



KLIMAATRISICO'S IN NEDERLAND

De huidige stand van zaken

PBL

14 mei 2024



Colofon

Klimaatrisico's in Nederland: De huidige stand van zaken

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2024
PBL-publicatienummer: 5359

Contact

Frank.vanGaaen@pbl.nl

Auteurs

Frank van Gaalen, Ron Franken, Frédérique Kirkels, Samira I. Ibrahim, Jelle van Minnen, Arno Bouwman, Marijke Vonk

Supervisie

Koen Overmars, Jeannette Beck

Met bijdrage van

Wilfried ten Brinke (Blueland Consultancy)

Met dank aan

Het PBL is dank verschuldigd aan Janneke Wassink, Marjon Hellegers, Dieuwert Blomjous, Jolijn Bonnet, Judith Hin, Arjen van Hinsberg, Jarry Porsius, Peter van Puijenbroek, Joost Tennekens (allen PBL), Ed Beije (nu Royal Haskoning DHV) en betrokken experts van Deltares, KWR, RCE, RIVM, TNO, KNMI, NIPV, WEnR, WUR en CAS, leden van de Wetenschappelijke adviesraad: Bas Arts (PBL/WUR), Jeroen Aerts (VU), Leendert Gooijer (RIVM), Maud Huynen (UM), Richard Klein (SEI). Daarnaast hebben we dankbaar gebruik gemaakt van de inbreng van de stuurgroep voor dit project bestaande uit Koen Overmars, Bram Bregman, Rienk Kuiper, André van Lammeren en Bert Tieben (PBL).

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Omslagfoto

ANP/Hollandse Hoogte/Sander Koning

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: PBL 2024, Klimaatrisico's in Nederland; De huidige stand van zaken. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het PBL doet onderzoek naar de leefomgeving en het leefomgevingsbeleid in Nederland en daarbuiten. Denk aan milieu, natuur en ruimtelijke inrichting. Met onze verkenningen, analyses en evaluaties leveren we strategische kennis voor beleid, politiek, maatschappelijke organisaties en het bredere publiek. We geven daarbij niet alleen feiten en inzichten over het hier en nu, maar kijken ook vooruit naar de nabije en verdere toekomst. We doen ons onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk onderbouwd.

Inhoud

| | |
|--|-----------|
| Voorwoord | 5 |
| Samenvatting | 6 |
| BEVINDINGEN | 10 |
| Klimaatrisico's in Nederland | 11 |
| VERDIEPING | 24 |
| 1 Inleiding | 25 |
| 1.1 Nederland merkt nu al de gevolgen van klimaatverandering | 25 |
| 1.2 Programma 'Monitoring en evaluatie van het nationale klimaatadaptatiebeleid' | 26 |
| 1.3 In dit rapport: huidige klimaatrisico's in beeld | 27 |
| 2 Waargenomen klimaatverandering | 31 |
| 2.1 Waargenomen klimaatverandering | 32 |
| 2.2 Huidige klimaatdreigingen | 39 |
| 2.3 Secundaire effecten van klimaatdreigingen | 42 |
| 3 Huidige klimaatrisico's: inleiding en overzicht | 45 |
| 3.1 Inleiding | 45 |
| 3.2 Maatschappelijke context | 49 |
| 3.3 Overzicht klimaatrisico's per sector | 51 |
| 3.4 Versnelde zeespiegelstijging | 58 |
| 4 Het is warmer: belangrijke risico's in detail | 60 |
| 4.1 Inleiding | 60 |
| 4.2 Gezondheid | 61 |
| 4.3 Natuur en waterkwaliteit | 66 |
| 4.4 Mobiliteit en infrastructuur | 69 |
| 5 Het is droger: belangrijke risico's in detail | 73 |
| 5.1 Inleiding | 73 |
| 5.2 Cultureel erfgoed | 76 |
| 5.3 Gebouwde omgeving | 81 |
| 5.4 Natuur en waterkwaliteit | 84 |
| 5.5 Mobiliteit en infrastructuur | 87 |
| 5.6 Natuurbranden | 90 |
| 5.7 Landbouw | 93 |
| 5.8 Drinkwatervoorziening | 96 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6 | Het is natter: belangrijke risico's in detail | 100 |
| 6.1 | Inleiding | 100 |
| 6.2 | Waterveiligheid hoofdwatersysteem | 101 |
| 6.3 | Gebouwde omgeving | 105 |
| 6.4 | Mobiliteit en infrastructuur | 108 |
| 6.5 | Landbouw | 110 |
| 6.6 | Natuur en waterkwaliteit | 112 |
| 7 | Complexe klimaatrisico's en verandering risico's | 114 |
| 7.1 | Complexe klimaatrisico's: combinaties, keten-effecten en maladaptatie | 114 |
| 7.2 | Klimaatrisico's nu en in de 2015-analyse | 118 |
| 8 | Afwegingsaspecten voor prioriteitsstelling | 120 |
| 8.1 | Inventarisatie aspecten prioriteitsstelling | 120 |
| 8.2 | Beleving klimaatrisico's in Nederland | 122 |
| 8.3 | Verdeling risico's en rechtvaardigheid | 124 |
| 8.4 | Afwegingen voor tijdige klimaatadaptatie | 125 |
| 9 | Aandachtspunten voor beleid | 128 |
| 9.1 | Huidig beleid rond klimaatadaptatie | 128 |
| 9.2 | Aandachtspunten voor het beleid | 132 |
| 9.3 | Beperkingen van deze klimaatrisicoanalyse | 136 |
| | Referenties | 139 |
| | Referenties bij hoofdstuk 1 | 139 |
| | Referenties bij hoofdstuk 2 | 139 |
| | Referenties bij hoofdstuk 3 t/m 7 | 143 |
| | Referenties bij hoofdstuk 8 | 148 |
| | Referenties bij hoofdstuk 9 | 148 |
| | Bijlagen | 150 |
| | Bijlage 1 Kennisinstellingen thema's en achtergrondrapporten | 150 |
| | Bijlage 2 Uitgewerkte klimaatrisico's | 152 |
| | Bijlage 3 Begrippen klimaatrisicoanalyse | 153 |
| | Bijlage 4 Methode scoring criteria afweging prioriteit | 155 |
| | Bijlage 5 Afkortingen | 160 |

Voorwoord

Het kan niemand ontgaan zijn dat het klimaat in Nederland verandert. Het is de afgelopen 30 jaar warmer, droger én natter geworden. De weerrecords worden bijna jaarlijks verbroken en ook de zeespiegel stijgt sneller dan 30 jaar geleden. In alle klimaatscenario's van het KNMI wordt verwacht dat de nu al geconstateerde trends zich in deze eeuw zullen voortzetten.

Het voorliggend rapport is tot stand gekomen met inbreng van experts van verschillende kennisinstituten, en is de eerste rapportage van een klimaatrisicoanalysetraject van het PBL dat als doel heeft het beleid te ondersteunen op weg naar een klimaatbestendig en waterrobuust Nederland in 2050. We brengen in dit rapport een aantal voor Nederland belangrijke risico's in het huidige klimaat in beeld. Begin 2026 volgt een tweede PBL-rapport over de risico's in het toekomstig klimaat en een aantal beleidsopties om met die risico's om te gaan. Deze toekomstverkenning wordt gebaseerd op onder andere de klimaatscenario's van het KNMI.

Toekomstgericht klimaatadaptatiebeleid is noodzakelijk en vraagt om structurele keuzes. Waar en hoe willen we bouwen, rekening houdend met overstromingen, wateroverlast en hitte? Welke activiteiten willen we waar in het landelijk en stedelijk gebied en in welke vorm, rekening houdend met onder andere de draagkracht van het water en de bodem? Dit zijn de vragen van nu die voortvarend zullen moeten worden opgepakt. Daarbij is klimaatadaptatie geen op zich zelf staand beleid, maar zou sturend moeten zijn in onder andere het ruimtelijk beleid, woningbouw beleid, natuurbeleid en landbouw beleid. Omdat Nederland intensief gebruikt wordt, raakt klimaatadaptatie vaak vele aspecten van de samenleving. Aanpassingen aan klimaatverandering zijn daardoor vaak complex en vragen om overkoepelende, structurele keuzes van politiek en beleid.

De in dit rapport in beeld gebrachte klimaatrisico's maken duidelijk dat het klimaatadaptatiebeleid urgent is. De conclusie is dat er regie van het Rijk nodig is om te zorgen dat adaptatiebeleid geïntegreerd wordt in alle beleidsvelden en op alle bestuurlijke niveaus. Zodat we ook in de toekomst in een gezonde samenleving en een goed functionerende leefomgeving kunnen blijven genieten van onze woonomgeving, natuur, erfgoed, voldoende drinkwater én onze voeten droog kunnen houden.

Marko Hekkert,

Directeur PBL

Samenvatting

Het klimaat in Nederland verandert

Het is in de afgelopen dertig jaar warmer, natter én droger geworden. Uit KNMI-studies blijkt dat de laatste decennia de zeespiegel voor de Nederlandse kust versneld stijgt. Naast geleidelijke toenames in temperatuur, neerslag, en regionale droogte, zijn er de afgelopen decennia vele weerrecords gebroken en ondervinden Nederlanders de gevolgen van hittegolven, periodes van droogte en extreme (lange periodes met) buien. De kans dat extremen in hitte, droogte en neerslag voorkomen is nu groter dan in 1990, en ook zijn de intensiteit, duur en ruimtelijke omvang van deze extremen toegenomen. In alle klimaatscenario's van het KNMI wordt verwacht dat deze veranderingen zich deze eeuw zullen voortzetten.

Klimaatverandering heeft negatieve en positieve gevolgen

Dit veranderende klimaat heeft de afgelopen decennia negatieve gevolgen gehad. Zo heeft de hittegolf in 2019 geresulteerd in vierhonderd extra sterfgevallen en was er in 2021 meer dan 430 miljoen euro schade door de wateroverlast in Limburg. Naast negatieve heeft klimaatverandering ook positieve gevolgen. Zo leidt een warmer klimaat tot minder sterfgevallen door kou, is het goed voor het (buiten)toerisme en leidt het tot lagere stookkosten.

In dit rapport leggen we de focus op de risico's, ofwel de gevolgen met een nadelige impact, die er zijn in de huidige situatie. In een volgend rapport verkennen we de klimaatrisico's in de toekomst. Daarbij zal ook worden gekeken naar mogelijke positieve gevolgen van klimaatverandering voor Nederland. Dat rapport, over de te verwachten risico's én kansen in het toekomstige klimaat, verschijnt in 2026.

Het Nederlandse klimaat verandert in hoog tempo. Tijdig aanpassen en keuzes zijn noodzakelijk

De temperatuur in Nederland neemt sneller toe dan het wereldgemiddelde. Ook is het tempo van klimaatverandering hoog. Zo werd bijvoorbeeld het hittesterecord van meer dan 40 graden, dat plaatsvond in de zomer van 2019, door het KNMI pas over enkele tientallen jaren verwacht. Dit soort vaker voorkomende en extremer wordende weersituaties kunnen een steeds grotere bedreiging gaan vormen voor het functioneren van de samenleving. Hitte en droogte, maar bijvoorbeeld ook extreme regenval, raken vrijwel alle facetten van de samenleving. Zonder aanpassing zullen ook de potentiële negatieve gevolgen voor mens, cultuur, natuur en economie, die mede veroorzaakt worden door klimaatverandering (de zogenoemde klimaatrisico's) groter worden.

Naast maatregelen gericht op de beperking van klimaatverandering (mitigatie), is het daarom voor de Nederlandse samenleving van belang om ook snel keuzes te maken over aanpassing aan klimaatverandering (adaptatie). Zo kunnen de negatieve gevolgen zo veel mogelijk worden voorkomen of beperkt.

Er zijn nu al klimaatrisico's met grote impact die vragen om keuzes

In de huidige situatie loopt Nederland al klimaatrisico's met grote impact. Hitte en droogte hebben bijvoorbeeld effect op de gezondheid, hebben onomkeerbare gevolgen voor nat archeologisch erfgoed, en leiden tot verlies van biodiversiteit. Bij gezondheid gaat het onder andere om meer dan

honderd extra sterfgevallen tijdens hittegolven. De samenhang met andere oorzaken van extra sterfte – zoals luchtvervuiling, infectieziekten en allergieën – is echter nog niet goed in beeld.

Nat archeologisch erfgoed zijn historische organische resten, zoals resten van hout, leer of textiel uit de Romeinse tijd of de Middeleeuwen, die normaal in zoetwater of onder de grondwaterspiegel liggen. Het risico dat dit erfgoed droogvalt en daarmee permanent verdwijnt, is al als probleem onderkend. Aangejaagd door de recente droge zomers vraagt dit om het snel maken van keuzes: hoe belangrijk vindt Nederland het behoud van nat archeologisch erfgoed en wat kan gedaan worden om het te behouden?

Met name hitte en droogte zorgen voor verlies aan biodiversiteit. Daarnaast hebben extreme weersituaties regelmatig geleid tot lagere opbrengsten in de landbouw, en schade aan gebouwen en infrastructuur. In de recente perioden van droogte kwam de drinkwatervoorziening sterk onder druk te staan, mede dankzij de grote vraag naar drinkwater op deze momenten. Vanwege prioriteringsregels kon nog net worden voldaan aan de levering. Maar hierdoor konden niet alle andere gebruikers van het water overal en altijd van voldoende water worden voorzien, met extra schade aan natuur en landbouw tot gevolg.

Klimaatverandering vergroot bestaande problemen, de grenzen van huidige klimaatadaptatiemaatregelen zijn in zicht

Klimaatverandering versterkt tot nu toe vooral bestaande problemen – zoals de slechte toestand van de natuur of funderingsschade aan gebouwen – waardoor deze problemen groter worden. Om verdere verslechtering door klimaatverandering te voorkomen, is het aan te raden adaptatiebeleid te versnellen en keuzes en uitvoering naar voren te halen. Dit geldt met name voor adaptatiemaatregelen met een lage adaptatiesnelheid (lange beslis- en realisatietijden), waarbij een mismatch tussen adaptatiesnelheid en het tempo van klimaatverandering zou kunnen ontstaan.

Door bestaande adaptatiemaatregelen is de schade door extreme weersituaties meestal beperkt gebleven, maar de grenzen zijn in zicht. Dat geldt bijvoorbeeld voor de toename van beregening in de landbouw, waardoor er minder water beschikbaar is voor andere functies, zoals de natuur. De vraag is dus hoe toekomstbestendig deze vorm van klimaatadaptatie is.

Nieuwe maatregelen leiden tot complexe vraagstukken

Voor een aantal klimaatrisico's staat al adaptatie (beleid) op de rails. Er worden veel investeringen gedaan en kosten gemaakt om de effecten van klimaatverandering te verminderen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij bescherming tegen overstromingen. Het beleid voor het omgaan met klimaatrisico's die optreden als gevolg van hitte, droogte en wateroverlast door piekbuien is vaak minder ver ontwikkeld. Hetzelfde geldt voor combinaties van klimaatrisico's die elkaars impact vergroten, zoals bij gezondheidseffecten. In veel gevallen is het beleid hiervoor nog niet voldoende uitgekristalliseerd. De mogelijke aanpassingen kunnen gericht zijn op een beperkt aantal doelgroepen, zoals aanpassing van gedrag van ouderen tijdens een hittegolf. Vaak zijn klimaatadaptatiemaatregelen echter complex, en vragen ze om grote investeringen en afwegingen tussen belangen. Hierdoor ontstaan fundamentele ruimtelijke- en verdelingsvraagstukken, bijvoorbeeld de verdeling van water in tijden van schaarste.

Klimaatadaptatie nu sturend laten zijn bij beleidskeuzes voor de langere termijn

Het is dus urgent om nu na te denken hoe Nederland met deze risico's wil omgaan. Daarbij is het belangrijk dat klimaatadaptatie sturend wordt bij beleidskeuzes. Dit geldt vooral bij keuzes voor de langere termijn, die gekoppeld zijn aan grote investeringen. Concreet gaat het dan bijvoorbeeld om de woningbouwopgave: waar en hoe kan er gebouwd worden, rekening houdend met overstromingen, wateroverlast en hitte? Of de structurerende beleidskeuzes voor het landelijk gebied: welke activiteiten kunnen waar en in welke vorm plaatsvinden, als rekening wordt gehouden met de draagkracht van water en bodem?

Ook liggen er grote keuzes ten aanzien van het watersysteem, die samenhangen met het toekomstbestendig gebruik van de wateren voor vele functies. Daartoe behoren afwegingen over de waterverdeling en de gevolgen voor de waterkwaliteit, en bescherming tegen overstromingen. Door klimaatadaptatie leidend en structurerend te laten zijn in deze grote vraagstukken, kunnen klimaatrisico's in Nederland verminderd worden en kan worden toegewerkt naar toekomstbestendige oplossingen.

Regie van het Rijk nodig op structurele, overkoepelende beleidskeuzes

Aanpassing aan klimaatverandering raakt meerdere beleidstrajecten. Het vraagt dus om overkoepelende, structurele keuzes, bijvoorbeeld op basis van het uitgangspunt dat water- en bodemcondities de randvoorwaarden zijn die de ontwikkeling van een gebied bepalen. Regie van het Rijk is nodig om deze overkoepelende keuzes te maken en ervoor te zorgen dat adaptatie vervolgens verankerd wordt in alle beleidsvelden en op alle bestuurlijke niveaus. Daarnaast moeten de keuzes ook in de hele samenleving op een rechtvaardige en consistente manier worden uitgevoerd.

Klimaatverandering grijpt in op alle facetten van het leven en van de samenleving. Een klimaatbestendige samenleving richt zich bij voorkeur daarom niet alleen op aanpassingen gericht op een enkel probleem, met technische oplossingen zoals versterking van dijken tegen stijgend water, of beregening in periodes van droogte. In plaats daarvan is het nodig dat er een maatschappij ontstaat die veerkrachtig kan reageren op alle effecten van klimaatverandering, zowel in ruimtelijke inrichting als economische activiteiten en gedrag.

Kennis en informatie over klimaatrisico's nog niet compleet

Bij de uitwerking van de huidige klimaatrisico's is duidelijk geworden dat voor een aantal onderdelen informatie ontbreekt. Zo is bij veel klimaatrisico's niet bekend welk deel van de kosten, schade of maatschappelijke impact toe te schrijven is aan klimaatverandering (attributie). Voor veel onderwerpen ontbreekt goede monitoring, zoals voor natuurbranden of de klimaatrisico's voor cultureel erfgoed. Voor sommige kennisleemtes wordt er nader onderzoek gedaan om meer inzicht te krijgen in de klimaatrisico's. In de beschrijving van de verschillende klimaatrisico's in dit rapport is steeds aangegeven wat de betrouwbaarheid is van de aangegeven grootte van de impact en van de waarschijnlijkheid van het risico. Deze mate van betrouwbaarheid is gebaseerd op de inbreng van de betrokken experts.

De omvang van het aandeel van klimaatverandering in de klimaatrisico's kan dus niet altijd met cijfers worden onderbouwd, maar over het algemeen is de beschikbare kennis en informatie wel helder over welke impact (mede) het gevolg is van klimaatverandering. Het is duidelijk dat toenemende klimaatverandering zal leiden tot potentieel grotere risico's als Nederland zich niet weet aan te passen aan het veranderende klimaat.

Over dit rapport

In dit rapport brengt het PBL belangrijke klimaatrisico's in Nederland in beeld, die optreden in het huidige klimaat. Concreet gaat deze studie over klimaatrisico's voor de waterveiligheid, -kwantiteit en -kwaliteit, de gebouwde omgeving, mobiliteit, natuur, landbouw, gezondheid, cultureel erfgoed en rampen- en crisisbeheersing door de veiligheidsregio's.

De analyse is mede gebaseerd op een inventarisatie en risico-inschatting door de betrokken kennisinstellingen: Deltares, KNMI, KWR, NIPV, RCE, RIVM, TNO, WEnR en WUR.

Begin 2026 volgt een tweede PBL-rapport over de risico's in het toekomstige klimaat, onder andere op basis van de klimaatscenario's van het KNMI (2023). De twee rapporten zullen samen kennis opleveren voor de herijking van de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS) en de Deltabeslissingen, beide in 2026.

BEVINDINGEN

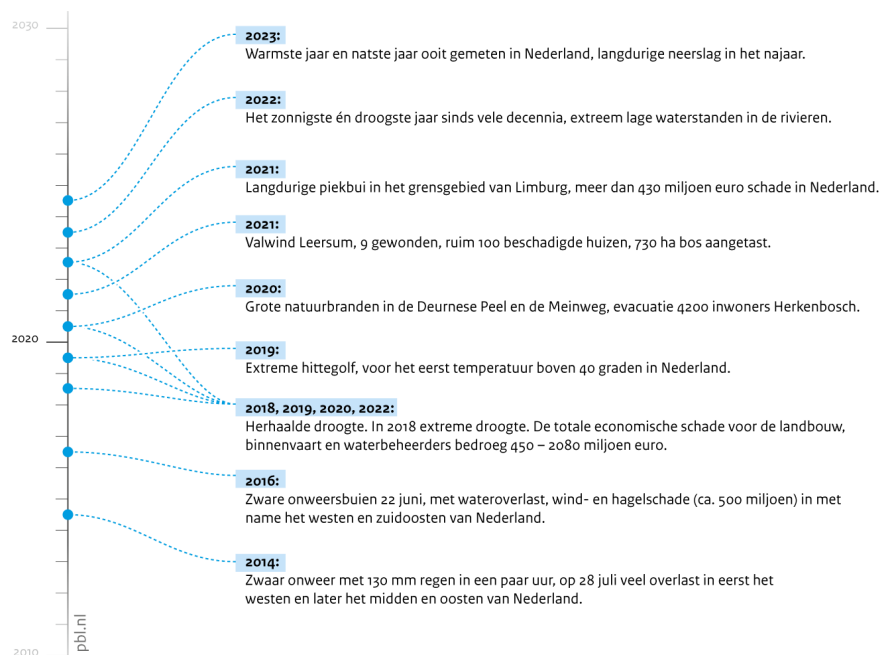
BEVINDINGEN

Klimaatrisico's in Nederland

Het klimaat in Nederland verandert. Het is warmer, droger en natter, met meer extreme gebeurtenissen

De laatste decennia stapelen de weerrecords in Nederland zich op. Er zijn al meerdere extreme weer- en klimaatgerelateerde gebeurtenissen voorgekomen (zie figuur 1). Het is in de afgelopen dertig jaar warmer en natter, maar 's zomers ook droger geworden. In waarnemingen voor de Nederlandse kust zien we sinds enkele jaren ook dat de zeespiegel versneld stijgt. Naast deze geleidelijke trends in temperatuur, neerslag en regionale droogte is ook de kans op het optreden van extremen in hitte, droogte en neerslag nu groter dan in 1990. De intensiteit, duur en geografische omvang van deze extremen zijn toegenomen (zie tabel 1). Zo is bijvoorbeeld het aantal dagen waarop het warmer is dan 30 graden toegenomen, net als het aantal nachten waarin het warmer is dan 20 graden. In alle klimaatscenario's van het KNMI wordt verwacht dat de nu al geconstateerde trends zich deze eeuw zullen voortzetten.

Figuur 1
Extreme weergebeurtenissen en impact in Nederland, 2014 – 2023



Bron: KNMI; Eden et al 2018; Copernicus 2023; Otten et al. 2000

Het klimaat verandert snel. Tijdige adaptatie en keuzes zijn noodzakelijk

De temperatuur in Nederland verandert sneller dan het wereldgemiddelde. Ook weersextremen nemen snel toe. Zo werd bijvoorbeeld het hittest record van meer dan 40 graden in de zomer van 2019 door het KNMI pas over enkele tientallen jaren verwacht. Daarmee is de zogenoemde dreiging van weer- en klimaat voor Nederland snel groter geworden en raakt het nu vrijwel alle facetten van de samenleving. Tegelijkertijd zijn onze samenleving en leefomgeving nog niet op alle fronten aangepast en ingericht op de veranderende klimaatomstandigheden.

Tabel 1
Overzicht veranderingen 1990-2020

| | Waargenomen trend (1990-2022) | Waargenomen verandering extremen (1990-2022) | Verwachting voor 2050 t.o.v. 1991-2020 (KNMI '23) |
|---------------------------|--|--|---|
| Temperatuur | Toename jaargemiddelde temperatuur | Toename hitte | Toename zet door |
| Neerslag | Toename jaarlijkse neerslaghoeveelheid | Toename piekbuien | Jaarlijkse neerslaghoeveelheid kan licht stijgen en licht dalen |
| Droogte | Regionale trend | Geen | Toename |
| Neerslagtekort | Geen landelijke trend | | |
| Windklimaat | Geen | Geen | Nauwelijks |
| Zeespiegelstijging | Versnelde stijging | Geen effect wateropzet | Versnelling zet door |

Zonder tijdige aanpassing zullen ook de aan klimaatverandering gerelateerde potentiële negatieve gevolgen voor mens, cultuur, natuur en economie – de zogenoemde klimaatrisico's – groter worden. Daarom is het voor de Nederlandse samenleving van belang om, naast maatregelen te nemen die zich richten op het beperken van klimaatverandering (mitigatie), ook snel keuzes te maken hoe met deze nieuwe of grotere klimaatrisico's om te gaan (adaptatie). Zo kunnen de gevolgen van klimaatverandering zoveel mogelijk worden beperkt of opgevangen.

Klimaatadaptatie kan bestaan uit (1) maatregelen die de **blootstelling** aan klimaatdreigingen verkleinen, zoals het bouwen in niet-overstromingsgevoelige gebieden, (2) maatregelen die de **gevoeligheid** voor klimaatdreigingen verkleinen, zoals het aanpassen van woningen en teelten, of (3) maatregelen die zorgen voor een **betere reactie** op het moment dat een klimaatdreiging zich voordoet, zoals waarschuwingssystemen of snellere herstelwerkzaamheden. Hoe groot een klimaatrisico is, wordt bepaald door de klimaatdreiging, de mate van blootstelling en gevoeligheid, en de mogelijkheden om aan te passen.

Eerste rapport van klimaatrisicoanalyse: belangrijke klimaatrisico's in het huidige klimaat

Adaptatie aan klimaatverandering is nu al noodzakelijk, maar des te meer als voorbereiding op de verwachte toename van klimaatrisico's in de toekomst. De inrichting van Nederland is constant in beweging. We staan voor belangrijke fundamentele keuzes, zoals de energietransitie en opgaven in het landelijk gebied en rond woningbouw. Het is daarom belangrijk om kennis te hebben over de klimaatbestendigheid van verschillende opties, om desinvesteringen te voorkomen.

Om deze keuzes te maken op basis van actuele kennis over klimaatrisico's, is het PBL op verzoek van diverse ministeries gestart met een klimaatrisicoanalyse, met als centrale vraag: hoe klimaatbestendig is Nederland, op dit moment en in de toekomst?

Dit is de eerste rapportage van het klimaatrisicoanalysetraject. Het heeft tot doel om inzicht te bieden in de actuele stand van zaken en in de ontwikkeling naar een klimaatbestendig en

waterrobuust Nederland in 2050 en daarna. Het voorliggende rapport brengt, voor een groot aantal sectoren en onderwerpen, de belangrijkste klimaatrisico's in Nederland in het huidige klimaat in beeld: waterveiligheid, -kwantiteit en -kwaliteit, gebouwde omgeving, mobiliteit, natuur, landbouw, gezondheid, cultureel erfgoed en rampen- en crisisbeheersing georganiseerd door de veiligheidsregio's. Focus van dit rapport is op risico's met een nadelige impact, en niet op eventuele positieve effecten of kansen.

Deze analyse is mede gebaseerd op de inventarisatie en risico-inschatting door betrokken kennisinstellingen. Deltares, KWR, RCE, RIVM, TNO, KNMI, NIPV, WEnR en WUR hebben per (beleids)sector/onderwerp de belangrijkste risico's in kaart gebracht, op basis van beschikbare kennis en informatie. Hiervoor heeft het PBL een gestructureerde methode ontwikkeld, gebaseerd op internationale richtlijnen (ISO 2021) en vergelijkbare analyses in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk (zie figuur 2). Klimaatrisico's (impact x waarschijnlijkheid) zijn hierbij in kaart gebracht door verschillende onderdelen (klimaatdreiging, blootstelling, gevoeligheid en adaptatiecapaciteit) te analyseren. Elk risico is uitgedrukt in een eindimpact op de domeinen mensen en cultuur, natuur en milieu, en economie. Daarbij zijn vooraf vastgestelde klasse-indelingen gebruikt om de grootte van de impact en de waarschijnlijkheid (kans op voorkomen) van het risico uit te drukken (zie figuur 3).

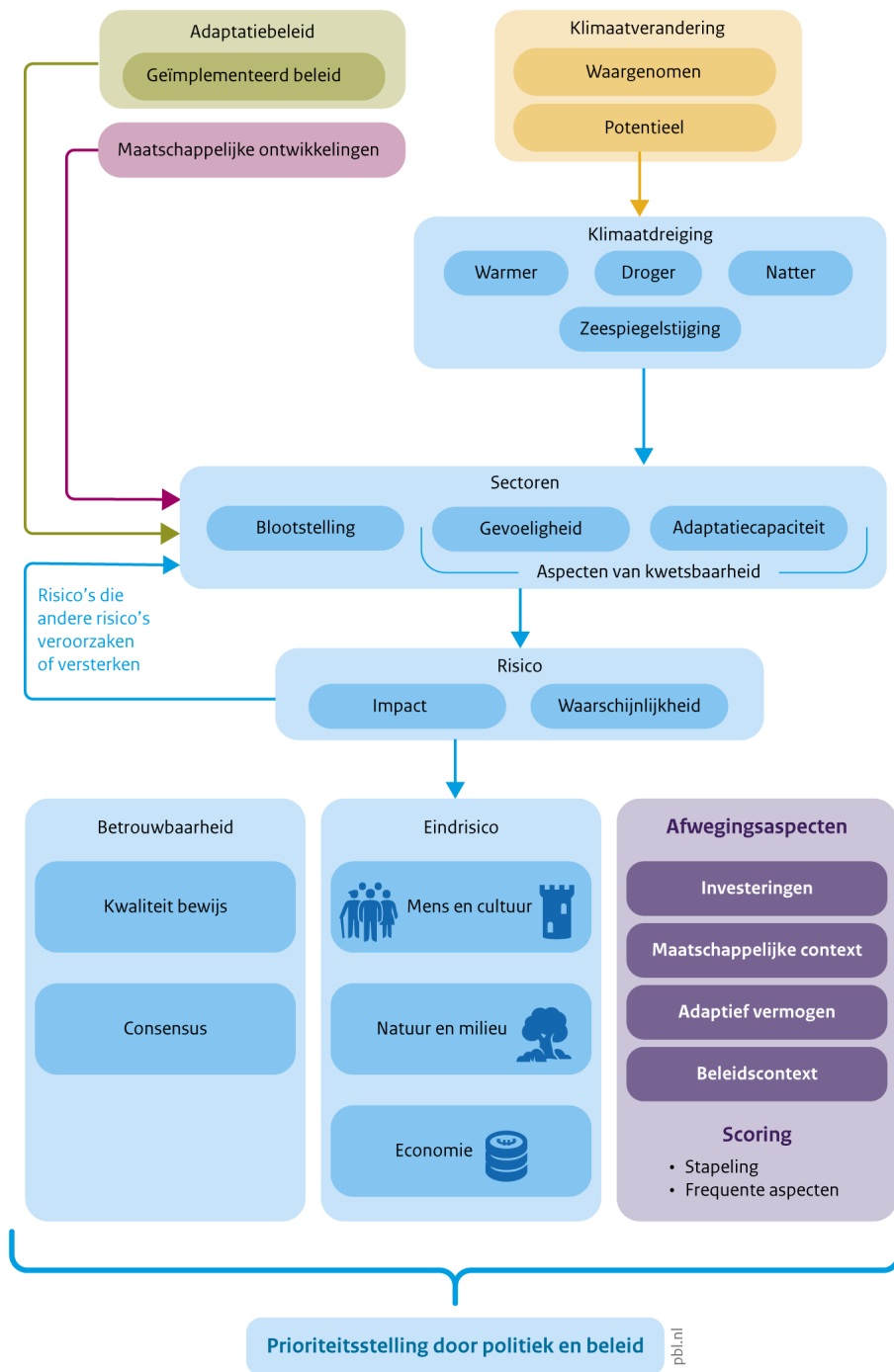
Aan deze analyse heeft het PBL in dit rapport een methode en beperkte uitwerking toegevoegd, waarmee politiek en beleid – naast de grootte van een risico en de betrouwbaarheid van de inschatting daarvan – andere aspecten kunnen meenemen in hun prioriteitstelling van risico's. Het gaat bijvoorbeeld om afwegingsaspecten als de omvang van investeringen, adaptief vermogen, omlooptijden en doorlooptijden van de adaptatiemaatregelen, dreigende *lock-ins*, en perceptie van het risico (zie figuur 2).

Begin 2026 volgt een tweede PBL-rapport over de risico's in het toekomstige klimaat, op basis van onder meer de nieuwe klimaatscenario's (2023) van het KNMI. Hierin zullen de risico's voor een groter aantal sectoren worden onderzocht en zal, naast risico's, ook worden gekeken naar kansen als gevolg van klimaatverandering. Ook zal de input voor het bredere afwegingskader worden onderzocht en zal het klimaatadaptatiebeleid worden geanalyseerd. De rapporten zullen kennis en informatie opleveren voor de herijking van de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS) en de Deltabeslissingen, beiden in 2026.

Belangrijkste beleidstrajecten: Nationale Klimaatadaptatiestrategie en Deltaprogramma

Het doel van het klimaatadaptatiebeleid is dat Nederland in 2050 'waterrobuust' en klimaatbestendig is ingericht. Het belangrijkste kader hiervoor is de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS). Het Deltaprogramma is een nationaal programma waaraan gemeenten, waterschappen, provincies en het Rijk deelnemen. Het programma is onderverdeeld in drie thema's: waterveiligheid, zoetwatervoorziening en ruimtelijke inrichting, verdeeld over zeven gebieden (Deltaprogramma 2024). Waterveiligheid gaat om overstromingen vanuit het hoofdwatersysteem van Nederland: de kust en de grote wateren. Het thema zoetwater betreft de zoetwaterbeschikbaarheid voor uiteenlopende doeleinden, zoals landbouw en drinkwaterproductie. Onder ruimtelijke inrichting vallen de aanpak van wateroverlast, gevolgbeperving van overstromingen, droogte en hitte in het landelijk en stedelijk gebied en ook de aanpak van vitale en kwetsbare functies (zoals energie, ICT, infrastructuur en drinkwaterproductie).

Figuur 2
Methode voor het onderzoeken van huidige klimaatrisico's



Bron: PBL

De NAS omvat, naast alle onderwerpen die meegenomen worden in het Deltaprogramma, adaptatiebeleid voor sectoren, thema's en klimaatrisico's die niet of in mindere mate in het Deltaprogramma aan de orde komen. Denk hierbij aan gezondheid, de gebouwde omgeving, cultureel erfgoed, natuur, natuurbranden en waterkwaliteit.

Kennis en informatie over klimaatrisico's nog niet compleet

Bij de uitwerking van de huidige klimaatrisico's is duidelijk geworden dat op een aantal onderdelen kennis en/of informatie ontbreekt. Zo is bij veel klimaatrisico's niet bekend welk deel van de kosten, schade of maatschappelijke impact toe te schrijven is aan klimaatverandering (attributie). Een ander belangrijk kennishiaat betreft de relatieve bijdragen van hitte, luchtverontreiniging en pollen aan sterfte en ziektelast. Voor veel onderwerpen ontbreekt goede monitoring, zoals voor natuurbranden of de klimaatrisico's voor cultureel erfgoed. Voor sommige kennisleemtes is of wordt nader onderzoek gedaan om meer inzicht te krijgen in de klimaatrisico's. In de beschrijving van de verschillende klimaatrisico's hebben we aangegeven wat de betrouwbaarheid is van de grootte van de impact en de waarschijnlijkheid. Deze mate van betrouwbaarheid is gebaseerd op de inbreng van de verschillende betrokken experts.

De omvang van het aandeel van klimaatverandering in de klimaatrisico's kan dus niet altijd met cijfers worden onderbouwd. Over het algemeen is de beschikbare kennis en informatie wel helder over welke impact (mede) het gevolg is van klimaatverandering. Het is duidelijk dat toenemende klimaatverandering zal leiden tot potentieel grotere risico's als Nederland zich niet weet aan te passen aan het veranderende klimaat.

Nederlandse samenleving loopt ook toenemende risico's door andere ontwikkelingen

De klimaatrisico's wijzigen niet alleen door klimaatverandering, maar ook door maatschappelijke, ruimtelijke en economische ontwikkelingen. Door onder andere bevolkingsgroei, meer bebouwing en bodemdaling worden meer mensen en kapitaal aan klimaatdreigingen blootgesteld. Ook is de gevoeligheid voor de impact van klimaatdreigingen toegenomen, bijvoorbeeld door de vergrijzing en de minder veerkrachtige natuur. Verder kunnen ontwikkelingen in het buitenland de risico's beïnvloeden, bijvoorbeeld als er aanpassingen zijn in bovenstroomse gebieden van de grote rivieren.

Er zijn nu al grote klimaatrisico's in Nederland

De inventarisatie die het PBL heeft gemaakt, laat zien dat er in de onderzochte sectoren nu al grote klimaatrisico's zijn voor mens en cultuur, natuur en milieu en economie (zie ook tabel 1). Het gaat hierbij om risico's bij de huidige klimaatdreiging (de waarschijnlijkheid van geleidelijke veranderingen en weersextremen), blootstelling aan klimaatrisico's, de gevoeligheid hiervoor, en de adaptatiemogelijkheden. Hieronder wordt dit samengevat, waarbij de klimaatrisico's zijn geclusterd van grotere impact en waarschijnlijkheid (rechterbovenhoek in figuur 3), naar huidige risico's met een kleinere impact en waarschijnlijkheid (hoek linksonder in figuur 3).

Belangrijke huidige klimaatrisico's met een grote of onomkeerbare impact

- **Risico's voor gezondheid:** hogere temperaturen, in combinatie met luchtverontreiniging, allergieën, infectieziekten en Uv-straling, hebben een grote impact op gezondheid. Door klimaatverandering nemen de frequentie, duur en intensiteit van hittegolven toe. De toegenomen temperatuur, zowel in de vorm van hittegolven als de gemiddelde jaartemperatuur, resulteert jaarlijks in het overlijden van enkele honderden mensen extra. Hittestress, infectieziekten, allergieën en huidkanker als gevolg van Uv-straling leiden gezamenlijk tot grote gezondheidsschade bij mensen, en tot aanzienlijke economische schade in de vorm van zorgkosten en arbeidsverlies. Hitte en andere uitingen van klimaatverandering hebben ook impact op de mentale gezondheid. De gevoeligheid voor gezondheidsrisico's is vooral groot onder kinderen, ouderen en chronisch zieken. Daarnaast hebben mensen in een financieel kwetsbare positie vaak niet de middelen om verkoelende maatregelen te nemen.

Opties voor adaptatie liggen ten eerste in maatregelen in- en rond de woning, en aanpassingen in de inrichting van buurten en wijken. Daarmee kan de blootstelling aan klimaatscenario's worden verminderd. Een tweede belangrijke optie voor adaptatie is het aanpassen van gedrag, eventueel gestuurd door waarschuwingen en voorlichting vanuit de overheid.

- **Risico op het verlies van cultureel erfgoed:** verlaagde grondwaterstanden als gevolg van droogte kunnen onomkeerbare schade toebrengen aan 'nat' archeologisch erfgoed. Dit zijn historische organische resten, die normaal in zoetwater of onder de grondwaterspiegel liggen. Overal in Nederland bevindt zich archeologisch erfgoed en overal wordt dit potentieel bedreigd door wisselende grondwaterstanden in tijden van extreme droogte. Het risico dat dit erfgoed droogvalt is al als probleem onderkend. Aangejaagd door de recente droge zomers vraagt dit om het snel maken van keuzes: hoe belangrijk vindt Nederland het behoud van nat archeologisch erfgoed en wat kan gedaan worden om het te behouden?
- **Risico op overstroming vanuit zee, grote rivieren en meren:** overstromingen ontstaan doordat keringen van de kust, rivieren of grote meren doorbreken of overstromen. De potentiële impact van overstromingen is zeer groot: honderdduizenden getroffen mensen, miljarden in economische schade en onomkeerbare schade aan natuur en milieu. Door beleid, prioritering en structurele en substantiële investeringen is de kans op een overstroming echter zeer klein: minder dan eens in de honderd jaar voor overstroming vanuit rivieren, en minder dan eens in de duizend jaar vanuit zee. Vanaf 2017 gelden er nieuwe normen voor de waterveiligheid, die uiterlijk in 2050 moeten zijn gehaald. De voortgang van de dijkversterking verloopt echter trager dan van tevoren is ingeschat. Ook blijkt de dijkversterkingsopgave groter en aanzienlijk duurder te zijn.

Huidige risico's met minder grote impact en lastige adaptatie

Meerdere klimaatscenario's vallen wat de grootte van de impact betreft in de middencategorie (zie figuur 3 voor de gehanteerde klasse-indeling van de impact). Een aantal van de risico's heeft een grote waarschijnlijkheid:

- **Droogte leidt jaarlijks tot schade aan funderingen van gebouwen.** Problemen zoals paalrot bij houten funderingen en scheefzakken bij ondiepe funderingen zijn niet nieuw, maar door klimaatverandering worden ze verergerd en versneld. Aanpassing van het waterbeheer, gericht op het nat houden van de funderingen door hogere grondwaterstanden, is een belangrijke optie voor adaptatie. Dit kan echter consequenties hebben voor andere functies in de omgeving. Bij onderhoud of vernieuwing van gebouwen kan meer rekening worden gehouden met funderingsschade. Ook kunnen bestaande funderingen worden hersteld. Tot nu toe is er veel onzekerheid over wie hiervoor verantwoordelijk is.
- Dezelfde funderingsproblematiek speelt bij een deel van het gebouwde erfgoed.
- Ook **historisch groen ondervindt droogteschade**, maar de omvang daarvan is nog onvoldoende in beeld.
- **Schade aan de natuur door hitte en droogte.** Hitte zorgt voor verlies aan ecosystemendiensten. Het heeft een negatieve impact op de biodiversiteit, met name in het geval van koudeminnende planten- en diersoorten. Als gevolg van hitte gaat de kwaliteit achteruit van de vele opwarmende vennen, poelen, beken, rivieren, meren en kustwateren. Deze kunnen droogvallen, waardoor lokale flora en fauna sterft. Ook lage grondwaterstanden, bijvoorbeeld bij eens in de tien jaar voorkomende droge periodes, zorgen voor een verlies aan biodiversiteit en ecosystemendiensten. In tijden van droogte wordt meer grondwater onttrokken door drinkwaterbedrijven en landbouw, waardoor de verdroging van de natuur toeneemt. Andere drukfactoren, met name landgebruik, verdroging (door onttrekkingen) en versnippering, leiden in de huidige situatie meer tot biodiversiteitsverlies dan klimaatverandering. De effecten van

klimaatverandering kunnen worden verminderd door de veerkracht van de natuur te vergroten. Dit kan door mee te bewegen met het veranderende klimaat, ruimte voor natuur te creëren, gebieden te verbinden, en door andere drukfactoren te verkleinen.

Risico's in de middencategorie met een kleinere waarschijnlijkheid zijn:

- **Extreme droogte, zoals in 2018.** Dit heeft in het huidige klimaat een kans op voorkomen van eens per dertig jaar en kan leiden tot:
 - **Opbrengstderving in de akkerbouw.** Dit levert economische schade op, maar door hogere prijzen voor producten resulteert het niet altijd in financiële schade voor boeren. Grootschalige inzet van beregening om droogteschade te beperken brengt extra kosten en werk voor boeren met zich mee. Ook draagt het bij aan de waterschaarste voor andere sectoren, zoals de natuur.
 - Bij lage rivierafvoeren spelen **beperkingen voor de binnenvaart**, met economische schade tot gevolg. Als de lading van een schip niet, of pas later en tegen hogere kosten, kan worden vervoerd, heeft dat ook gevolgen voor productieprocessen van de industrie. Door hogere prijzen, als gevolg van krapte in transportcapaciteit, leidt dit meestal tot een hogere omzet voor de binnenschippers, maar ook tot kosten voor de verladers. Aanpassing aan lage rivierafvoer kan onder andere door een ander scheepsontwerp of door aanpassingen van de infrastructuur. Beide kosten tijd en geld. Op kortere termijn helpt een goede informatievoorziening, waardoor vervoerders kunnen anticiperen op lage rivierafvoer door bijvoorbeeld de belading aan te passen of gebruik te maken van alternatieve routes.
- **Overstroming vanuit regionale wateren.** De omvang van een overstroming vanuit het regionale systeem is veelal een stuk kleiner dan vanuit het hoofdwatersysteem. Wel komt dit vaker voor: de afgelopen decennia hebben meerdere regionale overstromingen plaatsgevonden. Dit soort overstromingen leidt meestal niet tot slachtoffers, maar kan wel resulteren in aanzienlijke schade. De grootste impact vindt plaats in de gebouwde omgeving.

Diverse huidige risico's met lagere, omkeerbare impact en lokale overlast

Risico's die vallen in de lagere impactcategorie hebben een omkeerbare impact, en leiden vaak tot lokale overlast:

- Vaker voorkomende droge perioden (eens per jaar tot eens per tien jaar) zorgen dat er **extra kosten** worden gemaakt, onder andere door drinkwaterbedrijven. Ze hebben daarmee een (beperkte) economische impact. Droogte leidt ook tot opbrengstdervingen in de land- en tuinbouw.
- **Wateroverlast door lokale, extreme neerslag** komt vaker voor dan een overstroming vanuit regionale wateren, maar leidt op beperkte schaal tot schade. In de land- en tuinbouw leidt extreme neerslag tot opbrengstderving. Die is laag wanneer veel buien voorkomen, maar kan oplopen bij extreme buien die, bijvoorbeeld, gemiddeld eens in de 125 jaar voorkomen. Op het wegennet kan wateroverlast leiden tot een afname van de verkeersveiligheid hinder voor mens en bedrijfsleven door langere reistijden, en toename van aanleg- en onderhoudskosten.
- **De kans op een onbeheersbare natuurbrand in Nederland** is vooral op brandgevoelige dagen aanwezig: droge dagen waarop de luchtvochtigheid laag is. Het aantal dagen met een lage luchtvochtigheid (<50%) is in de periode 1950-2020 verdubbeld. Toch worden risico's van natuurbranden in de huidige situatie nog klein ingeschat: zowel de frequentie van branden in Nederland als het getroffen areaal zijn (nog) beperkt, en daarmee ook de impact op economie, mens en natuur. De gevolgen van een natuurbrand worden vergroot door de toenemende verwevenheid van de functies wonen, recreëren en natuur. Daarom is er is volgens de

risicoanalyse van het Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV) een mogelijkheid dat een natuurbrand in Nederland onbeheersbaar wordt, met aanzienlijke gevolgen voor mens en economie.

- Ook hitte brengt overlast met zich mee. Treinen kunnen uitvallen. Door uitzetting ondervinden sluizen en beweegbare bruggen storingen of kunnen ze niet meer openen en sluiten, met **beperkingen als gevolg voor verkeer op het spoor, over de weg en op het water.**

Huidige klimaatrisico's toegenomen: eerder, vaker en met grotere gevolgen dan ingeschat in de risicoanalyse uit 2015

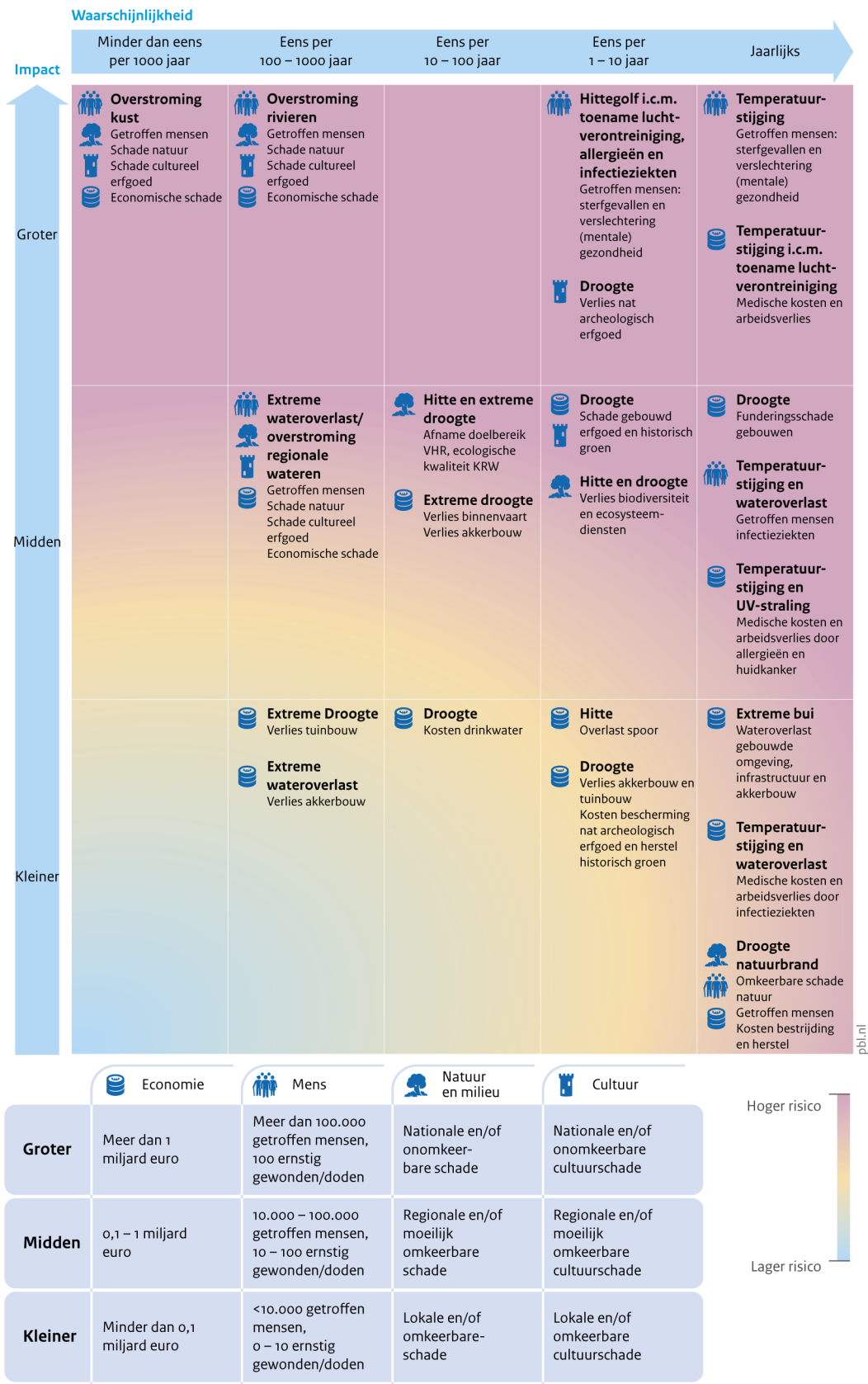
Een vergelijking van de huidige risico-inventarisatie van het PBL met die uit 2015 is maar beperkt mogelijk. De analyse die het PBL destijds maakte, was een toekomstverkenning. We maakten gebruik van een andere methode en klassengrenzen en richtten ons deels op andere sectoren. Voor zover een vergelijking wel mogelijk is, zien we dat:

- **Risico's voor gezondheid (het samengestelde risico van hitte, allergieën, infectieziekten, luchtkwaliteit en Uv-straling) worden nu hoger ingeschat dan in 2015.** Dit is deels gebaseerd op waarneming. Waar in 2015 nog niet werd gesproken over warmtesterfte, dat wil zeggen extra sterfgevallen als gevolg van de geleidelijke temperatuurstijging, wordt nu gerekend met meer dan 100 doden per jaar. Volgens de inschattingen in 2015 zouden tussen de 10.000 en 100.000 mensen in dit decennium worden getroffen door allergieën zoals hooikoorts. Nu wordt dit ingeschat op jaarlijks meer dan 100.000 mensen. Ook de economische impact van toegenomen medische kosten en arbeidsverlies door onder andere slechte luchtkwaliteit, allergieën en Uv-straling wordt hoger ingeschat: nu meer dan 100 miljoen euro, ten opzichte van 10 tot 100 miljoen euro in 2015. De impact op mentale gezondheid is in 2015 niet meegenomen, maar de zorgen over klimaatverandering in de samenleving en met name onder jongeren worden nu als een serieus probleem gezien.
- **Droge periodes met aanzienlijke schade treden eerder en vaker op dan ingeschat in 2015.** Zo werden de gevolgen van een oogstschade groter dan 100 miljoen euro door opeenvolgende periodes van droogte in 2015 nog ingeschat op 'waarschijnlijk in deze eeuw'. Dit soort periodes van droogte hebben zich in de recente droge jaren nu al herhaaldelijk voorgedaan. Ook de omvang van de schade in de akkerbouw wordt nu hoger ingeschat, namelijk op meer dan 100 miljoen euro, in tegenstelling tot 10-100 miljoen in 2015. De verstoring van habitats, bodems en archeologie door droogte treedt nu al op, en niet pas aan het eind van deze eeuw, zoals in 2015 werd ingeschat.

De impact van complexe klimaatrisico's is meestal meer dan de som van afzonderlijke risico's

Klimaatrisico's zijn in veel gevallen complex. Risico's kunnen elkaar versterken of kunnen stapelen (cascade), waarmee ze een nieuw risico vormen. De optelsom van meerdere risico's kan groter kan uitpakken dan verwacht, met aanzienlijke gevolgen voor maatschappij en economie. Burgers en bedrijven zijn steeds afhankelijker geworden van elektriciteit-, ICT- en logistieke netwerken en van andere vitale infrastructuur, die op hun beurt meer en meer verknoopt zijn geraakt op nationale en internationale schaal. Deze ontwikkelingen kunnen de kwetsbaarheid van Nederland voor klimaatverandering vergroten. Een compleet overzicht van complexe risico's is lastig te schetsen vanwege het grote aantal mogelijke combinaties, de stapelingen, de keten-effecten en de neveneffecten van adaptatie. Bovendien is de omvang en snelheid van vervolg-impact afhankelijk van specifieke omstandigheden, de maatschappelijke context en de uitvoering van klimaatadaptatiebeleid.

Figuur 3
Klimaatriisico's naar omvang



Bron: PBL

Klimaatrisico's en adaptatievermogen zijn ongelijk verdeeld over bevolkingsgroepen en gebieden

De effecten van klimaatverandering raken sommige groepen mensen harder dan andere. Zo worden ouderen en mensen die ziek zijn harder geraakt door hitte, en worden mensen die in steden wonen meer geraakt door funderingsschade en hitte. Ook kunnen mensen met minder financiële middelen zich mogelijk niet veroorloven om hun huis en omgeving aan te passen aan de verschillende klimaatrisico's: hitte, droogte (funderingsschade) en wateroverlast. Daarbovenop zouden prijzen voor producten kunnen stijgen door hogere kosten, veroorzaakt door droogte/wateroverlast in de landbouw of door beperkingen voor de binnenvaart.

Klimaatrisico's vertonen ook regionale verschillen, door verschillen in klimaat, fysieke omgeving en adaptatie. Zo zijn er gemiddeld in Limburg acht dagen waarop de temperatuur boven de 30 °C ligt en op de Waddeneilanden twee. De hoge zandgronden zijn gevoeliger voor verdroging dan andere delen van Nederland, vanwege hun bodemeigenschappen met snelle waterdrainage. Een ander voorbeeld is dat gebouwen op slappe bodems gevoeliger zijn voor funderingsschade. Slappe bodems bevinden zich in het westen en noorden van het land en in het rivierengebied. In het Limburgse heuvelland geldt voor overstroming van bebouwd gebied vanuit regionale wateren als norm dat dit maximaal eens per 25 jaar mag voorkomen, terwijl de norm voor bebouwd gebied elders in het land eens per 100 jaar bedraagt. Voor het verkrijgen van draagvlak voor adaptatiemaatregelen is het aan te raden om rekening te houden met dit soort ongelijke verdelingen.

Bestaande klimaatadaptatie loopt soms tegen grenzen aan en vraagt heroverweging

Door bestaande adaptatiemaatregelen is de schade van extreme weersituaties tot nu toe meestal beperkt geweest. De ontwikkeling en toepassing van de huidige adaptatiemaatregelen en institutionele afspraken zijn echter gericht op de maatschappelijke behoeften en het klimaat van de afgelopen tientallen jaren. Bij de verwachte toekomstige klimaatverandering en frequentere extremen zal dit beleid tegen grenzen aanlopen.

Een voorbeeld daarvan is beregening in de landbouw. De toepasbaarheid hiervan zal afnemen doordat er steeds minder beschikbaar water is in droge perioden. Dat vraagt om een andere afweging tussen enerzijds het afvoeren van water, waar de inrichting en het beheer van het watersysteem nu vooral op is ingericht, en anderzijds water vasthouden en bergen voor tijdens droge perioden. De uitkomst van deze afweging zal gevolgen hebben voor de omgang met het watersysteem. Ook heeft dit invloed op de verschillende functies die van het watersysteem gebruik maken, zoals drinkwaterwinning, land- en tuinbouw en natuur. De toegenomen droogte, het toegenomen waterverbruik en de afhankelijkheid van water om schade door klimaatrisico's te beperken, vragen om een integrale afweging van waterbeheer voor alle sectoren.

Klimaatverandering vergroot de opgave voor bestaande problemen

Klimaatverandering versterkt tot nu toe vooral bestaande problemen – zoals de slechte toestand van de natuur of funderingsschade aan gebouwen. Daardoor vergroot de opgave voor deze problemen. Om verdere verslechtering te voorkomen, is het aan te raden adaptatiebeleid te versnellen en keuzes en uitvoering naar voren te halen. Dat geldt onder andere voor het beleid om natuurdoelen te halen, de natuur veerkrachtiger te maken en daarmee de schade door klimaatverandering voor natuur te beperken. Hetzelfde geldt bijvoorbeeld voor gezondheidsproblemen door luchtverontreiniging en beleid voor verbetering van de luchtkwaliteit.

Adaptatiebeleid is in ontwikkeling, maar nog niet altijd concreet en toekomstgericht uitgewerkt

Voor een aantal klimaatrisico's staat er al adaptatie (beleid) op de rails. Er worden al veel investeringen gedaan en kosten gemaakt om de effecten van klimaatverandering te verminderen. Dit is bijvoorbeeld het geval voor bescherming tegen overstromingen en het voorkomen van wateroverlast. In het Deltaprogramma en de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS) wordt gewerkt aan aanvulling en uitvoering van het bestaande beleid, onder andere in het kader van het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUPKA 2023).

Het beleid voor het omgaan met klimaatrisico's die optreden als gevolg van hitte, droogte en wateroverlast door piekbuien is vaak minder ver ontwikkeld. Hetzelfde geldt voor combinaties van klimaatrisico's die de totale impact vergroten, zoals bij gezondheidseffecten. In veel gevallen is het beleid hiervoor nog niet voldoende uitgekristalliseerd. Tegelijkertijd ontbreken vaak heldere doelen en monitoring van de effectiviteit en voortgang van de adaptatie. Het is daardoor lastig om vast te stellen of het beleid op koers ligt met klimaatadaptatie. Veel beleid is vastgelegd in plannen of strategieën, in plaats van in wettelijke doelen met een vastgestelde financiering en een tijdspad. Mogelijk zal daardoor niet al het beleid in de praktijk worden uitgevoerd.

Afwegingen voor klimaatadaptatie zijn vaak complex. Dat vraagt om overkoepelende structurele keuzes

De mogelijke aanpassingen aan klimaatverandering kunnen gericht zijn op een beperkt aantal doelgroepen. Zo kunnen ouderen en mensen die ziek zijn hun gedrag aanpassen tijdens een hittegolf. Door het intensieve gebruik van ruimte in Nederland zijn gebruiksfuncties sterk verweven, waardoor aanpassingen aan klimaatverandering vaak complex zijn. Dit vraagt om afwegingen tussen belangen, waaruit overkoepelende, structurele keuzes volgen. Dit geldt onder andere voor het uitgangspunt in het beleid dat water- en bodemcondities bepalend zijn voor de ontwikkelingen die in een gebied mogen plaatsvinden. In combinatie met vaak ook grote investeringen resulteren de structurele keuzes die gemaakt moeten worden in fundamentele ruimtelijke- en verdelingsvraagstukken. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de verdeling van water in tijden van schaarste. Dit soort complexe afwegingen met veel betrokken partijen kunnen lange om- en doorlooptijden hebben.

Tegelijkertijd kost de uitvoering van klimaatadaptatie van de leefomgeving veel tijd, met bestendige infrastructuur, woningbouw en technische adaptatie (sluizen, gemalen, dijken etc.). Dat maakt het urgent om tijdig keuzes te maken en de uitvoering naar voren te halen in de tijd. Regie van het Rijk is nodig om deze overkoepelende keuzes te maken en er voor te zorgen dat adaptatie vervolgens verankerd wordt in alle beleidsvelden en op alle bestuurlijke niveaus. Vervolgens is het van belang de uitvoering in de hele samenleving plaats te laten vinden op een rechtvaardige en consistente manier.

Kans op mismatch tussen het tempo van klimaatadaptatie en dat van klimaatverandering

Veel adaptatiemaatregelen voor een grotere klimaatbestendigheid vergen tijd. Nu of op korte termijn zijn al keuzes nodig voor hoe Nederland wil omgaan met toegenomen klimaatrisico's. Adaptatiemaatregelen met lange om- en doorlooptijden dreigen op verschillende fronten geen gelijke tred te houden met de snel toegenomen risico's door klimaatverandering. Dit geldt onder meer voor de aanleg of vernieuwing van transportinfrastructuur, voor werkzaamheden aan waterkeringen en andere maatregelen voor waterveiligheid, voor nieuwbouw en voor de inrichting of aanpassing van woningen. Om een mismatch met het tempo van klimaatverandering te

voorkomen, is het aan te raden om bij keuzes die nu gemaakt worden, goed mee te nemen welke impact klimaatverandering de komende decennia zal hebben. Hiermee kan rekening worden gehouden in de afweging en bij de uitvoering van de klimaatadaptatiemaatregelen.

Regie van het Rijk op integratie en consistentie van klimaatadaptatie in al het beleid

Omdat klimaatverandering impact heeft op een groot aantal sectoren en maatschappelijke actoren, vraagt een goede implementatie van klimaatadaptatie om verankering in sectoraal beleid, zoals het ruimtelijk beleid, woningbouwbeleid, natuurbeleid of het landbouwbeleid. Om klimaatrisico's in Nederland tijdig aan te pakken en te verminderen, is regie van het Rijk nodig voor risico's die meerdere belangen en opgaven raken. Naast regie vraagt dit ook om gecoördineerde acties van en samenwerking tussen Rijk, provincies, waterschappen en gemeentes. Bovendien zijn er verbanden tussen klimaatadaptatie en andere transities en ontwikkelingen, zoals natuurherstel, de woningbouw opgave en de transities m.b.t. landbouw en energie. Maatregelen in het ene dossier werken door in het andere. Dat kan fout gaan ('maladaptatie') of juist kansen bieden. Ook dit vraagt om bovenregionale regie, om er voor te zorgen dat klimaatadaptatie op een consistente manier in de volle breedte wordt ingevuld.

Rekening houden met veerkracht van samenleving, andere afwegingsaspecten dan omvang klimaatrisico

Klimaatverandering grijpt in op alle facetten van het leven en van de samenleving. Het heeft meerdere gezichten: het wordt zowel warmer en droger als natter. Een klimaatbestendige samenleving richt zich daarom bij voorkeur niet alleen op aanpassingen gericht op één van deze factoren, met technische oplossingen zoals dijken verhogen (tegen het water) of beregening (tegen de droogte). In plaats daarvan is het nodig dat er een maatschappij ontstaat die veerkrachtig kan reageren op alle effecten van klimaatverandering, zowel in ruimtelijke inrichting als productie en gedrag.

Om tot veerkrachtige oplossingen te komen, is het belangrijk om niet alleen te kijken naar de (potentiële) omvang van klimaatrisico's (impact en waarschijnlijkheid). Sociale aspecten moeten ook worden meegenomen, zoals de rechtvaardige verdeling van klimaatrisico's, de kosten en baten van adaptatiemaatregelen, en inzicht in de beleving van klimaatrisico's. Als in de beleidskeuzes omtrent klimaatrisico's rekening gehouden wordt met deze sociale aspecten, kan dit het draagvlak voor (snelle) adaptatie vergroten.

