljoen euro per jaar in het referentiescenario, dat wil zeggen in het huidige klimaat. Hiervan wordt verreweg het grootste deel van de kosten gemaakt door de vaarkosten.

⁵ TEU: de aanduiding voor de afmetingen van containers. De afkorting staat voor Twenty Foot Equivalent Unit. 1 TEU is een container van 6,10 meter lang, 2,44 m breed en 2,59 m hoog

Ongeveer 5 miljoen euro wordt besteed aan tijdelijke opslag voordat er alsnog gevaren wordt, ook wordt er 5 miljoen gebruikt voor een tijdelijke modal shift. In de scenario's Stoom en Warm is het risico als gevolg van laagwater 65 tot 70 miljoen euro hoger (Stratelligence, 2021) (prijspeil 2020 en exc. btw; berekend op basis van berekeningen met het Nationaal Water Model en effectmodules (Mens et al., 2019)).

- In het referentiescenario: 66 miljoen euro;
- In scenario's Stoom en Warm een extra risico van 65 tot 70 miljoen euro in 2050.

4.3 Maatregelen

Sinds de droogte van 2018 zijn in diverse bijeenkomsten en door diverse organisaties inventarisaties gemaakt van de maatregelen die overwogen kunnen worden om de gevolgen van klimaatverandering en lage afvoeren voor de binnenvaart te beperken: (CCR, 2020; de Jong & van der Mark, 2020a; van de Velde et al., 2019). De maatregelen kunnen worden ingedeeld naar de termijn waarop ze genomen kunnen worden (kort, middellang en lang) of naar de component van het binnenvaartsysteem waarop ze ingrijpen: infrastructuur (zowel de vaarweg als constructies); vloot / maritiem; logistiek; of informatievoorziening (de Jong & van der Mark, 2020a).

Deze indeling maakt ook duidelijk welke partijen of sectoren hieraan een bijdrage kunnen leveren. De verwachting is dat op alle componenten maatregelen genomen moeten worden om het binnenvaartsysteem levenskrachtig te houden. Een lage rivierafvoer zal in de toekomst vaker voorkomen, en dit is zeer slecht beïnvloedbaar. Infrastructurele maatregelen alleen, waarmee water wordt vastgehouden en opgestuwd, zullen niet voldoende zijn.

De Jong en van der Mark (2020a) richten zich vooral op de Nederlandse problematiek (maatregelen voor Nederlandse knelpunten), maar benadrukken het belang om altijd over de grenzen te blijven kijken. Maatregelen die in Nederland of over de grens genomen worden kunnen invloed hebben op de bevaarbaarheid elders, dus internationale samenwerking is vereist. De component "informatievoorziening" houdt in dat meer en betere informatie beschikbaar wordt gemaakt waarmee naar verwachting betere beslissingen genomen kunnen worden dan nu het geval is.

Zelfs wanneer allerlei maatregelen op alle vier de componenten zijn genomen, zal er nog steeds nu en dan impact door droogte zijn. De impact is minder groot door te anticiperen op een komende droogte (zoals voorraden aanhouden en aanvullen) en tijdens droogte adequate maatregelen te treffen (zowel beheerder/informatievoorzienaar als de gebruiker).. Daarnaast is het goed om de acceptatie dat de rivier niet iedere dag even goed bevaarbaar is mee te nemen in het gehele proces.

Ingrepen in de rivier voor de vaarwegfunctie kunnen gevolgen hebben voor andere rivierfuncties, zoals hoogwaterveiligheid, natuur of zoetwatervoorziening. Een integrale en adaptieve aanpak is daarom nodig.

Tabel 4.1 Mogelijke maatregelen voor de binnenvaart op de Rijn om de gevolgen van droogte te beperken, met daarbij een kwalitatieve inschatting van de kansrijkdom op grond van expert judgement en op basis van de criteria 'verwachte effectiviteit' en 'kosten'. Bron: (de Jong & van der Mark, 2020a).

	Onderhoudsbaggerwerk	Kansrijk?
B.1	Oplossen van niet-baggerlocaties	
B.2	Gerichter (proactief) baggeren en/of wijziging baggerreferentievlak	
B.3	Meer baggeren of vaker baggeren of anders terugstorten	
B.4	Permanente baggerconstructies	
	Opstuwing / verhang vergroten	
O.1	Langsdammen	
O.2	Verlengen kribben	
O.3	Verruwing zomerbed	
	Vaste laag en drempels	
V.1	Verlagen van vaste laag en drempels (aansluitingen kanalen/havens)	
V.2	Oplossen problematiek benedenstrooms van vaste laag	
V.3	Tegengaan bodemerosie met suppleties	
	Kanaliserie	
K.1	Stuwen aanleggen	
K.2	Functiescheiding door aanleg lateraalkanaal	
	Afvoerregulering	
A.1	Beleid afvoerdeling bij laag water	
A.2	Flexibele afvoerdeling	
A.3	Watervraag (verdringingsreeks)	
A.4	Afvoer bufferen (bovenstrooms)	
	Robuustheid / Veerkracht	
R.1	Opwaarderen / Stimuleren Neder-Rijn – Lek en Maas	
	Schepen	
S.1	Minder diep stekende schepen / verminderen van de beladingsgraad	
S.2	Flexibelere vloot (van kleinere schepen)	
S.3	Voorzieningen voor een grotere vloot	
	Logistieke keuzes	
L.1	Synchromodaal / multimodaal / alternatief transport	
L.2	Alternatieve routekeuzes	
L.3	Betere spreiding over de dag/week, eerder of later vertrekken	
L.4	Voorraadbeheer, aanpassen productieproces aan uitgesteld vervoer van grondstoffen	
	Informatievoorziening	
I.1	Verbeteren verkeersbegeleiding	
I.2	Verbeteren waterstandsvoorspelling	
I.3	Verbeteren meest beperkende waterdiepte voorspelling	

Op een bijeenkomst van de Central Commission for the Navigation of the Rhine (CCNR) in november 2019 hebben experts met elkaar gesproken over de Rijnvaart en laagwaterproblematiek die naar verwachting ernstiger zal worden (CCR, 2020). Beperkingen in de Rijnvaart zullen ook invloed hebben op de vestigingsmogelijkheden en locatiekeuzes van transportbedrijven en verladings en/of gevolgen voor modal shifts (verschuiving Rijnvaart naar weg- of railvervoer). In Tabel 4.2 Maatregelen die getroffen moeten worden om de binnenvaart bij laagwater veerkrachtiger te maken (CCR, 2020) Tabel 4.2 is een overzicht gegeven van de maatregelen die door de ca. 150 deelnemers geïdentificeerd zijn voor de korte, middellange en langere termijn. De maatregelen komen grotendeels overeen met die in Tabel 4.1, maar bevatten ook aanvullende maatregelen.

Tabel 4.2 Maatregelen die getroffen moeten worden om de binnenvaart bij laagwater veerkrachtiger te maken (CCR, 2020)

	Op korte termijn	Op middellange termijn	Op lange termijn
Infrastructuur	Betere voorspellingen van de waterstanden	Bevorderen van een geïntegreerde aanpak van de planning van projecten	Onderzoek naar oplossingen op het gebied van waterbouw en watermanagement om betrouwbare vervoersomstandigheden op de Rijn te kunnen waarborgen
	Up-to-date informatie over de diepte van de vaargeul, met name door het ontwikkelen van digitale oplossingen en de mogelijkheid te voorzien dat vrachtschepen dynamische, real-time metingen met elkaar delen.	Versneld uitvoeren van "optimalisatiewerkzaamheden aan de vaarwegdiepte van de Midden- en Beneden-Rijn"	Watermanagement op de Rijn verbeteren
		Administratieve procedures vereenvoudigen (bv. goedkeuringsprocedures voor infrastructuurprojecten)	Studie naar de mogelijkheid om nieuwe waterreservoirs te bouwen of bestaande reservoirs uit te bouwen
		Dialogo tussen industrie, logistiek, beleidsmakers en milieuorganisaties	
Vloot	Onderzoek naar de optimalisering van de vloot of optimalisering van bestaande schepen	Dialogo tussen industrie, logistiek, beleidsmakers en milieuorganisaties	
	Onderzoek naar de optimalisering van nieuwbouwschepen	Gebruik van kleinere schepen in samenstellen	
Verladings, logistiek, industrie	Tijdcharterovereenkomsten sluiten voor schepen die bij laagwater kunnen varen	Optimalisering van het containervervoer	
	Optimalisatie van de controle van de toeleveringsketen	Bouw/optimalisering van terminals om modal shift te vergemakkelijken	Overslagactiviteiten en opslagcapaciteiten in de havens nabij de industriële sites uitbreiden
	Aanpassing van de operationele activiteiten van de logistieke vestigingen (bv. verlenging van de openingsuren)	Aanpassing van vervoers-/ voorraadconcepten	
	Dialogo tussen industrie, logistiek, beleidsmakers en milieuorganisaties		

Op de Maas, in Nederland een gestuwde rivier, komen scheepvaartbeperkingen alleen voor wanneer de afvoer te gering is om te schutten. In dat geval wordt vaak zuiniger geschut, waarbij er meer schepen per schutting in de schutsluis worden toegelaten. Ook kan er water worden teruggepompt, waardoor de wachttijd sterk toeneemt. Een minimum afvoer van 10 m³/s is gewenst voor ecologische doeleinden, bij sterke klimaatverandering wordt dit eens in de 10 jaar onderschreden (Mens et al., 2019).

Conclusies maatregelen scheepvaart

Om het Nederlandse (en het aansluitende buitenlandse) vaarwegennet bevaarbaar te houden is een combinatie nodig van maatregelen gericht op infrastructuur, vlootsamenstelling, maritieme aspecten, logistiek en informatievoorziening. De kansrijkdom van diverse maatregelen is aangegeven in Tabel 4.1. Een optimale combinatie van maatregelen is nog niet beschikbaar.

4.4 Synergieën en knelpunten

In hun 'Visie Ruimte voor levende rivieren' (Beekers et al., 2018) geven de auteurs een brede en integrale visie op de ontwikkeling van het rivierengebied, inclusief alle functies die het gebied vervult. Deze visie is nadrukkelijk op zoek naar de synergieën. Dit is in lijn met het programma Integraal Riviermanagement⁶. In hoeverre de visie gunstig is voor de scheepvaart, of deze juist benadeelt, is nog onduidelijk.

Enkele maatregelen uit de maatregelpakketten van het Deltaprogramma Zoetwater (voorkeurspakket en economisch effect) hebben een negatief effect op de scheepvaart. Dit komt doordat bij veel maatregelen water uit de Waal gebruikt wordt om op een andere plek in te zetten, waardoor de waterdiepte in de Waal afneemt. Het gaat hierbij om de maatregelen 'Vergroten debiet Hagestein', waarbij de verzilting van de Lek voorkomen wordt, 'Verkenning ARK-route' en 'Aanvoerroute Krimpenerwaard' (Mens et al., 2020). Dit duidt erop dat maximeren van beide functies tegelijk niet mogelijk is en dat er grenzen zijn aan de mate waarin aan de eisen van beide functies tegelijk kan worden voldaan.

⁶ [https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/vraag-en-antwoord/wat-is-het-programma-integraal-riviermanagement#:~:text=Start%20zoeken-,Wat%20is%20het%20Programma%20Integraal%20Riviermanagement%20\(IRM\)%3F,en%20voorbereid%20op%20de%20toekomst.](https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/vraag-en-antwoord/wat-is-het-programma-integraal-riviermanagement#:~:text=Start%20zoeken-,Wat%20is%20het%20Programma%20Integraal%20Riviermanagement%20(IRM)%3F,en%20voorbereid%20op%20de%20toekomst.)

5 Droogte, hitte en wateroverlast in de stad

5.1 In het kort

Het hoge percentage verhard oppervlak in stedelijk gebied zorgt ervoor dat de neerslag in een groot deel van het gebied niet in de bodem kan infiltreren en snel tot afstroming komt. De infiltratie van neerslag en daarmee de aanvulling van het bodemvocht en grondwater zijn daarom beperkt. Maar ook de verdamping van overwegend verhard terrein is lager dan van groengebied en open water. Per saldo zakt toch ook in stedelijk gebied in droge perioden de grondwaterstand uit, door drainage, wegzijging en de resterende verdamping.

Klimaatverandering kan leiden tot drogere zomers met lagere grondwaterstanden. Hoe groot de effecten hiervan zijn hangt af van de plaatselijke karakteristieken van de bodem, het watersysteem en de gevoeligheid van constructies en vegetatie. De doorwerking van lage grondwaterstanden naar schades loopt via drie sporen: 1) schade aan funderingen, 2) schade aan infrastructuur en 3) schade aan stedelijk groen.

1) Door lage grondwaterstanden kunnen houten paalfunderingen worden blootgesteld aan lucht en kunnen schimmels of bacteriën het houtwerk gaan aantasten. Gemiddeld genomen ontstaat funderingsschade bij een cumulatieve droogstand van ongeveer 10 jaar. Houten paalfunderingen zijn vooral toegepast in de periode voor 1890 in historische binnensteden (Amsterdam, Rotterdam, Gouda, Delft, Leiden, Zaanstad en Haarlem) en daarbuiten nog tot 1970. Het aantal panden in Nederland op houten paalfunderingen wordt geschat op 800.000 (Sweco, 2018). Deze panden staan voornamelijk in laag Nederland.

2) Op plekken waar de bodem ongelijkmatig zakt als gevolg van uitdroging van veen en kleilagen in de ondergrond, kan schade ontstaan aan panden die op staal zijn gefundeerd. Verschilzettingen kunnen ook leiden tot schade aan rioleringen, wegverhardingen en andere infrastructuur. Vooral wegen op de slappe bodems in laag Nederland zijn kwetsbaar.

3) Dit type schade treedt op door gebrek aan water voor bodem, struiken en planten. In droge zomers treedt voornamelijk sterfte op van jonge beplanting (< 3 jaar), maar ook oudere bomen en struiken kunnen beperkt iets meer uitval geven. Een zichtbaar effect van droogte is vroegtijdige bladval. Dit is echter een zelfbeschermingsmechanisme van bomen en leidt niet altijd tot permanente uitval van de vegetatie. Door de droogte is er een kans op toename van ziekten en plagen bij bomen. Dit kan leiden tot uitval van vegetatie.

Schades aan constructies en infrastructuur ontstaan overwegend na een cumulatieve droogstand in meerdere jaren. Eén zeer droog jaar is daardoor meestal niet volledig verantwoordelijk voor de schade, maar leidt wel tot een versnelling hiervan (van de Velde et al., 2019). Bijkomende complicatie is dat deze schades vaak pas na verloop van jaren zichtbaar worden: het is een sluipend probleem.

Oplossingsrichtingen voor de stad zijn het verkleinen van de kwetsbaarheid van funderingen en infrastructuur en, waar mogelijk, het verbeteren van het grondwaterpeilbeheer om te lage en te hoge grondwaterstanden te voorkomen. Actief grondwaterpeilbeheer zal door een gemeente echter alleen worden toegepast om bodemdaling in de door de gemeente beheerde openbare ruimte te beperken. Indien mogelijk zou een gebouweigenaar op dit gemeentelijke infiltratienetwerk kunnen aansluiten om het grondwaterpeil op zijn eigen terrein te kunnen verhogen.

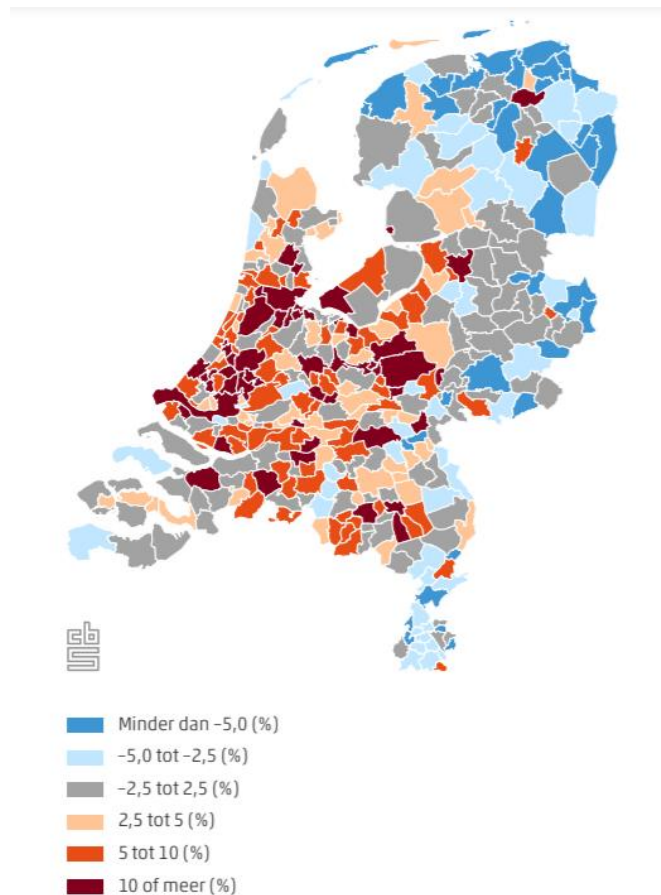
Het verkleinen van de kwetsbaarheid is voornamelijk een renovatie- en vervangingsopgave voor bestaande stedelijke gebieden. Meekoppelen met reguliere vervanging en renovatie is mogelijk om de kosten te beperken. Bij nieuwbouw kan zowel door de keuze van geschikte bouwlocaties als door de wijze van bouwen klimaatschade worden voorkomen.

