Planbureau voor de Leefomgeving

VOORBIJ DE RISICO'S
KEUZES VOOR EEN KLIMAATBESTENDIGE LEEFOMGEVING



Colofon

Voorbij de risico's: keuzes voor een klimaatbestendige leefomgeving

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2026
PBL-publicatienummer: 5973b

Contact
PBL-klimaatadaptatie@pbl.nl

Auteurs
Frank van Gaalen, Marijke Vonk, Jelle van Minnen, Arno Bouwman, Samira I. Ibrahim, Anoek Menten-Degeling, Jarry Porsius, Astrid Martens, Carine van der Boog, Frédérique Kirkels (allen PBL)

Met bijdragen van
Jan van Dam (PBL), Wilfried ten Brinke (Centre for Climate Adaptation)

Met dank aan
Het PBL is dank verschuldigd aan Marjon Hellegers, Jolijn Bonnet, Judith Hin, Arjen van Hinsberg, Paul Koutstaal, Rienk Kuiper, Amber Nusteling, Joost Tennekens, Kersten Nabielek, Koen Overmars, Jeannette Beck (allen PBL) en betrokken experts van Deltares, KNMI, ORG-ID, RCE, RIVM, TNO, TU Delft, WUR en CAS, leden van de Wetenschappelijke adviesraad: Bas Arts (PBL/WUR), Jeroen Aerts (VU), Leendert Gooijer (RIVM), Maud Huynen (UM) en Richard Klein (SEI). Daarnaast hebben we dankbaar gebruik gemaakt van de inbreng van de stuurgroep voor dit project bestaande uit Anita Scholten, Annemiek Verrips, Bram Bregman, Marko Hekkert en Bart Nijhof (PBL).

Redactie figuren
Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie
Uitgeverij PBL

Omslagfoto
ANP/Amber Beckers

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 (2026), Voorbij de risico's: keuzes voor een klimaatbestendige leefomgeving, 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 6

Samenvatting 8
Het klimaat verandert en dat heeft voor iedereen en alles gevolgen 8
Nederland kan zich voorbereiden, maar dat vraagt wel om keuzes 10

Bevindingen: keuzes voor een klimaatbestendige leefomgeving 13
Inleiding 13
Fundamentele keuzes voor een klimaatbestendige leefomgeving 16
Een warmere, drogere, en nattere toekomst 17
Risico's van meer hitte, droogte, en wateroverlast 18
Maatregelen voor een toekomstig klimaatbestendig Nederland 24
Effecten van maatregelen op de toekomstige klimaatrisico's 31
Voor- en nadelen van de adaptatierichtingen 35
Aandachtspunten voor politiek en beleid 38
Literatuur Bevindingen 41

Verdieping deel I: Aanpak en resultaten op hoofdlijnen 44

1 Inleiding 44

2 Klimaatverandering en andere toekomstige ontwikkelingen 49
2.1 Klimaatverandering richting 2050 en 2100 49
2.2 Klimatologische wildcards 57
2.3 Toekomstige ontwikkelingen Nederlandse samenleving 59

3 Aanpak verkenning klimaatrisico's 61
3.1 Aanpak op hoofdlijnen 61
3.2 Analyse: invulling contextscenario's 63
3.3 Methode analyse klimaatrisico's 65

4 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig adaptatiebeleid 68
4.1 Huidig adaptatiebeleid 68
4.2 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 69
4.3 Mogelijke gevolgen van wildcards 80
4.4 Conclusies en aandachtspunten 82

5 Toekomstige klimaatrisico's bij aanvullende adaptatierichtingen 86
5.1 Uitgangspunten en invulling aanvullende adaptatierichtingen 86
5.2 Toekomstige klimaatrisico's bij aanvullende adaptatierichtingen 99
5.3 Conclusies en aandachtspunten 109

6 Beleving van klimaatrisico's en adaptatie 117
6.1 Zicht op beleving van klimaatrisico's 117

6.2 Resultaten enquête beleving klimaatrisico's 118
6.3 Overeenkomsten en verschillen tussen risicoperceptie burgers en experts 121
6.4 Conclusies en aandachtspunten 125

Verdieping deel II: Toekomstige klimaatrisico's per sector of onderwerp 127

7 Gezondheid 127
7.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 128
7.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren 132
7.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren 133
7.4 Conclusies 134

8 Cultureel Erfgoed 136
8.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 139
8.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren 139
8.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren 141
8.4 Conclusies 142

9 Natuur 143
9.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 144
9.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren 148
9.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren 149
9.4 Conclusies 149

10 Waterkwaliteit 152
10.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 153
10.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren 156
10.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren 157
10.4 Conclusies 159

11 Waterbeschikbaarheid 160
11.1 Uitdagingen waterbeschikbaarheid 161
11.2 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 162
11.3 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren 165
11.4 Conclusies 171

12 Natuurbranden 173
12.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 174
12.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren 177
12.3 Conclusies 181

13 Waterveiligheid: overstromingen en wateroverlast 183
13.1 Risico's op overstromingen en wateroverlast 185
13.2 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 186
13.3 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren 187
13.4 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren 188
13.5 Conclusies 189

14 Gebouwde omgeving 190
14.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 191
14.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren 196
14.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren 197
14.4 Conclusies 201

15 Drinkwatervoorziening 202
15.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 203
15.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren 205
15.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren 205
15.4 Conclusies 206

16 Landbouw 208
16.1 Akkerbouw, voedergewassen en tuinbouw 209
16.2 Veeteelt 215

17 Infrastructuur 219
17.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 221
17.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren 229
17.3 Conclusies 231

18 Energiesysteem 232
18.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 233
18.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren 238
18.3 Conclusies 242

19 Digitale infrastructuur 245
19.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid 247
19.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren 250
19.3 Conclusies 253

Literatuur 255

Bijlage 1: Meewerkende kennisinstituten 264

Bijlage 2: Tabellen contextscenario's 265

Bijlage 3: Tabellen met maatregelen per adaptatierichting en per sector 268

Bijlage 4: Aanpak onderzoek naar beleving van klimaatrisico's in Nederland 289
Bijlage 4.1 Toelichting methodologie 289
Bijlage 4.2 Achtergrond vragenlijst 289
Bijlage 4.3 Achtergrond focusgroepen 292
Bijlage 4.4 Tabellen met extra resultaten beleving klimaatrisico's in Nederland 293
Bijlage 4.5 Codeboek, cognitieve interviews en gespreksleidraad focusgroepen 301

Bijlage 5: Voorbeeld uitwerking timing van investeringen in klimaatadaptatie 302

Voorwoord

Klimaatverandering zet door. Nederland wordt warmer, droger en natter. Hittegolven duren langer en worden heviger, droge perioden zetten de beschikbaarheid van water onder druk, en extreme neerslag veroorzaakt steeds vaker overlast en schade.

Dat is geen verre toekomst. Hogere temperaturen raken de gezondheid en het wooncomfort, vooral in versteende stedelijke gebieden. Door droogte is er minder water beschikbaar voor de drinkwatervoorziening, landbouw en natuur en ontstaat er schade aan funderingen. Hevige buien ontregelen bereikbaarheid en kunnen schade veroorzaken aan woningen en vitale voorzieningen.

Nederland kan zich hier beter op voorbereiden. De vraag is hoe we de woningen, wijken, infrastructuur en voorzieningen gaan realiseren die nodig zijn voor een klimaatbestendige, leefbare toekomst. Die vraag betreft niet alleen de inrichting van de leefomgeving, maar is ook een test voor ons organiserend vermogen. Nederland heeft laten zien dat het grote opgaven aankan. Het Deltaprogramma beschermt Nederland al decennia tegen overstromingen vanuit zee en rivieren. Voor een klimaatbestendige toekomst moet Nederland nu ook maatregelen gaan nemen tegen hitte, droogte en extreme neerslag.

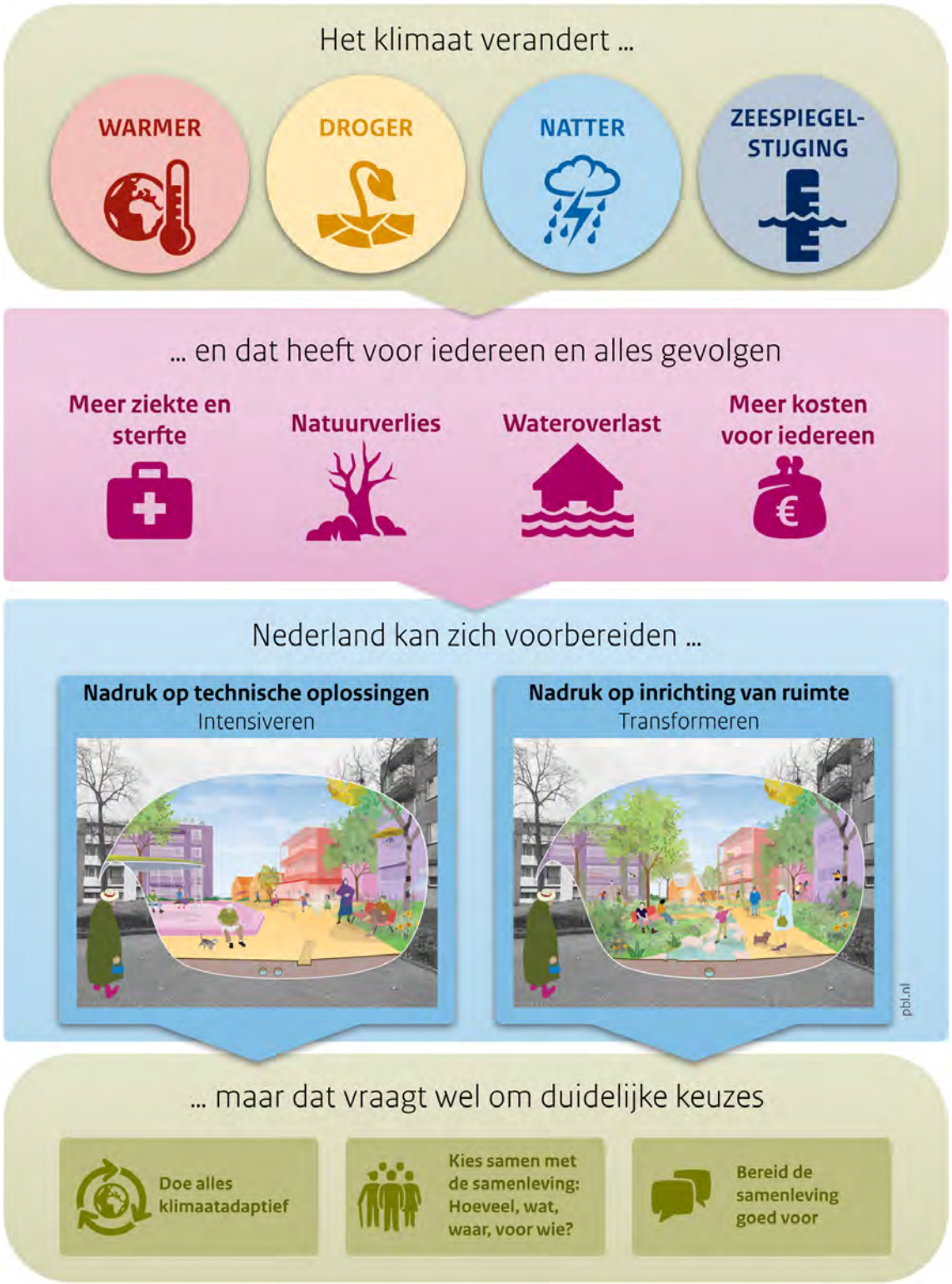
Deze studie laat zien dat we daarbij voor belangrijke keuzes staan. We kunnen vooral inzetten op technische maatregelen die bestaande functies beschermen, zoals airco's en zonneschermen tegen hittestress. We kunnen ook een koers varen waarin de inrichting van de leefomgeving zelf mee verandert: meer ruimte voor groen en water, andere omgang met zoetwater, en ruimtelijke keuzes die beter aansluiten bij water, droogte en hitte. Een dergelijke transformatie van de omgeving is ingrijpend en vergt tijd, maar zal voor een aantal opgaven, zoals de risico's rond droogte en natuur, op langere termijn noodzakelijk zijn. Welke maatregelen waar en wanneer het meest geschikt zijn, vraagt om richting en tijdige keuzes.

Daarmee raakt klimaatadaptatie aan een fundamenteler vraagstuk: blijven we achteraf reageren op ontstane problemen, of richten we Nederland zo in dat risico's aan de voorkant worden verkleind? Oftewel: kiezen we voor een samenleving die schaarste en schade steeds opnieuw probeert op te vangen, of voor een samenleving die vooruitkijkt en de condities schept voor gezondheid, veiligheid en brede welvaart in een veranderend klimaat? Om die goede condities te scheppen, moet klimaatadaptatie niet als sluitpost worden behandeld, maar als randvoorwaarde voor woningbouw, infrastructuur, natuurbeleid en economische ontwikkeling.

Met dit rapport maken we zichtbaar welke afwegingen er voorliggen en waarom tijdig handelen nodig is. Want aanpassen aan klimaatverandering is onvermijdelijk. De vraag is niet óf Nederland verandert, maar of wij in staat zijn een land te bouwen dat ook in een warmer, droger en natter klimaat leefbaar, rechtvaardig en veerkrachtig blijft.

Prof. dr. Marko Hekkert
Directeur PBL

Keuzes voor een klimaatbestendige leefomgeving



Bron: PBL

Samenvatting

Het klimaat verandert en dat heeft voor iedereen en alles gevolgen

Klimaatverandering zet door

Klimaatverandering is steeds meer zichtbaar en voelbaar. Sinds het begin van de metingen in 1901 is de temperatuur in Nederland gemiddeld meer dan 2,5°C gestegen. De jaren 2023 en 2024 waren recordwarm, en 2025 telde twee hittegolven. Deze opwarming zet in de toekomst hoe dan ook door, al is onzeker hoe sterk de temperatuur nog gaat stijgen. Als Nederland zich hier niet beter op gaat voorbereiden en geen extra maatregelen neemt, krijgt iedereen vroeg of laat te maken met overlast, hinder of extra kosten.

Hitte, droogte en wateroverlast krijgen steeds grotere impact op de samenleving

Het wordt warmer, droger en natter in Nederland. Die grotere hitte, droogte en wateroverlast gaan de Nederlandse samenleving op allerlei manieren raken, en kunnen gevolgen hebben voor het dagelijks leven. Zo nemen gezondheidsrisico's toe, kan de landbouw schade leiden door mislukte oogsten, komt de natuur verder onder druk te staan door droogte en hitte, zal stroomuitval vaker voorkomen en gaat er cultureel erfgoed verloren.

Hitte

Het wordt in de toekomst steeds warmer. Nederland krijgt te maken met hogere temperaturen, en ook het aantal dagen dat het tropisch warm is, neemt toe; dit zijn dagen waarop het warmer is dan 30°C. Ook zullen er meer hittegolven zijn, die daarbij heter worden en langer aanhouden dan nu. In de wat verdere toekomst, aan het eind van deze eeuw, komt een temperatuur van 40°C mogelijk bijna elk jaar voor, en kan één hittegolf de hele zomer beslaan.

Wanneer Nederland geen extra maatregelen neemt, worden er in de toekomst meer mensen ziek en sterven er in 2050 duizenden mensen vroegtijdig door hogere temperaturen. Kwetsbare mensen zoals ouderen, jonge kinderen en mensen met chronische ziekten worden het hardst getroffen. In de steden zijn de gevolgen het grootst, omdat het daar warmer is als gevolg van het stedelijk hitte-eilandeffect. Zonder nadere maatregelen is in 2050 twee derde van alle meergezinswoningen, zoals galerij- en portiekflats, beneden- en bovenwoningen, onvoldoende beschermd tegen hitte, waardoor er minder wooncomfort is en een grote kans op warme slapeloze nachten.

Droogte

Ook zijn er in de toekomst steeds vaker periodes van langdurige droogte. Vooral het voorjaar zal steeds droger worden, waardoor er watertekorten ontstaan. Als er in de zomer een hittegolf volgt op een extreem droog voorjaar, is het tekort aan zoetwater nog nijpender. De watervoorraden zijn dan laag en de vraag is juist hoog.

Nederland zal vaker voor de keuze komen te staan wie er voorrang krijgt bij de verdeling van het water: huishoudens, de landbouw, natuurgebieden of energie- en datacenters. Droogte zorgt ook voor een heel ander probleem, namelijk extra schade aan de fundering van oudere gebouwen die op veen en klei staan, en die door het lagere grondwaterpeil verzakken. Zonder extra maatregelen zal door klimaatverandering de schade aan funderingen toenemen, waarbij tot 2050 naar schatting 425.000 woningen directe funderingsschade oplopen, met totale kosten tot 60 miljard euro. Tot

slot leidt droogte tot een vrijwel zekere toename in het aantal natuurbranden, met een groter risico op gelijktijdig voorkomende branden.

Wateroverlast

Naast droogte wordt juist ook een teveel aan water een probleem. Extreem zware of langdurige regenbuien gaan steeds vaker voorkomen en worden heviger. De kans op wateroverlast stijgt daardoor aanzienlijk omdat waterlopen en het riool het water niet snel genoeg kunnen afvoeren. De kans op extreme regen, waarbij er in een uur 25 of meer millimeter regen valt, neemt toe van eens per 5 jaar nu, naar eens per 2 jaar in 2100. Met dergelijke hoosbuien kan de wateroverlast meerdere dagen duren.

Straten en tunnels zullen vaker onderlopen, waardoor wegen niet begaanbaar zijn en bestemmingen minder goed bereikbaar. Dat geldt bijvoorbeeld ook voor belangrijke voorzieningen, zoals ziekenhuizen. Voor de landbouw leidt langdurige of extreme regen tot ondergelopen of verzadigde akkers, waardoor ze niet te bewerken zijn en oogsten kunnen mislukken. Voor datacenters en energiecentrales kan wateroverlast ook een probleem worden, waardoor in bepaalde gebieden de stroom en het internet kunnen uitvallen.