Toekomstbestendige keuzes vragen nu om sturende rol klimaatadaptatie

Voor een toekomstbestendige invulling van klimaatadaptatie, is het aan te raden om het sturend te laten zijn bij beleidskeuzes. Dit geldt vooral voor beleidskeuzes voor de langere termijn, die gekoppeld zijn aan grote investeringen. Concreet gaat het dan om:

- **De woningbouwopgave.** Het is belangrijk klimaatadaptatie mee te nemen in de plan- en besluitvorming van stedelijke ontwikkeling. Waar en hoe kan er gebouwd worden, rekening houdend met overstromingen, wateroverlast en hitte?
- **De structurerende keuzes voor het landelijk gebied.** Welke activiteiten kunnen waar in het landelijk gebied plaatsvinden? En in welke vorm, rekening houdend met de draagkracht van het water en de bodem? Dit werken beleidsmakers uit in onder andere het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG).
- **Keuzes ten aanzien van het watersysteem.** Deze hangen samen met het toekomstbestendig gebruik van de wateren voor vele functies. Tot de beleidskeuzes horen afwegingen over de waterverdeling en de gevolgen voor de waterkwaliteit en bescherming tegen overstromingen.

Door klimaatadaptatie leidend en structurerend te laten zijn in deze grote voorliggende vraagstukken, kunnen de klimaatrisico's in Nederland verminderd worden. Zo kan worden toegewerkt naar toekomstbestendige oplossingen.

VERDIEPING

VERDIEPING

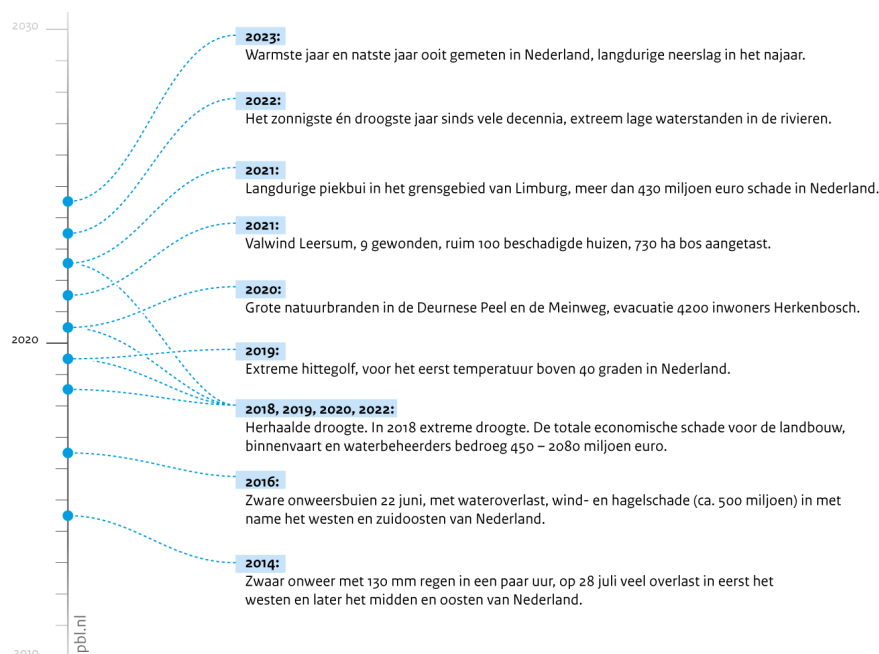
1 Inleiding

1.1 Nederland merkt nu al de gevolgen van klimaatverandering

Het klimaat verandert. In Nederland heeft dit uiteenlopende gevolgen, zoals een toename van temperatuur, een stijgende zeespiegel en een toename aan weersextremen zoals piekbuien, hittegolven en langdurige droogte. Ook nemen watertekorten en ernstige wateroverlast toe. Nederland werd in het afgelopen decennium meerdere malen geconfronteerd met extreme weergebeurtenissen met grote gevolgen (zie figuur 1.1).

Figuur 1.1

Extreme weergebeurtenissen en impact in Nederland, 2014 – 2023



Bron: KNMI; Eden et al 2018; Copernicus 2023; Otten et al. 2000

Nederland loopt door klimaatverandering risico's voor mens en cultuur, natuur en milieu, en de economie. Op sommige gevolgen is Nederland al goed voorbereid; vanwege een traditie van omgaan met en aanpassen aan het water zijn veel overstromingen voorkomen. Door langdurige neerslag kregen meerdere Nederlandse rivieren eind 2023 en begin 2024 te maken met hoge rivierafvoeren en steeg het IJsselmeerpeil tot recordhoogte. De gevolgen in de gebieden langs rivieren als IJssel en Vecht bleven beperkt, onder andere dankzij pompen die op diverse locaties zijn ingezet, en door zandzakken, zoals aan de IJsselkade in Deventer. Vanwege het hoge waterpeil en de storm Pia ging voor het eerst de Maeslantkering automatisch dicht, net als vijf andere keringen. Ook werd voor het eerst water afgevoerd door de hoogwatergeul Reevediep bij Kampen. Die is aangelegd om de IJssel te ontlasten en overstromingen te voorkomen als de rivier veel water krijgt aangevoerd van regenrivieren uit Duitsland.

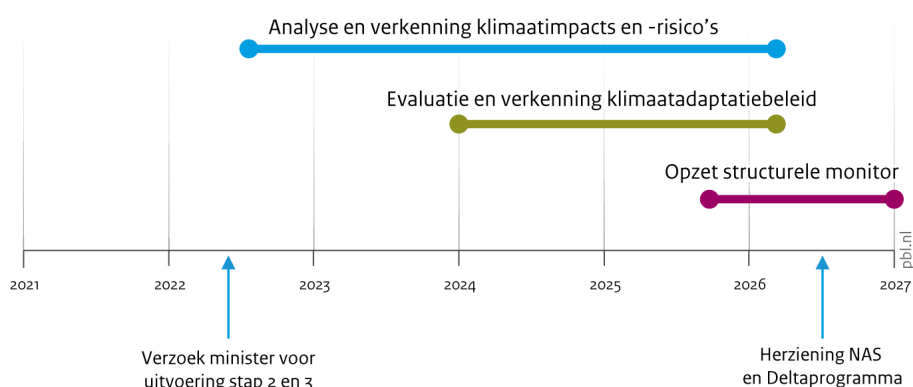
Maar de Nederlandse samenleving en leefomgeving zijn nog niet op alle fronten aangepast aan en ingericht op de huidige en veranderende klimaatomstandigheden. Om de gevolgen van klimaatverandering voor de samenleving zo klein mogelijk te houden of zo goed mogelijk op te vangen, is het nodig dat Nederland zich ook op die andere fronten aanpast. Die zogenoemde klimaatadaptatie is nu al noodzakelijk, maar in de toekomst des te meer om voorbereid te zijn op de verwachte toename van klimaatrisico's. Bovendien zou met die risico's nu al rekening gehouden moeten worden bij het maken van fundamentele keuzes. Bijvoorbeeld bij de planning van woningbouw: welke locaties en welk type woningen zijn het meest klimaatbestendig? Gedegen kennis over klimaatbestendigheid kan bij dit soort grote projecten desinvesteringen voorkomen.

1.2 Programma 'Monitoring en evaluatie van het nationale klimaatadaptatiebeleid'

Verschillende ministeries hebben het PBL gevraagd een nieuwe klimaatrisicoanalyse te doen: een langjarig programma voor monitoring, verkenning en evaluatie van de klimaatrisico's en het klimaatadaptatiebeleid, met als achterliggende vraag: hoe klimaatbestendig is Nederland op dit moment en in de toekomst?

Dit rapport 'Klimaatrisico's in Nederland' is het eerste rapport dat verschijnt in het kader van dat programma 'Monitoring en evaluatie van het nationale klimaatadaptatiebeleid' (zie ook figuur 1.2). Hierin analyseren en verkennen we de klimaatrisico's voor een breed spectrum van (beleids)sectoren. De risicoanalyse heeft als doel om inzicht te bieden in de actuele stand van zaken en in de ontwikkeling naar een klimaatbestendig en waterrobuust Nederland in 2050 en daarna.

Figuur 1.2
Monitoring en evaluatie van het nationale klimaatadaptatiebeleid



Bron: PBL

Het is overigens niet de eerste risicoanalyse: in 2015 heeft het PBL in samenwerking met andere kennisinstellingen ook een nationale klimaatrisicoanalyse uitgevoerd (PBL 2015), die input is geweest voor de Nationale Klimaatadaptatie Strategie (NAS) van 2016 (IenW 2016). In 2021 hebben verschillende departementen onder de vlag van het Directeurenoverleg NAS het PBL verzocht om opnieuw een klimaatrisicoanalyse uit te voeren, die nu is opgenomen in het uitgebreidere programma 'Monitoring en evaluatie van het nationale klimaatadaptatiebeleid'.

Het complete programma bestaat uit een drietal stappen (zie figuur 1.2, zie ook Ligetvoet et al. 2021). De eerste stap bestaat, naast het voorliggende rapport over de huidige klimaatrisico's, uit een verkenning van toekomstige klimaatrisico's. De tweede stap betreft het monitoren en evalueren van het klimaatadaptatiebeleid. Ten slotte zal de derde stap een lange-termijnontwerp opleveren voor een effectief monitoring- en evaluatiesysteem voor de periode na 2026. Met dit programma leveren we (nieuwe) informatie voor de herijking van de NAS en een beoogde herziening van het Deltaprogramma (DP) – beide voorzien in 2026. Ook bieden we met het programma informatie voor de opzet van een structurele, langjarige klimaatadaptatiemonitor (Nationale Monitor Klimaatadaptatie NMK). Het programma wordt op verzoek van meerdere departementen in de periode tot 2026 uitgevoerd door het PBL, in samenwerking met andere kennisinstellingen.

1.3 In dit rapport: huidige klimaatrisico's in beeld

Dit rapport is de eerste publicatie in het kader van de tweede nationale klimaatrisicoanalyse (zie stap 1, figuur 1.2). In dit rapport brengen we – op grond van waargenomen klimaatverandering nu en in de afgelopen 30 jaar, en inschattingen van experts – de omvang van klimaatrisico's in de huidige situatie in beeld. Deze analyse van de huidige klimaatrisico's kan gezien worden als een soort 'nulmeting': als in de toekomst deze informatie actueel wordt gehouden, laat dit ook zien hoe de risico's zich in de loop der tijd ontwikkelen. Nemen klimaatrisico's af, toe of blijven ze gelijk? Daarmee geeft de analyse inzicht in de opgaven voor het nationale klimaatadaptatiebeleid.

In een vervolgstudie zal het PBL de klimaatrisico's in het toekomstig klimaat in Nederland (2050 en 2100) verkennen. Deze vervolgstudie over toekomstige risico's, waarbij het PBL ook het klimaatadaptatiebeleid verkent en evalueert, zal begin 2026 worden gepubliceerd.

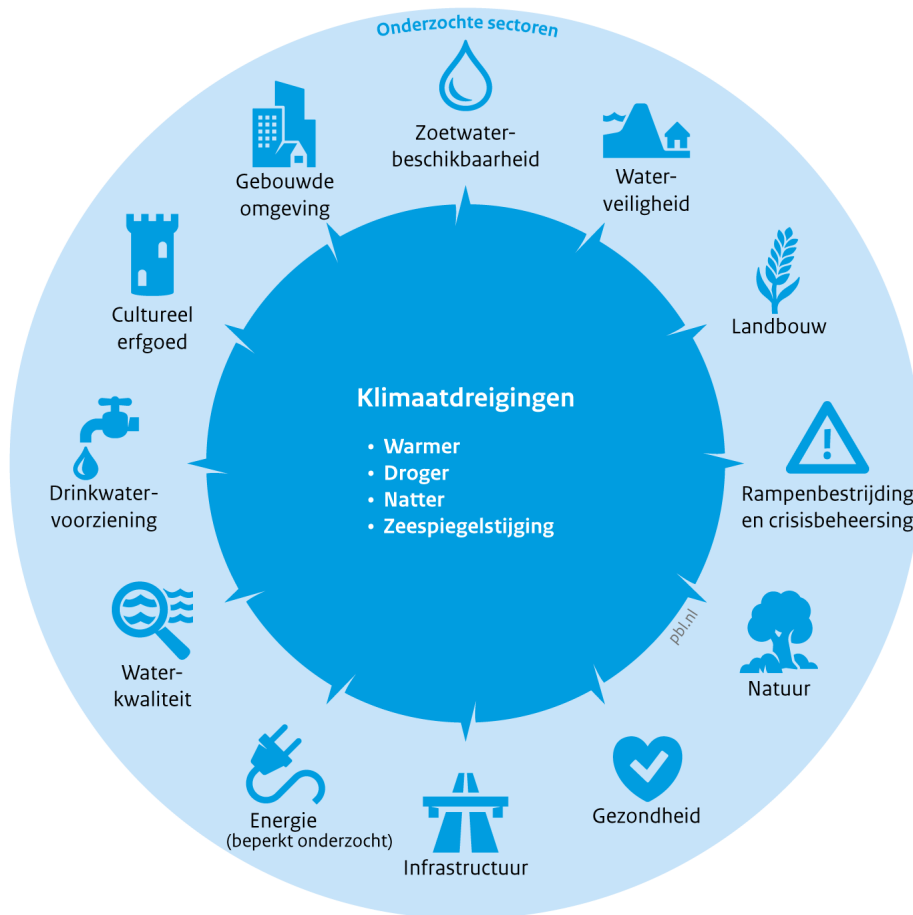
Afbakening van de klimaatrisico's

In dit rapport kijken we naar de risico's die sectoren nú lopen door klimaatverandering, dat wil zeggen in de jaren tot 2024. Het gaat dan om sectoren die een centrale rol spelen in de samenleving en economie, zoals gezondheid, cultureel erfgoed, drinkwater, waterveiligheid, waterkwantiteit en -kwaliteit, natuur, landbouw, gebouwde omgeving, infrastructuur en mobiliteit, en rampen- en crisisbeheersing (figuur 1.3). Een aantal belangrijke sectoren zijn in dit rapport (in tegenstelling tot de studie uit 2015 (PBL2015c)) vanwege gebrek aan capaciteit en budget echter niet uitgewerkt. Zo zijn vitale en kwetsbare infrastructuur (anders dan drinkwater en de hoofdspoorwegen, vaarwegen en wegennet), energie, ICT, de recreatiesector en de risico's voor Nederland door klimaatverandering in het buitenland niet meegenomen.

De focus van dit rapport ligt op risico's met een negatieve impact en niet op de eventuele positieve impacts of kansen. In de verkenning van de toekomstige klimaatrisico's, zal de analyse verbreed worden met aanvullende sectoren en mogelijke positieve effecten van klimaatverandering voor Nederland.

In dit traject is in opdracht van PBL onderzoek gedaan naar huidige klimaatrisico's door Deltares, KWR, RCE, RIVM, TNO, KNMI, NIPV, WEnR en WUR (zie bijlage 1 voor hun rapportages). Per (beleids)sector is op basis van expertbeoordeling een inventarisatie gemaakt van de huidige klimaatrisico's. Op basis van deze inventarisatie zijn ruim dertig risico's geselecteerd en verder onderzocht (zie bijlage 2). De focus lag daarbij op het verzamelen, structureren en integreren van de beschikbare kennis en informatie en het signaleren van belangrijke lacunes daarin.

Figuur 1.3
Klimaatdreigingen en sectoren in analyse huidige klimaatrisico's



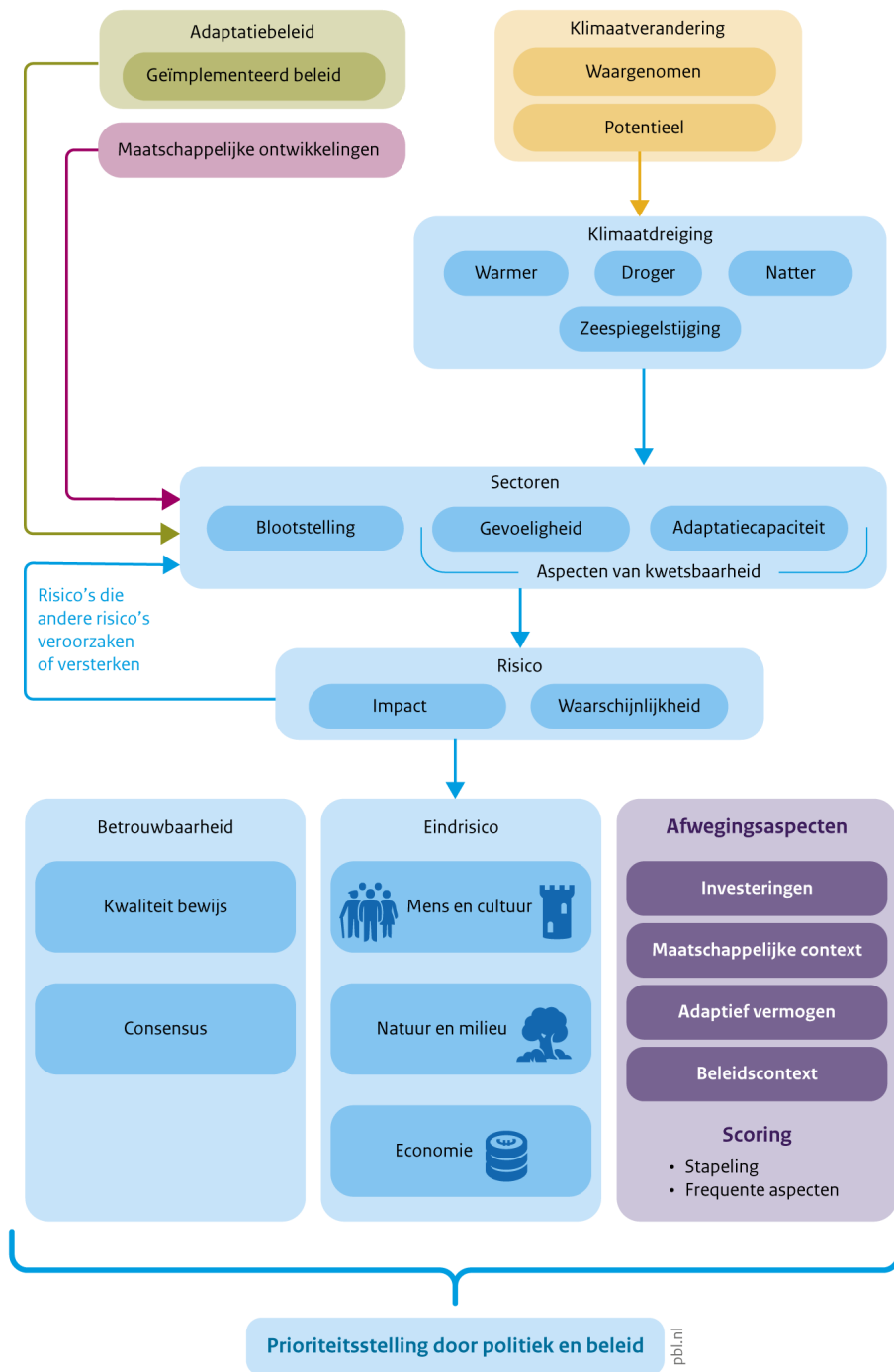
Bron: PBL

Aanpak

PBL heeft een gestructureerde methode ontwikkeld voor klimaatrisicoanalyse in Nederland (PBL 2023), gebaseerd op internationale richtlijnen (ISO 2021) en vergelijkbare analyses in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk (Betts et al 2021, Kahlenborn et al. 2021). Klimaatrisico's (met een impact en een waarschijnlijkheid van voorkomen) zijn in kaart gebracht door verschillende onderdelen ervan te analyseren (klimaatdreiging, blootstelling, gevoeligheid en adaptatiecapaciteit, zie figuur 1.4 en de begrippenlijst in bijlage 3 voor uitleg van deze begrippen).

Om de huidige klimaatrisico's te kunnen bepalen, zijn verschillende stappen doorlopen (zie figuur 1.4). Zo hebben we gekeken naar veranderingen in het klimaat die in de afgelopen dertig jaar zijn waargenomen/zich hebben voorgedaan ('waargenomen klimaatgebeurtenissen'), en naar veranderingen die kunnen optreden in de huidige omstandigheden maar zich (nog) niet hebben voorgedaan ('potentiële klimaatgebeurtenissen'). Hiervoor zijn voornamelijk KNMI-data gebruikt van klimaatverandering in de huidige situatie. Die waargenomen en potentiële veranderingen noemen we in dit rapport 'klimaatdreigingen' en zijn samengevat als 'warmer', 'droger', 'natter' en 'zeespiegelstijging'. We hebben zowel gekeken naar geleidelijke veranderingen als naar extremen (zie hoofdstuk 2).

Figuur 1.4
Methode voor het onderzoeken van huidige klimaatrisico's



Bron: PBL

De veranderingen kunnen voor de verschillende (beleids)sectoren een risico vormen. De betrokken kennisinstellingen hebben, gecoördineerd door het PBL, geselecteerde klimaatrisico's uitgewerkt volgens de gestructureerde methode van het PBL en voor alle onderdelen van de klimaatrisicoanalyse (zie figuur 1.4). In samenwerking tussen de kennisinstellingen en het PBL zijn de klimaatrisico's doorvertaald naar eindrisico's voor mens en cultuur, natuur en milieu, en economie. Daarbij is de grootte van die risico's (impact en waarschijnlijkheid) bepaald, evenals de betrouwbaarheid daarvan (op basis van kwaliteit van bewijs en consensus). Ook zijn kennishiaten

vastgesteld. De bijdragen van de kennisinstellingen zijn vastgelegd in achtergrondrapporten met daarin factsheets per klimaatrisico (zie bijlage 1). In hoofdstuk 3 tot en met 6 geven we een overzicht van klimaatrisico's voor de onderzochte sectoren per type klimaatdreiging. We plaatsen deze in context en leggen dwarsverbanden.

In de klimaatrisicoanalyse is de doorwerking van het geïmplementeerde adaptatiebeleid tot en met 2022 meegenomen. De mate waarin klimaatverandering voor een sector een risico is, is ook afhankelijk van maatschappelijke ontwikkelingen; sociaaleconomische en ruimtelijke ontwikkelingen beïnvloeden de blootstelling en kwetsbaarheid van een (beleids)sector voor klimaatverandering. Waar relevant voor het klimaatrisico zijn deze ontwikkelingen meegenomen in de analyse. Ook is verkend wat de risico's zijn als bepaalde klimaatveranderingen of -impacts gelijktijdig optreden, en is gekeken naar zogenoemde keteneffecten: de indirecte gevolgen veroorzaakt door een keten van gebeurtenissen, die sector- of grensoverschrijdend kunnen zijn. Verder is er (beperkt) gekeken naar onbedoelde negatieve neveneffecten van adaptatiemaatregelen die al worden toegepast ('maladaptatie', zie paragraaf 7.1). Ook zijn de klimaatrisico's in de huidige situatie (waar mogelijk) vergeleken met de inschattingen uit de eerste risicoanalyse (zie paragraaf 7.2).

Afwegingen voor politiek en beleid

Nadat de risico's in kaart zijn gebracht is het de keuze van politiek en beleid hoe ze hiermee om willen gaan en welke prioriteit ze er aan geven. Het is immers aan de politiek en/of beleid om af te wegen welke klimaatadaptatiemaatregelen er nodig zijn en welke voorrang moeten krijgen. Daarbij spelen de grootte van het risico en de betrouwbaarheid van de inschatting van dat risico een rol, maar ook verscheidene andere afwegingsaspecten (zie figuur 1.4). Het gaat bijvoorbeeld om aspecten als de omvang, flexibiliteit, omlooptijd en doorlooptijd van investeringen, het adaptief vermogen, de maatschappelijke context (met onder andere perceptie en rechtvaardige verdeling van klimaatrisico's en adaptatiemaatregelen), en de beleidscontext.

In hoofdstuk 8 wordt een kader geschetst om deze afwegingsaspecten uit te werken, en geven we voorbeelden van afwegingsaspecten die relevant zijn voor snelheid van adaptatie en tijdigheid van keuzes. In hoofdstuk 9 wordt kort het huidige adaptatiebeleid beschreven en worden enkele aandachtspunten voor beleid gepresenteerd die deze risicoanalyse van de huidige klimaatrisico's in Nederland heeft opgeleverd.

2 Waargenomen klimaatverandering

In dit hoofdstuk beschrijven we de waargenomen trends in het klimaat van de afgelopen dertig jaar (paragraaf 2.1). Waargenomen en ingeschatte veranderingen van het klimaat kunnen een dreiging vormen voor de samenleving. We onderzoeken hoe groot deze ingeschatte en waargenomen klimaatdreiging is en hoe die zich de afgelopen dertig jaar heeft ontwikkeld. In paragraaf 2.2 zetten we de waargenomen klimaatveranderingen op een rijtje om de klimaatdreigingen in de huidige situatie in beeld te brengen. De klimaatveranderingen zoals beschreven in de klimaatscenario's voor de toekomst (KNMI 2023) werken we in dit rapport niet uit, maar in de PBL-toekomstverkenning klimaatrisico's, waarvan de publicatie begin 2026 gepland is.

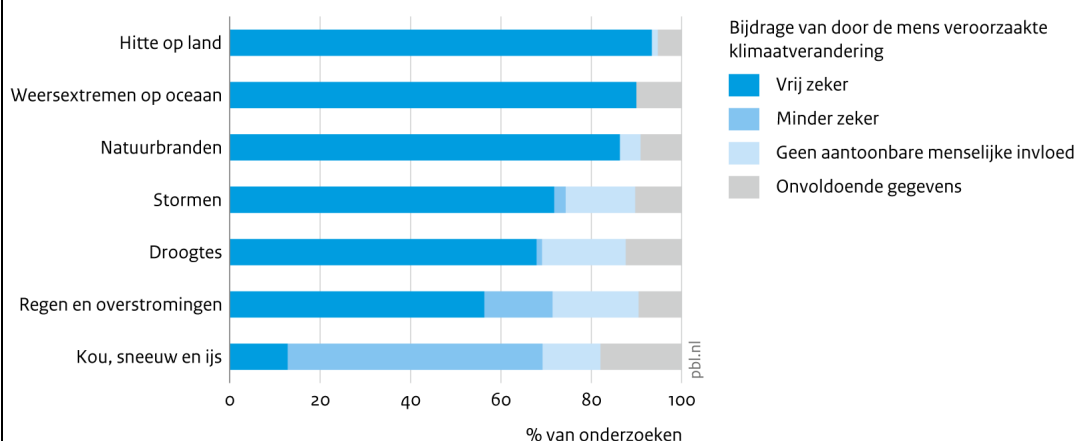
Tekstkader 2.1

Bijdrage klimaatverandering aan veranderingen extreem weer

Relatief recent ontwikkelde technieken maken het mogelijk de bijdrage van door de mens veroorzaakte klimaatverandering aan extreme weergebeurtenissen vast te stellen (zogenoemde attributie). Hierbij worden metingen en berekeningen met klimaatmodellen zonder en met menselijke invloed gecombineerd. In juli 2019 vond in Nederland bijvoorbeeld de eerste hittegolf plaats waarbij temperaturen boven de 40 graden werden gemeten. Uit een zogenoemde attributiestudie van die hittegolf (Van Oldenborgh et al. 2019), bleek dat deze vrijwel onmogelijk was zonder door de mens veroorzaakte klimaatverandering.

Figuur 2.1

Invloed van klimaatverandering op extreme weersomstandigheden volgens mondiaal onderzoek, 2004 – 2022



Bron: Carbon Brief 2022

Percentage studies, wereldwijd, waarin wordt aangegeven in hoeverre er zekerheid is dat opgetreden extreme weergebeurtenissen beïnvloed zijn door (door de mens veroorzaakte) klimaatverandering. Zo geeft, bijvoorbeeld, het merendeel van de studies aan dat hitte op land vrij zeker mede wordt veroorzaakt door klimaatverandering. Bij kou is de bijdrage van klimaatverandering aan opgetreden extremen kleiner.

Het klimaat verandert en het staat vrijwel vast dat deze verandering door de mens veroorzaakt is.

Niet eerder in ten minste de afgelopen 2000 jaar steeg de temperatuur op aarde zo snel als nu (IPCC 2021). De wereldgemiddelde temperatuur was in 2020 1,2 °C hoger dan in het pre-industriële tijdperk (1850-1900). In Nederland was de stijging bijna twee keer zo groot.

Ook zijn sinds dat tijdperk, inclusief de afgelopen 30 jaar, de neerslag, zonnestraling, verdamping en het maximale neerslagtekort toegenomen (KNMI 2021). Bovendien zijn de weersextremen in de laatste dertig jaar sterk veranderd. De neerslag valt vaker in zwaardere buien en de kans op extreme hitte is toegenomen. Door de mens veroorzaakte klimaatverandering speelt bij veranderingen in weersextremen een grote rol (zie tekstkader 2.1).

2.1 Waargenomen klimaatverandering

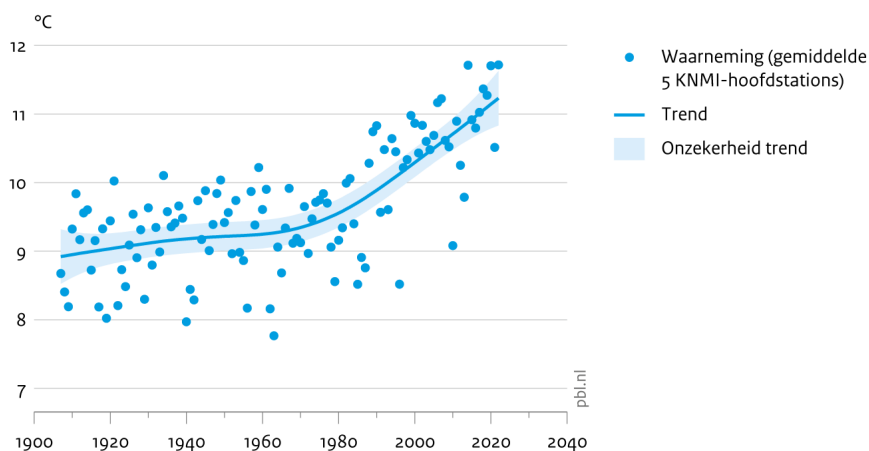
2.1.1 Het is warmer

Temperatuur in Nederland nam in de afgelopen dertig jaar met 1.1 °C toe

Vergeleken met het klimaat van net voor de industriële revolutie (1850-1900) is de jaargemiddelde temperatuur in Nederland met 2,3 °C toegenomen (figuur 2.2). Vooral in de afgelopen dertig jaar is de toename van temperatuur snel verlopen. In deze periode is de jaargemiddelde temperatuur in Nederland met 1,1 °C toegenomen. In de winters komt dit mede doordat de wind vaker uit het westen waait. Door toenemende zonnestraling, als gevolg van afnemende bewolking en afnemende luchtvervuiling, warmen de lentes en zomers extra op. In Nederland is de opwarming in de zomer groter dan in de winter (KNMI 2021; 2023).

Figuur 2.2

Jaargemiddelde temperatuur



Bron: KNMI

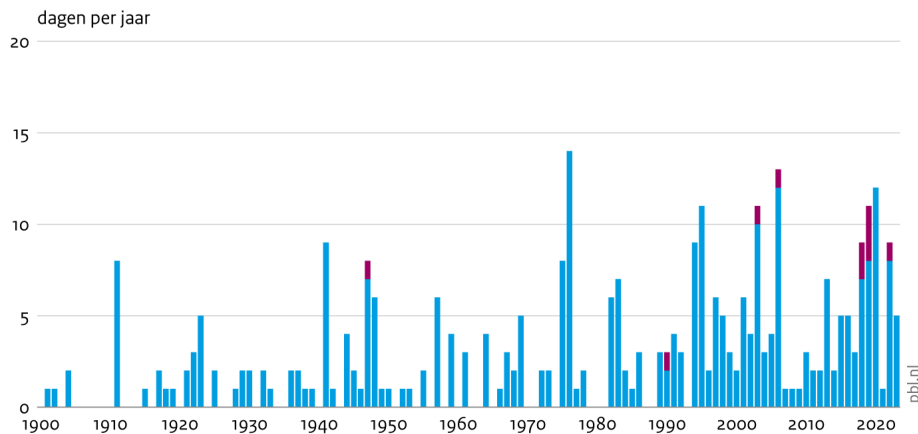
De jaargemiddelde temperatuur in Nederland is toegenomen.

Grootste verandering in extreem warme en koude dagen en nachten

De warmste zomerdagen en de koudste winterdagen warmen in Nederland relatief sneller op dan de jaargemiddelde temperatuur. Het aantal zomerse dagen (dagen met een maximum temperatuur van 25 °C of hoger) per jaar is van vijftien dagen in de periode 1961-1990 toegenomen met een week, naar 22 dagen in de periode 1990-2020 (KNMI 2021). Het aantal dagen met temperaturen boven de 30 graden (tropische en extreem warme dagen) is in de laatste decennia bijna verdubbeld (figuur 2.3). Het gaat om gemiddeld 4.7 tropische dagen over de afgelopen dertig jaar ten opzichte van 2.4 tropische dagen in 1961-1990 (KNMI 2021). Het aantal dagen waarop de temperatuur boven de 30 graden ligt, is landinwaarts groter dan aan de kust (figuur 2.4).

Figuur 2.3

Aantal dagen met temperatuur van 30 °C of hoger



Maximumtemperatuur in De Bilt

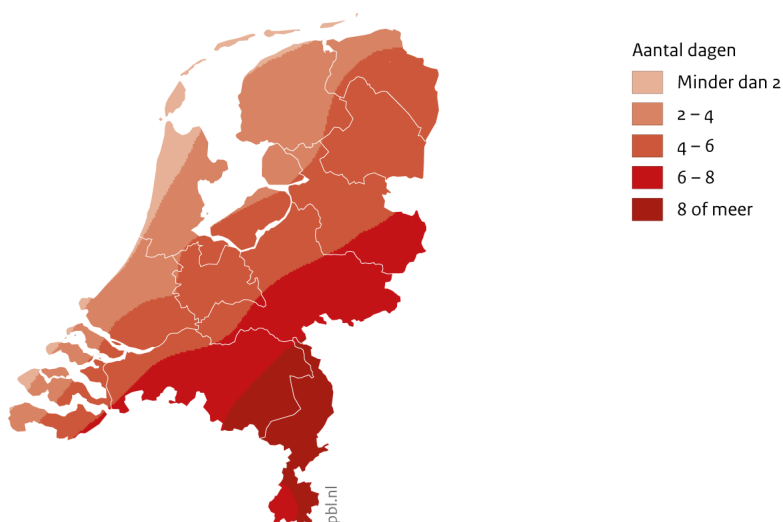
- Extreem warm (35 °C of hoger)
- Tropisch (30 °C tot 35 °C)

Bron: KNMI

Het aantal tropische (>30 °C) en extreem warme dagen (>35 °C) in Nederland is de laatste decennia toegenomen.

Figuur 2.4

Gemiddeld aantal dagen met een temperatuur van 30°C of hoger, 1991 – 2020



Bron: KNMI 2023

In het huidige klimaat komen er gemiddeld meer dan acht tropische (>30 °C) dagen in een jaar voor in Limburg, terwijl er in de kop van Noord-Holland en op de Waddeneilanden minder dan twee tropische dagen voorkomen.

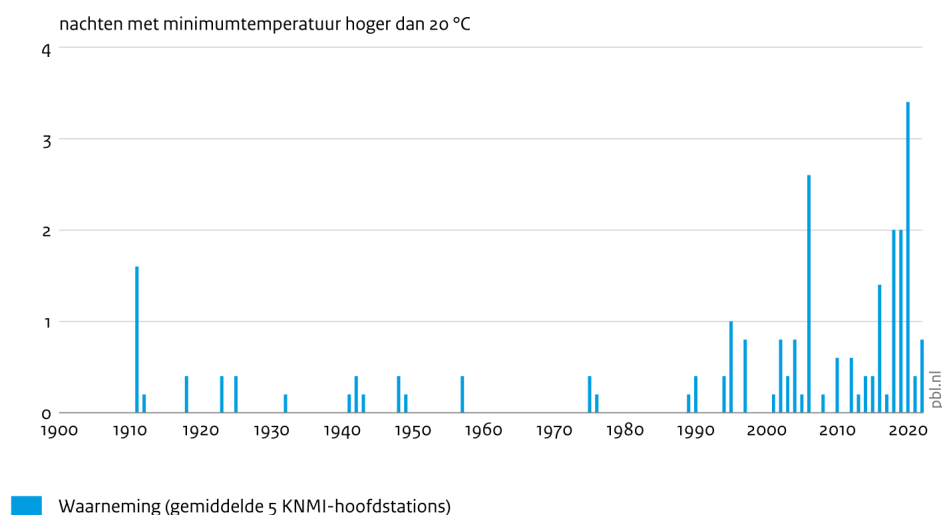
Ook het aantal tropische nachten is sterk toegenomen. Tot het jaar 2000 was een tropische nacht een zeldzaam fenomeen. Hierna komt het regelmatig voor (figuur 2.5). Door het stedelijk hitte-eilandeffect kan de temperatuur in de zomer 's nachts in de stad meerdere graden Celsius hoger zijn dan in de rurale omgeving (een groter verschil dan overdag; zie tekstkader 2.2).

Op de warmste zomerdagen waait de wind in Nederland vaak uit het zuiden. Ze voert dan warme, droge lucht aan. Gemiddeld over Europa is het aantal dagen in een jaar met extreem hoge temperaturen tussen 1950 en 2018 verdrievoudigd (gedefinieerd als de 1 procent hoogste dagtemperaturen in de periode 1950-2018). De hete dagen zijn 2,3 graden warmer geworden.

Het aantal extreem koude dagen, gedefinieerd als de 1% laagste dagtemperaturen in een jaar, is in de periode 1950-2018 twee tot drie keer zo klein geworden. Die koude dagen zijn op hun beurt drie graden warmer geworden (Lorenz et al. 2019). Op de koudste winterdagen komt de lucht doorgaans uit Noord-Europa. Daar neemt de temperatuur in de winter het meest toe. Dit betekent een aanzienlijke afname van het aantal ijsdagen met een maximumtemperatuur onder nul (KNMI 2023). In Nederland is ook het aantal vorstdagen (dagen waarop de temperatuur tot onder het vriespunt daalt) afgenomen van 41 dagen in de periode 1961-1990 naar 35 dagen in 1991-2020 (KNMI 2021).

Figuur 2.5

Aantal tropische nachten



Bron: KNMI; bewerking PBL

Het aantal tropische nachten (>20 °C) is vooral sinds het begin van deze eeuw toegenomen.

Toename lengte en intensiteit hittegolven

Door de relatief sterke opwarming van zomerdagen komen aaneengesloten perioden van dagen boven 25 graden Celsius veel vaker voor. Deze periodes zijn toegenomen van vier dagen in 1906 naar zeven dagen in 2022 (zie ook CBS, PBL, RIVM, WUR 2024a). Ook hittegolven komen nu vaker voor en duren langer dan vroeger. We definiëren een hittegolf als een opeenvolging van minimaal vijf zomerse dagen in De Bilt met een maximumtemperatuur van 25 graden of hoger, waarvan er minimaal drie tropisch (maximumtemperatuur 30,0 °C of hoger) zijn.

Tijdens een hittegolf in 2019 werd het nationale hittest record met ruim 2 graden Celsius gebroken (40,7 graden in Gilze-Rijen). Deze hittegolf was extreem, ook in het huidige warmere klimaat. Zonder klimaatverandering zouden dergelijke hoge temperaturen van de afgelopen jaren volgens het IPCC 'extreem onwaarschijnlijk' zijn; het is 'vrijwel zeker' dat deze hitte sinds de jaren '50 van de vorige eeuw vaker voorkomt en meer extreem is geworden (IPCC 2021). Volgens experts zou de hittegolf van 2019 in Frankrijk en Nederland zonder klimaatverandering minder dan eens in de duizend jaar optreden. In het huidige klimaat is de kans op een dergelijke gestegen naar eens in de

tien tot honderdvijftig jaar (Vautard et al. 2020; Ma et al. 2020). Drie factoren bepalen de impact van een hittegolf: de intensiteit, de duur en de ruimtelijke omvang. In een warmer klimaat nemen alle drie toe, terwijl het aantal ‘afkoeldagen’ met temperaturen onder de 25 graden juist afneemt.

Tekstkader 2.2

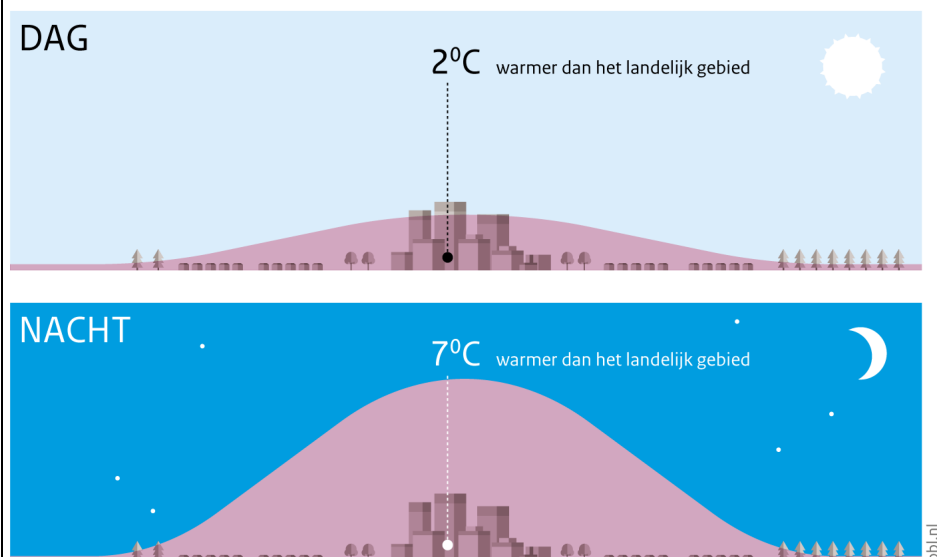
Stedelijk hitte-eiland

Het stedelijk hitte-eiland effect is het fenomeen waarbij de gebouwen en het asfalt van de stad overdag warmte opnemen. Door de hoge bebouwing staat er in de stad weinig wind en er is weinig begroeiing die via verdamping voor verkoeling kan zorgen. Als gevolg daarvan is de stad zowel overdag als 's nachts over het algemeen warmer dan de rurale omgeving.

In de zomer heeft het stedelijke hitte-eilandeffect vooral 's nachts invloed op de volksgezondheid. Het is dan zo warm dat mensen niet van de hitte van overdag kunnen herstellen. Het stedelijk hitte-eilandeffect – als verschil tussen stad en de rurale omgeving – is in de zomer 's nachts veelal groter dan overdag en kan meerdere graden Celsius bedragen (figuur 2.6).

Figuur 2.6

Hitte-eiland effect van steden wereldwijd



Bron: Zhou et al. 2013; Schlünzen and Bohnenstengel 2016; Huang et al. 2019; PBL 2023

Uit metingen in en rond steden wereldwijd blijkt dat het hitte-eilandeffect meerdere graden Celsius kan bedragen en 's nachts vaak veel groter is dan overdag. In Nederland is dit verschil gemiddeld over een jaar ongeveer 2-3 graden Celsius in vrij sterk stedelijk gebied. Bij helder weer met geen tot weinig wind kan het wel tot zeven graden oplopen en soms zelfs meer (Ligtvoet et al. 2023).

De hittestrecords blijven zich de afgelopen jaren aaneenrijgen. De zomer van 2022 was Europa's warmste zomer sinds het begin van de waarnemingen. Het was 0,3-0,4 graden warmer dan het vorige warmste jaar, 2021 (Copernicus 2023). 2023 was het warmste (en ook natste, zie volgende paragraaf) jaar sinds het begin van de waarnemingen, zowel in Nederland als in de wereld als geheel (KNMI 2024). De forse opwarming van de zomers betekent ook dat perioden met zomerse temperaturen in Europa nu enkele weken langer duren dan pakweg een halve eeuw geleden. De perioden met winterse temperaturen zijn door de klimaatverandering enkele weken ingekort (Kull et al. 2008; Ruostenoja et al. 2020).

Warmte: Nederland ten opzichte van Europa

Binnen Europa verloopt de opwarming van het klimaat niet overal even snel. In het noorden van Europa is vooral de wintertemperatuur extra sterk gestegen (European Environment Agency 2017; Nordli et al. 2015). In het zuiden en in grote delen van Oost-Europa zijn het juist de zomers die relatief sterk zijn opgewarmd (Busuioc et al. 2015; Gonzalez-Hidalgo et al. 2015; Malinovic-Milicevic et al. 2016; Burić et al. 2021). In heel Europa komen hittegolven steeds vaker voor, met op veel plaatsen ook steeds hogere temperaturen (Spinoni et al. 2015; Tanarhte et al. 2015; Piticar et al. 2018; Chapman et al. 2019; Erlat et al. 2021).

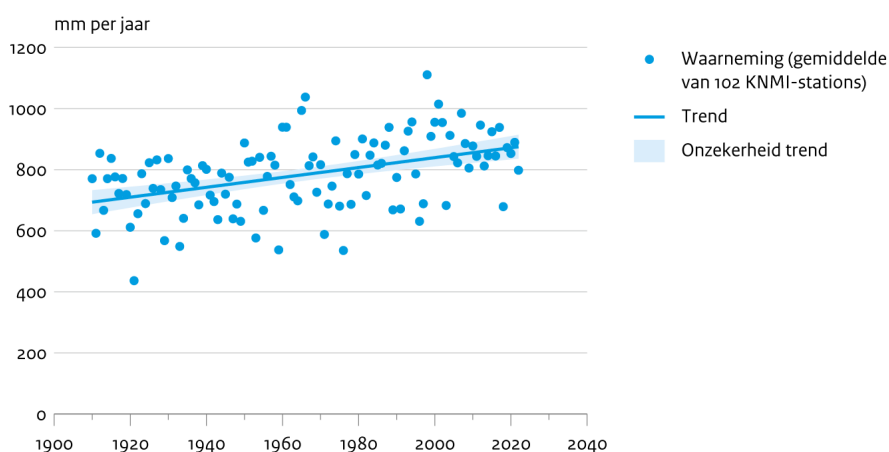
2.1.2 Het is natter

Toename jaarlijkse neerslag, vooral in de winter

De jaarlijkse hoeveelheid neerslag is in Nederland in de periode 1910-2022 gelijkmatig gestegen van 694 naar 875 millimeter. Dit is een toename van 26 procent in 113 jaar (figuur 2.7; zie ook CBS, PBL, RIVM, WUR 2024b). De jaarlijkse neerslag is vooral toegenomen in de jaren '80 en '90 van de vorige eeuw.

Figuur 2.7

Hoeveelheid neerslag



Bron: KNMI; bewerking PBL

Het is natter geworden: de jaarlijkse neerslaghoeveelheid in Nederland is in de periode 1910-2022 gelijkmatig gestegen van 694 naar 875 millimeter. Dit is een toename van 26 procent in 113 jaar.

Natuurlijke variaties in de neerslag zijn groot (KNMI 2023). Zo was het in 1920 met 599 millimeter erg droog, en was er in 2023 met 1153 millimeter een neerslagrecord. De neerslaghoeveelheden per seizoen vertonen iets afwijkende patronen, namelijk versneld stijgend in de winter, gelijkmatig stijgend in de zomer en de herfst, en min of meer constant in de lente. De grootste stijging van de hoeveelheid neerslag vindt plaats in de wintermaanden, namelijk met 46 procent in de periode 1910-2022. Voor de zomer en herfst bedragen de toenames 16 procent en 18 procent.

Uit data over de periode 1951-2009 blijkt dat in Nederland de jaarlijkse hoeveelheid neerslag in het kustgebied sterker is toegenomen dan verder landinwaarts. Dit is deels het gevolg van het relatief warme water van de Noordzee, waarboven van augustus tot december relatief veel buien aan de kust ontstaan (Daniels et al. 2014). Ook de stedelijke agglomeratie in het westen van Nederland,

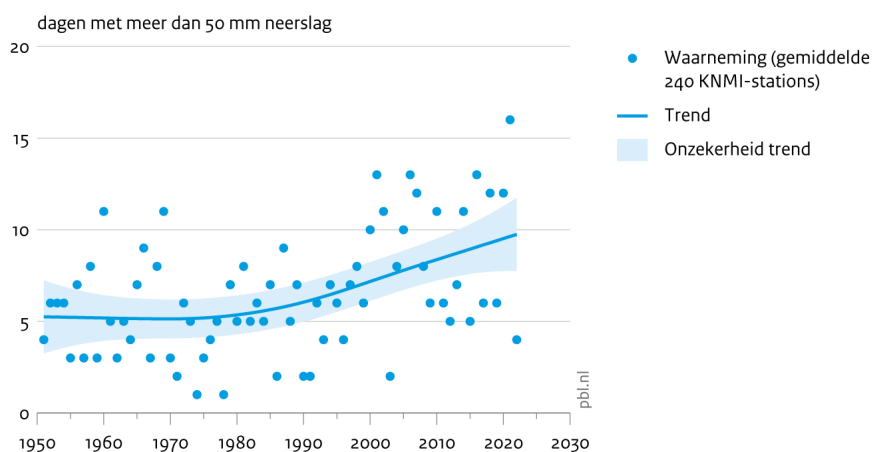
met hitte-eilandeffecten en meer luchtverontreiniging, kan hebben bijgedragen aan de grotere toename van de neerslag langs de kust (KNMI 2023).

Extremere buien zijn toegenomen, vooral in de zomer

De intensiteit van de neerslag (regen) in Nederland is sterk toegenomen met de tijd. Het opvallendst is de toename van het aantal dagen met zware neerslag. Dat zijn dagen met meer dan vijftig millimeter neerslag op minimaal één plek in Nederland. Het aantal dagen met zware neerslag is sinds 1951 toegenomen met 85 procent (figuur 2.8; zie ook CBS, PBL, RIVM, WUR 2024c). Het aantal dagen per jaar waarop meer dan 20 millimeter neerslag in een etmaal valt is ook sterk toegenomen.

De hoeveelheid neerslag die tijdens extreem zware buien valt neemt door de opwarming van het klimaat toe, zie figuur 2.8. Dit komt doordat een warme atmosfeer meer waterdamp kan bevatten. Vooral in de zomer kunnen extreem zware buien ontstaan waarbij in korte tijd veel neerslag valt. Een voorbeeld is een reeks zware onweersbuien op 28 juli 2014 waarbij in delen van Nederland in een paar uur tijd meer dan 130 millimeter neerslag viel. Dit had veel wateroverlast en schade tot gevolg.

Figuur 2.8
Aantal dagen met zware neerslag



Bron: KNMI

De trend in het aantal dagen met zware neerslag vertoont een toename van 5,3 dagen in 1951 naar 9,8 dagen in 2022.

2.1.3 De zomers zijn vaker droog

Meer droogte in het binnenland, geen landelijke trend

Voor Nederland als geheel is het normaal dat zich in het zomerhalfjaar, van 1 april tot 1 oktober, een neerslagtekort opbouwt: een verschil tussen de hoeveelheid waargenomen neerslag en de hoeveelheid potentiële verdamping. Vaak vallen extreem hoge zomertemperaturen samen met zeer droge omstandigheden. Verdamping vanuit de bodem (evaporatie) en door vegetatie (transpiratie) hebben een afkoelend effect op de luchttemperatuur. Als de bodem door droogte nog maar weinig vocht bevat, is de verdamping minder en is het afkoelende effect beperkt (Rasmijn et al. 2018; Teuling 2018).

Het jaar 1976 is het droogste jaar ooit gemeten sinds het begin van de waarnemingen. De kans op een dergelijk droog jaar is in het verleden ingeschat op ongeveer eens in de honderd jaar (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2005). Recente andere periodes van droogte in Nederland waren de zomers van 2018, 2019, 2020 en 2022. In enkele recente jaren was het zomerhalfjaar in Nederland zelfs zeer droog, waaronder in 2018 (Philip et al. 2020) en 2022 (Toreti et al. 2022a,b). Dit is deels toe te schrijven aan hogere temperaturen door klimaatverandering en deels aan meer zonneschijn, veroorzaakt door een afname van de luchtvervuiling en doordat er vaker zuidenwind stond met minder bewolking (KNMI 2023).

Toch is er, vanwege de sterke fluctuaties van neerslag en verdamping van jaar tot jaar, gemiddeld over heel Nederland in de twintigste eeuw geen waarneembare trend in de droogte. Het binnenland heeft sinds 1950 te maken met een trend in het neerslagtekort. Dit komt met name door toename van temperatuur, zonnestraling en verdamping. Voor de wijde kuststrook geldt dit niet (Philip et al. 2020). Tijdens de extreem droge periode in 2018 waren er grote verschillen in droogte tussen het westen en noorden – de brede kuststrook – en het zuiden en oosten – de hoge zandgronden (KNMI 2021). In het zuiden en oosten viel minder neerslag en was de verdamping groter door de hogere temperaturen en meer zonneschijn. De laatste dertig jaar lijkt er een toename te zijn van het maximale neerslagtekort van 8 procent per tien jaar (KNMI 2021). Het is vooralsnog niet duidelijk in hoeverre klimaatverandering hierbij een rol speelt.

2.1.4 De zeespiegel stijgt sneller

Zeespiegelstijging versnelt, ook voor de Nederlandse kust

De stijging van de zeespiegel voor de Nederlandse kust versnelt sinds de tweede helft van de vorige eeuw. In de periode tussen 1940 en 1959 steeg de zeespiegel met gemiddeld 1,5 millimeter per jaar. In de periode 1960-1979 was dit 1,4 millimeter per jaar en tussen 2000 en 2019 was het gemiddeld 2,9 millimeter per jaar. Dit is in overeenstemming met de versnelling van de zeespiegelstijging die wereldwijd voor de oceanen wordt gemeten (KNMI 2022, 2023; Steffelbauer 2022; Keizer et al. 2023). Naast de zeespiegelstijging moeten we in Nederland ook rekening houden met bodemdaling in een deel van West- en Noord-Nederland. Dit wordt veroorzaakt door oxidatie van veenrijke bodems (met name West-Nederland en Friesland). Ook daalt de bodem doordat de ondergrond onder stedelijke gebieden compacter wordt (zoals bij Almere) en door gaswinning (in Noordoost-Nederland).

Extreem hoge waterstanden voor de Nederlandse kust

Veranderingen in extreem hoge waterstanden op de Noordzee zijn de optelsom van de zeespiegelstijging (inclusief de bodemdaling van het land), het getij, de stormopzet en golven. Naast de zeespiegelstijging is vooral de verandering in de stormopzet een aandachtspunt voor waterbeheerders. Niet alleen de kracht van stormen, maar ook de duur en de richting van de wind zijn daarvoor relevant. Voor Nederland zijn stormen met wind uit het noordwesten het gevaarlijkst, omdat het water in de zuidelijke Noordzee dan wordt opgestuwd vanwege de beperkte opening van de zee bij het Nauw van Calais. Uit onderzoek blijkt nog geen effect van klimaatverandering op de stormvloedstanden voor de Nederlandse kust. De natuurlijke variabiliteit is groter dan het eventuele effect van klimaatverandering.

2.1.5 Het windklimaat verandert niet

Geen trend in windklimaat

In de waarnemingen van de windsnelheden is in Nederland boven land een lichte daling te zien sinds ongeveer 1990 (KNMI 2021). Op de Noordzee zien we deze trend niet. Waarschijnlijk wordt de daling van de windsnelheid boven land veroorzaakt door een toename van de ruwheid van het aardoppervlak – een gevolg van verstedelijking (KNMI 2023).

Over veranderingen in het aantal stormen en de kracht ervan is in de huidige situatie nog niet veel te zeggen. Volgens waarnemingen zou het nu minder vaak hard waaien dan vroeger (Vautard et al. 2019), maar of klimaatverandering daar een rol bij speelt is nog maar de vraag. Uit het overzicht van een groot aantal analyses van stormen in negen landen in West-, Centraal en Zuid-Europa, waaronder Nederland, komt nog geen trend naar voren die iets zegt over het aantal stormen en de kracht ervan in de afgelopen tientallen jaren (Ciavola & Jiménez 2013).

Grotere kans op extreem zware stormen door meer orkanen?

Er zijn geen aanwijzingen dat het in Nederland door klimaatverandering vaker en harder is gaan stormen. Zowel de waarnemingen als berekeningen met klimaatmodellen wijzen daar niet op. Een interessante vraag is wel of de kans is toegenomen dat restanten van tropische cyclonen, ontstaan boven de Atlantische Oceaan nabij de evenaar, nog zoveel kracht hebben als zij Europa bereiken dat zij ook hier tot schade en slachtoffers kunnen leiden.

2.2 Huidige klimaatdreigingen

Veranderingen in het klimaat kunnen een dreiging vormen voor de (Nederlandse) samenleving. Voor de analyse van huidige risico's (zie hoofdstuk 3 tot en met 7) onderzoeken we hoe groot deze klimaatdreiging nu is en hoe die zich de afgelopen dertig jaar heeft ontwikkeld. Daarbij kijken we naar de omvang en de ontwikkeling van de intensiteit, de geografische spreiding, de duur en de waarschijnlijkheid van optreden van de verschillende klimaatdreigingen.

Verschillende, maar niet alle klimaatdreigingen toegenomen

Het is in de afgelopen dertig jaar warmer, natter en zomers ook droger geworden. Sinds enkele jaren zien we in waarnemingen voor de Nederlandse kust ook dat de zeespiegel sneller stijgt. Ook is de kans op extremen in hitte, droogte en neerslag vandaag de dag hoger dan in 1990. De intensiteit, de duur en de ruimtelijke schaal waarop deze extremen zich manifesteren is toegenomen. Er is (nog) geen trend te zien in het windklimaat, en ook niet in de kans op, of intensiteit van stormen (tabel 2.1). In alle scenario's van KNMI 2023 wordt verwacht dat nu al geconstateerde trends zich deze eeuw zullen voortzetten (KNMI 2023).

Tabel 2.1

Waargenomen trends, veranderingen in extremen en regionale verschillen voor temperatuur, neerslag, droogte, zeespiegelstijging en windklimaat, en een verwachting van deze veranderingen voor 2050.

| Waargenomen trend | Waargenomen verandering extremen | Waargenomen regionale verschillen | Verwachting voor 2050 t.o.v. 1991-2020 (KNMI'23) |
|---|---|--|---|
| De jaargemiddelde temperatuur in Nederland is nu 2,3 °C hoger dan voor de industriële revolutie en 1,1 °C hoger dan 30 jaar geleden. | Het aantal zomerse dagen is van 15 dagen in de periode 1961-1990 met een week toegenomen naar 22 dagen 1990-2020. Het aantal dagen boven de 30 °C (tropische en extreem warme dagen) is in die periode bijna verdubbeld, van 2.4 naar 4,7 dagen. Tijdens de hittegolf van 2019 werd in Nederland het nationale hittesterecord met ruim 2 °C (40,7 °C) gebroken. | Tijdens hete dagen zijn de temperaturen op de hoge zandgronden (Oost- en Zuid-Nederland) meestal hoger dan elders in het land. In het huidige klimaat komen er gemiddeld meer dan 8 tropische (>30° C) dagen in een jaar voor in Limburg, Terwijl er in de kop van Noord-Holland en op de Waddeneilanden minder dan 2 tropische dagen voorkomen. | De trend van opwarming zet door met een extra verhoging in 2050 van de jaargemiddelde temperatuur 0,9 – 1,6 °C (afhankelijk van scenario). De opwarming is het kleinst in het noordwesten en neemt toe naar het zuidoosten. |
| Sinds 1906 is de jaarlijkse neerslag in Nederland met ongeveer 20% toegenomen. De toename is vooral groot in de winter. | Het aantal dagen met zware neerslag, meer dan 50 mm neerslag ergens in Nederland, is sinds 1951 toegenomen met 85%. | De jaarlijkse hoeveelheid neerslag is in het kustgebied sterker toegenomen dan verder landinwaarts. | De verandering van de hoeveelheid neerslag per jaar tussen begin deze eeuw en 2050 is beperkt: tussen -2% en +3% (afhankelijk van scenario). |
| Sinds 1906 is de droogte in het zomerhalfjaar, uitgedrukt in het maximale neerslagtekort in april t/m september, niet significant toegenomen. De laatste 30 jaar is er sprake van een toename. | Het zomerhalfjaar was in enkele recente jaren in Nederland, waaronder 2018, 2019, 2020 en 2022, zeer droog. Vanwege sterke fluctuaties van neerslag en verdamping van jaar tot jaar, is er gemiddeld over heel Nederland (nog) geen trend in droogte waargenomen. | Er is wel een regionale trend in droogte: sinds 1950 neemt de droogte vooral in het binnenland toe. | De toename van het maximale neerslagtekort tussen begin deze eeuw en 2050 is 13 – 35% (afhankelijk van scenario); de toename van dit tekort is het grootst in het zuiden van het land. |

| Waargenomen trend | Waargenomen verandering extremen | Waargenomen regionale verschillen | Verwachting voor 2050 t.o.v. 1991-2020 (KNMI'23) |
|--|--|--|---|
| Er is geen landelijke trend in verandering van het windklimaat en de frequentie van stormen door klimaatverandering. | De aankomst van een restant van de cycloon voor de kust van Ierland en Schotland in 2017 kan een indicatie zijn dat tropische cyclonen, ontstaan op de Atlantische Oceaan, in het huidige klimaat bij aankomst in Europa nog genoeg kracht kunnen hebben om ook hier tot schade en slachtoffers te leiden. | Lichte daling windsnelheid boven land, sinds ongeveer 1990 waarschijnlijk door verstedelijking. Op de Noordzee geen trend. | De windsnelheid en de kans op stormen veranderen niet of nauwelijks. |
| De snelheid waarmee de zeespiegel voor de Nederlandse kust stijgt versnelt. In de periode tussen 1940 en 1959 steeg de zeespiegel met gemiddeld 1,5 mm/jaar, tussen 1960-1979 was die 1,4 mm/jaar en tussen 2000 tot 2019 was de zeespiegelstijging gemiddeld 2,9 mm/jaar. | Er is geen effect te zien van klimaatverandering op de extra wateropzet tijdens stormen voor de Nederlandse kust. | N.v.t. | De extra wateropzet tijdens stormen zal niet hoger zijn dan nu. Een toename van het gevaar voor de kustveiligheid komt alleen door de zeespiegelstijging. |

Herhaaldelijke, samenvallende of opeenvolgende klimaatdreigingen versterken gevolgen

Klimaatdreigingen kunnen tegelijk optreden, waardoor hun effect op de samenleving wordt versterkt. Dit geldt bijvoorbeeld voor de relatie tussen droogte en extreme hitte. Ook kan een extreem hoge rivierafvoer samenvallen met een storm voor de Nederlandse kust, of kan een hoog waterpeil op het IJsselmeer gelijktijdig vallen met een sterke noordwestenwind. Het is dan niet mogelijk om onder vrij verval het water vanuit het IJsselmeer te lozen op de Waddenzee via de sluizen in de Afsluitdijk. Ook enorme regenval waardoor het regionale watersysteem overvol en verzadigd raakt, in combinatie met hoge waterstanden op het hoofdwatersysteem, kan leiden tot grote wateroverlast. Op dat moment kan de regio geen water meer lozen op het hoofdwatersysteem.

Herhaaldelijke of opeenvolgende klimaatdreigingen kunnen elkaars impact versterken. Dit was te zien tijdens de opeenvolgende periodes van droogte in de jaren 2018, 2019, 2020 en 2022. De

(grond)waterbuffers namen toen af, en daarmee ook de veerkracht van de natuur. Een ander voorbeeld is als er heftige zomerbuien plaatsvinden na een droogteperiode. Water kan dan moeilijk in de grond infiltreren, waardoor het sneller afstroomt en zo zorgt voor wateroverlast.

2.3 Secundaire effecten van klimaatdreigingen

Klimaatverandering, zoals temperatuur- en neerslagveranderingen, heeft een aantal secundaire effecten: effecten op het watersysteem, bodem en lucht. Het gaat dan bijvoorbeeld om de luchtvochtigheid, watertemperatuur, (grond)waterstanden en rivierafvoeren. Deze effecten hebben dan op hun beurt weer gevolgen zoals veenoxidatie en verzilting. In deze paragraaf beschrijven we deze secundaire effecten van klimaatverandering op hoofdlijnen. In hoofdstuk 3 tot en met 7 gaan we verder in op de risico's die de klimaatdreigingen en secundaire effecten opleveren voor verschillende gebruiksfuncties.

Dalende relatieve luchtvochtigheid in de zomer

De lucht in Nederland wordt steeds droger, met name in de zomer. Dit komt doordat het in de zomer vaker uit het oosten waait, door de hogere temperatuur als gevolg van klimaatverandering en doordat er minder bewolking is, zodat meer zonnestraling het landoppervlak bereikt. Bij droge lucht is de natuur eerder vatbaar voor branden (zie ook paragraaf 5.6). Sinds 1950 is het aantal brandgevoelige dagen verdubbeld waarop de lucht overdag erg droog is.

Toegenomen watertemperatuur

Wereldwijd neemt in zowel meren (Woolway et al. 2019) als rivieren (Graham et al. 2024) de watertemperatuur toe. Dat geldt ook voor Nederland: monitoringsgegevens laten zien dat de opwarming in het water vergelijkbaar is geweest met die in de lucht, met een relatief sterke toename in het voorjaar. Maar deze opwarming is slechts deels het gevolg van klimaatverandering. Zo is het Rijnwater bij Koblenz in de zomer tussen 1978 en 2011 met twee graden gestegen, maar dit komt vooral door de lozingen van koelwater van elektriciteitscentrales langs de rivier (Hardenbicker et al. 2017). De opwarming van het water in de winter en het voorjaar betekent dat er een flinke afname is in de kans op ijsbedekking in de winter (zie ook CBS, PBL, RIVM, WUR 2024d).