Het actiever beheren van de grondwaterstand, door meer oppervlaktewater te infiltreren in droge perioden, kan leiden tot een extra watervraag aan het regionale watersysteem.

5.2 Ernst en urgentie droogte, hitte en wateroverlast in de stad

5.2.1 Ontwikkelingen in stedelijk gebied

Nederland zal in 2035 naar verwachting 18,3 miljoen inwoners hebben, 1 miljoen meer dan nu (te Riele et al., 2019). Vooral de grote en middelgrote steden zullen groeien, evenals diverse randgemeenten rondom de grote steden. Tegelijk zal 1 op de 5 gemeenten krimpen, vooral aan de randen van Nederland. Deze gemeenten zullen ook sneller vergrijzen dan de steden. Bijna drie kwart van de nationale groei met 1 miljoen mensen komt volgens de prognose terecht in de grote en middelgrote steden (gemeenten met ten minste 100 duizend inwoners). Rondom de grote steden groeien ook diverse andere gemeenten, zoals Almere en Haarlemmermeer bij Amsterdam, Zuidplas bij Rotterdam en Rijswijk bij Den Haag.



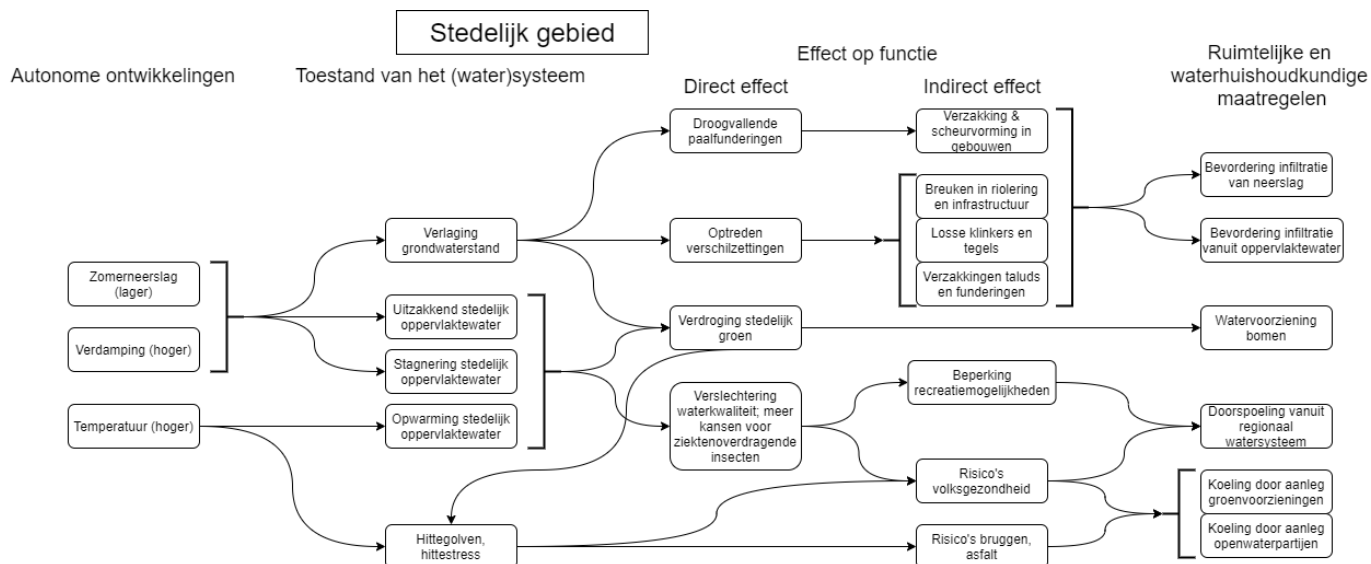
Figuur 5.1 Prognose bevolkingsgroei tot 2035 (te Riele et al., 2019)

Over de opgave voor nieuwe woningen circuleert al enige jaren het aantal van 1 miljoen, te realiseren tot 2035 (ABF Research⁷, NOVI). Van deze miljoen moeten er circa 700.000 woningen nieuw gebouwd worden en 300.000 door transformatie in bestaand stedelijk gebied. Hoe deze opgave wordt vervuld, door nieuwbouw, verdichting, omvorming, verschilt per gemeente. De Nationale Omgevingsvisie probeert richting te geven aan deze ontwikkelingen. Het Rijk wil meer sturen op ontwikkeling van een Stedelijk Netwerk Nederland. Dit gebeurt door in het stedelijk netwerk nieuwe woon- en werklocaties te koppelen aan goede bereikbaarheid, dit met oog voor de omgeving. In de plannen van de regio's worden binnen- en buiten-stedelijke mogelijkheden voor woningbouw tegelijk in beeld gebracht. Om het tempo in de woningbouw vast te houden, is het belangrijk dat Rijk en regio dit gelijktijdig samen doen⁸.

5.2.2 Gevolgen van droogte in de stad

Stedelijke gebieden hebben vier fysieke eigenschappen waarmee ze zich onderscheiden van andere gebieden:

- Ze kennen een hoog percentage verhard oppervlak;
- De variabiliteit van de ondergrond is door de vele ingrepen in het verleden zeer hoog;
- Drainagestelsels (sloten en drains) zijn minder volledig of afwezig;
- De waterbalans wordt mede beïnvloed door het rioolstelsel: type, beheer, staat van onderhoud



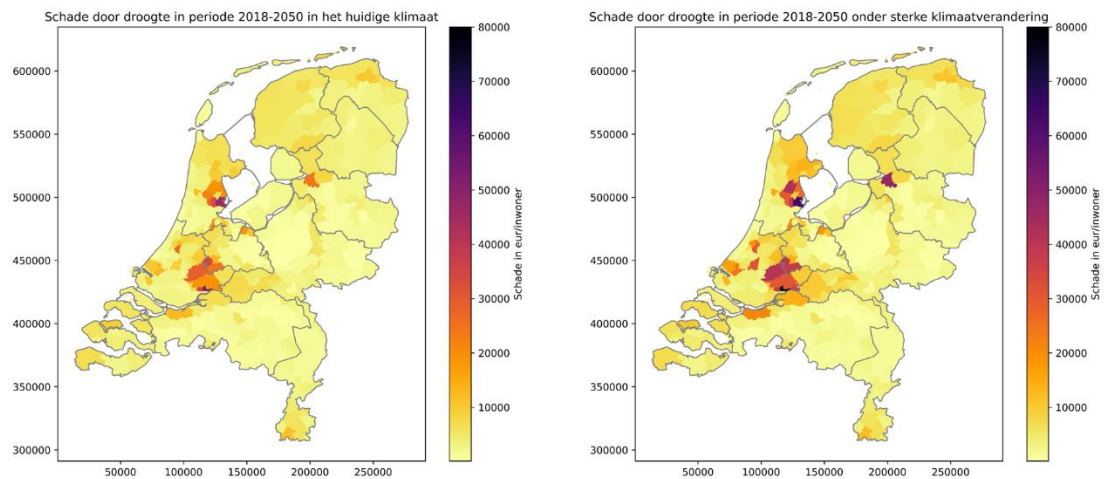
Figuur 5.2 Overzicht van de oorzaak-gevolgketens in hitte, droogte en grondwaterstanden in stedelijk gebied. Vereenvoudigd naar Hoogvliet, 2020. N.B. De samenhang met het nationale en regionale watersysteem is wel van belang maar niet zichtbaar gemaakt.

Figuur 5.2 laat zien dat effecten van droogte in het stedelijk gebied hoofdzakelijk een impact hebben via het grondwater. Klimaatverandering kan leiden tot drogere zomers met lagere grondwaterstanden en extra zettingen van de ondergrond. Hoe sterk de veranderingen zijn hangt af van de plaatselijke situatie. De doorwerking van lage grondwaterstanden naar schades loopt via drie sporen: 1) schade aan funderingen, 2) schade aan infrastructuur en 3) schade aan stedelijk groen (zie ook Figuur 5.4).

⁷ <https://vng.nl/sites/default/files/2020-08/vng-samenvatting-rapporten-woningbouwopgave.pdf>

⁸ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2020/04/23/kabinet-neemt-meer-regie-op-de-inrichting-van-nederland>

De beschikbare schattingen van deze schade in stedelijk gebied op regionale en landelijke schaal zijn de ramingen die na 2012 in het kader van klimaat-effectonderzoek zijn samengebracht in de KlimaatSchadeSchatter⁹ (zie Figuur 5.3).



Figuur 5.3 Bovengrens schade in euro's per inwoner over de periode 2018-2050 afkomstig van de schadeschatter droogte (klimaatschadeschatter.nl) onder het huidige klimaat en onder klimaatverandering

Ter illustratie zijn de schadeschattingen van drie steden uit de bovenstaande kaart opgenomen in onderstaande tabel. Deze schattingen zijn met grote onzekerheidsmarges omgeven.

Tabel 5.1. Geschatte schades door klimaatverandering in Gouda (veenweidegebied), Apeldoorn (hoge zandgronden) en Den Helder (zeekleigebied).

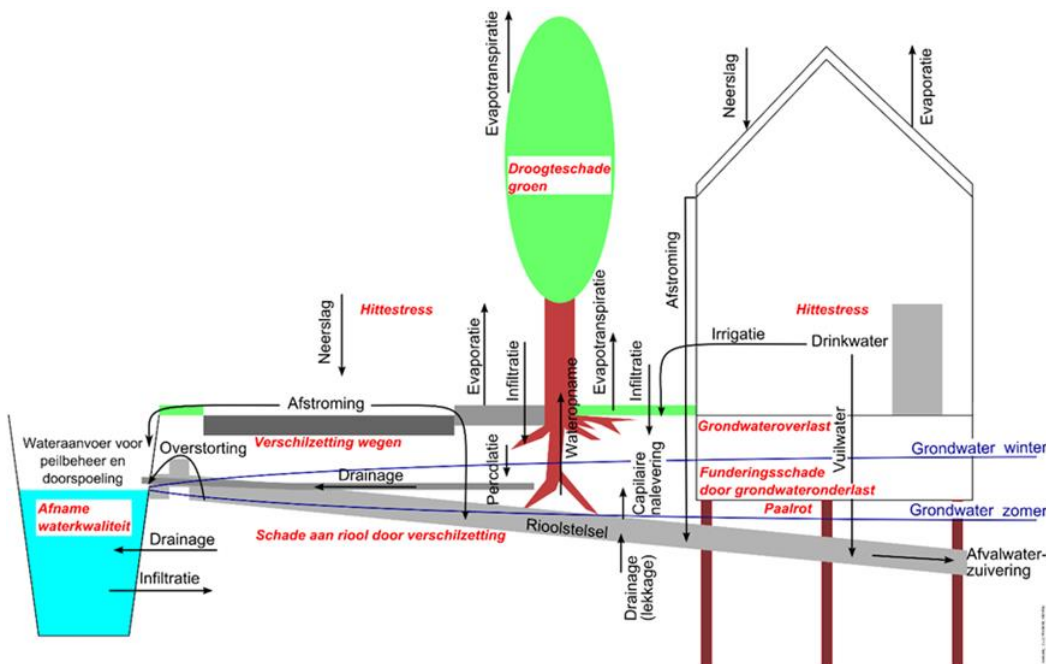
	Gouda		Apeldoorn		Den Helder	
	Ongewijzigd klimaat	Klimaatverandering	Ongewijzigd klimaat	Klimaatverandering	Ongewijzigd klimaat	Klimaatverandering
Fundering panden	€ 76 – 430 miljoen	€ 96 – 500 miljoen	€ 2.9 – 25 miljoen	€ 2.7 – 25 miljoen	€ 8.9 – 88 miljoen	€ 10 – 94 miljoen
Wegen en riolering	€ 20 – 60 miljoen	€ 21 – 61 miljoen	€ 1.8 – 3.6 miljoen	€ 1.8 – 3.7 miljoen	€ 1 – 1.3 miljoen	€ 1 – 1.4 miljoen
Gemeentelijk groen	€ <1 miljoen	€ <1 miljoen	€ <1 miljoen	€ <1 miljoen	€ <1 miljoen	€ <1 miljoen
Totaal gemeente	€ 96 – 490 miljoen	€ 120 – 560 miljoen	€ 4.8 – 29 miljoen	€ 4.7 – 29 miljoen	€ 9.9 - 90 miljoen	€ 12 - 96 miljoen
Totaal per inwoner	€ 1300 – 6700	€ 1600 – 7600	€ 29 – 180	€ 29 – 180	€ 180 – 1600	€ 210 – 1700

Sommige steden hebben inmiddels voor de klimaatstresstest of de inventarisatie van funderingsschade informatie op hoog detailniveau verzameld en gekarteerd. Hiervan is echter nog geen overzicht beschikbaar. Het is duidelijk dat de schade het hoogst is in het veenweidegebied en dat de additionele schade door klimaatverandering ten opzichte van de totale schade in een ongewijzigd klimaat relatief beperkt is. Met andere woorden: de voorziene schade is ook zonder klimaatverandering al hoog omdat het bouwen op slappe grond en het aanzienlijke aandeel van huizen met houten funderingen een hoge kwetsbaarheid voor het uitzakken van grondwaterstanden en bodemdaling impliceren. Klimaatverandering versnelt evenwel de schadeprocessen waardoor de levensduur van sommige constructies bekort wordt en het schadebedrag per jaar gedurende de komende decennia hoger is dan bij een ongewijzigd klimaat.

⁹ www.klimaatschadeschatter.nl

Gevolgen van de droogte in 2018

De droogte van 2018 heeft in stedelijk gebied geleid tot schades aan gebouwen, funderingen, infrastructuur (scheurvorming, losse tegels) en groen (sterfte jonge beplanting en bladverlies). Daarnaast waren er meldingen van overlast door botulisme, blauwalg en stank door opwarming van het oppervlaktewater (Ministerie van IenW, december 2019).



Figuur 5.4 Watersysteem op straatniveau in laag Nederland en de relevante schademechanismen (Bron: Stowa, 2020).

Het probleem met de waardering van de schade die in 2018 is ontstaan is dat het niet bekend is hoe groot de cumulatieve droogstand precies is, en hoeveel kwetsbare objecten droog hebben gestaan. De totale droogteschade in 2018 in stedelijk gebied is daarom niet te berekenen. Onderstaande tabel presenteert de schadekosten per schadegeval, om zo een indruk te geven van de potentiële ordegrrootte van schade.

Tabel 5.2 Relevante schademechanismen door droogte in stedelijk gebied (van de Velde et al., 2019).

Schademechanisme	Ordegrrootte van mogelijk effect
Schade aan panden	Uit nieuwsberichten en meldingen wordt opgemaakt dat bij enkele honderden panden scheuren zijn ontstaan in muren. Vaak liggen de herstelkosten van deze schade rond de EUR 5.000, alhoewel het kan oplopen tot EUR 30.000. Uitgaande van 400 panden geeft dit een schade van EUR 2 miljoen.
Schade aan funderingen	Vooraf in het westen van het land zijn panden op houten palen gefundeerd. Hier was de daling van de grondwaterstand relatief beperkt, hoewel er sprake was van grote lokale verschillen. Hierdoor is het niet mogelijk om een goede inschatting van de kosten te maken. In geval van schade aan funderingen bedragen de gemiddelde kosten van funderingsherstel ca. EUR 64.000 per pand (prijspeil 2018) ⁵⁷ .
Schade aan infrastructuur	Voor schade aan infrastructuur gelden dezelfde beperkingen als bij schade aan funderingen. Herstelkosten voor riolering zijn indicatief EUR 560 per meter (Ø 300, prijsspeil 2019) ⁵⁸ .
Schade aan stedelijk groen	Over de kosten van droogteschade van stedelijk groen is weinig bekend. Hierdoor is het niet mogelijk om een goede inschatting van de kosten te maken.