Tegen overstromingen uit zee en de grote rivieren en meren is Nederland goed beschermd. Dankzij het Hoogwaterbeschermingsprogramma worden vóór 2050 alle dijken, gemalen, sluizen en stuwen aangepast om te voldoen aan de afgesproken normen voor de kans op overstromingen.

Die impact kan nog groter zijn, vooral bij bepaalde groepen

Als Nederland geen extra maatregelen neemt, zullen in 2050 vrijwel alle gevolgen van klimaatverandering vaker voorkomen en/of een groter effect hebben (zie paragraaf 4.4 voor een overzicht van klimaatrisico's nu en in 2050). Daarbij kunnen risico's ook nog elkaar versterken. Als bijvoorbeeld hitte, droogte en natuurbranden tegelijk optreden, zal het aantal branden en de omvang ervan toenemen. Ook kan één vorm van overlast een keten van andere gevolgen veroorzaken. Door wateroverlast kan bijvoorbeeld in een bepaald gebied de stroom uitvallen, waardoor internet en communicatiesystemen uitvallen, met als gevolg beperkingen in het treinverkeer, hulpdiensten die op den duur niet goed meer bereikbaar zijn, enzovoort.

Bovendien wordt niet iedereen evenveel geraakt door de klimaatrisico's. Zoals hierboven beschreven krijgen bewoners van steden te maken met een grotere hitte dan mensen buiten de stad. Vooral in de oudere meer versteende wijken loopt de temperatuur sterker op omdat ze dichtbebouwd zijn en er weinig groen is. Deze wijken zijn vaak ook minder goed ingericht op wateroverlast, en oudere huizen op veen- en kleigronden hebben een groter kans op funderingsschade.

Het zijn de kwetsbare mensen bij wie de impact het grootst is. Daarbij kan het gaan om een kwetsbare gezondheid, maar ook om een kwetsbare financiële positie. Zij hebben door hun bepekte financiële middelen minder mogelijkheden om hun woning beter bestand te maken tegen hitte, door bijvoorbeeld een zonnescherm of een airco aan te schaffen. Ook voor het eventueel herstellen van funderingsschade hebben zij minder middelen.

Deze groep wordt ook het meest geraakt door de financiële gevolgen van klimaatverandering, alhoewel iedereen het in de portemonnee kan gaan voelen. Hitte, droogte en wateroverlast zullen samen namelijk leiden tot stijgende kosten van levensonderhoud: voedsel, drinkwater en energie kunnen duurder worden. Door de grotere gezondheidsrisico's en kans op schade kunnen verzekeringspremies omhoog gaan. Ook de kosten voor bijvoorbeeld waterbeheer kunnen stijgen.

Nederland kan zich voorbereiden, maar dat vraagt wel om keuzes

Het is noodzakelijk en urgent dat Nederland zich meer gaat voorbereiden op de grotere hitte, droogte en wateroverlast. Dat kan op verschillende manieren. Zo kan de hitte in steden en woningen worden beperkt door de ruimtelijke inrichting aan te passen, door bijvoorbeeld meer parken, bomen en waterpartijen aan te leggen. Maar ook met meer technische maatregelen zoals het installeren van meer airco's en zonneschermen. Deze twee typen maatregelen zijn exemplarisch voor twee typen adaptatierichtingen: 'transformeren' en 'intensiveren'. Deze richtingen zijn in ons onderzoek verder uitgewerkt, en kunnen worden gebruikt als hulpmiddel bij het kiezen van adaptatiemaatregelen.

Welke maatregel of aanpak geschikt is, is afhankelijk van de plaats, de tijd en het probleem dat moet worden opgelost of ingeperkt. Hoe dan ook is er een mix van verschillende typen maatregelen nodig om zowel op de kortere als de langere termijn bescherming te bieden tegen klimaatdreigingen. Uit ons onderzoek blijkt wel dat er onder de inwoners van Nederland meer draagvlak is voor ingrijpende maatregelen. Een transformeren-aanpak wordt gemiddeld genomen als meer aanvaardbaar gezien dan een intensiverende aanpak.

Denk na over fundamentele keuzes

Welke aanpak geschikt is, is ook afhankelijk van wat de overheid en samenleving belangrijk vinden. Daarbij spelen in elk geval twee fundamentele vragen een grote rol:

- Welke risico's zijn acceptabel en welke mate van bescherming is gewenst? Vindt de samenleving het bijvoorbeeld acceptabel dat er meer mensen ziek worden en doodgaan door de hogere temperaturen, en hoeveel extra ziekenhuisopnames en sterfgevallen mogen er dan zijn? Hoeveel schade mag extreme neerslag of mogen natuurbranden aanrichten, en zijn er sectoren die hier beter tegen moeten worden beschermd dan andere?
- Hoe wil Nederland omgaan met verschillen en ongelijkheden? In sommige delen van Nederland zijn de gevolgen van klimaatverandering bijvoorbeeld meer te merken dan in andere delen. Zo hebben steden te maken met hogere temperaturen dan hun omgeving, en zijn steden in het westen extra kwetsbaar voor wateroverlast door beperkte mogelijkheden voor waterberging. Ook kunnen klimaatrisico's zich opstapelen bij bepaalde groepen of regio's, zoals bij mensen met lagere inkomens die in oude, heter wordende stadswijken wonen. In hoeverre is de samenleving bereid dit soort regio's en bevolkingsgroepen te beschermen? En wat krijgt er in droge perioden voorrang bij de verdeling van water: drinkwater, landbouw, natuur, erfgoed?

Doe alles klimaatadaptief

Er is ook een keuze die sowieso verstandig lijkt, en dat is om alles klimaatadaptief aan te pakken. Oftewel: welke investeringen of aanpassingen Nederland de komende jaren ook doet, het is verstandig daarbij rekening te houden met de effecten van klimaatverandering.

Nederland staat voor een aantal grote ontwikkelingen en transities, zoals de woningbouw, energietransitie, transitie van het landelijk gebied, en onderhoud van infrastructuur. Door deze vanaf de start klimaatadaptief aan te pakken kunnen later extra last en kosten worden voorkomen.

Belangrijke keuzes zijn bijvoorbeeld waar en hoe Nederland de komende decennia de geplande 900.000 huizen gaat bouwen. Bij de locatiekeuze kan rekening worden gehouden met overstromingsrisico en bij de bouw van de woningen met een manier om het binnen koel te houden. Ook kan tijdig worden nagedacht over het waarborgen van de bijbehorende drinkwater-, elektriciteit-

en internetvoorziening: vitale voorzieningen die op zo'n manier worden aangelegd dat er geen of een klein risico is dat ze uitvallen door overstromingen, droogte, wateroverlast en hitte.

Hierbij kunnen ook op een efficiënte wijze meerdere opgaven tegelijk worden aangepakt. Zo kan het grootschalig inzetten op meer 'groen en blauw' in steden bijdragen aan het verminderen van hitte, maar ook aan het vasthouden van water om tijdens droge perioden te kunnen gebruiken, aan het verminderen van wateroverlast door water op te vangen, het verbeteren van de biodiversiteit, en het verbeteren van de fysieke en mentale gezondheid, omdat het mensen uitnodigt meer naar buiten te gaan.

Ook bij de grote onderhoudsoperaties aan weg, spoor en andere infrastructuur is het belangrijk om tegelijkertijd ervoor te zorgen dat deze bestand zijn tegen hitte, droogte en wateroverlast.

Ruimtelijke ordening speelt hierbij een belangrijke rol. Een ruimtelijke ordening waarin het water- en bodemsysteem als uitgangspunt wordt genomen voor de ontwikkeling van woningbouw, landbouw en andere activiteiten, draagt bij aan een klimaatbestendiger Nederland. Dit kan bijvoorbeeld helpen bij het verminderen van de vraag naar oppervlaktewater en grondwater, het herstellen van een gezonde veerkrachtige natuur en het verkleinen van de kans op overstromingen en wateroverlast, bijvoorbeeld in nieuwbouwwijken.

Bereid de maatschappij goed voor

Ongeacht de gekozen aanpak van klimaatmitigatie (het terugdringen van broeikasgassen) en klimaatadaptatie, op de lange termijn kunnen niet alle effecten en risico's worden beheerst. Dat betekent dat de Nederlandse samenleving voorbereid moet zijn op vaker optredende overlast en schade. Daarom is het belangrijk dat overheid, bedrijven, mensen en gemeenschappen weten hoe ze moeten handelen, voor, tijdens, en na dit soort gebeurtenissen. Dit wordt ook wel 'maatschappelijke weerbaarheid' genoemd. Die weerbaarheid kan op verschillende manieren worden vergroot, zoals met informatiecampagnes, het ontwikkelen van waarschuwingssystemen en rampenplannen, het houden van oefeningen, het organiseren van hulpdiensten, het regelen van opvang van slachtoffers, en het maken van afspraken over herstelmaatregelen.

BEVINDINGEN

BEVINDINGEN

Bevindingen: keuzes voor een klimaatbestendige leefomgeving

Inleiding

Het klimaat verandert snel

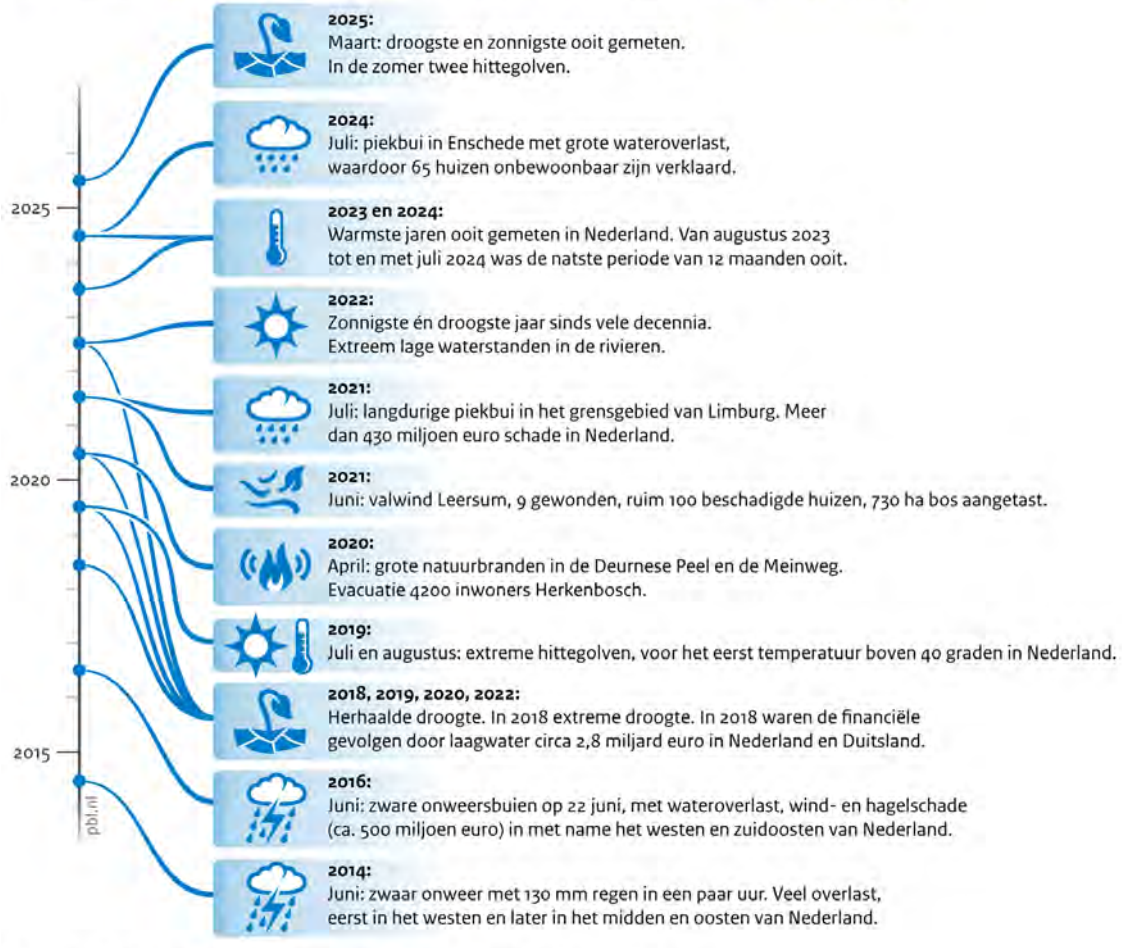
Het klimaat verandert snel. Wereldwijd is de aarde gemiddeld met 1,4°C opgewarmd ten opzichte van de periode 1850-1900. In Europa stijgt de temperatuur nog sneller: Europa inclusief Nederland is het snelst opwarmende continent (EEA 2024). De jaargemiddelde temperatuur in Nederland is tussen het begin van de metingen in 1906 en 2024 met 2,5°C gestegen (KNMI 2023; CLO 2026).

Gevolgen van klimaatverandering zijn al steeds vaker te merken

Door klimaatverandering heeft Nederland in het afgelopen decennium steeds vaker te maken met extreme weersomstandigheden (zie figuur 1).

Figuur 1

Extreme weergebeurtenissen in Nederland en de impact ervan, 2014 – 2025



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

Zo kreeg Nederland in 2019 te maken met een hittegolf, waarbij het voor het eerst boven de 40°C werd. En ook de zomers van 2018, 2020 en 2022 waren warm en vooral zeer droog, waarbij de natuur, de landbouw en de binnenvaart veel te lijden hadden van het gebrek aan water. De economische schade hiervan bedroeg in 2018 2,8 miljard euro voor de binnenvaart en de industrie in Nederland en Duitsland die daarvan afhankelijk is (PBL 2024).

Tegelijkertijd zijn er juist ook vaker piekbuien en langere perioden met grootschalige neerslag. In 2021 werd Limburg getroffen door overstromingen, als gevolg van veel regen in een groot gebied, met 430 miljoen euro schade tot gevolg. Wateroverlast kan lokaal ook tot stroomstoringen leiden, zoals gebeurde in Nijverdal: in oktober 2023 kwam daar het stroomverdeelstation onder water te staan door extreme neerslag en hoge grondwaterstand, waardoor er kortsluiting ontstond en ruim 11.000 elektriciteitsaansluitingen 5 uur lang zonder stroom kwamen te zitten. In Enschede werden na een piekbui van 55 millimeter in één uur op 21 juli 2024, 65 huurwoningen onbewoonbaar verklaard, omdat het niet mogelijk was de woningen tegen toekomstige wateroverlast te beschermen (De Woonplaats 2025).

Hoe kan Nederland zich beter voorbereiden?

Deze klimaatverandering zet in de toekomst door – ook als het lukt om de broeikasgasuitstoot terug te dringen (KNMI 2023). Dat betekent dat Nederland steeds meer te maken krijgt met temperatuurstijging, drogere zomers, nattere winters, een versneld stijgende zeespiegel en meer extreem weer, met alle gevolgen van dien.

De vraag is hoe Nederland zich daarop gaat en kan voorbereiden. Daarbij staan politiek, beleidsmakers en samenleving voor fundamentele keuzes (zie figuur 2). Keuzes over het beschermingsniveau dat nodig en gewenst is; 100 procent bescherming tegen hitte, droogte en wateroverlast is namelijk niet mogelijk. En ook keuzes over welke waarden zo optimaal mogelijk beschermd zouden moeten worden; denk aan kwetsbare bevolkingsgroepen, natuur en cultureel erfgoed, en economische sectoren zoals de landbouw. Ook moet Nederland kiezen wat voor type maatregelen het wil nemen en wat ze mogen kosten; die keuze kan ingrijpende gevolgen hebben voor de alledaagse omgeving en het landschap.

Waarom moet Nederland zich nú voorbereiden?

Klimaatverandering verloopt snel, en veel adaptatiemaatregelen vergen tijd. Bij de afwegingen rond klimaatadaptatie zijn vaak veel partijen betrokken, waardoor de besluitvorming lang kan duren. Bovendien kosten veel adaptatiemaatregelen tijd, bijvoorbeeld als daarvoor de leefomgeving anders wordt ingericht. Adaptatiemaatregelen dreigen daardoor geen gelijke tred te houden met de snel toenemende risico's door klimaatverandering. Dit geldt bijvoorbeeld voor de aanleg van dijken, maar ook voor de vernieuwing van transportinfrastructuur, werkzaamheden aan waterkeringen, nieuwbouw en de aanpassing van woningen. Het is daarom belangrijk dat op korte termijn keuzes worden gemaakt over hoe Nederland om wil gaan met de klimaatrisico's (figuur 2). Door tijdig te handelen kunnen zij verdere schade beperken en Nederland beter voorbereiden op toekomstige uitdagingen.

Figuur 2

Keuzes voor een klimaatbestendige leefomgeving

Vragen voor politiek, beleid en samenleving



Bron: PBL

Met dit rapport *Voorbij de risico's: keuzes voor een klimaatbestendige samenleving* willen we bijdragen aan de bovengenoemde keuzes. We brengen in beeld welke toekomstige risico's van klimaatverandering de Nederlandse samenleving kan verwachten. Daarbij schetsen we welke mogelijkheden Nederland heeft om zich daaraan aan te passen; welke keuzes kan de politiek maken, welke maatregelen kan of moet de overheid nemen en wat kunnen Nederlanders zelf doen. We laten ook zien wat de consequenties van die keuzes en maatregelen zijn, onder andere hoe Nederland er in de toekomst uit kan komen te zien. We kijken met name naar de periode rond 2050, met een doorkijk naar de gevolgen van klimaatverandering op de nog langere termijn (zie ook tekstkader 1).

We doen dit onderzoek op verzoek van de ministeries die betrokken zijn bij de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS), het overkoepelende beleidstraject voor klimaatadaptatie. We leveren hiermee input voor de nieuwe NAS, die gepland staat voor 2026. Ook willen wij met deze studie (nieuwe) informatie leveren voor de herziening van het Deltaprogramma (DP) – eveneens in 2026. We hebben in dit onderzoek samengewerkt met een aantal collega-kennisinstellingen: Deltares, KNMI, RIVM, Org-id, RCE, TNO, TU Delft, WUR en CAS.