Lage grondwaterstanden en veenoxidatie mede gevolg van droogte

In droge periodes kunnen neerslagtekorten en lagere rivierafvoeren, in combinatie met grondwateronttrekkingen, leiden tot een daling van de grondwaterstand. Dat kan resulteren in een afbraak van organische stoffen in de bodem, waarvan planten profiteren die snel groeien en veel voorkomen, zoals braam en pijpenstrootje. Grondwater dat in natte gebieden naar boven stroomt (kwel) is vaak voedselarm en het bevat soms stoffen die bodemverzuring tegengaan. Als zulke kwelstromen wegvallen door droogte kan dat leiden tot bodemverzuring, waardoor de kans groot is dat veel bijzondere plantensoorten zullen verdwijnen (Deltares 2024).

Daling van de grondwaterstand in het veenweidegebied zorgt voor extra veenoxidatie. Dit leidt tot meer CO₂-uitstoot en bodemdaling, waardoor hoogteverschillen in percelen kunnen ontstaan. Dat heeft onder andere gevolgen voor de funderingen van gebouwen (Deltares 2024) (zie ook paragraaf 5.3).

Droogte versterkt verzilting van grond- en oppervlaktewater

Door droogte ontstaat in de kustgebieden een afnemende tegendruk van zoetwater op het zoute grondwater en is er niet altijd voldoende water om zoutere oppervlaktewateren door te spoelen

met zoetwater. Daarnaast neemt de verzilting in de rivieren bij lage afvoeren toe. Wanneer de rivieren weinig water afvoeren maar de waterstand hoog is, treedt bij Hoek van Holland verzilting op doordat het water minder verdund wordt en er zeewater optrekt in de Rijn-Maas-monding (Deltares 2024).

Een zoetwaterlens is een natuurlijk fenomeen waarbij zoet grondwater een lens vormt bovenop zout grondwater, vanwege dichtheidsverschillen. Dit gebeurt overwegend in kustgebieden. Tijdens droogte is er een risico dat zout water de zoetwaterlens binnendringt en dat de zoetwaterlens tijdelijk verdwijnt, met mogelijke schade aan landbouwgewassen en vegetatie tot gevolg.

Hoge en lage rivierafvoeren door veranderingen in stroomgebieden

De veranderingen in temperatuur, neerslag- en verdampingspatronen hebben effect op rivierafvoeren en oppervlaktewateren. Laagwater kan in alle maanden voorkomen, maar de afvoeren van Rijn en Maas zijn in de maanden oktober en november (Rijn), respectievelijk juli-september (Maas) meestal het laagst (Deltares 2024). Periodes van droogte in Nederland en haar buurlanden leiden met name in de zomer tot lage rivierafvoeren. Ook de afname van de hoeveelheid smeltwater van gletsjers draagt hier beperkt aan bij (Stahl et al. 2022). De kans op laagwater in de zomer in de stroomgebieden van de Rijn en de Maas is sinds 1950 geleidelijk toegenomen (KNMI 2021). De afgelopen jaren zijn er verschillende periodes geweest met lage rivierafvoeren (met name in 2018, 2019, 2020, 2022). Zo nam in 2018 de afvoer van de Rijn af tot een minimum van 732 m³/s (Stroomberg et al. 2019), wat sinds het begin van de metingen slechts een paar keer is voorgekomen.

Een extreem lage rivierafvoer van de Rijn (< 1000 m³/s) komt ongeveer eens in de tien jaar voor. Bij een dergelijke extreem lage afvoer zijn er tekorten voor diverse functies. Lage afvoeren vormen risico's voor de binnenvaart, en vanwege verzilting voor drinkwaterwinning, natuur en waterkwaliteit (zie hoofdstuk 5). De waterkwaliteit verslechtert door minder verdunning van lozingen en een toename van de watertemperatuur.

Het veranderende klimaat drukt nu al zijn stempel op het afvoerregime van rivieren in grote delen van Europa. Blöschl et al. (2019) keken op bijna vierduizend locaties in rivieren verspreid over heel Europa naar de hoogste afvoer die ieder jaar optrad in de periode tussen 1960 en 2010. In Noordwest-Europa bleek deze hoogste afvoer op ruim twee derde van de meetlocaties te zijn toegenomen, met ruim 2 procent per tien jaar. Deze veranderingen zijn het gevolg van veranderingen in de neerslag en de verdamping. Meer neerslag in de herfst en de winter heeft geleid tot de hogere jaarmaxima in Noordwest-Europa.

Voor Noordwest-Europa als geheel is een toename van maximale jaarafvoeren geconstateerd. Er is echter nog geen trend gevonden in de hoogwater rivierafvoer van Rijn en Maas. De stroomgebieden van deze rivieren maken slechts een klein deel uit van de oppervlakte van Noordwest-Europa, met daardoor ook minder meetpunten. Naarmate je minder meetpunten hebt, zie je een trend in veranderingen minder snel optreden. De invloed van klimaatverandering op de rivierafvoer (Rijn en Maas) wordt verwacht, maar is dus nog niet zichtbaar, zie ook tekstkader 2.3.

Tekstkader 2.3

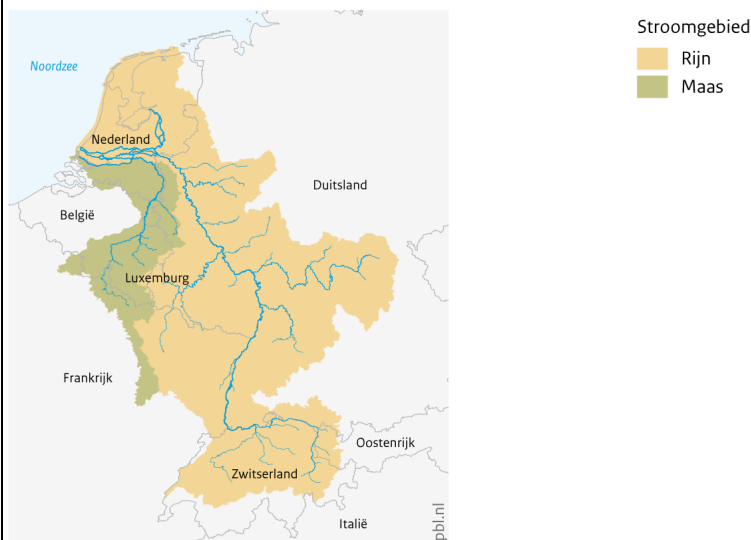
Stroomgebieden Rijn en Maas: meer invloed van neerslag op rivierafvoer

De rivier de Rijn wordt gevoed uit neerslag die over het gehele stroomgebied valt. Daarnaast zijn smeltwater van gletsjers en sneeuwsmelt in de Alpen een belangrijke bron (Stahl et al. 2022). In de wintermaanden wordt de neerslag in de Alpen tijdelijk opgeslagen als sneeuw, die vervolgens in het voorjaar en begin van de zomer tot afvoer komt. Met de stijgende temperatuur zal het sneeuwpak steeds minder dik en minder uitgestrekt worden, en valt de neerslag in de winter in het stroomgebied – inclusief de Alpen – steeds vaker als regen. Er komt dan meer neerslag direct tot afvoer, wat op jaarbasis tot hogere winterafvoeren leidt. Ook is er minder aanvoer van smeltwater van sneeuw in het begin van de zomer, waardoor de afvoer in de zomer juist afneemt. De Alpine-gletsjers vormen met name aan het eind van de zomer een bron van water voor de Rijn. De gletsjers nemen echter snel af in volume en zullen tegen het eind van de eeuw nagenoeg verdwenen zijn.

De Maas is een regenrivier. Enkele weken per jaar ligt er sneeuw, met name in het hogere deel van het stroomgebied (de Ardennen). De sneeuw kan voor een tijdelijke verhoging van de afvoer zorgen, maar de invloed is veel geringer dan in de Rijn. De afvoer van de Maas reageert veel sneller op dagen met veel regen dan de Rijn. Dat komt door het kleinere stroomgebied van de Maas en de harde ondergrond van het stroomgebied waarover water snel naar de Maas stroomt.

Figuur 2.9

Stroomgebieden van Rijn en Maas



Bron: Esri

3 Huidige klimaatrisico's: inleiding en overzicht

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de huidige klimaatrisico's. Dit overzicht is gebaseerd op bestaande kennis en informatie, waaronder de door de kennisinstellingen aangeleverde factsheets en achtergronddocumenten (zie bijlage 1), tenzij anders vermeld. We hebben de hierin geselecteerde risico's geanalyseerd volgens een gestructureerde methode (zie hoofdstuk 1 en PBL 2023a). Het gaat om de koppeling van de omvang en waarschijnlijkheid van waargenomen en/of potentiële klimaatgebeurtenissen in de periode 1990 – 2022 (hoofdstuk 2) aan de impact op mens & cultuur, natuur & milieu, en economie. Hierbij worden zowel waargenomen impacts, als potentiële risico's in het huidige klimaat meegenomen.

Naast klimaatverandering zijn er ook maatschappelijke ontwikkelingen die invloed hebben op de klimaatrisico's. Hierdoor kan de blootstelling aan, en de gevoeligheid voor klimaatrisico's toenemen, terwijl adaptatiemaatregelen dit juist kan laten afnemen. In paragraaf 3.2 wordt dit verder besproken.

Start van de analyse: overzicht van de klimaatrisico's per sector/onderwerp

Klimaatverandering raakt een groot aantal sectoren en onderdelen van de maatschappij. Per sector/onderwerp is op basis van expertbeoordeling een inventarisatie gemaakt van belangrijke huidige klimaatrisico's. Deze selectie van ruim dertig klimaatrisico's is gedetailleerd onderzocht door de kennisinstellingen (zie bijlage 2). Paragraaf 3.3 beschrijft per onderzochte sector/onderwerp hoe en in welke vormen klimaatverandering impact heeft en onderbouwt welke klimaatrisico's gekozen zijn.

Detailbeschrijving van belangrijke klimaatrisico's geclusterd per klimaatdreiging

In hoofdstukken 4 tot en met 6 worden per klimaatdreiging de geselecteerde huidige risico's in meer detail uitgewerkt. Het gaat om risico's als gevolg van:

- Het is warmer: risico's ten gevolge van zowel de geleidelijk temperatuurstijging als extreme hitte (hoofdstuk 4);
- Het is droger, wat optreedt in periodes met geen of beperkte neerslag al dan niet versterkt door een grote verdamping door hoge temperaturen, wat leidt tot lagere grondwaterstanden en lagere rivierafvoeren (hoofdstuk 5);
- Het is natter, al dan niet in de vorm van extreme buien, met impacts van lokale wateroverlast tot hoge rivierafvoeren en overstromingen (hoofdstuk 6);
- De zeespiegelstijging versnelt: de risico's als gevolg van een versnelde zeespiegelstijging worden in dit rapport niet uitgewerkt, zie paragraaf 3.4 voor een toelichting.

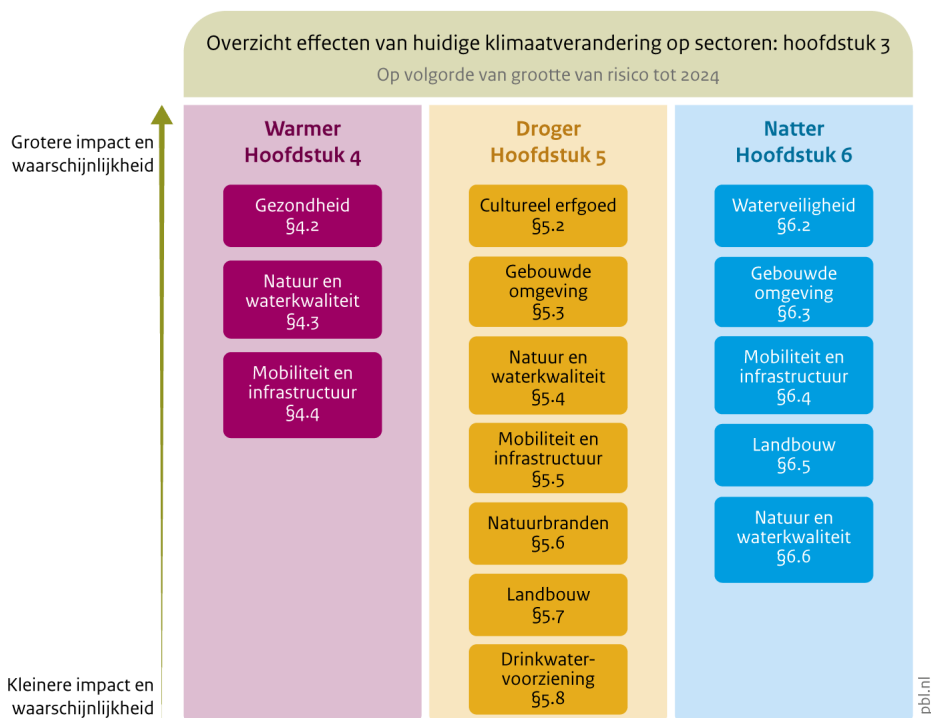
Een aantal risico's is het gevolg van een combinatie van klimaatdreigingen of van de secundaire effecten ervan (zie ook 2.3). Een voorbeeld daarvan zijn de gezondheidseffecten, die vaak worden veroorzaakt door een combinatie van hitte, luchtvervuiling, infectieziekten en allergieën. In dat geval wordt vanwege de samenhang het risico toch onder één klimaatdreiging beschreven, en

wordt de combinatie van oorzaken daar expliciet benoemd. Zo worden alle gezondheidseffecten beschreven onder ‘het is warmer’, paragraaf 4.2.

Binnen deze hoofdstukken per klimaatdreiging werken we de belangrijkste huidige risico's in meer detail uit ‘van groot naar klein’ (figuur 3.1). Daarbij zijn de risico's ten eerste gesorteerd op volgorde van de grootte van de impact. Bij meerdere risico's met dezelfde impactklasse is ten tweede gesorteerd van hogere naar lagere frequentie (in het geval van opgetreden gebeurtenissen) of waarschijnlijkheid (in het geval van potentiële risico's). In de paragrafen per klimaatrisico wordt verder ingegaan op de grootte van de impact en waarschijnlijkheid van de klimaatrisico's.

Figuur 3.1

Leeswijzer geanalyseerde klimaatdreigingen en sectoren



Bron: PBL

De klimaatrisico's zijn in dit hoofdstuk geclusterd per klimaatdreiging, en daarbinnen beschreven op volgorde van grootte van de impact en de waarschijnlijkheid.

Beschrijvingen van de klimaatrisico's via klimaatdreiging, blootstelling, gevoeligheid en adaptatiecapaciteit

De beschrijving van elk klimaatrisico start met een samenvattende paragraaf, in een tekstkader en met de titel ‘In het kort’, waarin kort aandacht wordt besteed aan de impact en waarschijnlijkheid van het risico, de betrouwbaarheid hiervan, kennisleemtes die een rol spelen, de relevante blootstelling en gevoeligheid en de opties voor adaptatie (zie hieronder voor uitleg van dat laatste). Per klimaatrisico nemen we vervolgens in de beschrijving uitgebreider de aspecten door die in de analysemethode worden onderscheiden: klimaatdreiging, blootstelling en gevoeligheid en adaptatiecapaciteit (zie figuur 3.2), met de volgende betekenissen (zie ook de begrippenlijst in bijlage 3 en PBL 2023a):

- Een klimaatdreiging is het mogelijk optreden van een fysiek klimaat- of weergeerelateerd fenomeen, met de potentie om schade te veroorzaken. Een klimaatdreiging heeft een intensiteit, een geografische spreiding, duur en waarschijnlijkheid van optreden.

- Blootstelling betekent de aanwezigheid van iets van waarde dat in gevaar kan worden gebracht door een klimaatdreiging. Het kan hierbij gaan om mensen, mogelijkheden voor levensonderhoud, soorten/ecosystemen, infrastructuur of economische, sociale of culturele belangen.
- Gevoeligheid is de mate waarin een iets dat blootgesteld wordt aan een klimaatdreiging, negatief of positief beïnvloed wordt. Gevoeligheid is een eigenschap van datgene dat getroffen wordt, bijvoorbeeld een hoog percentage aan ouderen in een woonwijk maakt de wijk gevoeliger voor hittestress.
- Adaptatiecapaciteit is het vermogen van systemen, instituties, mensen of organismen om zich aan te passen aan mogelijke schade, kansen te benutten of te reageren op gevolgen. Adaptatie is het proces van aanpassing aan waargenomen en potentiële impacts. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in preventieve en reactie adaptatie, zie tekstkader 3.1.

Van de vier klimaatdreiging die volgens de analysemethode worden onderscheiden (zie figuur 3.2), wordt zeespiegelstijging in dit rapport niet verder uitgewerkt. In paragraaf 3.4 wordt toegelicht waarom dit het geval is.

Of er een risico (potentieel) optreedt en hoe groot die is, hangt af van de aard, omvang, intensiteit en het moment van een klimaatdreiging, in combinatie met de blootstelling en kwetsbaarheid van het systeem, en de reactieve adaptatie. Risico is gedefinieerd als de combinatie van impact en waarschijnlijkheid (risico = impact maal waarschijnlijkheid). Daarbij is de impact het gevolg voor natuurlijke en menselijke systemen van een klimaatdreiging. Dit kan een gevolg zijn voor leven en levensonderhoud, gezondheid, ecosystemen, economie, samenleving, cultuur, diensten en infrastructuur. Waarschijnlijkheid is de frequentie waarmee een klimaatdreiging en/of een gevolg daarvan optreedt, of de statistische kans of aannemelijkheid dat deze zal optreden.

Alle klimaatrisico zijn vertaald naar eindrisico's voor de domeinen mens en cultuur, natuur en milieu en economie, waarbij per domein een vaste klasseindeling is gebruikt voor zowel de impact als de waarschijnlijkheid (zie figuur 3 Bevindingen). Ook wordt voor elk risico aangegeven wat de betrouwbaarheid is van de aangegeven grootte van de impact en de hoogte van de waarschijnlijkheid. Deze mate van betrouwbaarheid is gebaseerd op de inbreng van de verschillende betrokken experts.

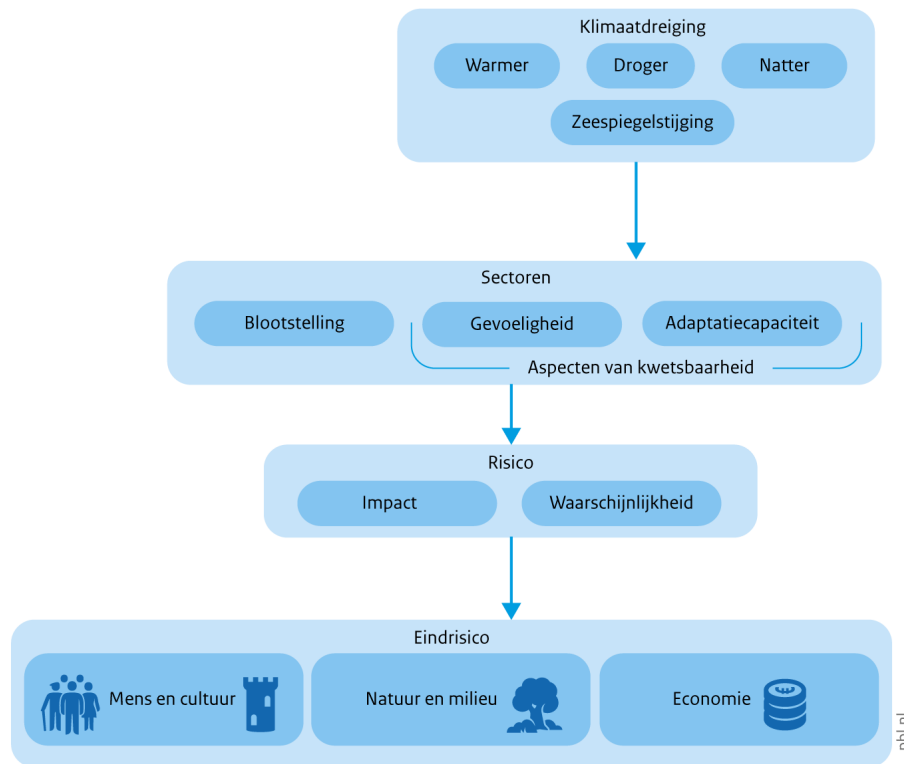
Tekstkader 3.1

Preventieve en reactieve adaptatie

Preventieve adaptatie is het nemen van maatregelen vooraf om klimaatrisico's te verkleinen, gericht op het verminderen van zowel de blootstelling als gevoeligheid (PBL 2015b). Bijvoorbeeld door verhogen van dijken, aanleggen van museumdepots op veilige plekken en organiseren van waarschuwingssystemen. Reactieve adaptatie is het nemen van maatregelen op het moment dat een klimaatgebeurtenis plaatsvindt ter verkleining van de impact. Voorbeelden zijn het tijdig onder de aandacht brengen van het Nationaal hitteplan of bij een overstroming het plaatsen van zandzakken of evacuatie van een gebied. Onder reactieve adaptatie valt ook het regelen dat na de gebeurtenis de schade vlot wordt hersteld en het gewone leven weer snel op gang komt.

Figuur 3.2

Aspecten voor bepaling huidige klimaatrisico's



Bron: PBL

De aspecten die worden onderscheiden in de analysemethode worden beschreven per klimaatrisico

Scores opties voor adaptatie per klimaatrisico

Voor elk klimaatrisico is aangegeven wat de adaptatiecapaciteit is: de opties om het risico te verminderen. De invulling van adaptatiecapaciteit is in deze tabellen gesplitst. Preventieve adaptatiecapaciteit (zie tekstkader *Preventieve en reactieve adaptatie*) grijpt in op de blootstelling en/of gevoeligheid. De opties daarvoor worden benoemd in de rijen over 'blootstelling' en 'gevoeligheid'. Reactieve adaptatie is als aparte rij in de tabellen opgenomen. Dit betreft acties om de impact te verminderen op het moment dat de dreiging zich voordoet, of daarna (herstel). Dit wordt in de tabellen 'reactieve/herstelmaatregelen' genoemd.

De mogelijkheden voor adaptatie worden in de tabellen gescoord aan de hand van kleuren en door gebruik van de termen 'niet', 'moeilijk' en 'wel':

| Kleur | Term | Omschrijving |
|-------|----------|---|
| Rood | niet | Adaptatie niet mogelijk, of zeer langzaam, of zeer complex |
| Geel | moeilijk | Adaptatie wel mogelijk, maar vraagt veel tijd, organisatie of geld, of kan maar beperkt bijdragen aan vermindering van het risico |
| Groen | wel | Adaptatie mogelijk op afzienbare termijn en kan substantieel bijdragen aan vermindering van het risico |

Ook is aangegeven wie verantwoordelijk is voor de adaptatie (kolom 'door wie'), met de volgende indeling:

- Rijk: rijksoverheid - politiek en beleid
- Regio: regionale overheden - provincies, waterschappen, gemeenten
- Bedrijven: commerciële bedrijven (o.a. landbouw) en andere maatschappijen (zoals NS, Rijkswaterstaat, waterleidingbedrijven)
- Samenleving: maatschappelijke organisaties (incl. beheerders natuur en erfgoed), individuele burgers

Bij een score 'rood' (adaptatie niet mogelijk, of zeer langzaam, of zeer complex) is niet relevant wie verantwoordelijk is en is de laatste kolom leeg gelaten. Tabel 3.1 geeft een voorbeeld van zo'n tabel, voor gezondheidseffecten.

Tabel 3.1
Voorbeeld score van opties voor adaptatie: gezondheidseffecten

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|---------------------------------|--|---------------------------------------|
| Blootstelling: moeilijk | Aanpassen van gedrag, aanpassen van omgeving en woningen, beiden kosten tijd en aanpassen van bestaand gebouwde gebied is moeilijk | Rijk, regio, bedrijven en samenleving |
| Gevoeligheid: niet | Aantal kwetsbare mensen neemt toe (o.a. door bevolkingsgroei en vergrijzing) en verbeteren volksgezondheid is complex (publieksinformatie gericht op kwetsbaren neemt wel toe) | N.v.t. |
| Reactief en herstel: wel | Waarschuwingen en voorlichting bij extreem weer, waaronder hitteplannen | Rijk, regio, bedrijven en samenleving |

Voor alle risico's geldt dat het verminderen van de klimaatdreiging alleen kan via mitigatie, dat is in de tabellen weggelaten.

3.2 Maatschappelijke context

Maatschappelijke ontwikkelingen beïnvloeden omvang klimaatrisico's

Nederland loopt niet alleen meer risico door toegenomen klimaatdreigingen, maar ook door een aantal gelijktijdige maatschappelijke ontwikkelingen. Socio-economische en ruimtelijke ontwikkelingen hebben de blootstelling en gevoeligheid (figuur 3.2) van de samenleving voor klimaatverandering veranderd. Hieronder worden een aantal belangrijke voorbeelden beschreven.

Toename aantal inwoners en woningen heeft blootstelling vergroot

De bevolkingsgroei in Nederland (van 14,9 miljoen tot 17,8 miljoen in de periode 1990-2023) zorgde ervoor dat meer mensen blootgesteld worden aan klimaatdreigingen (CBS bevolkingsteller 26/3/2024). Vergrijzing (van 12,8% naar 20,2% vijfenzestig plussers in periode 1990-2023) (CBS ouderen 26/3/2024) draagt bij aan een hogere gevoeligheid voor bijvoorbeeld hittestress, waarbij ouderen ook een zwakkere socio-economische positie kunnen hebben, wat hun vermogen voor bepaalde adaptatiemaatregelen, bijvoorbeeld aan hun woning, beperkt. Ook beleid gericht op maatschappelijke ontwikkelingen, bijvoorbeeld beleid om ouderen langer thuis te laten wonen, kan de blootstelling en gevoeligheid vergroten, en daarmee de potentiële impact van een klimaatdreiging.

De stijging van de woningvoorraad (van 5,9 miljoen naar 8,2 miljoen tussen 1990 en 2023 in heel Nederland) en investeringen in vastgoed en infrastructuur betekenen een grotere blootstelling van onze maatschappij. Tegelijkertijd nam ook woningbouw toe op locaties met (potentiële) blootstelling aan klimaatdreigingen. Zo nam het aantal woningen op ongunstige locaties voor waterhuishouding en bodemdaling toe in de periode 2000-2021 van circa 526.000 naar 663.000. De provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Limburg hebben in absolute zin de meeste woningen op ongunstige plekken (CBS, PBL, RIVM, WUR (2024e)).

Gevoeligheid van landbouw voor klimaatverandering is toegenomen

De landbouw in Nederland heeft zich getransformeerd tot een hoogproductieve, gemechaniseerde, kennisintensieve, internationaal concurrerende en economisch zeer efficiënte sector (Hinsberg et al. 2024). Het produceren tegen lage kostprijs, de hoge grondprijzen en hoge arbeidskosten hebben tot schaalvergroting en intensivering van de sector geleid (PBL 2023c). Deze gaat gepaard met een verdergaande specialisatie en aanpassing van het bodem- en watersysteem voor een teelt van een enkel specifiek gewas. Hierdoor kan de gevoeligheid van landbouw voor klimaatdreigingen zijn toegenomen, maar het vergroot ook de (financiële) slagkracht voor investeringen die nodig zijn voor adaptatiemaatregelen zoals beregeningsinstallaties. Alternatieve vormen van landbouw nemen recentelijk weliswaar toe in Nederland, maar zijn nog beperkt in omvang, zoals bijvoorbeeld biologische landbouw waarin geen kunstmest en chemische gewasbeschermingsmiddelen worden gebruikt, en de strokenteelt, waarbij in akkers meerdere gewassen naast elkaar worden geteeld. Dit laatste heeft als voordeel dat de gevoeligheid van deze gewassen voor plagen en ziektes afneemt en er minder gewasbeschermingsmiddelen nodig zijn.

Natuur is gevoeliger voor klimaatverandering door vele oorzaken, zoals verdroging, stikstofdepositie en pesticidegebruik

Natuur die in een slechte toestand verkeert is minder veerkrachtig en daarmee gevoeliger voor klimaatverandering. In Nederland heeft circa 90 procent van de habitattypen die van Europa beschermd moeten worden, een ongunstige staat van instandhouding. Voor de beschermde plant- en diersoorten geldt dit voor ongeveer 75 procent, terwijl van de vogels die beschermd worden door de Vogelrichtlijn (broed- en niet-broedvogels) ongeveer de helft een negatieve trend vertoont (sinds 1980). De achteruitgang van beschermde soorten en habitattypen kent vele oorzaken. Het gaat hierbij om de beïnvloeding van bodem- en watercondities door atmosferische depositie van stikstof, uitspoeling van fosfaat en stikstof naar het grond- en oppervlaktewater, of verdroging van natuurgebieden door wateronttrekking in de nabijgelegen landbouwgebieden.

De populaties van diersoorten die karakteristiek zijn voor het agrarisch gebied, zijn sinds 1990 gemiddeld met ruim 50 procent afgenomen en de populatie boerenlandvogels met bijna 50 procent (CBS et al. 2023). Hoewel de milieudruk de afgelopen jaren onder invloed van beleidsmaatregelen weliswaar is afgenomen, is deze veelal nog steeds te hoog om risico's op biodiversiteitsverlies te voorkomen (PBL 2023c).

Toenemende afhankelijkheden in de samenleving vergroten de gevoeligheid voor klimaatdreigingen

Burgers en bedrijven zijn steeds afhankelijker geworden van elektriciteit-, ICT- en logistieke netwerken en andere vitale infrastructuur, die op hun beurt meer en meer verknoopt zijn geraakt op nationale en internationale schaal (PBL 2015c). Wanneer op één plek een kink in de kabel komt dan kan dit verstrekende en langdurige gevolgen hebben. Toenemend gebruik van de drukke verkeersinfrastructuur in Nederland zorgt ervoor dat lokale wateroverlast op wegen of beperkingen op het spoor al snel leiden tot grotere verstoringen.

Naast afhankelijkheid van infrastructuur is Nederland ook afhankelijk van hoe het buitenland omgaat met de impact van klimaatverandering en de maatschappelijke context daar (zie ook PBL 2015a). De Europese klimaatrisicoanalyse waarschuwt dat de economie en het financiële stelsel in Europa worden geconfronteerd met meerdere klimaatrisico's, met mogelijk hogere verzekeringspremies, risico's voor hypotheek en vermogen en vergroting van de kloof tussen arm en rijk tot gevolg. Nederland is een open land en een kennis-economie met sterke (handels)connecties met het buitenland, wat de afgelopen dertig jaar is toegenomen door globalisering. Ontwikkelingen in het buitenland kunnen dus de kwetsbaarheid van Nederland voor klimaatverandering beïnvloeden, bijvoorbeeld door geopolitieke veranderingen, extreme klimaatgebeurtenissen in het buitenland of doorwerking van impacts via internationale handelsketens.

Stapelingsopgaven vraagt om rekening houden met de maatschappelijke context

Klimaatadaptatie is niet het enige vraagstuk dat om aandacht vraagt, Meer opgaven in zowel stedelijk als landelijk gebied zijn de afgelopen dertig jaar hoger op de agenda komen te staan, bijvoorbeeld rondom de energietransitie of natuurdoelen. In wijken kunnen meerdere opgaven samenkomen zoals van het gas af, beter isoleren en aanpassingen van woningen aan wateroverlast, droogte en hitte. In kwetsbare wijken met minder socio-economische draagkracht kunnen mogelijk niet alle huiseigenaren dit financieren. Afwegingen in klimaatadaptatiebeleid vragen om een aanpak waarbij de maatschappelijke context wordt meegenomen en klimaatadaptatie een nadrukkelijke rol krijgt in beleid voor andere opgaven.

3.3 Overzicht klimaatrisico's per sector

Klimaatverandering raakt een groot aantal sectoren en onderdelen van de maatschappij. In deze paragraaf wordt per onderzochte sector/onderwerp beschreven hoe en in welke vormen klimaatverandering impact heeft, wat daarbij de huidige risico's zijn, en welke risico's in de volgende hoofdstukken in meer detail worden beschreven. Dit overzicht is gebaseerd op de door de kennisinstellingen aangeleverde factsheets en achtergronddocumenten (zie bijlage 1), tenzij anders vermeld.

Gezondheid

De gezondheidseffecten van klimaatverandering worden veroorzaakt door hitte, luchtvervuiling, infectieziekten, allergieën en Uv-straling, die elkaar deels ook versterken. Hoewel de gezondheidseffecten dus niet alleen worden veroorzaakt door de klimaatdreiging 'het is warmer', worden ze toch - om de samenhang goed te kunnen beschrijven - allen behandeld in paragraaf 4.2. Effecten van klimaatverandering op de gezondheid zijn om te beginnen een gevolg van temperatuurstijging, zowel stijging van de gemiddelde temperatuur als meer en intensere perioden van warmte. Door opwarming, veranderingen in neerslag en een toename van de overstromingskans ontstaat er een gunstiger klimaat voor verspreiders van infectieziekten, zoals teken en muggen. Door toenemende temperaturen, droogte en concentraties van CO₂ in de lucht duurt het pollenseizoen langer, en zijn de pollenconcentraties hoger, waardoor hooikoortsklachten toenemen. Hittegolven gaan vaak gepaard met slechtere luchtkwaliteit, met onder andere een hogere concentratie ozon. Dit alles draagt bij aan ziekte en sterfte.

Door klimaatverandering is er een trend te zien in een toenemend aantal zonuren (zie hoofdstuk 2). Samen met afgenomen bewolking, luchtkwaliteit die gemiddeld verbeterd is (maar wel verslechtert

tijdens hittegolven) en een dunnere ozonlaag leidt dit tot meer Uv-straling, met meer huidkanker tot gevolg. Verder kunnen zowel extreme klimaatgebeurtenissen (zoals hitte, droogte, wateroverlast, overstromingen, natuurbranden) als lange termijn gevolgen van klimaatverandering leiden tot mentale gezondheidsproblemen.

De grootte van de gezondheidseffecten wordt sterk bepaald door het gedrag van mensen en daarnaast ook door eigenschappen van de woning en van de leefomgeving.

Cultureel erfgoed

Cultureel erfgoed in Nederland bestaat uit archeologie, gebouwd erfgoed waaronder monumentale gebouwen, cultuurlandschap/historisch groen, roerend erfgoed zoals collecties in musea en immaterieel erfgoed (tradities en gebruiken). Erfgoed ondervindt momenteel gevolgen van toenemende droogte door klimaatverandering en dalende (grond)waterstanden, met aantasting of verlies van organisch materiaal van archeologische monumenten die normaal in zoetwater of onder de grondwaterspiegel liggen ('natte archeologie'). Ook treedt er schade op aan de funderingen van gebouwd erfgoed, en aan de begroeiing van historisch aangelegd groen, zoals tuinen, parken en landgoederen. Deze effecten worden uitgewerkt in paragraaf 5.2. Wateronttrekking voor andere functies, zoals voor drinkwater en beregening in de landbouw, draagt bij aan dalende grondwaterstanden, waarbij erfgoed nu al gevolgen ondervindt van keuzes in waterbeheer en adaptatiemaatregelen vanuit andere sectoren.

Daarnaast zijn er andere klimaatrisico's voor cultureel erfgoed die op lokale schaal spelen of richting de toekomst van belang worden, die nu niet verder worden uitgewerkt. Incidentele overstromingen veroorzaken bijvoorbeeld sporadisch schade aan gebouwd erfgoed en hebben een onbekende impact op archeologische monumenten en cultuurlandschappen. De impact van extreem weer (storm, extreme neerslag of onweer) op gebouwd erfgoed speelt vooral lokaal. Over de gevolgen van verzilting voor natte archeologie is nog weinig bekend, net als voor de impact van extreem weer op immaterieel erfgoed en de gevolgen van hitte (brandgevaar), overstroming en extreem weer op roerend erfgoed. Dit vraagt om nader onderzoek, maar de echte schade hierdoor lijkt in de toekomst te liggen, en wordt in dit rapport dus nog niet besproken.

Waterveiligheid

Waterveiligheid raakt alle sectoren, waaronder gebouwde omgeving, landbouw, infrastructuur en cultureel erfgoed. Gezien de centrale en structurele organisatie van waterveiligheid, wordt het hier als apart onderwerp beschreven, en ook in meer detail in paragraaf 6.2.

De aanpak van waterveiligheid is in Nederland gebaseerd op een normenstelsel, zowel voor het hoofdwatersysteem (primaire waterkeringen zee, rivieren, kanalen en grote meren) als de regionale wateren (o.a. boezemkaden en keringen langs regionale rivieren en kanalen) (tabel 3.2). Voldoen keringen aan de norm en treedt toch een overstroming op, dan is feitelijk sprake van een geaccepteerd (rest)risico. Als keringen niet aan de norm voldoen is sprake van een overschrijding van het risiconiveau dat zou moeten worden gehandhaafd, met implicaties voor te nemen maatregelen.

Tabel 3.2

De organisatie van de beheersing van het risico van waterveiligheid en wateroverlast in Nederland in relatie tot de schaal van de dreiging.

| | Waterveiligheid | Waterveiligheid | Wateroverlast | Wateroverlast |
|---------------------------------------|---|---|---|------------------------------------|
| Schaal | Hoofdwatersysteem | Regionaal watersysteem | Regionaal watersysteem | Lokaal (veelal de stad) |
| Dreiging | Overstroming bij falen primaire waterkeringen | Overstroming bij falen regionale waterkeringen | Inundatie bij hoger waterpeil oppervlaktewater dan maaiveld | Extreme neerslag |
| Status norm | Omgevingswet | IPO-richtlijn | Nationaal Bestuursakkoord Water | Adviesnorm RIONED |
| Hoogte norm (bandbreedte kans) | 1/100 – 1/1.00.000 per jaar | 1/10 – 1/1.000 per jaar | 1/10 – 1/100 per jaar | 2 – 1/10 per jaar (meest gebruikt) |
| Status risico | Waterkeringen (dijktrajecten) rivieren voldoen vaak niet aan de norm. Waterkeringen (dijktrajecten) ZW-Delta en IJsselmeergebied voldoende deels niet aan de norm. Kustlijn voldoet vrijwel geheel aan de norm. | Faalkans regionale waterkeringen (veel) kleiner dan de norm | Alle beheersgebieden voldoen vrijwel geheel aan de norm | N.v.t. |
| Referentie | ILT (2023) | Stowa (2004), Rikkert (2022) | Stowa (2021) | Riool.net (2024) |

Overstromingen kunnen plaatsvinden vanuit het hoofdwatersysteem (grote rivieren, kanalen, grote meren, zee) of vanuit het regionale watersysteem (o.a. boezemkaden en keringen langs kanalen). De kans op overstroming vanuit het hoofdwatersysteem is klein door substantiële en structurele investeringen in dijken en waterkerende kunstwerken (primaire keringen) en maatregelen die meer ruimte geven aan het water. Dijken zijn gevoelig voor klimaatverandering, ze moeten om kunnen gaan met plotseling hoog water, langdurige neerslag, maar ook met langere periodes van droogte. Gezocht wordt naar duurzame materialen die bestand zijn tegen extreme weersomstandigheden. In het door primaire keringen beschermde gebied wonen 10,9 miljoen mensen (62% van de Nederlandse bevolking). Overstromingen vanuit het hoofdwatersysteem vinden plaats als een primaire kering bezwijkt of overloopt, door hoge rivierwaterstand, hoog meerpeil, storm en bijbehorende golfslag, stormvloed of een combinatie daarvan. Ongeveer 50% van Nederland kan overstromen door oppervlaktewater. Zie voor een uitgebreidere beschrijving paragraaf 6.2. In het

Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie thema 'gevolgbeperking overstromingen' wordt gezien hoe het restrisico beperkt kan blijven.

Overstromingen vanuit het regionale watersysteem vinden plaats als rivieren en beken overstromen, regionale waterkeringen bezwijken of overlopen. De omvang van een overstroming vanuit het regionale systeem is veelal een stuk kleiner, maar komt vaker voor: de afgelopen decennia hebben meerdere regionale overstromingen plaatsgevonden. Dit soort overstromingen leidt meestal niet tot slachtoffers en heeft de grootste impact in de gebouwde omgeving; zie hiervoor paragraaf 6.3. Voor regionale watersystemen wordt een onderscheid gemaakt in waterveiligheid en wateroverlast; het onderscheid is niet eenduidig. Waterveiligheid heeft betrekking op het kunnen falen van regionale waterkeringen; de hoogte van de norm voor deze regionale waterkeringen is gekoppeld aan de omvang van de potentiële schade bij overstromen van het door de regionale waterkeringen beschermde gebied. Wateroverlast heeft betrekking op overstroming vanuit regionale wateren die niet door regionale waterkeringen worden beschermd. Voor wateroverlast gelden criteria die aangeven hoe hoog de kans mag zijn dat de waterstand van regionale wateren de hoogte van het maaiveld overschrijdt en landbouwpercelen of bebouwd gebied overstromen (zie paragrafen 6.3 en 6.5).

Gebouwde omgeving

Minder neerslag en hogere temperaturen leiden tot meer droogte (in frequentie en intensiteit) en watertekorten, waardoor de grondwaterspiegel daalt. Met name houten palen onder woningen hebben sterk te lijden van deze fluctuerende grondwaterspiegel. Ook ondiepe funderingen kunnen eronder lijden (door zetting), met verzakkingen en scheuren tot gevolg. Dit speelt vooral op ondergrond met ondiepe veen- en/of kleilagen. Problemen zoals paalrot bij houten funderingen en scheefzakken bij ondiepe funderingen zijn niet nieuw, maar door klimaatverandering worden deze erger, zie verder paragraaf 5.3.

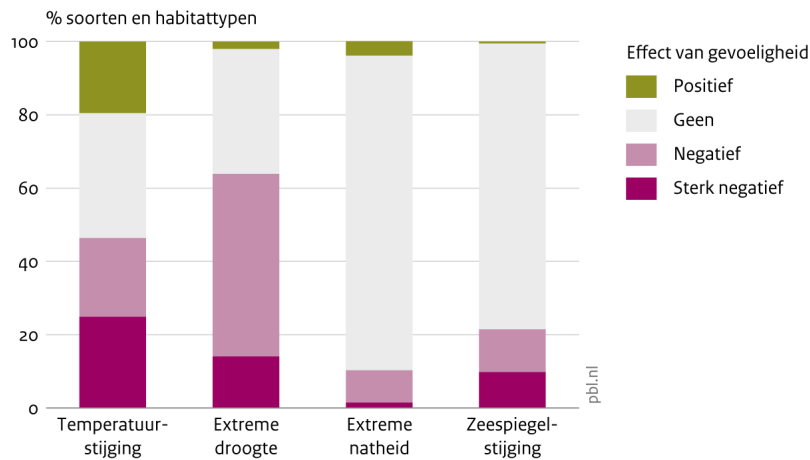
De risico's van overstromingen in de gebouwde omgeving worden uitgewerkt als onderdeel van het onderwerp waterveiligheid, in paragraaf 6.2. Woningen in heel Nederland kunnen schade ondervinden door wateroverlast, omdat extreme neerslag en hoosbuien in heel Nederland kunnen voorkomen. Maar door beperktere mogelijkheden voor waterberging is voornamelijk het stedelijke gebied in het westen van het land vatbaar, terwijl woningen en bedrijven in Zuid-Limburg kwetsbaar zijn voor een snelle stijging van het water in kleine rivieren en beken, door het grotere reliëf. Dit wordt beschreven in paragraaf 6.3. Verder worden als gevolg van het hitte-eiland effect mensen in steden aan hogere temperaturen blootgesteld dan daarbuiten, met gezondheidsrisico's tot gevolg; dit wordt beschreven bij het onderwerp gezondheid in paragraaf 4.2.

Natuur en waterkwaliteit

De invloeden van klimaatverandering op natuur en waterkwaliteit zijn divers. Van belang voor de natuur in Nederland zijn vooral de gemiddelde temperatuurstijging, periodes met extreme droogte en natheid, zeespiegelstijging en verzilting. Klimaatverandering vormt een extra drukfactor voor de natuur in Nederland, en versterkt de al bestaande drukfactoren als verzuring, vermisting en versnippering. In deze studie worden de risico's van klimaatverandering beschreven aan hand van veranderd voorkomen van plant- en diersoorten, het halen van internationale biodiversiteits- en waterdoelen (respectievelijk Europese Vogel- en Habitatrichtlijnen VHR en de Europese Kaderrichtlijn Water KRW) en levering van ecosysteemdiensten.

Figuur 3.3

Gevoeligheid voor klimaatverandering van Vogel- en Habitatrictlijndoelen



Bron: PBL 2024

De gevoeligheid van natuur voor klimaatverandering verschilt per klimaatdreiging.

Toenemende droogte van de afgelopen decennia heeft de grootste negatieve impact op de biodiversiteit en het leveren van ecosystemendiensten, en daarmee ook op het halen van de doelen voor de VHR en de KRW. Dit geldt vooral voor natuur op de hoge zandgronden, en kleine wateren. Hier zorgt onder andere een oplopend vochttekort en dalende grondwaterstand voor problemen. Het klimatologische droogte-effect op de natuur wordt versterkt door de toename van wateronttrekking in droge perioden ten behoeve van landbouw en drinkwater (=verdroging). Zie verder paragraaf 5.4.

Als gevolg van temperatuurstijging verschuiven verspreidingsarealen van planten- en diersoorten: warmteminnende soorten nemen toe in Nederland, terwijl koudeminnende soorten afnemen. De temperatuurstijging is ook een belangrijke factor voor de afname van ecosystemendiensten als zoetwaterbeschikbaarheid, bodemvruchtbaarheid en koolstofvastlegging. Door opwarming van oppervlaktewater kan de waterkwaliteit afnemen, bijvoorbeeld door algengroei, met beperkingen voor zwembadwater. Door afspoeling van verontreinigingen kan de waterkwaliteit ook achteruitgaan door (piek)buien na een droge periode. In paragraaf 4.3 wordt dit verder uitgewerkt. De effecten van natte perioden op de natuur zijn tot nu toe beperkt, en nattere omstandigheden kunnen ook gunstig zijn voor natuur, zie paragraaf 6.6.

Door een toename van de duur en intensiteit van warme, droge en zonnige perioden, neemt ook de kans op natuurbranden toe. Omdat de effecten van natuurbranden breder zijn dan alleen de impact op natuur, wordt dit onderwerp apart beschreven, in paragraaf 5.6. De gevolgen van zeespiegelstijging zijn tot nu toe beperkt, maar zullen in de toekomst een grotere rol spelen. Verzilting als gevolg van zeespiegelstijging is tot nu toe verwaarloosbaar en wordt voor de huidige situatie in dit rapport niet verder uitgewerkt.

Infrastructuur en mobiliteit

De infrastructuur die het vervoer van personen en goederen faciliteert is in zekere mate kwetsbaar voor klimaatverandering. Dit betreft de invloed van klimaatverandering op vervoer over de weg, over rails, over water en door de lucht, en de objecten die dit faciliteren – de infrastructuur.

Het belangrijkste klimaatrisico voor het spoor is 'spoorspatting' door hitte, waarbij rails door uitzetting een knik maken, met kans op vertragingen, omleidingen en, in extreme gevallen, ontsporing van treinen tot gevolg, zie paragraaf 4.4. Verder kunnen door extreme hitte beweegbare bruggen vast komen te zitten of storingen in technische installaties ontstaan. Extreme neerslag kan verweking van spoorbanen tot gevolg hebben; dat risico is in dit rapport niet verder uitgewerkt.

Wateroverlast vormt één van de meest ingrijpende klimaatrisico's voor wegen en speelt in Nederland vooral een rol bij extreme neerslag voor hellende wegen en verdiepte liggingen. De impact kan mede het gevolg zijn van zwakke punten in het ontwerp en/of onderhoud van de weginfrastructuur. Dit klimaatrisico wordt verder uitgewerkt in paragraaf 6.4. Andere klimaatrisico's m.b.t. de weginfrastructuur (die in dit rapport niet worden uitgewerkt) zijn:

- Weginfrastructuur kan hinder onder vinden doordat bij extreme hitte beweegbare bruggen vast komen te zitten. Ook kan de bovenlaag van het wegdek verweken, met baaninstabiliteit tot gevolg. Op rijkswegen is meestal zeer open asfaltbeton (ZOAB) toegepast, wat minder hittegevoelig is.
- In periodes van droogte treden meer bermbranden op die het verkeer hinderen, waarbij afval en hoge, niet gemaaide vegetatie belangrijke factoren zijn. Dit is met name een risico als de bermen aan natuur grenzen (zie ook natuurbranden in paragraaf 5.6).
- In extreme gevallen kunnen overstromingen van waterkeringen tot grote schade leiden aan het wegennet, en ook secundaire economische gevolgen hebben door tijdsverlies omdat wegen onbegaanbaar zijn (zie ook paragraaf 6.2).

Bij vervoer over water is vooral een verminderde vaardiepte door droogte voor de binnenvaart een belangrijk klimaatrisico. Dit kan leiden tot beperkingen in de belading, waardoor schepen meer moeten (om)varen om dezelfde hoeveelheid vracht te leveren. Dit leidt tot hogere kosten voor de beroepsbinnenvaart en voor de sectoren die van de binnenvaart afhankelijk zijn. Daarnaast zorgen schutbeperkingen om verzilting tegen te gaan of watertekort op peil-gereguleerde systemen voor langere wachttijden voor de gebruikers. Lage waterstanden kunnen zorgen voor hogere transportkosten, verminderde doorvoer, en cascade-effecten voor de afhankelijke industrie in Nederland en buitenland (vooral Duitsland). Dit wordt beschreven in paragraaf 5.5.

Vervoer door de lucht kan getroffen worden door extreem weer, zoals stormen of wateroverlast, waardoor vluchten niet kunnen doorgaan of vertragingen ondervinden. Dat wordt in dit rapport niet verder uitgewerkt. Tevens zijn zeehavens kwetsbaar voor extreem weer, vooral harde windvlagen, en de toenemende dreiging van zeespiegelstijging. Ook deze impacts worden niet verder uitgewerkt in dit rapport over de huidige risico's, aangezien zeespiegelstijging in de huidige situatie nog beperkt is.

Landbouw

De landbouw in Nederland ondervindt al de gevolgen van toenemende droogte, wateroverlast en hitte. Boeren proberen droogteschade zo veel mogelijk te beperken door te beregenen, zolang er voldoende zoetwater beschikbaar is en er geen beregeningsverboden gelden. Het effect van droogte op de akker- en tuinbouw wordt verder uitgewerkt in paragraaf 5.7. Ook extreme neerslag (van buien met extreme intensiteit tot extreem langdurige neerslag) kan leiden tot opbrengstderving, met name in de akkerbouw. Dit wordt verder beschreven in paragraaf 6.5. Voor akkerbouw is gekeken naar verschillende voedselgewassen en snijmais voor de veehouderij, voor tuinbouw is gekeken naar de teelt van diverse groenten en fruit.

Naast bovengenoemde uitgewerkte risico's zijn er in de huidige situatie meer klimaatrisico's. Hittegolven kunnen in de akkerbouw bijvoorbeeld voor 25-75% opbrengstderving voor aardappelen zorgen. Daarnaast kan hitte leiden tot hittestress bij vee, waardoor de productie van bijvoorbeeld melk voor een langere tijd lager uit kan vallen. Het effect van hitte is gerelateerd aan dat van droogte: enerzijds versterkt hitte de droogte, anderzijds betekent meer droogte minder verkoeling door verdamping en dus nog hogere temperaturen. Naar verwachting zal de impact van hitte op de landbouw in de toekomst toenemen bij verdergaande klimaatverandering. Ook afnemende zoetwatervoorraden, dalende grondwaterstanden en verzilting als gevolg van de stijgende zeespiegel en afnemende rivierafvoeren zullen in de toekomst in toenemende mate de landbouw beïnvloeden. Opbrengstderving voor landbouwgewassen hoeft niet altijd te leiden tot financiële schade voor boeren, omdat marktprijzen kunnen stijgen in tijden van schaarste. Als drinkwaterbedrijven meer onttrekken dan vergund (vanwege leveringsplicht) dan is voor boeren financiële compensatie mogelijk.

Warme en natte omstandigheden kunnen zorgen voor het voorkomen van ziekten en plagen, zoals aardappelrot met flinke opbrengstdervingen als gevolg (10-50%), en schimmelinfecties in uien. Ook voor fruit zijn dit risicovolle omstandigheden. Daarnaast is er risico op vorstschade als fruitbomen door geleidelijke temperatuurstijging eerder in het jaar in bloei komen, terwijl nachtvorst kan optreden tot laat in het voorjaar.

In het veenweidegebied zijn veel veehouders gevestigd met graslanden. Daling van de grondwaterstand in het veenweidegebied veroorzaakt extra veenoxidatie. Door de verdroging van het veen kunnen scheuren ontstaan waardoor bij neerslag water direct wordt afgevoerd via deze scheuren in plaats van wordt opgenomen in de veenbodem. Op lange termijn zorgt veenoxidatie voor extra CO₂-emissie en bodemdaling.

Natuurbranden

Jaarlijks komen er honderden natuurbranden voor in Nederland, met name in het voorjaar en in droge zomers. Gelukkig worden de meeste natuurbranden in een vroegtijdig stadium gesignaleerd en bestreden. Er is een kans dat een natuurbrand onbeheersbaar wordt, met aanzienlijke schades voor mens, omgeving en economie tot gevolg. Dit wordt mede veroorzaakt door verwevenheid van functies, die ook steeds meer naar elkaar toe groeien. Het Analisten Netwerk Veiligheid (ANV) classificeert de kans op onbeheersbare natuurbranden dan ook als zeer groot. Ook al zijn natuurbranden met dergelijke gevolgen tot op heden niet opgetreden, de afgelopen jaren zijn er meerdere voorbeelden geweest waarbij het net is goed gegaan. In paragraaf 5.6 gaan wij in meer detail in op natuurbranden: wat is waargenomen en waar, en wat kan er gedaan worden om de risico's op natuurbranden en schade ervan te beperken.

Drinkwatervoorziening

Drinkwaterbedrijven winnen 60% uit grondwater en 40% uit oppervlaktewater. Door toenemende droge perioden neemt de gebruiksdruk op het grondwater toe. Omdat voor drinkwater een leveringsplicht geldt, heeft dit nog niet geleid tot beperking van de drinkwatervoorziening, maar wel tot grotere schade aan natuur en landbouw. Bovendien neemt tijdens warme, droge zomerperiodes de drinkwatervraag toe.

Voor de winning uit oppervlaktewater vormen lage afvoeren tijdens droge perioden een beperking, wat kan leiden tot tijdelijke innamestops vanwege verslechtering van de waterkwaliteit (door verzilting of hogere concentraties verontreinigingen) en/of een tekort aan in te nemen water.

Tijdens droogte maken drinkwaterbedrijven gebruik van buffervoorraden, waardoor in enkele gevallen de operationele reserve van 10% niet in stand kon worden gehouden. Paragraaf 5.8 gaat in meer detail op bovenstaande risico's in.

Voor drinkwater geldt de eis dat de temperatuur aan de tap niet warmer mag zijn dan 25 graden Celsius. Door warmere zomers kan die eis overschreden worden (Agudelo-Vera 2018). In het huidige klimaat gebeurt dat nog maar incidenteel (KWR-projecten 2024), daarom wordt dit risico in dit rapport niet uitgewerkt.

Energie, ICT en industrie

De sectoren energie, ICT en industrie zijn in de voorliggende analyse maar beperkt onderzocht, als gevolg van pragmatische beperkingen (tijd en budget), en worden in deze rapportage niet in meer detail uitgewerkt. In de volgende fase van dit traject, waarin we een verkenning van toekomstige klimaatrisico's gaan doen, worden ze uitgebreider meegenomen.

De sectoren energie, ICT en industrie staan bloot aan alle in hoofdstuk 2 genoemde klimaatdreigingen. Beleidsmatig worden klimaatrisico's ook (deels) geadresseerd in het programma Vitaal en Kwetsbaar van het Deltaprogramma (Deltaprogramma 2024). Hitte is een uitdaging vanwege waterbeschikbaarheid: koelwater voor energieproductie, ICT infrastructuur, waaronder datacentra, en water voor industriële activiteiten. In perioden met hitte, vaak ook gepaard met droogte, is de vraag veelal hoog, de beschikbaarheid laag en de waterkwaliteit slechter.

In het verlengde van hitte kan ook droogte tot nodige risico's bij energie, ICT en industrie leiden. Energieopwekking, ICT en industrie hebben in toenemende mate te maken met verzilt oppervlaktewater, met mogelijk negatieve gevolgen voor de (koel)installaties. Droogte kan leiden tot meer of snellere bodemdaling, met negatieve gevolgen voor ondergrondse infrastructuur. Bovengrondse infrastructuur kan last hebben van extremere weersomstandigheden zoals stormen, valwinden, onweer, hagelbuien, sneeuw en ijzel. Bij energie gaat het hierbij zowel om productie (bijvoorbeeld windmolens die te maken krijgen met hevige stormen en valwinden) als ook transportnetwerken. Verder kunnen met name de transport- en distributienetwerken van energie en ICT worden blootgesteld aan hevigere regenval (frequentere en hevigere piekbuien) met wateroverlast en disfunctioneren tot gevolg. Tot op heden zijn de effecten hiervan echter beperkt gebleven.

3.4 Versnelde zeespiegelstijging

Van de vier klimaatdreigingen die volgens de analysemethode worden onderscheiden (zie paragraaf 1.3 en figuur 1.3), wordt zeespiegelstijging in dit rapport niet verder uitgewerkt. In deze paragraaf wordt toegelicht waarom dit het geval is.

De zeespiegel steeg in de afgelopen eeuw voor de Nederlandse kust met 20 centimeter. De stijging van de zeespiegel langs de Nederlandse bedroeg tot 1990 circa 1,8 millimeter per jaar, over de laatste dertig jaar is dit toegenomen tot circa 2,9 millimeter per jaar (Deltares 2023c). De verwachting is dat de zeespiegelstijging door klimaatverandering verder versnelt en die versnelling kan al in de loop van deze eeuw grote gevolgen hebben voor de leefbaarheid en bewoonbaarheid van ons land. In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt onderzocht wat de mogelijke gevolgen van de zeespiegelstijging zijn voor ons land en worden maatregelen verkend die

Nederland voorbereiden op de gevolgen. Dit betreft de toekomst en is dus nog geen onderwerp voor dit rapport met de huidige impact van klimaatverandering. In het vervolg van het traject, waarin toekomstige klimaatrisico's worden verkend, wordt zeespiegelstijging wel meegenomen.

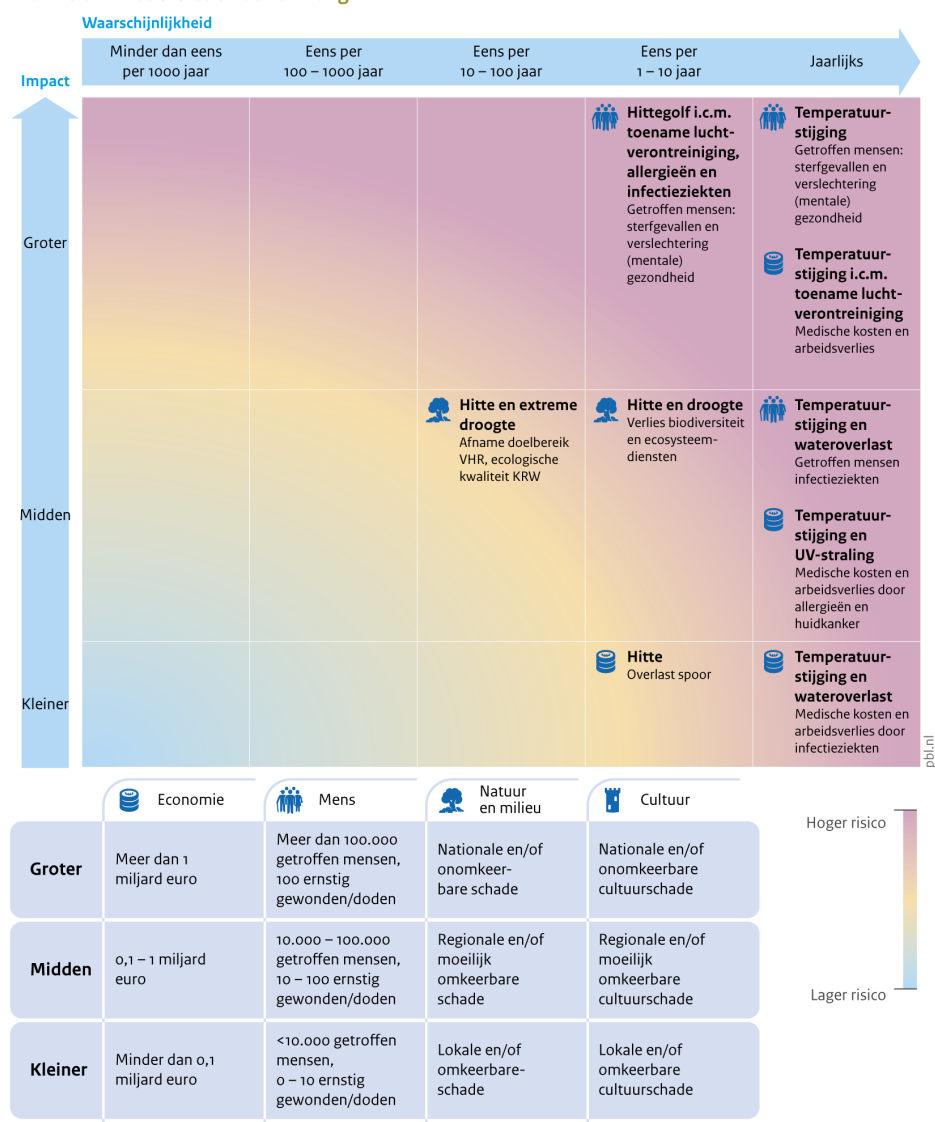
4 Het is warmer: belangrijke risico's in detail

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we, op de manier zoals omschreven in hoofdstuk 3, de gevolgen van geleidelijke temperatuurstijging en van perioden met extreme hitte, met de belangrijkste gevolgen voor humane gezondheid, natuur en de infrastructuur. Zie figuur 4.1 voor een overzicht van de klimaatrisico's die gerelateerd zijn aan hogere temperaturen en hitte.

Figuur 4.1

Warmer: Klimaatrisico's naar omvang



Bron: PBL

Overzicht van huidige klimaatrisico's als gevolg van temperatuurstijging, in de geanalyseerde sectoren, ingeschat naar waarschijnlijkheid en grootte van de impact voor mens en cultuur, natuur en milieu en economie in Nederland.

Risico's temperatuurstijging en hitte: vooral grote impact op de gezondheid, en maatschappelijke overlast

Zowel de geleidelijke temperatuurstijging als de steeds vaker voorkomende hittegolven hebben de afgelopen jaren in Nederland de grootste impact gehad op de gezondheid. Tijdens de hittegolf van 2019 stierven bijvoorbeeld in een week 400 extra mensen door hittestress, mogelijk in combinatie met smog (ozon). Door hitte en andere klimaat gerelateerde oorzaken, zoals luchtvervuiling, infectieziekten, allergieën en Uv-straling, neemt de ziektelast en sterfte toe. Klimaatverandering heeft ook impact op de mentale gezondheid. Dit alles heeft gevolgen voor de arbeidsproductiviteit en de zorgkosten.

Door de geleidelijke temperatuurstijging verandert de soortensamenstelling in de natuur en verschuift het groeiseizoen. Maar omdat veel planten- en diersoorten traag reageren, zijn de effecten daarvan nog niet altijd zichtbaar. En hitte gaat vaak gepaard met droogte, zie daarvoor hoofdstuk 5. Verder brengt hitte vooral overlast met zich mee: treinen vallen uit, of moeten langzamer rijden vanwege spoorspatting. Door uitzetting ondervinden sluizen en beweegbare bruggen storingen, met als gevolg beperkingen voor verkeer op het spoor, over de weg en op het water.

4.2 Gezondheid

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van het RIVM (Betgen et al. 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

De gezondheidseffecten van klimaatverandering worden veroorzaakt door hitte, luchtvervuiling, infectieziekten, allergieën en Uv-straling, die elkaar deels ook versterken. Daarnaast heeft klimaatverandering een effect op de mentale gezondheid. Hoewel de gezondheidseffecten dus niet alleen worden veroorzaakt door de klimaatdreiging 'het is warmer', worden ze toch - om de samenhang goed te kunnen beschrijven - allen behandeld in deze paragraaf.

In het kort

Impact op gezondheid is hoog, adaptatie vooral door verminderen blootstelling

De gemiddelde temperatuur neemt toe door klimaatverandering, evenals de frequentie, duur en intensiteit van hittegolven (zie paragraaf 2.1). Jaarlijks overlijden enkele honderden mensen extra door de toegenomen temperatuur, zowel in de vorm van hittegolven (hittesterfte) als de hogere gemiddelde jaartemperatuur (warmtesterfte). Daarmee komt dit risico in de impactklasse 'groter', met een jaarlijkse frequentie. De betrouwbaarheid van de informatie over sterfte door hitte en hogere jaargemiddelde temperaturen is groot, want gebaseerd op statistiek. 31% van de warmtesterfte van 1991-2020 is aan klimaatverandering toe te schrijven.