5.2.3 Gevolgen van hitte in de stad

Zowel hitte als droogte hebben aantoonbaar negatieve maatschappelijke gevolgen. Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 warmt de stad meer op dan het omringende platteland en zullen we ons moeten voorbereiden op meer zomerse dagen en hittegolven onder een veranderend klimaat. Klok & Kluck, 2018 onderscheiden vijf sectoren of domeinen waarvoor hitte nadelige gevolgen kan hebben en met grote maatschappelijke en economische kosten gepaard kan gaan, soms in combinatie met droogte: gezondheid, buitenruimte, leefbaarheid, water en infrastructuur. Leefbaarheid en in extreme gevallen gezondheid in de binnen- en buitenruimte worden direct beïnvloed door hitte. Bij gevoelstemperaturen boven de 23 graden is er sprake van hittestress. Door extreme hittestress (> 41 °C) kunnen mensen zelfs komen te overlijden. Tijdens de hittegolf in juli 2019 overleden in een week tijd 400 mensen meer dan normaal¹⁰.

Gevolgen die direct met water te maken hebben zijn een verhoogde drinkwatervraag; verhoogde koelwatervraag; afnemende waterkwaliteit en schade aan stedelijke natuur. Door hoge luchttemperaturen warmt het stedelijke oppervlaktewater op. Als dat water niet wordt aangevuld en/of verversd kunnen problemen ontstaan met de waterkwaliteit. Dit zijn:

- problemen door kwaliteit stedelijk (zwem)water door bloei van blauwalgen, botulisme en door water-overdraagbare ziekteverwekkers als pathogenen;
- sterfte en verlies biodiversiteit van watergebonden vegetatie en diersoorten (bijv. vissterfte).

Maatregelen vanuit waterbeheer en inrichting die bijdragen aan vermindering van de negatieve effecten van hitte zijn uitbreiding van het areaal groen en van het areaal open water in het stedelijke gebied.

5.2.4 Wateroverlast

Er zijn twee typen wateroverlast van belang in het stedelijke gebied:

- Wateroverlast door kortdurende hevige neerslag (vaker in de zomer)
- Grondwateroverlast door langdurige neerslag

Wateroverlast door kortdurende hevige neerslag

Deze wateroverlast ontstaat vaak in de zomer. Rioleringen zijn meestal ontworpen op een afvoercapaciteit van maximaal 20 tot 30 mm/uur. Als het harder regent (of als er sprake is van verstopping van straatkolken of riolering), komt water op straat te staan. Als de straat onvoldoende ruimte heeft om de neerslag ter plekke te bergen, bestaat de kans dat water richting gevoelige objecten of locaties afstroomt. Wanneer water bijvoorbeeld gebouwen instroomt of belangrijke doorgangswegen onbegaanbaar maakt, is sprake van wateroverlast.

Grondwateroverlast door langdurige neerslag

Bij zeer langdurige of hevige neerslag kan het water niet snel genoeg worden afgevoerd, raakt de bodem verzadigd en stijgt het grondwaterpeil. In stedelijk gebied kan daardoor overlast ontstaan, bijvoorbeeld bij gebouwen (natte kelders en kruipruimtes, langs muren optrekkend vocht), en door het drassig worden van tuinen. Grondwateroverlast door neerslag komt vaker voor in de winter.

¹⁰ [Klimaat-effectatlas.nl](https://klimaat-effectatlas.nl)

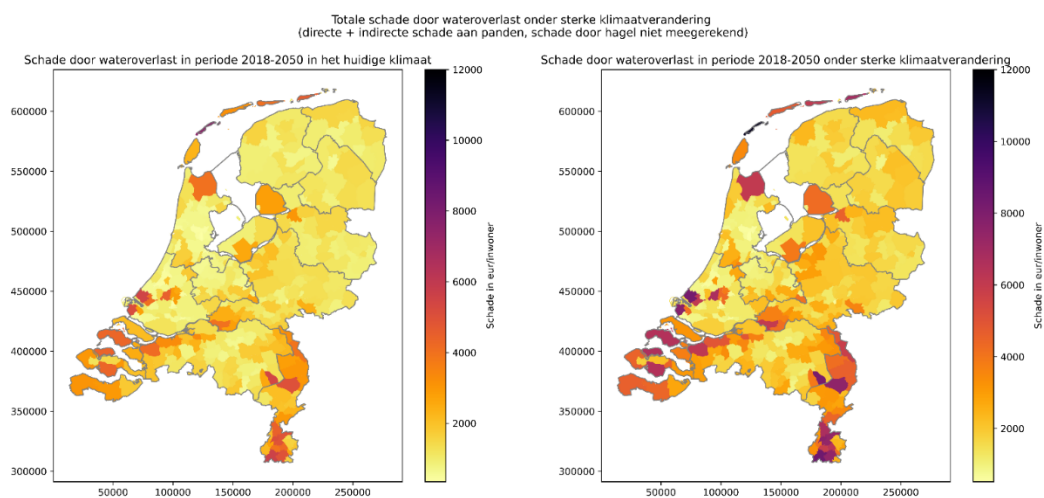
Trends in neerslag

Door klimaatverandering neemt de gemiddelde hoeveelheid neerslag in de herfst, winter en lente toe. De kans op langdurige neerslag en de daarmee samenhangende (grond)wateroverlast wordt steeds groter. Ook de intensiteit van hevige neerslag in de zomer neemt toe. Er is steeds vaker sprake van hevige regenbuien met een hoge neerslagintensiteit. Voor hevige, kortdurende regenbuien heeft het KNMI een toename in neerslagintensiteit waargenomen van 14% per °C. Bij een mogelijke temperatuurstijging van 2,3 °C in 2050 betekent dit een toename van bijna 30%. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat niet alleen de neerslagintensiteit toeneemt, maar ook het oppervlak waarop tijdens intensieve buien extreem veel neerslag valt¹¹. In de klimaateffectatlas¹² zijn twee ontwerp buien doorgerekend: een bui van 70 mm in 2 uur en een van 140 mm in 2 uur. De huidige herhalingstijd van de eerste is 100 jaar, die van de tweede 1000 jaar. Deze kunnen tegen het einde van de eeuw gehalveerd zijn.

De regionale verschillen in wateroverlast zijn beperkt. De verschillen binnen het stedelijke gebied, door verschillen in stedenbouwkundige kenmerken zijn wel van invloed.

Mogelijke schade

De klimaatschadeschatter geeft een ruimtelijk beeld van de geschatte schade door wateroverlast per inwoner, 2018-2050. Er is echter een discussie gaande over de hoogte van deze getallen, mogelijk zijn de schattingen te hoog (STOWA workshop; Kolen, mond.med.).



Figuur 5.5 Totale schade per gemeente (2018-2050) als gevolg van wateroverlast onder huidig en een veranderd klimaat (W_n, 2050). Bron: Klimaatschadeschatter.nl

Het achtergrondrapport bij de kaart (Klimaatbestendige Stad NKWK, 2019) geeft onderstaande schattingen voor wateroverlast in stedelijk gebied tot 2050. Deze schade is qua ordegrrootte vergelijkbaar met die voor droogte. De effecten van klimaatverandering tellen echter mogelijk sterker door onder een extreem klimaatscenario.

¹¹ <https://www.riool.net/-/grootschalige-extreme-buien-op-kom-1>

¹² [Klimaateffectatlas.nl](https://www.klimaateffectatlas.nl)

Tabel 5.3 Totale schade door wateroverlast in vergelijking met droogte. Bron: Klimaatschadeschatter Rapportage 2019.

Thema	Schadecomponent	Geschatte Schade periode 2018 - 2050 ongewijzigd klimaat	Geschatte extra schade periode 2018 - 2050 sterke klimaatverandering – WH	Som Geschatte schade periode 2018 - 2050 ongewijzigd + sterke klimaatverandering – WH
		miljard €	miljard €	miljard €
Droogte	Funderingen	5,4 – 38,9	3,5 – 14,8	8,8 – 53,7
	Infrastructuur en riolering	6,2 - 18,2	0,3 – 0,8	6,5 – 19,0
	Publiek groen	<0,1	<0,1	<0,1
	Som	11,6 – 57,1	3,7 – 15,6	15,3 – 72,7
Wateroverlast	Panden directe schade	10,7 – 17,1	5,4 - 8,6	16,1 – 25,7
	Panden indirecte schade	4,8	2,4	7,2
	Hagel	5,8	2,9	8,6
	Som	21,3 – 27,7	10,7 – 13,9	31,9 – 41,5

Bureau Tauw heeft voor Amsterdam Rainproof, een initiatief van Waternet, een eigen methode opgezet die inzicht geeft in de omvang van de stadsbrede schade door een typische wolkbreuk: de Wolkbreukschadeschatter¹³. Deze geeft enerzijds een kwalitatieve beschrijving van de directe, indirecte en maatschappelijke schadeposten, en anderzijds een schadebedrag voor kwantificeerbare waterschade voor de hele stad en per wijk. Voor Amsterdam resulteerde de methodiek in een bandbreedte van 10 tot 500 miljoen euro voor een gesimuleerde stadsbrede wolkbreuk van 60 millimeter neerslag in één uur tijd.

In het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie is afgesproken dat heel Nederland in 2050 waterrobuust en klimaatbestendig is ingericht. Om de kwetsbaarheden in beeld te krijgen dienden alle overheden uiterlijk in 2019 een stresstest te hebben uitgevoerd voor (onder andere) wateroverlast. In de stresstest wordt onderzocht waar, wanneer, welke knelpunten kunnen ontstaan, onder een scala aan mogelijke klimaatontwikkelingen. De stresstest geeft echter geen scherpe opgave voor wateroverlast in het stedelijke gebied. Dit komt doordat er nog te weinig informatie beschikbaar is over de gevolgen en schade van wateroverlast. Voor een ruimtelijk overzicht van de resultaten van de uitgevoerde stresstests zie https://cas-platform.com/webmap_monitor_stresstest/

5.2.5 Conclusies over kwetsbaarheid en urgentie

Het stedelijke gebied is in droge zomers kwetsbaar voor de gevolgen van te lage grondwaterstanden en de afname van het bodemvochtgehalte. Dit leidt tot schades aan funderingen en infrastructuur, voornamelijk in laag Nederland. De urgentie van het probleem is lastig te duiden vanwege de lange tijdhorizon waarop een groot deel van de schade ontstaat en zichtbaar wordt. Daarbij komt dat het grootste deel van de schade ook zonder klimaatverandering zal optreden. Maar omdat potentiële schade groot is (ordegrootte miljarden euro) en klimaatverandering de schadeprocessen versnelt waardoor de jaarlijkse schade zal toenemen, kwalificeren we zowel de kwetsbaarheid als de urgentie als 'hoog'.

Gevolgen van andere aard en mindere urgentie van droogte in stedelijk gebied bestaan uit de verminderde verdamping door groen en daarmee een toename van de hitte, en de afname van de oppervlaktewaterkwaliteit. Beide hebben een negatief effect op gezondheid en doen zich over heel Nederland voor.

¹³ https://www.rainproof.nl/sites/default/files/hoeveel_kost_een_wolkbreuk_kluck_en_geisler.pdf

Ook voor wateroverlast is de potentiële schade groot. De urgentie van het probleem is moeilijk aan te geven vanwege de geleidelijke toename ervan. Van een scherp knikpunt is meestal geen sprake. Met het toenemende aantal extreme buien in stedelijk gebied en de groeiende consensus over de verwachting dat deze trend zal doorzetten groeit ook het besef dat waar maar praktisch uitvoerbaar (nieuwbouw, herstructurering, renovatie), maatregelen tegen wateroverlast in de plannen opgenomen moeten worden.

Onderstaande tabel vat de omvang, impact en urgentie samen.

Tabel 5.4 Samenvatting van de belangrijkste opgaven

Opgave	Omvang	Impact	Urgentie	Uitdaging
Wateroverlast in de stad				
Stedelijk gebied waterrobuust en klimaatbestendig in 2050.	Herhalingstijd huidige 1:100 en 1:1000 buien mogelijk gehalveerd	Toenemende schade en frequentie	Geleidelijk toenemend. Urgentie momenteel afhankelijk van norm die door beheerder wordt gehanteerd	Maatregelen meekoppelen bij integraal ontwerp en inrichting van publieke en private ruimte.
Droogte en hitte in de stad				
Stedelijk gebied klimaatbestendig in 2050. Gezondheid en waterkwaliteitseffecten als gevolg van hitte	Verdrievoudiging van aantal tropische dagen > 30° C onder Wh scenario 2050	400 extra overleden personen per week tijdens hittegolf (CBS)	Speelt al, urgentie in de maatschappij wordt bepaald door extreme gebeurtenissen	Droogte- en hittebestendig vergroenen en bouwen
Stedelijk gebied klimaatbestendig in 2050. Schades aan gebouwen, infrastructuur en groen als gevolg van lage bodemvochtgehalten en lage grondwaterstanden	800.000 kwetsbare panden	Potentieel tientallen miljarden € schade tot 2050	Speelt nu, sluipend probleem,	Kwetsbaarheid van gebouwen en infrastructuur verlagen; waar mogelijk en efficiënt beheersen van grondwaterstand

5.3 Mogelijke maatregelen en synergieën en knelpunten

Bij gebrek aan betere informatie hanteren we in dit rapport als opgave: het systeem met de beschikbare en geschikte maatregelen zo goed mogelijk op orde brengen voor de verwachte klimaatverandering.

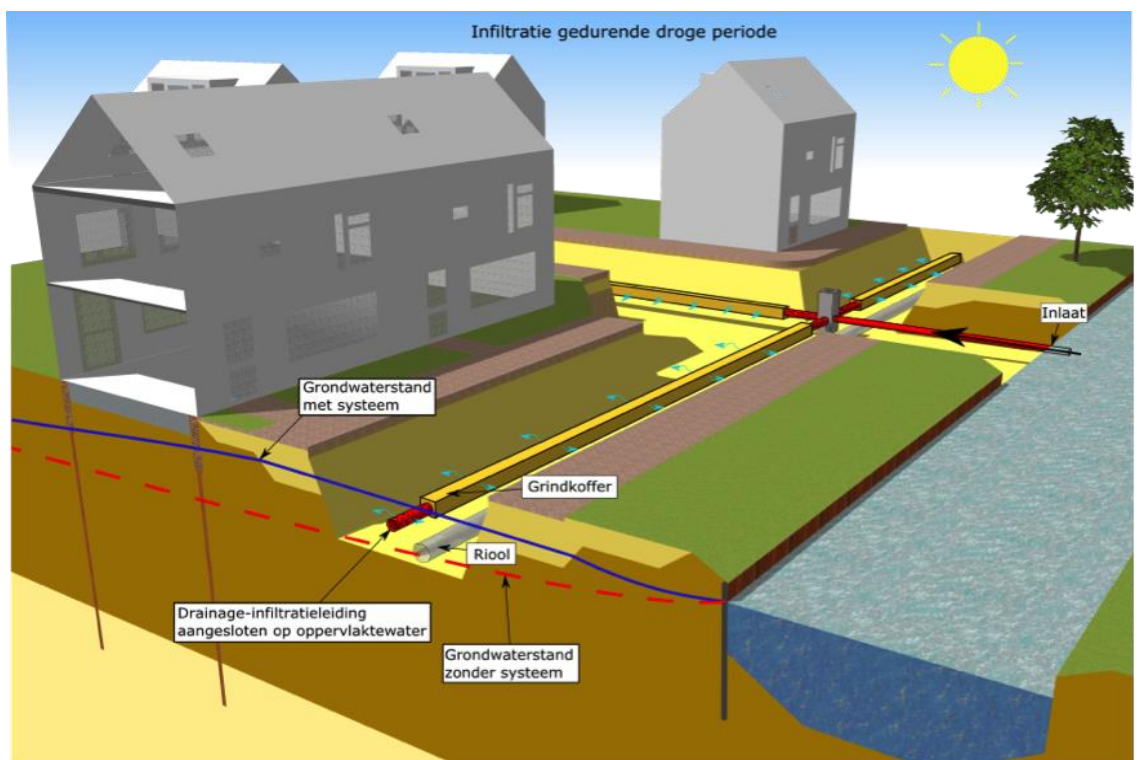
5.3.1 Droogte en hitte

Centraal bij kansrijke maatregelen staat de verbetering van de samenhang tussen gebruiksfuncties (constructies, infrastructuur, groen etc.), ondergrond, het oppervlaktewater en de inrichting van stedelijke ruimte. Er moet worden ingezet op evenwichtige infiltratie en drainage, het vasthouden en nuttig gebruik van in de stad gevallen neerslag, en op vermindering van de kwetsbaarheid voor hoge en lage grondwaterstanden. Daarnaast kan schade worden beperkt door zachte maatregelen als metingen, alarmering en aangepast gedrag (STOWA, 2020).

In het kader van het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie zijn veel verschillende maatregelen geïnterpreteerd. Deze zijn te raadplegen via het ruimtelijke-adaptatieportaal van het Deltaprogramma.