Tekstkader 1
Over dit onderzoek en de scenario's

In dit onderzoek kijken we naar de toekomstige risico's van klimaatverandering; wat komt er in 2050 en 2100 op Nederland af? Hoe groot die klimaatrisico's in de toekomst zullen zijn, is niet alleen afhankelijk van de mate van klimaatverandering, maar bijvoorbeeld ook van bevolkingsgroei, vergrijzing en economische ontwikkelingen. Omdat we niet precies kunnen weten hoe al deze ontwikkelingen zullen verlopen, hebben we in ons onderzoek gewerkt met scenario's, die verschillende mogelijke toekomsten laten zien.

Voor de toekomst van klimaatverandering hebben we gebruik gemaakt van de klimaatscenario's van het KNMI (KNMI 2023), die een Nederlandse vertaling zijn van de wereldwijde klimaatprojecties van het IPCC - het klimaatpanel van de Verenigde Naties. Het KNMI onderscheidt vier scenario's, waarvan wij de grootste bandbreedte gebruiken van mogelijke klimaattoekomsten. We lopen daarmee richting 2050 in de pas met het voorstel van de *European Scientific Advisory Board on Climate Change* (ESABCC 2026), dat aangeeft op welke temperatuurstijgingen de EU zich moet voorbereiden.

Niet alleen het klimaat, maar ook de Nederlandse samenleving zal veranderen. In deze studie baseren wij ons hiervoor op scenario's uit de WLO-toekomstverkenning 2025 (Welvaart en Leefomgeving, PBL 2025).

Vervolgens laten we in ons onderzoek zien wat er 'mis' gaat zonder aanvullend adaptatiebeleid en maatregelen. Door verschillende kennisinstituten is per sector een analyse gemaakt welke klimaatrisico's, en van welke omvang, dit in 2050, en waar mogelijk en relevant 2100, zou opleveren. Welk aanvullend adaptatiebeleid en -maatregelen er mogelijk zijn, is geanalyseerd aan de hand van twee aanvullende 'adaptatierichtingen' met verschillende typen maatregelen: 'intensiveren' en 'transformeren'. Ook hierbij is geanalyseerd wat de effecten zijn van de twee adaptatierichtingen op de klimaatrisico's.

Tot slot is op basis van de analyseresultaten op een rij gezet wat belangrijke adaptatieopties zijn en welke beleidskeuzes hiermee zijn gemoeid. Ook zijn aanvullende studies uitgevoerd over de beleving van klimaatrisico's en de knelpunten in het huidige adaptatiebeleid.

In hoofdstuk 3 staat een uitgebreide beschrijving van de aanpak van dit onderzoek.

Fundamentele keuzes voor een klimaatbestendige leefomgeving

Nederland is nog onvoldoende voorbereid op toekomstig klimaat

Klimaatverandering zet in de toekomst door, en de risico's die Nederland daardoor loopt zullen naar verwachting toenemen. Nederland werkt weliswaar al aan het verminderen van die klimaatrisico's, met het Deltaprogramma, de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS), en ook met maatregelen die provincies, gemeenten, bedrijven en burgers nemen. Zo worden met het Deltaprogramma concrete stappen gezet om Nederland te beschermen tegen overstromingen. Maar op veel gevolgen van temperatuurstijging, droogte en extreme neerslag is Nederland nog onvoldoende voorbereid.

Ons onderzoek laat zien dat zonder extra beleid en maatregelen de meeste klimaatrisico's in de toekomst verder toenemen. Voor een effectieve en eerlijke aanpak is het nodig dat Nederland een

aantal fundamentele keuzes maakt over hoe om te gaan met klimaatverandering. Uiteindelijk zijn dit politieke keuzes. Het is belangrijk dat de overheid Nederlanders betrekt bij en informeert over klimaatverandering en klimaatbeleid, bijvoorbeeld met informatiecampagnes en het organiseren van debatten. De Nederlandse bevolking wordt zich dan meer bewust van de klimaatgevolgen en kan zich hier op voorbereiden. Betrokkenheid en kennis van bewoners en bedrijven leidt ook tot beleid dat effectiever en breder gedragen is.

Wat is een acceptabel basisniveau van bescherming?

Het doel van het Nederlandse beleid is om in 2050 'klimaatbestendig' te zijn (IenW 2023). Maar wat dat precies betekent, is vaak nog niet concreet uitgewerkt. Er zijn wel duidelijke keuzes gemaakt welke overstromingsfrequentie acceptabel wordt gevonden en de dijken worden daarop aangepast, maar voor veel andere risico's ontbreekt dit.

Welke mate van bescherming tegen klimaatrisico's vindt Nederland nodig, welke risico's acceptabel en welke maatregelen is het bereid te nemen om risico's nu en in de toekomst te verminderen? Bij de risico's gaat het bijvoorbeeld om hoeveel extra sterfgevallen door hogere temperaturen acceptabel zijn. Of tot hoeveel schade extreme neerslag mag leiden. En bij maatregelen bijvoorbeeld om de verdeling van water: wie en wat krijgen er in droge perioden voorrang: drinkwatervoorziening, landbouw, natuur, erfgoed?

Hoe om te gaan met verschillen en ongelijke verdeling van risico's

Effecten van klimaatverandering raken sommige groepen mensen harder dan andere. Zo krijgt niet iedereen in dezelfde mate te maken met hitte. Over het algemeen zijn de temperaturen in het zuidoosten van Nederland hoger, en in de kustgebieden lager door verkoeling van de zee. Bewoners in steden ervaren meer hitte door het stedelijk hitte-eilandeffect. Ook zijn er verschillen tussen groepen mensen. Buitenwerkers (bouwvakkers, groenwerkers) krijgen bijvoorbeeld meer te maken met hitte. Mensen met bepekte financiële middelen hebben minder mogelijkheden om hun woning beter bestand te maken tegen hitte, door bijvoorbeeld een zonnescherm of een airco aan te schaffen. Ook wonen zij vaker in een (sociale)huurwoning, waardoor zij voor dit soort aanpassingen, afhankelijk zijn van een huurbaas.

Ook kunnen klimaatrisico's zich opstapelen bij bepaalde groepen of regio's. Zo komen in oude stadswijken problemen samen die elkaar ook nog versterken: vaak zijn deze wijken sterk versteend, met een minder groene en daarom hetere omgeving, die ook minder goed is ingericht op wateroverlast, met minder goed geïsoleerde huizen, en oudere huizen met meer kans op funderingsschade. Het is belangrijk dat Nederland kiest in welke mate en hoe hiermee rekening moet worden gehouden. Een mogelijke aanpak is die van de gemeente Amsterdam. Daar is in kaart gebracht welke wijken het meest kwetsbaar zijn voor klimaatverandering, en die wijken worden geprioriteerd bij het uitvoeren van aanpassingen (Gemeente Amsterdam 2025).

Een warmere, drogere, en nattere toekomst

Een warmere toekomst …

De opwarming van Nederland gaat naar verwachting door, met mogelijk een stijging van +0,9 tot +1,6 graden in 2050, en +0,9 tot +4,4 graden in 2100 (ten opzichte van de referentieperiode 1991-2020). Ook zal Nederland steeds vaker te maken krijgen met tropische hitte; op tropische dagen is de temperatuur 30°C of hoger. Rond 2050 kan het aantal tropische dagen in Nederland gestegen zijn van 5 dagen per jaar in het huidige klimaat naar 9 dagen per jaar. Na 2050 is het onzeker hoe

sterk de klimaatverandering doorzet. Bij een beperkte klimaatverandering zullen er rond 2100 13 tropische dagen zijn en bij een sterke klimaatverandering waarbij de uitstoot van broeikasgassen hoog blijft, loopt het aantal tropische dagen op tot 35. Ook een temperatuur van 40°C, die in Nederland tot op heden pas één keer is waargenomen (in 2019), zal naar verwachting bij een sterke klimaatverandering in 2050 vaker voorkomen, en rond 2100 vrijwel jaarlijks (KNMI 2023). Niet alleen overdag wordt het warmer, ook het aantal tropische nachten (met een temperatuur van 20°C of hoger) neemt waarschijnlijk toe: van 0,3 in het huidige klimaat tot 3 rond 2050 en 19 nachten in 2100.

Niet overal in Nederland wordt het even heet; net als nu zijn de hoge temperaturen niet gelijkmatig over het land verdeeld. In Zuidoost-Nederland zullen zoals gezegd hete dagen en nachten vaker voorkomen dan aan de kust. En in steden speelt het hitte-eilandeffect dan nog meer; in 2100 kan bij een sterke klimaatverandering de temperatuur in steden oplopen tot 50°C, en een hete zomer kan daar vrijwel één aaneengesloten hittegolf zijn (KNMI 2023).

... en een drogere toekomst ...

Het wordt niet alleen warmer, er zullen ook vaker langdurige en extreme droge periodes voorkomen. In die periodes is er een zogenoemd neerslagtekort: de totale verdamping van water is dan groter dan de totale hoeveelheid neerslag. Door de hogere temperaturen in met name het vroege voorjaar verdampt er veel meer water. Naar verwachting stijgt het neerslagtekort in het groeiseizoen tot 2050 met 13 tot 35 procent (KNMI 2023). Waar een extreem droog jaar als 2018 nu gemiddeld eens in de 20 jaar voorkomt, gebeurt dat naar verwachting rond 2050 eens per 5 jaar, en rond 2100 elke 2 jaar (Stowa 2025).

... maar ook een nattere toekomst

Tegelijkertijd wordt het op andere momenten juist natter. Nederland krijgt steeds meer te maken met langdurige perioden met hevige regen. Buien zullen naar verwachting intenser zijn en deze piekbuien gaan ook vaker voorkomen. Dergelijke korte, hevige buien zorgen voor veel overlast en schade. Met name de Nederlandse winters worden natter; de neerslag kan in 2100 toenemen met 5 tot 24 procent.

Tot slot zal de zeespiegel in de toekomst versneld blijven stijgen. Van 1971 tot 2018 steeg de zeespiegel voor de Nederlandse kust gemiddeld met 2,3 millimeter per jaar, maar tussen 2006 tot 2018 bedroeg de stijging gemiddeld 3,7 millimeter per jaar (KNMI 2023). De verwachting is dat in 2050 de zeespiegel rond de 25 centimeter gestegen is ten opzichte van de referentieperiode 1995-2014, met in 2100 een mogelijke stijging van 44 tot 82 centimeter, afhankelijk van hoe sterk het klimaat verandert (KNMI 2023). Onderzoek laat zien dat het technisch gezien mogelijk is om Nederland met de huidige aanpak te beschermen tegen een zeespiegelstijging tot aan 3 meter (Kennisprogramma Zeespiegelstijging (2023). Een probleem dat samenhangt met de stijgende zeespiegel in combinatie met lage rivierafvoeren is verzilting: zoutwater dringt verder het land binnen. In de kustregio's komt de beschikbaarheid van zoetwater voor landbouw, natuur en drinkwatervoorziening onder druk te staan. Om het water in de polders voldoende zoet te houden is er meer aanvoer van water nodig om polders door te spoelen.

Risico's van meer hitte, droogte, en wateroverlast

Klimaatverandering heeft gevolgen voor talloze aspecten van de Nederlandse samenleving, van een slechtere gezondheid en lagere arbeidsproductiviteit tot schade aan infrastructuur en druk op de drinkwatervoorziening, en lagere inkomsten voor de landbouw en scheepvaart. Zonder extra

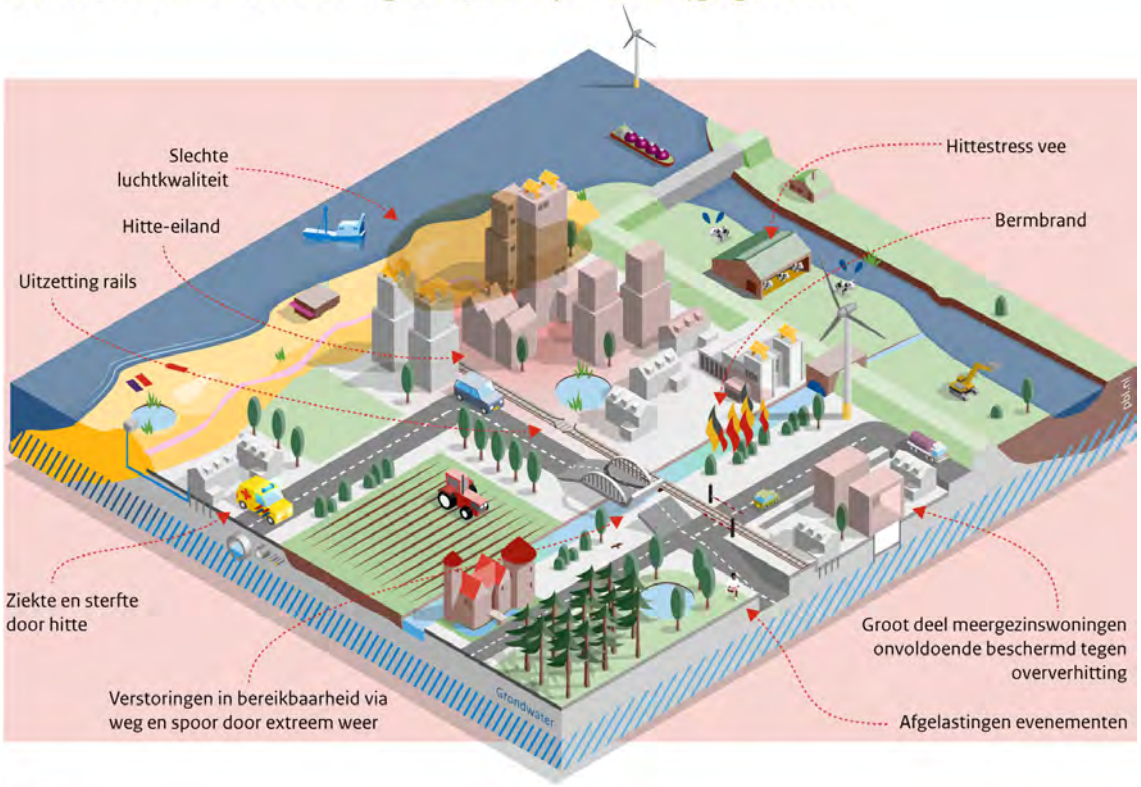
beleid en maatregelen zullen in 2050 de gevolgen van de toenemende hitte, droogte en neerslag toenemen. Ze zullen steeds meer overlast geven in alle geledingen van het land en leiden tot verstoringen van het dagelijks leven. Dit is natuurlijk met name het geval bij het scenario met een sterke klimaatverandering, maar ook in het lage scenario zijn er aanzienlijke gevolgen.

Hitte: risico's voor gezondheid, dagelijks leven en economie

Temperatuurstijging en hitte hebben grote gevolgen voor de gezondheid en het dagelijks leven van mensen, voor het gebruik van de leef- en woonomgeving, en voor de economie (zie figuur 3).

Figuur 3

Effecten van klimaatverandering in 2050: temperatuurstijging en hitte



Bron: PBL

Ziekte en sterfte door hogere temperaturen

Hitte kan leiden tot gezondheidsklachten, vooral bij ouderen, mensen met een chronische aandoening, zwangeren en (heel) jonge kinderen. Dit kunnen lichte symptomen zijn, zoals hoofdpijn en vermoeidheid, die het gevolg kunnen zijn van de hitte zelf, maar ook van de slapeloze nachten door de hoge temperatuur in huis. Dit soort klachten heeft gevolgen voor het dagelijks functioneren van de mensen, en heeft een effect op hun arbeidsproductiviteit. In 2050 is bij het huidige beleid 62 procent van de meergezinswoningen (dat wil zeggen meerdere woningen in één pand, waaronder flats, galerij-, portiek-, beneden- en bovenwoningen) onvoldoende beschermd tegen oververhitting (TNO 2026). Hitte kan ook ernstigere gevolgen hebben, zoals opname in het ziekenhuis of zelfs de dood. Bij beperkte klimaatverandering zullen in 2050 bij het huidige beleid circa 2.300 mensen per jaar eerder overlijden als gevolg van de temperatuurstijging. Bij sterke klimaatverandering is dat naar verwachting ongeveer 3.700 mensen (RIVM 2026). Daarnaast hangen gezondheidsklachten ook samen met extra zomersmog, een grote kans op infectieziekten en allergieën en meer huidkanker door de toename van zonuren. Een eerdere inschatting van de economische impact van

de gezondheidseffecten van klimaatverandering in de huidige situatie kwam op een bedrag van meer dan 1 miljard euro per jaar (PBL 2024).

Meerdere gevolgen van hitte voor het dagelijks leven

Niet alleen de klimaatrisico's voor gezondheid hebben impact op het dagelijks leven van mensen. Hittegolven vormen een risico voor allerlei onderdelen in het wegen- en spoornet. Zo kunnen beweegbare bruggen uitzetten en daardoor niet goed meer sluiten, ook rails kunnen uitzetten en asfalt kan smelten. Dit kan leiden tot verkeershinder, vooral op drukke autoroutes en op het spoor, lange omrijdtijden, belemmering van hulpdiensten, verlies van productiviteit en hogere onderhoudskosten. Typisch Nederlandse tradities, ambachten en evenementen (immaterieel erfgoed) als braderieën, bloemencorso's, schaatstochten op natuurijs en de vierdaagse van Nijmegen, kunnen door hitte mogelijk niet doorgaan of moeten verplaatst worden naar koelere momenten.

Economische schade door hittestress voor vee

Maar niet alleen mensen hebben last van hoge temperaturen; ook veel dieren kunnen er slecht tegen, waaronder dieren in de veehouderij, met gevolgen voor hun welzijn. Door hittestress produceren koeien minder melk, groeien varkens minder sterk en sterven vleeskuikens voortijdig. Economisch kan dit in 2100 en bij sterke klimaatverandering een verlies betekenen van 0,5 miljard euro per jaar rond 2050, en tussen de 0,5 en meer dan 1 miljard euro per jaar.

Droogte: risico's voor drinkwater, natuur, landbouw, erfgoed en meer

In de lente en zomer krijgt Nederland steeds vaker te maken met langdurige periodes van droogte. Dit leidt naar verwachting tot minder beschikbaarheid van (schoon) oppervlaktewater en tot een daling van de grondwaterstanden, met gevolgen voor onder andere drinkwatervoorziening, landbouw, natuur, cultureel erfgoed en scheepvaart (zie figuur 4).