De economische impact van de gezondheidseffecten van temperatuurstijging is onbekend. Voor de andere klimaat gerelateerde oorzaken van gezondheidseffecten is het ook onbekend, maar zijn op basis van beschikbare gegevens schattingen gemaakt. Hierbij geldt wel dat de grootte van het aandeel van klimaatverandering op de impact nog onbekend is. De jaarlijkse economische impact van slechtere luchtkwaliteit valt daarmee in de impactklasse 'groter' (> 1 miljard euro), van Uv-straling en allergieën in de midden klasse (€ 100 miljoen – 1 miljard euro) en van infectieziekten in

de lagere klasse (< €100 miljoen). Ook de impact op de mens verschilt: voor luchtkwaliteit, Uv-straling en allergieën valt deze in de impactklasse 'groter' (>100.000 getroffen mensen en/of > 100 doden), voor infectieziekten in de midden (10.000-100.000 getroffen mensen) tot kleinere klasse (<10.000 getroffen mensen), afhankelijk van het type infectie (zie tabel 4.1). Zowel extreme klimaatgebeurtenissen als angst of stress vanwege zorgen om het toekomstige klimaat kunnen leiden tot negatieve mentale gezondheidseffecten.

Binnen Nederland hebben we geografisch gezien met kleine gemiddelde temperatuurverschillen te maken. Wel warmen steden meer op dan gebieden buiten de stad en houden zij langer de warmte vast (zie tekstkader 'Stedelijk hitte-eiland' in paragraaf 2.1). Het gezondheidseffect van de blootstelling aan hitte, gecombineerd met luchtverontreiniging, infectieziekten en allergieën, is in belangrijke mate afhankelijk van het gedrag. Daarnaast spelen inrichting van de omgeving en van de woning een belangrijke rol in de blootstelling aan hitte. De gevoeligheid voor dit risico is vooral groot onder kinderen, ouderen, chronisch zieken, en mensen met weinig financiële middelen.

Opties voor adaptatie liggen ten eerste in maatregelen in en rond de woning, die de blootstelling kunnen verminderen. Een tweede belangrijke optie is het aanpassen van gedrag, eventueel gestuurd door waarschuwingen en voorlichting (tabel 4.2).

Tabel 4.1
Impact van verschillende gezondheidseffecten voor mens en economie

| Thema | Impact op de mens | Impact op de economie |
|--|--|---|
| Hittesterfte en ziektelast | Hoger (>100.000 getroffen mensen en > 100 doden) | Onbekend |
| Warmtesterfte | Hoger (> 100 doden per jaar) | Onbekend |
| Luchtkwaliteit | Hoger (>100.000 getroffen mensen en > 100 doden) | Hoger (> 1 miljard euro) |
| Uv-straling | Hoger (>100.000 getroffen mensen en >100 doden per jaar) | Midden (€ 100 miljoen – 1 miljard euro) |
| Pollen/allergieën | Hoger (> 100.000 getroffen mensen) | Midden (€ 100 miljoen – 1 miljard euro) |
| Infectieziekten (muggen) | Lager (<10.000 getroffen mensen) | Lager (< €100 miljoen per jaar) |
| Infectieziekten (Lyme) | Midden (10.000-100.000 getroffen mensen) | Lager (< €100 miljoen per jaar) |
| Infectieziekten (Tekenencefalitis) | Lager (<10.000 getroffen mensen) | Lager (< €100 miljoen per jaar) |
| Infectieziekten (Vibrio) | Onbekend | Lager (< €100 miljoen per jaar) |
| Infectieziekten (water overdraagbaar) | Lager (<10.000 getroffen mensen) | Lager (< €100 miljoen per jaar) |
| Infectieziekten (Legionella) | Midden (10-100 doden) | Lager (< €100 miljoen per jaar) |
| Mentale gezondheid | Hoger (>100.000 getroffen mensen) | Midden (€ 100 miljoen – 1 miljard euro) |

Dit betreft jaarlijkse impact, met uitzondering van hittesterfte, dat gekoppeld is aan het voorkomen van hittegolven.

Tabel 4.2

Opties voor adaptatie gezondheidseffecten hitte

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|---------------------------------|--|---------------------------------------|
| Blootstelling: moeilijk | Aanpassen van gedrag, aanpassen van omgeving en woningen, beiden kosten tijd en aanpassen van bestaand gebouwd gebied is moeilijk | Rijk, regio, bedrijven en samenleving |
| Gevoeligheid: niet | Aantal kwetsbare mensen neemt toe (o.a. door bevolkingsgroei en vergrijzing) en verbeteren volksgezondheid is complex (publieksinformatie gericht op kwetsbaren neemt wel toe) | N.v.t. |
| Reactief en herstel: wel | Waarschuwingen en voorlichting bij extreem weer, waaronder hitteplannen | Rijk, regio, bedrijven en samenleving |

Zie paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Hoge temperaturen versterken effecten luchtverontreiniging, infectieziekten en allergieën

Als de omgevingstemperatuur dicht bij de lichaamstemperatuur ligt kan het lichaam niet afkoelen waardoor oververhitting optreedt. In juli 2019 stierven in een week 400 extra mensen aan een hittegolf, met een recordtemperatuur van boven de 40 °C. En tijdens de hittegolf in 2020 (13 dagen, maximum temperatuur 34,6 °C) was de sterfte 9% hoger (bijna 100 sterfgevallen meer) dan gemiddeld. Daartegenover staat dat wordt verwacht dat de sterfte in de winter afneemt door hogere gemiddelde temperaturen. Over de precieze oorzaken van deze koudesterfte is nog onvoldoende bekend.

Hitte en droogte gaan vaak samen met veel pollen in de lucht en hoge concentraties ozon (zomersmog). Hierdoor kunnen mensen het benauwd krijgen, zeker als zij al aandoeningen aan de luchtwegen hebben. Er is meer onderzoek nodig naar de verschillende bijdragen van hitte, luchtverontreiniging en pollen aan de sterfte en ziektelast in warme perioden. Gemiddeld leven Nederlanders enkele maanden korter door het inademen van ongezonde stoffen het hele jaar door. In warme perioden is de vorming van ozon vaak hoog en blijft fijnstof in de lucht hangen. De Europese drempelwaarde voor ozon, waarbij de bevolking moet worden geïnformeerd en kwetsbare groepen wordt geadviseerd binnen te blijven en geen lichamelijke inspanning te leveren, is sinds 1990 veel minder vaak overschreden, als gevolg van minder uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Klimaatverandering werkt deze verbetering tegen doordat omstandigheden voor vorming van ozon vaker voorkomen. In recentere jaren was er een lichte stijging in ozonpieken tijdens hittegolven, zoals in 2018, 2019 en 2020.

Een stijgende temperatuur, samen met veranderingen in neerslag, een toename van de overstromingskans en meer vernattingsgebieden (klimaatadaptieve maatregelen) vergroot ook het gezondheidsrisico van infectieziekten. Het leidt tot gunstiger omstandigheden voor bepaalde (nieuwe) infectieziekten en de overbrengers van ziekten, zoals muggen en teken. De afgelopen jaren is Nederland geconfronteerd met verschillende nieuwe mug overdraagbare infectieziekten, zoals het Westnijlvirus en het Usutuvirus. De afgelopen 20 jaar is de periode dat teken actief zijn langer geworden, waarschijnlijk als gevolg van klimaatverandering, hoewel de tekenpopulatie zelf niet toeneemt. Tekenen kunnen de ziekte van Lyme en tekenencefalitis (TBE-virus) veroorzaken. Blootstelling aan water overdraagbare infectieziekten kan plaatsvinden door recreëren in (zee)water met ziekteverwekkers, zoals Vibrio-bacteriën in kustwateren. Naast klimaatverandering beïnvloeden ook andere factoren, zoals internationalisering (transport en reizen), verstedelijking en vergrijzing de ziektelast door infectieziekten.

Van de klimaatgevoelige allergische aandoeningen komt hooikoorts het vaakst voor, en de gezondheidseffecten van hooikoorts zijn het grootst. Hogere temperaturen en hogere concentraties van CO₂ in de lucht kunnen leiden tot een vroegere start en langere duur van het pollenseizoen en hogere pollenproductie door planten. Het hooikoortsseizoen is de afgelopen 25 jaar eerder begonnen en langer geworden, waarbij het aannemelijk is dat dit door klimaatverandering wordt veroorzaakt. Naast fysieke klachten leidt hooikoorts tot ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit. De kosten hiervan worden in Nederland geschat op circa €1000 per patiënt per jaar. Klimaatverandering speelt een rol, maar onbekend is hoe groot dit aandeel is.

Uv-straling is de dominante oorzaak van huidkanker. De hoeveelheid beschikbare Uv-straling is de afgelopen decennia toegenomen, door meer zonuren, afname van de bescherming door bewolking, luchtkwaliteit die gemiddeld verbeterd is (maar ten opzichte van dat gemiddelde wel verslechtert tijdens hittegolven) en het dunner worden van de ozonlaag. Er wordt een forse toename in huidkanker gezien. Hier zit wel een generatie effect in en de helft kan in ieder geval verklaard worden door demografie. Het gedrag van mensen speelt een belangrijke rol bij de blootstelling aan Uv-straling. Meer warme en zomerse dagen zorgen voor meer buitenrecreatie en meer blootstelling. Over de relatie tussen gezondheid en Uv-straling staan nog veel vragen open. Complicerende factor is dat er langere tijd zit tussen de blootstelling aan Uv-straling en de ontwikkeling van huidkanker.

Negatieve mentale gezondheidseffecten door zowel extreme klimaatgebeurtenissen als zorgen om het toekomstige klimaat

Het risico op negatieve mentale gezondheidseffecten bestaat uit enerzijds het optreden van acute gebeurtenissen gerelateerd aan extreem weer (overstromingen, natuurbranden, hittegolven), en anderzijds de dreiging van klimaatverandering op langere termijn. Een hogere temperatuur kan bijvoorbeeld zorgen voor meer agressie bij mensen, ziekenhuisopnamen voor mentale klachten en suïcide.

Wereldwijd onderzoek laat zien dat kinderen en jongvolwassenen zich zorgen maken om klimaatverandering. 65% van de Nederlanders maakt zich zorgen om het klimaat. Deze zorgen werken door op de mentale gezondheid en het emotionele welzijn van mensen. Er is nog weinig bekend over de impact van klimaatverandering op mentale gezondheid. Wanneer mensen het vertrouwen krijgen dat ze zelf een rol kunnen spelen in het voorbereiden op en tegengaan van klimaatverandering, worden ze weerbaarder tegen de psychische gevolgen ervan.

Vooraf risico's voor kinderen, ouderen, chronisch zieken, en mensen met weinig financiële middelen

Hittegolven en hogere gemiddelde temperaturen vormen een risico voor met name 80-plussers, maar er is vanaf 65 jaar al grotere kans op hitte-gerelateerde aandoeningen. Kwetsbare groepen wonen vooral in stedelijk gebied (figuur 4.2), waar het door het stedelijke hitte-eiland effect ook nog warmer is dan daarbuiten. Ook baby's en kinderen zijn extra gevoelig voor hitte, omdat zij minder goed hun lichaamstemperatuur kunnen reguleren, evenals chronisch zieken, mensen met overgewicht, gebruikers van medicijnen, en gebruikers van alcohol en drugs. Bepaalde beroepsgroepen worden meer blootgesteld aan hitte, zoals buitenwerkers (bouwvakkers, groenwerkers) en buitensporters en hun publiek.

Mensen brengen 80-90% van hun tijd binnenshuis door. Wanneer de buitentemperatuur hoog is, is het daarom belangrijk om rekening te houden met de binnentemperatuur. Hoog-risico groepen, zoals ouderen in verzorgingstehuizen, zitten bijna 100% van de tijd binnen. Slecht-geïsoleerde woningen kunnen flink opwarmen gedurende warme perioden, terwijl goed-geïsoleerde woningen eenmaal opgewarmd de warmte niet snel kwijt kunnen. Mensen in een financieel kwetsbare positie hebben vaak niet de middelen om verkoelende maatregelen te nemen.

Aanpassing gedrag om impact op gezondheid te verminderen

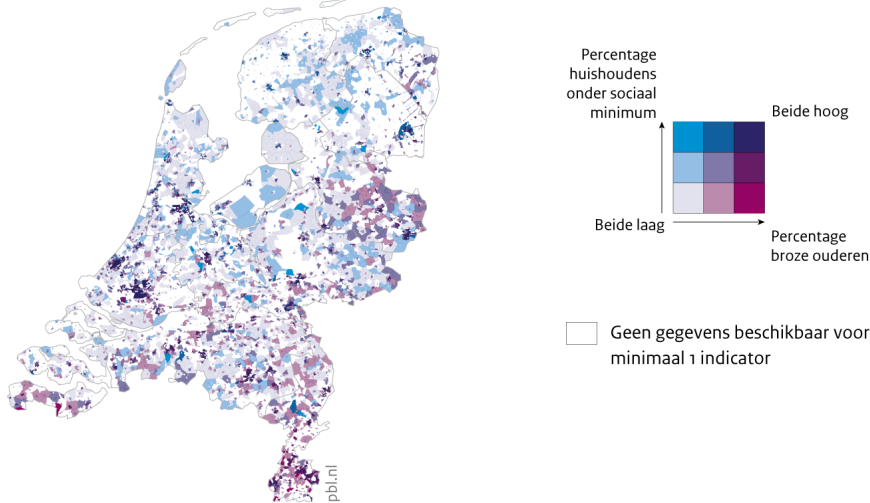
Gewenning is belangrijk om mensen om te laten gaan met hogere temperaturen. Belangrijk is ook om het dagelijkse gedrag aan te passen, bijvoorbeeld door verkoeling en schaduw op te zoeken en buitenactiviteiten te verminderen op het heetst van de dag.

Gedrag is ook belangrijk voor de kans op het krijgen van een infectieziekte. Blootstelling aan water overdraagbare infectieziekten kan plaatsvinden door het recreëren in water met ziekteverwekkers. Aangewezen zwemplekken worden regelmatig gecontroleerd op ziekteverwekkers en vormen minder risico. Om overlast van muggen te verminderen is het belangrijk om er voor te zorgen dat er geen stilstaand water rondom het huis is, waar muggen hun eitjes in leggen. Voor muggen en teken is het verder belangrijk om de huid te bedekken en bij teken om te controleren op tekenbeten. Daarnaast zijn er insectwerende maatregelen zoals horren of het gebruik van een insectwerend middel op de huid.

Figuur 4.2

Sociale kwetsbaarheid voor hitte per buurt, 2020 / 2022

Op basis van 65-plussers met een broze gezondheid en huishoudens onder of rond het sociaal minimum



Bron: Klimateffectatlas

Met name ouderen met een broze gezondheid en mensen rond en onder het sociaal minimum zijn kwetsbaar voor hitte.

Omdat blootstelling aan pollen haast onvermijdelijk is, is medicatie de belangrijkste manier om de symptomen van hooikoorts te verminderen. De blootstelling aan pollen kan enigszins worden verminderd door vroeg in de ochtend buitenactiviteiten te ondernemen, als er nog weinig pollen in de lucht zijn. Ook kan irritatie aan de ogen verminderen door buiten een (zonne)bril te dragen. Voor de gezondheidseffecten van blootstelling aan Uv-straling speelt gedrag eveneens een belangrijke rol. Goede opties om de blootstelling te verminderen volgen de lijn ‘weten, kleren, smeren’: schaduwplekken opzoeken en binnenblijven als de zonkracht hoog is, de huid beschermen

door beschermende kleren en, als het niet anders kan, zonnebrandcrème smeren. Ook geleidelijke gewenning van de huid lijkt een rol te spelen voor de bescherming tegen Uv-straling, wat nader moet worden onderzocht.

Communicatie, bijvoorbeeld in de vorm van waarschuwingen en alarmen, kan helpen om mensen bewust te maken en hun gedrag op de juiste momenten aan te laten passen. Het RIVM is verantwoordelijk voor het Nationaal Hitteplan. Als er meerdere dagen hoge temperaturen worden verwacht, worden organisaties, professionals en vrijwilligers die zijn betrokken bij zorgverlening hierop gewezen. Hoe zij hiermee verder omgegaan is aan de partijen zelf. Het Nationaal Hitteplan is sinds het ontstaan in 2007 tot nu toe (2022) 17 keer geactiveerd geweest. De werking en effectiviteit ervan wordt in 2024 wetenschappelijk geëvalueerd door het RIVM. Verder informeert het RIVM bij matige of ernstige smog de provincies, de betreffende GGD en de media. Voor ernstige zomersmog geeft het RIVM een waarschuwing af aan de hele bevolking.

Adaptatie in en rond woningen

Rondom en in het huis en in de openbare ruimte kunnen veel soorten adaptatiemaatregelen worden toegepast om de temperatuur te verlagen. Parken met bomen en openbaar groen zorgen voor lokaal lagere temperaturen, waarbij het van belang is om allergene planten te vermijden. Bij het bouwen van gebouwen kan rekening worden gehouden met schaduwwerking, waardoor minder zonlicht direct naar binnen schijnt. Voor nieuwbouw is er de landelijke maatlat voor een groene klimaatadaptief gebouwde omgeving. Dit soort aanpassingen zijn echter moeilijker te realiseren in bestaand gebouwd gebied, maar wel noodzakelijk, omdat het een groot areaal met veel inwoners betreft. Op het gebouw kunnen maatregelen getroffen worden als zonwering (binnen en buiten), lichtere kleuren op de gevel, of groene daken en gevels.

Tot slot kunnen het ingezet beleid voor luchtkwaliteit en de energietransitie een positief effect hebben op de gezondheidsimpact van luchtverontreiniging.

4.3 Natuur en waterkwaliteit

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van WEnR (Henkens et al. 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

In het kort

Stijgende temperaturen hebben moeilijk omkeerbare impact op de biodiversiteit

Stijging van temperatuur heeft een direct effect op natuur, maar ook indirect via water- en bodemtemperatuur, grondwaterstand (als hogere temperatuur gepaard gaat met een toename van het neerslagtekort) en heeft effect op ecosysteemdiensten. Het verlies aan biodiversiteit en aan ecosysteemdiensten door klimaatverandering wordt ingeschat op impactklasse ‘midden’ (regionaal en/of moeilijk omkeerbare schade). Ook het risico van hogere temperaturen op het niet halen van biodiversiteits- en waterdoelen (respectievelijk Europese Vogel- en Habitatrichtlijnen VHR en de Europese Kaderrichtlijn Water KRW) wordt onder het huidige klimaat als ‘midden’ ingeschat. Het bewijs hiervoor varieert van een beperkte tot een voldoende hoeveelheid aan informatie, afhankelijk van de soort; de consensus over het effect van klimaatverandering op natuur is groot.

Alle planten en dieren worden blootgesteld aan hogere temperaturen. Koude-minnende soorten zijn gevoelig voor negatieve effecten van temperatuurstijging, voor warmte-minnende soorten vormt het tot op zekere hoogte een kans.

Klimaatverandering versterkt de effecten van andere drukfactoren, zoals verzuring, vermisting, verdroging, versnippering en vergiftiging. Het verminderen van deze drukfactoren is een effectieve adaptatieoptie, waarmee de natuur niet alleen minder gevoelig wordt voor temperatuurstijging en droogte, maar zich ook sneller kan herstellen (tabel 4.3).

Opwarming verstoort functioneren ecosystemen en ecosysteemdiensten

Naast een effect op de verspreiding en de mate van voorkomen van plant- en diersoorten heeft temperatuur ook een effect op het functioneren van ecosystemen. Dit enerzijds door een geleidelijke stijging van de gemiddelde temperatuur, anderzijds door temperatuurextremen. Zo is door de geleidelijke temperatuurstijging in Nederland het groeiseizoen bijna vier weken langer geworden dan 50 jaar geleden (Natuurkalender): het groeiseizoen van planten in de lente begint nu drie weken eerder en de herfst komt één week later. Maar door het vroegere voorjaar neemt de kans op vorstschade in de bossen en fruitteelt wel toe, want de kans op vorst in april of mei is gelijk gebleven. Dieren reageren om een mismatch tussen voedselbehoefte en voedselpiek te voorkomen. Dit soort verschuivingen leidt tot regionale, soms moeilijk omkeerbare effecten. Veranderingen in soortensamenstelling en ecologische processen als vegetatiegroei hebben om hun beurt ook effecten op ecosysteemdiensten. Opwarming is ook een belangrijke factor voor de afname van ecosysteemdiensten, zoals zoetwaterbeschikbaarheid, bodemvruchtbaarheid en koolstofvastlegging.

Tabel 4.3

Opties voor adaptatie voor natuur m.b.t. hitte, droogte en wateroverlast

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Blootstelling: niet | Natuur kan niet worden verplaatst, wel is nieuwe natuurontwikkeling mogelijk | N.v.t. |
| Gevoeligheid: moeilijk | Robuustere natuur door verminderen andere drukfactoren | Rijk, regio, bedrijven en samenleving |
| Reactief en herstel: moeilijk | Herstelvermogen van natuur vergroten door verminderen andere drukfactoren | Rijk, regio en samenleving |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Klimaatverandering zorgt voor verandering soortensamenstelling

Als gevolg van temperatuurstijging schuiven verspreidingsarealen van soorten noordwaarts. Koudeminnende soorten doen het in Nederland slechter en nemen in aantal af, warmteminnende soorten profiteren tot op zekere hoogte en nemen in aantal toe (figuur 4.3). Nieuwe soorten ontwikkelen zich in sommige gevallen tot plaag. Een voorbeeld hiervan is de eikenprocessierups die zich door temperatuurstijging intussen in heel Nederland manifesteert en met name in 2019 voor de nodige overlast zorgde. Veel planten- en diersoorten reageren traag op klimaatverandering, waardoor gevolgen van ingezette klimaatverandering langzaam zichtbaar worden. Dat is bijvoorbeeld te zien in de Noordzee waar recent zuidelijke soorten meer zijn gaan domineren (CBS, PBL, RIVM, WUR (2024f)). Hierbij moet de kanttekening worden gemaakt dat de natuur zich wel aan het aanpassen is aan de klimaatverandering, maar dat de snelheid van verandering kan niet worden bijgehouden, waardoor planten en dieren achterop raken. Dit heeft te maken met zowel

soortteigenschappen die de mobiliteit van soorten bepalen, als ook met de versnippering van het leefgebied, wat bepaalt hoe soorten door een landschap kunnen migreren. Doordat soorten onvoldoende tijd hebben om zich aan te passen dreigt hun verspreidingsgebied af te nemen, en zouden ze eventueel zelfs helemaal kunnen verdwijnen met verlies aan biodiversiteit en ecologische functionaliteit tot gevolg.

Figuur 4.3
Invloed van opwarming op flora- en faunasoorten



Bron: NEM-database 2023

Door temperatuurstijging nemen koudeminnende soorten in aantal af en warmteminnende soorten toe.

Temperatuurverandering zet al druk op natuur en daarmee op de VHR-doelen

De verschuiving van verspreidingsarealen van soorten door geleidelijke temperatuurstijging heeft ook weerslag op de habitattypen van de Europese natuurdoelen (VHR, KRW). In de VHR-rapportage (EEA 2022a, EEA 2022b) is aangegeven dat voor de periode 2012-2018 ruim 6 procent van de VHR-doelen onder druk is komen te staan door de waargenomen temperatuurstijging. Het is aannemelijk dat dit percentage in werkelijkheid hoger ligt, omdat de extreme jaren na 2018 niet meegenomen zijn in deze schatting. Ruim 46% van de VHR-doelen is in negatieve zin gevoelig voor de temperatuurverandering. De natuur heeft echter tijd nodig om zich aan te passen aan nieuwe omstandigheden, waardoor effecten vertraagd zichtbaar wordt. De historische effecten van de al

opgetreden klimaatverandering zijn dan ook waarschijnlijk een flinke onderschatting van de huidige risico's. Daar staat tegenover dat voor bijna 20% van de VHR-doelen geldt dat temperatuurstijging een positieve impact kan hebben.

Klimaatverandering heeft ook effect op aquatische ecologie en daarmee op de KRW-doelen

Monitoringsgegevens laten zien dat de opwarming van het water in Nederland vergelijkbaar is geweest met die van de lucht, met een relatief sterke toename in het voorjaar. In de grote rivieren is de opwarming niet alleen het gevolg van klimaatverandering, maar ook van lozingen van koelwater van elektriciteitscentrales. Zo is het Rijnwater bij Koblenz in de zomer tussen 1978 en 2011 met 2°C gestegen (Hardenbicker et al. 2017). De opwarming in de winter en het voorjaar betekent een flinke afname van de kans op ijsbedekking. Zowel de opwarming zelf als de verlenging van het groeiseizoen betekenen een verhoogde kans op algenbloei in meren, sloten en rivieren. De zuurstofconcentratie in het water neemt daarbij af door een lagere oplosbaarheid van zuurstof bij hogere temperaturen, maar vooral door de afbraak van algen. Gecombineerd met een lagere rivierafvoer, langere verblijftijden en een versterkte stratificatie van het water in meren (gelaagdheid en zuurstofarme omstandigheden in diepere waterlagen), leidt dit vaker tot sterfte van schelpdieren en vis. Dit alles doet afbreuk aan het doel van de KRW van een goede waterkwaliteit.

Klimaatverandering versterkt de effecten van andere drukfactoren

Er is een sterke link tussen klimaatverandering (temperatuur) en de verspreiding en mate van aanwezigheid van plant- en diersoorten, maar het landgebruik, met daaraan gekoppelde vermessing, verdroging, versnippering en visserij hebben tot op heden een sterkere invloed gehad op de biodiversiteit in Nederland. Hetzelfde geldt voor ecosysteemdiensten zoals drinkwatervoorziening en de haalbaarheid van VHR- en KRW-doelen: andere drukfactoren spelen in de huidige situatie een grotere rol dan de opgetreden klimaatverandering en zorgen ervoor dat de natuur in Nederland extra kwetsbaar is voor klimaatverandering.

VHR- en KRW-maatregelen helpen de natuur meer klimaatrobuust te maken

Maatregelen in het kader van de VHR en de KRW kunnen helpen de effecten van klimaatverandering te verminderen. Het creëren van extra ruimte aan leefgebieden, het verbinden van bestaande leefgebieden en het verbeteren van de kwaliteit van leefgebieden, vergroten de veerkracht van de natuur. Een robuuster netwerk biedt kansen voor natuur om mee te bewegen met een veranderend klimaat. Bovendien biedt de natuur ook kansen om een meer klimaatadaptieve omgeving te realiseren (zogenoemde *nature-based solutions*, NBS), bijvoorbeeld door waterberging en het beperken van hitte in een stenen omgeving.

4.4 Mobiliteit en infrastructuur

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van TNO (Verstraten et al. 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven. In deze paragraaf gaan we alleen in op de invloed van hitte op de spoorinfrastructuur.

In het kort

Hitte leidt vooral tot risico's op het spoor, impact op veiligheid onbekend

Hittegolven komen nu veel vaker voor dan vroeger (zie hoofdstuk 2). Het grootste risico van hitte voor mobiliteit en infrastructuur vindt plaats op het spoor: extreme hitte kan aanzienlijke verstoringen veroorzaken in het spoorvervoer, door storingen aan technische installaties, aan beweegbare spoorbruggen of door spoorspatting (zie uitleg hieronder). Tot nu toe heeft spoorspatting tot een beperkt aantal gewonden geleid, de impactklasse voor mens en cultuur komt daarmee op in klasse 'kleiner', met een waarschijnlijkheid van eens per jaar tot eens per 10 jaar. De kosten voor onderhoud aan het spoor als gevolg van spoorspatting worden bij een gemiddelde temperatuurstijging van 1,5°C geschat op 1 miljoen euro, dus impactklasse 'kleiner' (< 100 miljoen euro). De betrouwbaarheid van de informatie over de veiligheidseffecten van hitte voor het spoorvervoer is laag, want het bewijs ervoor is anekdotisch.

De volledige railinfrastructuur, het materieel, en een aanzienlijk deel van het personeel en de passagiers worden blootgesteld aan extreme hitte wanneer deze zich voordoet. Hoge snelheidstrajecten zijn waarschijnlijk minder gevoelig zijn voor extreme temperaturen, maar de steeds hogere benutting van het spoor vergroot de gevoeligheid voor hitte. Ook hitte op stations en met name in gestrande treinstellen is een reëel probleem.

De belangrijkste optie voor adaptatie is om, bij vernieuwing of onderhoud, wegen, spoor, beweegbare infrastructuur en elektrische installaties beter aan te passen aan hitte. Dit kost echter tijd en geld, en soms ook ruimte (tabel 4.4).

Tabel 4.4

Opties voor adaptatie infrastructuur m.b.t. hitte

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|----------------------------------|--|---------------------------|
| Blootstelling: niet | Infrastructuur kan niet worden verplaatst, beperkte aanpassing bij ruimtelijke inrichting | N.v.t. |
| Gevoeligheid: moeilijk | Wegen, spoor, beweegbare infrastructuur en elektrische installaties aanpassen aan hitte, mogelijk bij vernieuwing/onderhoud, kost tijd, ruimte en geld | Rijk, bedrijven |
| Reactief en herstel: niet | Beperkte mogelijkheden om bij hitte impact te verminderen | N.v.t. |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Hitte kan vooral tot risico's leiden op het spoor, impact in termen van geld en veiligheid onbekend

Door de relatief sterke opwarming op warme zomerdagen komen hittegolven nu veel vaker voor dan vroeger (zie hoofdstuk 2). Het grootste risico van hitte voor mobiliteit en infrastructuur vindt plaats op het spoor: extreme hitte kan aanzienlijke verstoringen veroorzaken in het spoorvervoer, door storingen aan technische installaties, aan beweegbare spoorbruggen of door spoorspatting (zie hieronder). Nog onbekend is of passagiers- of goederenvervoer hier het meeste last van heeft. Maar ook de keuzes van de vervoerder en ProRail spelen hierin een rol: welke treinen krijgen voorrang om bijvoorbeeld omgeleid te worden en welke vallen uit?

Wel is duidelijk dat hogesnelheidslijnen minder kwetsbaar zijn vergeleken met conventionele spoorlijnen.

Hitte kan effect hebben op alle onderdelen van de spoorinfrastructuur, personeel en reizigers

Uit ervaring blijkt dat problemen in het spoorvervoer door hitte al kunnen optreden bij temperaturen vanaf 25°C, doorgaans beperkt tot lokale situaties. Bij hogere temperaturen, vooral rond de 35°C, neemt zowel het aantal als de ernst van deze effecten snel toe, op alle onderdelen van de spoorinfrastructuur:

- De spoorwegen zelf, inclusief de baan, taluds, elektriciteitsvoorziening, technische installaties, bebording, signalering, waterafvoer en -berging, en veiligheidsmaatregelen;
- Sensoren die essentieel zijn voor het veilig en operationeel houden van de sporen;
- Kunstwerken, zoals tunnels of tunnelbakken, overgangen, bruggen, en via- of aquaducten, die voorwaardelijk zijn voor de spoorinfrastructuur.

Niet alleen de volledige railinfrastructuur en het materieel, maar ook een aanzienlijk deel van het personeel en de passagiers worden blootgesteld aan extreme hitte wanneer deze zich voordoet. Werknemers die op en rondom het spoorstelsel werken kunnen hierdoor oververhit raken. Werknemers en reizigers op de stations en in de directe omgeving, bijvoorbeeld in wachtruimtes op stations, kunnen ook oververhitting ondervinden door te weinig ventilatie (Kennisportaal Klimaatadaptatie Spoorwegen 02/2024).

Spoorspatting grootste risico van hitte voor de veiligheid op het spoor

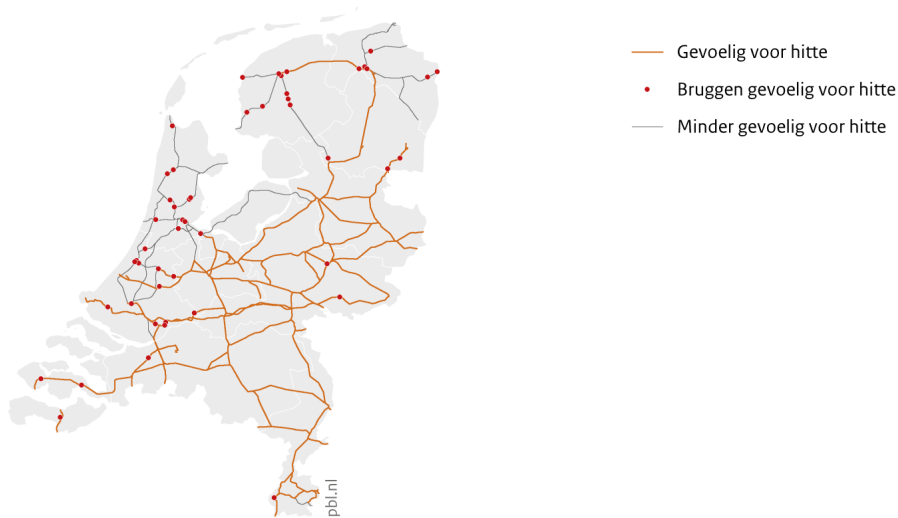
Op warme dagen kunnen de rails 20-25°C warmer worden dan de omgevingslucht. Omdat metaal uitzet bij hitte, neemt bij temperaturen rond de 33-40°C het risico op spoorspatting toe (met spoortemperaturen van rond de 50-60°C). Daarbij ontstaat door uitzetting een knik in de rails. Als de bielzen en het ballastbed (steenslag) de rails niet op hun plek kunnen houden kunnen de rails loskomen van de ondergrond. Als een zware trein passeert, worden ze naar beneden en opzij geduwd, wat kan leiden tot ontsporing van een trein. Om de risico's in deze situaties te beperken, moet de dienstregeling en/of de snelheid op het spoor aanzienlijk worden beperkt. Een toename in het aantal hittedagen kan de kans op spoorspatting vergroten, wat weer leidt tot toenemende kosten voor het onderhoud aan het spoor.

Hitte raakt de volledige railinfrastructuur, hogere benutting van het spoor vergroot het effect

De volledige railinfrastructuur, het materieel, en een aanzienlijk deel van het personeel en de passagiers worden blootgesteld aan extreme hitte wanneer deze zich voordoet, zie figuur 4.4. Het type spoor maakt uit voor de kans op spoorspatting: zo zou spoor bij houten dwarsleggers eerder losschieten dan bij betonnen. Het aandeel spoor met houten dwarsleggers is beperkt (Klimaat-effectatlas - 03/2024). De afgelopen decennia hebben een aantal ontwikkelingen gevolgen gehad voor de kwetsbaarheid van het spoorvervoer. Sinds de jaren negentig zijn er meerdere hogesnelheidstrajecten aangelegd, die door de moderne aanleg minder gevoelig zijn voor extreme temperaturen. De aanleg van de Betuwelijn, waarschijnlijk ook minder gevoelig, maakt wel de economische impact van uitval groter. Tot slot leidt de steeds hogere benutting van het spoor tot meer risico: door een grotere afhankelijkheid tussen ritten heeft een verstoring meer effect op het overige treinverkeer. Vergeleken met het wegvervoer zijn er ook minder alternatieve routes indien verstoringen zich voordoen. Dit zorgt ervoor dat cascade-effecten sneller zullen ontstaan.

Figuur 4.4

Klimaatgevoeligheid van het spoor voor hitte



Bron: Deltares 2021

De volledige railinfrastructuur kan last hebben van hitte.

Verantwoordelijkheid bij ProRail voor voorbereiden van spoorstelsel op klimaatverandering

ProRail is verantwoordelijk voor het hoofdspoor en werkt samen met het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Het is de taak van ProRail om het spoorstelsel voor te bereiden op de effecten van klimaatverandering. Daarom heeft ProRail stresstesten uitgevoerd om de klimaatrisico's te onderzoeken (Kennisportaal Klimaatadaptatie Spoorwegen; Deltares 2021a). ProRail heeft een eigen klimateffectatlas die inzicht geeft in de mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor het spoor. Deze atlas kijkt naar de thema's wateroverlast, hitte, droogte, overstromingen, stormwinden en onweer.

ProRail heeft ook een Uitvoeringsagenda Klimaatadaptatie Hoofdspoorweginfrastructuur opgesteld, en waarin onder andere de klimaatrisico's voor het spoorstelsel in beeld zijn gebracht (Prorail 2022). Bij vervanging van elektrische installaties wordt rekening gehouden met hitte. Zo zijn bijvoorbeeld bij station Driebergen-Zeist de relaiskasten wit geverfd om oververhitting tegen te gaan (Kennisportaal Klimaatadaptatie Spoorwegen).

5 Het is droger: belangrijke risico's in detail

5.1 Inleiding

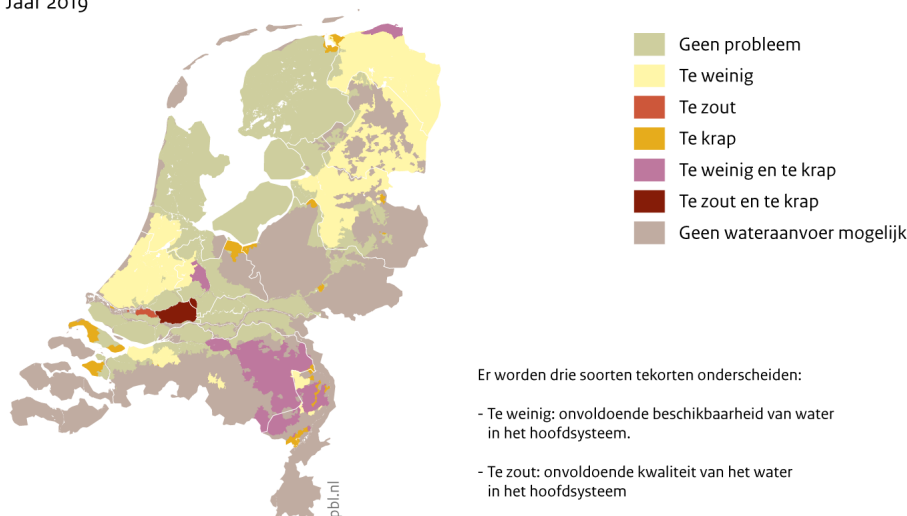
Droogte treedt op als er minder neerslag valt dan normaal en/of er meer water verdampt, waardoor een neerslagtekort ontstaat. De laatste decennia zijn vooral april en mei droger geweest, met name in het binnenland. Nederland heeft recent te maken gehad met langdurige droogtes, zoals in 2018, 2019, 2020 en 2022 (zie hoofdstuk 2). De waargenomen neerslag- en verdampingstrends laten zien dat zowel individuele als meerjarige extreem droge zomers waarschijnlijker zijn geworden (KNMI 2021). Het optreden van meerdere droge jaren achter elkaar heeft grote invloed op de waterbeschikbaarheid en het herstel van de grondwaterstanden. Ook neemt in droge perioden de kans op natuurbranden toe (zie paragraaf 5.6) en worden funderingsproblemen onder cultureel erfgoed (paragraaf 5.2) en woningen (paragraaf 5.3) versterkt.

In droge periodes kunnen door neerslag- en afvoertekorten, in combinatie met onttrekkingen, grondwatertekorten ontstaan. Bij grootschalige droogte in stroomgebieden van de grote rivieren over de grens nemen ook de rivierafvoeren af (zie ook hoofdstuk 2). Dit alles kan weer leiden tot secundaire effecten: verzilting en toenemende veenoxidatie. Grondwater speelt een belangrijke rol bij het in stand houden van verschillende functies, zoals natuur, landbouw, infrastructuur en de drinkwatervoorziening. De veranderingen in temperatuur, neerslag- en verdampingspatronen hebben effect op rivierafvoeren en de hoeveelheid beschikbaar oppervlaktewater (figuur 5.1).

Figuur 5.1

Tekort oppervlaktewater in een extreem droog jaar

Jaar 2019



Bron: Klimaateffectatlas

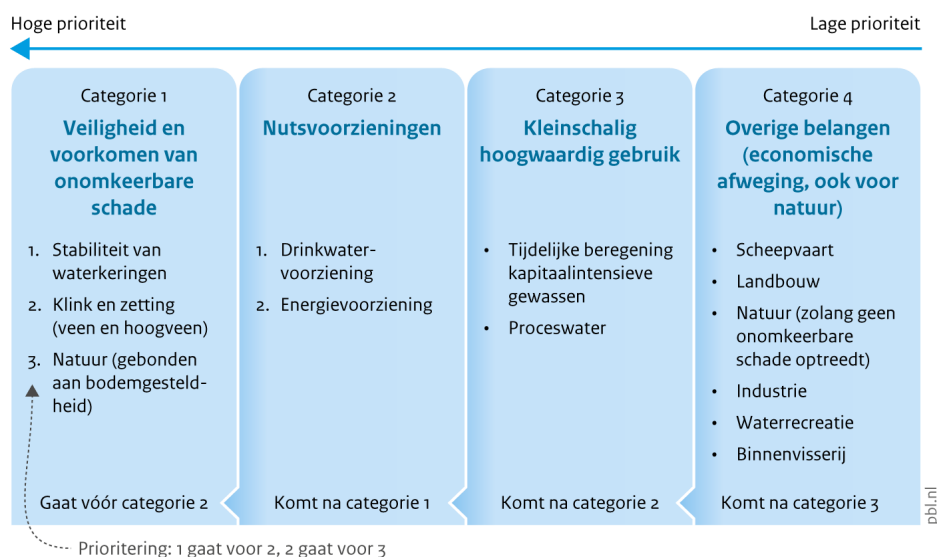
Er zijn verschillende redenen voor een tekort aan oppervlaktewater in een extreem droog jaar.

Verdeling zoetwater in tijden van schaarste: verdringingsreeks

In perioden met afnemende aanvoer en grondwatervoorraad kunnen steeds minder functies van water worden voorzien. Hiervoor hanteren waterbeheerders de prioritering volgens de verdringingsreeks (figuur 5.2) uit de Omgevingswet om het beschikbare water te verdelen. Waterkeringen en dijken die gevoelig zijn voor de droogte krijgen als eerste water. Extreme droogte kan namelijk scheuren veroorzaken in dijken en waterkeringen beschadigen. Ook het voorkómen van onomkeerbare schade aan natuur heeft de hoogste prioriteit. Drinkwaterwinning en energievoorziening (onder andere koelwater) hebben de tweede prioriteit als het water verdeeld moet worden. De nationale handleiding voor de verdringingsreeks geeft helderheid over het toepassen van de verdringingsreeks voor oppervlaktewater en helpt partijen bij de toepassing hiervan. Voor grondwater geldt dat de lokale situatie leidend is, omdat regionale verschillen vragen om bestuurlijk maatwerk. Provincies hebben hierbij de regierol en de bevoegdheid om een verdringingsreeks voor grondwater in te stellen. Het grondwaterbeheer kan ook onderdeel vormen van regionale uitwerkingen van de verdringingsreeks (Deltaprogramma zoetwater 2021).

Figuur 5.2

Prioritering van watervoorziening in droge perioden (verdringingsreeks)



Bron: lenW

De verdringingsreeks bepaalt de prioritering van watervoorziening in droge perioden.

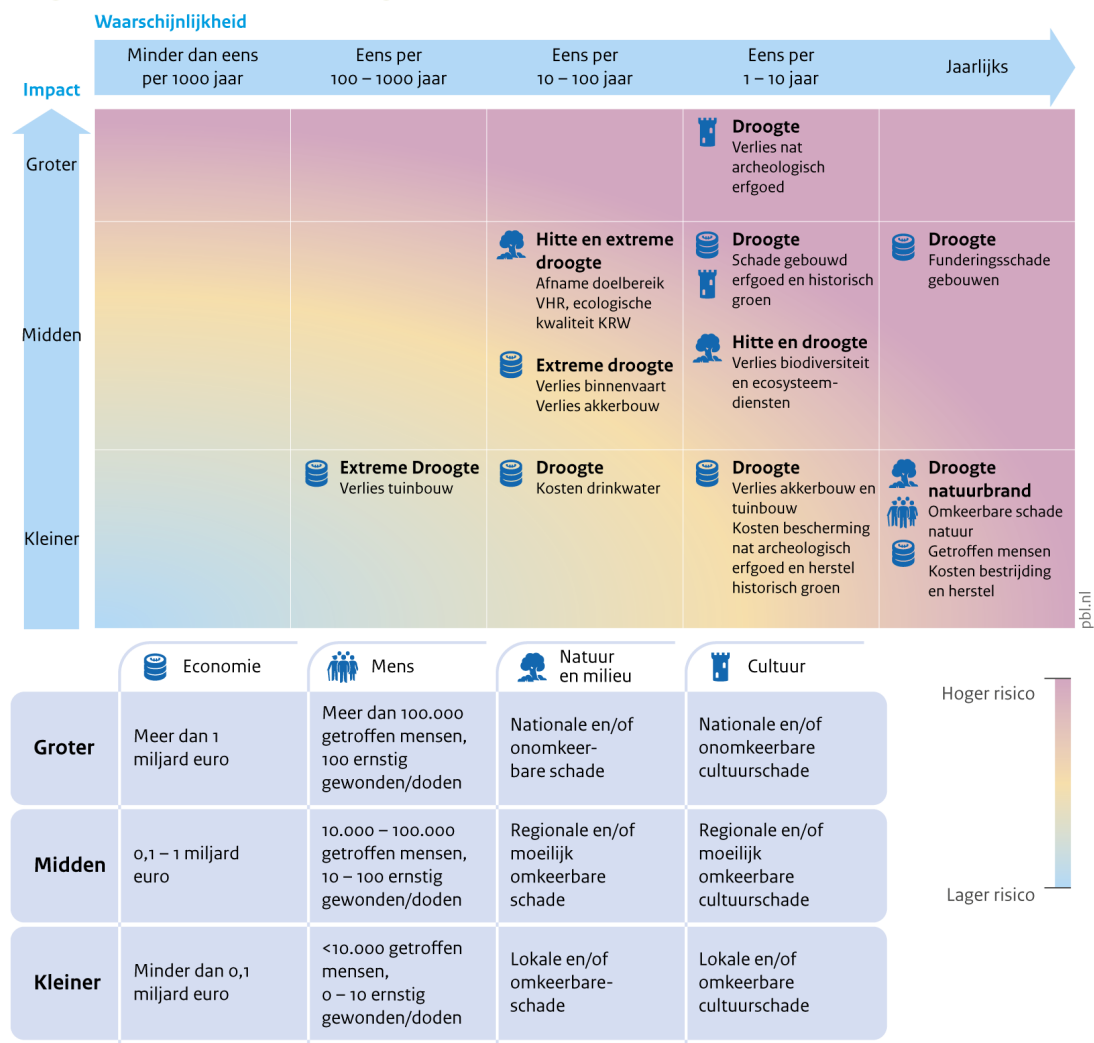
Risico's droogte: meer watervraag in droge jaren, met vooral schade en nat archeologisch erfgoed, funderingsschade en schade aan natuur

Hoewel er, vanwege de sterke fluctuaties van neerslag en verdamping van jaar tot jaar, gemiddeld over heel Nederland (nog) geen trend in droogte is waargenomen, hebben we recent de effecten kunnen zien van zeer droge jaren. Figuur 5.3. geeft een overzicht van de geanalyseerde huidige risico's gerelateerd aan droogte. Lage grondwaterstanden brengen onomkeerbare schade toe aan archeologisch erfgoed dat normaal gesproken onder water staat, en in mindere mate ook aan gebouwd erfgoed en historisch groen. Droogte leidt tot schade aan funderingen van gebouwen: in de zomer van 2018 nam het aantal meldingen van funderingsschade aanzienlijk toe.

In de afgelopen droge jaren, zoals 2018 en 2020, nam de drinkwatervraag toe, waardoor drinkwaterbedrijven meer grondwater oppompten, en nam ook de beregening in de landbouw toe. Zo liet de droge periode in 2018 een sterke toename in drinkwaterverbruik zien, waardoor op

verschillende locaties de vergunde maandcapaciteit voor grondwaterwinning werd overschreden. Op basis van de verdringingsreeks (zie hierboven) krijgt drinkwaterwinning de op één na hoogste prioriteit. Waterschappen hebben in 2018 in verschillende regio's beregeningsverboden voor de landbouw afgekondigd. Het totale watergebruik van de land- en tuinbouwsector verdriedubbelde tijdens droge perioden. Dit heeft bijgedragen aan lage grondwaterstanden, met als gevolg schade voor de natuur. Op meerdere locaties is vervolgens een verbod ingesteld op het onttrekken van grondwater en oppervlaktewater in gebieden nabij kwetsbare grondwaterafhankelijke natuur. De droogte van 2018 leidde tot opbrengstderivingen in de land- en tuinbouw, maar niet altijd tot financiële schade voor boeren, door hogere prijzen voor producten.

Figuur 5.3
Droger: Klimaatrisico's naar omvang



Bron: PBL

Overzicht van huidige klimaatrisico's als gevolg van droogte, in de geanalyseerde sectoren, ingeschat naar waarschijnlijkheid en grootte van de impact voor mens en cultuur, natuur en milieu en economie in Nederland.

Bij droogte in de stroomgebieden nemen de rivierafvoeren af, en daarmee ook de beschikbare hoeveelheden oppervlaktewater. Zo nam in 2018 de afvoer van de Rijn af tot 732 m³/s, ten opzichte van een gemiddelde zomerafvoer van circa 2160 m³/s. Daardoor verslechtert ook de waterkwaliteit, door verminderde verdunning van verontreinigingen en toename van de watertemperatuur.

Lage rivierafvoeren leiden ook tot beperkingen in de binnenvaart. In 2018 was er sprake van laagwater gedurende een periode van 6 maanden, waardoor schepen niet meer of alleen met minder lading konden varen. Maar door hogere transportkosten en krapte stegen de prijzen, waardoor de omzet van de binnenvaart in het derde kwartaal van 2018 17,5% hoger lag dan het jaar daarvoor. Voor de verladings kan het wel tot verlies leiden, evenals voor de industrie die afhankelijk is van deze vaarwegen.

Tot slot leidt droogte tot schade aan funderingen van gebouwen, door paalrot of door zetting van de bodem, met verzakking tot gevolg.

5.2 Cultureel erfgoed

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van RCE (de Boer en Knechtel 2023) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

In het kort

Cultuurschade door droogte het grootst voor nat archeologisch erfgoed

Cultureel erfgoed in Nederland bestaat uit archeologie, gebouwd erfgoed, cultuurlandschap/historisch groen, roerend erfgoed en immaterieel erfgoed. Een deel van het erfgoed is als rijksmonumenten beschermd, een klein deel is ook Unesco Werelderfgoed en daarmee van internationale waarde. Droogte zorgt met name voor schade aan archeologisch erfgoed dat normaal in zoetwater of onder de grondwaterspiegel ligt, aan gebouwd erfgoed en aan historisch groen. Uitgaande van droge perioden die eens per 10 jaar tot eens per jaar voorkomen, valt de culturele schade voor nat archeologisch erfgoed in de klasse 'groter' (nationaal en/of onomkeerbare cultuurschade), en voor gebouwd erfgoed en historisch groen 'midden' (regionaal en/of moeilijk omkeerbare cultuurschade). Het effect van droogte op historisch groen vormt ook een risico voor natuurwaarden, ook dat wordt ingeschat als 'midden' (regionaal en/of moeilijk omkeerbare schade). De economische impact van droogte op gebouwd erfgoed is 'midden' (100 miljoen – 1 miljard euro), terwijl dit voor nat archeologisch erfgoed en historisch groen in de klasse 'kleiner' valt (< 100 miljoen euro), waarbij het voornamelijk om herstel- of preventieve maatregelen gaat.

Er is consensus bij wetenschappers en monumentenwachters dat droogte tot schade leidt. Vaak is het een combinatie van droogte, dalende grondwaterstanden en/of zoetwateronttrekkingen die schade veroorzaakt aan erfgoed, waarbij de rol van klimaatverandering versus ander drukfactoren lastig vast te stellen is. Het bewijs is echter beperkter: er vindt op beperkte schaal monitoring plaats, wel is er gebruik gemaakt van schademeldingen over gebouwd erfgoed en historisch groen, van gesprekken met eigenaren en rentmeesters, en van de expertise van erfgoedadviseurs. Adaptatiemogelijkheden moeten vooral gezocht worden in aanpassingen in het waterbeheer, gericht op het vergroten van de waterbeschikbaarheid voor het erfgoed, maar dat zal vaak consequenties hebben voor andere functies die van het water gebruik maken. Erfgoed is op dit moment niet opgenomen in de verdringingsreeks. Anderzijds signaleert de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed dat bestaande adaptatiemaatregelen vanuit andere sectoren, zoals extra

wateronttrekkingen voor drinkwater of beregening in de landbouw, een grote impact kunnen hebben op erfgoed (tabel 5.1).

Tabel 5.1
Opties voor adaptatie cultureel erfgoed aan droogte

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|----------------------------------|---|----------------------------|
| Blootstelling: niet | Erfgoed kan niet worden verplaatst | N.v.t. |
| Gevoeligheid: moeilijk | Waterbeheer aanpassen, gericht op vergroten waterbeschikbaarheid voor erfgoed, maar consequenties voor andere functies | Rijk, regio en samenleving |
| Reactief en herstel: niet | Zeer beperkte mogelijkheden om tijdens droogte impact te verminderen, herstel van nat archeologisch erfgoed niet mogelijk | N.v.t. |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Nat archeologisch erfgoed ondervindt onomkeerbare cultuurschade door droogte

Nat archeologisch erfgoed, dat normaal in zoetwater of onder de grondwaterspiegel ligt, wordt bedreigd door droogte en dalende grondwaterstanden. Door de overgang van zuurstofarme naar zuurstofrijke omstandigheden wanneer (grond)waterstanden dalen, kunnen organische resten in het bodemarchief (plantenresten, houten voorwerpen en constructies, textiel, leer, ecologische resten) worden aangetast en afgebroken. Bijvoorbeeld bij houten scheepswrakken kan een dalende (grond)waterstand zorgen voor het verdwijnen van (delen van) de scheepsconstructie en de (organische) lading, zoals textiel. De samenstelling van de bodem, waterverzadiging en de consumptie van zuurstof door het bodemleven spelen een belangrijke rol bij verdroging en afbraak van organisch materiaal. Het verlies van archeologische resten leidt tot cultuurschade doordat historische informatie in de ondergrond verloren gaat. Dit verlies is 'onomkeerbare cultuurschade': toekomstige generaties kunnen nooit meer kennismaken van deze archeologische resten of dit verleden.

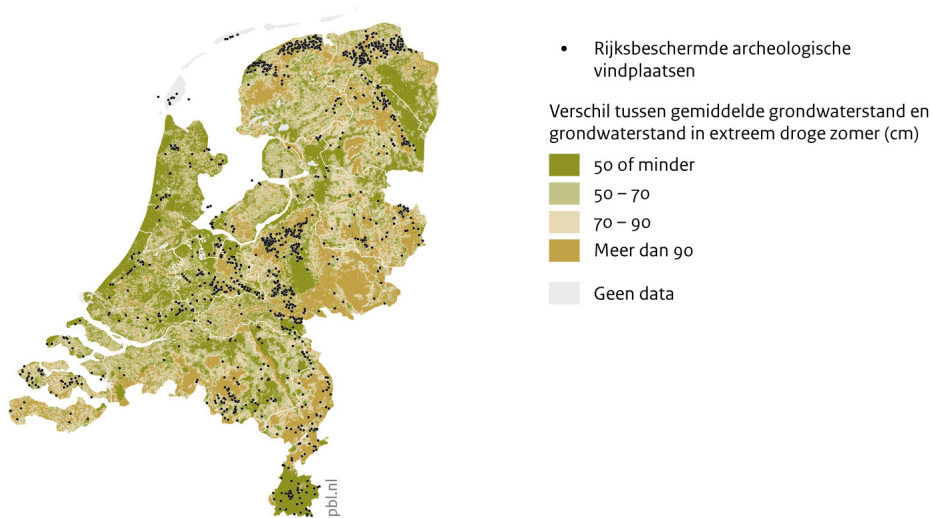
Er is geen beeld van nat archeologisch erfgoed dat al verloren is gegaan. Pas als er ergens gegraven wordt, ontstaat er een beeld van de staat van de lokale archeologische objecten in de bodem (het 'bodemarchief'). Uit opgravingen weten we dat de impact al groot is. Het risico voor nat archeologisch erfgoed is een probleem dat nog niet is geadresseerd, maar vanwege de onomkeerbaarheid wel om keuzes vraagt. Er zijn investeringen nodig als je de resten zou willen opgraven of zou willen bewaren met adaptieve maatregelen, zie verderop. De kosten voor aanleg en onderhoud kunnen dan snel oplopen.

Archeologisch erfgoed is meer of minder kwetsbaar afhankelijk van de ligging en type materiaal

Niet iedere locatie met archeologie in de bodem is even kwetsbaar voor droogte, zie figuren 5.4 en 5.5. Sommige locaties – met name op de zandgronden – bevinden zich al eeuwen in een droge omgeving. Het zijn de locaties die nu vochtig of nat zijn geconserveerd, die kwetsbaar zijn. Voor archeologie die bestaat uit organische resten onder de grondwaterspiegel kunnen dalende grondwaterstanden leiden tot afbraak. Archeologische resten in oppervlaktewater zijn kwetsbaar bij het droogvallen van de wateren. Bij verzilting kunnen vooral metalen voorwerpen aangetast worden, en dit brengt extra kosten met zich mee om opgegraven voorwerpen te conserveren.

Figuur 5.4

Archeologische rijksmonumenten en grondwaterfluctuatie in een extreem droge zomer

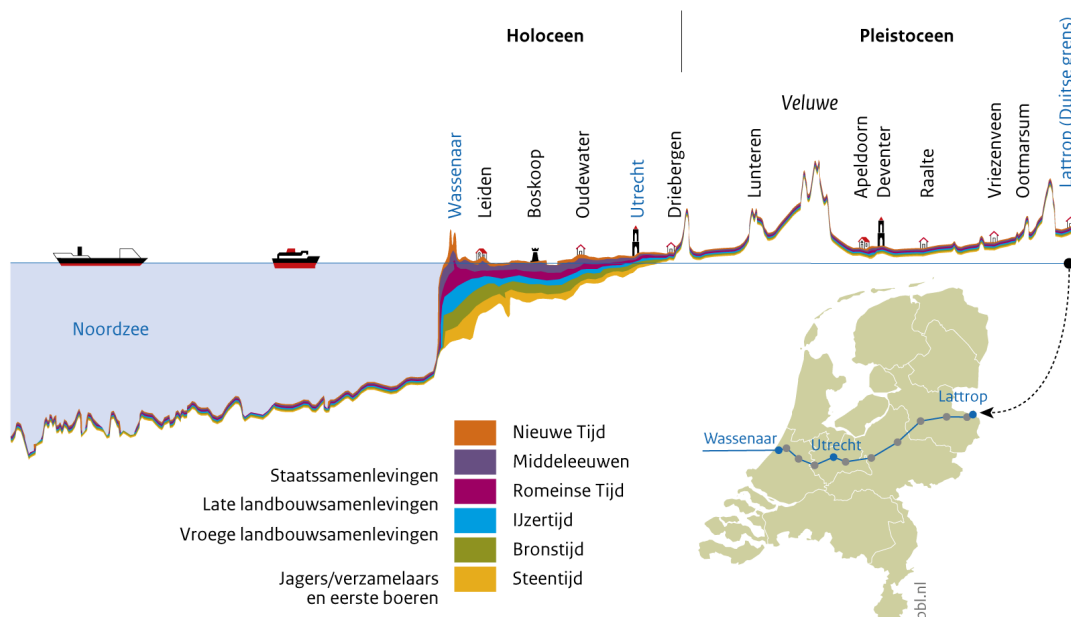


Bron: RCE 2024, Deltares 2019

Bijna 1.500 locaties met archeologische erfgoed worden door het Rijk beschermd. De fluctuatie van de grondwaterstand en de diepteligging van de monumenten bepalen welk deel hiervan een risico loopt op schade door droogte.

Figuur 5.5

Diepteligging van archeologie in een dwarsdoorsnede door laag en hoog Nederland



Bron: RCE

In laag Nederland ligt archeologisch erfgoed begraven onder sedimenten uit het Holoceen (vanaf ca. 12 duizend jaar geleden tot heden), terwijl in hoog Nederland het erfgoed veelal dicht aan het oppervlak ligt omdat daar nauwelijks of veel minder sedimentatie heeft plaatsgevonden.

Nat archeologisch erfgoed kan geconserveerd worden door locaties nat te houden

Adaptatie is vooral gericht op het conserveren van de natte archeologie door een locatie nat te houden. Er zijn steeds meer projecten waarbij infiltratie van neerslag naar de bodem en het grondwater wordt bevorderd. Dit kan eraan bijdragen dat archeologische resten (langer) onder

zuurstofloze omstandigheden behouden kunnen blijven. Bij het voormalig eiland Schokland, een veeneiland met een lange bewoningsgeschiedenis (>8000 jaar) en met een rijke archeologische ondergrond, kwamen de archeologische resten door verdroging onder druk te staan. Hier is een hydrologische bufferzone aangelegd langs een kant van het eiland, wat heeft geresulteerd in het tegengaan van verdere verdroging. Zulke ingrijpende maatregelen worden niet haalbaar geacht voor elke locatie met nat archeologisch erfgoed in de ondergrond. Aandacht is nodig voor keuzes in waterbeheer, waarbij ook rekening wordt gehouden met de gevolgen van grondwateronttrekkingen vanuit andere sectoren bijvoorbeeld (beregening, drinkwateronttrekkingen).

Funderingen van gebouwd erfgoed hebben moeilijk omkeerbare schade en hoge herstelkosten door droogte

In de laatste jaren is er een toename van schade aan (funderingen van) gebouwd erfgoed. Deze trend is waar te nemen in het aantal subsidies dat wordt aangevraagd voor funderingsherstel en restauraties van rijksmonumenten. Ook nemen scheuren of scheefstand toe. De oorzaak hiervan is een daling van de grondwaterstand waardoor klei afwisselend krimpt en zwelt, en veen inklinkt. De grondwaterstand daalt in periodes van droogte door gebrek aan neerslag, maar ook door grondwateronttrekking voor drinkwaterwinning en landbouw. Het scheefzakken van gebouwd erfgoed speelt zowel bij funderingen op staal als bij funderingen op houten palen, waarbij droogval leidt tot paalrot (zie ook paragraaf 5.3). In veel gevallen kan door tijdig ingrijpen gebouwd erfgoed worden aangepast door funderingen te herstellen of te versterken, om zo onomkeerbare schade aan gebouwde monumenten te voorkomen. Bij gehele vervanging van de fundering betekent dit verlies van authentieke funderingen, maar kan dit er wel voor zorgen dat het gebouwde monument voor de lange termijn behouden blijft. Culturele schade aan gebouwd erfgoed is ingeschat als moeilijk omkeerbaar. Eigenaren van monumentale panden zijn verplicht het gebouw te behouden voor de toekomst (instandhoudingsplicht) en moeten dus investeren in herstel of vervanging van de fundering. De kosten van het vervangen van een fundering zijn, afhankelijk van de grootte van het monumentale pand en de locatie, gemiddeld €75.000 per monument.

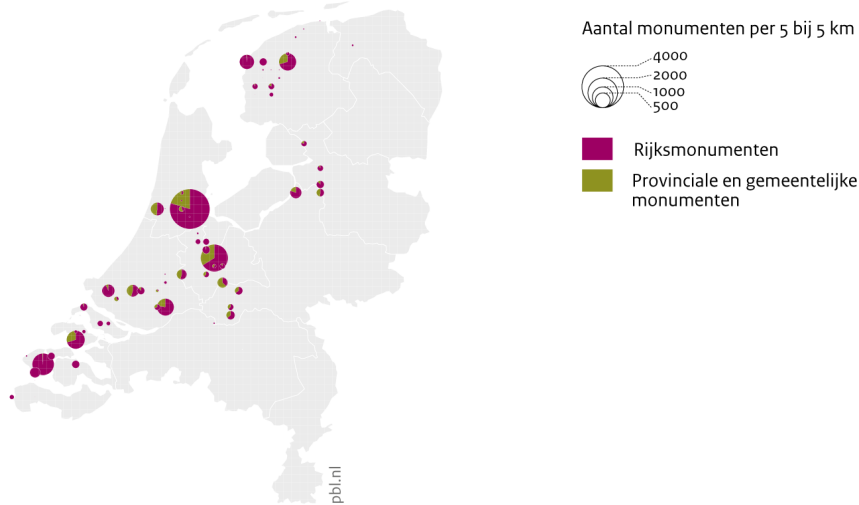
Funderingsschade aan gebouwd erfgoed door het hele land

Bij gebouwen die eeuwen probleemloos zijn doorgekomen, is recent funderingsschade geconstateerd na tijden van extreme droogte. Droogte draagt bij aan dalende grondwaterstanden met paalrot tot gevolg, of er kan zetting optreden door bodembeweging bij zwel/krimp of inklinking van de ondergrond. Meerdere bouwperiodes binnen een monumentaal gebouw maken een gebouw in het algemeen gevoeliger voor funderingsschade, door variatie in funderingstypes. Goede registratie van funderingsschade aan (monumentale) gebouwen ontbreekt. Figuren 5.6 en 5.7 tonen rijksmonumenten met risico op funderingsschade door paalrot of door ligging op zettingsgevoelige grond. Wat opvalt is dat er over heel het land funderingsproblemen zijn, vooral in veengebieden en regio's met (rivier)klei. In de historische binnensteden in deze regio's kunnen vele monumentale panden te maken krijgen met funderingsschade, waardoor ook (beschermde) stadsgezichten aangetast raken (Rli 2024).