Ontwikkelingen zoals de toename van ondergrondse infrastructuur, een sterke verdichting van de bouwopgave, vergroening, de energietransitie en andere duurzaamheidsopgaven zorgen ervoor dat de openbare ruimte en ondergrond dwingend medebepalen hoe we de bovengrond inrichten. Bouwopgave, infrastructuur, bereikbaarheid, ondergrond, duurzaamheid, energietransitie, klimaatrobuustheid, water, biodiversiteit, leefbaarheid moeten bij elkaar worden gebracht. Dit vergt een systematische en gestructureerde aanpak. Vanuit waterbeheer / klimaatadaptatie is een groot aantal maatregelen te overwegen. Tabel 5.5 geeft daarvan een overzicht.

Actief grondwaterpeilbeheer is al enkele malen als maatregel genoemd. Dit betreft het aanleggen van voorzieningen, zoals een drainage-infiltratieleiding die in verbinding staat met het oppervlaktewater, waarmee het grondwaterpeil zoveel mogelijk rond een gewenst niveau kan worden gehouden en pieken en dalen in de grondwaterstand worden vermeden. Is er te veel grondwater, dan wordt dat via de leidingen afgevoerd naar het oppervlaktewater. Een grondwatertekort wordt via dezelfde leidingen aangevuld vanuit het oppervlaktewater (Figuur 5.6). Incidenteel, wanneer de bodem goed waterdoorlatend is, kan alleen aanpassing van het oppervlaktewaterpeil al zinvol zijn om de grondwaterstand te beïnvloeden, en zijn extra leidingen niet noodzakelijk.



Figuur 5.6 Principe van vermindering van schade door grondwateronderlast door infiltratie van oppervlaktewater.

Uit onderzoek is naar voren gekomen dat actief grondwaterpeilbeheer met leidingen meer op kan leveren dan het kost. Dit geldt voor gebieden die gevoelig zijn voor maaiveld­daling door seizoensgebonden lage grondwaterstanden én wanneer de aanleg wordt gecombineerd met riool­ver­vang­ing in openbaar gebied. Private eigenaren van woningen en gebouwen kunnen zelf een aansluiting realiseren op het gemeentelijke systeem en op die manier voorkomen dat schade ontstaat op hun eigen terrein.

Tabel 5.5 Overzicht van de belangrijkste maatregelen tegen droogte in stedelijk gebied. Beoordeling indicatief, op basis van expert judgement.

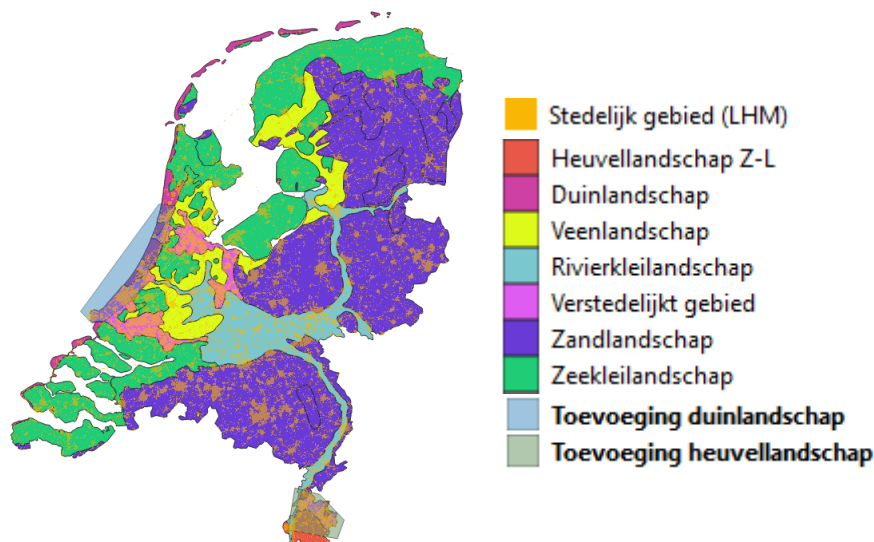
Maatregel	Ruimtelijke schaal	Terugkeertijd van meekoppel-kans	Effec-tiviteit	Kos-ten	Synergie of knelpunt		
					Wateroverlast	Water-kwaliteit, biodiversiteit, leefbaarheid	Overig
Vasthouden op dak of kavel	Pand / kavel	7 jr	+/-		++	++	
Verhogen oppervlakte-waterpeil	Openbare ruimte	Permanent	+/-	+	- Mogelijk extra wateroverlast	0	Moeilijk uitvoerbaar ivm belangen; beperkte effectiviteit
Vervangen van lekke, drainerende riolen	Infrastructuur / wijk	50 jr	++	- -	- Mogelijk extra wateroverlast; daarom vaak drainagesysteem nodig	0	Meekoppelen is nodig
Afkoppelen hemelwaterafvoer, infiltreren van regenwater	Infrastructuur / wijk	30 jr	++	-	+ Verkleint de kans op wateroverlast	0	meekoppelen
Beperken van de wegzijging door herstel afsl.lagen en/of minder onttrekkingen	Wijk	Permanent	+	0	- Mogelijk extra wateroverlast	0	
Aanvullen grondwater door gecombineerde drainage/infiltratie	Wijk	30 jr	++	-	+ Minder grondwater-overlast	0	Vergt extra wateraanvoer uit de omgeving; meekoppelen
Verhoging doorspoeling	Wijk	Permanent	++	++	0	Betere (zwem)water-kwaliteit	Vergt extra wateraanvoer uit de omgeving Betere stedelijke ecologie

5.3.2 Gevolgen voor de watervraag aan het regionale systeem

RHDHV (2021, in prep.) heeft waterbalansberekeningen uitgevoerd voor fictieve stedelijke gebieden in Nederland, met drie typen van stedelijke concentratie, zes landschapstypen, twee klimaatscenario's, drie zichtjaren, vier droogtegraden en drie maatregelpakketten. Voor de zes landschapstypen, het huidige en het toekomstige klimaat is de watervraag berekend als de hoeveelheid water die nodig is om het waterpeil in het stedelijke open water te handhaven (ook al zal in werkelijkheid zeker in hoog Nederland het water uitzakken). De watervraag is hier weergegeven als het gemiddelde van de drie verstedelijkingstypen hoogstedelijk, stedelijk en suburbaan (voor omschrijving zie rapport RHDHV, in prep.). Zie tabel.

Tabel 5.6 *Watervraag per ha en per jaar, stedelijk gebied, per landschapstype, bij huidig klimaat, bij klimaatscenario WH in 2050 en bij klimaatscenario WH in 2085. De watervraag is gedefinieerd als de hoeveelheid water die nodig is voor handhaving van het openwaterpeil in stedelijk gebied (ook als het peil in werkelijkheid niet gehandhaafd wordt). Bron: watervraag per ha in RHDHV, in prep.; omwerking naar totalen per landschapstype door Deltares.*

Landschapstype	droogtegraad	huidig klimaat	WH2050	WH2085	huidig klimaat	WH2050	WH2085
	Extreem droog: 1976	watervraag jaar (m3/ha)	watervraag jaar (m3/ha)	watervraag jaar (m3/ha)	watervraag jaar (Mm3)	watervraag jaar (Mm3)	watervraag jaar (Mm3)
	Droog: 2003						
	Gemiddeld: 2017						
duinlandschap	extreem droog	1695	1632	1628	70	67	67
	droog	1265	1252	1215	52	52	50
	gemiddeld	856	919	898	35	38	37
heuvellandschap Z-L	extreem droog	1752	1674	1664	38	37	36
	droog	1283	1266	1232	28	28	27
	gemiddeld	753	861	860	17	19	19
rivierkleinlandschap	extreem droog	23	78	154	2	6	13
	droog	87	200	237	7	17	20
	gemiddeld	0	0	0	0	0	0
	extreem droog, voorkomen uitzakken grondwaterstand	80	180	293	7	15	24
veenlandschap	extreem droog	1919	2192	2450	62	71	79
	droog	1718	2124	2234	56	69	72
	gemiddeld	865	1120	1187	28	36	38
	extreem droog, voorkomen uitzakken grondwaterstand	1908	2178	2421	62	70	78
zandlandschap	extreem droog	2069	2067	2125	670	670	689
	droog	1695	1779	1748	549	576	566
	gemiddeld	1000	1137	1129	324	368	366
zeekleinlandschap	extreem droog	306	384	458	57	72	86
	droog	294	393	431	55	73	81
	gemiddeld	67	110	132	13	21	25
	extreem droog, voorkomen uitzakken grondwaterstand	335	415	492	63	78	92



Figuur 5.7 Landschapstypen zoals gebruikt in bovenstaande tabel (Bron: CultGis, geraadpleegd via www.pdok.nl)

Voor laag Nederland zijn twee voorlopige conclusies:

- het handhaven van een minimum grondwaterpeil (d.w.z. dat in de berekening wordt aangenomen dat als het grondwater lager zakt, dit direct wordt aangevuld) leidt tot een extra watervraag in de orde van 30 tot 180% van de huidige maximale watervraag per decade. De aanname is dat de maatregelen zijn genomen die nodig zijn om deze hoeveelheid water in de bodem te laten infiltreren.
- deze extra watervraag kan bovendien door klimaatverandering tot 2050 nog eens extra toenemen met 15 tot 50%.

5.3.3 Meekoppelmomenten

De aanpak van klimaatadaptatie in stedelijk gebied speelt op uiteenlopende ruimtelijke en tijdschalen en met uiteenlopende stakeholders. Ruimtelijke schalen die worden gehanteerd zijn gebouw – kavel – straat - wijk – gebied, en naar eigenaar: kavel – openbare ruimte. De relevante tijdschalen hangen samen met het beheer en levensduur van assets. Bijvoorbeeld, schaalniveau gebouw: gemiddeld wonen mensen 7 jaar in een huis, wat eens in de 7 jaar een tijdslot geeft waarin aanpassingen gebeuren. Schaalniveau wijk: riolen en andere infrastructuur worden circa eens in de 50 jaar grootschalig onderhouden of vervangen. Bestrating zit daartussenin.

5.3.4 Wateroverlast

De oplossingsrichtingen voor het regenbestendig maken van de stedelijke omgeving zijn: water afvoeren, water gebruiken, water infiltreren, water vasthouden/bergen en waterrobuust bouwen ([Extreme regen | Amsterdam Rainproof](#))

Om de gevolgen van wateroverlast te beperken moet de inrichting van het stedelijke gebied adequaat worden aangepast. Stichting Rioned heeft een overzicht gemaakt van de maatregelen die gemeenten kunnen nemen om wateroverlast door intensieve neerslag te voorkomen. Daarnaast biedt de ontwerptool van Groenblauwe Netwerken een inspirerend overzicht van maatregelen, inclusief een filter om lokaal geschikte maatregelen te vinden.

Diverse websites (o.a. <https://www.riool.net/wateroverlast-in-waterstad>, <https://www.rainproof.nl/>) geven min of meer complete overzichten van wat huiseigenaren en gemeenten kunnen doen. De website Rainproof bevat een catalogus van 56 maatregelen, ingedeeld naar bovenvermelde oplossingsrichtingen. De website is met name gericht op particulieren. Veel van de maatregelen dienen meerdere doelen; ze kunnen bijvoorbeeld ook hittestress beperken of de biodiversiteit stimuleren.

Waterschappen en provincies kunnen, samen met gemeenten en agrariërs, een aantal dingen doen om wateroverlast door langdurige neerslag te voorkomen. Ze kunnen bijvoorbeeld waterberging in het landelijk gebied creëren, door landbouwgronden te laten vernatten, uit productie te nemen of om te vormen in water-bergings-gebieden. De website WaterWindow geeft een overzicht van water- en klimaatoplossingen die kunnen bijdragen aan het klimaatbestendig en waterrobuust inrichten van de omgeving. Voor problemen met grondwater bestaan veel bouwkundige oplossingen. Op de website van Rioned staat een aantal relatief eenvoudige oplossingen. De website geeft ook een overzicht van de rollen van verschillende partijen en de daarbij horende verantwoordelijkheden. De website van Bodem+ ontsluit goede voorbeelden en praktijkkennis om grondwater te betrekken in de gemeentelijke structuurvisie.

Synergieën en conflicten

Wateroverlastmaatregelen kunnen naast hun beoogde effect een bijdrage leveren aan bijv. de waterkwaliteit, het voorkómen van te lage grondwaterstanden, het verminderen van hittestress, het vergroten van de biodiversiteit, de kwaliteit van de stedelijke omgeving of de gemeentelijke groenstructuur.

Conflicten en knelpunten hangen vooral samen met het ruimtebeslag (zowel boven- als ondergronds) van de geplande maatregelen en met beperkingen die de maatregelen opleggen aan ander gebruik (bijv. een afvoergoot in de straat voor fietsverkeer).

Tabel 5.7 Baten van maatregelen om de stedelijke omgeving beter bestand te maken tegen wateroverlast¹⁴

Eigendom	Schaal	Modules	Maatregelen	Bijkomende effecten						
				Waterkwaliteit	Luchtkwaliteit	Biodiversiteit	Hitte	Multifunctioneel ruimtegebruik	Constructiekosten	Onderhoud/beheerkosten
Privé	Gebouw	Watervasthoudende daken	Extensieve groene daken	xx	x	xx	xx	xx	x	x
			Intensieve groene daken	xx	x	xxx		xx	xx	xx
			Verblijfsdak/Daktuin	xx	x	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
		Waterbergende daken	Waterdaken	xxx			x	xx	xx	x
			Retentiedak/Polderdak	xxx	x	xx		xx	xxx	xx
		Waterbergende gebouwen	Regenwateropslag onder gebouwen	xx				xxx	xxx	xx
	Regenwater hergebruik gebouwen	Regenwatergebruik in gebouwen	xx				xx	xx	x	
	Watertegenhoudende gebouwen	Verhoogd bouwen					xx	xxx	x	
		Drempel of verhoogd vloerpeil	x				x	x	x	
		Afsluitbare gebouwen	xx				x	xx	x	
	Waterrobuuste gebouwen	Pomp met terugslagklep	x				x	xx	x	
		Regenbestendige constructie en materiaalkeuze	xx				xx	xx	x	
Kelders waterrobuust inrichten		x				x	x	x		
Inpandige rainproof nutsvoorzieningen		xx				xx	xx	xx		
Kavel	Waterbergende kavels	Regenton	x				x	x		
	Groene wanden	Groene gevel	x	x	xx	xx	xx	x	x	
		Geveluintje	x	x	x	x	x	x	x	
Groene kavel randen	Groene erfafscheiding	x	x	xxx	xx	xx	x	x		
Privé & openbaar	Kavel en openbare ruimte	Watervasthoudende bakken	Waterpleinen	xxx		x	x	xxx	xxx	xxx
			Watervasthoudende plantenbakken	xx	x	x	x	xx	x	x
		Watervasthoudend groen	Greppels	xxx	x	xx	x	xx	xx	x
			Reliëf in groen	xx	x	x	x	xx	x	x
			Infiltratiestroken met bovengrondse opslag	xxx	x	x	x	x	xx	x
			Regenwatervijvers	xxx	x	xxx	xx	xxx	xx	xx
	Ondergrondse infiltratie stelsels	Wadi's	xxx	x	xx	xx	xx	xx	x	
		Omgekeerde drainage/IT-riool	xxx				xx	xx	xx	
	Infiltratie verharding/maaiveld	Infiltratieputten	xxx				xx	xx	xx	
		Infiltratiekragen	xxx				xxx	xx	xx	
		Waterpasserende verharding	x	x	x	x	x	x	x	
		Grasbetonstenen	xx	x	x	x	x	x	x	
Half-verharding	Verharding eruit, groen erin	xx	x	xx	xx	xx	x	x		
	Infiltratievelden	xxx	x	x	xx	xx	x	x		
Goten	Zachte half-verharding	xx	x	x	x	x	x	x		
	Harde half-verharding	xx	x	x	x	x	x	x		
Openbaar	Infra	Waterbergende straat	Bedekte goten	xx					xx	xx
			Open goten	xx						xx
Water robuuste straten		Holle weg	xx				xx	xx	x	
		Verhoogde trottoir	xx				xx	x	x	
Voorbehandeling water van wegen		Geleiding regenwater over de weg	xx				xx	x	x	
		Drempels voor watersturing	x				xx	xx	x	
Gebied	Gebied	Vergroten afvoer	Rainproof nutsvoorzieningen	xx				xx	xx	x
			Groene bermen en groen langs wegen	xx	x	x	x	x	x	x
Ruimte voor stroom		First flush cut	xxx					xx	xx	
		Vergroten riooldiameter						xxx	xx	
Behandeling van water		Stadsuiterwaarden	x				xxx	xx	xxx	
		Stedelijke waterlopen	xx			x	x	xx	xx	
Duurzaam waterbeheer	Afkoppelen van riool	Regenpijp afkoppelen	xx					x	x	
	Vergroen	Bepanting	xx	x	xx	xx	xx	x	x	
		Droog- en natbestendige planten	xxx	x	xxx	x	x	xx	x	
	Duurzaam waterbeheer	Behandeling van water	Helofytenfilter	xxx	x	xxx	x	xxx	xx	x
Zuivering door kunstmatige moeras en vijvers		xxx	x	xxx	xx	xxx	xx	xx		
Duurzaam waterbeheer	Waterelementen	x				x	x	xx	xx	
	Tijdelijke regenwaterbuffers	xx				xxx	xx	xx		
	Seizoensberging	xx	x	xx	x	xx	xxx	xx		
		Flexibel peilbeheer	xxx				x	xx		

¹⁴ <https://openresearch.amsterdam/nl/page/59222/deel1---casus-amstel-stad-amsterdam>

5.3.5 Samenvatting mogelijke maatregelen stedelijk gebied

Het voorkomen van de gevolgen van droogte, hitte en wateroverlast in stedelijk gebied is een kwestie van elke kans in ruimte en tijd benutten om adaptatiemaatregelen door te voeren. De ruimtelijke inpassing van maatregelen vergt een zorgvuldige planning en afstemming met alle betrokkenen. De governance moet erop gericht zijn om de voorwaarden te creëren waaronder alle betrokkenen willen meewerken en daarmee de meekoppelmomenten maximaal te benutten. Maatregelen die genomen kunnen worden voor klimaatadaptatie in stedelijk gebied zijn te divers en vaak te locatie-specifiek om in dit rapport uitputtend te behandelen. Er zijn op het internet diverse bruikbare overzichten beschikbaar (zie links in de tekst). Tabellen 5.5 en 5.7 geven een overzicht van de belangrijkste maatregelen. De tabellen laten zien dat de maatregelen om droogte en wateroverlast te voorkomen vrijwel zonder uitzondering ook andere positieve bijwerkingen hebben, op hitte, op leefbaarheid, op biodiversiteit. De snelheid waarmee deze maatregelen kunnen worden geïmplementeerd hangt samen met het onderhoud en beheer van de assets (zie hieronder): die leveren de meekoppelmomenten, maar ze lopen sterk uiteen per type asset.