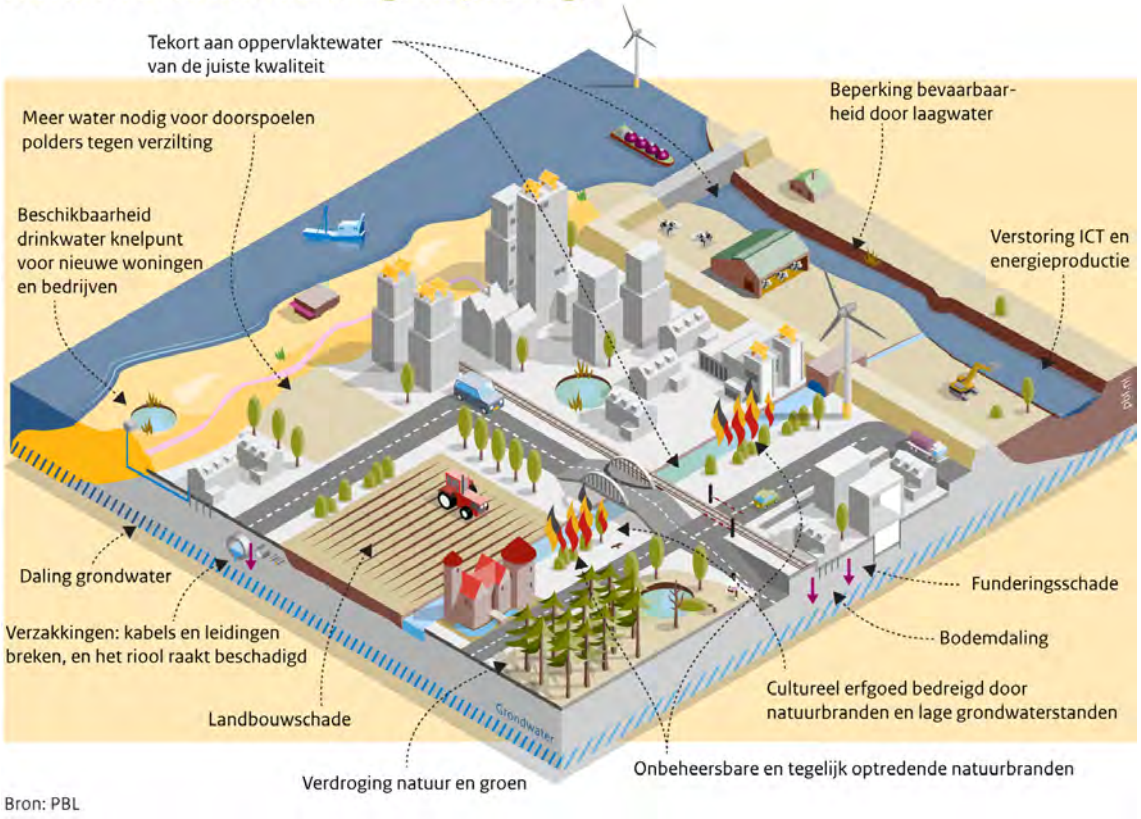
Toename tekort oppervlaktewater in laag-Nederland

In 2050 neemt door klimaatverandering het tekort aan oppervlaktewater in laag-Nederland – het westen en noorden van Nederland – toe met 25 tot 40 procent, afhankelijk van de mate van klimaatverandering. Oppervlaktewater is al het water in rivieren, meren, kanalen, beken en sloten. Tegelijkertijd met dat tekort neemt in droge perioden de vraag naar water toe.

Er zal dan vaker gekozen moeten worden wie water krijgt of wie minder of niets krijgt. Daarvoor heeft Nederland al een zogenoemde verdringingsreeks opgesteld, waarin is vastgelegd wie er bij de verdeling van water in droge perioden prioriteit krijgt. Zo krijgt waterwinning voor de drinkwatervoorziening voorrang. Ook natuurgebieden die bij uitblijven van water onomkeerbare schade kunnen oplopen, en kapitaalintensieve landbouw krijgen prioriteit. Voor het grootste deel van de landbouw en natuur betekent dit echter dat er minder water beschikbaar is, met toenemende negatieve gevolgen voor de productie, biodiversiteit en ecosysteemdiensten. Dat geldt ook voor de andere sectoren die in de lagere categorieën vallen en afhankelijk zijn van water, zoals de scheepvaart, en energiecentrales en datacenters die koelwater nodig hebben. Voor het goederentransport door de binnenvaart gaan de lage waterstanden in rivieren en kanalen gepaard met hoge kosten: vanaf 2050 krijgt de sector eens in de vijf jaar te maken met een droogte die voor 288 miljoen euro aan extra vaarkosten met zich meebrengt, en eens in de twintig jaar zal dat 450 miljoen euro zijn (hoofdstuk 17).

Figuur 4

Effecten van klimaatverandering in 2050: droogte



Bron: PBL

Dalende grondwaterstanden in hoog-Nederland

Door de intensere drogere periodes zullen op veel plekken ook de grondwaterstanden dalen. In 2050 kunnen bij een sterke klimaatverandering de grondwaterstanden op de hoge zandgronden dalen met 10 tot 50 centimeter, en dicht bij drinkwaterwinning en industrie dalen tot 1 meter. Die lage standen leiden tot allerlei problemen. Zo verdroogt de grondwaterafhankelijke natuur, zullen natuurbranden naar verwachting vaker en intenser voorkomen, komt de fundering van gebouwen vaker droog te liggen met verzakking en paalrot tot gevolg, en verdwijnt er archeologisch erfgoed voorgoed; zo komen bijvoorbeeld scheepswrakken droog te liggen waardoor ze niet meer geconserveerd blijven.

Bovendien is er ook bij een lage grondwaterstand minder water beschikbaar voor de drinkwatervoorziening en voor de landbouw. Boeren proberen de effecten van droogte te verminderen door – zolang dat is toegestaan – de akkers te beregenen met oppervlakte- of grondwater, maar de verwachting is dat tijdens droge perioden, die eens in de 10 jaar gaan voorkomen, de schade voor de landbouw oploopt tot tussen 100 miljoen en 1 miljard euro (hoofdstuk 16).

Gevolgen droogte voor verouderde gebouwen en infrastructuur

In de gebouwde omgeving, en met name in het westen van Nederland, hangen de gevolgen van droogte en hitte samen met bodemdaling en oudere infrastructuur en gebouwen. Droogte versterkt de daling van klei- en veenbodems, met schade aan funderingen, wegen en rioleringen tot gevolg (PBL 2024). Daarbij doen de grootste risico's voor funderingen zich voor bij woningen van voor 1970 met een fundering op staal. Ook gebouwen die zijn gefundeerd op houten heipalen

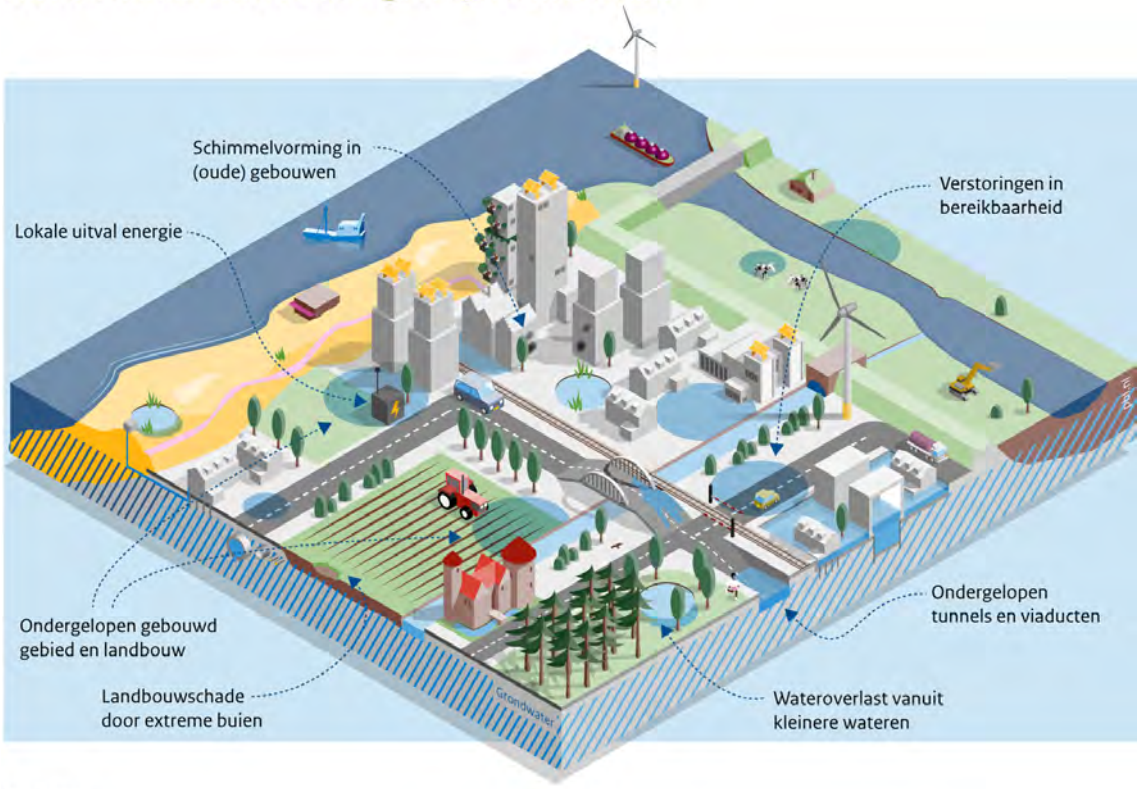
lopen gevaar. Als houten heipalen droog komen te staan gaan ze rotten en verliezen ze hun draagkracht.

Wateroverlast: risico's voor landbouw, infrastructuur en de gebouwde omgeving

Door meer en extreme neerslag neemt de kans op wateroverlast toe. Naar verwachting valt er in 2050 in de winter 4 tot 7 procent meer neerslag dan nu, en zijn er in de zomer vaker en intensere piekbuien (KNMI 2023). De kans op hoosbuien (25 millimeter regen of meer in een uur) neemt toe van eens per 5 jaar nu, naar eens per 2 jaar in 2100. Hierdoor kunnen akkers en wegen onder water lopen, gebouwen schade oplopen, en kan het dagelijks leven verstoord worden (zie figuur 5).

Figuur 5

Effecten van klimaatverandering in 2050: wateroverlast



Bron: PBL

Minder opbrengst en schade in de landbouw door te veel neerslag

De land- en tuinbouw in Nederland zijn gevoelig voor zowel lange natte periodes als voor piekbuien. Zo kunnen percelen en gewassen langere tijd onder water komen te staan, en kunnen piekbuien ervoor zorgen dat gewassen zoals granen platslaan. Dergelijke wateroverlast leidt voor boeren direct tot opbrengstverliezen, maar ook tot verlies van de bodemkwaliteit waardoor ze langduriger economische schade oplopen. Voor aardappeltelers kan wateroverlast bijvoorbeeld, zonder aanvullende maatregelen, in 2050 leiden tot 35 procent minder opbrengst (WUR 2026). Dergelijke verliezen hebben ook gevolgen voor consumenten, omdat het aanbod afneemt en de prijzen kunnen stijgen. In 2050 kan de economische schade door piekbuien en lange natte perioden variëren tussen de 100 miljoen en 1 miljard euro, met een frequentie van eens in de 1 tot 10 jaar (hoofdstuk 16). De relatie tussen oorzaak en gevolg kent wel veel onzekerheden.

Wateroverlast leidt tot schade aan huizen, infrastructuur, stroomuitval met mogelijk keteneffecten

Extreme neerslag kan zorgen voor wateroverlast. Hoewel heel Nederland te maken kan krijgen met extreme neerslag, zijn stedelijke gebieden in het westen extra kwetsbaar door minder mogelijkheden voor waterberging. De schadeposten kunnen oplopen tot honderden miljoenen euro's per gebeurtenis, zoals het geval was bij een extreme hagelbui in 2016 in Brabant en de overstroming in Limburg in 2021.

Wateroverlast verstoort ook het dagelijks leven: huishoudens, bedrijven en bijvoorbeeld ziekenhuizen ondervinden hinder en schade, en er ontstaan gezondheidsrisico's bij contact met vervuild water en door schimmelvorming in een latere fase.

Door extreme neerslag zullen wegen en met name tunnels vaker onderlopen. Mensen kunnen hierdoor hun bestemming niet of alleen via een omweg bereiken, en hetzelfde geldt voor hulpdiensten. Voor de spoorwegen is het grootste risico van wateroverlast dat het spoorweglichaam langdurig verzadigd raakt, met mogelijke verzakkingen tot gevolg. Ook kunnen tunnels onderlopen of kan er water in technische ruimtes lopen, waardoor signalerings- en beveiligingssystemen kunnen uitvallen. Treinen kunnen hierdoor vertragen en uitvallen. Zonder extra maatregelen zal de schade op het spoor hierdoor per gebeurtenis toenemen van 100 miljoen tot 1 miljard euro nu, naar meer dan 1 miljard euro richting 2050 (hoofdstuk 19). Die toename hangt niet alleen samen met klimaatverandering, maar ook met een intensiever gebruik van het spoor: een stijging van 43 tot 78 procent personenvervoer in 2050 (PBL 2025) en met een toename van het aantal verdiept liggende spoorwegen (Bles et al. 2026).

Extreme weersomstandigheden, zoals hevige neerslag en hittegolven, vormen ook een groeiende bedreiging voor de energie- en ICT-infrastructuur in Nederland. Hoewel de uitval vaak lokaal en van beperkte duur zal zijn, kunnen de keteneffecten grote invloed hebben op het dagelijks leven, door uitval van voorzieningen zoals betalingsverkeer of zorgverlening. Extreme neerslag vormt vooral een risico voor de elektriciteitsinfrastructuur, zoals onderstations en distributienetten. Door bevolkingsgroei en de toenemende elektrificatie van de samenleving, neemt de afhankelijkheid van een betrouwbare elektriciteitsvoorziening toe.

Overzicht van toekomstige klimaatrisico's voor Nederland

Als Nederland geen extra maatregelen neemt, nemen dus voor vrijwel alle sectoren de klimaatrisico's in 2050 toe. De meeste gevolgen zijn in 2050 groter en treden vaker op. Het gaat er dus zowel om dat de kans toeneemt dat er schade of overlast ontstaat door klimaatverandering, als dat de impact van zo'n klimaatrisico toeneemt (zie figuur 6).

Er zijn wel duidelijke verschillen tussen de sectoren en onderwerpen. De impact van klimaatverandering op het voorkomen van natuurbranden, en op de kwaliteit van natuur en water neemt toe van impactklasse 'midden' naar 'groot'. Dat betekent bijvoorbeeld dat de negatieve effecten op natuur en water op sommige plekken onomkeerbaar zijn, dus dat natuur en water niet meer vanzelf zullen herstellen. Voor landbouw, energie en de digitale infrastructuur blijft de impact richting 2050 in dezelfde klasse.

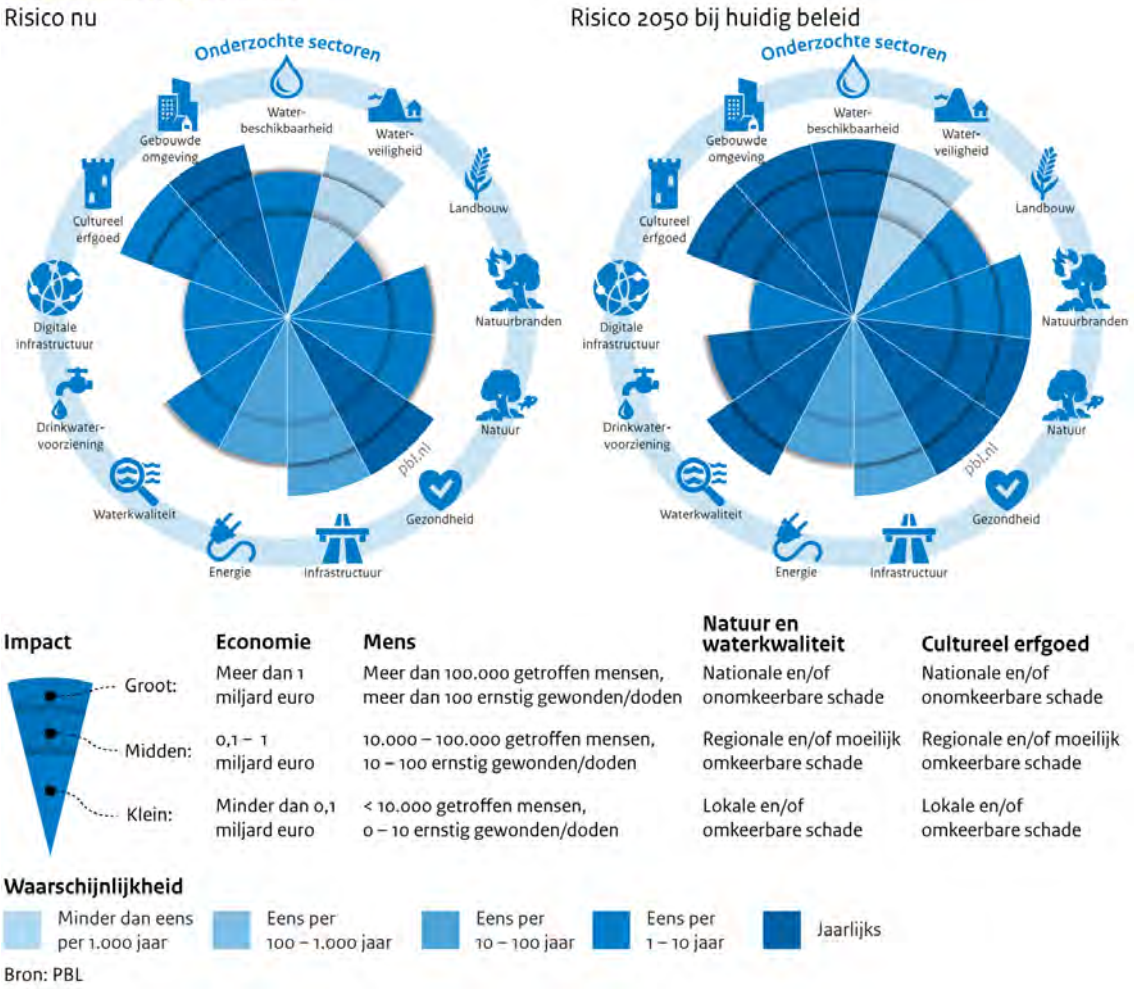
Een aantal sectoren scoort nu al een impact van klasse 'groot', en dat blijft zo in 2050. Dat geldt bijvoorbeeld voor overstromingen (waterveiligheid), gezondheid en infrastructuur. De kans dat een overstroming plaatsvindt vanuit zee of de grote rivieren en meren is heel klein. En dat blijft zo, als de nu al geplande extra beschermende maatregelen worden uitgevoerd (zie paragraaf waterveiligheid), volgens normen waarin het veranderende klimaat al wordt meegenomen. Maar het aantal

slachtoffers en euro's schade als het gebeurt – en dus de impact – blijft groot. Voor gezondheid gaat het om effecten van vooral hitte, die jaarlijks voorkomen en die in 2050 tot duizenden extra sterfgevallen kunnen leiden. Spoor, wegen en vaarwegen (infrastructuur) ondervinden gevolgen van extreem weer, waarbij de bij elkaar opgetelde schade en hinder door hitte, droogte en wateroverlast groot kan zijn.