Figuur 5.6.

Monumenten met hoge gevoeligheid voor schade door paalrot, 2024

Gebouwd erfgoed



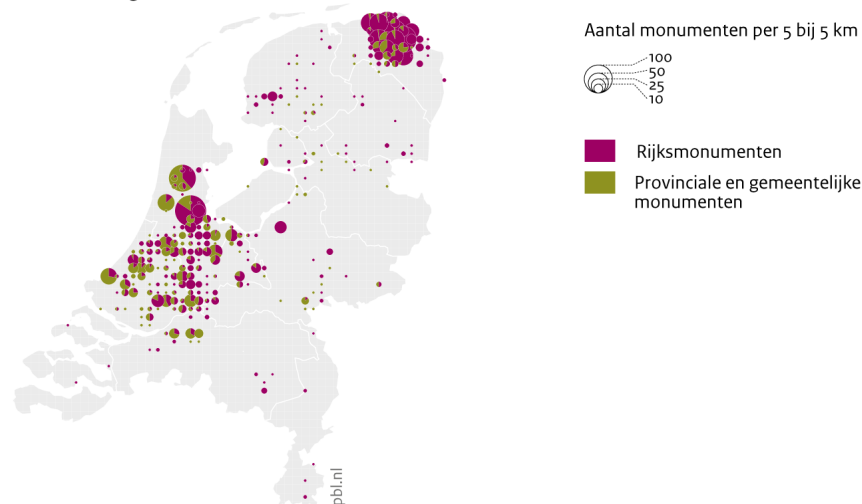
Bron: RCE 2024, Deltares 2021

Ruim 14.000 objecten die worden gerekend tot het gebouwde erfgoed bevinden zich op plekken waar het risico op paalrot hoog tot zeer hoog is. Van deze objecten is 22% een Provinciaal of Gemeentelijk monument. Niet al het gebouwde erfgoed heeft een houten fundering. Het aantal objecten dat daadwerkelijk risico op paalrot loopt is lager, maar onbekend.

Figuur 5.7.

Monumenten gelegen op zettingsgevoelige grond, 2024

Gebouwd erfgoed



Bron: RCE 2024, Deltares – BoschSlabbers – Sweco 2021

Ruim 2.000 gebouwde monumenten liggen op zettingsgevoelige grond. Van dit gebouwde erfgoed is 68% een Rijksmonument. Groningen toont een bijzonder cluster van monumenten, gelegen op plekken waar als gevolg van gaswinning de zetting deels op grote diepte plaatsvindt.

Historisch groen ondervindt droogteschade, maar omvang nog onvoldoende in beeld

Historische groen wordt gevormd door monumentale onderdelen van het landschap die geheel of gedeeltelijk bestaat uit beplanting, zoals tuinen, parken, tuinwijken, verdedigingswerken, begraafplaatsen, buitenplaatsen en landgoederen. In de afgelopen decennia zien eigenaren en

beheerders een toename van schade aan historisch groen, zoals het uitdrogen van inheemse aanplantingen, opdrogen van waterpartijen en aantasting van ontwerpstructuren. Er zijn voorbeelden van schade aan monumentale bomen, karakteristieke heestergroepen, historische lanen en aantasting van zichtlijnen in het historische landschap. Droogteschade kan leiden tot een verlies van historische structuren en authentieke soorten, en een toename in beheerkosten door extra onderhoud en kosten voor herbeplanting en herinrichting. Anderzijds is het aanpassen en vervangen van planten, bomen en struiken een constante in het beheer van cultuurhistorisch groen. Dit maakt schade aan historisch groen deels omkeerbaar.

Historisch groen heeft droogteschade in hele land, gevoeligheid verschilt per plantensoort

Afhankelijk van bodem, landgebruik en regionale waterbeschikbaarheid verschilt de impact van droogte op historisch groen. Hoger gelegen zandgronden zijn relatief kwetsbaar voor droogte, vanwege beperktere mogelijkheden om water aan te voeren voor beregening en dus grotere afhankelijkheid van regenwater. Sommige plantensoorten zijn gevoeliger voor droogte. Oppervlakkig wortelende boomsoorten zoals de beuk en de fijnspar zijn minder bestand tegen droogte dan de wintereik en de Douglas. Beukenlanen op landgoederen en buitenplaatsen moesten de afgelopen jaren regelmatig gekapt worden vanwege extreme droogte. Monumentale bomen zijn vanwege hun ouderdom vaak extra gevoelig.

Historisch groen: aanpassen, vervangen en klimaatbestendig maken

Groenstructuren zullen met de tijd mee moeten bewegen, maar er is nog weinig maatschappelijk debat hierover en adaptatiemaatregelen staan vaak nog in de kinderschoenen. Er is onderzoek nodig om de vraag te beantwoorden op welke manieren historisch groen kan worden beschermd en in hoeverre dit klimaatbestendig kan worden gemaakt. Daarnaast zijn er keuzes nodig in waterbeheer en is er aandacht nodig voor de uitwerking van beleid vanuit water en bodem sturend op historisch groen.

5.3 Gebouwde omgeving

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van TNO (Verstraten et al. 2024) en Deltares (Deltares 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

In het kort

Funderingsschade door droogte nu nog laag tot midden

Het grootste risico van droogte voor de gebouwde omgeving is schade aan funderingen van gebouwen, door paalrot of door zetting van de bodem, leidend tot onder meer verzakking. Op dit moment speelt dit probleem bij ongeveer 425.000 gebouwen in Nederland (6% van alle gebouwen). In de huidige situatie wordt de jaarlijkse economische impact hiervan ingeschat als impactklasse 'kleiner' tot 'midden' (van < 100 miljoen tot 1 miljard euro), ook omdat droogte maar één van de oorzaken is. Het is de verwachting dat dit in toekomst zal toenemen tot midden/groter. Dit betreft alleen het deel dat wordt veroorzaakt door klimaatverandering, de totale funderingsschade ligt veel hoger (heden tot 16 miljard euro). Er is brede consensus dat klimaatverandering bijdraagt aan funderingsschade, maar er is weinig bewijs hoe groot die bijdrage is. Er ontbreekt kennis en informatie over de droogstand van gebouwen en hoeveel kwetsbare objecten dit betreft.

Overall worden gebouwen blootgesteld aan (meer) droogte: vanuit bijna heel Nederland komen meldingen van funderingsschade, maar het speelt vooral bij woningen in klei- en veengebieden. Het meest gevoelig zijn woningen van voor 1975, die veelal gebouwd zijn op een houten paalfundering of op een ondiepe fundering.

Aanpassing van het waterbeheer, gericht op het nat houden van de funderingen, is een belangrijke optie voor adaptatie, maar kan consequenties hebben voor andere functies in de omgeving. Bij onderhoud of vernieuwing van gebouwen kan meer rekeningen worden gehouden met dit risico, ook kunnen bestaande funderingen worden hersteld (tabel 5.2). Tot nu toe is er veel onzekerheid over wie er verantwoordelijk is voor funderingsschade. De Raad voor de leefomgeving en infrastructuur heeft recent hiervoor aanbevelingen gedaan (Rli 2024).

Tabel 5.2

Opties verminderen effecten droogte op gebouwde omgeving

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|----------------------------------|--|----------------------------|
| Blootstelling: niet | Gebouwde omgeving kan niet worden verplaatst | N.v.t. |
| Gevoeligheid: moeilijk | Waterbeheer aanpassen, gericht op nat houden, maar consequenties voor andere functies; aanpassen bij onderhoud/vernieuwing ruimtelijke inrichting en gebouwen, aanpassing/herstel funderingen, kost tijd, ruimte en geld | Rijk, regio en samenleving |
| Reactief en herstel: niet | Geen mogelijkheden om tijdens droogte impact te verminderen, herstel is duur | N.v.t. |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Toenemende droogte leidt tot meer funderingsschade

Vóór 1975 werden gebouwen vaak op ondiepe funderingen of houten palen gebouwd. Dergelijke constructies zijn vatbaar voor zetting van veen of klei in de ondergrond, of voor paalrot als de fundering uit houten palen bestaat, die tijdelijk droog komen te staan. Nederland heeft te maken met een omvangrijke funderingsproblematiek zowel in stedelijk als landelijk gebied. Op dit moment hebben ongeveer 425.000 gebouwen omvangrijke problemen (Rli 2024). Rond 20% van deze woningen met ernstige problemen staat in steden en wijken met lage inkomens (Grootbanken 2024).

De impact kan variëren van scheuren in muren, klemmende deuren en ramen, tot grote verzakkingen die het noodzakelijk maken om de fundering grondig te herstellen. De schade is afhankelijk van het type fundering waarop een pand staat, de bouwkundige kwaliteit van de fundering en het pand zelf, en lokale factoren in ondergrond en grondwater (Deltares en TNO 2021). Overigens wordt funderingsschade pas duidelijk na een cumulatieve periode van ongeveer tien jaar droogstand.

Nederland wordt steeds vaker geconfronteerd met droogte en de effecten daarvan zijn nu al merkbaar. Gedurende de buitengewoon droge zomers van 2018, 2019, 2020 en 2022 nam het aantal meldingen van funderingsschade aanzienlijk toe (KCAF 2023). Het gaat hier in de meeste gevallen om beperkte schade die een gedeeltelijke renovatie nodig maakte (herstelkosten tot rond

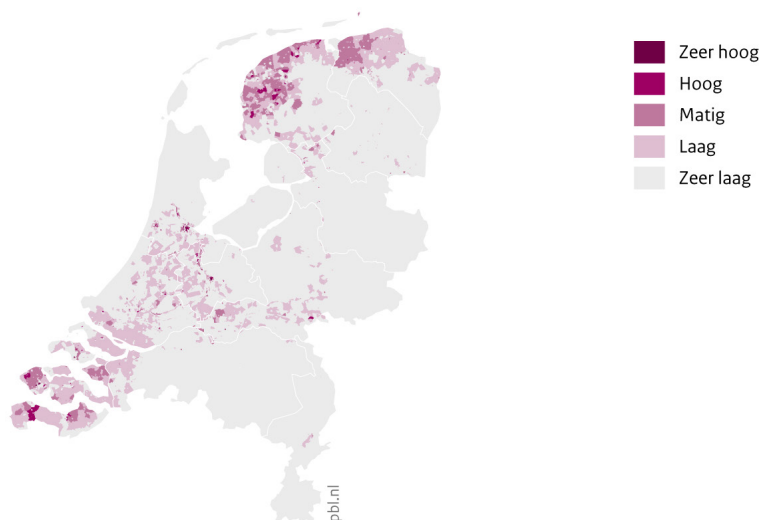
10 duizend euro). Voor een klein deel (2 tot 9% van de getroffen woningen) gaat het om aanzienlijke schade met kosten oplopend tot meer dan 100 duizend euro (Deltares en TNO 2021, Grootbanken 2024). De gemiddelde kosten van funderingsherstel worden geschat op 15% van de waarde van een woning oftewel circa 60.000 euro (Rli 2024).

Vooraf woningen in West- en Noord-Nederland van voor 1975 lopen risico

Vanuit bijna heel Nederland komen meldingen van funderingsschade door (meer) droogte. Het risico verschilt per gebied, afhankelijk van het type grond waarop een woning is gebouwd. De grootste risico's treden op bij woningen van voor 1975 op de doorgaans veel nattere klei- en veengebieden, met name in West- en Noord-Nederland (zie figuur 5.8). Waar klei bij droogstand krimpt en bij natheid weer wat uitzet, oxideert veen bij droogstand en komt het niet terug, waardoor funderingen blijvend blootgesteld worden aan lage grondwaterstanden. Ook zijn veel voor- en naoorlogse woonwijken in hoog tempo aangelegd vanwege woningnood. De woningen zijn vaak geschakeld en met goedkope materialen gebouwd, wat ze gevoelig maakt voor funderingsproblemen (Rli 2024). In wijken die ook socio-economisch kwetsbaar zijn, kan funderingsschade het welzijn van bewoners raken of leiden tot verloedering (Rli 2024). In rivierkleigebieden wordt de funderingsproblematiek steeds relevanter: door klimaatverandering neemt hier de fluctuatie tussen droogstand en natheid toe. Dit komt tot uiting in het grote aantal meldingen van funderingsschade in deze gebieden (figuur 5.9).

Figuur 5.8

Gevoeligheid voor schade door paalrot



Bron: Klimateffectatlas, Deltares 2021

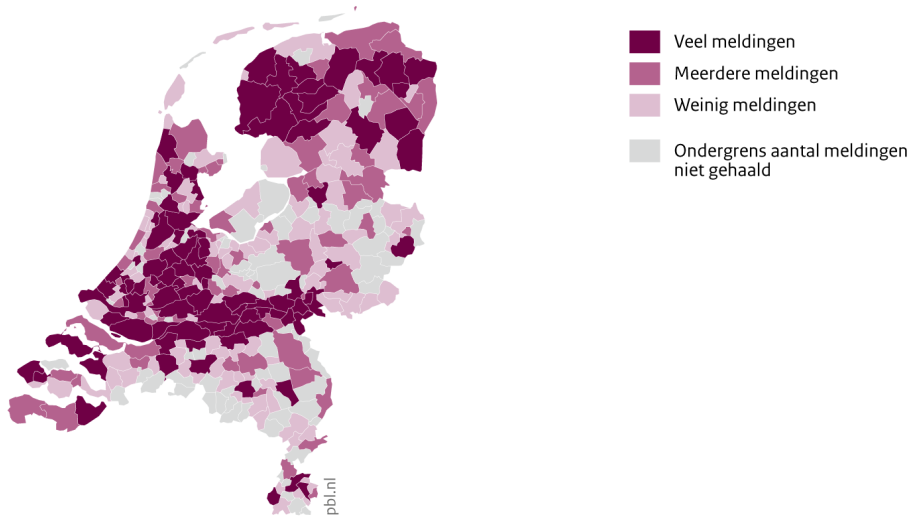
Woningen in West- en Noord-Nederland zijn het meest gevoelig voor schade door paalrot.

Bijdrage klimaatverandering tot nu toe niet dominant, maar wordt in de toekomst substantieel

Hoewel droogte in Nederland toeneemt, is klimaatverandering in de meeste situaties tot nu toe niet de primaire veroorzaker van funderingsschade (Rli 2024). Klimaatverandering zorgt er wel voor dat – zonder ingrijpen – meer woningen te maken gaan krijgen met schade en dat schade ook sneller optreedt. De verwachting is dat de bijdrage van klimaatverandering aan toekomstige schade wel substantieel wordt, als er niet wordt ingegrepen.

Figuur 5.9

Meldingen funderingsschade per gemeente bij het KCAF



Bron: Kenniscentrum Aanpak Funderingsproblematiek 2023

Vooraf in het rivierengebied, het Groene Hart en Friesland zijn er relatief veel meldingen van funderingsschade.

Nu vooral herstelmaatregelen, hoger grondwaterpeil als preventieve maatregel

Op nationaal niveau is er een gebrek aan informatie. Er is niet bekend hoeveel funderingen van bestaande gebouwen gevoelig zijn voor problemen, hoeveel er in het verleden al hersteld zijn, wat de huidige kwaliteit van funderingen is en hoe de problematiek zich zou kunnen ontwikkelen (Rli 2024). Schade door droogte aan woningen wordt tot op heden vooral reactief opgepakt, met herstelmaatregelen. In 2017 is het Fonds Duurzaam Funderingsherstel opgericht voor de financiering van noodzakelijk funderingsherstel. Uit deze pot van 100 miljoen euro kunnen gedupeerde woningeigenaren geld lenen. Ook bieden sommige gemeentes subsidies aan voor (gezamenlijk) funderingsonderzoek. De Rli heeft recent het advies gedaan om onder meer deze subsidies uit te breiden om eigenaren te helpen (Rli 2024). Dit mede het gegeven dat een aanzienlijk deel van woningen met ernstige problemen te vinden zijn in steden en wijken met lage inkomens (Grootbanken 2024)

Schade kan vermeden of beperkt worden door de kwetsbaarheid van de fundering te verminderen. Hierbij spelen onder andere materialen en bouwstijl een rol. Maar vooral een hoger grondwaterpeil kan een belangrijke bijdrage leveren aan het verlagen van de blootstelling van woningen. Het Rijk, provincies en waterschappen zijn hiernaar aan het kijken, in samenspraak met de agrarische sector en andere betrokken partijen (zie Tweede Kamerbrief 2022b).

5.4 Natuur en waterkwaliteit

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van WEnR (Henkens et al. 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

In het kort

Moelijk omkeerbare impact op biodiversiteit en ecosystemendiensten door droogte

Toenemende droogte heeft in de huidige situatie de grootste negatieve impact op de biodiversiteit, en daarmee ook op het halen van de doelen voor de VHR (Vogel- en habitatrictlijn) en de KRW (Kaderrichtlijn Water). Dit geldt vooral voor natuur op de hoge zandgronden, en voor de kleine wateren. Verdroging wordt versterkt door de toename van wateronttrekking in droge perioden ten behoeve van landbouw en drinkwater.

Het verlies aan biodiversiteit en aan ecosystemendiensten door klimaatverandering wordt ingeschat op impactklasse 'midden' (regionaal en/of moeilijk omkeerbare schade. Ook het risico op het niet halen van KRW- en VHR-doelen wordt als 'midden' ingeschat. Het bewijs hiervoor varieert van een beperkte tot een voldoende hoeveelheid informatie, afhankelijk van de soort; de consensus over het effect van klimaatverandering op natuur is groot. Er is onvoldoende kennis over de gevoeligheid en het herstel van grondwaterafhankelijke natuur in relatie tot droogte.

Voor de natuur in Nederland zijn er weinig mogelijkheden om aan blootstelling aan extreme droogte te ontkomen. De gevoeligheid voor droogte is afhankelijk van de soort en het ecosysteemtype. Vooral kleine wateren zoals vennen, poelen en beken kunnen relatief snel opdrogen.

Klimaatverandering is een extra drukfactor op natuur, naast verzuring, vermisting, verdroging, versnippering en vergiftiging. Het verminderen van deze drukfactoren is een effectieve klimaatadaptatie optie, waarmee de natuur minder gevoelig wordt voor droogte, maar zich ook sneller kan herstellen (tabel 5.3).

Tabel 5.3

Opties voor adaptatie voor natuur m.b.t. hitte, droogte en wateroverlast

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|--------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Blootstelling: niet | Natuur kan niet worden verplaatst | N.v.t. |
| Gevoeligheid: moeilijk | Robuustere natuur door verminderen andere drukfactoren | Rijk, regio, bedrijven en samenleving |
| Reactief en herstel: moeilijk | Herstelvermogen van natuur vergroten door verminderen andere drukfactoren | Rijk, regio en samenleving |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Droogte heeft nu al effect op vitaliteit en voorkomen van soorten

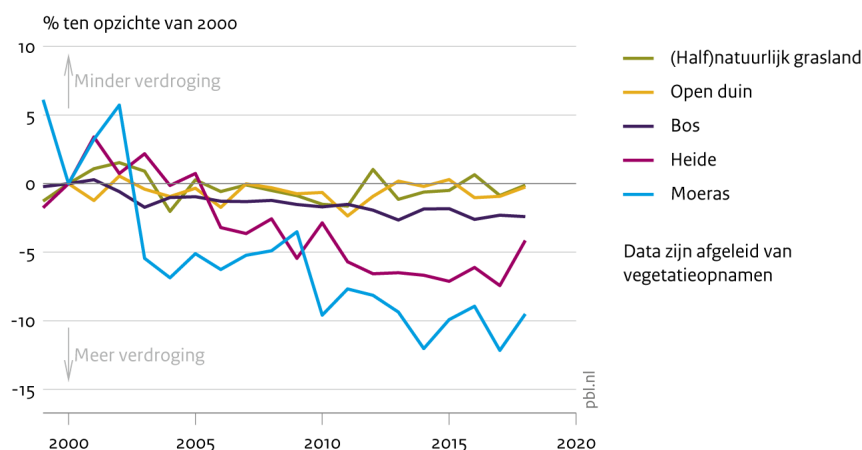
Tekort aan water heeft zeker op korte termijn een groter effect op natuur dan geleidelijke temperatuurstijging. Doordat droogte al frequenter en heftiger optreedt (zie hoofdstuk 2) doen zich nu al enkele effecten voor, waarvan eerder werd verwacht dat die pas in komende decennia zouden optreden.

Door klimaatverandering wordt het neerslagtekort groter en wordt grondwater onvoldoende aangevuld. Maar tekort aan water wordt ook door menselijk handelen veroorzaakt, doordat grondwater in toenemende mate gebruikt wordt voor de landbouw en drinkwaterwinning, en in

natte periodes water snel wordt afgevoerd. Het gevolg is dat in veel natuurgebieden de grondwaterstand laag is, waardoor deze gebieden te boek staan als verdroogd (zie figuur 5.10), en dat kleinere beken en stromen droogvallen. Voor vrijwel alle plant- en diersoorten vormt (toenemende) droogte een risico, met name voor soorten afhankelijk van natte omstandigheden (bijvoorbeeld veel vennen). Daarbij is vooral van belang wat er in het groeiseizoen gebeurt. De gevolgen hiervan voor de vitaliteit van de vegetatie en voorkomen van soorten zijn al zichtbaar, bijvoorbeeld in de droge zomers van 2018 en 2019. Overigens zijn er ook soorten die die door droogte toenemen (Witte et al. 2020). Deze verschuiving in soortenaantallen en samenstelling heeft consequenties voor de biodiversiteit en ecosysteemdiensten.

Figuur 5.10

Verandering van gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand



Bron: LMF (provincies, CBS)

Onder moeras, heide en bos is de grondwaterstand gedaald ten opzichte van 2000, als gevolg van grondwateronttrekking en droogte.

Droogte vermindert de haalbaarheid van 6% van de VHR-doelen

Uit de VHR-rapportage over de periode 2013-2018 (EEA 2022a, 2022b) blijkt dat ruim 6 procent van de VHR-doelen onder druk is komen te staan door de waargenomen temperatuurstijging. Het lijkt aannemelijk dat dit percentage in werkelijkheid hoger ligt, omdat de extreem droge jaren na 2018 niet in deze cijfers zijn meegenomen, terwijl bijna 64% van de VHR-doelen gevoelig is voor de droogte (zie paragraaf 3.3). Tegelijkertijd kan 2% van de VHR-doelen baat hebben bij droge periodes. Dit is met name het geval in droge duinen en zandverstuivingen (Witte et al. 2020, Henkens et al. 2024).

Droogte leidt ook tot slechtere waterkwaliteit

Tijdens droge perioden neemt het zoutgehalte in delen van het oppervlakte- en grondwater toe en nemen concentraties van verontreinigingen toe doordat deze minder verdund worden. Veranderingen in water aan- en afvoer (spuien, onttrekking, verdamping) leiden tot grotere verblijftijden, wat weer negatieve gevolgen kan hebben voor de waterkwaliteit en de ecologie, zeker in combinatie met hogere watertemperaturen. Door afspoeling van verontreinigingen kan de waterkwaliteit ook achteruitgaan door (piek)buien na een droge periode. Dit zet KRW-doelen nu al onder druk in verschillende wateren, met meer algenbloei, stratificatie van het water in meren (gelaagdheid en zuurstofarme omstandigheden in diepere waterlagen), en minder zuurstofbeschikbaarheid, met als gevolg sterfte van vissen en andere aquatische fauna.

Impact droogte en verdroging verschilt per regio en kent meerdere oorzaken

De bijdrage van klimaatverandering aan de effecten van droogte op de natuur verschilt regionaal en tussen ecosysteemttypen. Met name op de hoge zandgronden is de natuur sterk afhankelijk van neerslag, zoals veel heide en hoogveen. Voor de natuur in de grote zoete en zoute wateren en getijdegebieden is de invloed van droogte beperkter. De impact op terrestrische ecosystemen op klei is doorgaans beperkter, maar op veen veel groter.

In de grote wateren zijn de gevolgen van droogte sterk verbonden aan inrichting en beheer. De rivieren krijgen bij lage afvoer in toenemende mate het karakter van een meer, met algenbloei, uitputting van nutriënten en hoog zuurstofverbruik. In het IJsselmeergebied wordt in tijden van droogte bij verhoogde watervraag uit de omgeving een hoger waterpeil opgezet, zoals in de zomer van 2023 een extra waterschijf van 10 centimeter. Dit leidt tot langere verblijftijden en meer kans op stratificatie, algenbloei en zuurstofverbruik, en als gevolg daarvan meer kans op schade aan nieuw ontwikkelde natuur, zoals een negatief effect op het broedsucces van de kluut op Markerwadden.

Vooraf waterbeheer en -gebruik kunnen de veerkracht vergroten en impacts verminderen

Aanpassingen in het waterbeheer zoals water vasthouden en minder onttrekken, zijn de belangrijkste maatregelen om het effect van droogte op de natuur in Nederland te beperken. Daarnaast helpt ook hier het vergroten van de veerkracht van natuur: het laten meebewegen met veranderend klimaat door ruimte te creëren en gebieden te verbinden, en door het verkleinen van andere drukfactoren (vergelijkbaar met ‘het is warmer’, zie paragraaf 4.3).

5.5 Mobiliteit en infrastructuur

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van TNO (Verstraten et al. 2024) en Deltares (Deltares 2024), tenzij met een verwijzing anders aangegeven. In deze paragraaf gaan we alleen in op de risico's van droogte voor de binnenvaart.

In het kort

Beperkingen voor de binnenvaart in extreem droge jaren leiden tot verlies van meer dan €300 miljoen

Lange perioden van weinig neerslag, in combinatie met hoge verdamping in het (internationale) stroomgebied, leiden tot lage afvoeren van grote bevaarbare rivieren. Door klimaatverandering komen deze omstandigheden steeds vaker voor, met vooral beperkingen voor de binnenvaart tot gevolg. Het hoofdvaarwegennet is van economisch belang voor de logistieke keten.

Een extreem droog jaar zoals 2018, met een herhalingscyclus van ongeveer eens in de 30 jaar, kan in een negatieve financiële impact van ongeveer 300 miljoen euro resulteren door toenemende vervoerskosten en verminderde doorvoer, een economisch effect in de impactklasse ‘midden’ (€ 100 miljoen – 1 miljard). Echter kunnen de cascade-effecten een stuk hoger liggen voor de industrie die afhankelijk is van deze vaarwegen. In 2018 waren de totale financiële gevolgen in Nederland en Duitsland circa €2,8 miljard. Zowel de consensus als het bewijs hiervoor is hoog: de economische effecten zijn goed onderzocht en onderbouwd.

Schepen hebben verschillende diepteliggingen en verschillen daarmee ook in gevoeligheid voor lage afvoeren. Aanpassing aan lage afvoeren kan onder andere door een ander scheepsontwerp of door aanpassingen van de infrastructuur, maar beide kosten tijd en geld. Op kortere termijn helpt een goede informatievoorziening en anticiperend voorraadbeheer waardoor vervoerders kunnen in droge perioden de belading kunnen aanpassen of gebruik kunnen maken van alternatieve routes (tabel 5.4).

Tabel 5.4
Opties verminderen effecten droogte binnenvaart

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|--------------------------------------|---|--------------------|
| Blootstelling: <i>niet</i> | Beperkte mogelijkheden om lage afvoeren te voorkomen, afhankelijkheid van buitenland | N.v.t. |
| Gevoeligheid: <i>moeilijk</i> | Ander scheepsontwerp, ander voorraadmanagement, aanpassingen infrastructuur, kost wel tijd en geld | Rijk, Bedrijven |
| Reactief en herstel: <i>moeilijk</i> | Informatievoorziening, aanpassing van de belading, alternatieve vaarroutes, uitstel van transport, dit alles is maar beperkt mogelijk | Rijk, bedrijven |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Droge perioden resulteren in meerdere beperkingen voor de scheepvaart op binnenwateren

Het hoofdvaarwegnet is het meest kwetsbaar voor onvoldoende diepte in de vaarweg, onvoldoende waterbeschikbaarheid bij sluisen en beperkingen voor het landen en lossen van schepen (Deltares 2021a). Het vervoer over grote rivieren en andere binnenwateren is direct afhankelijk van het handhaven van acceptabele waterstanden. Door beperkte vaardieptes kan minder vracht worden vervoerd, waardoor het aantal vaarbewegingen toeneemt of een deel van de vracht achterblijft. Daarnaast kunnen door smallere vaarbreedtes inhaalverboden worden ingesteld en kunnen door grotere drukte vaker aanvaringen optreden. Bij sluisen kunnen wachttijden toenemen, omdat er zuiniger moet worden geschut. En er kunnen zich problemen voordoen met lossen en laden van vracht. Dit alles leidt tot een toename van de transportkosten in droge jaren (figuur 5.11).

Ook is het belangrijk om te kijken naar bodemerrosie in het rivierensysteem. De zanderige bodem van de Nederlandse rivieren is gevoelig voor erosie, veroorzaakt door hydromorfologische processen. Stromend water neemt sediment op bij de ene locatie en zet het elders af (depositie). Als er meer sediment uit het systeem wordt verwijderd dan er binnenkomt, ontstaat erosie en zal de rivier uiteindelijk dieper in de bodem snijden. Door deze erosie worden vaste onderdelen in de bodem, zoals kabels en leidingen, geleidelijk blootgelegd doordat er steeds minder bedekking is. Deze blootliggende obstakels kunnen belemmeringen vormen voor de scheepvaart. Bovendien zorgt bodemerrosie ervoor dat aanliggende kanalen en sluisen steeds minder goed aansluiten op de dieper wordende rivierbodem (RWS 2022). Alhoewel bodemerrosie geen direct effect is van klimaatverandering, verergert het de droogteproblemen en is het daarom een belangrijk aspect van het droogtevraagstuk.

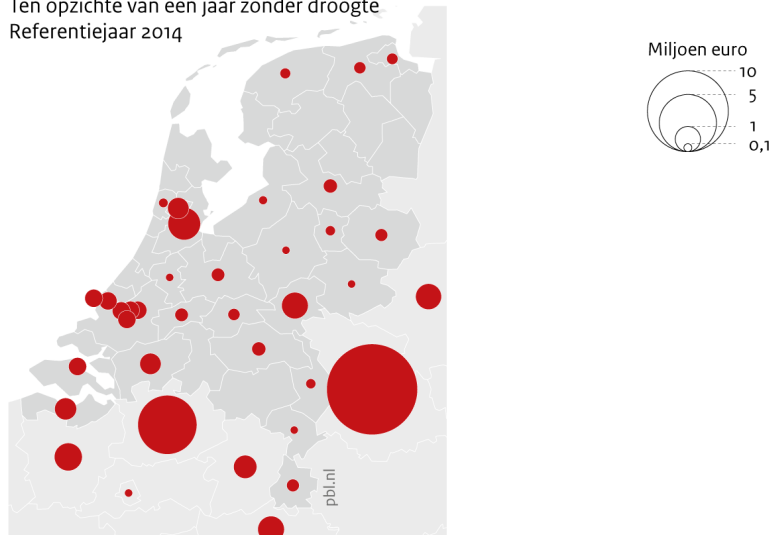
Er zijn internationale afspraken om het waterdieptecriterium (2,8 meter) niet meer dan 5% van het jaar te laten onderschrijden. In het huidige klimaat wordt dit criterium op enkele locaties niet gehaald. De Waal is de belangrijkste transportas van het vaarwegnetwerk. Op de Waal bij Nijmegen is de gevoeligheid voor ondiepte bij lage afvoer hoog door constructies (bodemkribben) op de

rivierbedding, die door bodemerosie relatief hoog zijn komen te liggen. Ook de gehele IJssel en het meest bovenstroomse traject van de Nederrijn zijn locaties die gevoelig zijn.

Figuur 5.11

Toename in transportkosten binnenvaart in een gemiddeld droog jaar

Ten opzichte van een jaar zonder droogte
Referentiejaar 2014



Bron: Deltares, 2021

Vooraf in het buitenland nemen de vaarkosten in een droog jaar toe (indeling naar NUTS3-regio's).

Economische impact van droogte voor vervoerders positief door hogere vervoersprijzen

In 2018 en 2022 was er sprake van beperking in de vervoerscapaciteit van de binnenvaartsector door droogte. Toch resulteerde dit in winst voor de binnenvaartsector, door een stijging van de vervoersprijzen. De verladers daarentegen leden verlies als hierboven beschreven, omdat grondstoffen voor de industrie niet meer aangeleverd konden worden en de productie in een aantal gevallen moest worden stilgelegd. Het eindresultaat was een negatieve financiële impact van ongeveer €2.8 miljard in Nederland en Duitsland.

Adaptatie op korte termijn is beperkt, structurele adaptatie nodig voor de lange termijn

Adaptatie op de korte termijn, zoals de aanpassing van de belading, alternatieve vaarroutes, uitstel van transport, andere vervoerswijzen en voorraadbeheer, zijn maar beperkt mogelijk. Tijdens drogere jaren kan het verminderen van de belading deels worden opgevangen door een toenemende ritfrequentie. Echter zit hier een limiet aan. Voor de Rijn ligt deze grens rond een debiet van ongeveer 1000 m³/s bij Lobith (Vinke et al. 2024), bij een lagere afvoer kan de afname in beladingsgraad van de schepen niet met een toename van het aantal ritten worden gecompenseerd en neemt de totale doorvoer over water af. Alternatieven voor de binnenvaartsector zijn er vaak niet ten tijde van laagwater. Het is niet mogelijk en niet gewenst om over te stappen op de weg of het spoor, vanwege de duurzaamheid, de beperkte capaciteit en/of de extra kosten. Verschuivingen naar weg en spoor kwamen in 2018 dan ook nauwelijks voor. Voor de langere termijn zullen meer structurele adaptatie maatregelen zoals scheepsontwerp, anticiperend voorraadbeheer en logistiek, en betere informatievoorziening nodig zijn om met vaker voorkomende periodes van laagwater om te gaan (IenW 2019). Tevens kunnen structurele maatregelen in de rivieren nodig zijn, zoals aanpassen van de baggerpraktijk.

5.6 Natuurbranden

Omdat de effecten van natuurbranden breed kunnen zijn, wordt dit onderwerp in deze paragraaf apart beschreven.

In het kort

Impact van natuurbranden nog beperkt, kans op onbeheersbare natuurbrand

De kans op een onbeheersbare natuurbrand in Nederland is vooral op brandgevoelige dagen aanwezig: droge dagen met een lage luchtvochtigheid van minder dan 50 procent. Bij droogtes die eens per jaar tot eens per 10 jaar optreden, komen dergelijke omstandigheden vaak voor. Natuurbranden kunnen schade veroorzaken aan natuur, zorgen voor economische schade aan bijvoorbeeld gebouwen en infrastructuur, en zijn een directe en indirecte (via luchtkwaliteit) bedreiging voor mensen. Roet en slechte luchtkwaliteit kunnen grote afstanden overbruggen. De gevolgen kunnen aanzienlijk zijn door de verwevenheid van functies, die ook steeds meer naar elkaar toe groeien (ANV 2022): de Nederlander woont en recreëert steeds meer in de natuur. Er is een kans dat een natuurbrand onbeheersbaar wordt, met aanzienlijke schade tot gevolg (ANV 2022).

In de huidige situatie is de frequentie en het getroffen areaal (nog) beperkt en worden de risico's van natuurbranden voor zowel de economie, de mens als ook de natuur nog ingeschat als impactklasse 'kleiner' (minder dan 10.000 getroffen mensen en/of 10 ernstig gewonden/doden, en minder dan € 100 miljoen schade). De totale kosten van natuurbranden (m.n. voor brandbestrijding en herstel schade) voor de periode 2017-2022 wordt geraamd op minimaal 16 miljoen euro (Stoof et al. 2024).

Blootstelling aan brandgevoelige omstandigheden kan in heel Nederland plaatsvinden, maar in drogere gebieden zoals de zandgronden is de kans op natuurbranden groter. Sommige vegetatietypen zijn brandgevoeliger dan andere: er zijn meer branden in heidevelden en andere open vegetatietypen dan in bossen. Ook de vegetatiestructuur, en abiotische en biotische factoren spelen hierin een rol.

Bij het reduceren van de blootstelling gaat het vooral om voorlichting en educatie, zodat mensen weten wat ze kunnen doen om ervoor te zorgen dat ze geen brand veroorzaken. De gevoeligheid kan vooral gereduceerd worden door beheers- en inrichtingsmaatregelen, zoals minder brandgevoelige soortensamenstelling, of meer compartimentering van het terrein (bijvoorbeeld met brandgangen) om de kans op snelle verspreiding te verkleinen. Verder is een goede voorbereiding en organisatie van de brandbeheersing en -bestrijding belangrijk om de gevolgen te beperken. Tenslotte speelt ook hier voorlichting een rol, om mensen te wijzen op wat ze moeten doen als er een brand is, en hoe ze de schade kunnen beperken (tabel 5.5).

Tabel 5.5
Opties adaptatie m.b.t. natuurbranden

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|---------------------------------|---|--------------------|
| Blootstelling: moeilijk | Natuur kan niet worden verplaatst, wel kan de ruimtelijke verwevenheid van functies worden verminderd | Rijk en regio |
| Gevoeligheid: wel | Minder brandgevoelige soortensamenstelling, aanleg brandgangen, aanpassing beheer (minder biomassa) | Regio, samenleving |
| Reactief en herstel: wel | Plannen en goede voorbereiding bestrijding | Regio, samenleving |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Jaarlijks gemiddeld honderden natuurbranden, brandgevoelige dagen nemen toe

Jaarlijks komen gemiddeld rond 600 natuurbranden voor in Nederland, met name in het voorjaar en in droge zomers (Stoof et al 2024, WUR 2023), als de luchtvochtigheid laag is, het sterk waait en de vegetatie droog is. De variatie in het voorkomen van natuurbranden tussen de jaren is groot. Het hoogste aantal in de afgelopen 80 jaar was in 2022 met 918 natuurbranden (Stoof et al. 2024). De meeste natuurbranden worden in een vroegtijdig stadium gesignaleerd en bestreden, met beperkte gevolgen. In 2020 woedde in Nederland de grootste natuurbrand in de (moderne) geschiedenis: de brand in de Deurnese Peel bereikte een omvang van ruim 700 hectare.

De kans op een onbeheersbare natuurbrand in Nederland is vooral aanwezig op brandgevoelige dagen: droge dagen met een luchtvochtigheid van minder dan 50 procent. Onder dergelijke omstandigheden kan ook de uitbreiding van een brand sneller en intenser verlopen. Het aantal brandgevoelige dagen is in de periode 1950 – 2020 verdubbeld. Van de afgelopen zeven zomers, waren er vier uitzonderlijk droog (2018, 2019, 2020 en 2022); 2022 kende een recordaantal van 127 brandgevoelige dagen. Toch worden de risico's van natuurbranden in de huidige situatie nog klein ingeschat. De impacts voor de economie, de mens en natuur zijn (nog) beperkt.

De meeste natuurbranden in Nederland komen voor in de zandgebieden

Behalve in natuurgebieden komen natuurbranden ook voor op akkers, in bermen, in parken en groene woonwijken. Sommige vegetatietypen en vegetatiestructuren zorgen voor een snellere verspreiding dan andere. Zo komen er meer branden voor in heide en ander open landschap dan in bossen, en is een loofbos koeler en vochtiger dan een naaldbos, waardoor loofbos brandbestendiger is (WUR 2023). De aanwezigheid van een strooisel laag of uitgedroogd veen vergroot vaak de duur van het incident, doordat de brand nog lang ondergronds door blijft smeulen. Juist smeulbranden zorgen over het algemeen voor langdurige rookontwikkeling en overlast. De zandgebieden zijn het meest gevoelig voor natuurbranden: het zuidoosten van Nederland, de Veluwe, de Utrechtse Heuvelrug en het duingebied langs de kust (zie figuur 5.12).

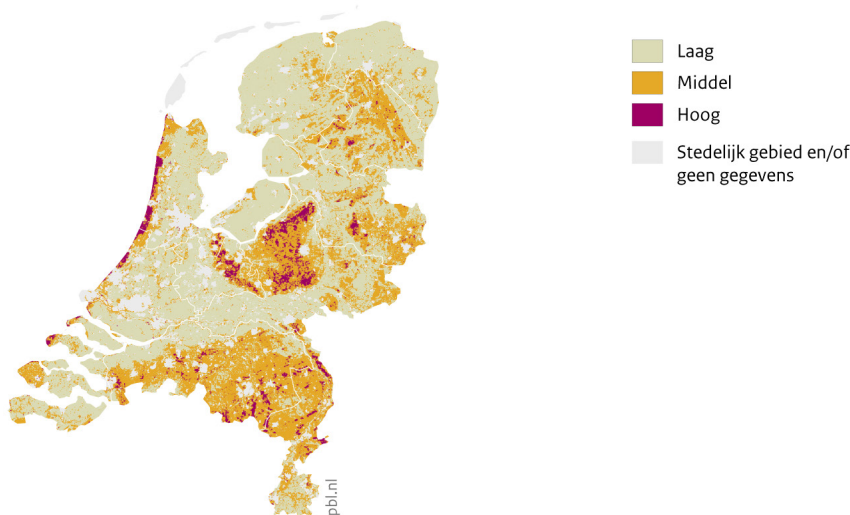
Verwevenheid van functies vergroot de impact, met risico op onbeheersbare natuurbranden

Op dit moment wordt de impact van natuurbranden op mensen, leefomgeving en economie niet gemonitord, en is dataverzameling nog niet geborgd. In Nederland is sprake van een grote verwevenheid tussen natuur en wonen, werken en recreatie. Een natuurbrand kan daardoor een grote impact hebben op de omgeving en ver daarbuiten (onder andere impact via roet en luchtvervuiling op gezondheid). De ligging van campings, zorgcentra en woonwijken in het groen en de aanwezigheid van veel recreanten in natuurgebieden maken deze gebieden kwetsbaar.

Bovendien is de maatschappelijke impact groot wanneer er sprake is van langdurige rookoverlast, van dreiging voor gebouwen of personen of van een (grootschalige) evacuatie.

Figuur 5.12

Natuurbrandgevoeligheid



Bron: Klimaateffectatlas

De zandgebieden zijn het meest gevoelig voor natuurbranden.

Wanneer de frequentie en ernst van natuurbranden als gevolg van klimaatverandering groter wordt, neemt de kans op ernstige effecten ook toe. De potentiële gevolgen zijn vooral groot bij het gelijktijdig ontstaan van meerdere (onbeheersbare) natuurbranden, wat niet ondenkbaar is omdat brandgevoelige dagen veelal in grote delen van Nederland voorkomen. De kwetsbaarheid wordt verder vergroot door ruimtelijke en maatschappelijke ontwikkelingen, zoals plannen voor meer bos in Nederland, en meer recreatie. Daarnaast worden er nauwelijks beheersmaatregelen genomen om het risico op onbeheersbare natuurbranden te verkleinen (ANV 2022). Daarom classificeert het Analisten Netwerk Veiligheid (ANV) de kans op onbeheersbare natuurbranden met ernstige gevolgen voor mens, economie en omgeving als zeer groot. Ook al zijn natuurbranden met dergelijke gevolgen tot op heden niet opgetreden, de afgelopen jaren zijn er meerdere voorbeelden geweest waarbij het net is goed gegaan, omdat bijvoorbeeld het weer omsloeg en de brand gedoofd werd, of omdat de brandweer in de buurt was (ANV 2022). En de (indirecte) maatschappelijke impacts van sommige natuurbranden waren aanzienlijk, door benodigde grootschalige evacuaties (van campings zoals bij de Loonse en Drunense Duinen in 1996 en Wedde in 2018, en van dorpen zoals Bergen aan Zee in 2010 en Herkenbosch 2020) en verstoringen van wegennet (Stoof et al. 2024).

Proactief rekening houden met natuurbranden in beheer- en bouwplannen

De aanpak om onbeheersbare natuurbranden te voorkomen is nu vooral gericht op de bestrijding ervan. Als gevolg van klimaatverandering worden branden steeds lastiger te bestrijden en wordt bovendien de tijd steeds korter die de brandweer en terreinbeheerders hebben om een brand te beheersen. Bovendien wordt de kans groter dat natuurbranden vaker, grootschaliger en tegelijkertijd op gaan treden. Zowel in de proactieve als in preventieve fase liggen er mogelijkheden om risico's op (onbeheersbare) natuurbranden te verlagen. Bijvoorbeeld door bij het opstellen en uitvoeren van bouwplannen (inclusief inrichting van woonwijken en publiek groen) en

natuurbeheerplannen (bijvoorbeeld bij soortenkeuze, compartimentering, watermanagement) rekening te houden met het natuurbrandrisico. Veel van die maatregelen hebben bovendien ook positieve meekoppelkansen voor waterbeheer en biodiversiteit. Verder is een goede voorbereiding en organisatie van de brandbeheersing en -bestrijding belangrijk om de gevolgen te beperken. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om het verbeteren van de toegankelijkheid van gebieden voor brandweerauto's, het verbeteren van bluswatervoorzieningen, en kennisontwikkeling rond natuurbranden en het blussen ervan (WUR 2023). Tenslotte speelt ook hier voorlichting een rol om mensen te wijzen op wat ze moeten doen als er een brand is, en hoe schade kunnen beperken.

5.7 Landbouw

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van WEnR (van Klaveren et al. 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

In het kort

Droogte leidt tot economische schade in de akker- en tuinbouw

Grondgebonden landbouw in Nederland, zoals akker- en tuinbouw, is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden en de daarmee gepaard gaande beschikbaarheid van water. Droogte en hitte kunnen samengaan en elkaar versterken, waardoor de waterbeschikbaarheid verder afneemt. Droogte leidt tot een afname van de opbrengst van gewassen. Opbrengstderving betekent niet direct economische schade, omdat marktprijzen voor producten kunnen stijgen tijdens droge perioden. Keerzijde is wel dat de consument mogelijk meer moet betalen. Grootschalige inzet van beregening in de akker- en tuinbouw om droogteschade te beperken brengt extra kosten en werk voor boeren met zich mee. Langdurige droogte kan leiden tot financiële stress en zorgen over de toekomst bij boeren. Inzet van beregening draagt ook bij aan de waterschaarste voor andere sectoren, zoals de natuur (zie paragraaf 5.4).

Bij droogtes die eens per jaar tot eens per 10 jaar optreden, is de economische impact relatief beperkt, impactklasse 'kleiner' (<100 miljoen) voor de akker- en tuinbouw, vanwege de dempende werking van hogere marktprijzen. Voor extreme droogtes die eens in de 30 jaar optreden, zoals in 2018, is de economische impact 'midden' (100 miljoen – 1 miljard) voor de akkerbouw en valt in klasse 'kleiner' (< 100 miljoen) voor de vollegrondstuinbouw. Bij tuinbouw zijn er meer mogelijkheden voor beregening, al kan droogteschade met name voor individuele ondernemers in de kleinschalige tuinbouw een grote kostenpost zijn.

De betrouwbaarheid van deze inschattingen is laag tot midden. Er is consensus dat klimaatverandering een duidelijke rol speelt in het optreden van droge periodes, maar beperkt bewijs met betrekking tot de invloed van factoren zoals bodemkwaliteit, mate van beregening, watervraag vanuit andere sectoren en variërende marktprijzen.

Hoge zandgronden met goede waterdrainage ondervinden een hoge blootstelling aan droogte. In delen van Zeeland zijn de mogelijkheden voor beregening beperkt door verzilting en beperkte zoetwateraanvoer van elders. Onder boeren is er een sterkte perceptie van droogte, wat aanzet tot actie om droogteschade zoveel mogelijk te beperken. De gevoeligheid voor droogte verschilt sterk per gewas.

Adaptatie via beregening gebeurt door de boeren zelf, zolang de waterbeschikbaarheid toereikend is en er geen beregeningsverboden gelden. Minder toegepaste opties voor adaptatie zijn het gebruik van minder droogtegevoelige en meer gevarieerde gewassen en teeltsystemen, de aanleg van waterbergingen en het verbeteren van de bodemkwaliteit (tabel 5.6).

Tabel 5.6
Opties verminderen effecten droogte op landbouw

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|---------------------------------|---|--------------------------|
| Blootstelling: moeilijk | Verplaatsen landbouw naar locaties met minder kans op droogte, verzilting etc. | Rijk, regio en bedrijven |
| Gevoeligheid: wel | Andere gewassen, beter aangepast aan omstandigheden, ander bodembeheer en watermanagement | Regio en bedrijven |
| Reactief en herstel: wel | Beregening, maar zitten grenzen aan en leidt tot risico's voor andere functies | Rijk, regio en bedrijven |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Opbrengstderving in akkerbouw en tuinbouw verschilt per gewas en regio

De duur, intensiteit en het moment van droogte in het groeiseizoen zijn bepalend voor de omvang van de opbrengstderving. Zo kan droogte in het voorjaar ervoor zorgen dat gewassen, zoals aardappels, niet goed ontwikkelen en daardoor niet hun potentiële opbrengst halen (Dogterom et al. 2019). Gewassen met een beperkt wortelstelsel, zoals zaaiuien, zijn ook kwetsbaar voor droogte later in het groeiseizoen.

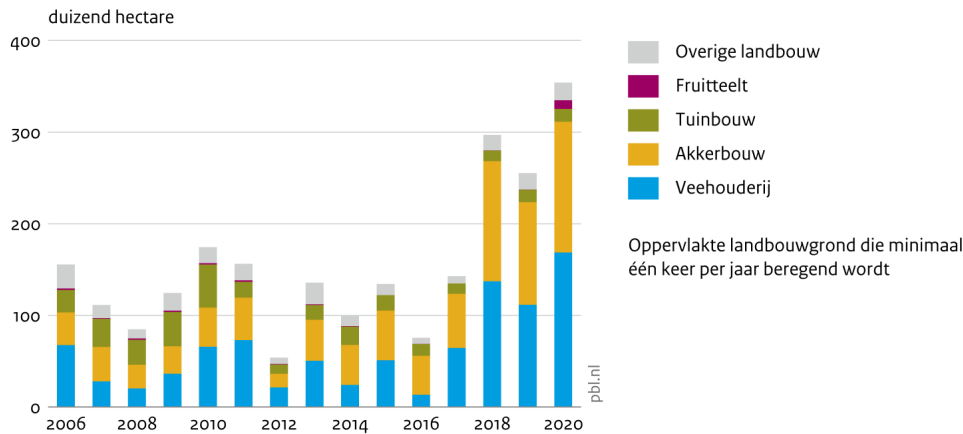
De droogte van 2018 leidde tot grote schade bij landbouwgewassen en had van alle weersverschijnselen de grootste impact op de Nederlandse oogst in de afgelopen 27 jaar. Met name de opbrengsten van aardappel, ui en mais lijdten onder droge omstandigheden. Gemiddelde opbrengsten van vele gewassen lagen in de droge jaren (2003, 2006, 2018, 2019) lager dan in omliggende jaren: -15% voor zetmeelaardappel, -15% voor zaaiui en -10% voor snijmais. Op bedrijfsniveau lag de opbrengstdaling door droogte tussen 3 % en 15 %. Droogte leidde ook tot opbrengstderving in de tuinbouw: in de vollegrondsgroenteteelt varieerde de opbrengstderving in 2018 tussen de 5 % en 20%, de oogst in de fruitteelt was in datzelfde jaar 5% lager. Gewassen geteeld op de zandgronden ondervinden meer opbrengstderving dan op kleigrond vanwege minder gunstige bodemeigenschappen, waaronder minder watervasthoudend vermogen, snellere waterdrainage en dus beperktere mogelijkheden voor beregening.

Droogteschade wordt op korte termijn beperkt door beregenen

Boeren proberen droogteschade zo veel mogelijk te beperken door te beregenen. Beregening is in een groot aantal akkerbouwgebieden drastisch toegenomen. In Nederland kan op ongeveer 70% van het areaal worden beregend, daarbuiten is onvoldoende zoetwater beschikbaar. Beregening vindt in Nederland op grote schaal plaats bij de teelt van de meeste gewassen, in het bijzonder bij de boom- en fruitteelt, vollegrondstuinbouw, aardappelen en bij melkveebedrijven (grasland) op de hoge zandgronden. Vooral in de akkerbouw en veeteelt is het beregende areaal sterk toegenomen in de afgelopen droge jaren van 2018 en 2019 (zie figuur 5.13). Bij het besluit om te beregenen spelen naast het beperken van opbrengstverlies, graszodebehoud en bedrijfszekerheid, ook subjectieve aspecten mee zoals de aanblik van verdord gras, of het feit dat de buurman ook beregent (STOWA 1/3/2024).

In Nederland wordt het merendeel (ongeveer 65 % tot 85%) van het beregeningswater onttrokken uit het grondwater (Hoogeveen et al. 2003, Van der Meer 2020), de rest uit oppervlaktewater. Op de hoge zandgronden vindt de meeste beregening vanuit grondwater plaats, met een klein deel oppervlaktewater uit de grotere beken en waterlopen in wateraanvoergebieden. In Laag-Nederland vindt voornamelijk beregening vanuit oppervlaktewater plaats, omdat daar aanvoer van water mogelijk is en grondwater vaak brak tot zout is.

Figuur 5.13
Beregende oppervlakte landbouwgrond



Bron: Deltaprogramma Signaalportaal 2023

Oppervlakte landbouwgrond dat minimaal één keer per jaar beregend wordt per 1000 hectare, voor vijf verschillende sectoren: veehouderij, tuinbouw, akkerbouw, fruitteelt en overige landbouw (periode 2006-2020).

De droogte in 2018, 2019 en 2020 leidde tot een verdriedubbeling van het totale watergebruik van de land- en tuinbouwsector in Nederland, wat extra kosten met zich meebracht (gemiddeld € 2.705 euro per akkerbouwbedrijf in 2018, 2019). Extra gevoelig voor opbrengstderving zijn bedrijven die niet kunnen beregenen vanwege hoge (investerings)kosten of beperkte zoetwaterbeschikbaarheid. Bedrijven met kapitaalintensieve gewassen, bijvoorbeeld in de tuinbouw en fruitteelt, kunnen over het algemeen meer investeren in installaties voor druppelirrigatie, terwijl dit in de akkerbouw vaak niet kosteneffectief is en meer wordt gewerkt met haspels. In de fruitteelt zijn al vaak beregeningsinstallaties voor nachtvorstbestrijding aanwezig. Soms zijn deze kapitaalintensieve teelten ook uitgesloten van beregeningsverboden.

Grenzen aan beschikbaarheid beregeningswater

Er zijn echter wel grenzen aan adaptatie door beregening, met name vanwege de waterbeschikbaarheid. Door droogte en een tekort aan voldoende zoetwater zijn beregeningsverboden van kracht geweest in verschillende delen van Nederland, bijvoorbeeld in 2018. Zo wordt in het zuidoostelijke zand- en lössgebied sinds 2018 bijna elk jaar een beregeningsverbod ingesteld door de waterschappen, en ook regelmatig in de veenkoloniën en het zuidwestelijk akkerbouwgebied (Rabobank 2023). Zeeland is kwetsbaar, omdat er veel kapitaalintensieve gewassen worden geteeld onder toenemende verzilting en met beperkte beschikbaarheid van zoetwater.

Er kan soms in sommige gebieden niet geïrrigeerd worden, vanwege verboden door de nabijheid van kwetsbare natuur of ziektes. In bijvoorbeeld pootaardappelen en tomaat is er sprake van kans op een besmetting met bruinrot (NVWA 27/02/2024). Soms is het water van onvoldoende kwaliteit (verzilt) of is er geen of onvoldoende oppervlaktewater beschikbaar. Beregening in verziltingsgevoelige gebieden draagt daarnaast bij aan het risico op meer verzilt. Dit kan op de langere termijn leiden tot een lock-in, wanneer de zoutintrusie het beregenen van gewassen geheel onmogelijk maakt. Daarnaast wordt in de praktijk gezocht naar droogteresistente gewassen die minder zoetwater nodig hebben voor een optimale groei (Nieuwe Oogst 2023), naar gewassen die bij een hoger zoutgehalte kunnen groeien (Zhao et al. 2022), en naar de mogelijkheid om met weersverzekeringen de kwetsbaarheid van agrariërs voor weersextremen te verminderen. Voor de langere termijn wordt gekeken naar mogelijkheden om waterberging op bedrijfsniveau of lokale schaal te vergroten, en wordt ingezet op verbetering van de bodemkwaliteit om het watervasthoudend vermogen te vergroten.

Opbrengstderving leidt niet altijd tot financiële schade voor boeren, door hogere prijzen voor producten

Opbrengstderving leidt niet altijd tot financiële schade voor boeren. Droogte heeft ook invloed op de prijzen van akkerbouw- en tuinbouwproducten. Zo hebben droge jaren goede marktprijzen opgeleverd voor de consumptieaardappel (+45%), zaaiui (+106%) en pootaardappel (+22%). Daarmee waren de inkomenseffecten voor akkerbouwbedrijven in droge jaren in de meeste regio's positief. Ook in de fruitteelt is de lagere oogst van 2018 gecompenseerd door hogere productprijzen. Als ook de omliggende landen worden getroffen door droogte en hitte, daalt het aanbod en is er in de fruitteelt gemiddeld een verdubbeling van het inkomen van de teler. De relatief hoge zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland vergeleken met buurlanden, geeft meer mogelijkheden voor beregening, waardoor Nederland over het algemeen meer kan blijven leveren, en het inkomen van de boer stijgt.

Combinatie van factoren bepaalt de omvang van droogteschade in de akker- en tuinbouw

Droogteschade in de akker- en tuinbouw is niet alleen afhankelijk van klimaatfactoren als temperatuur, neerslag en verdamping (neerslagtekort), maar ook van de waterbeschikbaarheid en van de watervraag vanuit andere sectoren. Klimaatverandering speelt duidelijk een rol in het optreden van droge perioden, met opbrengstderving tot gevolg. Tegelijkertijd is de omvang van de opbrengstderving vanwege adaptatie via beregening en de economische schade vanwege variërende marktprijzen lastig vast te stellen.

5.8 Drinkwatervoorziening

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van KWR (KWR 2023a,b), tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

In het kort

Nog geen beperkingen in de drinkwatervoorziening, wel schade aan natuur en landbouw

Drinkwaterbedrijven winnen 60% uit grondwater en 40% uit oppervlaktewater. Omdat voor drinkwater een leveringsplicht geldt, heeft droogte nog niet geleid tot beperking van de drinkwatervoorziening, maar wel tot grotere schade aan natuur en landbouw. Het risico van droogte voor de drinkwatervoorziening wordt toch als aanzienlijk beschouwd, omdat grootschalige

nieuwbouw dreigt te stagneren in de provincies Utrecht en Zuid-Holland door tekort aan drinkwater. Dit is vooral het gevolg van een algeheel tekort aan vergunningsruimte voor drinkwatervoorziening. Deze vergunningsruimte is beperkt door effecten van drinkwaterwinning op de omgeving, vooral op natuur.

Tijdens droge perioden worden extra kosten gemaakt, maar deze vallen tot nu toe onder impactklasse kleiner (< 100 miljoen euro), uitgaande van droogtes die eens per jaar tot eens per 10 jaar voorkomen. Dit komt ook omdat drinkwaterbedrijven al maatregelen getroffen hebben om de effecten van klimaatverandering te ondervangen o.a. door het realiseren van grotere waterbuffers. Er is consensus onder experts over de effecten van droogte op drinkwaterwinning, maar de precieze omvang van de extra kosten die moeten worden gemaakt is onbekend, evenals de impact van (extra) drinkwaterwinning op natuur en landbouw.

Oppervlaktewater- en infiltratiewinningen worden rechtstreeks blootgesteld aan klimaatverandering door de veranderingen in rivierafvoeren. De blootstelling van grondwaterwinningen wordt bepaald door de omgeving van de winning (hydrologische karakteristieken, landgebruik etc.) en van eventuele maatregelen in de omgeving om meer water langer vast te houden. Met name het landgebruik speelt een belangrijke rol: welke functies liggen in de omgeving en hoe gevoelig zijn die voor droogte. Dit betreft vooral natuur, maar ook bebouwing en landbouw. De diepte van de winning en de regionale bodemopbouw bepalen hoe gevoelig een grondwaterwinning is voor droogte.

Adaptatie kan plaatsvinden door water in de omgeving vast te houden (voorraadvorming), het grondwater actief aan te vullen, diversificatie van bronnen en vermindering van het drinkwatergebruik. Dat zijn ingrijpende maatregelen die deels buiten de invloedssfeer van drinkwaterbedrijven liggen.

Grondwaterwinningen worden minder gevoelig bij vernatting d.w.z. water langer vasthouden door het peilbeheer aan te passen, en door het verminderen van andere onttrekkingen in de omgeving (tabel 5.7).

Tabel 5.7
Opties voor verminderen effecten droogte op drinkwatervoorziening

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|---------------------------------|---|---------------------------------------|
| Blootstelling: moeilijk | Verplaatsen winningen naar locaties met minder kans op droogte | Rijk, regio en bedrijven |
| Gevoeligheid: moeilijk | Diepere grondwaterwinning, verminderen andere onttrekkingen, verkleinen drinkwatervraag | Rijk, regio en bedrijven |
| Reactief en herstel: wel | Verminderen (ontmoedigen/verbieden) watergebruik tijdens droogte, gebiedsvreemd water inlaten | Rijk, regio, bedrijven en samenleving |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Drinkwatervoorziening vanuit grondwater onder druk in periode van langdurige droogte

Tijdens de droogtes van 2018, 2019, 2020 en 2022 stond de drinkwatervoorziening onder druk. Het drinkwaterverbruik in Nederland is sinds 2015 gestegen, onder andere door economische groei en bevolkingsgroei. Tijdens warme, droge zomerperiodes nam de drinkwatervraag extra toe, met piekvragen in 2018 en 2020. In vergunde onttrekkingsvolumes wordt klimaatverandering niet altijd

meegenomen bovenop andere piekfactoren. Omdat drinkwaterbedrijven een wettelijke leveringsplicht hebben, worden in droge jaren vergunningen voor grondwateronttrekkingen overschreden, met schade voor landbouw en natuur tot gevolg. Via schaderegelingen compenseren drinkwaterbedrijven de droogteschade bij landbouwers (zie ook paragraaf 5.7). Voor natuur hebben deze onttrekkingen bijgedragen aan verdergaande verdroging. In grote delen van Nederland is al tientallen jaren sprake van verdroogde natuur (paragraaf 5.4).

Nog geen beperking drinkwatervoorziening door lage rivierafvoeren

In perioden met lage rivierafvoeren verslechtert de waterkwaliteit door minder verdunning van lozingen en een toename van de watertemperatuur. Ook neemt de verzilting in rivieren toe door minder verdunning, via sluizen en door het binnendringen van zeewater in de Rijn-Maas monding. Drinkwaterinnamepunten dicht bij de zee zijn hier gevoelig voor. De combinatie van lage afvoeren en slechte waterkwaliteit kan aanleiding zijn voor een tijdelijke staking van waterinname voor de drinkwatervoorziening. Dit is vooralsnog alleen voorgekomen in regionaal gevoede oppervlaktewatersystemen zoals de Drentsche Aa (Leerdam et al. 2023). In de huidige situatie worden de meeste innamestops veroorzaakt door calamiteiten die geen relatie hebben met lage afvoeren. De kans op calamiteiten die kunnen leiden tot innamebeperkingen neemt echter wel toe door de lage afvoeren. In de verdringingsreeks die de prioritering van watervoorziening in droge perioden bepaalt (zie 3.1), staat drinkwater samen met de energievoorziening in de tweede categorie, na veiligheid en het voorkómen van onomkeerbare schade aan natuur.

Droogte leidt tot hogere kosten waterwinning

lage afvoeren leiden tot aanpassingen in de bedrijfsvoering van de drinkwaterbedrijven. In 2018 waren de resulterende kosten voor reparaties, inzet personele capaciteit en uitstel van activiteiten (bij bijvoorbeeld aannemers) enkele miljoenen euro's. Ook waren er kosten voor het gereedhouden van noodmaatregelen voor drinkwaterinname bij Andijk.

De kosten om drinkwater te winnen nemen toe bij lagere grondwaterstanden, aangezien het grondwater verder omhoog gepompt moet worden, en (ondiepe) putten verder afgepompt moeten worden om dezelfde productie te kunnen leveren. Daarnaast zijn grotere installaties nodig om aan de piekvraag te kunnen voldoen, wat kosten met zich meebrengt. Een verslechtering van de waterkwaliteit kan leiden tot extra kosten voor een verdergaande zuivering.

Nu en op korte termijn tekort aan reservecapaciteit

Een toenemende drinkwatervraag kunnen drinkwaterbedrijven op korte termijn opvangen met een operationele reservecapaciteit, maar soms zijn er nu al niet genoeg reserves direct beschikbaar. Dat is bijvoorbeeld zo in de provincies Gelderland, Overijssel, Groningen, Utrecht en in het westelijk deel van Zuid-Holland. Hierdoor kunnen problemen ontstaan bij een onverwacht grotere vraag naar drinkwater, maar ook de drinkwatervoorziening voor grootschalige nieuwbouw is hier niet toereikend. In andere provincies hebben drinkwaterbedrijven al binnen enkele jaren extra bronnen voor drinkwater nodig om in 2030 of eerder aan de vraag te kunnen blijven voldoen (figuur 5.14).