Alleen klimaatadaptatie is, tenzij de huidige problemen al urgent zijn, onvoldoende motivatie om een gebouw, straat of wijk versneld aan te pakken. Adaptatie meenemen als onderdeel van een integrale aanpak (meekoppelen) is de regel. Daarbij kan een andere, kortere termijnopgave, de stuwende kracht zijn, zoals de energietransitie, verbetering van de leefomgeving of wijziging in de vervoersmodaliteit van binnensteden.

6 Waterveiligheid

6.1 Ernst en urgentie

In sterkere mate dan bij de onderwerpen van de voorgaande hoofdstukken is voor waterveiligheid de ernst en urgentie voor de komende decennia gedetailleerd onderzocht en vastgelegd. De hoofdlijnen van het waterveiligheidsbeleid zijn vastgelegd in de Deltabeslissing Waterveiligheid DP2015. Daarin is vrijwel volledig ingezet op het verkleinen van de kans op een overstroming door hoogwaterbescherming met behulp van waterkeringen. Daarvoor zijn nieuwe beschermingsnormen afgeleid. Er zijn geen concrete maatregelen voorzien die de toenemende kwetsbaarheid voor overstromingen beperken, behalve betere voorbereiding op evacuatie, noch maatregelen die de blootstelling kunnen beperken. Vanuit internationaal perspectief bezien is dat eenzijdig; het past wel in een Nederlandse traditie.

De herijking van het Deltaprogramma stelt dat de deltabeslissing Waterveiligheid inmiddels is verankerd in wet- en regelgeving of in beleid. En dat verdere aanpassing van de Deltabeslissing op dit moment niet nodig wordt geacht. De klimaatverandering en de sociaaleconomische ontwikkelingen zoals die zich volgens de nieuwste inzichten voltrekken, vallen binnen de bandbreedte van de ontwikkelingen waarop de wettelijke normen gebaseerd zijn.

Na 2050

Voor de periode na 2050 tekenen zich nieuwe uitdagingen af. Er zijn aanwijzingen voor een versnelde zeespiegelstijging na 2050. Voor onderzoek naar de gevolgen hiervan is het Kennisprogramma Zeespiegelstijging opgezet met onder andere als doel het verkennen wat de verschillende handelingsperspectieven kunnen zijn na 2100.

De verkenning start met een analyse van plannen en initiatieven die er al liggen: wat valt hieruit te leren over mogelijke alternatieve strategieën voor de verre toekomst? Een keuze voor één bepaalde oplossingsrichting ligt de komende jaren niet voor de hand. Het onderzoek beoogt in beeld te krijgen welke “no regret” keuzes en maatregelen mogelijk zijn om kansrijke opties voor de verre toekomst open te houden.

Zeespiegelstijging in relatie tot waterveiligheid

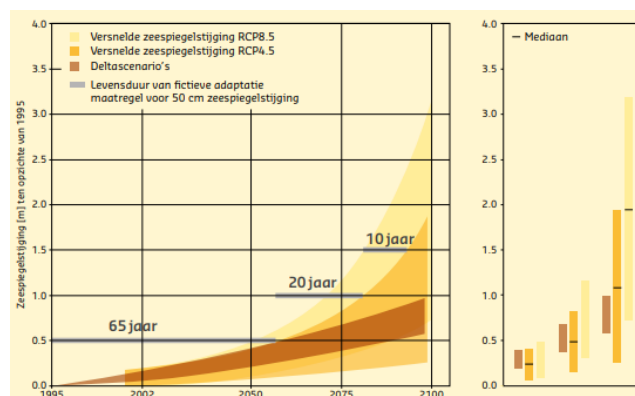
Het Deltaprogramma Waterveiligheid is erop gericht dat de hoogwaterbescherming in 2050 zal voldoen aan de nieuwe veiligheidsnormen. Hiertoe moet voor 2050 een groot aantal maatregelen worden uitgevoerd; deze zijn opgenomen in (lang) lopende uitvoeringsprogramma's. De belangrijkste maatregelen zijn versterking van waterkeringen, rivierverruiming, aanpassing van stormvloedkeringen en vergroting van de pompcapaciteit van de Afsluitdijk.

Bij een versnelde zeespiegelstijging komen nieuw te maken keuzes in beeld voor de periode na 2050, zoals het aanpassen van de afvoerverdeling van de rivieren, het aanpassen of vervangen van de Maeslantkering, Hartelkering en Hollandse IJsselkering, het al dan niet handhaven van de streefpeilen in het IJsselmeer en Markermeer, een beslissing of de huidige kustlijn gehandhaafd wordt en het al dan niet afsluiten van de Nieuwe Waterweg door de aanleg van een zeesluis.

Voor de Rijn-Maasdelta blijft het huidige systeem van afsluitbare open stormvloedkeringen de komende decennia de basis voor de bescherming tegen hoge zeewaterstanden. In het Deltaprogramma 2021 wordt een brede bovenregionale systeemanalyse genoemd voor de lange termijn (2070 – 2100). Een brede set van beleidsopties kan daarbij in beeld komen: afsluitbare alsook gesloten keringen in de mondingen van de rivieren, wijziging in de afvoerverdeling en in de berging in de Zuidwestelijke Delta.

Dijkversterkingen en inzet van pompen op de Afsluitdijk blijven de belangrijkste oplossingen om aan de waterveiligheidsnormen van het IJsselmeergebied te voldoen. Bij een stijgende zeespiegel nemen de mogelijkheden om onder vrij verval te spuien bij de Afsluitdijk verder af. Na 2050 is beperkt meestijgen van het gemiddelde winterpeil op IJsselmeer en Markermeer een optie om adaptief te kunnen inspelen op onverwachte ontwikkelingen. Het gaat om een stijging met maximaal 30 cm om negatieve effecten op waterkeringen, buitendijkse gebieden en regionaal waterbeheer te beperken. Voor de IJssel-Vechtdelta is uit onderzoek gebleken dat een "slimme combinatie" van dijkversterkingen en gevolgbeperking door ruimtelijke oplossingen onvoldoende efficiënt is om het gewenste veiligheidsniveau te behalen.

Voor de hoogwaterbescherming van Nederland vormen de grote stormvloedkeringen en zeesluizen belangrijke schakels. De functionaliteit van deze keringen wordt onder meer bepaald door het kerende vermogen en de frequentie waarmee de keringen moeten sluiten. Deze eigenschappen komen bij versnelde zeespiegelstijging verder onder druk te staan: de levensduur van kunstwerken wordt korter. Het wordt dan ook steeds belangrijker om robuust te ontwerpen en in het ontwerp al bewust rekening te houden met mogelijke uitbreidingen, verhogingen en/of versterkingen van de waterkeringen om versnelde zeespiegelstijging te kunnen opvangen.



Verkleining van de functionele levensduur van adaptatiemaatregelen bij zeespiegelstijging (Bron: Haasnoot et al. (2019))

6.2 Opgave

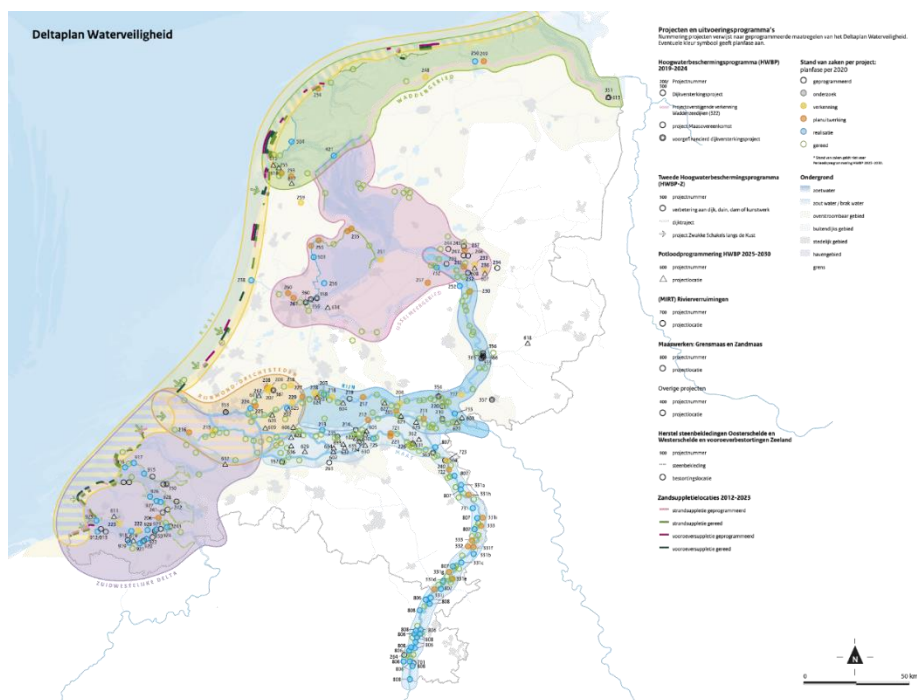
De grondslag onder de deltabeslissing Waterveiligheid is dat de kans op overlijden door een overstroming voor iedereen achter de dijken uiterlijk in 2050 niet groter mag zijn dan 1 op 100.000 per jaar (10^{-5} ofwel 0,001%) of dat de baten in termen van schadereductie opwegen tegen de kosten van betere bescherming (vastgesteld met een KBA, met inbegrip van gemonetariseerde slachtoffers).

De opgave om het doel voor 2050 te bereiken is heel groot. De ambitie is dat tot 2050 gemiddeld 50 kilometer dijkversterkingen per jaar gereedkomt. Tot 2024 ligt de realisatie van dijkversterkingen overigens onder dit gemiddelde, omdat voor veel projecten nog voorbereidingen lopen. Daarna zal naar verwachting meer dan 50 kilometer per jaar versterkt gaan worden.

Door de Unie van Waterschappen is een Handreiking Trajectaanpak opgesteld. In de Trajectaanpak wordt de waterveiligheidsopgave uit de beoordeling in beeld gebracht en in samenhang bekeken met de ruimtelijke opgaven in de (traject)omgeving. Daarbij wordt rekening gehouden met bestuurlijke ambities en de beschikbare (organisatie)capaciteit alsook met onzekerheden in ruimtelijke en kennisontwikkelingen. De Trajectaanpak bouwt voort op het veiligheidsbeeld uit de beoordelingsrapportage inclusief het daarin opgenomen handelingsperspectief (concrete verbetermaatregelen, beheer & onderhoud, monitoring & inspectie, etc.).

6.3 Maatregelen

De programmering van maatregelen in het Deltaplan Waterveiligheid vindt plaats in overleg met de betrokken overheden, waarbij het veiligheidsrisico de basis voor de prioritering vormt. De maatregelen voor hoogwaterbescherming krijgen waar mogelijk een integrale uitvoering, rekening houdend met gebiedsontwikkelingen, waarbij een tijdige aanpak van het veiligheidsrisico altijd randvoorwaarde is.

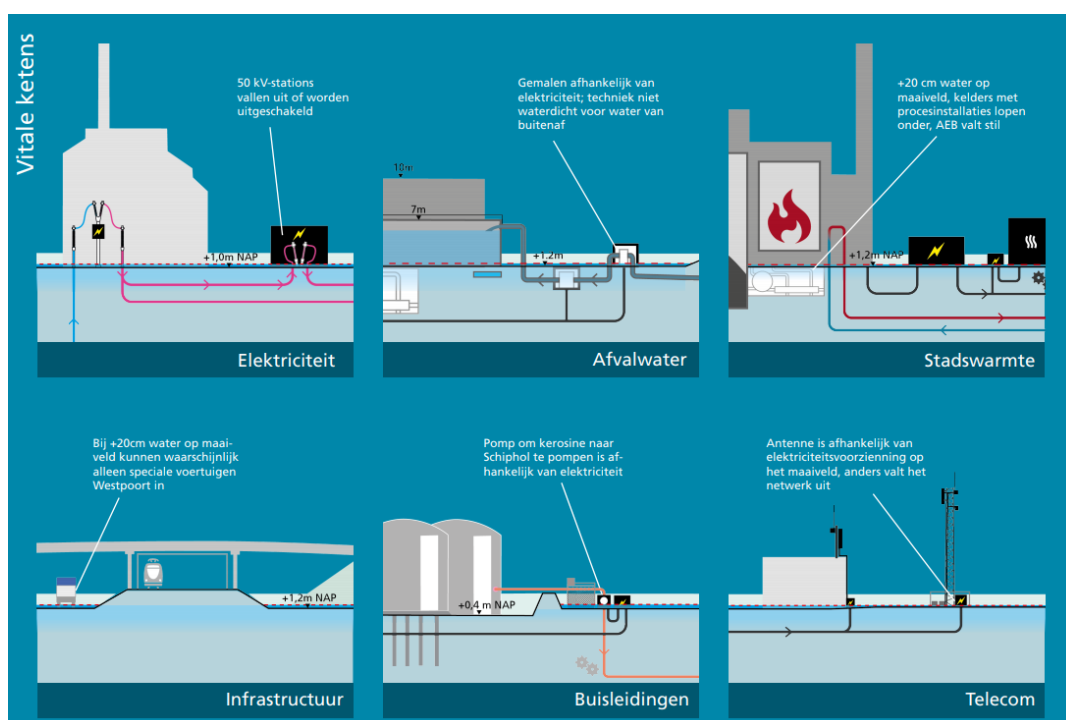


Figuur 6.1 Projecten Deltaprogramma Waterveiligheid

Gevolgbeperking via ruimtelijke inrichting

Het Deltaprogramma stelt zich niet alleen te richten op een adequate bescherming tegen overstromingen, maar ook op het beperken van schade en slachtoffers bij een overstroming. De kans op een overstroming is weliswaar heel klein, maar de gevolgen kunnen zeer groot zijn. De gevolgen van overstromingen zijn te beperken met slimme keuzes in de ruimtelijke inrichting en door crisisbeheersing. De Werkgroep Gevolgbeperking overstromingen heeft hierover in 2018 geadviseerd (DP2020). Het beperken van de gevolgen van overstromingen moet meegenomen worden bij beslissingen over nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen en herstructureringen, beheer en onderhoud, (bedrijfs)investeringen en bij het opstellen van calamiteitenplannen. Gevolgbeperking bij overstromingen via ruimtelijke inrichting is geen onderdeel van het Deltaplan Waterveiligheid, maar onderdeel van het Deltaplan Ruimtelijke adaptatie.

In een aantal gebieden is en wordt al gewerkt aan gevolgbeperking van overstromingen. Voorbeeld is Westpoort, het havengebied van Amsterdam met een grote concentratie aan vitale en kwetsbare functies.



Figuur 6.2 Vitale ketens in het Westpoortgebied waarvan uitval ernstige indirecte gevolgen kan hebben in geval van overstromingen.