Voor droogte (waterbeschikbaarheid), natuur, en cultureel erfgoed neemt (ook) de kans dat risico's voorkomen toe, van eens per 1 tot 10 jaar naar jaarlijks in 2050.

Figuur 6

Klimaatrisico's per sector



Bron: PBL

NB: In tabel 4.2 staat in meer detail aangegeven welke risico('s) per sector zijn meegenomen in dit overzicht, en in hoofdstuk 4 staat meer uitleg over de betekenis en invulling van figuur 6.

Maatregelen voor een toekomstig klimaatbestendig Nederland

Er zijn allerlei mogelijkheden voor klimaatadaptatie, afhankelijk van plaats, tijd en risico

Als Nederland ervoor kiest de samenleving beter te beschermen tegen de gevolgen van klimaatverandering, kan het tal van maatregelen nemen om de klimaatrisico's in te perken. Denk aan het

installeren van airco's en zonweringen, het verhogen van het waterpeil in meren en de aanleg van parken en bomenrijen.

Van elke maatregel is de effectiviteit afhankelijk van de plaats, de tijd en het risico dat verkleind moet worden. Om een voorbeeld te geven: een manier om een woonwijk klimaatadaptief te maken, is door er meer groen- en watervoorzieningen aan te leggen. Dit is het meest effectief in wijken die kwetsbaar zijn voor hitte, droogte en wateroverlast, bijvoorbeeld omdat ze lager liggen dan de omgeving, weinig groen en veel stenen hebben, of de inwoners weinig eigen middelen hebben om zichzelf te beschermen. Hierbij speelt een fundamentele keuze wie er in welke gevallen verantwoordelijk is voor klimaatadaptatie, en wie de maatregel moet nemen en financieren. Het koeler en schaduwrijk maken van een wijk door het planten van bomen en aanleggen van vijvers, is een gemeentelijke verantwoordelijkheid. Het verkoelen van een woning kan ook aan de bewoner worden overgelaten door aan hen zelf de keuze te laten voor een ventilator of airco, waarbij ook de kosten bij het individu worden neergelegd.

Twee mogelijke adaptatierichtingen: intensiveren en transformeren

De hierboven genoemde voorbeeldmaatregelen – aanschaffen van een airco en vergroenen van een wijk – zijn exemplarisch voor twee typen adaptatierichtingen: 'intensiveren' en 'transformeren'. Deze richtingen worden, in het beleid en ook door ons, gebruikt om de veelheid aan adaptatiemaatregelen te categoriseren en behapbaar te maken. Beide typen maatregelen zijn nodig om Nederland klimaatadaptatief te maken, maar hoe, waar en in welke verhouding vraagt om een zorgvuldige afweging.

Intensiveren: technische maatregelen en handhaven huidige activiteiten

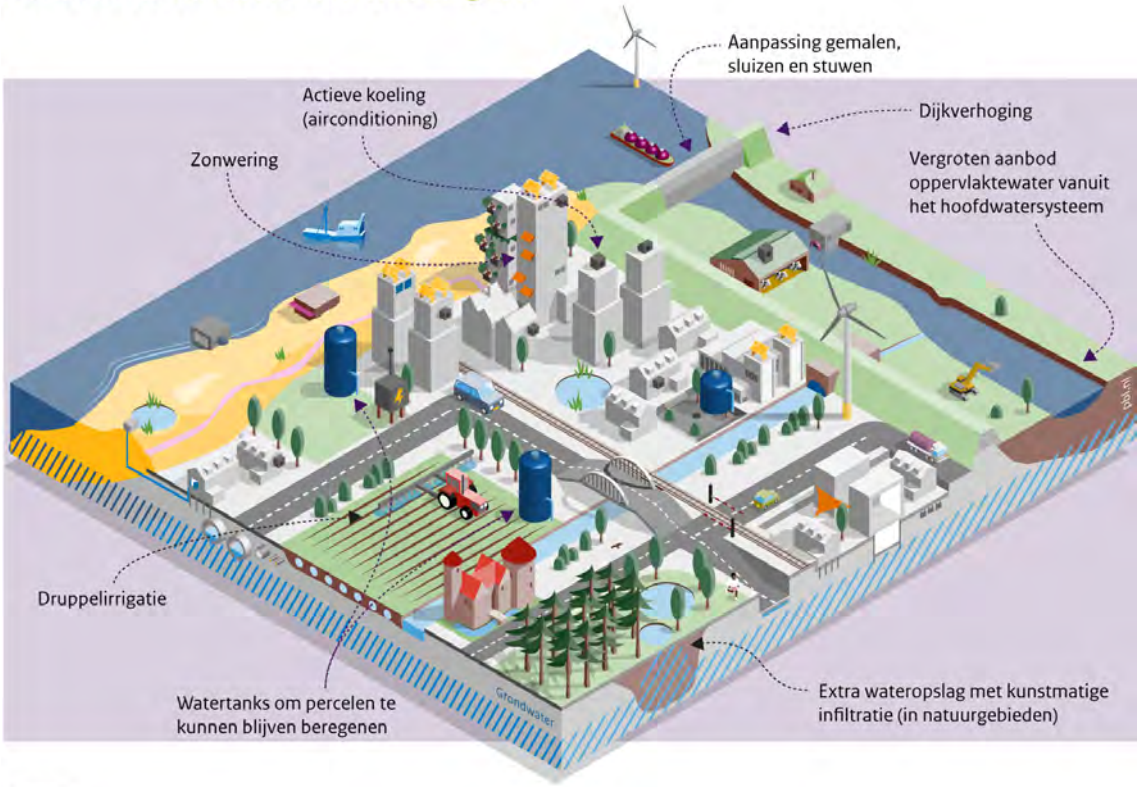
Bij de eerste aanpak gaat het om het intensiveren van het huidige beleid en de huidige maatregelen (zie figuur 7). Hierbij worden vooral technische maatregelen genomen en vaak op lokale schaal, en die maatregelen zijn meestal gericht op een specifiek risico. De samenleving blijft hierbij zo veel mogelijk de activiteiten doen die ze nu doet en op de bestaande locaties. Oplossingen worden bijvoorbeeld gezocht in aanpassingen van dijken en pompen om steden en landbouwgrond droog te houden. In het landelijk gebied wordt druppelirrigatie toegepast in de landbouw om het waterverbruik te verminderen, en wordt water ingelaten uit andere gebieden om verdroging van natuur tegen te gaan. En in stedelijk gebied wordt hitte binnenshuis tegengegaan met de al genoemde airco's, en met zonneschermen en witte daken.

Transformeren: aanpassen aan natuurlijke omstandigheden en veranderend klimaat

Bij de tweede aanpak wordt Nederland meer aangepast aan de veranderende omstandigheden (zie ook figuur 8). Hierbij worden de omgeving en de samenleving getransformeerd en aangepast aan de natuurlijke situatie en het veranderende klimaat. Daardoor is de maatschappij beter bestand tegen verschillende, onzekere gevolgen van klimaatverandering. Dat kan bijvoorbeeld door meer ruimte te maken om water vast te houden en te bergen, zoals het aanleggen van overstromingsvlaktes, of het weer laten meanderen van rivieren en beken. Hierdoor kunnen overstromingen en wateroverlast beter worden opgevangen. Een ander voorbeeld is het aanleggen van meer waterpartijen en groenvoorzieningen (bomen en planten) in steden, wat helpt om hitte tegen te gaan, en ook helpt tegen wateroverlast en droogte. Andere ruimtelijke keuzes spelen in deze aanpak een belangrijke rol: op plekken waar overstromingen of wateroverlast kunnen worden verwacht wordt niet of aangepast gebouwd, en gewassen die veel water vragen worden verbouwd op plekken waar dat water al van nature beschikbaar is.

Figuur 7

Intensiveren: voorbeelden van maatregelen



Bron: PBL

Omgeving en samenleving bij intensiveren en transformeren

Verschillende resultaten door verschillende typen maatregelen

Beide adaptatierichtingen die hierboven zijn beschreven leveren een Nederland op dat beter bestand is tegen klimaatverandering. Maar ze gaan ook gepaard met uiteenlopende waarden en uitkomsten. Zo leiden ze tot een andere inrichting van stad en land, andere activiteiten op andere locaties, en een andere verdeling van verantwoordelijkheden en kosten (zie figuur 7 en 8). Bijvoorbeeld: zowel het aanschaffen van airco's als het grootschalig aanleggen van groen en water in de stad zorgen ervoor dat mensen minder last hebben van hitte, maar meer bomen en planten in de straat zien er anders uit dan meer airco's aan de gevel. En de groenvoorziening wordt geregeld en betaald door de gemeente en komt ten goede aan iedereen in de buurt, terwijl een airco wordt betaald door een individuele burger waarbij alleen de betreffende bewoners profiteren.

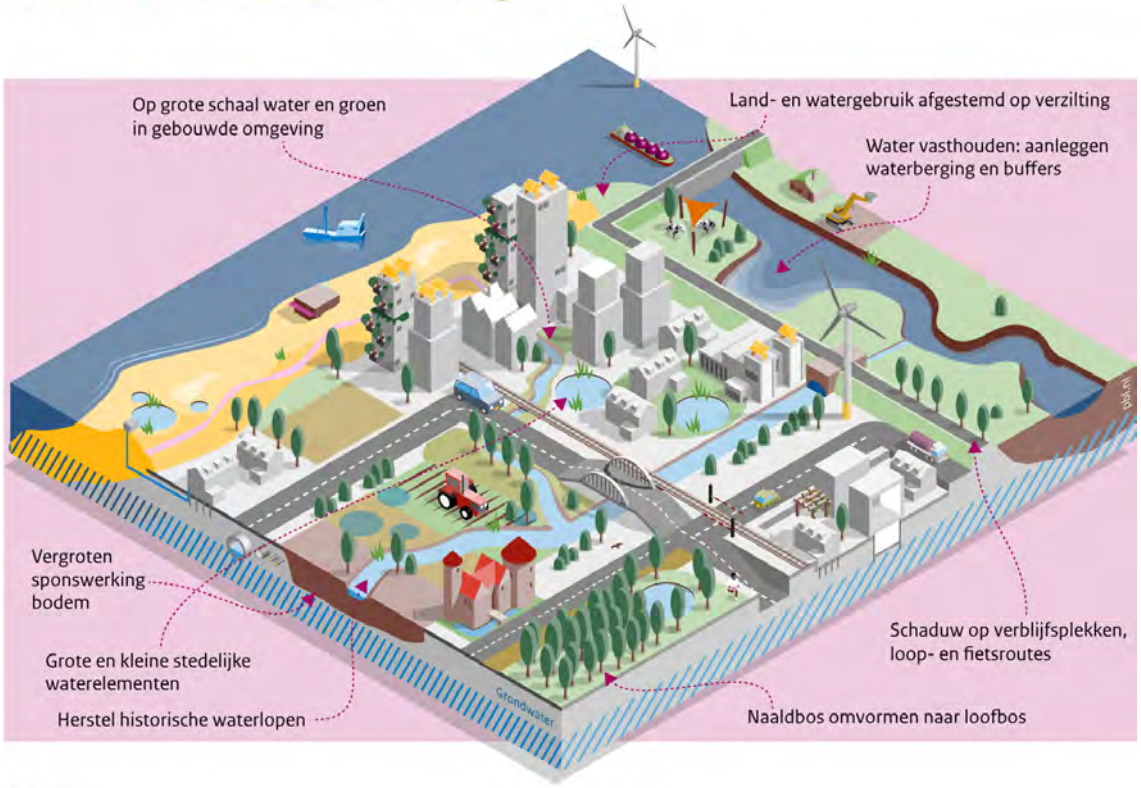
Burgers hebben een voorkeur voor transformeren

In ons onderzoek hebben we de inwoners van Nederland ook voorgelegd wat beide adaptatierichtingen globaal inhouden en hen gevraagd hoe zij hier tegenaan kijken. Beide richtingen lijken te kunnen rekenen op een zekere mate van maatschappelijk draagvlak, waarbij er een voorkeur bestaat voor een transformatieve aanpak boven intensiveren. De reden lijkt te zijn dat men transformeren als een meer structurele oplossing ziet voor de lange termijn. Tegelijkertijd blijkt dat er vaak winst wordt gezien in combinaties tussen beide richtingen en wordt aangegeven dat er oog moet zijn voor de lokale context en mogelijke neveneffecten van maatregelen.

Hieronder illustreren we de verschillen tussen intensiveren en transformeren aan de hand van een woonwijk en een landschap.

Figuur 8

Transformeren: voorbeelden van maatregelen



Bron: PBL

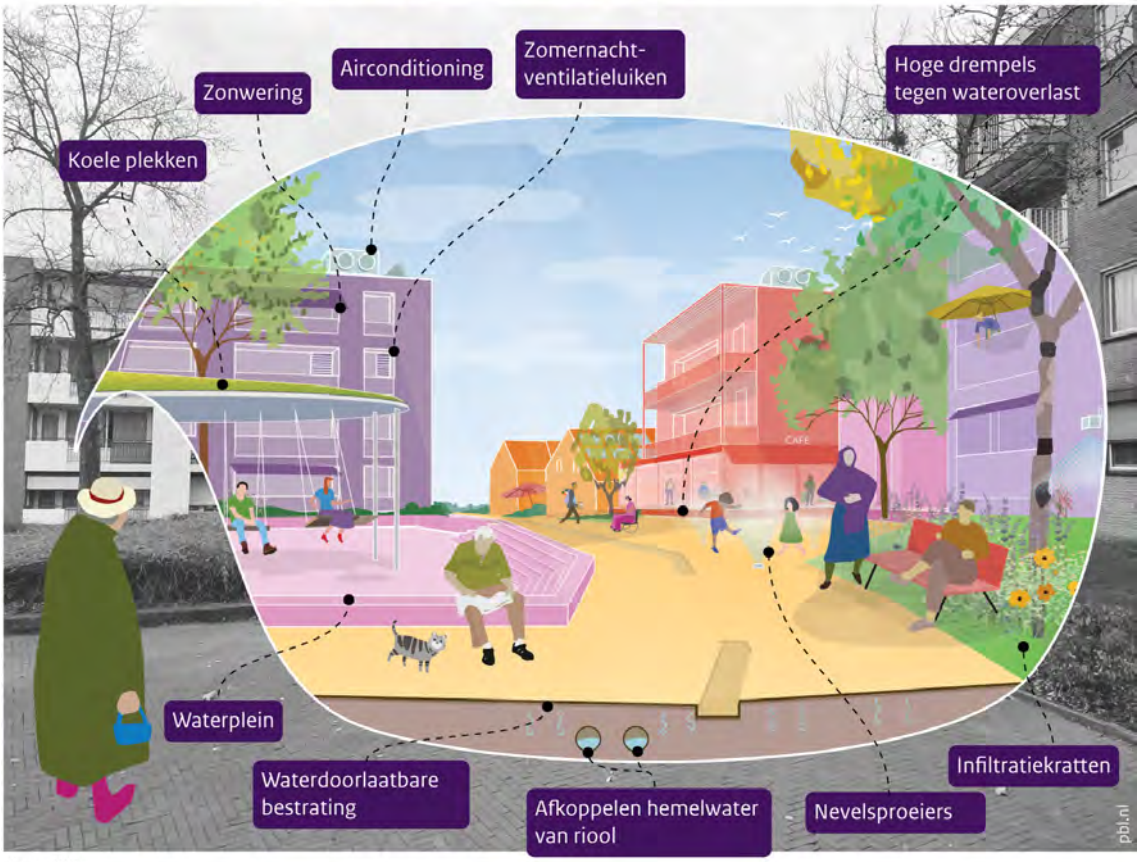
Een woonwijk in de stad: technische oplossingen of grootschalige andere inrichting

In menig woonwijk in Nederland staan appartementencomplexen zoals die in figuur 9a. De bewoners van dit soort wijken krijgen vaker te maken met de vele gevolgen van klimaatverandering. In hete en droge zomers wordt het te warm in veel appartementen: bijna 10 miljoen Nederlanders wonen in een huis met een hoog risico op oververhitting (Investico 2024). Door de toenemende droogte wordt het groen in de wijk aangetast, waardoor de buitentemperatuur nog meer oploopt. Bij harde regen lopen straten en pleinen vol, waardoor transformatorhuisjes kunnen onderlopen, met het risico dat stroom en internet uitvallen.