Zekerstellen drinkwatervoorziening ook afhankelijk van andere partijen

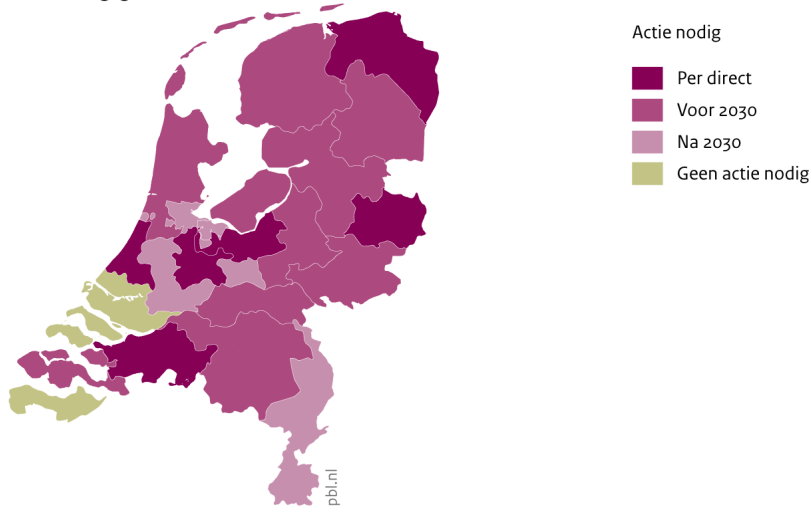
Om te voldoen aan de toenemende watervraag zijn drinkwaterbedrijven bezig met een robuustere drinkwatervoorziening. Voor veel grote ingrepen, zoals het ontwikkelen van nieuwe winningen, het uitbreiden van winningen en betere bescherming van bestaande bronnen, zijn drinkwaterbedrijven afhankelijk van andere partijen in een gebied: gemeenten, provincies, waterschappen,

landbouworganisaties, gebiedsbeheerders en natuurorganisaties. Daarnaast neemt de druk op het grondwater steeds meer toe, waardoor het uitbreiden van winningen steeds lastiger is.

Figuur 5.14

Bedreiging van de zekerstelling van de drinkwatervoorziening

Per leveringsgebied



Bron: Vewin 2022

In verschillende leveringsgebieden zijn nu en op korte termijn acties nodig om tekorten te adresseren. De redenen voor de tekorten lopen uiteen.

6 Het is natter: belangrijke risico's in detail

6.1 Inleiding

De afgelopen eeuw is de jaarlijkse neerslag in Nederland met ongeveer 20% toegenomen en ook de intensiteit van de neerslag is sterk toegenomen in de tijd (zie paragraaf 2.1). Dit heeft effect op natuur, landbouw, gebouwde omgeving en infrastructuur, en leidt tot grotere kans op wateroverlast en overstromingen.

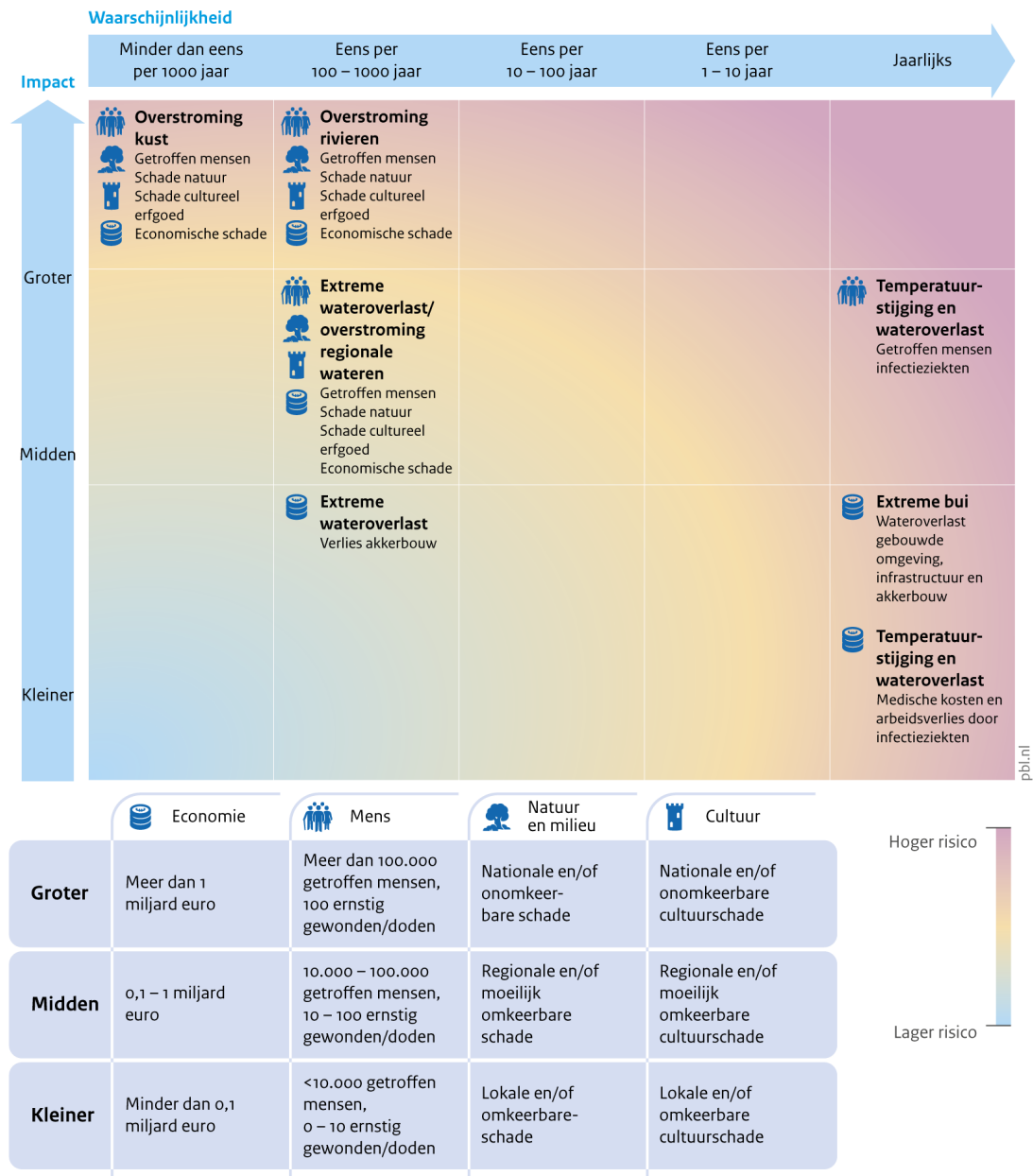
Risico's natter klimaat: kans op overstroming is zeer klein, kans op wateroverlast is groter, met bijbehorende schade

Sinds het begin van de 20^e eeuw is de jaarlijkse neerslag in Nederland met circa 20% toegenomen, vooral in de winter. Dat kan leiden tot wateroverlast en overstromingen (figuur 6.1). Regionaal en lokaal kunnen overstromingen en wateroverlast ontstaan door het doorbreken of overstromen van keringen van de kleinere regionale wateren, door het onderlopen van land rond regionale wateren zonder keringen, of door lokale extreme regen. Vooral een overstroming of wateroverlast vanuit het regionale watersysteem kan resulteren in grote schade: voor de gebeurtenissen van de zomer van 2021 in Limburg was dit naar schatting €433 miljoen. Wateroverlast door lokale extreme neerslag komt vaker voor, maar leidt minder tot schade. In de land- en tuinbouw leidt extreme neerslag tot opbrengstderving, maar de precieze impact kent veel onzekerheden, en is afhankelijk van onder andere het moment van optreden en de bodemeigenschappen. Op het wegennet leidt wateroverlast tot verlies aan veiligheid, hinder voor mens en bedrijfsleven door afgenomen mobiliteit en toename van aanleg- en onderhoudskosten, maar het is onbekend hoe groot deze impact is.

Bovenregionaal kunnen overstromingen ontstaan door het doorbreken of overstromen van keringen van het hoofdwatersysteem. De potentiële impact (schade en slachtoffers) van overstromingen is zeer groot, maar door prioritering en structurele en substantiële investeringen is de kans erop zeer klein. Wel geldt hierbij de kanttekening dat een groot deel van de waterkeringen langs de grote rivieren, het IJsselmeer en de Zeeuwse delta op dit moment niet aan de norm voldoet en het overstromingsrisico dus groter is dan in het beleid wordt beoogd.

Figuur 6.1

Natter: Klimatrisico's naar omvang



Bron: PBL

Overzicht van huidige klimatrisico's als gevolg van de toename van (extreme) neerslag in de geanalyseerde sectoren, ingeschat naar waarschijnlijkheid en grootte van de impact voor mens en cultuur, natuur en milieu en economie in Nederland.

6.2 Waterveiligheid hoofdwatersysteem

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van Deltares (Deltares 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

In het kort

Overstromingen raken meerdere sectoren; grote potentiële impact, kleine kans

Waterveiligheid raakt meerdere sectoren, waaronder gebouwde omgeving, landbouw, infrastructuur en cultureel erfgoed. Gezien de structurele organisatie van waterveiligheid, met als basis een stelsel van risiconormen voor zowel het hoofd- als het regionale watersysteem (tabel 3.2), wordt het hier toch apart beschreven. Deze paragraaf gaat over potentieel levensbedreigende overstromingen vanuit het hoofdwatersysteem, voor overstromingen vanuit het regionale systeem zie gebouwde omgeving, paragraaf 6.3).

De potentiële impact (schade en slachtoffers) van het overstromingsrisico vanuit zee, grote rivieren en meren is van impactklasse groter (> 100.000 getroffen mensen, > 100 ernstig gewonden/doden). Door prioritering en structurele en substantiële investeringen in en langs het hoofdwatersysteem is de kans op een overstroming klein: eens in de 100-1000 jaar voor overstroming vanuit rivieren, meren en de Zeeuwse getijdewateren, minder dan eens per 1000 jaar vanuit de zee voor het overgrote deel van de kustlijn (inschatting op basis van ILT 2023). Onderbouwing van de overstromingskans berust op modelberekeningen.

Ruim 8 miljoen mensen wonen in gebied dat potentieel blootgesteld is aan overstromingen. De gevoeligheid van een gebied voor schade bij een overstroming is vooral afhankelijk van het overstromde oppervlak en de overstromingsdiepte die wordt bereikt. Het potentiële aantal slachtoffers is ook afhankelijk van de mogelijkheid om tijdig te evacueren en/of de gebeurtenis te overleven.

Het streven is dat alle primaire waterkeringen in 2050 aan de nieuwe waterveiligheidsnormen voldoen. Het op norm brengen is een belangrijke adaptatiemaatregel in het beleid. Ook belangrijk is om bij nieuwbouw rekening te houden met het overstromingsrisico, bij de keuze van de locatie en/of de ruimtelijke inrichting en de wijze van bouwen. Schade en slachtoffers kunnen worden beperkt door goede waarschuwingssystemen en rampenplannen, en bewustzijn bij inwoners van de risico's en het juiste gedrag in geval van overstroming (tabel 6.1).

Tabel 6.1

Opties voor vergroten waterveiligheid hoofdwatersysteem

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|-------------------------------|---|--------------------------|
| Blootstelling: moeilijk | Aanpassen/ op norm brengen keringen, maar is duur en duurt lang, rekening houden bij locatiekeuze nieuwbouw | Rijk, regio en bedrijven |
| Gevoeligheid: wel | In ontwerp en bouwen van wijken en gebouwen rekening houden met risico's | Rijk, regio en bedrijven |
| Reactief en herstel: moeilijk | Vergroten bewustzijn risico's, waarschuwingen en rampenplannen, maar bijdrage beperkt | Rijk en regio |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

De potentiële impact van overstromingen is groot, maar door substantiële en structurele investeringen is de kans zeer klein

Het overstromingsrisico vanuit de grote rivieren, meren en vanuit zee wordt bepaald door meerdere aspecten. Bij bovenrivieren gaat het voornamelijk om rivierafvoer, in de Rijnmaasmonding om rivierafvoer, wind (windrichting en -snelheid), stormopzet en zeespiegelstijging. Het overstromingsrisico in de IJssel-Vechtdelta wordt bepaald door het IJsselmeerpeil, rivierafvoer en wind, langs de kust en Waddenzee door wind, stormopzet en zeespiegelstijging, en bij andere meren vooral door meerpeil en wind. Deze overstromingsrisico's betreffen slachtoffers (verdrinking), schade aan woningen, gebouwen, landbouw, erfgoed, etc., en effecten op natuur en milieu, bijvoorbeeld door verspreiding van chemische stoffen. Daarnaast zijn er indirecte effecten, zoals infectieziekte, schimmels en mentale gezondheid.

Het oppervlak van het overstroomde gebied en de overstromingsdiepte bepalen de omvang van de gevolgen van een overstroming. Een overstroming kan, afhankelijk van de plaats, groot en regionaal of zelfs landelijk ontwrichtend zijn. Er is een groot verschil in gevoeligheid wanneer er een waterkering doorbreekt langs een stedelijke kern in de Maasvallei of langs een diepe polder als de Alblasserwaard. Door substantiële en structurele investeringen in verbetering van de waterveiligheid in en langs het hoofdwatersysteem, in het kader van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), is de kans op overstroming klein.

Meerderheid primaire keringen voldoet nog niet aan de norm, verbetering urgent voor een kwart

Overstroming van beschermd gebied langs het hoofdwatersysteem zal alleen plaatsvinden als een primaire kering (een kering die beschermt tegen water uit de Noordzee, de Waddenzee, de grote rivieren en het IJssel- en Markermeer) bezwijkt of overloopt. Dit zal vooral een gevolg zijn van extreme belasting: stormvloed, hoge rivierwaterstand, extreem hoge waterstanden op meren en kanalen en wind of een combinatie daarvan. Uit een recente beoordeling van de primaire waterkeringen (ILT 2023) blijkt dat 62 procent niet voldoet aan de wettelijke norm (die in 2050 gerealiseerd moet zijn). Voor 26 procent hiervan is verbetering urgent. Dit betreft vooral dijktrajecten in het rivierengebied. Zolang de dijken daar niet versterkt zijn, is het overstromingsrisico in aangrenzende gebieden groter dan in het beleid wordt beoogd kwetsbaar voor overstroming (zie figuur 6.2).

Ruim 8 miljoen mensen wonen in overstroombaar gebied

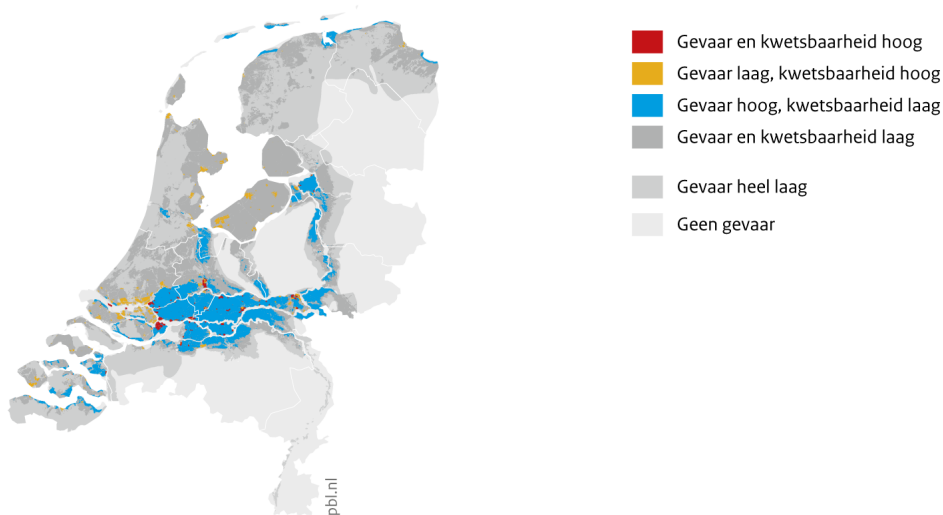
In het door primaire keringen beschermde gebied wonen 10,9 miljoen mensen (62% van de Nederlandse bevolking, peiljaar 2022), waarvan 8,1 miljoen in potentieel overstroombaar gebied. Daarnaast bestaat nog 5% van het landoppervlak uit buitendijks gebied (inclusief het onbedijkte deel van de Maasvallei), waarvan ca. 80% gevoelig is voor overstromingen. In dit overstromingsgevoelige buitendijkse gebied wonen ca. 75.000 mensen. Dit buitendijkse gebied is hier verder niet in beschouwing genomen.

In figuur 6.2 zijn gebieden met een overstromingsrisico opgenomen. Vooral steden in het rivierengebied zijn kwetsbaar voor overstroming. Onderscheid is gemaakt tussen overstromingsgevaar en overstromingsrisico. Het overstromingsgevaar (*flood hazard*) wordt bepaald door blootstelling, de kans dat ergens een overstroming optreedt, in combinatie met de eigenschappen van die overstroming; zoals waterdiepte, stroomsnelheid, duur van de overstroming. We spreken van een overstromingsrisico als een plek die gevaarlijk is tevens kwetsbaar is, omdat er werkelijk slachtoffers kunnen vallen of schade kan ontstaan (waarbij

kwetsbaar is gedefinieerd als: gekwetst kunnen worden, 'the potential to be harmed'). Risico vergt dus de aanwezigheid van mensen en/of spullen, gevaar niet noodzakelijkerwijs (Van de Pas et al. 2012).

Figuur 6.2

Overstromingsrisico's, 2009



Bron: Deltares 2009

Voorals steden in het rivierengebied zijn kwetsbaar voor overstroming,

Klimaatverandering onderdeel van waterveiligheidsbeleid, opgave dijkversterking groter en duurder

Bij de uitvoering van het Deltaprogramma Waterveiligheid wordt rekening gehouden met de gevolgen van klimaatverandering. Het waterveiligheidsbeleid garandeert dat als klimaatverandering leidt tot effecten op hoogwaterstanden op rivieren, kanalen, meren en de zee, de waterkeringen worden versterkt, zodat de waterveiligheid op orde blijft. Vanaf 2017 gelden er nieuwe normen voor de waterveiligheid en is instrumentarium voor periodieke beoordeling beschikbaar. Waterkeringen die nog niet aan de norm voldoen, worden binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) versterkt. Bij het opstellen van het programma wordt gekeken naar urgentie. De meest urgente projecten komen het eerst aan de beurt.

De nieuwe overstromingskansnormen zijn deels strenger dan de oude normen. De nieuwe normen gaan uit van de verwachte situatie in 2050 voor het aantal inwoners, de economische waarde en de klimaatverandering. Dat veel dijktrajecten (62%) na de eerste beoordelingsronde (ILT 2023) nog niet aan de nieuwe normen voldoen, lag in lijn der verwachting. Om alle dijktrajecten in 2050 te laten voldoen aan de nieuwe overstromingskansnormen zoals vastgelegd in de Waterwet, is er veel werk te verzetten (Tweede kamer 2023a).

De voortgang van de dijkversterking verloopt trager dan van tevoren ingeschat. De doelstelling om per jaar 50 kilometer dijk te versterken is in de periode 2017-2022 lang niet gehaald (HWBP 2023). Gebleken is dat de dijkversterkingsopgave groter en aanzienlijk duurder wordt. Tevens blijkt uit de nieuwe klimaatscenario's dat we met extremere weersomstandigheden en na 2050 met versnelling van de zeespiegelstijging rekening moeten houden (Tweede Kamer 2023a, Deltacommissaris 2023). Naar verwachting zal klimaatverandering invloed hebben op de hoogwater rivierafvoer van de Rijn en Maas, maar dat is nu nog niet zichtbaar.

6.3 Gebouwde omgeving

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van TNO (Verstraten et al. 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

In het kort

Vooral schade bij overstroming en wateroverlast vanuit het regionale systeem

Overstroming en wateroverlast vanuit het regionale watersysteem hebben economische gevolgen en impact op mens en maatschappij. Er wordt ten aanzien van het regionale watersysteem onderscheid gemaakt in overstrooming en wateroverlast (zie ook tabel 3.2). Een deel van de regionale wateren heeft waterkeringen (met name boezemkaden). Bij het falen van die keringen overstroomt het achterland en is sprake van een bedreiging van de veiligheid. Bij de andere regionale wateren, zonder waterkeringen, kan ook water het achterland instromen maar dat leidt 'alleen' tot wateroverlast (en een beperkte schade). Voor beide typen, overstrooming waterkeringen en wateroverlast, gelden verschillende normen.

Een overstrooming vanuit regionale wateren door het falen van de keringen, komt volgens de norm eens in de 100-1000 jaar voor. De potentiële impact wordt ingeschat als impactklasse 'midden' (10.000 – 100.000 getroffen mensen en/of tussen de € 100 miljoen en 1 miljard schade). De regionale keringen voldoen aan de norm; de faalkans van deze keringen is, door oversterkte, over het algemeen veel kleiner dan de norm (Rikkert 2022, zie tabel 3.2). Veel van deze kaden liggen in het deel van Nederland dat ook vanuit het hoofdwatersysteem kan overstromen.

Wateroverlast vanuit regionale wateren, en wateroverlast door extreem zware neerslag komen vaker voor. De impact van wateroverlast door plaatselijk extreem zware neerslag, eens in de 2-10 jaar voorkomend, wordt ingeschat als impactklasse 'lager' (< 10.000 getroffen mensen en/of < € 100 miljoen schade). Wateroverlast door inundatie vanuit het regionale watersysteem komt minder vaak voor maar heeft een grotere impact. De kans op inundatie hangt af van de werknormen die voor het voorkómen van inundatie worden gehanteerd en die het hoogst zijn voor bebouwd gebied (1/100 per jaar) en het laagst voor grasland en akkerbouw (1/10 respectievelijk 1/25 per jaar). Vrijwel alle beheergebieden van de waterschappen voldoen aan de wateroverlastnormen (STOWA 2021), zodat de kans op wateroverlast in de gebouwde omgeving vanuit het regionale watersysteem eens in de 10-100 jaar bedraagt. De potentiële impact wordt ingeschat als 'midden' (10.000 – 100.000 getroffen mensen en/of tussen de € 100 miljoen en 1 miljard schade). Er is consensus over deze cijfers en veelal onderbouwing met modelberekeningen, maar beperkter bewijs in de vorm van cijfers uit de praktijk.

Heel Nederland kan worden blootgesteld aan extreme neerslag, er zijn wel regionale verschillen in de gevoeligheid voor wateroverlast, mede door verschil in waterberging. Vooral het stedelijk gebied in het westen van het land blijkt vatbaar te zijn voor acute wateroverlast.

Adaptatie opties zijn te vinden in preventie (verkleinen kans van overstromen, bijvoorbeeld door locatiekeuze nieuwbouw), ruimtelijke inrichting (water bergen/vasthouden, aanpassen infrastructuur) en crisisbeheersing (waarschuwingen en voorlichting) (tabel 6.2).

Overstroming en wateroverlast vanuit regionaal watersysteem kunnen resulteren in grote schade

Een regionale overstroming is het gevolg van het falen van met name boezemkaden. Daarnaast kan wateroverlast optreden doordat water vanuit het regionale watersysteem, zoals beken en kleinere riviertjes, het omliggende land instroomt of doordat een gebied het water van extreme neerslag niet snel genoeg kan afvoeren. Het gebied dat vanuit het regionale watersysteem kan overstromen is ongeveer de helft kleiner dan het overstromingsgevoelige gebied vanuit het hoofdwatersysteem. Ook is het getroffen oppervlak bij een gebeurtenis vanuit het regionale systeem veelal kleiner en zijn de overstromingsdieptes minder groot.

Tabel 6.2

Opties adaptatie regionale overstroming en wateroverlast gebouwde omgeving

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|--------------------------------------|---|---------------------------|
| Blootstelling: niet | Gebouwen kunnen niet makkelijk verplaatst, wel rekening houden bij locatiekeuze nieuwbouw | N.v.t. |
| Gevoeligheid: moeilijk | Aanleg waterberging, water vasthouden, aanpassen infrastructuur, gebouwen en riolering, kost tijd, ruimte en geld | Regio en bedrijven |
| Reactief en herstel: moeilijk | Vergroten waterbewustzijn, waarschuwingen en voorlichting, zal beperkt bijdragen aan vermindering schade, maar wel van belang voor evacuatie en vermindering slachtoffers | Rijk en regio |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

De gebeurtenis van de zomer van 2021 laat zien dat de economische schade door wateroverlast vanuit regionale wateren (Roer, Geul, Gulp, Geleenbeek) aanzienlijk kan zijn; deze bedroeg naar schatting €433 miljoen (IenW 2022). Ook heeft dit bij slachtoffers ervan geleid tot psychologische klachten, zoals angst, stress en depressie (de Jong et al. 2023). De kans op deze gebeurtenis is kleiner dan de norm die hier voor het vóórkomen van wateroverlast geldt. Daarmee is hier strikt genomen sprake van een ‘geaccepteerd restrisico’. Naar aanleiding van de wateroverlast in 2021 is in 2022 een methode ontwikkeld die voor Nederland in beeld brengt welke gevolgen zo’n extreme neerslaggebeurtenis in een groot gebied kan hebben. In 2023 is deze methode uitgebreid voor de risicodialoog. Dit moet inzicht geven in de knelpunten in het bovenregionale speelveld en moet risico's inzichtelijker maken (NKWK-KBS 2024).

Jaarlijkse schade door extreme neerslag, maar beperkt van omvang

Woningen in heel Nederland kunnen schade ondervinden door wateroverlast als gevolg van extreme neerslag of hoosbuien. Het aantal dagen met extreme neerslag ergens in Nederland is de afgelopen decennia toegenomen, maar het is niet duidelijk of dit tot meer schade heeft geleid. Er zijn wel indicaties dat de verzekerde schade is toegenomen (Verbond van verzekeraars 090424), maar de registratie van niet verzekerde schade ontbreekt. Schade als gevolg van extreme neerslag komt jaarlijks voor en treft naast woningen en gebouwen ook de land- en tuinbouw, zie hiervoor paragraaf 6.5. De schade is meestal lokaal en beperkt van omvang. Ook kan overbelasting van riolering in stedelijk gebied leiden tot afvoer via overstorten op het oppervlaktewater, waardoor rioolwater in het oppervlaktewater terecht komt en de waterkwaliteit verslechtert.

Regionale verschillen in risico op wateroverlast door extreme neerslag

Hoewel extreme neerslag overal in Nederland kan voorkomen, zijn er wel regionale verschillen in het risico op wateroverlast, mede door verschil in waterberging en de mogelijkheden voor waterinfiltratie. Vooral het stedelijk gebied in het westen van het land is vatbaar voor acute wateroverlast, zie figuur 6.3. En binnen die steden zijn er bepaalde wijken (b.v. laag liggende bloemkoolwijken) die door specifieke kenmerken extra gevoelig zijn.

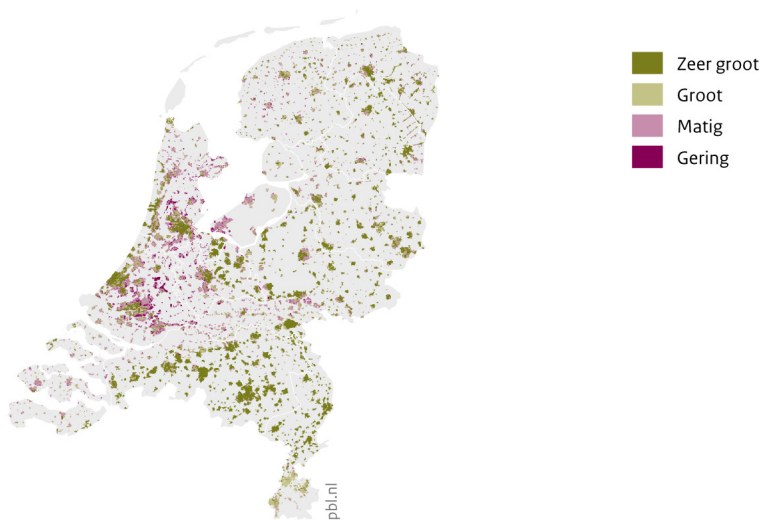
Verkleinen risico's door lagenbenadering, meer waterbewustzijn en vergroten waterberging

Net als voor het hoofdwatersysteem (zie paragraaf 6.2 over waterveiligheid) kan het overstromingsrisico vanuit het regionale systeem worden beperkt aan de hand van de lagenbenadering: preventie (verkleinen kans van overstromen), ruimtelijke inrichting en crisisbeheersing. In het eindadvies van de Beleidstafel wateroverlast en hoogwater (IenW 2022) is aanbevolen om hier nog een vierde laag – herstel – en een onderliggende basislaag – waterbewustzijn – aan toe te voegen. Burgers en bedrijven moeten weten wat er kan gebeuren en wat hen te doen staat in een (dreigende) crisissituatie.

In het stedelijk gebied kan waterberging worden vergroot (met, bijvoorbeeld, waterpleinen, wadi's en meer groen) en kan water langer worden vastgehouden (bijvoorbeeld met meer groene daken). Daarnaast zijn er in het stedelijk gebied ontwerpnormen voor de neerslagintensiteit die de riolering moet kunnen afvoeren (Rioolnet 2024).

Figuur 6.3

Kansen voor waterinfiltratie in stedelijk gebied, 2021



Bron: Klimaateffectatlas

Door beperkte infiltratiemogelijkheden is vooral stedelijk gebied in het westen vatbaar voor wateroverlast.

Door klimaatverandering neemt het risico op wateroverlast toe

Door klimaatverandering krijgt Nederland steeds frequenter te maken met (grootschalige) risico's aan gebouwen als gevolg van wateroverlast. Deze overlast kan ook worden versterkt door droogte. Wanneer de bodem is uitgedroogd kan water minder goed infiltreren in de grond, waardoor hoosbuien eerder tot wateroverlast leiden. Verder speelt met name in stedelijke gebieden het optreden van ongelijkmatige zetting, waardoor bij extreme neerslag water naar de laagste gelegen

plek afstroomt en snel voor probleem zorgt. Dit leidt onder andere tot tijdelijke onbereikbaarheid van delen van (hoofd)wegen of water in de lageregelegen woningen en gebouwen.

6.4 Mobiliteit en infrastructuur

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van TNO (Verstraten et al. 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven. In deze paragraaf gaan we alleen in op de risico's van wateroverlast voor het wegverkeer.

In het kort

Kosten en verlies aan veiligheid door wateroverlast op wegen

Met betrekking tot mobiliteit en infrastructuur heeft extreme neerslag de grootste impact op het wegennet: wateroverlast leidt daar tot verlies aan veiligheid, hinder voor mens en bedrijfsleven door afgenomen mobiliteit en toename van aanleg- en onderhoudskosten. Er is consensus dat het gevaar toeneemt bij regen, maar er is beperkt bewijs in welke mate. Een eerste indicatie van de schade door plasvorming, instabiliteit van het wegtalud en van de weg zelf, geeft een schatting van rond de €200.000 – 1.100.000 per jaar, dus impactklasse 'kleiner'.

Voor geïdentificeerde hotspots is berekend dat de baten van aanpak hoger zijn dan de kosten. Wateroverlast kan overal optreden, maar met name in niet-vlakke gebieden en op hellende wegen. De gevoeligheid voor overlast is groter bij zwakke punten in het ontwerp en/of het onderhoud van de weginfrastructuur.

De belangrijkste opties voor adaptatie zijn het verbeteren van het ontwerp en het goed onderhouden van de infrastructuur. Als wateroverlast zich toch voordoet, kan de impact worden verminderd door verkeer om te leiden of het water weg te pompen (tabel 6.3).

Tabel 6.3

Opties adaptatie wateroverlast op wegen

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|--------------------------------------|--|--------------------|
| Blootstelling: niet | Infrastructuur kan niet worden verplaatst | N.v.t. |
| Gevoeligheid: moeilijk | Goed ontwerp en onderhoud vermindert risico, evenals innovatieve technieken, maar kost tijd en geld | Rijk, bedrijven |
| Reactief en herstel: moeilijk | Beperkte mogelijkheden om bij wateroverlast impact te verminderen: verkeer omleiden, water wegpompen | Regio en bedrijven |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Verschillende risico's op het wegennet als gevolg van wateroverlast

Wateroverlast vormt een van de meest ingrijpende klimaatrisico's voor wegen. Neerslagextremen die deze overlast veroorzaken zijn aanzienlijk toegenomen. Zo is het aantal dagen met zware neerslag, gedefinieerd als dagen met meer dan 50 mm neerslag ergens in Nederland, sinds 1951 met 85% toegenomen. Ook is het aantal dagen per jaar met meer dan 20 mm neerslag in een etmaal aanzienlijk gestegen (Rijksoverheid 2023), zie ook hoofdstuk 2.

Wateroverlast heeft diverse impacts op de werking van het wegennet:

- Plasvorming omvat hinder door zowel relatief ondiepe plassen die door aquaplaning gevaarlijke situaties kunnen veroorzaken, als diepere plassen, bijvoorbeeld in tunnelgedeelten. Deze diepere plassen kunnen meerdere decimeters diep worden en de verkeersstroom volledig tot stilstand brengen, daarnaast kan plasvorming op wegen een bron zijn voor legionella omdat juist het rijden door een plas zorgt voor verspreiding door de lucht;
- Instabiliteit wegtalud betreft het verweken van het wegtalud, waardoor deze kan verzakken;
- Stijgende grondwaterstanden kunnen tot problemen leiden bij tunnels en verdiepte liggingen, met mogelijk grote impact;
- Overstromingen zorgen ervoor dat wegen onder water lopen. Daarnaast kunnen lokale overstromingen plaatsvinden door extreme regenval indien de capaciteit van de drainagewerken (e.g., kolken, rioolputten, bermsloot) niet voldoende is. Dit zijn overstromingsscenario's met een kans in de orde van grootte van eens per 10 jaar.

Wateroverlast ook gerelateerd aan zwakke punten in ontwerp of onderhoud van wegen

Wateroverlast kan ontstaan of toenemen door zwakke punten in het ontwerp en/of onderhoud van de weginfrastructuur, waardoor water niet snel genoeg kan worden afgevoerd tijdens extreme neerslag. De meest voorkomende kwesties zijn ontoereikendheid van de ontwerpcapaciteit van het systeem, het niet adequaat onderhouden van de kolken en uitval van pompen in de pompkelder.

Wateroverlast overal maar met name in niet-vlakke gebieden en op hellende wegen

Uit stresstesten voor de hoofdwegen en aanvullende onderzoeken naar specifieke kwetsbaarheden uitgevoerd door Rijkswaterstaat (RWS 2022) blijkt dat kwetsbare delen van het hoofdwegennet door heel Nederland voorkomen. Op het hele wegennet kan wateroverlast plaatsvinden, maar het ontstaat met name in niet-vlakke gebieden en op hellende wegen. In Nederland manifesteert dit zich vooral in de provincie Limburg, waar bepaalde laaggelegen gebieden het risico lopen om relatief snel vol te lopen bij aanhoudende regen. Significante overstromingskansen vanuit rivieren en beken komen met name voor in het rivierengebied en rondom de Eems-Dollard in het noorden van het land (KIM 2021). Daarnaast kan extreme regenval zorgen voor een toenemende overschrijdingskans van de ontworpen drainagecapaciteit.

Schatting van schade: in de orde van ca. €200,000-1,100,000 per jaar

Een eerste schatting van de mogelijke economische gevolgen van extreme regenval voor het Nederlandse wegennet, geeft een schade rond de €200,000 – 1,100,000 per jaar, door plasvorming, instabiliteit van het wegtalud en van de weg zelf. Hierbij zijn de kosten door de instabiliteit van het wegtalud leidend (Bles et al. 2023). Daarnaast kunnen zogeheten stremmingskosten (tijdsverlies door omrijden en verstoringen) voorkomen, die eenzelfde orde grote kunnen zijn als de directe herstelschade. Voor geïdentificeerde hotspots is berekend dat de baten van aanpak hoger zijn dan de kosten.

Gevoeligheid voor extreme neerslag verminderd door nieuwe technologieën

Sinds 1980 is op veel Rijkswegen (nu 90 procent) zeer open asfaltbeton (ZOAB) gebruikt als bovenlaag. Dit type asfaltverharding is geluidsreducerend, verbetert rijcomfort en heeft een betere afwateringscapaciteit. Het gebruik van ZOAB heeft aanzienlijk bijgedragen aan het verminderen van problemen met wateroverlast op de wegen. ZOAB heeft meer bergingscapaciteit waardoor er minder spatwater (gevolgen voor zicht), aquaplaning en plasvorming optreedt. Daarnaast zorgt het voor een betere kwaliteit van afstromend wegwater en is het minder hittegevoelig.

Klimaatbestendig beheer van het wegennet nog grotendeels onbekend terrein

Er zijn praktische maatregelen om wateroverlast op wegen te verminderen, en deels worden deze ook al geïmplementeerd. Voorbeelden hiervan zijn het aanleggen van wegen met een verkanting (het hellen van een weg in een bocht) van 2,5%, het gebruik van zeer open asfaltbeton (ZOAB), het vergroten van de capaciteit van afvoerbuizen, het ophogen van bermen, en adequaat onderhoud van het weglichaam, inclusief inspectie van waterafvoersystemen. Op dit moment worden maatregelen vaak ook risico gestuurd toegepast: als er bijvoorbeeld zware regenval wordt voorspeld, worden preventieve acties genomen, zoals het vooraf schoonmaken van putten waarvan bekend is dat ze gevoelig zijn voor verstoppingen. Gemiddeld eens in de 17 jaar wordt volledig onderhoud uitgevoerd aan asfalt. Klimaatbestendigheid speelt in dit onderhoud meestal geen rol. Hier wel rekening mee houden zou bijdragen aan de weerbaarheid tegen wateroverlast.

6.5 Landbouw

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van WEnR (van Klaveren et al. 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven.

In het kort

Wateroverlast leidt tot economische schade in de akkerbouw

Zowel de landbouwsector als het watersysteem in Nederland zijn ingesteld op natte condities; zo is waterbeheer door akkerbouwers ingericht op afvoeren. Extreme neerslag komt steeds vaker voor, met als gevolg lokale wateroverlast en daarmee schade aan percelen en verschillende gewassen zoals aardappels, zaaiuien en peen door rotting. Daarnaast veroorzaakt extreme neerslag problemen met de bereikbaarheid van akkers met machines met risico op bodemverdichting en is er risico op de uitbraak van plantziekten. Voor de akkerbouw valt de economische impact van extreme neerslag die eens in de 125 jaar optreedt in impactklasse kleiner (< 100 miljoen). De effecten van vaker optredende buien zijn vaak lokaal en dus is de economische impact op landelijke schaal beperkt, ook impactklasse kleiner (<100 miljoen). De gevolgen kunnen voor een bepaald gebied of individuele boer wel aanzienlijk zijn.

De betrouwbaarheid van deze inschatting is gemiddeld, met een hoge consensus maar beperkte kennis over de gevoeligheid van verschillende akkerbouwgewassen. Voor tuinbouwgewassen zijn er te weinig gegevens beschikbaar om een inschatting te maken van de impact door (extreme) wateroverlast. Klimaatverandering speelt een rol bij het optreden van extreme buien, maar de ruimtelijke variabiliteit is groot. Ook maakt het type ondergrond verschil in hoe goed water gedraineerd wordt en verschillen afvoermogelijkheden op perceel- en regionaal niveau, wat het lastig maakt om de impact vast te stellen.

Adaptatie is mogelijk door het aanpassen van het bodem- en waterbeheer, gericht op het vasthouden of bergen van overtollig water. Afvoeren van water is de meest directe maatregel om wateroverlast tegen te gaan, maar vraagt wel om een afweging, omdat in droge perioden juist water nodig is (tabel 6.4).

Tabel 6.4

Opties verminderen effecten wateroverlast op landbouw

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|---------------------------------|--|--------------------------|
| Blootstelling: moeilijk | Verplaatsen landbouw naar locaties met minder kans op wateroverlast | Rijk, regio en bedrijven |
| Gevoeligheid: wel | Creëren van ruimte voor waterberging, aanpassing bodem- en waterbeheer | Rijk, regio en bedrijven |
| Reactief en herstel: wel | Afvoeren van water, maar afweging nodig met vasthouden van water t.b.v. droge perioden | Regio en bedrijven |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Extreme neerslag kan leiden tot opbrengstderving in de akkerbouw

Extreme neerslag met meer dan 50 mm/dag komt momenteel bijna 10 dagen per jaar voor in Nederland (CLO 0590), en kan resulteren in opbrengstderving. Het aantal dagen met meer dan 50 mm/dag is sinds 1951 met 85% toegenomen (CLO 0590). Ook langdurige, minder zware neerslag heeft effect op de akkerbouw, zoals in het najaar van 2023 toen boeren door wekenlange neerslag niet het land op konden met machines om te oogsten. Een voorbeeld van extreme neerslag is juli 2021 wanneer door regen in Duitsland, België en Nederland wateroverlast ontstaat in Limburg, wat schade veroorzaakte voor de agrarische sector in dit gebied. De getroffen Nederlandse boeren zullen naar verwachting ongeveer 6 miljoen euro schadevergoeding ontvangen. Dit bedrag komt gemiddeld neer op iets meer dan € 18.000 euro per boer.

Schade door wateroverlast is afhankelijk van veel factoren en verschilt per gewas en regio

De impact van extreme neerslag op akkerbouwgewassen verschilt per moment van optreden (binnen of buiten groeiseizoen) en is ook afhankelijk van de grondsoort en de waterdoorlatendheid hiervan (hoelang blijft het water staan op het land). Zo treedt er rot op in gewassen als er veel water op het land staat in het groeiseizoen. Soms moet een boer de afweging maken tussen oogsten en daarmee de bodem verdichten (zie ook Verstand et al. 2021) of gewassen in de grond laten zitten met risico op rot. Het kan lang duren voordat de bodem van bodemverdichting hersteld is. Ook kan een nat najaar ervoor zorgen dat gewassen niet voor de vorst geoogst kunnen worden.

Omvang van de impact van extreme neerslag op opbrengstderving kent relatief veel onzekerheid. Er worden grote spreidingen in opbrengstderving gemeld in de literatuur – voor aardappelen worden opbrengstverliezen genoemd van 25 % tot 75%. Deze spreiding hangt af van de duur van vernatting/neerslag, type grond, en andere factoren. In mais ligt de spreiding tussen de 10-75% opbrengstderving door extreem zware neerslag. Er is vooral informatie over aardappel en mais in de literatuur beschikbaar, maar weinig over andere gewassen. De impact van zware buien is vaak lokaal, met dus een lage nationale impact, maar kan fors zijn voor een specifiek gebied of een individuele boer.

Naast directe impact van extreme buien op de opbrengderving in de akkerbouw, veroorzaakt dit ook een toename van uit- en afspoeling van nutriënten naar oppervlaktewater, wat bijdraagt aan een verslechtering van de waterkwaliteit en afname van beschikbare voedingsstoffen voor gewassen. Ook is er op beperkte schaal risico op bodemerosie door het wegspoelen van de vruchtbare bodemlaag.

Adaptatie op perceelniveau en verbeteren waterbeheer

Boeren ondernemen actie om wateroverlast op hun percelen te beperken, door het verbeteren van de afwatering met de aanleg van greppels en/of drainagesystemen en soms reservoirs voor tijdelijke berging. Gebruik van lichtere machines en vaste rijpaden kan helpen om bodemverdichting te beperken. Inzet op het verbeteren van de bodemkwaliteit om het watervasthoudend vermogen te vergroten is van belang, net als het verleggen van de focus van afwateren naar water vasthouden, met het oog op toenemende droge periodes.

6.6 Natuur en waterkwaliteit

De inhoud van deze paragraaf is gebaseerd op de inbreng in het project van WEnR (Henkens et al. 2024) en op de expertsessies voor het project, tenzij met een verwijzing anders aangegeven. Omdat wateroverlast maar een beperkte impact op natuur heeft, bestaat deze paragraaf grotendeels uit het onderdeel 'in het kort', en is verdere detaillering maar beperkt nodig.

In het kort

Extreme natheid heeft beperkte impact op natuur, wel deels moeilijk omkeerbaar

Extreme natheid door hoosbuien of overstromingen kan leiden tot minder geschikte groeiplaatsen, afkalving van oevers, erosie van beek- en rivierbodems, vaker in werking tredende riooloverstorten, en het vrijkomen van nutriënten, met effecten op natuur, VHR (Vogel- en habitatrichtlijn)- en KRW (Kaderichtlijn Water)-doelen en diverse ecosystemendiensten.

Extreme natheid heeft tot nu toe een beperkte negatieve impact op natuur in Nederland gehad, zo is rond 1% van de VHR-doelen in de periode 2012-2018 hierdoor onder druk komen te staan. Omdat extreme natheid kan leiden tot moeilijk omkeerbare effecten, wordt de impact ingeschat als impactklasse 'midden' (regionaal en/of moeilijk omkeerbare schade), als gevolg van situaties die eens in de 1-10 jaar voorkomen. Ook het effect op de haalbaarheid van de VHR- en KRW-doelen wordt ingeschat als 'midden'. De onderbouwing hiervoor varieert van een beperkte tot een voldoende hoeveelheid informatie, afhankelijk van de soort; de consensus over het effect van klimaatverandering op natuur is groot.

Natheid kan ook gunstig zijn voor bepaalde natuurtypen. De positieve of negatieve effecten verschillen per soort en ecosysteemtype. Risico's zijn er vooral voor zeldzame habitats en soorten die zouden kunnen verdwijnen, kansen treden vooral op voor habitats in overstromingsvlakten langs beken en rivieren.

Klimaatverandering is een extra drukfactor bovenop al bestaande drukfactoren als verzuring, vermisting, verdroging, versnippering en vergiftiging. Het verminderen van deze andere drukfactoren is een adaptatieoptie, waarmee de natuur minder gevoelig wordt voor extreme natheid, en zich ook sneller kan herstellen. Verder kunnen ook herstelmaatregelen aan de natuur zelf hiertoe bijdragen, zoals het verbeteren van de sponswerking van bodems (tabel 6.5).

Tabel 6.5

Opties voor adaptatie voor natuur m.b.t. hitte, droogte en wateroverlast

| Adaptatie mogelijk? | Toelichting | Adaptatie door wie |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Blootstelling: niet | Natuur kan niet worden verplaatst | N.v.t. |
| Gevoeligheid: moeilijk | Robuustere natuur door verminderen andere drukfactoren | Rijk, regio, bedrijven en samenleving |
| Reactief en herstel: moeilijk | Herstelvermogen van natuur vergroten door verminderen andere drukfactoren | Rijk, regio en samenleving |

Zie ook paragraaf 3.1 voor toelichting op deze tabel.

Preventieve maatregelen om effect van toegenomen kans op neerslagextremen te beperken

De afgelopen decennia is de kans op neerslagextremen toegenomen (hoofdstuk 2). Met preventieve maatregelen, inclusief zogenoemde *nature-based solutions* (NBS), kan het negatieve effect hiervan worden beperkt. Bijvoorbeeld door het vergroten van het watervasthoudend en waterbergend vermogen, zoals gebeurt in Ruimte voor de Rivier en Ruimte voor Beken, of het verbeteren van de sponswerking van bodems. Zo wordt water 10 maal sneller opgenomen in grond waarin regenwormen leven, dan in grond zonder regenwormen. Andersom kan een veranderd neerslagpatroon het graafgedrag van regenwormen beïnvloeden, ze maken namelijk meer gangen als er regelmatig zware regenval is (Walter et al. 2015).

7 Complexe klimaatrisico's en verandering risico's

In hoofdstukken 3 tot en met 6 zijn voornamelijk afzonderlijke klimaatrisico's beschreven. Risico's kunnen echter ook elkaar versterken of stapelen. Deze en andere complexe klimaatrisico's worden in meer detail uitgewerkt in paragraaf 7.1.

In 2015 heeft het PBL in samenwerking met kennisinstellingen een eerdere nationale klimaatrisico-analyse uitgevoerd (PBL 2015a). In paragraaf 7.2 wordt beschreven welke veranderingen in klimaatrisico's te zien zijn ten opzichte van de 2015-analyse, voor zover de verschillen tussen beide analyses dat toelaten.

7.1 Complexe klimaatrisico's: combinaties, keten-effecten en maladaptatie

Complexe klimaatrisico's zijn veelal meer dan de som van afzonderlijke risico's

Klimaatrisico's zijn in veel gevallen complex, waarbij risico's elkaar kunnen versterken of kunnen stapelen en een nieuw risico vormen. Als klimaatrisico's afzonderlijk worden bekeken kan dit leiden tot een onderschatting van de gevolgen, terwijl de optelsom van meerdere risico's groter kan uitpakken dan verwacht, met aanzienlijke maatschappelijke en economische impact. Complexe klimaatrisico's bestaan uit verschillende typen (PBL 2023a). Klimaatdreigingen kunnen tegelijkertijd, herhaaldelijk of opeenvolgend optreden, waarbij ze elkaar versterken ('compound effect'). Ook kunnen combinaties van risico's (die op zichzelf niet extreem zijn) stapelen of kan er een ongunstige samenloop van omstandigheden zijn waardoor het risico groter blijkt dan vooraf ingeschat. Interacties met adaptatiebeleid en maatschappelijke context spelen hierbij een rol. Een voorbeeld is het gelijktijdig optreden van hitte en droogte, waardoor de watervraag toeneemt terwijl de waterbeschikbaarheid afneemt. (Beleids)sectoren staan in toenemende mate in verbinding met elkaar, waardoor een risico kan doorwerken via keten-effecten ('cascading') binnen een sector, richting andere sectoren of over grenzen heen ('cross-border'). Ook onbedoelde, negatieve neveneffecten van adaptatiemaatregelen ('maladaptatie') kunnen bestaande klimaatrisico's vergroten. Bijvoorbeeld beregening in de landbouw draagt bij aan verminderde waterbeschikbaarheid voor andere sectoren in tijden van droogte.

Lastig om grip te krijgen op complexe klimaatrisico's in Nederland

Er is, ook in internationale literatuur, toenemende aandacht voor complexe klimaatrisico's. Maar onderzoek staat nog in de kinderschoenen en kwantitatieve analyses zijn nog niet eerder gedaan. Een compleet overzicht van alle complexe risico's is lastig te schetsen vanwege het grote aantal mogelijke combinaties, stapelingen, keten-effecten en neveneffecten van adaptatie. Bovendien is de omvang en snelheid van vervolg-impacts afhankelijk van specifieke omstandigheden, de maatschappelijke context en de uitvoering van adaptatiebeleid. Om hier toch grip op te krijgen, adviseert de Signaalgroep Deltaprogramma (2023) om cascade-effecten van klimaatverandering op te nemen in de scenario's die gebruikt worden bij het bestrijden van crises. In Duitsland en het Verenigd Koninkrijk zijn enkele honderden keten-effecten onderscheiden. Voor de huidige situatie

in Nederland zijn complexe klimaatrisico's beperkt geïnventariseerd, hieronder zijn enkele illustratieve voorbeelden beschreven.

Combinaties van klimaatdreigingen vergroten de risico's

Klimaatdreigingen kunnen samenvallen waardoor hun impact op de samenleving wordt versterkt. In de afgelopen dertig jaar is dit gezien bij het gelijktijdig optreden van hitte en droogte, waardoor de watervraag toeneemt terwijl de hoeveelheid beschikbaar water afneemt door extra verdamping. De herhaaldelijke droogtes van 2018, 2019, 2020 en 2022 zorgden ervoor dat (grond)waterbuffers slonken en de veerkracht van de natuur afnam. Na een periode van droogte kan water moeilijker infiltreren in de bodem, waardoor er eerder wateroverlast ontstaat in zowel stedelijk als landelijk gebied. In de landbouw kunnen warmere, in combinatie met nattere omstandigheden bijdragen aan de verspreiding van ziekten en plagen in de akkerbouw (Verstand et al. 2021). Dit wordt soms pas zichtbaar tijdens bewaring van de producten in de winterperiode. In de winter van 2023 zorgden hoge rivierafvoeren in combinatie met een storm voor de kust voor sluiting van de Maeslantkering en was het een tijd lang niet mogelijk om water onder vrij verval af te voeren vanuit het IJsselmeer.

Combinaties en stapeling van klimaatrisico's vergroten de impact

Een voorbeeld van stapeling van klimaatrisico's is de gecombineerde impact van hitte op gezondheid. Hitte heeft een direct negatief effect op de gezondheid, maar leidt ook tot de vorming van meer ozon en tot meer hooikoortsklachten door een hogere pollenproductie. Tegelijkertijd is er nog weinig bekend over de verschillende bijdragen van hitte, luchtverontreiniging en pollen aan sterfte en ziektelast in warme perioden. Voor natuur speelt er vaak een stapeling van drukfactoren zoals verdroging, verzuring, vermesting, versnippering en veranderingen in landgebruik, waarbij klimaatverandering de negatieve impact hiervan verder versterkt.

Bij een ongunstige samenloop van omstandigheden kan blijken dat risico's groter zijn dan de huidige adaptatie aankan, waardoor er kritieke situaties ontstaan die vragen om dringend ingrijpen. In november 2023 deed zo'n uitzonderlijke situatie zich voor met het uitvallen van het gemaal bij IJmuiden waardoor delen van Amsterdam onder water dreigden te lopen (zie tekstkader 7.1). Ook kan er sprake zijn van een ruimtelijke stapeling die tot problemen kan leiden. Zo wordt bij natuurbranden gewaarschuwd dat deze potentieel onbeheersbaar kunnen worden met aanzienlijke schade en mogelijk doden tot gevolg, als meerdere branden tegelijkertijd en op ongunstige plekken dicht bij bebouwing of campings ontstaan (ANV 2022, Stoof et al. 2024).

Keteneffecten gaan over sectoren en grenzen heen en leiden tot maatschappelijke ontwrichting bij uitval vitale infrastructuur

Keten-effecten maken dat een groot gebied en één of meerdere sectoren worden getroffen, doordat een klimaatrisico doorwerkt via een keten van reacties over tijd, sectoren of grenzen heen. Keten-effecten kunnen bestaande impacts vergroten of nieuwe risico's vormen. In de eerste klimaatrisicoanalyse in Nederland (PBL 2015a) werd gewaarschuwd dat schade door uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur hoog kan oplopen en leiden tot maatschappelijke ontwrichting, met name bij uitval van elektriciteit. Die uitval van electriciteit kan leiden tot een keten van effecten naar andere sectoren, zoals IT-infrastructuur, en uitval van bedrijvigheid en storing in communicatiemiddelen (TNO 2021). Een scenariostudie in het Amsterdamse havengebied Westpoort liet zien hoe potentieel ontwrichtend een relatief kleine verstoring door keten-effecten kan zijn (PBL 2015a). Via internationale handelsketens kunnen verstoringen zich wereldwijd verspreiden en daarbij leiden tot economische schade voor industrie en handel (Thissen et al. 2023).

Bij uitval door overstromingen of extreem weer wordt evacuatie bemoeilijkt, werken ICT-voorzieningen niet meer, kunnen treinen niet rijden en vallen logistieke functies uit. Ook kan dit leiden tot verstoringen in de financiële dienstverlening, ziekenhuizen en andere vitale voorzieningen. De meeste vitale voorzieningen, zoals ziekenhuizen en gemalen, beschikken over noodaggregaten die tijdelijk uitval kunnen opvangen (PBL 2015a).

Tekstkader 7.1

Voorbeeld samenloop: hoog water, storm en storing bij gemaal in IJmuiden

Op 2 november 2023 ontsnapte Amsterdam ternauwernood aan overstroming door een combinatie van hoog water (door zware neerslag), storm Ciarán en een storing bij het gemaal IJmuiden.

Door een storing gingen de schuiven (spuikokers) van het gemaal in IJmuiden niet meer dicht. Dat zorgde ervoor dat de peilen op het Noordzeekanaal en het IJ gevaarlijk snel omhoog gingen. De spuikokers van het gemaal in IJmuiden staan bij eb open om overtollig water op zee te spuien maar sluiten zich weer bij vloed. Door een technisch probleem sloten ze niet en stonden ze enige tijd open terwijl het al vloed was. Daardoor kwam er in de vroege ochtend een flinke golf zeewater het Noordzeekanaal in. Nadat het probleem was ontdekt, zijn de kleppen door een technische ploeg snel handmatig gesloten. De combinatie van de storing, de hoge waterstand en de storm Ciarán had een waterstand van -12 centimeter tot gevolg, terwijl die normaal -40 centimeter is. Om overstroming van Amsterdam te voorkomen zijn snel de veertien sluizen en waterkeringen bij het IJ gesloten, zodat het waterniveau in de grachten niet verder kon stijgen. Om het waterpeil in de stad weer op het gewenste niveau te krijgen werd Gemaal Zeeburg vervolgens vol aangezet. Door de sluizen tussen Amsterdam en IJ te sluiten en de Amsterdamse kant en Amstelland flink te bemalen, zakte het peil binnen 24 uur weer naar het gewenste niveau van rond de -40 cm NAP. Technisch kan er altijd iets misgaan met een pomp of gemaal, dan is het wel zo veilig dat er niet één maar twee grote gemalen (IJmuiden en Zeeburg) in het Noordzeekanaalgebied staan.

Bron: NRC 2023; NPOradio1 2023; Oost-online 2023.

Keteneffecten hebben veel impact door sterke verwevenheid van netwerken

De verschillende typen infrastructuur in Nederland, waaronder het elektriciteitsnetwerk, ICT en infrastructuur voor vervoer over weg, spoor en water, worden intensief gebruikt waardoor er weinig buffer is om verstoringen op te vangen. Zo is er bij het spoornetwerk door de steeds hogere benutting een grote afhankelijkheid tussen ritten en is het aantal alternatieve routes beperkt, waardoor een verstoring snel impact heeft op het overige spoorverkeer. Bij droogte en lage waterstanden ontstaan er beperkingen in vaarroutes en belading voor de binnenvaart, met aanzienlijke vervolgschade doordat de industrie stroomopwaarts afhankelijk is van deze aanleverroutes (in 2018 totaal ca. €2,8 miljard voor Nederland en Duitsland). Overstappen van vervoer over water naar weg of spoor is vaak niet mogelijk of niet gewenst vanwege de duurzaamheid, beperkte capaciteit en extra kosten. Wateroverlast voor het wegennet veroorzaakt directe herstel- en onderhoudskosten, maar ook hinder. Vaak zijn er naast het hoofdnetwerk omrijroutes mogelijk, maar dit gaat gepaard met kosten door tijdsverlies en verstoringen.

Keteneffecten spelen door heel Nederland, in landelijk en stedelijk gebied

Keteneffecten treden niet alleen op bij infrastructuur, maar ook bij andere sectoren, zowel in het stedelijk als landelijk gebied. In een droge periode groeit het gewas of gras minder goed waardoor

de bodem minder stikstof opneemt en er meer stikstofdepositie is in de natuur (CBS, 21/3/2024). Toename in neerslag veroorzaakt meer uitspoeling van nutriënten, waaronder stikstof, vanuit landbouwgronden naar het oppervlaktewater, met een negatieve invloed op de waterkwaliteit en verlies van voedingsstoffen voor gewassen. Bij extreme neerslag in de gebouwde omgeving kan dit de capaciteit van de rioolafvoer overtreffen, waardoor er overstort plaatsvindt naar het oppervlaktewater zonder zuivering. Verontreinigingen komen daarmee in de natuur terecht, met negatieve impact op de waterkwaliteit en ecologie. In periodes van droogte worden deze effecten verstrekt als verontreinigingen minder worden verdund, en hoge nutriëntconcentraties op hun beurt zorgen voor meer algenbloei en minder zuurstof.

Indirecte gevolgen van klimaatrisico's werken door in alle aspecten van het dagelijks leven, door de hele samenleving heen

Klimaatrisico's kunnen ook indirect doorwerken in vele aspecten van de samenleving, waarbij het aandeel wat toegeschreven kan worden aan klimaatverandering vaak nog onzeker is en vraagt om nader onderzoek. Bijvoorbeeld in overstromingsgevoelige gebieden of bij huizen met funderingsproblemen kunnen de huizenprijzen dalen, of kunnen eigenaren te maken krijgen met hoge herstelkosten (AFM 2023). Voor gebouwd erfgoed kan funderingsschade leiden tot instabiliteit en daarmee de monumentale interieurs of museale collecties die worden gehuisvest bedreigen. Voor gezondheid kunnen veranderingen in gedrag met meer recreatie in natuurgebieden en zwemwater zorgen voor een grotere blootstelling aan gezondheidsrisico's zoals Uv-straling, teken en/of muggen die ziektes overbrengen, of water overdraagbare ziekten. Ook kunnen omstandigheden gunstiger worden voor de verspreiding van infectieziekten of de overbrengers daarvan. De impact op zorgkosten door gezondheidsschade en de impact op arbeidsproductiviteit zijn nog onvoldoende in beeld. Vele factoren, waaronder klimaatgerelateerde, kunnen indirect bijdragen aan een verslechtering van welzijn en mentale gezondheid. Bekend zijn onder andere de directe gevolgen van het meemaken van (de schade door) een overstroming of extreem weer, financiële zorgen door waardedaling van huizen of bij boeren in tijden van droogte, en angst of zorgen maken over klimaatverandering in algemene zin. Er is tot op heden nog weinig aandacht in de maatschappij, in onderzoek en beleid voor de impact van klimaatverandering op mentale gezondheid.

In de natuur kan er een mismatch ontstaan tussen voedselaanbod en -behoefte, door verschuiving in het groeiseizoen of verandering in soortensamenstelling of verspreidingsgebied, wat indirect kan leiden tot verlies aan biodiversiteit en ecosysteemdiensten. Voor producten met een internationale afzetmarkt of handelsketen is de relatie tussen verminderde productie of beperkingen in vervoer over weg, water en spoor en economische schade niet altijd evident (PBL 2015c). Bijvoorbeeld in de landbouw leidt minder gewasopbrengst door droogte of wateroverlast niet altijd tot financiële schade voor boeren, omdat prijzen afhankelijk zijn van de vraag en aanbod op de (internationale) markt. Consumenten kunnen daardoor geconfronteerd worden met hogere prijzen.

Keuzes hoe om te gaan met complexe klimaatrisico's en neveneffecten van adaptatie raken verschillende belangen

Hoe Nederland omgaat met klimaatrisico's in de huidige situatie, raakt nu al verschillende belangen. Dit vraagt om keuzes die er voor zorgen dat adaptatiemaatregelen toekomstbestendig zijn en blijven. Adaptatiemaatregelen kunnen (voor de korte termijn) een oplossing bieden voor het ene belang, maar ondertussen een negatieve uitwerking hebben voor andere belangen ('maladaptatie'), zoals bij beregening in de landbouw. De gevolgen van huidige keuzes in waterbeheer, bijvoorbeeld de verdeling van water in tijden van schaarste volgens de

verdringingsreeks, zorgen dat verschillende belangen verschillend worden gediend. In droge perioden is er een toenemende vraag naar water vanuit sectoren die hoog op de verdringingsreeks staan, zoals drinkwater (door toenemende vraag en leveringsverplichtingen) en vanuit de landbouw voor beregening, waardoor er minder water beschikbaar is voor andere functies. Om aan de watervraag te voldoen wordt er steeds meer grondwater onttrokken wat leidt tot dalende grondwaterstanden, en bijdraagt aan de verdroging van natuur en onomkeerbare schade veroorzaakt aan nat archeologisch erfgoed. Dit vraagt om een (hernieuwde) afweging van belangen en prioritering door het beleid.

Ook bij natuurbranden loopt men tegen grenzen aan als het gaat om bluscapaciteit, en zijn er integrale beheermaatregelen nodig, naast goede organisatie van de brandbestrijding. Droogte en dalende grondwaterstanden dragen bij aan toenemende funderingsproblemen, waarbij monumentale panden en gebouwen met ondiepe funderingen of op houten palen extra gevoelig zijn, net als voor- en naoorlogse wijken die in tijden van woningnood met goedkope materialen zijn gebouwd. Aanpassingen van gebouwen en woningen aan hitte en wateroverlast vragen om investeringen van eigenaren en aanpassing van de inrichting van wijken en steden. Deze impacts zijn ongelijk verdeeld over wijken en regio's in Nederland en groepen in de samenleving, waarbij niet iedereen draagkracht heeft om deze aanpassingen te doen. Naast de omvang van het klimaatrisico spelen daarom ook andere afwegingsaspecten een rol bij de aanpak van een klimaatrisico door middel van adaptatiemaatregelen (zie hoofdstuk 8).

7.2 Klimaatrisico's nu en in de 2015-analyse

Vergelijking met klimaatrisicoanalyse uit 2015 maar beperkt mogelijk

In 2015 heeft het PBL in samenwerking met kennisinstellingen een eerste nationale klimaatrisico-analyse uitgevoerd (PBL 2015a), die input is geweest voor de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS) in 2016 (IenW 2016). Een vergelijking van de huidige risico-inventarisatie met de PBL risicoanalyse 2015 is maar beperkt mogelijk. Het betrof destijds een toekomstverkenning, met gebruik van een andere methode en andere klassengrenzen en deels gericht op andere sectoren. Uit de vergelijkingen die wel mogelijk zijn, blijkt dat de inschattingen van de risico's voor gezondheid en van de risico's door droogte nu hoger worden ingeschat.