Voor het gebied van Westpoort is in samenwerking met overheden en bedrijven onderzocht hoe de gevolgen van eventuele overstroming beperkt kunnen worden door aanpassingen in de ruimtelijke inrichting en de crisisbeheersing. Er is een Adaptatiestrategie Waterbestendig Westpoort ontwikkeld (Koeze et al., 2017). Het gaat in feite om een regionale invulling van meerlaagsveiligheid. De adaptatiestrategie omvat een set concrete maatregelen en de daarvoor verantwoordelijke partijen. De voor Westpoort gehanteerde aanpak en ontwikkelde adaptatiestrategie worden nu benut bij het versterken van de klimaatbestendigheid van vitale, kwetsbare functies in de Metropoolregio Amsterdam.

6.4 Synergieën en knelpunten

In de uitvoering van het programma tekent zich nog een aantal uitdagingen af:

- Uitvoering van versterkingen in de Maasvallei leidt voor een reeks normtrajecten tot inpassingsproblemen. In opdracht van de provincie Limburg wordt onderzocht in hoeverre het overstromingsrisico ook op andere manier beheerst kan worden. Daarbij zijn verschillende opties in beeld, waaronder meerlaagsveiligheid, normaanpassing en wijziging van status van keringen.
- In een gebied kunnen forse nieuwe investeringen worden overwogen of uitgevoerd, die op termijn aanleiding kunnen geven tot een aanpassing van de norm (het beschermingsniveau). Dit geldt bijvoorbeeld voor de Wieringermeer, waar datacenters zijn gebouwd, met plannen voor nog meer. Los van de schade aan de investering kunnen er bij een overstroming cascade-effecten optreden omdat bepaalde diensten voor langere tijd niet geleverd kunnen worden.

Integraal Riviermanagement

In het Programma Integraal Riviermanagement (IRM) richten Rijk en regio zich op de opgaven en kansen in het rivierengebied tot 2050, met een doorkijk naar 2100. De opgaven komen onder meer voort uit de nieuwe hoogwaterbeschermingsnormen, de laagwaterproblematiek, het faciliteren van de scheepvaart en de doelen voor duurzame zoetwatervoorziening en goede ecologische waterkwaliteit en natuur (ook bij langdurige perioden van droogte).

Binnen IRM wordt een integrale visie op het rivierengebied ontwikkeld. Onderdeel daarvan is een integrale analyse van het riviersysteem, met aandacht voor de afvoercapaciteit en de bodemligging van de rivieren. Ook functies in en langs de rivieren, zoals scheepvaart, natuur en ecologische waterkwaliteit, zoetwaterbeschikbaarheid en ruimtelijk-economische ontwikkelingen komen aan bod. Het doel van de analyse is te komen tot een toekomstbestendig riviersysteem dat meervoudig bruikbaar is en als systeem goed functioneert.

Ruimtelijke implicaties

- Er worden nog maar weinig plannen gemaakt met ruimtelijke implicaties, terwijl daar op zich wel veel oproepen toe zijn (denk aan Panorama Nederland van het College Rijksadviseurs of Ontwerplaboratorium Rijntakken van Atelier X).
- Plannen in het rivierengebied met ruimtelijke implicaties zijn veelal kleinschalig. Er is veel discussie over de inrichting van de Lob van Gennep. Een aantal rivierverruimende maatregelen gaat waarschijnlijk wel lopen, o.a. de IJsselpoort en de Meanderende Maas (<https://www.meanderendemaas.nl/>). Bij de IJssel wordt een kleine dijkverlegging voorbereid (onderdeel van PAGW (Programmatische Aanpak Grote Wateren, de natuurbijdrage aan IRM)).
- Binnen IRM wordt gewerkt aan een Systeembeschouwing, ter onderbouwing van de boodschap dat er enerzijds substantieel ruimte moet gaan komen voor 10-15% meer hoogwaterafvoer en anderzijds de rivierwaterstanden bij lage rivierafvoeren juist omhoog moeten.
- Nader onderzoek vanuit provincie Limburg naar mogelijke alternatieven van iets minder scherpe normen voor een deel van de normtrajecten binnen de Maasvallei.
- Voor aangepast bouwen is de inschatting dat dit doorgaans te duur wordt gevonden, zeker in een situatie met heel kleine overstromingskansen.
- Er bestaat nog wel een aantal ruimtelijke reserveringen voor noodoverloopgebieden in het kader van de Barro (Besluit algemene regels ruimtelijke ordening):
 - Ruimtelijk Reserveren Rijnstrangen, Deltaprogramma Rivieren in het kader van Reserveren met ruimte voor ontwikkeling;
 - Onderzoek effecten ruimtelijke reservering Varik-Heesselt.

- De PAGW heeft concrete ambities ten aanzien van het realiseren in het rivierengebied van arealen van verschillende ecotooptypen. Deze zijn nog niet alle uitgewerkt op kaart en vragen vooral aankoopbeleid. Eerste indruk is dat ambities niet altijd goed sporen met waterveiligheidsdoelen.
- Binnen IRM wordt gewerkt aan maatregelpakketten bestaande uit rivierverruiming , dijkversterking en sedimentmanagement (i.v.m. handhaving rivierbodemplugging). Dit is nog in ontwikkeling.
- Verschillende waterschappen maken BOVI's (Blauwe Omgevingsvisies). Het waterschap Vallei en Veluwe bijvoorbeeld heeft de BOVI2050 vormgegeven via een website, www.bovi2050.nl, en een boek.
- De wetenschappelijke review van de synthesesdocumenten in het kader van de herijking van de Deltabeslissingen pleit voor meer samenhang tussen de Deelprogramma's Zoetwater, Waterveiligheid en Ruimtelijke Adaptatie, en roept op tot meer nationale sturing en coördinatie.

7 Bestuurlijke implementatie

7.1 Inleiding

Als gevolg van klimaatverandering en toenemende druk op de beschikbare ruimte wordt het voor het waterbeheer steeds lastiger om alle functies van het watersysteem, zoals landbouw, natuur, scheepvaart, drinkwater en hoogwaterbescherming tegelijk te faciliteren. De bestuurlijke opgave die hieruit voortvloeit is te veelomvattend om in dit rapport uitputtend te behandelen. We willen hier slechts twee bestuurlijke opgaven benadrukken: 1) het benutten van synergiemogelijkheden en het mitigeren van neveneffecten; en 2) het managen van ruimtelijke transitie.

In de voorgaande hoofdstukken is bij de besproken maatregelen aangegeven of er sprake is van synergieën of knelpunten met andere gebruiksfuncties of beleidsterreinen. Het benutten resp. mitigeren hiervan is een eerste bestuurlijke opgave, die wordt besproken in paragraaf 7.2.

Tabel 7.1 *Overzicht van de belangrijkste maatregelen per deelgebied of sector, indicatief in de tijd gezet, en met een indicatie van de bestuurlijke complexiteit, oplopend van sectorale naar integrale naar transitiegerichte besluitvormingsprocessen.*

		droogte hoog NL	droogte laag NL	stedelijk	waterveiligheid	scheepvaart
2020	sector-georiënteerd	wateraanvoer landbouw	peilbeheer en doorspoeling	maatregelen droogte en wateroverlast, meekoppelen ad-hoc	programma dijkversterking, loopt tot 2050	betere informatie vaardiepte, betere voorspellingen, kleinere schepen
		efficiënte irrigatie	wateraanvoer landbouw	organiseren data-uitwisseling; structureel meekoppelen	invlechting veiligheid in RO	baggerbeheer optimaliseren
		regelbare drainage, verondieping, waterconservering	opslag kreekruigen	tegengaan veenoxidatie	herijking strategie DP in 2026	langsdammen
2050	integraal	kavelruil en aanleg buffers landbouw-natuur		nationale kaders voor energie- en klimaattransities		modal shift
		aanpassen teelt-plannen inc. afzetmarkt	aanpassen teelt-plannen inc. afzetmarkt		Integraal rivier-management	aangepast voorraadbeheer bedrijven
		functieverandering	functieverandering			integraal rivier-management
2100	transitie-gericht	+ stikstofbeleid + biodiversiteit + energietransitie + consumenten-gedrag	+ stikstofbeleid + biodiversiteit + energietransitie + consumenten-gedrag	+ energietransitie + bereikbaarheid + biodiversiteit + consumenten-gedrag	fundamentele aanpassingen aan versterkte zss?	

De tweede bestuurlijke opgave is gerelateerd aan een ingrijpende aanpassing van het ruimtegebruik, die als transitie kan worden opgevat. De maatregelen die in de voorgaande hoofdstukken aan de orde zijn geweest zijn in 1te delen in twee groepen: als passend bij 'systeem volgt functie' (SVF), of als passend bij 'functie volgt systeem' (FVS). De tweede groep maatregelen vergt veel bredere en verdergaande aanpassingen dan de eerste. Dit omdat niet alleen de waterbeheerders maatregelen moeten nemen of hun werkwijzen veranderen, maar vooral ook de watergebruikers, die daarin weer afhankelijk zijn van de context (bijv. de markt) waarin ze opereren.

De impliciete aanname is dat FVS opkomt waar het besef ontstaat dat SVF niet langer vol te houden is, ook niet met 'slimme' integrale SVF-maatregelen. Als FVS opkomt schuift de bestuurlijke opgave op naar het managen van transities. Dit wordt besproken in paragraaf 7.3.

Tabel 7.1 geeft schematisch de belangrijkste maatregelen weer in een indicatieve tijdschaal en met een indicatieve inschatting van de bestuurlijke complexiteit van de maatregelen (sectoraal, integraal of transitiegericht).

7.2 Meekoppelkansen, synergieën en knelpunten

7.2.1 Landelijk gebied

Tabel 3.2 en Tabel 3.5 geven de belangrijkste maatregelen voor droogtebeheer in hoog resp. laag Nederland, met daarbij een indicatie van mogelijke synergieën en knelpunten. De *governance* van deze maatregelen loopt via bestaande sporen, de waterbeheerplannen van rijk, provincies en waterschappen en de gebiedsprocessen van het DP-ZW. Ook de bepaling van GGOR kan hierin lessen opleveren.

Vanuit het DP-ZW is de insteek tot dusver vooral dat de diverse sectoren (landbouw, natuur, energie etc.) randvoorwaarden aanleveren waaraan het DP-ZW probeert te voldoen. Daarbij kan de kanttekening worden gemaakt dat de grootste urgentie voor aanpassingen niet *per se* bij het waterbeheer hoeft te liggen, maar ook van andere beleidsterreinen afkomstig kan zijn, bijvoorbeeld van het nitraatbeleid.

De vraag is of het huidige tempo van voortgang en opschaling van maatregelen voldoende is om de problemen voor te blijven (paragraaf 3.7). In paragraaf 7.3 komt aan de orde of het voor de grote opgaven niet nodig is om hier een actievere en ambitieuzere opstelling in te kiezen.

7.2.2 Stedelijk gebied

De bestuurlijke opgave in stedelijk gebied is samengevat in par. 0: 'Bouwopgave, infrastructuur, bereikbaarheid, ondergrond, duurzaamheid, energietransitie, klimaatrobuustheid, water, biodiversiteit, leefbaarheid moeten bij elkaar worden gebracht. Dit vergt een systematischere en gestructureerdere aanpak van meekoppelkansen dan tot nu toe wordt gevolgd.' Dit geldt voor de opgaven op het gebied van zowel hittebestrijding als droogte als wateroverlast in de stad.

Het structureel benutten van meekoppelkansen vraagt om een registratiesysteem van de levensduur van assets, zoals de riolering en gasleidingen, dat inzichtelijk maakt wanneer deze vervangen moeten worden. Er moet dan een oplossing worden gevonden voor het feit dat dit vaak gevoelige (bedrijfs)informatie betreft, wat het delen van die data tegenhoudt. Een registratiesysteem kan gebruikt worden om werkzaamheden te combineren voor zowel werkzaamheden binnen de gemeente en van partijen daarbuiten (zoals netbeheerders). Het benutten van meekoppelkansen vraagt bovendien om beleid en regie om de investeringsagenda's met elkaar te synchroniseren. Daarnaast blijkt dat als de gelegenheid van een meekoppelkans zich voordoet, deze in de praktijk nog steeds lastig te verzilveren is. Het tempo van aanleg van typen assets en typen organisaties verschilt (Warming Up, 2020). Verschillende gemeenten, beheerders en ontwikkelaars experimenteren met integraal of meervoudig ontwikkelen. Er zijn diverse voorbeelden waarin meerdere functies op één plek gecombineerd zijn en waarvoor een innovatieve meervoudige business case is ontwikkeld. Kosten en baten pakten gunstiger uit door integraal te ontwikkelen en de uiteindelijke

oplossing bood meer kwaliteit van de leefomgeving. Denk aan speelpleinen die tevens waterplein zijn, aan een voetbalveld waaronder een waterberging gerealiseerd is, aan een voormalige stortplaats die ontwikkeld is tot landschapspark inclusief natuurvriendelijk wonen, etc. (Warming Up, 2020).

In het stedelijke gebied is er in potentie voor particuliere eigenaren een grote rol bij klimaatadaptatie. Veel maatregelen, zoals het verbeteren van infiltratie en drainage en het beperken van snelle hemelwaterafvoer, worden niet in de eerste plaats in de openbare ruimte genomen maar op particuliere kavels.

De gemeente zou een logische partij zijn om een regierol op zich te nemen en om particuliere eigenaars, de privésector en andere overheden te motiveren mee te doen. De (maatschappelijke) baten zouden hiervoor in kaart gebracht moeten worden. Baten zijn te verwachten als in het beheer of bij inpassing van nieuwe (ondergrondse) functies sneller gewerkt kan worden doordat data beter op orde zijn, duidelijk is waar er plaats is voor nieuwe ontwikkelingen, en kosten en hinder worden vermeden. De Omgevingswet stelt weinig ordeningsregels aan de ondergrond, terwijl de impact van de nieuwe ontwikkelingen de komende jaren enorm zal zijn.

De rijksoverheid kan een rol spelen in het ontwikkelen van ondersteunende monitoring- en informatiesites, en door het bevorderen van een 'level playing field' door bijv. uniformering van ruimtelijke en constructieve eisen voor klimaatadaptatie.

7.3 Functieveranderingen en transitie management

Voor sommige gebieden komt er een moment dat aanpassingen aan het watersysteem niet meer opportuun zijn en dat een structurelere oplossing ligt in het aanpassen van de waterafhankelijke functies, zodat die beter passen bij het water- en bodemsysteem. Nu een aantal andere grote opgaven, zoals de landbouwtransitie, de energietransitie, de woningbouw en drinkwaterbevoorrading Nederland ook dwingen tot een heroverweging van de ruimtelijke inrichting van ons land, kan daarbij beter worden aangesloten bij de mogelijkheden van bodem- en watersystemen teneinde onderlinge beïnvloeding (afwenteling) te verminderen. Er is een vorm van transitie management nodig om die gebiedsontwikkelingen vorm te geven door de verschillende opgaven met elkaar te verbinden. De waterbeheerder heeft daarin als taak om te zorgen dat klimaatadaptatie wordt meegenomen door de functieveranderingen zo goed mogelijk in overeenstemming te brengen met de condities van het watersysteem en de ondergrond (naar (van der Brugge et al., 2020)).

De nadruk in het Deltaprogramma heeft met betrekking tot klimaatadaptatie tot op heden vooral gelegen op het aanpassen van het watersysteem en minder op de heroverweging van functies. Er zijn niet of nauwelijks maatregelen gericht op het initiëren en vormgeven van gebiedstransities. Daar zien we langzamerhand verandering in komen, onder andere vanwege de problemen rond droogte en zeespiegelstijging. Bovendien worden andere opgaven zoals de landbouwtransitie, energietransitie en woningbouw steeds dwingender. Binnen het Deltaprogramma wordt met die opgaven wel rekening gehouden, maar dan vooral als gegeven waar het waterbeheer op moet reageren. Het besef dringt echter nu langzaam door dat die transitie ons sowieso zullen gaan dwingen tot een heroverweging van het ruimtegebruik en dat creëert ook openingen.

Het waterbeheer zou een belangrijke stem moeten hebben om ervoor te zorgen dat klimaatadaptatie in die heroverweging wordt meegenomen en die functies in overeenstemming te brengen met de mogelijkheden en condities van het water- en bodemsysteem.

We schetsen een eerste beeld langs de vier lijnen uit de transitie managementcyclus.

De eerste lijn is het opzetten van een transitiearena, een groep van vertegenwoordigers die gezamenlijk aan de slag gaan om de functieheroverweging vorm te geven. Dit soort arena's kunnen werkgroepen zijn onder de bestaande governance-structuren van het Deltaprogramma. Voor de verschillende thema's binnen het Deltaprogramma zijn er regionale overlegstructuren. Dit zijn nu vooral de waterambtenaren vanuit de verschillende overheden, maar deze arena zou juist ook moeten bestaan uit vertegenwoordigers van de andere transitieopgaven en de gebruikers uit het gebied zelf, want zij moeten immers veranderen.