Bij een intensiverende aanpak zal in een dergelijke wijk het aantal airco's en zonneschermen toenemen, en zullen er over de straten zonnedoeken worden gespannen, om te zorgen voor verkoeling en schaduw. Het zal vooral de verantwoordelijkheid zijn van individuele bewoners om dit te regelen en te betalen. Het aanwezige (openbaar) groen krijgt van de gemeente extra water om de negatieve gevolgen van droogte tegen te gaan, hoewel dat wel weer meer vraagt van het toch al schaarse water. Om wateroverlast tegen te gaan kan de gemeente extra afvoergoten aanleggen of waterpleinen maken: pleinen die zo zijn ingericht dat ze bij hevige regen water kunnen opvangen.

Figuur 9a

Intensiveren: Maatregelen in de gebouwde omgeving



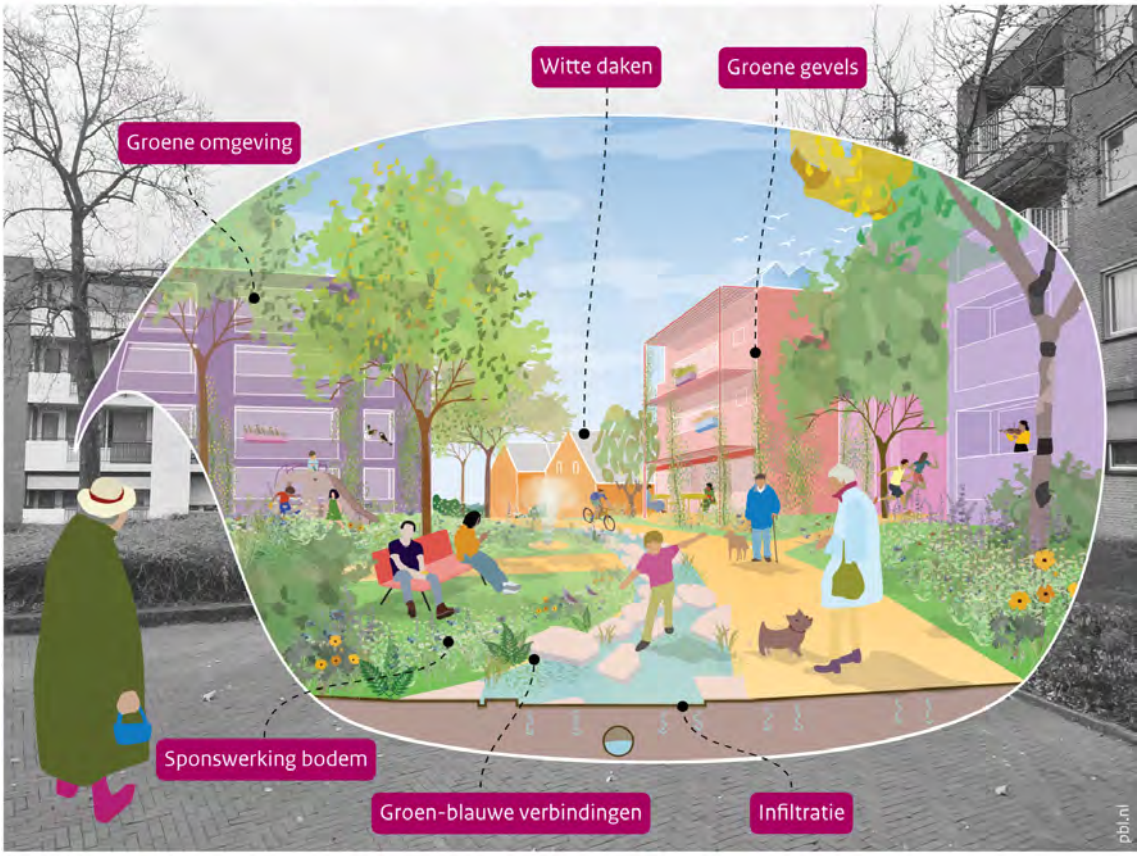
Bron: PBL

Beeld ontwikkeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

Als gekozen wordt voor een meer transformatieve insteek, worden er op grotere schaal aanpassingen gedaan aan de inrichting van de woonwijk (figuur 9b). Zo worden er meer bomen en planten en natuurlijke waterpartijen aangelegd. ‘Groen en blauw’ zorgen voor een lagere buitentemperatuur en meer schaduw om onder te ‘schuilen’ tijdens hittegolven. Nieuwe waterlopen kunnen ervoor zorgen dat water opgevangen wordt als het hard regent, terwijl in diezelfde waterlopen het water bewaard kan worden voor drogere perioden.

Figuur 9b

Transformeren: Maatregelen in de gebouwde omgeving



Bron: PBL

Beeld ontwikkeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

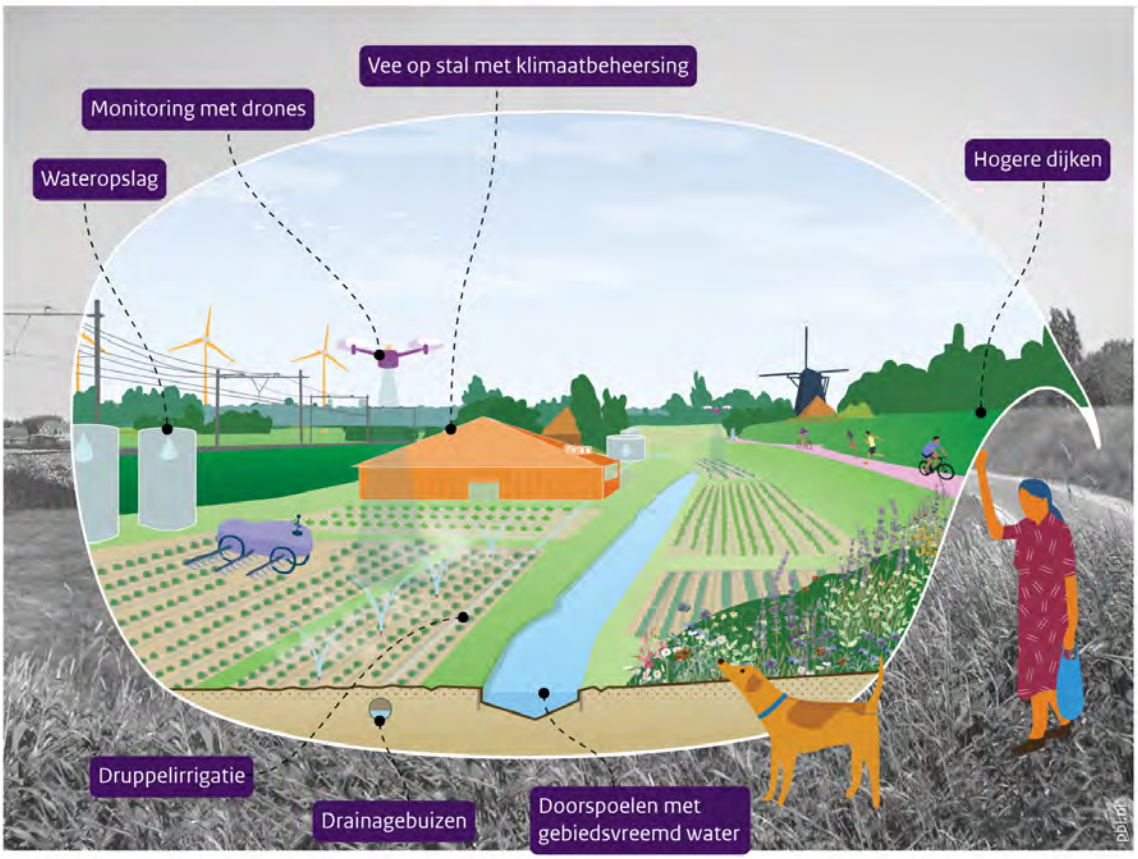
Landelijk gebied: technische oplossingen of activiteiten aanpassen aan de omgeving

Een typisch Nederlands landschap met een weiland, sloot, een dijk en in de verte een ouderwetse molen. Een dergelijk landschap krijgt in de toekomst meer te lijden van klimaatverandering. Door hitte en droogte verslechtert de natuur. Veel natuur heeft nu al last van verdroging, en dat neemt in de toekomst alleen maar toe. Ook de landbouw krijgt te maken met de gevolgen van klimaatverandering: perioden met droogte of juist met extreme neerslag leiden tot minder opbrengst van gewassen en daarmee tot schade voor boeren, en ook voor consumenten die te maken krijgen met hogere prijzen. Vee heeft last van hittegolven, met gevolgen voor het welzijn van de dieren, en wat zal leiden tot een lagere productie van melk en vlees.

Bij een intensiverende aanpak wordt de meest waardevolle verdroogde natuur met technische maatregelen geholpen (zie figuur 10a). Er wordt bijvoorbeeld water uit andere gebieden aangevoerd en zo nodig eerst gezuiverd. Of natuurgebieden krijgen rondom een bufferzone, waarbinnen het waterpeil kunstmatig hoog wordt gehouden. In de landbouw wordt het watergebruik verminderd door de inzet van druppelirrigatie of andere meer gerichte vormen van beregening, en in kunstmatige bekkens en tanks wordt water opgeslagen om te kunnen gebruiken in droge perioden. Vee wordt tijdens hitte op stal gehouden, waarbij de stal met bijvoorbeeld airco's koel wordt gehouden.

Figuur 10a

Intensiveren: Maatregelen in het landelijk gebied



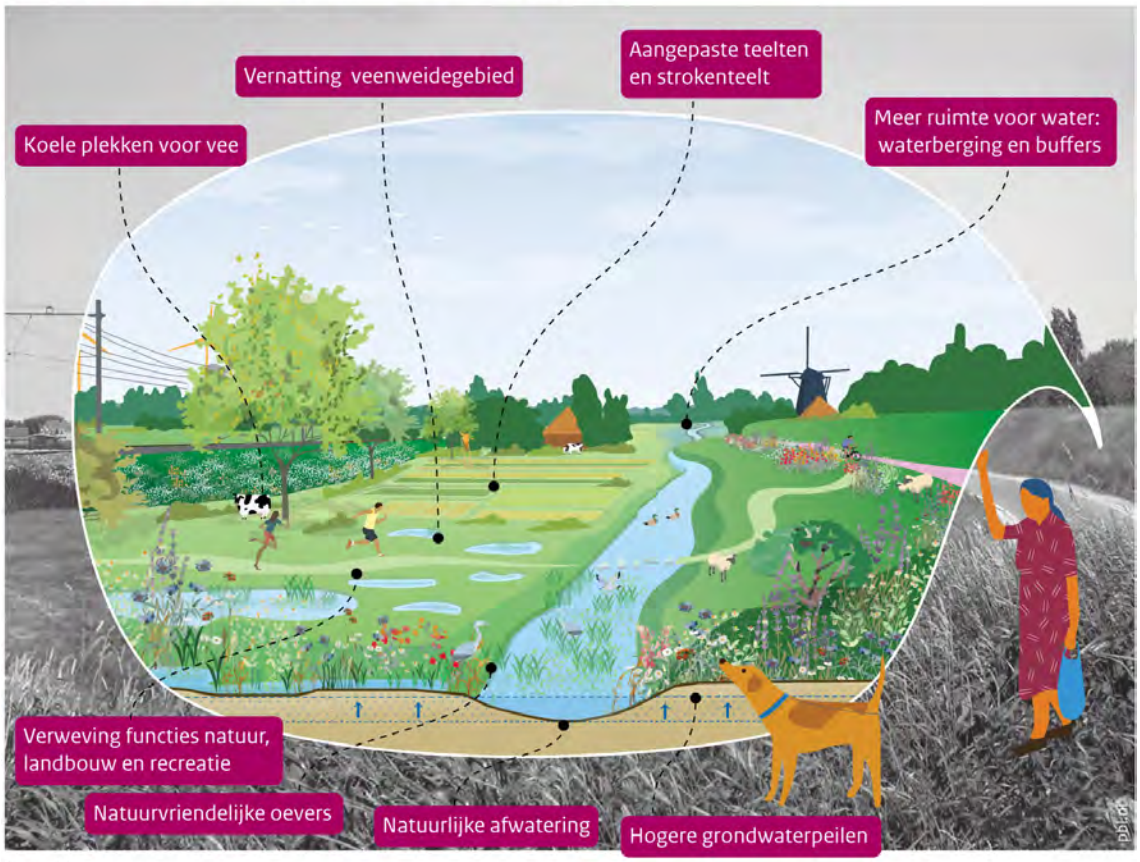
Bron: PBL

Beeld ontwikkeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

Bij transformeren wordt het oppervlak aan natuur uitgebreid, waardoor de natuur robuuster en minder kwetsbaar wordt (figuur 10b). Ook de inrichting en het beheer van natuurgebieden wordt aangepast, waarbij wateren weer meanderen, met natuurvriendelijke oevers, en beken meer natuurlijke schaduw krijgen door bomen en struiken. Rond natuurgebieden wordt het grondwaterpeil verhoogd, waarbij de landbouw in de omgeving zich aanpast door andere gewassen te telen. Ook in andere gebieden past de landbouw zich aan klimaatverandering aan, door bijvoorbeeld gewassen te gaan telen die beter bestand zijn tegen droogte of verzilting, of met andere vormen van landbouw, zoals strokenteelt. Strokenteelt zorgt voor variatie in gewassen, waardoor de bodem gezonder wordt en de planten minder vatbaar voor ziektes.

Figuur 10b

Transformeren: Maatregelen in het landelijk gebied



Bron: PBL

Beeld ontwikkeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

Effecten van maatregelen op de toekomstige klimaatrisico's

Hitte: verkleinen van risico's voor gezondheid en dagelijks leven

Gezondheid: intensiveren positief voor korte termijn, transformeren nodig voor de langere termijn

Op korte termijn is een positief gezondheidseffect mogelijk met technische maatregelen *(intensiveren)* aan gebouwen en leefomgeving (zonneschermen, airconditioning), waarschuwingssystemen voor gedragsaanpassingen, en het versterken van de zorg. Voor dit laatste is meer zorgpersoneel nodig, maar de verwachting is dat er in 2034 in de zorg een tekort is van 266.000 medewerkers. Wel kunnen technologische ontwikkelingen in de zorg, zoals snellere methoden om ziektes vast te stellen en verbeterde medicijnen en behandelingen, bijdragen aan het verkleinen van gezondheidseffecten.

Een andere insteek *(transformeren)* kan meer winst voor gezondheid opleveren op de langere termijn. Dit betekent dat de overheid er goed aan doet om te kiezen voor meer structurele aanpassingen, waarbij het leven en de omgeving van alledag meer worden aangepast aan de te verwachten klimaatverandering. Dat betekent bijvoorbeeld dat gemeenten meer 'groen en blauw' (bomen,

planten en water) gaan aanleggen in de leefomgeving, waardoor er tijdens hitte meer schaduw en verkoeling beschikbaar is en de temperatuur lager uitpakt. Hier ligt dus een rol voor overheden bij de inrichting van steden en buurten, maar ook voor particulieren die hun tuin zo groen mogelijk kunnen gaan inrichten. Groen is daarbij ook goed voor de mentale gezondheid.

Minder gevolgen voor het dagelijks leven door technische, ruimtelijke en gedragsaanpassingen

Door een mix van bovenstaande aanpassingen nemen klachten die ontstaan door aanhoudende hitte af, zoals vermoeidheid en slapeloosheid en verminderde arbeidsproductiviteit. Ook de mogelijke gevolgen voor de geestelijke gezondheid, zoals stress en somberheid tijdens periodes van extreme warmte of langdurige verstoringen, zijn minder.

Het beschermen van immaterieel erfgoed tegen hitte is met technische maatregelen lastig: een groot buitenevenement zoals de vierdaagse van Nijmegen kan niet met gerichte technische maatregelen worden beschermd tegen hitte. Het is wel mogelijk om met aanpassingen in gedrag, zoals het verplaatsen van het evenement naar een koelere periode, of het inkorten van de route, de gevolgen te beperken. Een groene omgeving kan ook helpen om de hitte te beperken bij buitenactiviteiten die als immaterieel erfgoed worden gezien, maar bij extreme temperaturen zal dat niet voldoende zijn.

De gevolgen van hittegolven voor het wegen- en spoornet kunnen vooral worden beperkt met technische maatregelen, zoals het gebruik van materialen die beter tegen hitte kunnen. Reizigers kunnen verstoringen op de weg of het spoor vermijden door hun reis uit te stellen of thuis te werken.

Minder hittestress bij vee door maatregelen binnen en buiten

Voor het beperken van mogelijke schade en aantasting van het welzijn door hitte-stress bij vee zijn technische maatregelen iets effectiever dan ruimtelijke transformerende maatregelen. Bij technische maatregelen kan gedacht worden aan nauwkeurige actieve klimaatbeheersing in stallen, bij ruimtelijke maatregelen aan het creëren van schaduw in de buitenruimte. En ook management kan inspelen op hittebeperking, zoals aanpassing van weidegang (ook zomers meer vee op stal) en begrazingspatronen. Bij beide richtingen blijven er opbrengstverliezen en gevolgen voor het dierenwelzijn.

Droogte: verkleinen van risico's voor drinkwater, natuur, landbouw, erfgoed en meer

Intensiveren: veel maatregelen mogelijk, maar tekorten aan oppervlaktewater blijven

Het aanbod en de kwaliteit van het oppervlaktewater is cruciaal voor de drinkwatervoorziening, landbouw en natuur. Om de beschikbaarheid van oppervlaktewater te vergroten, wordt bij intensiveren eerst ingezet op meer water inlaten vanuit het hoofdwatersysteem (de grote rivieren, kanalen en meren). Door meer peilfluctuatie toe te staan in het IJsselmeer en het Markermeer kan een grote waterbuffer worden opgebouwd die gebruikt kan worden in droge perioden, bijvoorbeeld voor drinkwater. Om de toenemende verzilting tegen te gaan, is extra water nodig uit het oppervlaktewater, maar dit kan maar deels worden geleverd door het hoofdwatersysteem.