Gezondheidsrisico's volgens de huidige kennis groter dan in 2015

Risico's voor gezondheid worden veroorzaakt door hitte, luchtvervuiling, infectieziekten, allergieën en Uv-straling, die elkaar deels ook versterken. Deze risico's worden nu, voor een belangrijk deel gebaseerd op waarnemingen, hoger ingeschat:

- Waar in 2015 nog niet werd gesproken over warmtesterfte, dat wil zeggen extra sterfgevallen als gevolg van de geleidelijke temperatuurstijging, valt dit nu in de impactklasse 'hoger', met meer dan 100 doden per jaar.
- In 2015 werd aangegeven dat (mogelijk in dit decennium) 'risico's voor gezondheid bij vaker optredende hittegolven naar verwachting zorgen voor een verhoogde sterfte onder kwetsbare groepen'. In de huidige analyse wordt dit bevestigd, met een impact van meer dan 100.000 getroffen mensen en meer dan 100 doden, bij hittegolven die eens per 1-10 jaar voorkomen.
- Volgens de inschattingen in 2015 zouden tussen de 10.000 en 100.000 mensen in dit decennium worden getroffen door allergieën zoals hooikoorts. Nu wordt dit ingeschat op jaarlijks meer dan 100.000 mensen.

- Ook de economische impact van toegenomen medische kosten en arbeidsverlies door onder andere slechte luchtkwaliteit, allergieën en Uv-straling wordt hoger ingeschat: nu meer dan 100 miljoen euro, ten opzichte van 10 tot 100 miljoen euro in 2015.
- De impact op mentale gezondheid is in 2015 niet meegenomen, maar de zorgen over klimaatverandering in de samenleving en met name onder jongeren wordt nu als een serieus probleem gezien.

Droge perioden komen vaker voor dan in 2015 werd ingeschat, met grotere schade

Droge perioden met aanzienlijke schade treden eerder en vaker op dan ingeschat in 2015. Zo werd in 2015 de waarschijnlijkheid van oogstschade groter dan 100 miljoen euro door opeenvolgende droogtes, ingeschat als 'waarschijnlijk in deze eeuw', dat wil zeggen tot 2100. Deze hebben zich met de recente droge jaren nu al herhaaldelijk voorgedaan. Ook de omvang van de schade in de akkerbouw wordt nu hoger ingeschat, namelijk meer dan 100 miljoen euro, in tegenstelling tot 10-100 miljoen in 2015. De verstoring van habitats, bodems en archeologie door droogte treedt nu al op, en niet pas aan het eind van deze eeuw, zoals in 2015 werd ingeschat.

8 Afwegingsaspecten voor prioriteitsstelling

Naast de grootte van een risico en de inschatting van de betrouwbaarheid daarvan, zijn er verschillende afwegingsaspecten die ook een rol kunnen spelen in de keuze hoe om te gaan met een klimaatrisico. In kaart brengen hoe de risico's 'scoren' op de deze aspecten, kan het maken van beslissingen - omtrent hoe om te gaan met klimaatrisico's - faciliteren. De afweging welke keuzes met prioriteit aangepakt moeten keuze ligt vervolgens bij politiek en beleid.

We gaan in paragraaf 8.1 in op de methode en geven een overzicht en voorbeelden welke afwegingsaspecten een rol zouden kunnen spelen. De invulling en scoring van de aspecten zijn in dit rapport nog niet uitgewerkt, dat volgt in de in de volgende PBL-rapportage over de risico's in het toekomstige klimaat. Wel gaan we in op de werkwijze die we gaan volgen bij de uitwerking van twee aspecten, de beleving van klimaatrisico's in Nederland (paragraaf 8.2) en rechtvaardigheid (paragraaf 8.3). In paragraaf 8.4 geven we voorbeelden van afwegingsaspecten die relevant zijn voor snelheid van adaptatie en tijdigheid van keuzes.

8.1 Inventarisatie aspecten prioriteitsstelling

8.1.1 Aanpak prioriteitsstelling op basis van grootte van risico, betrouwbaarheid en andere afwegingsaspecten

De prioriteitsstelling door politiek en beleid kan gebaseerd worden op verschillende aspecten, die samenhangen van de huidige klimaatrisico's. In de voorliggende analyse is voor de lijst met relevantie aspecten gekeken naar methoden uit vergelijkbare analyses in Europa, het Verenigd Koninkrijk en Duitsland (onder andere het lopende traject van EUCRA (European Climate Risk Assessment), Betts et al. 2021, Kahlenborn et al. 2021) en eerdere ervaringen in Nederland (PBL, 2015). De volgende aspecten geven een indicatie van de 'urgentie' en kunnen bij de prioriteitsbepaling wordt meegenomen (zie figuur 8.1):

- De grootte van het risico (impact x waarschijnlijkheid); dit is voor verschillende klimaatrisico's uitgewerkt in hoofdstuk 3-7.
- De betrouwbaarheid van die inschatting (kwaliteit van bewijs en consensus); ook dit is meegenomen in hoofdstuk 3-7.
- Een kwalitatieve evaluatie van verschillende afwegingsaspecten die een rol kunnen spelen in de beleidsafwegingen, zoals investeringen, adaptief vermogen en de maatschappelijke en beleidscontext.

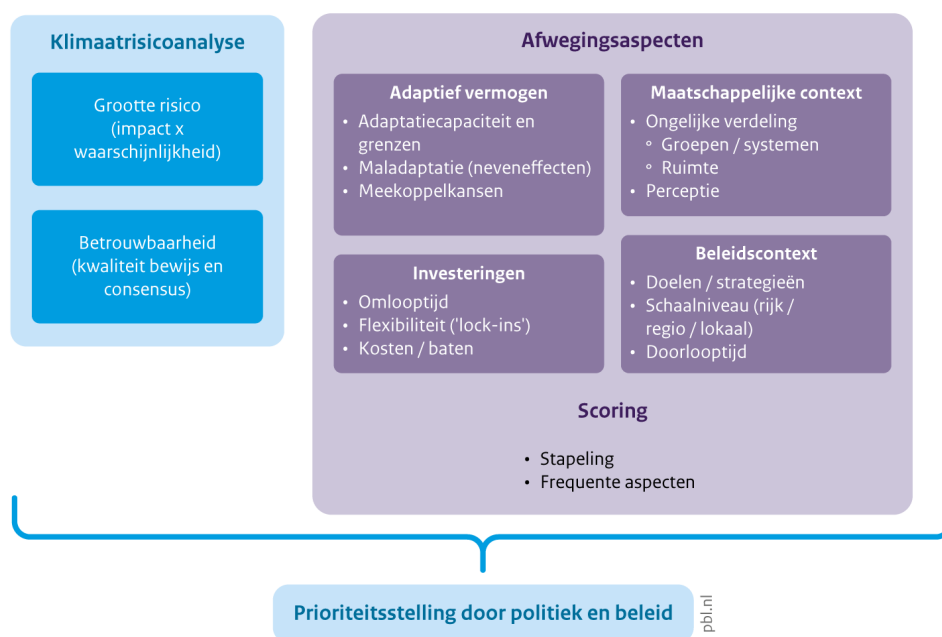
8.1.2 Overige afwegingsaspecten die een rol kunnen spelen bij prioriteitsstelling door beleid en politiek

Adaptief vermogen gaat om de nog onbenutte adaptatiecapaciteit en de inspanning/investeringen die het vraagt om dit te realiseren, en om mogelijke maladaptatie (onbedoelde negatieve neveneffecten van adaptatie die de kwetsbaarheid van een groep/systeem/sector vergroten of

verplaatsen, en grenzen aan de houdbaarheid van een adaptatiemaatregel, Reckien et al. 2023). Bij meekoppelkansen gaat het om aansluiten bij ontwikkelingen die gaande zijn en/of grote investeringen en deze benutten om adaptatiemaatregelen te nemen (bijvoorbeeld dijkversterkingsprojecten waarbij gekoppeld kan worden met natuurontwikkeling en verbetering van de energie-infrastructuur).

Figuur 8.1

Aspecten voor prioriteitsstelling klimaatadaptatiebeleid



Bron: PBL

Schema van de informatie die politiek en beleid kunnen gebruiken voor prioriteitsstelling van klimaatrisico's. Het gaat niet alleen om de omvang van het risico en de betrouwbaarheid van de inschatting maar ook om aanvullende afwegingsaspecten (investeringen, adaptief vermogen, maatschappelijke en beleidscontext). Zie bijlage 4 voor meer uitleg criteria.

Voor **investeringen** wordt gekeken naar de omlooptijd (levensduur van investeringen) en naar de flexibiliteit en dreigende lock-ins (onomkeerbaarheid van investeringen, vastzitten aan ingezette adaptatie). Bij investeringen gaat het niet alleen om directe investeringen in adaptatiemaatregelen, maar ook om investeringen voor aanleg/vernieuwing van bijvoorbeeld infrastructuur of woningbouw die klimaatadaptief en toekomstbestendig dient te zijn. Een kosten/baten analyse is op basis van de huidige beschikbare gegevens niet haalbaar, mogelijk wordt dit onderdeel van de toekomstverkenning.

Bij de **maatschappelijke context** gaat het om beleving van risico's (zie 4.2 voor de werkwijze die we daarvoor gaan volgen) en om rechtvaardigheid: de verdeling van risico's en adaptatiemaatregelen over groepen/(eco)systemen en op ruimtelijke schaal (zie 4.3 voor de werkwijze). Ook is hierbij belangrijk of dit al aangepakt wordt in het huidige beleid (bijvoorbeeld subsidieregelingen voor funderingsherstel monumenten).

Beleidscontext betreft de uitwerking van beleid in wettelijke doelen/normen, gefinancierde strategieën die al uitgevoerd worden of (voorgenomen) plannen, het aantal schaalniveaus waarop beleid is uitgewerkt (rijk/regio/lokaal) en de doorlooptijd (tijd van beleidsbeslissing tot realisatie). Zie bijlage 4 voor verdere uitleg en de criteria.

8.2 Beleving klimaatrisico's in Nederland

Beleving van klimaatrisico's is één van de aspecten die politiek en beleid kunnen meenemen in hun afweging welke risico's met prioriteit aangepakt kunnen worden (zie paragraaf 8.1). Inzicht in de beleving van klimaatrisico's helpt bij het inschatten van potentieel draagvlak voor maatregelen en de verwachte effectiviteit van beleid. Beleving van klimaatrisico's kan ook een aansporing zijn voor sectoren, bedrijven of individuen om actie te ondernemen en adaptatiemaatregelen uit te voeren. Onder boeren is er bijvoorbeeld een sterke perceptie van risico's door droogte, wat aanzet tot actie om te beregenen en water vast te houden voor droge periodes (Van Klaveren et al. 2024). In dit rapport zijn enkele algemene noties over beleving opgenomen, maar is dit nog niet uitgewerkt voor de klimaatrisico die in hoofdstuk 3 aan bod zijn gekomen. Dit zal concreter wordt uitgewerkt voor specifieke klimaatrisico's in de publicatie over toekomstige klimaatrisico's, begin 2026.

Beleving van risico's niet hetzelfde als expertinschattingen

Naast inzicht in hoe experts klimaatrisico's in Nederland beoordelen is het ook belangrijk om meer zicht te krijgen in hoe inwoners van Nederland die klimaatrisico's ervaren. Die ervaring wordt namelijk lang niet alleen bepaald door hoe ernstig een risico wordt ingeschat door experts. Andere aspecten, zoals of we controle ervaren over een risico, of blootstelling aan het risico vrijwillig is, of het effect direct of pas later zichtbaar wordt en hoeveel bekend is over het risico spelen vaak een grotere rol (Slovic 1987). Zo ervaren mensen de risico's op een kernramp of terroristische aanslag als groter dan in de auto stappen om naar het werk te gaan, terwijl objectieve cijfers laten zien dat autorijden toch echt een stuk gevaarlijker is. Omdat risicopercepties een belangrijke rol spelen bij hoe we ons gedragen en voelen, heeft het meerwaarde om te weten hoe klimaatrisico's worden ervaren in Nederland.

Beleving risico's, van globale inschattingen tot persoonlijke zorgen

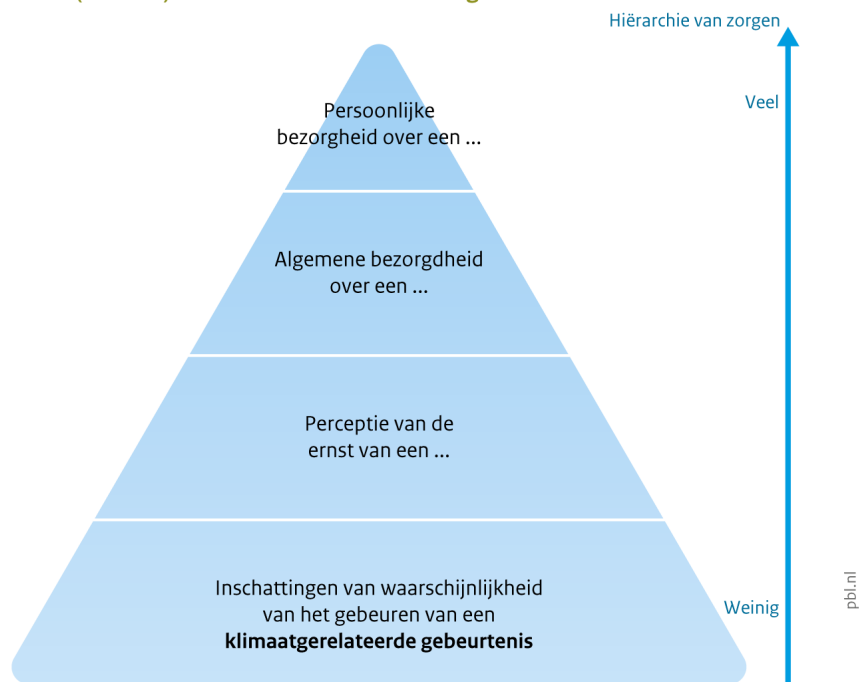
Als het gaat om het meten van de perceptie van klimaatrisico's gaat het over een hiërarchie van zorgen (van der Linden 2017; figuur 8.2). Iemand kan het waarschijnlijk en kwalijk vinden dat meer mensen overlijden als gevolg van hittestress, terwijl dit zich niet hoeft te vertalen in bezorgdheid in het algemeen of voor zichzelf. Daarnaast kan de beleving op een meer globaal maatschappelijk niveau uitgevraagd worden, of meer op persoonlijk niveau. Persoonlijke zorgen over een risico zijn mogelijk betere voorspellers van gedrag dan globale risico inschattingen.

Ook kunnen verschillende manieren van meten tot andere conclusies leiden over de beleving van risico's. Beleving van klimaatrisico's wordt voornamelijk in kaart gebracht met vragenlijstonderzoek, waarbij gevraagd kan worden naar hoeveel zorgen mensen zich maken over een klimaatrisico, hoe groot men de kans inschat dat een gebeurtenis zich gaat voordoen of in welke mate men bewust is van een risico.

Ruime meerderheid Nederlanders heeft zorgen over klimaatdreigingen zoals temperatuurstijging

Het CBS heeft in hun Belevingen 2023 onderzoek uitgevraagd in hoeverre Nederlanders zich zorgen maken over een aantal ontwikkelingen in Nederland als gevolg van klimaatverandering (zie figuur 8.3). Een ruime meerderheid van de Nederlanders heeft op zijn minst enige zorgen heeft over klimaatdreigingen zoals temperatuurstijging. De meeste zorgen bestaan over meer droge zomers en meer overstromingen (CBS 2023). Ook in het PBL-onderzoek 2020 lijkt een meerderheid bezorgd over enkele klimaatrisico's (Bouma en de Vries 2020).

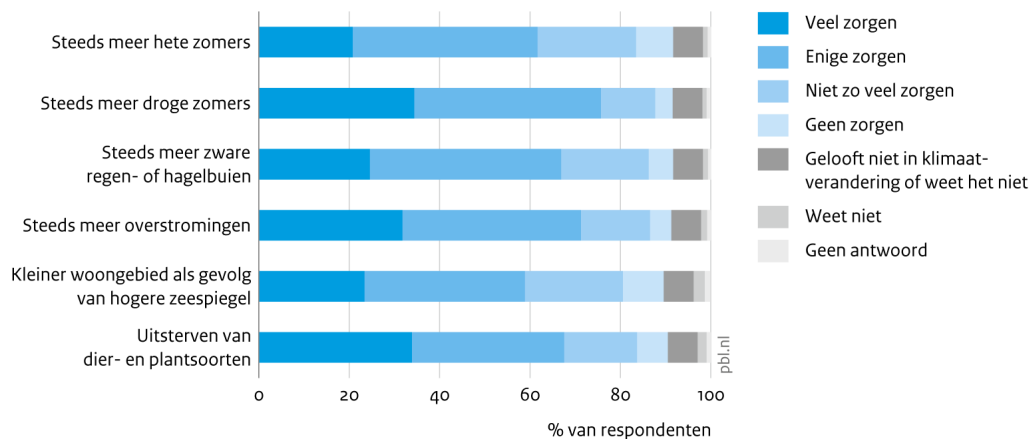
Figuur 8.2
Perceptie van (klimaat)risico's: niveau's van beleving



Bron: Van der Linden 2017

Bij de perceptie van (klimaat)risico's spelen verschillende aspecten van inschatting van waarschijnlijkheid van risico's tot persoonlijke bezorgdheid.

Figuur 8.3
Zorgen over klimaatrisico's, 2023



Bron: CBS

Een ruime meerderheid van de Nederlanders heeft op zijn minst enige zorgen over klimaatdreigingen zoals temperatuurstijging.

8.3 Verdeling risico's en rechtvaardigheid

Rechtvaardigheid, in de vorm van de verdeling van klimaatrisico's, kosten en/of adaptatievermogen, is een belangrijk afwegingscriterium om mee te nemen in het klimaatadaptatiebeleid. In dit rapport over de huidige klimaatrisico's zetten we het thema op de agenda, in de verkenning van toekomstige risico's werken we het verder uit.

Rechtvaardigheid gebaseerd op de tien verdelingsbeginselen van de WRR

De uitwerking van rechtvaardigheid baseren we o.a. op het rapport over rechtvaardigheid in het klimaatbeleid van de WRR (WRR 2023). De WRR presenteert tien verschillende verdelingsbeginselen die tot een rechtvaardige verdeling leiden. Een voorbeeld van een verdelingsprincipe is grootste nut, waarbij de klimaatopgave zo verdeeld wordt dat voor zo laag mogelijke kosten maximaal resultaat wordt behaald. Andere voorbeelden zijn de vervuiler betaalt, de sterkste schouders dragen de zwaarste lasten (bijvoorbeeld door rekening te houden met huishoudens rond het sociaal minimum, zie figuur 8.4), verdeling op basis van bestaande rechten of op basis van eigen verantwoordelijkheid. De WRR stelt niet dat het beleid momenteel onrechtvaardig is, maar wel dat de principes die ten grondslag liggen aan klimaatbeleid vaak niet expliciet worden gemaakt.

Figuur 8.4

Rechtvaardigheidsbeginselen in klimaatbeleid



Bron: WRR 2023; bewerking PBL

Overzicht van rechtvaardigheidsbeginselen uit WRR 2023.

Rechtvaardigheid in beeld bij beleid, maar moet nog verder concreet uitgewerkt

Rechtvaardigheid is wel al in beeld bij het klimaatadaptatiebeleid. In de kabinetsreactie (Kabinet 2023) op bovengenoemd WRR rapport werd gesteld: "Ook bij adaptatiebeleid ... worden al rechtvaardigheidsprincipes meegenomen. Zo hanteert het waterveiligheidsbeleid eenzelfde basisveiligheidsniveau voor iedere inwoner van Nederland. Een ander voorbeeld is de keuze van het kabinet om water en bodem sturend te laten zijn bij ruimtelijke keuzes, waar het principe 'niet afwentelen' centraal staat. We wentelen kosten niet meer af op toekomstige generaties, naar andere gebieden of functies, en niet van privaat naar publiek. Het is niet rechtvaardig om nu initiatieven te nemen waarvan later meerkosten op tafel komen door bijvoorbeeld bodemdaling, bodem en watervervuiling, te veel of te weinig water." Ook in het recent gepubliceerde 'Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie' (NUPKA) (IenW et al. 2023) is het uitgangspunt om meer aandacht te hebben voor rechtvaardigheid in adaptatiebeleid. Een verdere concrete uitwerking

moet nog plaatsvinden. Uit de analyse van de huidige klimaatrisico's blijkt dat rechtvaardigheid in onderzoeken en in de beschikbare informatie maar beperkt terugkomt. Onderzoekers betrokken bij de analyse erkennen dat verdelingsvragen essentieel zijn, maar hebben daar vaak nog weinig concrete kennis en data over.

Klimaatrisico's zijn ongelijk verdeeld over bevolkingsgroepen en gebieden

Wel wordt al duidelijk dat de effecten van klimaatverandering sommige groepen harder raken dan andere: ouderen en zieken (hitte), mensen in steden (hitte, funderingsschade, beperkingen spoorvervoer) of in landelijke gebieden (natuurbranden, beperkingen wegennet in verband met grotere afhankelijkheid van auto), mensen met minder financiële middelen (hitte, funderingsschade, hogere prijzen door droogte/wateroverlast in de landbouw of door beperkingen binnenvaart). Klimaatrisico's vertonen ook ruimtelijke verschillen, bijvoorbeeld: regionale wateren zonder waterkeringen (Roer, Gulp, Geul, Geleenbeek) zijn kwetsbaar voor wateroverlast, hoge zandgronden zijn gevoelig voor verdroging, het westen van Nederland is gevoelig voor externe verzilting, in het zuidoosten van Nederland zijn er meer dagen met temperatuur boven de 30 °C vergeleken met de rest van Nederland, gebouwen met kwetsbare fundering staan vaak op slappe bodems in het westen en noorden van het land en in het rivierengebied.

8.4 Afwegingen voor tijdige klimaatadaptatie

Adaptatie gericht op het verminderen van de blootstelling en/of gevoeligheid vraagt vaak om een vooruitziende blik in adaptatiebeleid en om tijdige inzet op de uitvoering. Vanuit dit perspectief wordt in deze paragraaf een aantal afwegingen beschreven, gerelateerd aan afwegingsaspecten die samenhangen met snelheid van adaptatie, zoals omlooptijd ('levensduur') van investeringen, doorlooptijd van beleidsbeslissing tot realisatie en waar integrale keuzes nodig zijn. Al deze aspecten kunnen redenen zijn voor een tijdige inzet van klimaatadaptatie, zie de aandachtspunten voor het beleid in paragraaf 9.2. Het is uiteindelijk een politieke en beleidsmatige afweging wat als prioriteit bestempeld wordt, en welke afwegingsaspecten meer of minder zwaarte meekrijgen in deze prioriteitstelling.

Lange beslistermijnen bij complexe afwegingen

Sommige adaptatiemaatregelen vragen een complexe afweging en kunnen daarmee een lange doorlooptijd hebben. Het gaat hier vooral om afwegingen waarbij veel partijen en belangen betrokken zijn. Dit is het geval bij maatregelen rond de verdeling van zoetwater in tijden van droogte, en het aanpassen van grondwaterpeilen ten behoeve van bijvoorbeeld drinkwaterwinning, nat archeologisch erfgoed, natuur of funderingen. Aanpassing van grondwaterpeilen vraagt een afweging tussen verschillende belangen: hogere grondwaterstanden voor archeologie en natuur versus lagere grondwaterstanden in het voorjaar voor de landbouw. De verdringingsreeks regelt momenteel de verdeling van zoetwater in tijden van schaarste, en staat toenemend onder druk vanwege herhaaldelijke droogtes met een grote vraag naar water, terwijl tegelijkertijd de beschikbaarheid van water en de waterkwaliteit afnemen. Dit vraagt om een (herziende) afweging van deze belangen, waarbij veel partijen betrokken zijn. Hetzelfde geldt voor het beter vasthouden van water als buffer voor droge periodes, terwijl wateroverlast zoveel mogelijk beperkt moet blijven. Dit vraagt om aangepast waterbeheer en verbetering van de waterberging in stedelijk en landelijk gebied, bijvoorbeeld door verbeteren van de bodemkwaliteit en lokale, tijdelijke opslag van water, wat lange om- en doorlooptijden kent met veel betrokken partijen.

Lange omloop- en realisatietijden bij maatregelen voor klimaatbestendige inrichting

Het klimaatbestendig inrichten van Nederland is vaak gekoppeld aan grote investeringen die voor de lange termijn worden gedaan, en daarmee langdurig vastleggen hoe Nederland klimaatrisico's kan beperken, verminderen of opvangen. Voorbeelden zijn de aanleg of vernieuwing van transportinfrastructuur zoals het spoor, water- en wegennet, maatregelen ten behoeve van de waterveiligheid zoals dijken, keringen en gemalen, of bij nieuwbouw, inrichting of aanpassing van woningen en de leefomgeving, rekening houdend met meer hitte, droogte en wateroverlast. De omlooptijd ('levensduur') van dergelijke investeringen ligt tussen de 40-120 jaar voor gebouwen, dijken en transportinfrastructuur (Philibert & Pershing 2002) en ruimtelijke veranderingen zijn binnen één generatie al min of meer onomkeerbaar (PBL 2015). De tijd die nodig is van beleidsbeslissing tot realisatie is vaak vooraf lastig in te schatten, maar ligt rond de 14 jaar bij nationale infrastructurele projecten (IenM 2016), 10 jaar bij woningbouw (BZK en VRO 2023) en bij het verplaatsen drinkwaterwinning (Waterspiegel 2017) en 8-10 jaar bij energie infrastructuur (Klimaatcoalitie van bedrijven en NVDE 2021). Vanwege het drukke ruimtegebruik in Nederland is er vaak letterlijk weinig ruimte voor adaptatiemaatregelen, of moet die ruimte lang van tevoren gereserveerd worden. Dit onderstreept de noodzaak om vooraf keuzes te maken bij lange termijn investeringen om Nederland klimaatbestendig in te richten.

Adaptatiemaatregelen met lange omlooptijden lopen nu al tegen grenzen aan. Bij drinkwater kan men op korte termijn proberen te sturen op de vraag, maar verplaatsen of aanleg van nieuwe wingebieden kost veel tijd. Bij transportinfrastructuur zijn alternatieve routes vaak beperkt mogelijk en niet altijd wenselijk (bijvoorbeeld verplaatsing van vervoer over water naar weg), terwijl aanpassing van het netwerk veel tijd vergt. Regulier onderhoud of vervanging biedt kansen om mee te koppelen en (meer) klimaatadaptief in te richten, maar er is ook aandacht nodig om structurele verbeteringen door te voeren om aan te passen aan het veranderende klimaat. Een voorbeeld hiervan is het versterken van de veerkracht van de natuur door het ontwikkelen en verbinden van natuurgebieden en door andere drukfactoren te verminderen. Een ander voorbeeld is het aanpassen van woningen en de leefomgeving aan meer hitte, droogte en wateroverlast, om de gevolgen voor gezondheid, funderingsschade en schade aan gebouwen zo veel mogelijk te beperken. Bij keuzes die nu gemaakt worden met betrekking tot woningbouw, wegebouw, spoor of andere infrastructurele objecten, moet goed worden meegenomen welke impact klimaatverandering de komende decennia zal hebben, om hiermee rekening te houden in de afweging.

Reactieve- en herstelmaatregelen kunnen lange voorbereidingstijd hebben

Reactieve- en herstelmaatregelen moeten snel inzetbaar zijn op het moment dat het nodig is, maar kunnen een lange voorbereidingstijd hebben. Reactieve maatregelen worden genomen op het moment dat een klimaatgebeurtenis plaatsvindt, waarbij ingrijpen dringend is om de impact te verkleinen. Voor het goed organiseren van reactieve maatregelen kan een lange voorbereidingstijd nodig zijn, waardoor het belangrijk is om tijdig ermee te beginnen. Dit geldt bijvoorbeeld voor waarschuwingen bij risico's die op korte termijn worden verwacht, zoals hitte, wateroverlast of natuurbrand. Zulke waarschuwingen kunnen effectief zijn in het aanpassen van het gedrag van mensen en daarmee het verkleinen van de impact, maar vragen wel om een goed opgezet systeem van informatie verzamelen, interpreteren en vervolgens op het juiste ruimtelijke schaalniveau of naar de meest kwetsbare groepen te communiceren. In dit kader heeft het KNMI het Early Warning Centre opgericht: een nationaal adviescentrum om kort van tevoren te waarschuwen voor extreem weer. Het RIVM activeert het Nationaal hitteplan (ook gemeentes hebben vaak lokale hitteplannen) om kwetsbare groepen te waarschuwen en advies te geven, om zo om te gaan met de

gezondheidseffecten van hitte. Een ander voorbeeld betreft de bestrijding en beheersing van natuurbranden, ook hier is een goede voorbereiding en organisatie nodig, bij de veiligheidsregio's en de hulpdiensten.

Herstelmaatregelen worden gedaan nadat een risico daadwerkelijk heeft plaatsgevonden, met het doel de schade zo snel mogelijk te herstellen. Dit vraagt vooral tijdige voorbereiding in die gevallen waar de herstelkosten hoog zijn, zoals bij schade aan de gebouwde omgeving en infrastructuur bij wateroverlast en bij schade aan funderingen of aan cultureel erfgoed bij droogte. Voor een snel herstel is het nodig om vooraf duidelijkheid te hebben over wie de kosten draagt voor het herstel, en om welke orde van grootte het gaat.

9 Aandachtspunten voor beleid

In dit rapport richten we ons op klimaatrisico's. Om context te geven bij de huidige analyse van de klimaatrisico's, beschrijven we in deze paragraaf kort een aantal beleidstrajecten van de rijksoverheid die belangrijk zijn voor klimaatadaptatie (paragraaf 9.1; zie ook CAS 2024). Een uitgebreide analyse van adaptatiebeleid wordt naar verwachting begin 2026 gepubliceerd (zie hoofdstuk 1). In paragraaf 9.2 geeft het PBL aandachtspunten voor beleid en samenleving, gebaseerd op de analyse van de huidige klimaatrisico's. Tot slot besteden we aandacht aan de beperkingen van deze klimaatrisicoanalyse. We kijken hierbij ook naar de kennisleemtes op het gebied van klimaatrisico's en adaptatie, zoals aangegeven door kennisinstellingen, het PBL en andere bronnen (paragraaf 9.3).

9.1 Huidig beleid rond klimaatadaptatie

Belangrijkste beleidstrajecten: Nationale klimaatadaptatiestrategie en Deltaprogramma

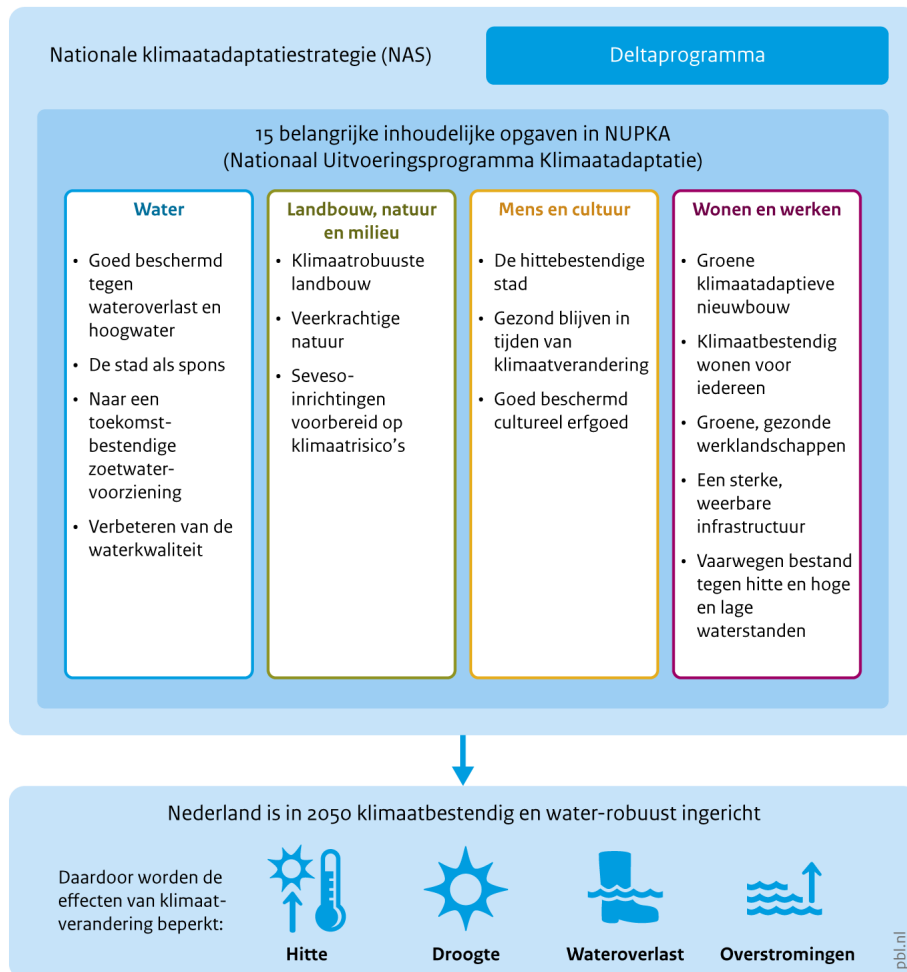
Het doel van het klimaatadaptatiebeleid is dat Nederland in 2050 'waterrobuust' en klimaatbestendig is. Het kader hiervoor is de Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS) (IenW 2016), en het omvat onder andere het Nationale Deltaprogramma (DP) (zie figuur 9.1). In de NAS 2016 wordt gesteld dat 'de effecten van klimaatverandering voor Nederland moeten worden verkleind of ten minste beheersbaar moeten blijven.'

Het Deltaprogramma is een nationaal programma waaraan gemeenten, waterschappen, provincies en het Rijk deelnemen. Het doel is Nederland waterrobuust en klimaatbestendig te maken. Het programma is onderverdeeld in drie thema's: waterveiligheid, zoetwatervoorziening en ruimtelijke inrichting, verdeeld over zeven gebieden (Deltaprogramma 2024). Waterveiligheid gaat om overstromingen vanuit het hoofdwatersysteem van Nederland: de kust en de grote wateren. Het thema zoetwater betreft de zoetwaterbeschikbaarheid voor uiteenlopende doeleinden, zoals landbouw en drinkwaterproductie. Onder ruimtelijke inrichting vallen de aanpak van wateroverlast, gevolgbepijking van overstromingen, droogte en hitte in het landelijk en stedelijk gebied en ook de aanpak van vitale en kwetsbare functies (zoals energie, ICT, infrastructuur en drinkwaterproductie).

De NAS omvat, naast alle onderwerpen die meegenomen worden in het Deltaprogramma, adaptatiebeleid voor sectoren, thema's en klimaatrisico's die niet of in mindere mate in het Deltaprogramma aan de orde komen. Denk hierbij aan gezondheid, de gebouwde omgeving, cultureel erfgoed, natuur, natuurbranden en waterkwaliteit.

Figuur 9.1

Samenhang Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS) en Deltaprogramma



Bron: PBL

De uitwerking van de ambitie om Nederland in 2050 klimaatbestendig en waterrobust in te richten vindt plaats in de Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS) en het Deltaprogramma (DP).

Ook in Europees verband is er aandacht voor klimaatadaptatie. In het kader daarvan is er onlangs een Europese klimaatrisicoanalyse gepubliceerd (zie tekstkader 9.1).

Tekstkader 9.1

Europese klimaatrisicoanalyse: 'Europa is onvoldoende voorbereid op snel toenemende klimaatrisico's'

In Europa is men zich steeds bewuster van klimaatverandering en de risico's ervan voor mens, natuur en economie. Er zijn veel vragen, zoals: hoe groot zijn die klimaatrisico's, wat moet snel opgepakt worden, en hoe past dat in het beleid dat na de Europese verkiezingen vastgesteld zal worden? Om hierop een antwoord te geven heeft het Europese Milieu Agentschap (EMA) recent de eerste Europese Klimaatrisicoanalyse gepubliceerd (EEA 2024).

Europa is het snelst opwarmende continent ter wereld. In de afgelopen jaren was er sprake van extreme hitte, droogte, natuurbranden en overstromingen. Deze fenomenen zullen verergeren, zelfs in optimistische scenario's van klimaatopwarming. Dit zal de levensomstandigheden in heel Europa beïnvloeden.

In de analyse staat onder meer dat de veranderingen in het klimaat nu al een bedreiging vormen op verschillende gebieden, waaronder energie- en voedselzekerheid, biodiversiteit, infrastructuur, watervoorraden, financiële stabiliteit en de volksgezondheid. Heel Europa zal de gevolgen van klimaatverandering ondervinden. Regio's in Zuid-Europa en laaggelegen, dichtbevolkte kustgebieden zijn extra kwetsbaar, omdat daar een combinatie optreedt van meerdere klimaatrisico's. Meer actie is vereist om ecosystemen in stand te houden en mensen en infrastructuur te beschermen tegen hitte, overstromingen en natuurbranden. Ook moet volgens het EMA de levensvatbaarheid van Europese solidariteitsmechanismen, zoals het Solidariteitsfonds van de EU, veilig worden gesteld.

In haar rapport waarschuwt de EMA dat klimaatrisico's sneller toenemen dan waar samenlevingen in Europa op voorbereid zijn, omdat de uitvoering van beleid achterloopt. Beleid en adaptatiemaatregelen op Europese schaal houden geen gelijke tred met de snel groeiende risico's door klimaatverandering. In de EMA-analyse wordt benadrukt dat, om klimaatrisico's in Europa aan te pakken en te verminderen, daadkrachtige maatregelen nodig zijn, waarbij de EU en haar lidstaten samenwerken.

Aandacht voor versnelling na evaluatie NAS in uitvoeringsprogramma NUPKA

In 2022 voerden ORG-ID en de VU een evaluatie van de NAS uit. Zij bevelen onder meer aan om de aanpak van klimaatadaptatie te versnellen, de coördinatie hiervan te verbeteren en de bijbehorende verantwoordelijkheden te verhelderen. Eind 2023 is als vervolg op de NAS een 'Nationaal uitvoeringsprogramma klimaatadaptatie' (NUPKA) gepubliceerd (IenW e.a. 2023). In het NUPKA staat welke aanpak in gang is gezet voor de komende jaren, welke extra maatregelen nodig zijn en wat er nodig is om te versnellen. Ook bevat het NUPKA vijftien inhoudelijke opgaven (zie ook figuur 9.1). Het uitvoeringsprogramma legt een basis voor de coördinatie van klimaatadaptatiebeleid en verheldering van de verantwoordelijkheden. Er is o.a. specifiek aandacht voor de sociale dimensie:

- Het uitgangspunt 'inclusiever'; voor en door iedereen;
- De prioriteit van rechtvaardigheid in het adaptatiebeleid.

En voor diverse nieuw geïdentificeerde inhoudelijke opgaven, zoals:

- Verbetering van de waterkwaliteit.
- Voorbereiden op klimaatrisico's van Brzo-bedrijven (bedrijven waar met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen wordt gewerkt).
- Groene, gezonde woon- en werkomgeving.
- Bescherming van cultureel erfgoed.

Verankering klimaatadaptatie in sectoraal beleid

Klimaatadaptatie raakt meerdere sectorale beleidstrajecten. De adaptatiemaatregelen en afspraken die uit de NAS en het Deltaprogramma (hierna: DP) voortvloeien, moeten daarom worden verankerd in vele verschillende beleidsdossiers. Het gaat daarbij niet alleen om Rijksbeleid, maar ook het provinciaal en gemeentelijk beleid, en de beleidsplannen van de waterschappen. Hieronder enkele voorbeelden van aan adaptatie gerelateerde beleidstrajecten:

- In de Nota Ruimte (BZK 2023) worden structurerende keuzes voor de korte termijn en richtinggevende uitspraken voor de lange termijn voor de ruimtelijke inrichting van Nederland in samenhang gepresenteerd voor 2030, 2050 en 2100. In de nota staan onder meer principes

en uitgangspunten uit de beleidslijn ‘Water en Bodem Sturend’ (IenW 2022), die inhouden dat bij de inrichting van Nederland meer rekening moet worden gehouden met het water- en bodemsysteem. Ook staan in de Nota Ruimte de te maken keuzes voor het landelijk gebied (zie ook Nationaal Programma Landelijk Gebied, LNV et al. 2022).

- Voor het beleid ten aanzien van crisisbeheersing bij onder meer natuurbranden en hoogwater bestaan nu individuele beleidsplannen. Overkoepelend is de Veiligheidsstrategie voor het Koninkrijk der Nederlanden, vertaald naar een Landelijke agenda crisisbeheersing, het belangrijkste beleidsdocument. Cultureel erfgoed is nog niet opgenomen in de huidige NAS (IenW 2016), wel in het NUPKA.
- Rampenbestrijding en crisisbeheersing door de veiligheidsregio’s: Nederland is verdeeld in 25 veiligheidsregio’s, die zich inzetten voor de veiligheid van de inwoners in een bepaald gebied. Ze maken afspraken over de aanpak van rampen en crises, inclusief klimaatrisico’s (zie tekstkader 9.2). Tegelijkertijd zijn veiligheidsregio’s in grote mate afhankelijk van gemeenten, provincies en waterschappen. Deze maken bijvoorbeeld keuzes op het gebied van ruimtelijke inrichting, die op hun beurt weer relevant zijn voor de veiligheid en de veiligheidsregio’s.

Tekstkader 9.2

Klimaatrisico’s: werk voor de veiligheidsregio’s?

Op verzoek van het PBL heeft het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV) onderzocht wat de stand van zaken is van de rampenbestrijding en crisisbeheersing in relatie tot de gevolgen van klimaatverandering (Bakker et al. 2023). De focus van het onderzoek lag op de veiligheidsregio’s, omdat deze een leidende rol hebben bij crisisbeheersing. Op basis van de wet- en regelgeving heeft de veiligheidsregio de taak risicoprofielen op te stellen, risico’s te beheersen door te adviseren op veiligheid, rampenbestrijding te organiseren, crises te beheersen en de risico- en crisiscommunicatie op zich te nemen. Aanvullend zien veiligheidsregio’s voor zichzelf een netwerkfunctie weggelegd, maar die rol is niet specifiek voor klimaatgerelateerde risico’s.

Verschillende klimaatrisico’s, waaronder hitte en droogte, een koudegolf, plaatselijk noodweer, natuurbranden en overstromingen, zijn voor de veiligheidsregio’s van belang. Hiervan worden door de veiligheidsregio’s overstromingen, plaatselijk noodweer en hitte en droogte het meest relevant geacht. Er is beperkt zicht op cascade-effecten. Bakker et al. (2023) hebben onderzocht welke activiteiten de veiligheidsregio’s ontplooiën in het kader van de verschillende klimaatrisico’s, en welke lessen ze geleerd hebben uit verschillende praktijkvoorbeelden, zoals het hoogwater in Limburg in juli 2021.

Op basis van geëvalueerde klimaatgerelateerde incidenten is een aantal lessen te trekken, waaronder:

- **Rolverdeling en communicatie:** omdat er veel verschillende organisaties bij klimaatgerelateerde incidenten betrokken zijn, is het belangrijk te weten wie welke rol heeft, en af te stemmen over de risico- en crisiscommunicatie. Klimaatgerelateerde incidenten, zoals overstromingen en natuurbranden, kunnen leiden tot het besluit om te evacueren. Daarbij is zorgvuldig communiceren met betrokkenen van groot belang. Specifiek is hierbij aandacht nodig voor minder zelfredzame mensen.
- **Omgaan met tegenstrijdige belangen:** wanneer zich meerdere incidenten tegelijkertijd of op verschillende plaatsen voordoen, kan er sprake zijn van schaarste van mensen en middelen. Ook kan sprake zijn van persoonlijke betrokkenheid van hulpverleners bij het incident. Dit kan leiden tot tegenstrijdige belangen tussen organisaties, regio’s en/of gemeenten.

- **Aandacht nodig voor de nafase van klimaatgerelateerde incidenten:** bij het afschalen van de crisis-organisatie na een incident is aandacht nodig voor de overdracht naar de gemeentelijke organisatie. Daarbij is het nodig dat niet procedures maar het eindresultaat centraal staat. Er moet voldoende aandacht zijn voor nazorg, inclusief het zo goed mogelijk helpen van getroffen en bij de afhandeling van schade.

Activiteiten veiligheidsregio's

Vrijwel alle veiligheidsregio's beschikken over enige planvorming met betrekking tot klimaatincidenten, vooral gericht op overstromingen. Een groot deel van de planvorming is multidisciplinair, maar de mate waarin dit is uitgewerkt verschilt sterk per veiligheidsregio, net als de beschikbare menskracht. In het OTO-programma (opleiden, trainen, oefenen) van de veiligheidsregio's wordt aandacht besteed aan het thema klimaatverandering.

Veiligheidsregio's werken regelmatig samen met andere partners. Wie de belangrijkste partners zijn, verschilt per klimaatrisico, maar gemeenten worden het vaakst genoemd. Een derde van de veiligheidsregio's heeft beleid voor klimaatrisico's, vastgelegd in een regionaal beleidsplan of uitgewerkt voor een specifiek klimaatrisico. Bakker et al. (2023) signaleert dat er vanuit de veiligheidsregio's behoefte is aan meer integraal beleid voor klimaatrisico's, met een duidelijke verdeling van verantwoordelijkheden en concrete (beleids)keuzes over het ambitieniveau ('wat doen veiligheidsregio's wel of niet, wat zijn prioriteiten, wat is nodig voor de toekomst?').

9.2 Aandachtspunten voor het beleid

In dit stadium heeft het PBL nog geen uitgebreide analyse gedaan naar het klimaatadaptatiebeleid. Dit wordt geadresseerd in het rapport dat we begin 2026 zullen publiceren. Op basis van deze analyse van de huidige klimaatrisico's kunnen we echter wel al een aantal aandachtspunten voor het beleid afleiden.

Concrete doelen zijn nodig voor effectief klimaatadaptatiebeleid

Om effectief klimaatadaptatie-beleid te kunnen maken en concrete maatregelen te kunnen nemen, is het nodig concrete doelen en/of indicatoren te formuleren. Die zijn ook nodig om de voortgang te kunnen monitoren: zonder doelen (zoals normen waar je aan moet voldoen) is onduidelijk wanneer een klimaatrisico té hoog is en dus hoe klimaatbestendig Nederland is.

Concrete doelen zouden nodig zijn voor alle (beleids)sectoren die zich moeten aanpassen aan gevolgen van klimaatverandering. Afstemming tussen deze sectoren is van belang omdat adaptatiemaatregelen ook andere (beleids)sectoren kunnen raken. Ook is het belangrijk na te gaan of de maatregelen toekomstbestendig/ houdbaar zijn voor de lange termijn. In het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUPKA 2023) is het formuleren van doelen dan ook opgenomen als de eerste prioriteit. Vervolgens zijn een concreet tijdspad en stappenplan nodig om deze doelen binnen bereik te brengen.

Klimaatverandering vergroot de opgave voor bestaande problemen

Klimaatverandering versterkt tot nu toe vooral bestaande problemen – zoals de slechte toestand van de natuur of funderingsschade aan gebouwen – waardoor de opgave voor deze problemen toeneemt. Om verdere verslechtering door de geconstateerde toename in klimaatverandering te voorkomen, is het aan te raden adaptatiebeleid te versnellen en keuzes en uitvoering naar voren te

halen. Zo kan verdere verslechtering voorkomen worden. De uitvoering van het beleid om natuurdoelen te halen, zal de natuur bijvoorbeeld veerkrachtiger maken en de schade door klimaatverandering voor natuur beperken. Hetzelfde geldt voor gezondheidsproblemen door luchtverontreiniging en beleid voor verbetering van de luchtkwaliteit.

Kans op mismatch tussen adaptatiesnelheid en het tempo van klimaatverandering

Veel adaptatiemaatregelen voor grotere klimaatbestendigheid vergen tijd. Er zijn daardoor nu of op korte termijn al keuzes nodig zijn voor hoe Nederland om wil gaan met toegenomen klimaatrisico's. Adaptatiemaatregelen met lange om- en doorlooptijden dreigen op verschillende fronten geen gelijke tred te houden met de snel toegenomen risico's door klimaatverandering. Dit geldt bijvoorbeeld voor de aanleg of vernieuwing van transportinfrastructuur, werkzaamheden aan waterkeringen, en nieuwbouw, inrichting of aanpassing van woningen. Bij keuzes die nu gemaakt worden, moet goed worden meegenomen welke impact klimaatverandering de komende decennia zal hebben. Hiermee moeten beleidsmakers rekening houden in de afweging en de uitvoering, om een mismatch met het tempo van klimaatverandering te voorkomen.

Bestaande klimaatadaptatie loopt soms tegen grenzen aan en vraagt heroverweging

Door bestaande adaptatiemaatregelen is de schade van extreme weersituaties meestal beperkt gebleven. De ontwikkeling en toepassing van de momenteel geldende adaptatiemaatregelen en institutionele afspraken zijn echter gericht op de maatschappelijke behoeften en het klimaat van de afgelopen tientallen jaren. Bij de verwachte toekomstige klimaatverandering en de frequentere extremen zal dit beleid tegen grenzen aanlopen.

Dat geldt bijvoorbeeld voor het economisch risico van droogte voor de landbouw, waar beregening wordt toegepast in droge perioden. Maar schade aan de natuur en toenemende beregeningsverboden beperken de inzet hiervan, zeker als in de toekomst droogte toeneemt. Dit vraagt om een andere afweging tussen enerzijds waterafvoer, waar de inrichting en het beheer van het watersysteem nu vooral op is gericht, en anderzijds water vasthouden en bergen voor tijdens droge perioden. De uitkomst van deze afweging zal gevolgen hebben voor onze omgang met het watersysteem en de (on)mogelijkheden voor de verschillende functies die van het watersysteem gebruik maken, zoals drinkwaterwinning, land- en tuinbouw en natuur. De toegenomen droogte, het toegenomen waterverbruik en de afhankelijkheid van water om schade door klimaatrisico's te beperken, vragen om een integrale afweging van waterbeheer voor alle sectoren. In de huidige situatie vragen periodes van extreme droogte bijvoorbeeld al om een heroverweging van keuzes hoe om te gaan met toenemende beregeningsverboden en de mogelijke schade die door beregening aan de natuur ontstaat.

Aandacht voor combinaties en keteneffecten is nodig om klimaatrisico's niet te onderschatten

Klimaatdreigingen kunnen samenvallen, waardoor hun impact op de samenleving versterkt. In de afgelopen dertig jaar is dit waargenomen wanneer hitte en droogte gelijktijdig optreden. De watervraag neemt dan toe, terwijl de hoeveelheid beschikbaar water afneemt door extra verdamping.

Hetzelfde geldt voor combinaties en stapeling van klimaatrisico's, die gezamenlijk een grotere impact kunnen hebben. Dit is bijvoorbeeld het geval tijdens hittegolven bij het gecombineerde effect op de gezondheid van hitte, luchtverontreiniging en hogere pollenproductie. Keten-effecten maken dat een groot gebied en één of meerdere sectoren worden getroffen, doordat een klimaatrisico doorwerkt via een keten van reacties over tijd, sectoren of grenzen heen. Keten-effecten kunnen bestaande impacts vergroten of nieuwe risico's vormen. Zo kan schade door uitval

van vitale en kwetsbare infrastructuur hoog oplopen en leiden tot maatschappelijke ontwrichting, met name bij uitval van elektriciteit. Aandacht voor al deze combinaties en ketens is nodig om ervoor te zorgen dat het eindeffect van klimaatrisico's niet onderschat wordt.

Adaptatiebeleid is in ontwikkeling, maar nog niet altijd concreet en toekomstgericht uitgewerkt

Voor een aantal klimaatrisico's staat er al adaptatie(beleid) op de rails. Er worden al veel investeringen gedaan en kosten gemaakt om de effecten van klimaatverandering te verminderen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de bescherming tegen overstromingen, en ook in het voorkomen van wateroverlast. Ook is al veel onderzoek gestart of gedaan, bijvoorbeeld in het Deltaprogramma, waar sinds 2010 gewerkt wordt aan klimaatadaptatie. In dit programma zijn voorstellen voor deltabeslissingen en voorkeursstrategieën voorbereid, die vervolgens in beleid zijn verankerd. Daarnaast wordt binnen de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS) gewerkt aan aanvulling en uitvoering, onder andere in het kader van het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUPKA 2023).

De aanpassingen die gemaakt worden voor risico's van hitte, droogte en wateroverlast door piekbuien zijn vaak beperkter. Hetzelfde geldt voor combinaties die de impact van klimaatrisico's vergroten, zoals op gezondheidseffecten. In veel gevallen is het beleid hiervoor nog niet voldoende uitgekristalliseerd. Tegelijkertijd ontbreken (voor veel sectoren) heldere doelen, monitoring van de effectiviteit en de voortgang van klimaatadaptatie, waardoor het lastig is om vast te stellen of het beleid op koers ligt.

Veel beleid is vastgelegd in plannen of strategieën, niet in wettelijke doelen met een vastgestelde financiering en tijdsplan. Daardoor zal mogelijk niet al het beleid in de praktijk uitgevoerd worden. Daarnaast zijn diverse onderwerpen nog niet concreet uitgewerkt. Een aantal daarvan zitten nog in de fase van beleidsoriëntatie of beleidsbepaling. Dit komt onder meer doordat:

- Nog onvoldoende duidelijk is wat de omvang van het probleem is (bijvoorbeeld in het geval van cultureel erfgoed, bedrijventerreinen, hittestress of landbouwhuisdieren).
- Onduidelijk is wat de effectiviteit is van adaptatiemaatregelen (o.a. de inzet van 'groen' – bomen, struiken en planten - in stedelijk gebied).
- Niet duidelijk is wat de kosten en baten van klimaatadaptatie zijn en hoe beleid concreet gemaakt kan worden (bijvoorbeeld hoe om te gaan met bestaande gebouwde omgeving, of het maken van keuzes bij de uitwerking van 'water en bodem sturend', dat wil zeggen meer rekening houden met de draagkracht van water en bodem).

Afwegingen voor klimaatadaptatie zijn vaak complex en hebben lange doorlooptijd

De mogelijke aanpassingen voor klimaatverandering kunnen gericht zijn op een beperkt aantal doelgroepen, zoals aanpassing van gedrag van kwetsbare bevolkingsgroepen tijdens een hittegolf. De grote verwevenheid van functies en verschillende belangen maakt het vaak complex om keuzes te maken in adaptatiebeleid. In combinatie met vaak ook grote investeringen resulteert dit in fundamentele ruimtelijke- en verdelingsvraagstukken, bijvoorbeeld de verdeling van water in tijden van schaarste. Dit soort afwegingen met veel betrokken partijen kunnen lange om- en doorlooptijden hebben. Tegelijkertijd kost de uitvoering van klimaatadaptatief inrichten van de leefomgeving, met bestendige infrastructuur, woningbouw en technische adaptatie (sluizen, gemalen, dijken etc.) veel tijd. Dat maakt het urgent om tijdig keuzes te maken, zodat de uitvoering van klimaatadaptatie naar voren kan worden gehaald.

Houd rekening met veerkracht van samenleving: hier gelden andere afwegingen dan omvang klimaatrisico

Klimaatverandering grijpt in op alle facetten van het leven en in de samenleving, en heeft meerdere gezichten (zowel warmer en droger als natter). Een klimaatbestendige samenleving richt zich bij voorkeur niet alleen op aanpassingen gericht op één van deze factoren, zoals technische oplossingen als dijken of beregening, maar op een maatschappij die in ruimtelijke inrichting, productie en gedrag veerkrachtig kan reageren op alle effecten van klimaatverandering en, wanneer het nodig is, daar op de juiste manier mee om weet te gaan..

Om te komen tot veerkrachtige oplossingen, is het belangrijk om niet alleen te kijken naar de potentiële omvang van klimaatrisico's (de impact en waarschijnlijkheid), maar ook sociale aspecten mee te nemen, zoals rechtvaardige verdeling van klimaatrisico's en de kosten/baten van adaptatiemaatregelen, en inzicht in beleving van klimaatrisico's. Hiermee rekening houden in de beleidskeuze hoe om te gaan met een klimaatrisico, kan het draagvlak voor (snelle) adaptatie vergroten.

Regie van het Rijk is nodig op integratie en consistentie van klimaatadaptatie in al het beleid

Omdat klimaatverandering impact heeft op een groot aantal sectoren en maatschappelijke actoren, moet klimaatadaptatie verankerd worden in veel sectoraal beleid, zoals het ruimtelijk beleid, woningbouwbeleid, natuurbeleid en landbouwbeleid. Om klimaatrisico's in Nederland tijdig aan te pakken en te verminderen, is regie van het Rijk noodzakelijk voor risico's die raken aan meerdere belangen en aan opgaven rondom ruimtelijke inrichting, waterbeheer en infrastructuur.

Naast regie vraagt dit ook om gecoördineerde acties van- en samenwerking tussen Rijk, provincies, waterschappen en gemeentes. Bovendien bestaan er verbindingen tussen klimaatadaptatie en andere transities en ontwikkelingen, zoals natuurherstel, de woningbouwopgave en de transities op het gebied van landbouw en energie. Maatregelen in het ene dossier werken door in het andere. Dat kan fout gaan ('maladaptatie') of juist kansen bieden om beleid op elkaar aan te laten sluiten. Ook dit vraagt om bovenregionale regie om er voor te zorgen dat klimaatadaptatie op een consistente manier en in de volle breedte wordt ingevuld.

Toekomstgerichte, robuuste klimaatadaptatie vraagt om overkoepelende structurele keuzes

Door het intensieve ruimtegebruik in Nederland zijn gebruiksfuncties sterk verweven, waardoor aanpassingen aan klimaatverandering complex zijn. Vaak vraagt klimaatadaptatie om afwegingen tussen belangen. Dit resulteert in overkoepelende, structurele keuzes, bijvoorbeeld gekoppeld aan het uitgangspunt in het beleid dat de water- en bodemcondities randvoorwaarden zijn die de ontwikkelingen in het gebied bepalen.

Regie van het Rijk is nodig om deze overkoepelende keuzes te maken en er voor te zorgen dat adaptatie vervolgens verankerd wordt in alle beleidsvelden en op alle bestuurlijke niveaus, en ook in de hele samenleving op een rechtvaardige en consistente manier wordt uitgevoerd. Het is van belang dat zowel natuur en milieu als sociale en culturele aspecten goed worden meegenomen in de afwegingen. De keuzes die tot nu toe bij klimaatadaptatie worden gemaakt, zijn juist veelal gericht op economische belangen (IenW et al. 2023). Er zou bijvoorbeeld kunnen worden overwogen om cultureel erfgoed een plek te geven in de verdringingsreeks die gebruikt wordt in droge perioden.

Toekomstbestendige keuzes vragen nu om sturende rol klimaatadaptatie

Voor een toekomstbestendige invulling is het aan te raden dat klimaatadaptatie sturend kan zijn bij keuzes voor de langere termijn, vooral als het gaat om keuzes die gekoppeld zijn aan grote investeringen. Concreet gaat het dan bijvoorbeeld om:

- De woningbouwopgave. Deze opgave vraagt om integratie van klimaatadaptatie in de plan- en besluitvorming van stedelijke ontwikkeling: waar en hoe kan er gebouwd worden, rekening houdend met overstromingen, wateroverlast en hitte?
- De structurerende keuzes voor het landelijk gebied die nu voorliggen in het beleid: welke activiteiten kunnen waar in het landelijk gebied plaatsvinden en in welke vorm, rekening houdend met onder andere de draagkracht van water en bodem? Dit wordt uitgewerkt in onder meer het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG), gekoppeld aan het beleidsuitgangspunt van 'water en bodem sturend' (IenW 2022).
- Er liggen grote keuzes ten aanzien van het watersysteem. Die keuzes hangen samen met het toekomstbestendig gebruik van de Nederlandse wateren voor vele functies, zoals afwegingen over de waterverdeling, gevolgen voor de waterkwaliteit en bescherming tegen overstromingen.

Door klimaatadaptatie leidend en structurerend te laten zijn in deze grote voorliggende vraagstukken, kunnen klimaatrisico's in Nederland verminderd worden en kan worden toegewerkt naar toekomstbestendige oplossingen.

9.3 Beperkingen van deze klimaatrisicoanalyse

Een complete klimaatrisicoanalyse vraagt om een grote hoeveelheid kennis en informatie, op een breed spectrum van onderwerpen. Daarom is het belangrijk dat er inzicht is in de lacunes in kennis en informatie, zodat gewerkt kan worden aan de invulling daarvan. In deze paragraaf worden de belangrijkste lacunes beschreven, gebaseerd op de ervaringen in deze klimaatrisicoanalyse, maar ook op de Kennisagenda klimaatadaptatie (IenW et al. 2023). Ook geven we in deze paragraaf een aantal andere beperkingen van de voorliggende analyse aan, om de resultaten in dit rapport in de juiste context te plaatsen.

Lacunes op het gebied van klimaatrisico's en klimaatadaptatie

Verschillende aspecten van klimaatrisico's zijn nog niet voldoende bekend.

- **Attributie van klimaatrisico's:** van veel klimaatrisico's is niet bekend welk deel van de kosten, schade of maatschappelijke impact daadwerkelijk door de klimaatverandering wordt veroorzaakt (attributie). Klimaatrisico's worden veelal ook door andere aspecten beïnvloed, zoals bevolkingsopbouw, gezondheidstoestand, gedrag van mensen en activiteiten van industrie, landbouw en drinkwaterbedrijven. Ook is er altijd variatie in het weer, met nattere en drogere perioden, en is niet altijd duidelijk wat aan klimaatverandering kan worden toegeschreven. Daarom is eerst meer kennis nodig over de bijdrage van klimaatverandering aan specifieke weergebeurtenissen. Het KNMI werkt hieraan, ook in internationaal verband. Daarnaast is meer kennis nodig over hoe klimaatdreigingen kunnen doorwerken binnen een specifieke sector. Hoe leidt een risico tot een impact, en wie draagt de gevolgen?
- **Cascade- en combinatie-effecten** (zie ook paragraaf 3.8): cascade- en combinatie-effecten zijn moeilijk in beeld te brengen, omdat de omvang en snelheid van de vervolgiffecten afhankelijk zijn van de specifieke omstandigheden. Zo ontbreekt het aan kennis over de samenhang tussen infrastructuur en daarvan afhankelijke functies.

- **Kennis over de financiering en de financiële haalbaarheid van klimaatadaptatie:** er bestaat nog veel onduidelijkheid over de financiering van- en verantwoordelijkheid voor klimaatadaptatie, en de rol van overheden, private partijen en financiële instrumenten daarbij (IenW e.a. 2023). Hierbij horen vragen zoals:
 - Wat zijn de kosten van klimaatrisico's voor de verschillende sectoren?
 - Wat is de economische haalbaarheid van verschillende oplossingen voor bijvoorbeeld drinkwater, rioleringen en afvalwaterzuivering?
 - Kan klimaatadaptatie volledig publiek gefinancierd worden, of er is ook private financiering nodig (van met name financiële partijen: banken, verzekeraars en beleggers)?

Vanuit de Kennisagenda klimaatadaptatie van IenW wordt hier verder aandacht aan besteed. Deze nieuwe kennis moet worden meegenomen in het klimaatadaptatiebeleid, net als de verdeling van verantwoordelijkheden over betrokken partijen. Dit vraagt ook inzet vanuit de andere beleidsverantwoordelijke departementen, voor woningbouw/gebouwde omgeving, natuur, landbouw, gezondheid, energietransitie, etc.

Lacunes met betrekking tot klimaatrisico's voor specifieke (beleids)sectoren

De hoeveelheid kennis en informatie verschilt per (beleids)sector. Hieronder wordt een aantal voorbeelden gegeven van lacunes waar we in dit traject tegenaan zijn gelopen, maar dit is zeker geen uitputtende lijst.

- **De klimaatrisico's voor gezondheid:** onder meer de rol van verschillende, zich opstapelende omstandigheden (hitte, luchtverontreiniging en pollen) tijdens een hittegolf bij het toenemen van sterfte en ziektelast is onbekend. Ook is weinig bekend over mentale gezondheid in relatie tot klimaatverandering en over de impact van Uv-straling. Binnen het programma ZonMw zijn een kennisagenda en een voorstel voor een onderzoeksprogramma opgesteld. Daar is tot op heden geen financiering voor georganiseerd.
- **De klimaatrisico's voor cultureel erfgoed:** op dit moment ontbreekt het aan monitoringsgegevens over de impact van klimaatverandering op nat archeologisch erfgoed, gebouwd erfgoed en historisch groen, met name in relatie tot droogte. Hetzelfde geldt voor monitoring van adaptatiemaatregelen, beperkingen bij adaptatiemaatregelen en adaptatiekosten. De Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) is verschillende onderzoeken gestart om hier meer inzicht in te krijgen. Zo monitoren zij nu al een rijksmonument op een kleibodem waar scheurvorming optreedt door extreme droogte.
- **Natuurbranden:** systematische monitoring en analyse over het voorkomen, de locatie en de oorzaak van natuurbranden is nog onvoldoende. Hetzelfde geldt voor de maatschappelijke en economische gevolgen van natuurbranden op basis van gegevens over ongevallen, persoonlijk letsel, dodelijke slachtoffers, schade aan gebouwen en infrastructuur, evacuaties, fysieke en mentale gezondheid, dieren, verkeersvertragingen en het aantal en duur van ingezette middelen. In 2017 is een programma voor de monitoring van natuurbranden gestart. Brandweer Nederland houdt, in samenwerking met Wageningen University and Research (WUR), sinds 2017 data bij over natuurbranden in Nederland. Hierbij ontbreekt echter nog het registreren van oorzaken en schade.