Tweede lijn is het ontwikkelen van een visie of een beeld van waar het gebied heen zou moeten. Het gaat om een integraal beeld, waarin juist de verschillende opgaven die in het gebied spelen aan elkaar worden gekoppeld. Oplossingsrichtingen moeten worden uitgedacht en vertaald worden in transitiepaden voor een gebied. Uitdaging zit hem in de ontwikkeling van transitiepaden, waarin de veranderingen van de functies in de tijd worden geplaatst.

Derde lijn is het implementatieproces. Belangrijk is om de partijen die willen of moeten veranderen te ondersteunen en om afspraken te maken over de termijn. Hiervoor zullen uitkoopregelingen en andere beleidsinstrumenten bij ingezet moeten worden

De vierde lijn is monitoring en evaluatie. Voor het transitieproces is het van belang om de leerervaringen te delen. Er is een adaptieve aanpak nodig, zodat de lessen gebruikt worden om de transitiepaden aan te scherpen of aan te passen.

- anon. (2019). *Klimaatakkoord*.
<https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>
- Asseldonk, M. van, Stokkers, R., & Jager, J. (2021). *Economische effecten van droogte in 2018 en 2019: Een regionale analyse akkerbouw en melkveehouderij* (WEcR rapport 2021-014).
- Baart, F., Rongen, G., Hijma, M., Kooi, H., de Winter, R., & Nicolai, R. (2019). *Zeespiegelmonitor 2018—De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust* (Deltaresrapport).
- Beekers, B., van den Bergh, M., Braakhekke, W., Haanraads, K., & e.v.a. (2018). *Ruimte voor Levende Rivieren—Want levende rivieren geven ruimte!* www.levenderivieren.nl
- Beersma, J. J., Buishand, T. A., & Buiteveld, H. (2004). *Droog, droger, droogst. KNMI/RIZA-bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland*. (KNMI-publicatie 199-II).
- CCR. (2020). *Discussienota “Act now!” over laagwater en de gevolgen daarvan voor de Rijnvaart*.
- Daatselaar, C. H. G., & Prins, H. (2020). *Vernatting Groene Hart: Kostprijs melk en CO2-prijs*. Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/521612>
- de Graeff, J. J., Demmers, M., Hooimeijer, P., Koeman, P. S. J., & et al. (2020). *Stop bodemdaling in veenweidegebieden. Het Groene Hart als voorbeeld*. Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.
- de Jong, J. (2020a). *KBN - Stresstest droogte Maas—Bedreiging: Klimaatverandering. Beschrijving karakteristieke droge jaren met stationaire afvoerniveaus*. Deltares.
- de Jong, J. (2020b). *Stresstest Droogte Rijntakken—Impact op de scheepvaart-Klimaatbestendige Netwerken Hoofdvaarwegennet* (Deltaresrapport 11205274-004).
- de Jong, J., & van der Mark, R. (2020a). *KBN - Stresstest droogte—Mogelijke maatregelen*.
- de Jong, J., & van der Mark, R. (2020b). *KBN-HVWN Stresstest droogte Rijntakken: Toestand van het Systeem en Kwetsbaarheid gebruiksfunctie*. Deltares.
- Dorsser, C. van. (2015). *Very long term development of the Dutch inland waterway transport system: Policy analysis, transport projections, shipping scenarios, and a new perspective on economic growth and future discounting*.
- Haasnoot, M., Kwadijk, J., van Alphen, J., Le Bars, D., van den Hurk, B., Diermanse, F., van der Spek, A., Essink, G. O., Delsman, J., & Mens, M. (2020). Adaptation to uncertain sea-level rise; how uncertainty in Antarctic mass-loss impacts the coastal adaptation strategy of the Netherlands. *Environmental Research Letters*, 15(3), 034007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab666c>
- Haasnoot, M., & Mens, M. (2020). *Presentatie Springtij festival*.
- Janssen, G.M.C.M., P.E.V. van Walsum, I. America, J.R. Pouwels, J.C. Hunink, P.T.M. Vermeulen, A. Meshgi, G.F. Prinsen, N. Mulder, M. Visser en T. Kroon (2020). *Veranderingsrapportage LHM 4.1; Actualisatie van het lagenmodel, het topsysteem en de bodemplant relaties*. Deltares rapport 11205261-000-BGS-0001, 2020
- Klijn, F., Hegnauer, M., Beersma, J., & Sperna Weiland, F. (2015). *Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas?* (Deltaresrapport 1220042-004).
- Klijn, F., van Velzen, E., ter Maat, J., & Hunink, J. (2012). *Zoetwatervoorziening in Nederland—Aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse 21e eeuw* (Deltaresrapport 1205970-000).

- Klimaatbestendige Stad NKWK. (2019). *Klimaatshadeschatter Rapportage 2019*.
file:///C:/Users/wolte_h/Downloads/klimaatshadeschatter_rapportage_2019.pdf
- Klok, E. J. (Lisette), & Kluck, J. (Jeroen). (2018). Reasons to adapt to urban heat (in the Netherlands). *Urban Climate*, 23, 342–351.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.10.005>
- KNMI. (2015). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*.
- Knotters, & Jansen. (2005). 100 jaar verdroging in kaart. *Stromingen*, 11 (2005) 04.
- Koeze, R. (2017). *Adaptatiestrategie Waterbestendig Westpoort, Vitale infrastructuur beter beschermen tegen overstromingen*.
- Kwadijk, J. C. J., Haasnoot, M., Mulder, J. P. M., Hoogvliet, M. M. C., Jeuken, A. B. M., van der Krogt, R. A. A., van Oostrom, N. G. C., Schelfhout, H. A., van Velzen, E. H., van Waveren, H., & de Wit, M. J. M. (2010). Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: A case study in the Netherlands: Adaptation tipping points. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(5), 729–740.
<https://doi.org/10.1002/wcc.64>
- Mens, M., Hunink, J., Delsman, J., Pouwels, J., & Schasfoort, F. (2019). *Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II: Voorlopige rapportage*. (Deltaresrapport 11203734-003).
- Mens, M., Schasfoort, F., Hunink, J., Pouwels, J., Delsman, J., & de Jong, J. (2020). *Hydrologische en economische effecten van twee maatregelpakketten voor Deltaprogramma Zoetwater fase II* (Deltares rapport 11205271-005). Deltares.
- PBL. (2016). *Dalende bodems, stijgende kosten—Mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied* (PBL-publicatienummer 1064).
- Philip, S. Y., Kew, S. F., van der Wiel, K., Wanders, N., & Jan van Oldenborgh, G. (2020). Regional differentiation in climate change induced drought trends in the Netherlands. *Environmental Research Letters*, 15(9), 094081. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab97ca>
- Ruijgh, E. (2019). *Integrated Overview of the effects of socio-economic scenarios on the discharge of the Rhine* (Deltares report 11201722-000).
- Schasfoort, F., de Jong, J., & Meijers, E. (2019). *Effectmodules in het Deltaprogramma Zoetwater. Van hydrologisch effect naar economisch effect van droogte* (Deltares rapport 11203734-000).
- Sluijter, R., Plieger, M., & van Oldenborgh, G. J. (2018). *De droogte van 2018. Een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort*. KNMI.
- Sperna Weiland, F., Hegnauer, M., Bouaziz, L., & Beersma, J. (2015). *Implications of the KNMI'14 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse—Comparison with earlier scenario studies* (Deltares report 1220042-000).
- STOWA. (2020). *Deltafact Klimaatverandering en grondwater stedelijk gebied*.
- Stratelligence. (2021). *Economische analyse Zoetwater Eindrapportage in opdracht van Deltaprogramma, deelprogramma Zoetwater*.
- Stuurman, R., Verhagen, F., van Wachtendonk, A., & Runhaar, H. (2020). *Een verkenning naar de Watervraag van de Noord-Brabantse Natuur* (Deltares rapport 1203929-002).
- Sweco. (2018). *Naar een kosteneffectieve aanpak van klimaatadaptatie in Nederland*.
<https://www.sweco.nl/siteassets/white-papers/naar-een-kosteneffectieve-aanpak-van-klimaatadaptatie-in-nederland.pdf>
- te Riele, S., Huisman, C., Stoeldraijer, L., de Jong, A., van Duin, C., & Husby, T. (2019). *PBL/CBS Regionale bevolkings- en huishoudensprognose 2019–2050—Belangrijkste uitkomsten*.

- Van Delft, S. P. J. , 2020. *De Landschappelijke Bodemkaart van Nederland (CONCEPT). Wageningen, Wageningen Environmental Research.*
- van de Velde, I., van der Kooij, S., van Hussen, K., & Läkamp, R. (2019). *Economische schade door droogte in 2018*. Ecorys.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/08/31/economische-schade-door-droogte-in-2018>
- van den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., de Louw, P., Witte, F., van Dam, J., van Deijl, D., Hoefsloot, S., van Huijgevoort, M., Hunink, J., Mulder, N., Pouwels, J., & de Wit, J. (2020). *Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland Het verhaal: Analyse van droogte 2018 en 2019 en tussentijdse bevindingen. Rapportage Droogte Zandgronden Nederland Fase 2 project.*
- van der Brugge, R., de Winter, R., Haasnoot, M., & Mens, M. (2020). Klimaatadaptatie en transitie management. *Water Governance*, 3/20 pp. 13-19.
- van Laarhoven, G., Nijboer, J., Oerlemans, N., Piechocki, R., & Pluimers, J. (2018). *Biodiversiteitsmonitor melkveehouderij*. Rabobank, Friesland Campina, WWF.
- Veng, T., & Andersen, O. B. (2020). Consolidating sea level acceleration estimates from satellite altimetry. *Advances in Space Research*, S027311772030034X.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.01.016>
- Warming Up. (2020). *CONCEPT De Warmtetransitie Reflectie op de huidige praktijk van opschaling* (Transitieviesies Warmte&een kennisagenda. Deliverable WP6C1 en WP6C2.).
- Wolters, H. A., van den Born, G. J., Dammers, E., & Reinhard, S. (2018). *Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017*. Deltares, PBL, WEcR.
- Geraadpleegde webpagina's (december 2020):

- <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografischeoverzichten/historisch-neerslagtekort/>
- <https://www.hittebestendigestad.nl/mindmap/>
- <http://www.klimaatschadeschatter.nl/>
- <https://nas-adaptatietool.nl/>
- <https://www.omgevingsweb.nl/wp-content/uploads/po-assets/375301.pdf>
- https://www.rainproof.nl/sites/default/files/hoeveel_kost_een_wolkbreek_klucck_en_geisler.pdf

A Geraadpleegde Experts

WUR:

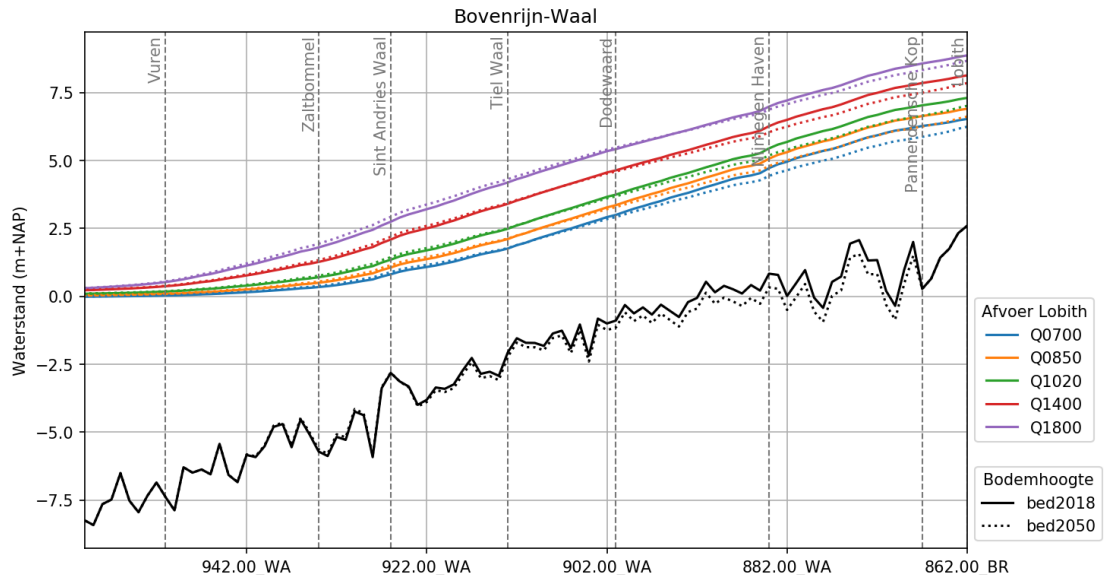
- Bas Breeman Landbouw
- Marjolein Sterk Natuur

Deltares

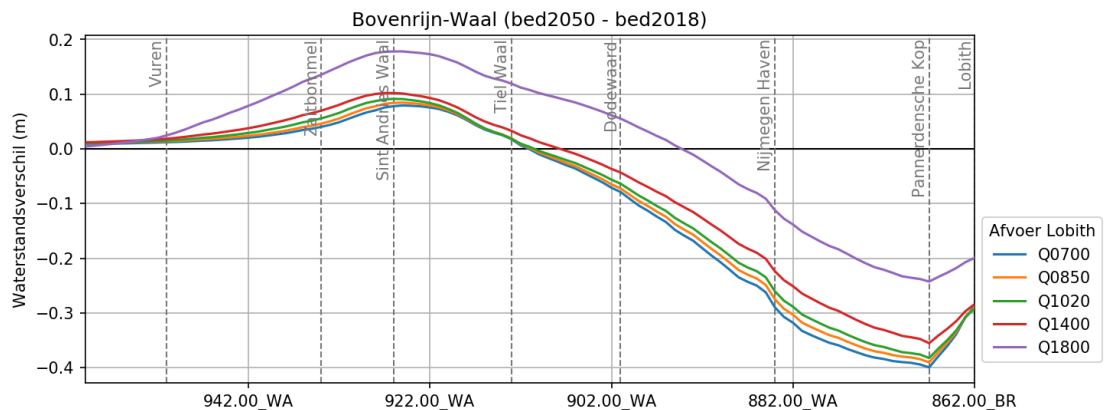
- Marjolein Mens Deltaprogramma Zoetwatervoorziening
- Joost Delsman Droogte en verzilting in laag Nederland
- Perry de Louw Droogte en verdroging in hoog Nederland
- Judith ter Maat Bovenstroomse ontwikkelingen Rijnstroomgebied
- Marco Hoogvliet Stad
- Rolien van der Mark Scheepvaart
- Rutger ten Brugge Governance
- Gilles Erkelens Bodemdaling
- Frans Klijn Waterveiligheid en Integraal Rivier Management
- Bart van den Hurk Klimaatverandering
- Marjolijn Haasnoot Adaptatiepaden en versnelde zeespiegelstijging

B Rivierbodemdaling en differentiële bodemerrosie

Figuur B.1 laat de berekende verlaging van de rivierbodem door erosie zien op het bovenstroomse traject van de Waal in 2050. Deze verlaging bedraagt ruim 50 cm. Hierdoor neemt de waterstand bij de Pannerdenschekop voor de verschillende (lage) afvoeren af met 20 tot 40 cm. Dit beïnvloedt de afvoerverdeling van de Pannerdenschekop, waardoor meer afvoer naar de Waal en minder naar de Neder-Rijn en IJssel gaat. Op het benedenstroomse traject van de Waal neemt de waterstand tot 20 cm toe (Figuur B.2).



Figuur B.1 Waterstanden en bodemhoogte (diepste punt per dwarsprofiel) bij verschillende afvoeren en bodemhoogtescenario's voor de Waal. Bron: (de Jong & van der Mark, 2020b).



Figuur B.2 Verandering in waterstanden door veranderingen in bodemhoogtescenario voor verschillende afvoeren voor de Waal. Bron: (de Jong & van der Mark, 2020b).

Differentiële bodemerrosie treedt op door bodemerrosie van de erodeerbare zandige delen van de rivierbedding en het ontstaan van 'harde' drempels waar geen verdere erosie optreedt (waar klei- of grindlagen, harde kleibanken, kunstwerken of infrastructuur aanwezig zijn). Dit levert in toenemende mate problemen op met de vaardiepte, vaak zelfs in sterkere mate dan klimaatverandering (Dorsser, 2015).

C Droogteanalyse voor het IJsselmeergebied

Onderstaande tabel bevat de getallen op basis waarvan figuur 3.16 is opgesteld. De bijbehorende toelichting wordt onder de tabellen gegeven.