Met technische maatregelen kan de watervraag van de landbouw, industrie en het drinkwater worden teruggedrongen, zij het beperkt. Denk aan druppelirrigatie in de landbouw en het inzetten van geavanceerdere zuiveringstechnieken voor drinkwater. Voor de scheepvaart worden waterstanden

actief beheerd via baggeren, sluizenbeheer en een andere waterverdeling. Desondanks zullen er, door vaker voorkomende en intensere perioden van droogte, zoetwatertekorten blijven in zowel West- als Noord-Nederland. De scheepvaart krijgt met steeds meer vaarbeperkingen en vaarkosten te maken en ook natuur zal bij deze aanpak blijvend last houden van te weinig water.
Door verdergaande klimaatverandering komt na 2050 de noodzaak voor meer drastische maatregelen sneller dichterbij, zoals verdere aanpassingen in het landgebruik, of verdere vergroting van de waterbuffer in het IJsselmeer en Markermeer.

Intensiveren: vooral lokale effecten op grondwaterstanden door technische maatregelen

Om het tekort aan grondwater aan te pakken en de daling van grondwaterstanden te beperken, wordt bij intensiveren ingezet op technische maatregelen, zoals het creëren van waterbuffers, inlaten van water vanuit andere gebieden en kunstmatige infiltratie. De landbouw blijft grootschalig, maar neemt maatregelen zoals het telen van genetisch gemodificeerde gewassen die beter tegen droogte kunnen, en druppelirrigatie om gerichter te beregenen. De verwachte toename van de drinkwatervraag wordt opgevangen door nieuwe grondwaterlocaties en meer rivierwinningen. Verdroging van natuurgebieden wordt verminderd door kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater. Dit soort maatregelen zal vooral lokaal effectief zijn, maar niet leiden tot een structurele vermindering van de achteruitgang door klimaatverandering van grondwaterafhankelijke natuur.

Transformeren: afname van de vraag naar oppervlaktewater beperkt tot 2050 de tekorten

Bij de adaptatierichting transformeren wordt in laag-Nederland eerst ingezet op het beperken van de vraag naar oppervlaktewater. Het verzilten van het water wordt geaccepteerd en het land- en watergebruik wordt daarop afgestemd. Zo past de landbouw zich aan door het telen van andere typen gewassen, zoals zeekraal of zouttolerante varianten van aardappelen, wortels, uien en koolsoorten.

Om de Randstad te beschermen wordt gekozen voor grote systeemoplossingen en wordt toegewerkt naar het afsluiten van de Nieuwe Waterweg, waarbij de open verbinding met de zee wordt verplaatst naar het Haringvliet. Zo'n afsluiting biedt meer bescherming tegen overstromingen vanuit de zee, vermindert verzilting omdat zeewater minder het land binnendringt, terwijl het water dat niet naar zee stroomt gebruikt kan worden voor bijvoorbeeld doorspoelen van polders om verzilting tegen te gaan, of beregening in de landbouw. Dit is een maatregel die ook wordt overwogen in de oplossingsrichtingen van het Deltaprogramma, maar wel grote aanpassingen vraagt. Er zijn dan grote pompinstallaties nodig om het water van de Rijn en Maas weg te kunnen pompen, en er is meer ruimte nodig voor dijken. De natuur in de estuaria zal veranderen, en de open verbinding naar de haven van Rotterdam verdwijnt, met grote gevolgen voor de scheepvaart. Hiermee zijn naar verwachting tot 2050 de watertekorten in grote delen van West- en Noord-Nederland beperkt en biedt het een voldoende oplossing om het uitgangspunt van het Deltaprogramma te halen: watertekorten beperken tot eens in de 20 jaar. Na 2050 zullen door verdergaande klimaatverandering de tekorten weer toenemen en zullen extra maatregelen en keuzes nodig zijn.

Transformeren: minder daling van grondwaterstanden door vermindering watergebruik en herstel natuur

Bij de adaptatierichting transformeren wordt het gebruik van grondwater sterk verminderd. Maatregelen om drinkwater te besparen worden verplicht, en er vindt een verschuiving plaats van een deel van de akkerbouw naar de kleigronden in laag-Nederland, waar meer water beschikbaar is. Dit gaat ten koste van nu aanwezig grasland en veeteelt.

Grootschalige wateraanvoer voor de landbouw stopt, en de landbouw past zich meer aan de natuurlijke beschikbaarheid van grondwater aan. Voor agrarisch ondernemers kan dit een aanpassing betekenen van hun verdienmodel, met een tegemoetkoming voor het leveren van maatschappelijke en groene diensten, zoals natuurbeheer, landschapsherstel, CO_2-vastlegging, waterbeheer en andere ecosysteemdiensten (PBL 2023).

Grote delen van hoog-Nederland worden ingericht voor het herstellen van natuur en hydrologische processen, door onder andere natuurlijke infiltratie en beekherstel. Er worden bufferzones ingesteld rondom natte natuur en beekdalen, waar de grondwaterstanden worden verhoogd. Met al deze maatregelen kan de daling van de grondwaterstanden sterk worden verminderd. Het aandeel plant- en diersoorten dat daarmee duurzaam beschermd wordt, neemt in 2050 toe met 5 tot 10 procentpunten ten opzichte van de huidige situatie. Bij sterke klimaatverandering zal dit aandeel na 2050 echter weer afnemen. De schade die de landbouw oploopt door droogte neemt bij deze transformatieve aanpak in 2050 af tot minder dan 100 miljoen euro, bij een droogte van eens in de 10 jaar. Zonder deze maatregelen betreft de schade meer dan 100 miljoen.

Gebruik van grondwater vraagt om nieuwe afweging van belangen

Het op grote schaal terugbrengen van de vraag naar water door huishoudens, landbouw en industrie, is een fundamentele aanpak van het tekort aan grondwater. Dit vraagt om ingrijpende maatregelen in de landbouw, zoals verhoging van grondwaterstanden en beperking van gebruik van grondwater voor beregening. Ook voor de drinkwatervoorziening heeft dit gevolgen, in de vorm van het verminderen van grondwaterwinningen. Om dit te doen slagen, zijn ingrepen nodig die door de overheid actief worden gestuurd en vragen om een (nieuwe) afweging: welke belangen krijgen voorrang bij de waterverdeling in hoog-Nederland. Krijgen de landbouw en de industrie water ten koste van de kwaliteit van de natuur en de bescherming van archeologisch erfgoed? Of wordt het natuurlijk watersysteem sturend, waardoor landbouw en drinkwaterwinningen moeten verplaatsen of zich moeten aanpassen aan de nieuwe omstandigheden?

Wateroverlast: verkleinen van risico's voor landbouw, infrastructuur en de gebouwde omgeving

Intensiveren: techniek kan de impact van wateroverlast deels verminderen, maar cascaderisico's blijven

In gebouwd gebied wordt bij intensiveren wateroverlast tegengegaan door de capaciteit van de riolering te vergroten en door extra waterberging, zoals ondergrondse tanks, aan te leggen. Wegen worden beschermd door het verbeteren van afwateringssystemen, en voor het spoor worden rails, taluds en drainage aangepast. Deze aanpak is effectief om bij regelmatige, intense buien de directe gevolgen van wateroverlast te beperken. Bij meer zeldzame, zeer extreme neerslag blijft het risico op wateroverlast en schade bestaan. En ook cascaderisico's, waarbij bijvoorbeeld door wateroverlast de stroom en communicatiesystemen kunnen uitvallen, blijven een bron van kwetsbaarheid.

Voor de landbouw is bij intensiveren het zo snel mogelijk afvoeren van overtollig water een preventieve maatregel om het risico van wateroverlast te beperken. Drainage kan verbeterd worden door drainagebuizen beter te onderhouden, te vernieuwen of te intensiveren door de afstand tussen de buizen te verkleinen. Hierdoor neemt het risico op wateroverlast af, maar worden wel de mogelijkheden om water langer vast te houden beperkt.

Transformeren: minder risico's door aanpassing bedrijfsvoering landbouw, ruimtelijke aanpassingen en meer ruimte voor water

In de gebouwde omgeving wordt bij transformeren ingezet op het creëren van meer groen en blauw en minder verhard oppervlak, waarbij water wordt vastgehouden en geïnfiltreerd in plaats van het snel af te voeren. Deze maatregelen dragen ook bij aan een aangenamere leefomgeving met meer groen en biodiversiteit. Nieuwbouwprojecten en bijbehorende (energie-)infrastructuur worden bij voorkeur gepland op locaties met een lager risico op wateroverlast.

De gevoeligheid van de landbouw voor extreme neerslag en lange natte perioden zal afnemen door het zogenoemde bouwplan te verruimen. Er worden dan afwisselend verschillende gewassen verbouwd, waarvan sommige gewassen beter tegen te veel water of juist tegen droogte kunnen. Hierdoor wordt het risico gespreid en zal bij extreem weer niet de volledige oogst mislukken. Ook worden in elk gebied gewassen geteeld die meer zijn afgestemd op de omstandigheden en de te verwachten klimaatrisico's. Zo kunnen in gebieden met een grote kans op wateroverlast nieuwe, robuustere gewassen geïntroduceerd worden die beter bestand zijn tegen veel water. Tot slot krijgt water in het landelijk gebied meer de ruimte, waardoor extreme of langdurige buien beter kunnen worden opgevangen.

Overzicht maatregeleffecten op de toekomstige klimaatrisico's

Beide adaptatierichtingen resulteren in vermindering van klimaatrisico's, maar substantiële vermindering vooral bij transformeren

Bij beide adaptatierichtingen, zowel intensiveren als transformeren, zijn er risico's die afnemen, vergeleken met een voortzetting van het huidig beleid (zie figuur 11). Dat geldt bijvoorbeeld voor risico's rond droogte (waterbeschikbaarheid), en voor natuurbranden. De intensiveren-aanpak levert wel minder op dan transformeren. Voor een aantal onderwerpen, zoals de risico's rond droogte, voor gezondheid en voor natuur en waterkwaliteit is intensiveren onvoldoende om tot een echte verbetering te komen, en zijn transformatieve maatregelen nodig. Daarbij geldt wel de kanttekening dat de maatregelen in transformeren over het algemeen grootschaliger zijn dan in intensiveren, daardoor vaak meer tijd en geld kosten, en soms ook ingrijpen in het dagelijks leven van mensen. (Zie hoofdstuk 5 voor verdere uitleg over de betekenis en invulling van figuur 11).

Voor- en nadelen van de adaptatierichtingen

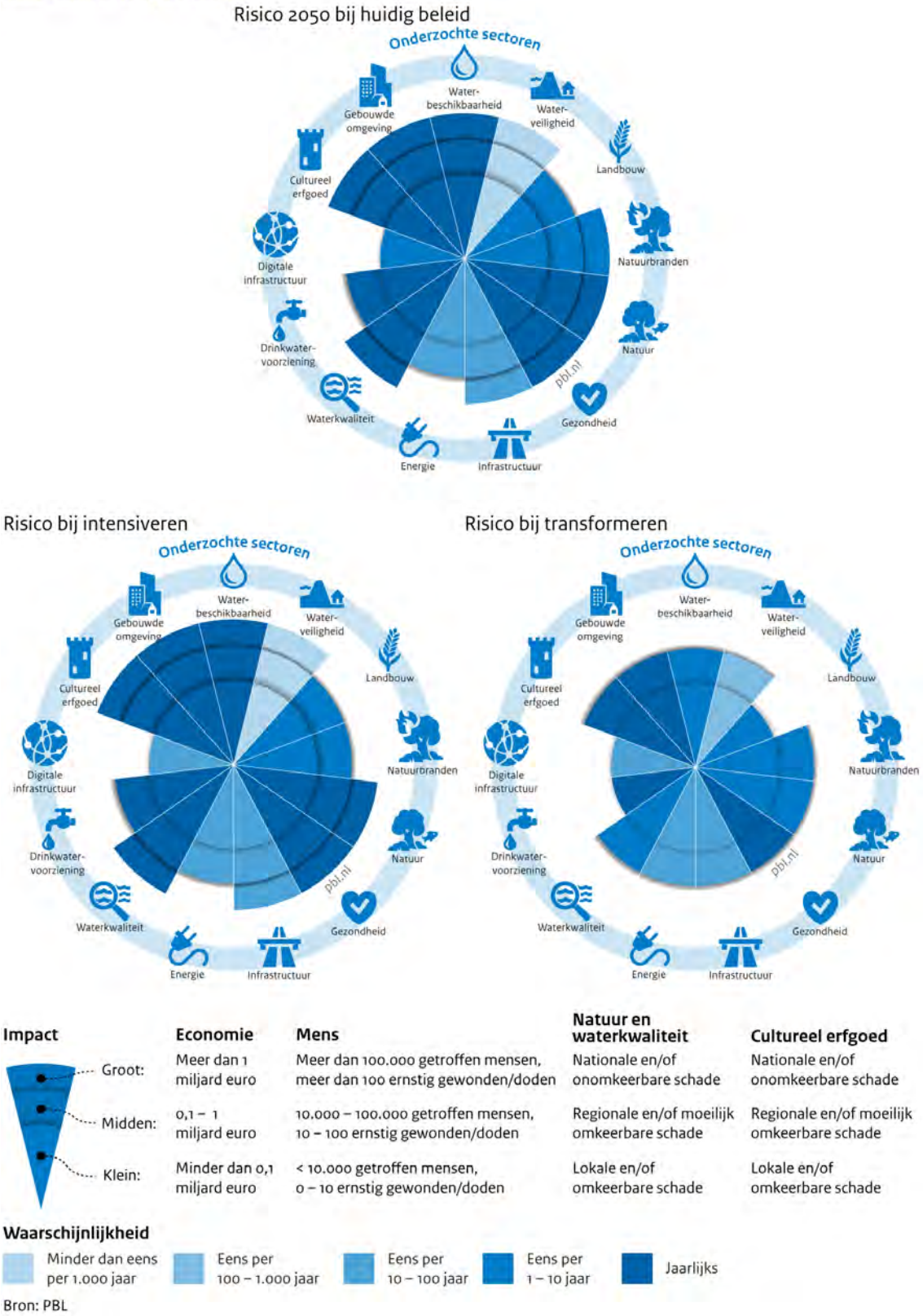
Klimaatadaptatie kent dus vele vormen. Welke maatregel of aanpak geschikt is, is afhankelijk van de plaats, de tijd en het probleem dat moet worden opgelost of ingeperkt. Elke maatregel heeft voor- en nadelen, maar is ook afhankelijk van de keuzes die op andere plekken en op andere momenten zijn of worden gemaakt. Het denken in twee adaptatierichtingen, zoals we hebben gedaan in dit onderzoek, kan helpen om onderbouwde keuzes voor klimaatadaptatie te maken.

Intensiveren: snel en effectief maar vergroot verschillen en vraagt steeds nieuwe aanpassingen

Het voordeel van de intensiveren-aanpak is dat technische maatregelen vaak (relatief) snel kunnen worden genomen, en effectief gericht zijn op het verminderen van specifieke problemen door klimaatverandering. Dit type maatregelen past ook goed bij de huidige wetten en regels, en is daardoor makkelijker te realiseren. De nadruk ligt op individuele verantwoordelijkheid en zelfredzaamheid: mensen en bedrijven moeten overwegend zelf hun eigen aanpassing aan klimaatverandering regelen en betalen.

Figuur 11

Klimaatrisico's per sector



Bron: PBL

Een nadeel is dat niet iedereen het geld en de mogelijkheden heeft om aanpassingen te doen aan de woning of omgeving. Zo heeft niet iedereen geld om een airco aan te schaffen en zijn mensen in een huurwoning hiervoor afhankelijk van een huurbaas. De verschillen tussen de mate waarin

mensen getroffen worden door klimaatverandering zijn nu al zichtbaar (PBL 2024), en zullen zonder extra aandacht met een intensiverende aanpak groter worden.

Een ander nadeel is dat bij verdergaande klimaatverandering steeds weer nieuwe aanpassingen nodig zullen zijn, waarbij het niet zeker is of dit op de langere termijn voldoende is. Met intensiveren kunnen veel fysieke risico's direct worden aangepakt, maar blijven veel keten- en afhankelijkheidsrisico's bestaan, zoals het uitvallen van vitale voorzieningen zoals energie, internet of openbaar vervoer, bij hitte of wateroverlast.

Transformeren: meerdere en robuustere effecten, maar ingrijpender en meer gericht op langere termijn

Het voordeel van transformatieve maatregelen is dat deze vaak meerdere positieve (bij)effecten kunnen hebben: meer 'groen en blauw' werkt niet alleen tegen hitte, maar ook voor behoud of verbetering van de biodiversiteit. Het zorgt ook voor een prettigere leefomgeving, waarin mensen meer naar buiten gaan en elkaar ontmoeten. Dat bevordert de 'sociale cohesie', waardoor mensen tijdens extreme omstandigheden meer op elkaar zullen letten. Het nodigt ook uit tot bewegen en is daarmee goed voor de gezondheid.

Bij deze maatregelen is er meer sprake van 'samenredzaamheid' en collectieve oplossingen, waardoor iedereen ervan profiteert, onafhankelijk van wat de individuele mogelijkheden zijn van inwoners of bedrijven om zich aan te passen.

Het nadeel is dat de ruimtelijk ingestoken aanpassingen in deze adaptatierichting ingewikkelder zijn omdat ze meerdere sectoren en activiteiten raken, en daardoor meer tijd kosten om goed af te stemmen en uit te voeren. Ook duurt het vaak langer voordat ze effect hebben. Het kost bijvoorbeeld tijd voordat bomen voldoende schaduw geven. Ook zijn de aanpassingen vaak grootschaliger en ingrijpender, en vragen meer verandering van de maatschappij. Een ander nadeel kan zijn dat maatregelen die meer ruimte vragen, zoals meer groen in blauw in de gebouwde omgeving, op gespannen voet staan met het creëren van extra woonruimte.

Deze aanpak is meer gericht op het creëren van veerkracht, voor natuur, water, stad en de samenleving. Daarmee kan een breder palet aan klimaatdreigingen worden opgevangen. Dat biedt op de lange termijn meer zekerheid dan maatregelen die gericht zijn op het beperken van specifieke klimaatrisico's op specifieke locaties.