Andere beperkingen van deze klimaatrisicoanalyse

De afbakening van deze analyse is al eerder aan bod gekomen, onder andere in hoofdstuk 1 en in paragraaf 3.3. Dit brengt, naast de lacunes in kennis en informatie, de volgende beperkingen met zich mee:

- Deze analyse focust op klimaatrisico's in de huidige situatie. Dat betekent bijvoorbeeld dat zeespiegelstijging, die tot nu toe nog beperkt is, niet is meegenomen. In de komende verkenning van toekomstige klimaatrisico's zal dat wel het geval zijn, vanwege de te verwachten stijging.
- Als gevolg van pragmatische beperkingen (tijd en budget) zijn niet alle relevante sectoren in deze analyse volledig meegenomen. Dit geldt onder andere voor energie, ICT en industrie. In de toekomstverkenning van klimaatrisico's die het PBL als volgende stap uitvoert, zal de scope van de studie verder worden uitgebreid.
- De keuze van klimaatrisico's die in deze studie per sector zijn uitgewerkt, is gebaseerd op *expert judgement* van de betrokken kennisinstututen. Gebaseerd op voortschrijdend inzicht zal deze keuze in het vervolg van de klimaatrisicoanalyse mogelijk moeten worden herzien.
- We hebben een methodiek opgezet waarmee, aanvullend op de grootte van klimaatrisico's, aanvullende afwegingsaspecten in beeld kunnen worden gebracht. Deze aanvullende afwegingsaspecten kunnen een rol spelen bij de prioriteitsstelling en afwegingen in het beleid. Een belangrijk onderdeel is een rechtvaardige verdeling van klimaatrisico's en -adaptatiemaatregelen. In deze fase zijn de verschillende afwegingsaspecten nog maar beperkt ingevuld. In het vervolgtraject gaan we dit gestructureerd oppakken.
- We hebben in dit stadium nog geen uitgebreide beleidsanalyse gedaan, ook die nemen we mee in het vervolgtraject.

Referenties

Referenties bij hoofdstuk 1

- ANV (2019), *Geïntegreerde risicoanalyse Nationale Veiligheid: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)*.
- Betts, R.A., Haward, A.B. & Pearson, K.V. (2021), *The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report*, London: Prepared for the Climate Change Committee.
- Copernicus (2023), *European state of the climate 2022*, doi: 10.24381/gvaf-ho66.
- Eden, J.M., Kew, S.F., Bellprat, O., Lenderink, G., Manola, I., Omrani, H. & G.J. van Oldenborgh (2018), *Extreme precipitation in the Netherlands: An event attribution case study*. *Weather and Climate Extremes* 21: 90-101.
- Hänsel, S., Hoy, A., Brendel, C. and M. Maugeri, (2022), Record summers in Europe: Variations in drought and heavy precipitation during 1901–2018. *International Journal of Climatology* 42: 6235–6257).
- IenW (2016), *Aanpassen met ambitie: nationale klimaatadaptatiestrategie 2016 (NAS)*, Den Haag.
- ISO (2021), ISO 14091:2021. *Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment*.
- Kahlenborn, W., Porst, L., Voß, M., Fritsch, U., Renner, K., Zebisch, M., Wolf, M., Schönthaler, K. & Schauser, I. (2021), *Summary*, Dessau-Roßlau, Germany: German Environment Agency.
- Ligtvoet, W. et al. (2021), *Navigeren naar een klimaatbestendig Nederland. Drie varianten om de uitvoering van het klimaatadaptatiebeleid op kortere en langere termijn te sturen en te monitoren*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Otten, H., Kuiper, J. & Van der Spek, T. (2000), *Weer een eeuw. Het weer in Nederland van 1900 tot 2000*.
- KNMI (2024), *De staat van ons klimaat 2023*, Bilthoven KNMI.
- PBL (2015a), *Aanpassen aan klimaatverandering – Kwetsbaarheden zien, kansen grijpen*, Den Haag.
- PBL (2015b), *Van risicobeoordeling naar adaptatiestrategie*, Den Haag.
- PBL (2015c), *Wereldwijde klimaateffecten - Risico's en kansen voor Nederland*, Den Haag
- PBL (2023a), *Nationale klimaatrisicoanalyse 2022-2026 – uitwerking analysemethodiek*, Den Haag.
- Watkiss, P., Betts, R.A., Fung, F., Harrison, P., Hunt, A., Lowe, J. & Kovats, S. (2021), *Method*, London: Prepared for the Climate Change Committee.

Referenties bij hoofdstuk 2

- Blöschl, G. et al. (2019), *Changing climate both increases and decreases European river floods*. *Nature* 573: 108-111.
- Burić, D. & M. Doderović (2021), *Changes in temperature and precipitation in the instrumental period (1951–2018) and projections up to 2100 in Podgorica (Montenegro)*. *International Journal of Climatology* 41 (Suppl. 1): E133-E149.
- Busuioc, A., Dobrinescu, A., Birsan, M.V., Dumitrescu, A. & A. Orzan (2015), *Spatial and temporal variability of climate extremes in Romania and associated large-scale mechanisms*. *International Journal of Climatology* 35: 1278–1300.

- Cardell, M.F., Amengual, A., Romero, R. & C. Ramis (2020), Future extremes of temperature and precipitation in Europe derived from a combination of dynamical and statistical approaches. *International Journal of Climatology* 40: 4800-4827.
- Cardoso, R.M., Lima, D.C.A. and P.M.M. Soares (2023), How persistent and hazardous will extreme temperature events become in a warming Portugal? *Weather and Climate Extremes* 41, 100600, doi: 10.1016/j.wace.2023.100600.
- Carvalho, D., Cardoso Pereira, S. and A Rocha (2021), Future surface temperatures over Europe according to CMIP6 climate projections: an analysis with original and bias-corrected data. *Climatic Change* 167: 10, doi: 10.1007/s10584-021-03159-0.
- Chapman, S.C., Watkins, N. and S. D.A. Stainforth (2019), Warming trends in summer heatwaves. *Geophysical Research Letters*, 46: 1634-1640.
- Ciavola, P. & J.A. Jiménez (2013), The record of marine storminess along European coastlines. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13, 1999-2002.
- Copernicus (2023), *European state of the climate 2022*, doi: 10.24381/gvaf-ho66.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024a). *Temperatuurextremen in Nederland, 1906-2022 (indicator 0589, versie 03, 15 augustus 2023)* www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024b). *Jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland, 1910-2022 (indicator 0508, versie 09, 15 augustus 2023)* www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024c). *Neerslagextremen in Nederland, 1910-2022 (indicator 0590, versie 03, 15 augustus 2023)* www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024d). *Temperatuur oppervlaktewater, 1910 - 2019 (indicator 0566, versie 05, 22 december 2020)* www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- Daniels, E.E. et al. (2014), Spatial precipitation patterns and trends in The Netherlands during 1951-2009. *International Journal of Climatology* 34, 1773-1784.
- Erlat, E., Türkes, M. & F. Aydın-Kandemir (2021), Observed changes and trends in heatwave characteristics in Turkey since 1950. *Theoretical and Applied Climatology* 145: 137-157.
- Eden, J.M., Kew, S.F., Bellprat, O., Lenderink, G., Manola, I., Omrani, H. and G.J. van Oldenborgh (2018), Extreme precipitation in the Netherlands: An event attribution case study. *Weather and Climate Extremes* 21: 90-101).
- European Environment Agency, 2017. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report*. EEA Report No1/2017, 410 pp.
- Gonzalez-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M. & N. Cortesi (2015), MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain and the trend in temperature (1951-2010). *International Journal of Climatology* 35: 4444-4463.

- Graham, D.J., Bierkens, M.F.P. & M.T.H. van Vliet (2024), Impacts of droughts and heatwaves on river water quality worldwide. *Journal of Hydrology* 629: 130590, doi: 10.1016/j.jhydrol.2023.130590.
- Guisado-Pintado, E. & D.W.T. Jackson (2018), Multi-scale variability of storm Ophelia 2017: The importance of synchronised environmental variables in coastal impact. *Science of the Total Environment* 630, 287-301.
- Haarsma, R.J. et al. (2013), More hurricanes to hit Western Europe due to global warming. *Geophysical Research Letters* 40, 1783-1788.
- Hardenbicker, P., Viergutz, C., Becker, A., Kirchesch, V., Nilson, E. & H. Fischer (2017), Water temperature increases in the river Rhine in response to climate change. *Regional and Environmental Change* 17: 299-308.
- IPCC (2021), *Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Final Government Distribution version.*
- IPCC (2023), IPCC Glossary Search, <https://apps.ipcc.ch/glossary/>, 23-3-2023
- Keizer, I., D. Le Bars, C. de Valk, A. Jüling, R. van de Wal, & S. Drijfhout (2023), *The acceleration of sea-level rise along the coast of the Netherlands started in the 1960s.* *Ocean science*, Volume 19: 991-1007, issue 4
- KNMI (2021), *Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert*, De Bilt: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- KNMI (2022), <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/zeespiegel-nederlandse-kust-stijgt-snel-door-klimaatverandering> (geraadpleegd 16-11-2023).
- KNMI (2023), *KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland*, KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03.
- KNMI (2024), *De staat van het klimaat 2023*. Bilthoven KNMI publicatie 24-01.
- Ligtvoet W. et al. (2023). *The geography of future water challenges; bending the trend*, The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Lionello, P. & L. Scarascia, (2018), The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change* 18: 1481-1493.
- Lorenz, R. et al. (2019), Detection of a climate change signal in extreme heat, heat stress, and cold in Europe from observations. *Geophysical Research Letters* 46, 8363-8374.
- Ma, F. et al. (2020), Unprecedented Europe Heat in June-July 2019: Risk in the Historical and Future Context. *Geophysical Research Letters* 47, e2020GL087809, doi. org/10.1029/2020GL087809.
- Mens, M.J.P. et al. (2022). Integrated drought risk assessment to support adaptive policymaking in the Netherlands. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 22, 1763-1776.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2005), *Watertekortopgave. Eindrapport Droogtestudie Nederland.* Rapport Rijkswaterstaat - RIZA 2005.015, 57 pp.
- Muis, S. et al. (2023), Global projections of storm surges using high-resolution CMIP6 climate models. *Earth's Future*, 11, e2023EF003479. <https://doi.org/10.1029/2023EF003479>.
- Malinovic-Milicevic, S., Radovanovic, M.M., Stanojevic, G. & B. Milovanovic, (2016), Recent changes in Serbian climate extreme indices from 1961 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology* 124: 1089-1098.
- Nordli, Ø. , Hestmark, G., Benestad, R.E. & K. Isaksen, (2015), The Oslo temperature series 1837-2012: homogeneity testing and temperature analysis. *International Journal of Climatology* 35: 3486-3504.

- Philip, D.Y. et al. (2020), Regional differentiation in climate change induced drought trends in the Netherlands. *Environmental Research Letters* 15, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab97ca>.
- Piticar, A., Croitoru, A.-E., Ciupertea, F.-A. & Gabriela-Victoria Harpa (2018), Recent changes in heat waves and cold waves detected based on excess heat factor and excess cold factor in Romania. *International Journal of Climatology* 38: 1777-1793.
- Rasmijn, L.M. et al. (2018), Future equivalent of 2010 Russian heatwave intensified by weakening soil moisture constraints. *Nature Climate Change* 8, 381-386.
- Ruosteenoja, K. et al. (2020), Thermal seasons in northern Europe in projected future climate. *International Journal of Climatology* 40, 4444-4462.
- Schlünzen, K.H. & S.I. Bohnenstengel (2016), Socioeconomic Impacts - Urban Climate, In: Quante, M. and F. Colijn (eds). *North Sea Region climate change assessment NOSCCA, Regional Climate Studies*, Springer Nature: 417-429.
- Spinoni, J., Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., Vogt, J. & T. Antofie (2015), Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology* 35: 4197-4209.
- Stahl, K., Weiler, M., van Tiel, M., Kohn, I., Hänslers, A., Freudiger, D., Seibert, J., Gerlinger, K. & G. Moretti (2022), Impact of climate change on the rain, snow and glacier melt components of streamflow of the river Rhine and its tributaries. CHR report no. I 28. International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR), Lelystad, the Netherlands.
- Steffelbauer, D.B. et al. (2022), Evidence of regional sea-level rise acceleration for the North Sea. *Environmental Research Letters* 17, 074002, doi: 10.1088/1748-9326/ac753a.
- Tanarhte, M., Hadjinicolaou, P. & J. Lelieveld (2015), Heat wave characteristics in the eastern Mediterranean and Middle East using extreme value theory. *Climate research* 63: 99-113.
- Teuling, A.J. (2018), A hot future for European droughts. *Nature Climate Change* 8, 364-365.
- utard, R. et al. (2019), Human influence on European winter wind storms such as those of January 2018. *Earth System Dynamics* 10, 271-286.
- Toreti, A. et al. (2022), *Drought in Europe August 2022*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi: 10.2760/264241, JRC130493.
- Toreti et al. (2022), *Water scarcity in the Netherlands August 2022*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/41027, JRC130436.
- Van Oldenborgh, G.J. et al. (2019), Human contribution to record-breaking June 2019 heatwave in France. report from the world weather attribution team (available at: https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/WWA-Science_France_heat_June_2019.pdf).
- Vautard, R. et al. (2020), Human contribution to the record-breaking June and July 2019 heatwaves in Western Europe. *Environmental Research Letters* 15, 094077, doi: 10.1088/1748-9326/aba3d4.
- Woolway, R.L., Weyhenmeyer, G.A., Schmid, M., Dokulil, M.T., de Eyto, E., Maberly, S.C., May, L. & C.J. Merchant (2019), Substantial increase in minimum lake surface temperatures under climate change. *Climatic Change* 155: 81-94.
- Zhou, B. et al. (2013), On the statistics of urban heat island intensity, *Geophysical Research Letters* 40: 5486-5491.

Referenties bij hoofdstuk 3 t/m 7

- AFM (2023), *Inprijzen klimaatrisico's op de woningmarkt. Risico's voor (potentiële) woningeigenaren en mogelijke oplossingsrichtingen*. Amsterdam: Autoriteit Financiële Markten.
- Agudelo-Vera, C.M., (2018), *Aanpak om de hotspots in het leidingnet terug te dringen*. Rapportnr. BTO 2018.024. Nieuwegein: KWR.
- ANV (2022), *Rijksbrede risicoanalyse nationale veiligheid. Themarapportage klimaat en natuurrampen*.
- Betgen, C.D., S. Boekhold, C. Boomsma, A. van Dijk, E.F. Hall, W. Hagens, J. Limaheluw, P. Ruysseenaars, J. van der Ree, A. Versteeg – de Jong (2024), *Gezondheidsrisico's van klimaatverandering*. RIVM-rapport 2023-0324
- Bles et al (2023), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523008062>
- Bijker, J.W., en Verstand, D. (2020), *Toepassing klimaatstresstest open teelten*. Wageningen Research, Rapport WPR-853.
- Brandweer Nederland (2023), *Natuurbrandscenario's 72blz* <https://www.brandweernederland.nl/wp-content/uploads/sites/2/2023/03/Natuurbrandscenario's-20230201-B.pdf>
- Boer G. en J. Knegtel, (2023), <https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/water-en-klimaat/documenten>, december 2023
- BZK en VRO (2023), *Plan van aanpak versnellen processen en procedures woningbouw*, Den Haag
- CBS (2024), *Toename stikstofoverschot in landbouw door droge zomer 2022*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/05/toename-stikstofoverschot-in-landbouw-door-droge-zomer-2022-21/3/2024>
- CBS <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-bevolking/bevolkingsteller> Geraadpleegd 26 maart 2024,
- CBS <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-bevolking/leeftijd/ouderen> Geraadpleegd 26 maart 2024
- CBS Woningvoorraad; eindstand voorraad <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82235NED/table?searchKeywords=woningvoorraad> Geraadpleegd 26 maart 2024
- CBS, PBL, RIVM & WUR (2023), 'Trend van boerenlandvogels, 1915-2021', indicator 1479, versie 14, 16 februari 2023, Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek, Planbureau voor de Leefomgeving; Bilthoven: RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; Wageningen: Wageningen University and Research, www.clo.nl
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024c), *Neerslagextremen in Nederland, 1910-2022* (indicator 0590, versie 03, 15 augustus 2023) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024e). *Woningbouw ontwikkeling op ongunstige locaties 2000 - 2021* (indicator 2212, versie 01, 14 december 2022) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2024f). *Invloed klimaatverandering op koude- en warmteminnende zeevissen, 1990-2021* (indicator 1583, versie 03, 20 november 2023) www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den

Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen

Deltacommissaris (2023), *Advies Deltacommissaris dijkversterkingsoperatie*. Brief aan de Tweede Kamer. <https://www.deltaprogramma.nl/documenten/publicaties/2023/11/28/brief-deltacommissaris-dijkversterkingsoperatie>

Deltares (2021a), *Klimaatgevoeligheid hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en spoor*, (bijlage bij KiM-rapport *Klimaatverandering en het mobiliteitssysteem*) | Publicatie | Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (kimnet.nl)

Deltares (2021b), *Handelingsperspectief Rijkswaterstaat voor plasvorming op het hoofdwegennet*, 27 december 2021

Deltares/TNO (2021), *Naar een kennisagenda funderingsproblematiek. Duiding van de omvang en aard van de problematiek en kennisvragen daarbij*, 53blz https://publications.deltares.nl/11206466_002.pdf

Deltares (2023a), *Overstroming van onbeschermd en beschermd gebieden langs het hoofdwatersysteem*. Factsheet. Delft, Deltares.

Deltares (2023b), *Overstroming van onbeschermd en beschermd gebieden langs het regionale watersysteem, en overstroming van gebieden door intense neerslag*. Factsheet. Delft, Deltares.

Deltares (2023c), *Zeespiegelmonitor 2022 11209266-000-ZKS-0001*

[Deltaprogramma zoetwater \(2021\), Deltaplan Zoetwater 2022-2027 Deltaplan+Zoetwater+2022-2027.pdf](https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/documenten/publicaties/2023/01/31/dash-board-signaalportaal-beregend-oppervlakte)

Deltaprogramma(2023), *dashbord signaalportaal, beregend oppervlakte* <https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/documenten/publicaties/2023/01/31/dash-board-signaalportaal-beregend-oppervlakte>

Deltaprogramma (2024), *Nu voor later Nationaal Deltaprogramma 2024*

Dogterom, J., Houben, S. en Wander, J. (2019), *Effecten van vochthuishouding en bodemtemperatuur op de aardappelplant*. Delphi rapport 18062. https://www.bo-akkerbouw.nl/files/Pdfs-Kennis-en-Innovatie/ProductiviteitAardappelWaterEnTemperatuur_190301_Literatuurstudie_BOAkkerbouw.pdf

EEA (2022a), *Conservation status of habitat types and species: datasets from Article 17, Habitats Directive 92/43/EEC reporting (2013-2018) – European Environmental Agency* [Conservation status of habitat types and species: datasets from Article 17, Habitats Directive 92/43/EEC reporting \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/conservation-status-of-habitat-types-and-species-datasets-from-article-17-habitats-directive-92/43/eeec-reporting).

EEA (2022b), *Population trend of bird species: datasets from Article 12, Birds Directive 2009/147/EC reporting (2013-2018) - PUBLIC VERSION - Apr. 2021*GDBGeopackageESRI:RESTOGC:WMS - European Environmental Agency [Population trend of bird species: datasets from Article 12, Birds Directive 2009/147/EC reporting \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/population-trend-of-bird-species-datasets-from-article-12-birds-directive-2009/147/ec-reporting)

Grootbanken (2024), *Climate change and the Dutch housing market: Insights and policy guidance based on a comprehensive literature review*. 15blz

Hardenbicker, P., Viergutz, C., Becker, A., Kirchesch, V., Nilson, E. & H. Fischer, (2017), *Water temperature increases in the river Rhine in response to climate change*. *Regional and Environmental Change* 17: 299–308.

Henkens, R.J.H.G., Cormont, A., Van Swaay, C.A.M., Wamelink, G.W.W. en F.G.W.A. Ottburg (2024), *Effect klimaatverandering op de haalbaarheid van de natuurdoelen; Invloed van temperatuurstijging, extreme droogte of natheid, zeespiegelstijging en verzilting op de doelen voor VHR, KRW, ecosysteemdiensten en algemene biodiversiteit*. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 260.

- Hinsberg, H van, M. Vonk, S. van der Esch en M. Hellegers (2024), *Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Hoogeveen, M. W., van Bommel, K. H. M., & Cotteleer, G. (2003), *Berekening in land- en tuinbouw; Rapport voor de Droogtestudie Nederland*. <https://edepot.wur.nl/29597>
- HWBP (2024), *Jaarbericht 2023. Resultaten*. Utrecht, Hoogwaterbeschermingsprogramma.
- IenW (2016), *Aanpassen met ambitie: nationale klimaatadaptatiestrategie 2016 (NAS)*, Den Haag.
- IenM (2016), *Spelregels van het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport*, Den Haag.
- IenW (2019), *Nederland beter weerbaar tegen droogte Eindrapportage beleidstafel droogte*. Den Haag, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- IenW (2022), *Voorkomen kan niet, voorbereiden wel. Allemaal aan de slag*. Eindadvies van de Beleidstafel wateroverlast en hoog water. Den Haag, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- ILT (2023), *Landelijk beeld van de staat van de primaire waterkeringen. Beoordelingsronde 2017-2023*. Den Haag, Inspectie Leefomgeving en Transport.
- Jong de A.E.E., J. van Beek, H. Korving, M. Koopmans & E. Boelee (2023), *Health effects of the 2021 flooding in Limburg*. Journal of Coastal and Riverine Flood Risk Vol.2, 2023.
- KCAF (2014), *Grondwateraanvulling voor funderingsbehoud - Een inspiratieboekje met voorbeelden uit de praktijk*.
- KCAF (2023), *Landelijk loket funderingsproblematiek Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek*. <https://www.kcaf.nl/landelijk-loket-funderingsproblematiek/> (bekeken april 2024)
- Kennisportaal Klimaatadaptatie [Spoorwegen - Klimaatadaptatie \(klimaatadaptatienederland.nl\)](https://spoorwegen-klimaatadaptatie.klimaatadaptatienederland.nl) geraadpleegd 02/2024.
- KIM (2021), *Klimaatverandering en het mobiliteitssysteem [Klimaatverandering en het mobiliteitssysteem | Publicatie | Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid \(kimnet.nl\)](https://www.kimnet.nl/publicatie/klimaatverandering-en-het-mobiliteitssysteem)*
- Klimaatcoalitie van bedrijven & NVDE (2021), *Pleidooi versnelling klimaatbeleid door Klimaatcoalitie van bedrijven*. <https://www.nvde.nl/wp-content/uploads/2021/10/Pleidooi-versnelling-besluiten-klimaatbeleid-versie15-nov-def-extra-logos.pdf>
- Klimaat-effectatlas Hitte - 3.2 Kans op spoorspattingen geraadpleegd 03/2024
- KNMI (2021), *Klimaat signaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert*, De Bilt: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
- KWR (2023a), *Risico's van klimaatverandering voor de drinkwatervoorziening door lage rivierafvoeren*. Factsheet. Nieuwegein, KWR. <https://library.kwrwater.nl/publication/71248829/factsheet-risicos-van-klimaatverandering-voor-de-drinkwatervoorziening-door-lage-rivierafvoeren/>
- KWR (2023b), *Risico's voor de drinkwatervoorziening door veranderende grondwaterbeschikbaarheid en watervraag*. Factsheet. Nieuwegein, KWR. <https://library.kwrwater.nl/publication/71248629/risicos-voor-de-drinkwatervoorziening-door-veranderende-grondwaterbeschikbaarheid-en-watervraag/>
- KWR <https://www.kwrwater.nl/projecten/drinkwater-klimaatbestendig-nu-en-in-de-toekomst/> geraadpleegd 02/2024
- Leerdam, R.C. van, J.H. Rook, N.F.G. Riemer & M. van der Aa (2023), *Waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater tot 2030 - knelpunten en oplossingsrichtingen*. Bilthoven, RIVM. <https://www.rivm.nl/publicaties/waterbeschikbaarheid-voor-bereiding-van-drinkwater-tot-2030>

- Mulholland E. & L. Feyen, (2021), *Increased risk of extreme heat to European roads and railways with global warming*. Climate Risk Management Volume 34, 2021, 100365.
- Natuurkalender (2015), zie
<https://www.naturetoday.com/nl/nl/observations/natuurkalender/sightings/annual-reports/jaaroverzicht-2001-2015> (bezocht 15 april, 2024)
- Nieuwe oogst (2023), [Grootste onderzoek naar droogtetolerante gewassen van start - Nieuwe Oogst](#)
- NRC (2023), Zo ontkwam Amsterdam bij storm Ciarán ternauwernood aan een overstroming.
<https://www.nrc.nl/nieuws/2023/11/15/reconstructie-zo-ontkwam-amsterdam-bij-storm-ciaran-ternauwernood-aan-een-overstroming-a4181040>
- NKWK-KBS (2024), *Werkpakket Wateroverlast en overstroming 2023-2024. Methodiek voor een kwantitatieve risicodialoog en het opstellen van een bibliotheek met kritieke uitvalwaarden inclusief voorbeelden van beschermingsmogelijkheden van vitale infra*.
<https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/nieuws/2024/methode-risico-limburgbui-beter-af-wegen/>
- NPORadio1 2023 <https://www.nporadio1.nl/nieuws/binnenland/ccad6d8633b-b665-gfazd604d559/zorgen-waterschap-over-het-wassende-water-watberheer-kan-het-niet-meer-alleen>
- NVWA website ([Verbod gebruik oppervlaktewater bij teelt van aardappelen en tomaten | Plantenziekten en plagen | NVWA](#))
- Oost-online 2023, <https://oost-online.nl/gemaal-zeeburg-houdt-amsterdam-droog/>
- Pas, B. van de, K. Slager, K. de Bruijn, F. Klijn (2012), *Overstromingsrisico zonerings Fase 1 en 2: Het identificeren van overstromingsgevaarzones*. Delft, Deltares.
- PBL (2015a), *Aanpassen aan klimaatverandering – Kwetsbaarheden zien, kansen grijpen*, Den Haag.
- PBL (2015b), *Van risicobeoordeling naar adaptatiestrategie*, Den Haag.
- PBL (2015c), *Wereldwijde klimaateffecten – Risico's en kansen voor Nederland*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2023a), *Nationale klimaatsrisicoanalyse 2022-2026 – uitwerking analysemethodiek*, Den Haag.
- PBL (2023b), *De economische potentie van regionaal gedifferentieerd beleid – geïllustreerd aan de hand van het COVID-19-beleid*. Den Haag.
- PBL (2023c), *Balans van de leefomgeving 2023*. Den Haag.
- Prorail (2022), *Uitvoeringsagenda Klimaatadaptatie Hoofdspoorweginfrastructuur*
 Prorail [Klimaatadaptatie | ProRail](#)
- Rabobank (2023), *Akkerbouwer wordt zoetwatermanager: de invloed van toenemende droogte op de Nederlandse akkerbouw* - Rabobank
- Renaud, L. V., Bonten, L. T. C., Groenendijk, P., & Groenenberg, J. E. (2015). *Berekening van uit-en afspoeling van nutriënten-en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013* (No. 2638). Alterra, Wageningen-UR.
- Rikkert, S. J. H. (2022), *A system perspective on flood risk in polder drainage canal systems*. Dissertation. Delft, Delft University of Technology.
- www.rioolnet (geraadpleegd op 150324), <https://www.riool.net/relevante-normen-en-richtlijnen-voor-het-stedelijk-waterbeheer>
- Rli (2024), *Goed gefundeerd advies om te komen tot een nationale aanpak van funderingsproblematiek*.

- RTL nieuws (2023), <https://www.rtlnieuws.nl/nieuws/nederland/artikel/5408911/bomen-klimaat-veranderen-fijnspar-beuk-letterzetter>, geraadpleegd op 13 oktober 2023
- RTL nieuws 2024 <https://www.rtlnieuws.nl/economie/artikel/5432021/meer-stikstof-uit-de-landbouw-de-natuur-door-droge-zomer>
- RWS (2022), Klimaatbestendige Netwerken: Stresstest, Hoofdvaarwegennet - Deelrapport Droogte RWS INFORMATIE 4 april 2022.
- Stoof C.R., E.Kok, A. Cardil Forradellas, M.J.E. van Marle (2024), In temperate Europe, fire is already here. The case of The Netherlands; *Ambio*. 53: 604–623; <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01960-y>
- STOWA (2004), Overzicht normen; veiligheid en wateroverlast. Amersfoort, STOWA <https://www.stowa.nl/publicaties/overzicht-normen-veiligheid-en-wateroverlast>
- STOWA Deltafact berekening, <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/berekening>. Deltafact Berekening Berekening | STOWA
- STOWA (2021), *Provinciale normering wateroverlast. Hoe toekomstbestendig is de huidige aanpak en werkwijze?* Rapportnr. 2021 – 50. Amersfoort., STOWA. <https://www.stowa.nl/publicaties/provinciale-normering-wateroverlast-hoe-toekomstbestendig-de-huidige-aanpak-en>
- Thissen, M. et al. (2023), *De economische potentie van regionaal gedifferentieerd beleid*. Geïllustreerd met COVID19-beleid, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Tweede Kamer (2022), Reactie op advies Deltacommissaris klimaatadaptatie en Woningbouw <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-66cfe36130286699ba4ce3b382eee6378787a1f9/pdf>
- Tweede Kamer (2023a), *Deltaprogramma*. Brief van de minister van Infrastructuur en Waterstaat. TK 31710 nr. 82. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31710-82.html>
- Tweede Kamer (2023), Aanleg en de aanpassing van hoofdinfrastructuur 22-03-2023 [Kamerstuk 29385, nr. 119 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen \(officielebekendmakingen.nl\)](https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31710-82.html)
- Tweede Kamer (2024), [Aanvullende verzamelbrief voor het Wetgevingsoverleg Water van 29 januari 2024 | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31710-82.html) 25-01-2024
- Van der Meer (2020), Watergebruik in de land- en tuinbouw 2017 en 2018. Wageningen, Wageningen Economic Research, Nota 2020-030.
- Van Klaveren, E.S., Knol, E.E., Dankers, R., Arumugam, P. (2023), Factsheet – Huidige klimaatrisico's in de land- & tuinbouw; Impact van droogte en extreme neerslag in het huidige klimaat (1990-nu). Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3327 . 88 blz.; 37 fig.; 15 tab.; 182 ref.
- Verbond van verzekeraars. Klimaatrademeter. Geraadpleegd op 090424 <https://bipublic.verzekeraars.nl/Home/ShowReport/5beb3391-1660-4b40-a9d5-6982d8cae31f>
- Verstand, D., Bijker, W., & Simonse, D. (2021), Klimaatrisico's en kansen in de open teelten (No. WPR-902). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten
- Verstraten, P., Bonte, C.H., Nieuwenhuijs, A.H., Vedder, K., Verdaasdonk, W.C.R., Mulder, G., Domrose, J. (2024), *Herijking klimaatrisico's: Huidige impacts en risico's*. TNO 2024 R10424
- Vinke et al. (2022), Cascading effects of sustained low water on inland shipping . *Climate Risk Management* 35 (2022) 100400.

- Walter S. Andriuzzi Walter S., Mirjam M. Pulleman, Olaf Schmidt, Jack H. Faber & Lijbert Brussaard, (2015), Anecic earthworms (*Lumbricus terrestris*) alleviate negative effects of extreme rainfall events on soil and plants in field mesocosms. *Plant Soil* 397:103–113. DOI 10.1007/s11104-015-2604-4.
- Witte, J. P. M., D. Van Deijl, & G. A. P. H. Van den Eertwegh, (2020), Gevolgen voor de natuur van de droge jaren 2018 en 2019; resultaten van een enquête onder deskundigen. Deelrapport van het project: Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland.
- WUR (2023), Terreinbeheer. Effectieve preventie van onbeheersbare natuurbranden. 56blz <https://edepot.wur.nl/633132>
- Zhao, J. et al., (2022), Priority for climate adaptation measures in European crop production systems. *European Journal of Agronomy* 138, 126516, doi: 10.1016/j.eja.2022.126516.

Referenties bij hoofdstuk 8

- Betts, R.A., Haward, A.B. & Pearson, K.V. (2021), *The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report*, London: Prepared for the Climate Change Committee.
- Bouma, J.A., De Vries, R (2020), Maatschappelijke betrokkenheid bij de leefomgeving. Achtergrondrapport bij de Balans voor de Leefomgeving 2020. Den Haag: PBL.
- BZK en VRO (2023), Plan van aanpak versnellen processen en procedures woningbouw, Den Haag.
- I&M (2016), Spelregels van het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport, Den Haag.
- Kahlenborn, W., Porst, L., Voß, M., Fritsch, U., Renner, K., Zebisch, M., Wolf, M., Schönthaler, K. & Schauser, I. (2021), *Summary*, Dessau-Roßlau, Germany: German Environment Agency.
- Klimaatcoalitie van bedrijven & NVDE (2021), *Pleidooi versnelling klimaatbeleid door Klimaatcoalitie van bedrijven*. [15 november 2021](#).
- PBL (2015b), *Van risicobeoordeling naar adaptatiestrategie*, Den Haag.
- PBL (2023), *Nationale klimaatrisicoanalyse 2022-2026 – uitwerking analysemethodiek*, Den Haag.
- Phillibert, C. en Pershing, J. (2002), *Beyond Kyoto – Energy Dynamics and Climate Stabilisation*, Parijs: OECD/IEA.
- Reckien, D., Magnan, A.K., Singh, C., Lukas-Sithole, M., Orlow, B., Schipper, E.L.F. & Coughlan de Perez, E. (2023), ‘Navigating the continuum between adaptation and maladaptation’, *Nature Climate Change* 13, 907–918. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01774-6>
- Slovic P., (1987), Perception of Risk. *Science* 236, 280-285(1987). DOI:10.1126/science.3563507
- Van der Linden, S. (2017), *Determinants and measurement of climate change risk perception, worry, and concern*. The Oxford Encyclopedia of Climate Change Communication. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (2023), *Rechtvaardigheid in klimaatbeleid. Over de verdeling van klimaatkosten*, WRR-Rapport 106, Den Haag.

Referenties bij hoofdstuk 9

- Bakker, M., Luesink, M., Broeders, S., & van Duin, M. (2023), *Klimaatrisico's: werk voor de veiligheidsregio's?* Nederlands Instituut Publieke Veiligheid.
- BZK (2020), *Regie en keuzes in het nationaal omgevingsbeleid (NOVI)*, Tweede Kamer, vergaderjaar 2019–2020, 34 682, nr. 4.

- BZK en VRO (2023), *Plan van aanpak versnellen processen en procedures woningbouw*, Den Haag.
- BZK (2023), *Contourennotitie Nota Ruimte*, Den Haag.
- CAS (2024), *Inventarisatie Monitor Beleidsimplementatie Klimaatadaptatie*, (Climate Adaptation Services) maart 2024.
- Deltaprogramma (2024), [Wat is het nationaal Deltaprogramma? | Deltaprogramma](#)
- EEA (2024), *European Climate Risk Assessment*, EEA Report 01/2024.
- IenM (2016), *Spelregels van het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport*, Den Haag.
- IenW (2016), *Aanpassen met ambitie: nationale klimaatadaptatiestrategie 2016 (NAS)*, Den Haag.
- IenW (2022), *Water en Bodem sturend*, Kamerstukken 27 625 en 30 015, nr. 592.
- IenW e.a. (2022), *Nationaal waterprogramma 2022-2027* Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit Ministerie van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties Maart 2022.
- IenW e.a. (2023), *Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie; slimmer, intensiever, voor en door iedereen*. November 2023 [pdf \(overheid.nl\)](#).
- LNV, IenW & BZK (2022), *Ontwikkeldocument Nationaal Programma Landelijk Gebied*. Den Haag, 25 november.
- OrG-ID en VU (2022), *Evaluatie NAS Hoofdrapport* Datum: 31 mei 2022 Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat Opstellers: Robert de Graaff, Martine Leewis, Anne Loeber [Evaluatie NAS Hoofdrapport | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)).

Bijlagen

Bijlage 1 Kennisinstellingen thema's en achtergrondrapporten

Tabel B1

Overzicht kennisinstellingen en publicatiegegevens

| KI - Thema | Publicatiegegevens |
|-----------------------------------|---|
| RIVM - Gezondheid | Betgen, C.D., S. Boekhold, C. Boomsma, A. van Dijk, E.F. Hall, W. Hagens, J. Limaheluw, P. Ruysenaars, J. van der Ree, A. Versteeg – de Jong (2024). Gezondheidsrisico's van klimaatverandering. RIVM-rapport 2023-0324 |
| NIPV - Veiligheid | Bakker, M., Luesink, M., Broeders, S., & van Duin, M. (2023). Klimaatrisico's: werk voor de veiligheidsregio's? Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. |
| WUR - Landbouw | van Klaveren, S., Knol, E., Dankers, R., & Arumugam, P. (2024). Huidige klimaatrisico's voor de land- en tuinbouw : twee factsheets over de gevolgen van droogte en extreme neerslag voor de land- en tuinbouwsector in ons huidige klimaat (1990-nu). (Rapport / Wageningen Environmental Research; No. 3327). Wageningen Environmental Research. https://doi.org/10.18174/640935 Ook te vinden via https://edepot.wur.nl/640935 |
| WUR - Natuur | Henkens, R.J.H.G., Cormont, A., Van Swaay, C.A.M., Wamelink, G.W.W. en F.G.W.A. Ottburg (2024). Effect klimaatverandering op de haalbaarheid van de natuurdoelen; Invloed van temperatuurstijging, extreme droogte of natheid, zeespiegelstijging en verzilting op de doelen voor VHR, KRW, ecosysteemdiensten en algemene biodiversiteit. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 260 |
| Deltares - Waterkwaliteit | Deltares (2024) Huidige watergerelateerde klimaatrisico's in Nederland: een inventarisatie voor de thema's waterveiligheid, waterkwantiteit en waterkwaliteit. Deltares rapport 11210323-002, Deltares, Delft. Auteurs: Marjolein Mens, Peter de Grave, Ruurd Noordhuis en Wesley van Veggel. |
| Deltares - Waterkwantiteit | Deltares (2024) Huidige watergerelateerde klimaatrisico's in Nederland: een inventarisatie voor de thema's waterveiligheid, waterkwantiteit en waterkwaliteit. Deltares rapport 11210323-002, Deltares, Delft. Auteurs: Marjolein Mens, Peter de Grave, Ruurd Noordhuis en Wesley van Veggel. |
| Deltares - Waterveiligheid | Deltares (2024) Huidige watergerelateerde klimaatrisico's in Nederland: een inventarisatie voor de thema's waterveiligheid, waterkwantiteit en waterkwaliteit. Deltares rapport 11210323-002, Deltares, Delft. Auteurs: Marjolein Mens, Peter de Grave, Ruurd Noordhuis en Wesley van Veggel. |

| | |
|--------------------------------|--|
| TNO – Gebouwde omgeving | Verstraten, P., Bonte, C.H., Nieuwenhuijs, A.H., Vedder, K., Verdaasdonk, W.C.R., Mulder, G., Domrose, J. (2024) <i>Herijking klimaatrisico's: Huidige impacts en risico's</i> . TNO 2024 R10424 |
| TNO - Infrastructuur | Verstraten, P., Bonte, C.H., Nieuwenhuijs, A.H., Vedder, K., Verdaasdonk, W.C.R., Mulder, G., Domrose, J. (2024) <i>Herijking klimaatrisico's: Huidige impacts en risico's</i> . TNO 2024 R10424 |
| RCE – Cultureel Erfgoed | Achtergrondrapport NAS - Huidige klimaatrisico's voor cultureel erfgoed, de Boer G. en J. Knegtel, https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/water-en-klimaat/documenten , december 2023 |
| KWR - Drinkwater | https://library.kwrwater.nl/publication/71248829/factsheet-risicos-van-klimaatverandering-voor-de-drinkwatervoorziening-door-lage-rivierafvoeren/ https://library.kwrwater.nl/publication/71248629/risicos-voor-de-drinkwatervoorziening-door-veranderende-grondwaterbeschikbaarheid-en-watervraag/ |

Bijlage 2 Uitgewerkte klimaatrisico's

Alle kennisinstituten hebben factsheets opgeleverd met een gestructureerde beschrijving per huidig klimaatrisico (Tabel B.2).

Tabel B.2

Overzicht van klimaatrisico's en sectoren.

| Naam klimaatrisico | (Beleids)sector | Kennisinstituut |
|---|--------------------------|-----------------|
| Grondwaterwinningen: risico door lage grondwaterstanden | Drinkwater | KWR |
| Oppervlaktewaterwinningen: risico door lage afvoeren | Drinkwater | KWR |
| Overstroming door doorbraak primaire kering | Waterveiligheid | Deltares |
| Overstroming door neerslag (regionale kering, beekdalen) | Waterveiligheid | Deltares |
| Gevolgen verzilting voor waterbeschikbaarheid | Zoetwaterbeschikbaarheid | Deltares |
| Grondwaterstandsdeling/verdroging | Zoetwaterbeschikbaarheid | Deltares |
| Watertekort/droogte | Zoetwaterbeschikbaarheid | Deltares |
| Effect lage rivierafvoeren | Zoetwaterbeschikbaarheid | Deltares |
| Toename van watertemperatuur | Waterkwaliteit | Deltares |
| Langere verblijftijden in de zomer, stratificatie in meren | Waterkwaliteit | Deltares |
| Rampenbestrijding en crisisbeheersing | Veiligheid | NIPV |
| Schade aan archeologische sites door verdroging | Cultureel erfgoed | RCE |
| Gevolgen droogte voor bodembeweging en funderingen erfgoed | Cultureel erfgoed | RCE |
| Verdroging van historisch groen | Cultureel erfgoed | RCE |
| Klimaatverandering en luchtkwaliteit | Gezondheid | RIVM |
| Klimaatverandering en mentale gezondheid | Gezondheid | RIVM |
| Gezondheidseffecten Uv-straling | Gezondheid | RIVM |
| Klimaatverandering en allergieën | Gezondheid | RIVM |
| Klimaatverandering en infectieziekten | Gezondheid | RIVM |
| Gezondheidseffecten hitte | Gezondheid | RIVM |
| Funderingsschade door droogte | Gebouwde omgeving | TNO |
| Wateroverlast gebouwde omgeving | Gebouwde omgeving | TNO |
| Gevolgen van extreme hitte voor spoorvervoer | Infrastructuur | TNO |
| Gevolgen van wateroverlast op hoofdwegennet | Infrastructuur | TNO |
| Gevolgen van droogte voor de binnenvaart | Infrastructuur | TNO |
| Gevolgen van extreme neerslag voor akkerbouw | Landbouw | WEnR |
| Gevolgen van droogte voor akkerbouw | Landbouw | WEnR |
| Gevolgen van droogte voor tuinbouw | Landbouw | WEnR |
| Gevolgen klimaatverandering voor behoud en herstel biodiversiteit | Natuur | WEnR/PBL |
| Effect klimaatverandering op soorten en habitattypen VHR | Natuur | WEnR/PBL |
| Effect op natuur in KRW-waterlichamen | Natuur | WEnR/PBL |
| Effecten klimaatverandering op ecosystemendiensten | Natuur | WEnR/PBL |

Bijlage 3 Begrippen klimaatrisicoanalyse

De gebruikte begrippen voor de klimaatrisicoanalyse zijn gebaseerd op de ISO richtlijn 14091, IPCC (IPCC Glossary Search), en de klimaatrisicoanalyse uit het Verenigd Koninkrijk (Betts et al. 2021). Zie PBL (2023a) voor uitgebreide toelichting.

Klimaatdreiging ('hazard')

Een klimaatdreiging is het mogelijk optreden van een fysieke, klimaat- of weer-gerelateerd fenomeen met de potentie om schade te veroorzaken. Een klimaatdreiging heeft een intensiteit, de geografische spreiding, duur en waarschijnlijkheid van optreden.

Blootstelling ('exposure')

Blootstelling betekent de aanwezigheid van iets van waarde, zoals mensen, mogelijkheden voor levensonderhoud, soorten, ecosystemen, infrastructuur of economische, sociale of culturele belangen, dat in gevaar kan worden gebracht door een klimaatdreiging.

Kwetsbaarheid ('vulnerability')

Kwetsbaarheid is de neiging van een systeem om negatief beïnvloed te worden door een klimaatdreiging. Kwetsbaarheid gaat om eigenschappen van het getroffen systeem zelf. Kwetsbaarheid is een functie van de gevoeligheid voor een klimaatdreiging en de adaptatiecapaciteit om deze dreiging op voorhand (preventief) of de gevolgen daarvan (reactief) het hoofd te bieden.

Gevoeligheid ('sensitivity')

Gevoeligheid is de mate waarin een systeem negatief of positief beïnvloed wordt door klimaatverandering. Gevoeligheid is een eigenschap van het getroffen systeem. Bijvoorbeeld een hoog percentage aan ouderen in een woonwijk maakt de wijk gevoeliger voor hittestress.

Adaptatiecapaciteit ('adaptive capacity')

Adaptatiecapaciteit is het vermogen van systemen, instituties, mensen of organismen om zich aan te passen aan mogelijke schade, kansen te benutten of te reageren op gevolgen. Adaptatie is het proces van aanpassing aan waargenomen en potentiële impacts.

Adaptatie

Adaptatie is het proces van aanpassing aan huidige of toekomstige klimaateffecten om schade te beperken of te voorkomen en kansen te benutten.

Preventieve en reactieve adaptatie

Preventieve adaptatie is het nemen van maatregelen vooraf om klimaatrisico's te verkleinen, gericht op het verminderen van zowel de blootstelling als kwetsbaarheid (PBL 2015b). Bijvoorbeeld door verhogen van dijken, aanleggen van museumdepots op veilige plekken en organiseren van waarschuwingssystemen. Reactieve adaptatie is het nemen van maatregelen op het moment dat een klimaatgebeurtenis plaatsvindt ter verkleining van de impact. Voorbeelden zijn het tijdig onder de aandacht brengen van het Nationaal hitteplan of bij een overstrooming het plaatsen van zandzakken of evacuatie van een gebied. Onder reactieve adaptatie valt ook het regelen dat na de gebeurtenis de schade vlot wordt hersteld en het gewone leven weer snel op gang komt.

Waarschijnlijkheid ('probability' of 'likelihood')

Waarschijnlijkheid is de statistische kans of de aannemelijkheid dat een klimaatdreiging en/of een gevolg daarvan optreedt.

Impact

Impact zijn de gevolgen voor natuurlijke en menselijke systemen veroorzaakt door een klimaatdreiging. Dit kunnen gevolgen zijn voor leven en levensonderhoud, gezondheid, ecosystemen, economie, samenleving, cultuur, diensten en infrastructuur.

Risico

Of er een risico is en hoe groot die is, hangt af van de aard, omvang, intensiteit en het moment van een klimaatdreiging, in combinatie met de blootstelling en kwetsbaarheid van het systeem. Risico is gedefinieerd als de impact vermenigvuldigd met waarschijnlijkheid (Risico = impact x waarschijnlijkheid).

Cascade-effecten

De impact van een klimaatdreiging kan direct of indirect doorwerken in een systeem. Cascade-effecten beschrijven de indirecte gevolgen veroorzaakt door een keten of ketens van gebeurtenissen; deze ketens kunnen sector- of grens overschrijdend zijn en/of veroorzaakt worden door het samenvallen, herhaaldelijk of opeenvolgend optreden van klimaatdreigingen.

Sectoren

Onder het begrip 'sector' worden zowel economische sectoren als beleidssectoren verstaan. Het begrip 'sector' is niet hetzelfde als de belangen waarop het risico betrekking heeft. Zo is de gezondheidssector iets anders dan gezondheid als onderdeel van het welzijn van de mens.

Bijlage 4 Methode scoring criteria afweging prioriteit

Om de afweging voor politiek en beleid te faciliteren worden de klimaatrisico's kwalitatief geanalyseerd en gescoord op urgentie, op basis van criteria afgeleid uit vergelijkbare analyses in Europa, het Verenigd Koninkrijk en Duitsland (e.g. EUCRA (European Climate Risk Assessment), Betts et al. 2021, Kahlenborn et al. 2021), eerdere ervaringen in Nederland (PBL, 2015) en criteria uit andere beleidsdocumenten. Hierin wordt meegenomen:

- De grootte van het risico (impact x waarschijnlijkheid),
- De betrouwbaarheid van die inschatting (kwaliteit van bewijs en consensus, en eventuele cruciale kennishiaten)
- Een scoring op verschillende afwegingsaspecten die een rol kunnen spelen in de beleidsafwegingen, zoals investeringen, adaptief vermogen en de maatschappelijke en beleidscontext

De afwegingsaspecten worden gescoord met een +, +/- of - als ze positief (+, risicoverlagend) of negatief (-, risicoverhogend) bijdragen. De scores worden niet gemiddeld/ gewogen, en er wordt geen totaalscore van de urgentie per risico gepresenteerd. Hier ligt een keuze voor de politiek en het beleid omdat er een afweging nodig is om prioriteiten te stellen (zie figuur 4.1).

Als concrete informatie ontbreekt, dan wordt er geen score gegeven. De beschikbare informatie kan verschillen per afwegingsaspect, en voor bijvoorbeeld kosten/baten, risicoperceptie, en meekoppelkansen is er in de huidige situatie relatief weinig informatie beschikbaar. De scoring op deze 3 aspecten zal nader worden uitgewerkt voor de verkenning van toekomstig klimaatrisico's. In de toekomstverkenning zal, naast de verdeling van klimaatrisico's voor groepen/(eco)systemen en op ruimtelijke schaal, ook worden gekeken naar de effecten van adaptatiemaatregelen op deze verdeling.

Investerings

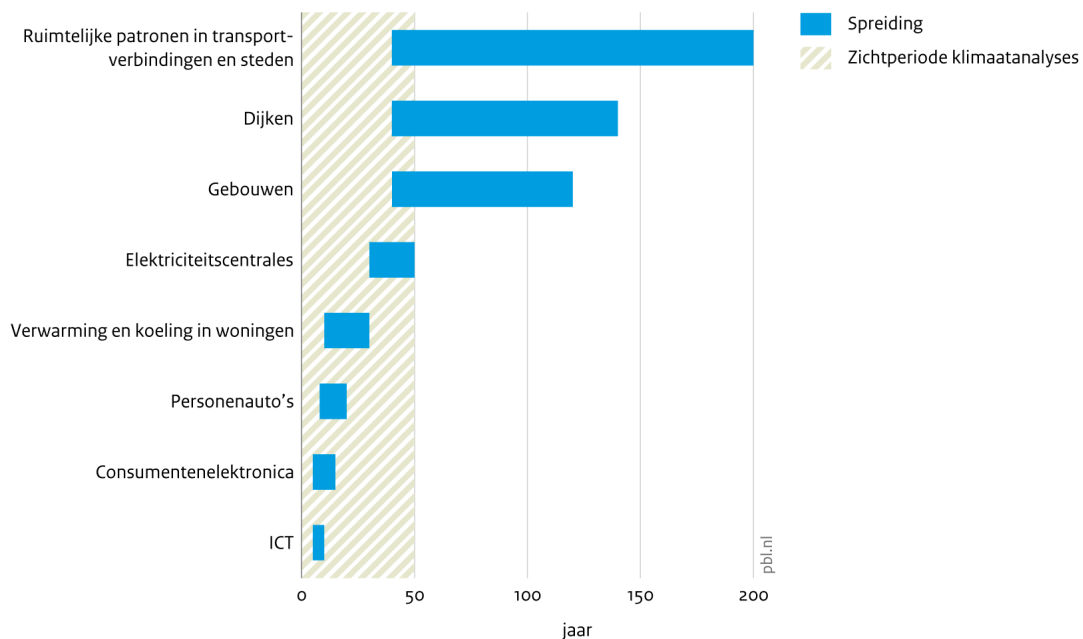
Omlooptijd

De levensduur van een investering (PBL, 2015). Dit verschilt per (beleids)sector, snelwegen hebben een andere economische en technische levensduur dan beregeningsinstallaties in de landbouw. Voor cultuurhistorie gaat het om behoud voor de toekomst. Vooral ruimtelijke ontwikkelingen en ruimtelijke inrichting met gebouwen en (vitale) infrastructuur hebben een lange omlooptijd (figuur B.1). De categorieën zijn afgeleid van de Duitse klimaatrisicoanalyse (Kahlenborn et al. 2021), en inschattingen zijn gebaseerd op gegevens uit Philibert en Pershing, 2002:

- + Omlooptijd <10 jaar
- +/- Omlooptijd 10-50 jaar
- - Omlooptijd > 50 jaar

Figuur B.1

Omlooptijd van installaties en infrastructuur



Bron: Philibert & Pershing 2002; bewerking PBL

In het adaptatiebeleid is de omlooptijd van investeringen en maatregelen een belangrijke factor voor het bepalen van de urgentie. Vooral bij ontwikkelingen met een lange 'omlooptijd', zoals bij dijken, transportverbindingen en ruimtelijke ontwikkeling is het belangrijk tijdig keuzes te maken.

Flexibiliteit

(On)omkeerbaarheid van investeringen of adaptatiemaatregelen. Weinig flexibele ingrepen zoals het aanpassen van de riolering aan extreme buien voor de lange termijn kan ook beleidsmatig urgent zijn en op korte termijn om een beslissing vragen als onderhoud of vervanging plaatsvindt. Als er geen (of de verkeerde) investeringen worden gedaan, kan er een 'lock in' ontstaan. Men zit als het ware opgesloten in de ingezette investering of adaptatiemaatregel. Er is dan geen mogelijkheid om toch nog te kiezen voor andere optie, die achteraf gezien beter was geweest. Vooral ruimtelijke ontwikkelingen zijn op de tijdschaal van één generatie al min of meer onomkeerbaar (PBL 2015b). De flexibiliteit is ingedeeld in 3 categorieën, waarbij dreigende lock-ins en beslistermijn worden meegenomen:

- + Aanzienlijke flexibiliteit
- +/- Beperkte flexibiliteit, geen dreigende lock-ins
- - Weinig flexibiliteit, dreigende lock-ins en/of beslissing op korte termijn nodig

Kosten/baten

Er is onvoldoende informatie voor een afweging van kosten en baten in de huidige situatie. In de toekomstverkenning zal dit nader worden bekeken. In Nederland bestaat hiervoor het MKBA (maatschappelijke kosten en baten analyse), met een duidelijk kader om kosten en baten in kaart te brengen.

Adaptief vermogen

Onbenutte adaptatiecapaciteit

De adaptatiecapaciteit is het vermogen om aan te passen aan klimaatverandering door de dreiging op voorhand (preventief) of de gevolgen daarvan (reactief) het hoofd te bieden (PBL 2023). Nog onbenutte adaptatiecapaciteit is extra potentieel om aan te passen, verder dan de huidige adaptatie. Bij het benutten van adaptatiecapaciteit is het van belang oog te hebben wat er nodig is om dit potentieel te benutten en of er grenzen in zicht komen. Een voorbeeld is het extra beregenen van landbouwgewassen in periodes van droogte, waarbij de aanleg van druppelirrigatiesystemen hoge investeringen vraagt, en er ook een grens zit aan het waterverbruik door de landbouw doordat er beregeningsverboden ingesteld worden om water te sparen voor andere sectoren. Dit is vertaald naar 3 categorieën gebaseerd op de omvang van de nog onbenutte adaptatiecapaciteit, de benodigde inspanning om deze te benutten en grenzen aan adaptatie:

- + Aanzienlijke (nog) onbenutte adaptatiecapaciteit
- +/- Beperkte (nog) onbenutte adaptatiecapaciteit, vraagt aanzienlijke investeringen
- - Weinig/beperkte adaptatiecapaciteit, lastig te realiseren en/of grenzen aan adaptatie komen in zicht

Maladaptatie

Maladaptatie zijn adaptatiemaatregelen met aanzienlijke onbedoelde negatieve neveneffecten, die de kwetsbaarheid van een ander systeem of groep vergroten of verplaatsen (Reckien et al. 2023). Maladaptatie kan zorgen voor schadelijke neveneffecten binnen één sector, of gevolgen hebben voor meerdere sectoren. Een voorbeeld is het oppompen van grondwater voor beregening in de landbouw, wat bijdraagt aan dalende grondwaterstanden en daarmee aan verdroging van natuur, schade aan funderingen en archeologie in de bodem. Recente literatuur (Reckien et al. 2023) beschrijft een continuüm/geleidelijke schaal van effectieve adaptatie tot maladaptatie, waarbij elke adaptatiemaatregel verschillende neveneffecten kan hebben. Van belang hierbij is de schaal, omkeerbaarheid en mate en verdeling van deze schadelijke neveneffecten. Ook kunnen adaptatiemaatregelen toepasbaar of doeltreffend zijn op de korte termijn, maar op langere termijn nevenschade of onhoudbaar worden. Op basis hiervan zijn 3 categorieën bepaald, voor toelichting op verdeling zie maatschappelijke context voor meer uitleg:

- + Geen of zeer beperkte (lokale en omkeerbare) schadelijke neveneffecten
- +/- Beperkte schadelijke neveneffecten (beperkt schade-vergroten, beïnvloed 1 of 2 sectoren, geen toename ongelijke (maatschappelijke en ruimtelijke) verdeling)
- - Aanzienlijke schadelijke neveneffecten (vergroot schade, beïnvloed meerdere sectoren, vergroot ongelijke verdeling)

Meekoppelkansen

Bij meekoppelkansen gaat het erom dat verandermomenten worden aangegrepen om adaptatiemaatregelen te nemen, die anders te kostbaar of omvangrijk zouden zijn (PBL 2015b). Een voorbeeld hiervan is het vergroten van de afvoercapaciteit van het riool bij onderhoud of vernieuwing. Ook in samenhang met ontwikkelingen in andere (beleids)sectoren kan soms op een bepaald moment tegen relatief beperkte kosten een grotere robuustheid worden gerealiseerd. Bijvoorbeeld bij herinrichting voor dijkversterking kan ook de (energie)infrastructuur toekomstbestendig worden gemaakt, funderingen van dijkwoningen worden versterkt of kansen voor natuurontwikkeling of herstel van cultuurhistorische waterstructuren worden benut. Voor de huidige klimaatrisico's is er beperkte informatie over meekoppelkansen, dit wordt alleen

beschreven waar relevant. Bij de keuzes voor toekomstige adaptatie-opties is het van belang om meekoppelkansen in beeld te hebben, dan worden deze nader uitgewerkt.

Maatschappelijke context

Rechtvaardigheid, in de vorm van de verdeling van klimaatrisico's, kosten en adaptatievermogen, is een belangrijk afwegingscriterium om mee te nemen in het klimaatadaptatiebeleid (WRR 2023). Voor de huidige situatie is er beperkte informatie beschikbaar over verdelingsvraagstukken, dit zal voor de toekomstverkenning nader worden uitgewerkt. Er wordt nu gekeken naar ongelijke verdeling over groepen, (eco)systemen en ruimtelijke schaal, variërend van geen ongelijke verdeling, beperkte ongelijke verdeling die al aangepakt wordt met beleidsmaatregelen, zoals een subsidieregeling voor funderingsherstel van monumenten, tot een ongelijke verdeling over bepaalde groepen, (eco)systemen of gebieden:

Ongelijke verdeling over groepen/(eco)systemen

- + Geen ongelijke verdeling
- +/- Beperkte ongelijke verdeling, al aangepakt in beleid
- - Ongelijke verdeling over bepaalde (leeftijd/sociaaleconomische/etnische/gender etc.) groepen of (eco)systemen

Ongelijke ruimtelijke verdeling

- + Geen ongelijke verdeling
- +/- Beperkte ongelijke verdeling, al aangepakt in beleid
- - Ongelijke verdeling over bepaalde regio's, gebieden, steden/ruraal, wijken

Perceptie

Risicoperceptie is het subjectieve oordeel dat een persoon, een groep of maatschappij heeft over de aard, ernst en omvang van een klimaatrisico, de waarschijnlijkheid dat die plaatsvindt, en de aanvaardbaarheid hiervan (PBL 2023). Men kan een verschillende kijk hebben op klimaatrisico's en die verschillend ervaren, waarbij vaak aspecten een zoals of blootstelling vrijwillig is, of effecten snel of langzaam zichtbaar worden en of er controle is over het risico een grote rol spelen (Slovic 1987). Voor de huidige klimaatrisico's is perceptie nog niet uitgewerkt, dit zal opgepakt worden in de toekomstverkenning.

Beleidscontext

Klimaatadaptatiebeleid raakt vaak meerder (beleids)sectoren, waarbij er meerdere overheids- en particuliere partijen betrokken zijn en verantwoordelijkheden verschillend belegd zijn. In de afweging voor adaptatiemaatregelen in de huidige situatie is het belangrijk om oog te hebben voor de uitwerking van huidig beleid in concrete doelen, strategieën of voorgenomen plannen en op één of meerdere schaalniveaus.

Doelen/strategieën/plannen

De mate van uitwerking van klimaatadaptatiebeleid is vertaald in 3 categorieën, van vastgesteld beleid met heldere doelen en termijnen die wettelijk zijn vastgesteld, zoals normen voor waterveiligheid voor hoofwateren en regionale wateren. Daarna volgen strategieën voor klimaatadaptatie die gefinancierd en in uitvoering zijn, zoals het nationaal hitte-plan met gerichte adviezen voor ouderen en chronisch zieken. En tenslotte voorgenomen plannen die nog niet

gefinancierd en in uitvoering zijn. Voorgenomen plannen kunnen suggereren dat het risico wordt aangepakt, maar plannen worden in de praktijk niet altijd (volledig) gerealiseerd.

- + Doelen en termijnen helder, wettelijk vastgelegd (vastgesteld beleid)
- +/- Strategie opgesteld, gefinancierd en in uitvoering
- - Plannen (nog) niet vastgesteld/gefinancierd/uitgevoerd (voorgenomen beleid)

Schaalniveau: rijk/regio/lokaal

Op schaalniveau is de uitwerking van klimaatadaptatiebeleid onderverdeeld in:

- + Adaptatiebeleid op nationale, regionale en lokale schaal
- +/- Adaptatiebeleid op 2 schaalniveaus
- - Adaptatiebeleid beperkt tot 1 schaalniveau

Doorlooptijd

Doorlooptijd is de totale periode tussen de (beleids)beslissing en het moment waarop dit uitgevoerd is (realisatie). De doorlooptijd bepaalt op welke termijn het beleid beslissingen moet nemen om adaptatie tijdig te realiseren. De doorlooptijd verschilt sterk per (beleids)sector, zo is de doorlooptijd 14 jaar bij nationale infrastructurele projecten (I&M 2016), 10 jaar bij woningbouw (BZK en VRO, 2023) en bij verplaatsen drinkwaterwinning (Waterspiegel, 2017) en 8-10 jaar bij energie infrastructuur (Klimaatcoalitie van bedrijven & NVDE, 2021), voor lokale of sectorale adaptatie, zoals beregeningsinstallaties in de landbouw is de doorlooptijd vaak korter.

Doorlooptijd is vertaald naar 3 categorieën:

- + Korte doorlooptijd (0-3 jaar)
- +/- Beperkte doortijd (3-8 jaar)
- - Lange doorlooptijd (>8 jaar)

Bijlage 5 Afkortingen

| | |
|-------|---|
| AFM | Autoriteit Financiële Markten |
| ANV | Analistennetwerk National Veiligheid |
| BRZO | Besluit risico's zware ongevallen |
| BZK | Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties |
| CAS | Climate Adaptation Services |
| CLO | Compendium voor de Leefomgeving (https://www.clo.nl/) |
| DP | Deltaprogramma |
| EC | Europese Commissie |
| EEA | European Environmental Agency (zie ook EMA) |
| EMA | Europees Milieu Agentschap (zie ook EEA) |
| IenM | Ministerie van Infrastructuur en Milieu |
| IenW | Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat |
| ILT | Inspectie Leefomgeving en Transport |
| ISO | International Organization for Standardization |
| KCAF | Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek |
| KNMI | Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut |
| LNV | Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit |
| NAS | Nationale Klimaatadaptatie Strategie |
| NIPV | Nederlands Instituut Publieke Veiligheid |
| NMK | Nationale Monitor Klimaatadaptatie |
| NPLG | Nationaal Programma Landelijk Gebied |
| NUPKA | Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie |
| NVWA | Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit |
| PBL | Planbureau voor de Leefomgeving |
| RCE | Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed |
| RLI | Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur |
| RIVM | Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu |
| RWS | Rijkswaterstaat |
| STOWA | Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer |
| TNO | Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek |
| VRO | Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening |
| WUR | Wageningen University & Research |
| WEnR | Wageningen Environmental Research |