STRATEGIEEN		2018	2050	2100	2100+
huidig beleid	vraag	3591	4525	4777	5968
	aanbod	4290	3610	3309	3174
	tekort	-699	915	1468	2794
Aanbod vergroten	vraag	3591	4525	4777	5968
	aanbod	4290	4410	4109	4374
	tekort	-699	115	668	1594
Vraag verkleinen	vraag	3591	3279	3488	3787
	aanbod	4290	3610	3309	3174
	tekort	-699	-331	179	613
Alles uit de kast	vraag	3591	3279	3488	3787
	aanbod	4290	4410	4109	4374
	tekort	-699	-1131	-621	-587

C.1 Toelichting op de droogteanalyse voor het IJsselmeergebied

Behorende bij het Excelbestand [data voor Kraaiennest spel v6.xlsx]. Marjolein Mens, 23-2-2021

C.1.1 Introductie

Ten behoeve van het Kraaiennestspel is een voorbeeld uitgewerkt voor adaptatie van de zoetwatervoorziening. Wat we als voorbeeld gebruiken is een situatie van watertekort die in het voorzieningsgebied van het IJsselmeer/Markermeer gemiddeld eens in de twintig jaar optreedt. De gebruikte getallen zijn afkomstig uit modelberekeningen en analyses die met het Nationaal Water Model zijn uitgevoerd voor het Deltaprogramma Zoetwater (Mens et al., 2019 en 2020). Deze notitie geeft een toelichting bij de getallen die in het spel zijn gebruikt. Het voorbeeld spitst zich toe op de gebieden die voor hun oppervlaktewatervoorziening afhankelijk zijn van het IJsselmeer/Markermeer, de twee meren die een belangrijke buffervoorraad hebben tijdens droogte:

- Fries-Gronings kustgebied
- Noord-Holland Noord
- IJsselmeerpolders
- IJssel-Vechtgebied
- Drents Plateau

C.1.2 Watergebruik nu, in 2050 en in 2100

Het water uit de grote meren wordt tijdens het zomerhalfjaar gebruikt voor:

- Het op peil houden van meren, kanalen, boezems en kleine regionale wateren;
- Doorspoeling ten behoeve van waterkwaliteitsbeheer en het tegengaan van zoutindringing;
- Beregening vanuit oppervlaktewater;
- Onttrekkingen voor drinkwater- en industriewatervoorziening;
- Om verdamping van de meren zelf te compenseren.

Tijdens droogte is de belangrijkste bron van water de IJssel. De meren worden op streefpeil gehouden door middel van de spuisluizen in de Afsluitdijk. Een minimaal spuidebiet is nodig om zoutindringing vanuit de Waddenzee te beperken.

De watervraag is uitgedrukt in Mm3 per zomerhalfjaar voor een droge situatie. Het historische droge jaar 1934 is gekozen als representatief voor een situatie die eens in de 20 jaar optreedt. De watertekorten die optreden worden dus gemiddeld eens in de 20 jaar overschreden. Voor de zichtjaren 2050 en 2100 is gebruik gemaakt van het Deltascenario Stoom. Hierin wordt aangenomen dat het klimaat verandert volgens KNMI'14 scenario Wh/Whdry, dat de bevolking toeneemt, dat de economie groeit en dat de landbouw zich aanpast aan klimaatverandering door te investeren in beregeningsinstallaties. Omdat voor het zichtjaar 2100 geen berekeningen zijn gedaan voor het jaar 1934, is voor dit zichtjaar gebruik gemaakt van berekeningsresultaten van het rekenjaar 2003.

De totale schattingen van watervraag en wateraanbod worden gegeven in de tabel.

We lichten hieronder de aannames verder toe. Ten behoeve van het Kraaiennestspel zijn de schattingen voor 2100 (2100plusvariant) aangepast om rekening te houden met de volgende (onzekere) ontwikkelingen:

- de regionale watervraag voor peilbeheer is opgehoogd met een factor 1.3 om rekening te houden met een vergrote watervraag voor onderwaterdrainage. Dit is een van de geplande maatregelen om de veengebieden in de toekomst te vernatten zodat bodemdaling wordt vertraagd.
- De watervraag voor polderdoorspoeling is verdubbeld om rekening te houden met versnelde zeespiegelstijging (zie Haasnoot et al., 2018).
- De afvoer van de IJssel is verlaagd met 5% om rekening te houden met rivierbodemdaling waardoor bij lage afvoeren meer Rijnafvoer richting de Waal stroomt ten koste van de IJssel.

Netto verdamping grote meren

Netto verdamping minus de neerslag op de grote meren (Markermeer, IJsselmeer, Veluwerandmeren) is overgenomen uit de modelberekening met NWM.

Regionaal peilbeheer

De watervraag voor regionaal peilbeheer is overgenomen uit de modelberekening met NWM. In de plusvariant voor zichtjaar 2100 is een extra toename van 30% aangenomen als gevolg de aanleg van onderwaterdrainage om bodemdaling tegen te gaan.

Polderdoorspoeling

Polderdoorspoeling is nodig om de waterkwaliteit te garanderen voor landbouw en natuur. In een droge zomer verslechtert de waterkwaliteit door zoute kwel, lozingen en zoutindringing via sluisen.

In de modelberekeningen met het Nationaal Water Model is aangenomen dat de doorspoelvraag in de toekomst in Stoom verdubbelt. De aanname in dit scenario is verder is dat landgebruik/teelten gelijk blijven en even hoge eisen stellen aan de waterkwaliteit.

In de plusvariant voor zichtjaar 2100 is de watervraag voor polderdoorspoeling verdubbeld. De relatie tussen zeespiegelstijging en interne verzilting is in Haasnoot et al. (2018) als volgt uitgelegd:

Een hogere zeewaterstand leidt in de laaggelegen kustgebieden tot een toename van de kwel (grondwaterstroom naar de oppervlakte). In geval van een zoute ondergrond leidt dit ook tot een toename van zout in het ondiepe grondwater en in het oppervlaktewater. Bij een stijgende zeespiegel neemt de kwel en zoutbelasting direct toe. Bovendien stroomt relatief zout grondwater van grotere diepten naar de oppervlakte, waardoor de zoutbelasting extra toeneemt. Dit is een veel langzamer proces dat speelt op een tijdschaal van decennia. Laaggelegen polders in West- en Noord-Nederland worden 'doorgespoeld' met zoet water om negatieve consequenties van te hoge zoutconcentraties voor de landbouw tegen te gaan. Dit is een belangrijk deel van de totale watervraag van het landelijk gebied aan het hoofdwatersysteem. Ook zonder zeespiegelstijging is er sprake van verzilting via het grondwater als gevolg van natuurlijke processen en menselijke activiteiten, die al vele eeuwen gaande zijn. Inpoldering, bodemdaling en grondwateronttrekkingen zorgen ervoor dat zout grondwater uit de diepe ondergrond met de tijd langzaam naar de ondiepe ondergrond stroomt en uiteindelijk het grond- en oppervlaktewater bereikt. Dit zijn ontwikkelingen die los staan van de zeespiegelstijging.

Berekening

De watervraag voor berekening neemt door twee trends toe: als gevolg van toenemende temperatuur en verdamping wordt er meer berekend op percelen waar nu ook al berekend wordt. Daarnaast neemt het potentieel berekend areaal toe: meer boeren investeren in beregeningsinstallaties. De toename van het potentieel berekend areaal, zoals in het model aangenomen, is ingeschat met behulp van de Regioscan (Hunink et al., 2020).

Doorspoelen Afsluitdijk

In de als basis gebruikte modelberekening is nog geen rekening gehouden met de grotere doorspoelvraag van de spuisluizen in de Afsluitdijk. Er moet voldoende gespuid worden om zout water vanuit de Waddenzee, dat door schutten en via zoutlekkage binnendringt, tijdig weer af te voeren voordat het zich teveel mengt met het IJsselmeerwater. Daarnaast is een spuidebiet nodig voor vismigratie. In de modelberekening is rekening gehouden met 10 m³/s doorspoelwater. Recente inzichten na de 2018 droogte geven aan dat met het huidige systeem en spuibeheer veel meer nodig is: circa 70 m³/s is. De komende jaren zal in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater fase II geïnvesteerd worden in een zoutvang, waardoor naar verwachting de doorspoelvraag afneemt naar 50 m³/s.

Verliezen

De gepresenteerde waterbalans betreft totalen over het zomerhalfjaar. Dit veronderstelt dat er een optimale verdeling is van wateraanbod en watervraag over de tijd. In de praktijk is het watertekort echter geconcentreerd in een deel (weken tot maanden) van het zomerhalfjaar. Hierdoor kan het voorkomen dat een deel van het beschikbare water geloosd wordt op de Waddenzee om het water in de meren op het gewenste peil te houden, terwijl een maand later tekorten optreden. Uit de modelberekeningen met NWM voor 1934 (huidig klimaat) blijkt dat gemiddeld zo'n 130 m³/s 'teveel' geloosd wordt. De verliespost is sterk afhankelijk van het type droge jaar dat wordt beschouwd. In een zeer droog jaar zal de verliespost minder groot zijn dan in een droog jaar.

Duidelijk is dat een deel van het beschikbare water in de waterbalans moet worden gereserveerd omdat dit niet ten goede kan komen aan de andere watergebruikers. Voor de berekening hier is een verliespost van 500 Mm³ aangenomen (circa 30 m³/s).

Buffer grote meren

We gaan uit van 30 cm maximaal beschikbare bufferschijf: die wordt bereikt door de zomeropzet naar -0,10 m NAP te laten gaan en indien nodig te laten uitzakken tot -0,40 m NAP. Met een oppervlakte van 2000 km² komt dit overeen met een watervolume van 600 Mm³. De buffer is in de praktijk iets kleiner, omdat het verhogen van het peil van -0,20 m naar -0,10 m alleen wordt gedaan als redelijk zeker is dat het nodig is. Ook mag deze maximale opzet volgens het nieuwe peilbesluit niet langer dan 2 weken worden aangehouden.

IJsselafvoer

In het representatieve jaar 1934 bedroeg de gemiddelde IJsselafvoer, ter hoogte van de monding, in het zomerhalfjaar 230 m³/s. Volgens het KNMI'14 scenario *Whdry* neemt deze afvoer in de toekomst af naar 190 m³/s in 2050. Bij gebrek aan modelresultaten voor het rekenjaar 1934 is voor zichtjaar 2100 aangenomen dat de zomerafvoer nog eens verder afneemt met 10%.

In de plusvariant is de afvoer verder verlaagd met 5% om rekening te houden met het effect van autonome rivierbodemdaling. Dit is expert judgement gebaseerd op recent onderzoek (o.a. De Jong, 2020, Van Walsem, 2020 en Hydrologic, 2019a).

Tabel C.1 Watervraag en wateraanbod in de huidige en toekomstige situatie met klimaatverandering

Waterbalans T=20 situatie (Mm3)	2018	2050	2100	2100+
watervraag				
verdamping grote meren	732	884	967	967
regionaal peilbeheer	799	905	996	1294
polderdoorspoeling	460	892	892	1784
berekening	150	394	473	473
doorspoelen Afsluitdijk	800	800	800	800
doorspoelen NZK	150	150	150	150
verliezen (door niet-optimale verdeling in de tijd) [sluitpost]	500	500	500	500
<i>totaal watervraag</i>	<i>3591</i>	<i>4525</i>	<i>4777</i>	<i>5968</i>
wateraanbod				
buffer grote meren	600	600	600	600
ijssemafvoer	3690	3010	3010	2860
<i>totaal wateraanbod</i>	<i>4290</i>	<i>3610</i>	<i>3610</i>	<i>3460</i>
<i>tekort</i>	<i>-699</i>	<i>915</i>	<i>1167</i>	<i>2508</i>

C.1.3

Bouwstenen voor het vergroten van het aanbod en verkleinen van de vraag in 2100

De bouwstenen voor het vergroten van de aanvoer en verkleinen van de vraag zijn ingeschat op basis van expert judgement. De aannames worden hieronder toegelicht.

Het aanbod vergroten kan door het zomerpeil van IJsselmeer/Markermeer verder op te zetten. Het vergroten van de buffer met 20 cm staat ook genoemd als optie in het adaptatiepad van het Deltaprogramma Zoetwater. In dit geval is uitgegaan van 10 cm extra opzet en 10 cm verder uitzakken, dus 20 cm extra buffer totaal.

Een andere optie is om extra water aan te voeren vanuit de Waal, via het Amsterdam-Rijnkanaal (Betuwepand → Irenesluizen → Markermeer). Deze maatregel maakt onderdeel uit van de Klimaatbestendige Zoetwaterstrategie voor het Hoofdwatersysteem, die voorgesteld is voor de komende uitvoeringsfase van het Deltaprogramma Zoetwater (2022-2027). Uit verkennende berekeningen (Hydrologic, 2019b) is al gebleken dat de hoeveelheid water die dit potentieel oplevert overeenkomt met het vergroten van de buffer IJsselmeer met circa 20 cm.

De bouwstenen voor het **reduceren van de vraag** zijn uitgesplitst naar type vrager.

Verminder de zoutlast. Een zoutvang in de schut- en spuisluisen van de Afsluitdijk kan de doorspoelvraag significant reduceren. Hier is aangenomen dat er na plaatsing van zoutbeperkende maatregelen (zoals een zoutvang) nog 10 m³/s nodig blijft voor visvriendelijk spuien. Dat is een reductie van 40 m³/s, wat overeenkomt met circa 600 Mm³.

Beperk de beregeningsvraag. kan op twee manieren worden gereduceerd. In de modelberekeningen voor DPZW is een toename berekend als gevolg van een toename in verdamping (voor de gebieden die nu al beregend worden) én als gevolg van een toename in het beregend areaal. Dit leidt tot een verdubbeling van de beregeningsvraag in 2050.

Ongeveer 30% hiervan is ten gevolge van een warmer klimaat. In de tweede stap van 2050 naar 2100 is de toename puur ten gevolge van meer verdamping. Twee opties zijn ingeschat: voorkomen van de toename in beregend areaal; dus alleen 30% toename door meer verdamping en (2) voorkomen van de toename in beregend areaal én efficiënter beregenen voor het areaal dat nu al beregend is; toename van 20% door meer verdamping.

Accepteer verzilting. Het laten verzilten van kustgebieden is een maatregel die op termijn in beeld kan komen als gevolg van autonome toename van zoute kwel en/of versnelde zeespiegelstijging, waardoor grondwater binnen circa 15 km vanaf de kust steeds meer aan de oppervlakte komt. Doorspoelwater is niet alleen nodig om interne verzilting in polders weg te spoelen, maar ook om in de grotere kanalen en vaarten de waterkwaliteit goed te houden en zoutindringing via sluizen tegen te gaan (bv. in Eemskanaal). Slechts een deel van de totale doorspoelvraag kan door deze maatregel gereduceerd worden. We nemen aan dat de doorspoelvraag niet verder toeneemt naar de toekomst.

Tabel C.2 Overzicht van het ingeschatte effect van maatregelen om watertekort in de toekomst te verkleinen

Bouwstenen			
Maatregelen om de wateraanvoer te vergroten (effect in Mm³)	2050	2100	
extra aanvoeren Waal (ARKroute)	400	400	
extra bufferen IJsselmeer/Markermeer	400	400	
<i>Totaal effect van wateraanvoer maatregelen</i>	800	800	
Maatregelen om de watervraag te verkleinen (effect in Mm³)	2050	2100	2100+
zoutvang Afsluitdijk	-600	-600	-600
beregeningstoename beperken	-214	-257	-257
laten verzilten van kustgebieden	-432	-432	-1324
<i>Totaal effect van watervraagreductie maatregelen</i>	-1246	-1289	-2181

C.1.4 Referenties

De Jong (2020) Effect van een nieuwe bodemhoogte 2050 op de waterstanden en afvoeren op de Rijnakken, memo 11203738-005, Deltares, Utrecht.

Haasnoot, M., Bouwer, L., Diermanse, F., Kwadijk, J., Van der Spek, A., Oude Essink, G. H. P., et al. (2018). Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma: een verkenning. Deltares, Delft.

Hunink, J. C., Mens, M., Pouwels, J., Prinsen, G., & Jong, J. de. (2020). Uitgangspunten voorkeurspakket en economisch pakket Deltaprogramma Zoetwater fase II in Nationaal Watermodel. Deltares 11205271-005. Utrecht.

Hydrologic (2019a) Effect afvoerverschuiving Pannerden op waterbeschikbaarheid vanuit het IJsselmeer. Rapport P1124, Hydrologic, Amersfoort.

Hydrologic (2019b) Nadere verkenning Stuurbaar Buffernetwerk. Rapport P1100, Hydrologic, Amersfoort.

Mens, M., Hunink, J. C., Delsman, J. R., Pouwels, J., & Schasfoort, F. (2019). Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II. Deltares rapport 11203734-003. Delft.

Mens, M., Schasfoort, F., Hunink, J. C., Pouwels, J., Delsman, J. R., & Jong, J. de. (2020). Hydrologische en economische effecten van twee maatregelpakketten voor Deltaprogramma Zoetwater fase II. Delft.

Van Walsem (2020) Gevoeligheidsanalyse: impact van bodemverandering Rijnakken op zoetwatervoorziening 2050. Memo, Rijkswaterstaat-WVL, Lelystad.

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