Voor de meeste opgaven is een mix van verschillende oplossingen nodig

Voor het beperken van de meeste klimaatrisico's lijkt het nodig om in te zetten op een mix van intensiveren en transformeren. Dat geldt bijvoorbeeld voor waterveiligheid, waterbeschikbaarheid en natuurbranden. Zo zullen voor bescherming tegen overstromingen altijd technische maatregelen nodig zijn, zoals het verhogen van dijken, maar helpt het ook om rivieren meer natuurlijk te maken, waardoor er meer ruimte is om grotere hoeveelheden water op te vangen. En voor gezondheid is het nodig om voor de langere termijn in te zetten op transformeren, zodat onder meer een gezondere leefomgeving en grotere weerbaarheid ervoor zorgen dat de negatieve effecten van klimaatverandering beperkt blijven. Omdat de resultaten van dit soort maatregelen pas op termijn merkbaar worden, is het van belang om voor gezondheid op korte termijn ook intensiverende maatregelen te nemen, zoals aanpassingen aan woningen die voor verkoeling zorgen.

Ook voor de drinkwatervoorziening is een mix aan maatregelen effectief. Denk aan drinkwaterbesparende maatregelen en maatregelen om de natuur en daarmee de waterkwaliteit te verbeteren (transformeren). En van de intensiveren-aanpak aan het uitbreiden van bronnen en verbeteren van de zuivering. In de landbouw kunnen intensiverende maatregelen bijdragen aan het verminderen

van de gevolgen van klimaatverandering voor de akkerbouw, zoals het telen van genetisch gemodificeerde gewassen die beter tegen droogte kunnen. Maar voor een effectievere vermindering van de risico's, en voor risicospreiding, zijn ook transformatieve maatregelen nodig, zoals het verplaatsen van teelten naar plekken die daarvoor beter geschikt zijn.

Voor cultureel erfgoed kunnen technische maatregelen helpen, zoals een damwand plaatsen rond waardevolle archeologische resten om deze nat te houden en zo te bewaren, maar deze maatregelen zijn duur. Transformeren kan effectief zijn als bij ruimtelijke maatregelen historische kennis wordt gebruikt van water-, bodem- en klimaatsystemen. Herstel van oude waterlopen, bijvoorbeeld, bevordert niet alleen de opvang van overtollig water en gaat watertekorten tijdens droge perioden tegen, maar vergroot ook de kwaliteit van cultuurlandschappen.

Voor sommige opgaven is een transformatieve insteek nodig

Daarnaast zijn er opgaven waarvoor duidelijk een transformatieve insteek nodig is om te komen tot substantiële bescherming tegen klimaatverandering. Dit geldt vooral voor natuur en waterkwaliteit, waar met techniek een beperkt aantal 'natuur- en waterparels' kan worden beschermd, maar voor een grootschalige bescherming van natuur zijn transformatieve maatregelen nodig die in grote gebieden zorgen voor veerkrachtige natuur- en watersystemen. Tot slot is, om het tekort aan grondwater in droge perioden aan de basis aan te pakken, een structurele vermindering nodig van het gebruik van grondwater, door het verminderen van de drinkwatervraag en de vraag vanuit landbouw en industrie.

Aandachtspunten voor politiek en beleid

Tot slot signaleren we een aantal belangrijke aandachtspunten die politiek en beleid ter harte kunnen nemen bij de verdere uitwerking, invulling en uitvoering van klimaatadaptatie.

Bereid nu voor op een toekomst met een veranderend klimaat

Belangrijke waarden staan onder druk door klimaatverandering, zoals veiligheid, gezondheid, natuur, cultureel erfgoed en economie. Inwoners van Nederland én experts erkennen de impact van klimaatrisico's. Het is noodzakelijk en urgent dat Nederland zich hierop voorbereidt. Welke vorm en inhoud die voorbereiding krijgt, is een keus voor de maatschappij, politiek en beleid. Veel keuzes moeten nu gemaakt worden, bijvoorbeeld om te voorkomen dat ontwikkelaars gaan bouwen op locaties of met een ontwerp waarbij niet goed rekening is gehouden met de te verwachten klimaatverandering.

Start het gesprek met de samenleving: hoe ziet een klimaatbestendig land en samenleving eruit?

Een klimaatbestendig Nederland ziet er anders uit dan het huidige Nederland. Hoe anders hangt af van de keuzes die worden gemaakt, zoals: welk basisniveau van bescherming is nodig, welke risico's zijn acceptabel, hoe om te gaan met verschillen en ongelijkheid, en welke maatregelen is de Nederlandse samenleving bereid te nemen om de risico's nu en in de toekomst te verminderen?

Bij een keuze voor technische maatregelen (intensiveren) krijgen klimaatbestendige wijken en landschappen een heel andere vorm dan met ruimtelijke maatregelen (transformeren). Een straat met meer zonweringen en airconditioninginstallaties ziet er bijvoorbeeld anders uit dan een straat met een groenstrook en waterpartij. Ook welke locaties nog geschikt zijn voor welke activiteiten zal

afhangen van de gemaakte keuzes: met een technische insteek is het streven om zoveel mogelijk dezelfde dingen op dezelfde locaties te blijven doen, terwijl bij een ruimtelijke oplossing bijvoorbeeld huizen worden gebouwd op plekken waar de kans op overstroming of wateroverlast klein is, en landbouw wordt bedreven op locaties waar al bij voorbaat voldoende water beschikbaar is.

Uiteindelijk zijn dit politieke keuzes, en het zijn keuzes die bepalend zijn voor de toekomst van Nederland en Nederlanders. Gemiddeld genomen hebben inwoners van Nederland een voorkeur voor structurele maatregelen, zoals in de adaptatierichting transformeren. Echter, deze voorkeuren verschillen per persoon en het is de vraag hoe inwoners transformatieve maatregelen ervaren als het gaat om specifieke en lokale maatregelen. Het is dan ook belangrijk dat maatschappelijke actoren en bewoners betrokken worden bij beleidskeuzes, bijvoorbeeld via een maatschappelijk debat. Die betrokkenheid bij de vorming van beleid maakt het beleid rechtvaardiger, effectiever en meer gedragen (WRR 2025).

Doe alles klimaatadaptief

Pak de grote opgaven aan op een klimaatadaptieve manier

Nederland staat voor een groot aantal ontwikkelingen en transities, zoals de woningbouw, energietransitie, keuzes voor het landelijk gebied, en aanleg en onderhoud van infrastructuur. Bij de aanpak van al deze opgaven zou rekening moeten worden gehouden met de effecten van klimaatverandering. Door klimaatadaptatie gelijk mee te nemen bij de visievorming en uitvorming van grote projecten kunnen in een later stadium veel extra overlast en kosten worden voorkomen. Bovendien levert dit een leefomgeving waarin klimaatverandering leidt tot minder schade en slachtoffers.

Een belangrijke rol is hierbij weggelegd voor de ruimtelijke ordening. Als het water- en bodemsysteem als uitgangspunt worden gebruikt, draagt dat bij aan een klimaatbestendiger Nederland, dat beter bestand is tegen de gevolgen van klimaatverandering.
Waar gaat het dan zoal concreet om? Om de genoemde woningbouwopgave als voorbeeld te nemen: belangrijke keuzes zijn waar en hoe de komende decennia de geplande 900.000 huizen gebouwd gaan worden, rekening houdend met overstromingen, wateroverlast en droogte. Daarbij is het zaak om de bijbehorende drinkwater-, elektriciteit- en internetvoorziening te waarborgen en die zo aan te leggen dat ze niet uitvallen bij extreem weer, zoals piekbuien en hitte. Ook de woningen zelf kunnen anders worden ontwerpen, waarbij de focus niet alleen ligt op verwarmen, maar ook op koelen, om zo de gezondheid van inwoners te beschermen tegen toenemende hitte.
Andere grote opgaven zijn het onderhoud aan infrastructuur en de toekomst van het landelijk gebied.

Bij grote onderhoudsoperaties aan weg, spoor en andere infrastructuur is het belangrijk om er tegelijkertijd voor te zorgen dat deze bestand zijn tegen hitte, droogte en wateroverlast, bijvoorbeeld door beter onderhoud of het gebruik van materialen die beter tegen water en hitte kunnen. Bij keuzes over de toekomst van het landelijk gebied is het belangrijk om landbouw en natuur beter af te stemmen op de draagkracht van water en bodem, en rekening te houden met de te verwachten effecten van klimaatverandering, zoals hitte, droogte en extreme neerslag. Zo kunnen gewassen die veel water nodig hebben beter worden geteeld in gebieden waar ter plekke water beschikbaar is, en de kans op droogte klein is.

Zoek naar maatregelen die meerdere opgaven aanpakken

Met veel adaptatiemaatregelen is het mogelijk om meerdere opgaven tegelijk aan te pakken. Zo kan het grootschalig inzetten op meer groen en blauw in stedelijk gebied bijdragen aan het

verminderen van hitte, maar ook aan het vasthouden van water om tijdens droge perioden te kunnen gebruiken, het verminderen van wateroverlast door water op te vangen en de afvoer van water te vertragen, en het verbeteren van de biodiversiteit. De groene omgeving helpt daarnaast bij het verbeteren van de fysieke en mentale gezondheid, omdat die onder andere uitnodigt tot meer ontmoeten en bewegen. Deze transformerende aanpak draagt ook bij aan het verbeteren van de waterkwaliteit, en kan daarmee helpen om mogelijke toekomstige beperkingen in ruimtelijke ontwikkeling en economische activiteiten door de Kaderrichtlijn Water te verminderen.

Zorg voor robuustheid en flexibiliteit in klimaatadaptatie

Het klimaat verandert, en de gevolgen zullen naar verwachting toenemen, maar het blijft onzeker hoe deze gevolgen er in de toekomst exact uit zullen zien. Daarbij is vooral onzeker in welke mate het gaat lukken om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen en daarmee klimaatverandering te beperken. Er zijn ook kantelpunten, zoals extreme zeespiegelstijging en het vertragen van AMOC (zie hoofdstuk 2), die voor extra onzekerheden zorgen. Dit vraagt om robuustheid en flexibiliteit van de adaptatiemaatregelen.

Maatregelen die gericht zijn op het verminderen van een specifiek risico op een specifieke plek, helpen niet meer als in de toekomst de effecten van klimaatverandering toch anders zijn dan nu wordt verwacht, of zich op andere locaties voordoen. Als er bijvoorbeeld nu gewerkt wordt aan het vergroten van de afvoer van water uit wijken waar wateroverlast is geweest, helpt dat niet als in de toekomst op andere plekken piekbuien voorkomen. Maatregelen die inzetten op veerkrachtige systemen, waardoor steden, natuur en de maatschappij beter bestand zijn tegen verschillende klimaatdreigingen, bieden dan meer zekerheid. Denk bijvoorbeeld aan ‘blauwe dooradering’, waarbij er een netwerk van sloten, greppels en beken wordt gemaakt. Daardoor ontstaat er ruimte voor water, waarmee in het hele gebied een teveel aan water kan worden opgevangen en er minder snel wateroverlast zal ontstaan.

Vergroot maatschappelijke weerbaarheid

Ons onderzoek laat zien dat, ongeacht de gekozen insteek van klimaatadaptatie, op de lange termijn niet alle effecten en risico’s kunnen worden beheerst (zie ook figuur 11: bij beide adaptatierichtingen blijven er grote klimaatrisico’s bestaan). Dat betekent dat de Nederlandse samenleving voorbereid moet zijn op vaker optredende overlast, schade of zelfs ontwrichtingen. Daarom is het belangrijk dat overheid, bedrijven, mensen en gemeenschappen weten wat voor gevolgen van klimaatverandering ze kunnen verwachten. Dan kunnen ze daar vervolgens op de juiste manier naar handelen, om het effect te verkleinen of herstel te versnellen. Waar kunnen mensen bijvoorbeeld naartoe als de straat onder water staat? Hoe kunnen ze zich het beste beschermen tegen hitte, en wanneer is dat nodig? Waar kan hulp worden gezocht als er schade is aan een huis?

Dit speelt niet alleen op het moment waarop zo’n effect optreedt, maar ook ervoor en erna. Zo’n vorm van voorbereid zijn wordt ook wel ‘maatschappelijke weerbaarheid’ genoemd. Er zijn veel verschillende maatregelen mogelijk om hiervoor te zorgen, zoals informatievoorziening en reclamecampagnes voor bewustwording, waarschuwingssystemen, rampenplannen en oefeningen, het goed regelen van hulpdiensten, afspraken over herstelmaatregelen en opvang van mensen die getroffen worden. Het is daarom altijd verstandig om dit soort maatregelen te nemen die de maatschappelijke weerbaarheid vergroten.

Literatuur Bevindingen

Bles, T., J. de Jong, M. van Marle & R. van Buren (2021), *Klimaatgevoeligheid hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en spoor ten behoeve van de NMCA.* Utrecht: Deltares.

CLO (2026), *Temperatuur in Nederland en mondiaal, 1907 – 2024*. Compendium voor de Leefomgeving, CBS; PBL; RIVM en Wageningen University and Research.

De Woonplaats (2025), *Toekomst 28 door wateroverlast getroffen woningen bekend*. Enschede: De Woonplaats.

EEA (2024), *European Climate Risk Assessment*. Copenhagen: EEA.

ESABCC (2026), *Strengthening Resilience to Climate Change; Recommendations for an effective EU adaptation policy framework*. Copenhagen: European Scientific Advisory Board on Climate Change.

Gemeente Amsterdam (2025), *Knelpuntenaanpak klimaatadaptatie Amsterdam*. Amsterdam: Gemeente Amsterdam.

IenW (2023), *Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

KNMI (2023), *KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland*. De Bilt: KNMI.

PBL (2023), Vier adaptatierichtingen voor de inrichting van Nederland in 2050: Ruimtelijke verkenning 2023. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2024), *Klimaatrisico's In Nederland. De huidige stand van zaken*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2025), *Toekomstverkenning WLO: Vier adaptatierichtingen voor Nederland in 2040, 2050 en 2060*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

RIVM (2026), *Gezondheidseffecten van klimaatverandering Verkenning van toekomstige klimaatrisico's voor gezondheid in 2050*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

Stowa (2025), *Droogtestatistiek van de KNMI'23-klimaatscenario's*. Amersfoort: STOWA .

TNO (2026a), *Klimaatrisico's voor de gebouwde omgeving; Hittestress, Funderingsschade en schade door acute wateroverlast door piekbuien*. Utrecht: TNO.

WRR (2025), *Mens en klimaat: De kracht van sociale infrastructuur bij adaptatie*. Den Haag: Wetenschappelijke Raad voor Regeringsbeleid.

Leeswijzer
In de bovenstaande Bevindingen zijn op basis van de analyseresultaten de risico's, adaptatieopties en beleidskeuzes die hiermee gemoeid zijn, op een rij gezet.

Hierna volgt de Verdieping waarin we dieper op de analyse en resultaten ingaan. De Verdieping bestaat uit twee delen: Deel I bevat overkoepelende inzichten en in Deel II wordt per sector ingegaan op de klimaatrisico's en adaptatieopties. De hoofdstukken per sector zijn grotendeels gebaseerd op de achtergrondstudies van de betrokken kennisinstellingen (zie bijlage 1).

VERDIEPING

VERDIEPING

Verdieping deel I:
Aanpak en resultaten op hoofdlijnen

Deel I van de verdieping beschrijft de overkoepelende inzichten uit het onderzoek. Deel I bestaat uit de hoofdstukken 1 tot en met 6.

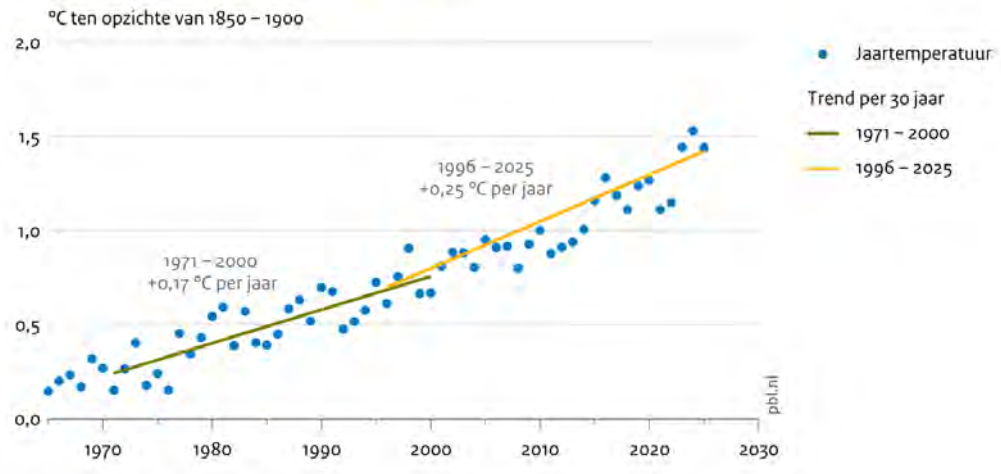
1 Inleiding

Het klimaat verandert sneller dan verwacht, en dat heeft gevolgen. In deze publicatie verkent het PBL de uitdagingen die dat snel veranderende klimaat met zich meebrengt en de keuzes die Nederland kan maken om met de gevolgen van klimaatverandering om te gaan. Wie of wat zou bijvoorbeeld beschermd moeten worden tegen de extremere hitte, droogte en wateroverlast? En hoe kan de samenleving, politiek en beleid dat aanpakken?

Het klimaat verandert snel

Het klimaat verandert in hoog tempo. Wereldwijd is de aarde nu 1,4°C opgewarmd boven het pre-industriële niveau (CLO 2026a). De opwarming gaat steeds sneller. Wereldwijd bedroeg de gemiddelde snelheid van de opwarming van 1971 tot 2000 0,17°C per 10 jaar. Tussen 1996 en 2025 is dat opgelopen tot 0,25°C per 10 jaar (zie figuur 1.1). In dit tempo gaat de opwarming over vijf tot tien jaar door de grens van 1,5°C; een stijging die aanvankelijk werd verwacht in 2040 (KNMI 2026a). De laatste drie jaren (2023, 2024 en 2025) waren gemiddeld overigens al 1,5°C warmer dan rond 1900 (Copernicus 2026), mede veroorzaakt door het samenvallen van El Nino en een actieve fase van de zonnecyclus (KNMI 2026b).

Figuur 1.1
Mondiale temperatuursverandering



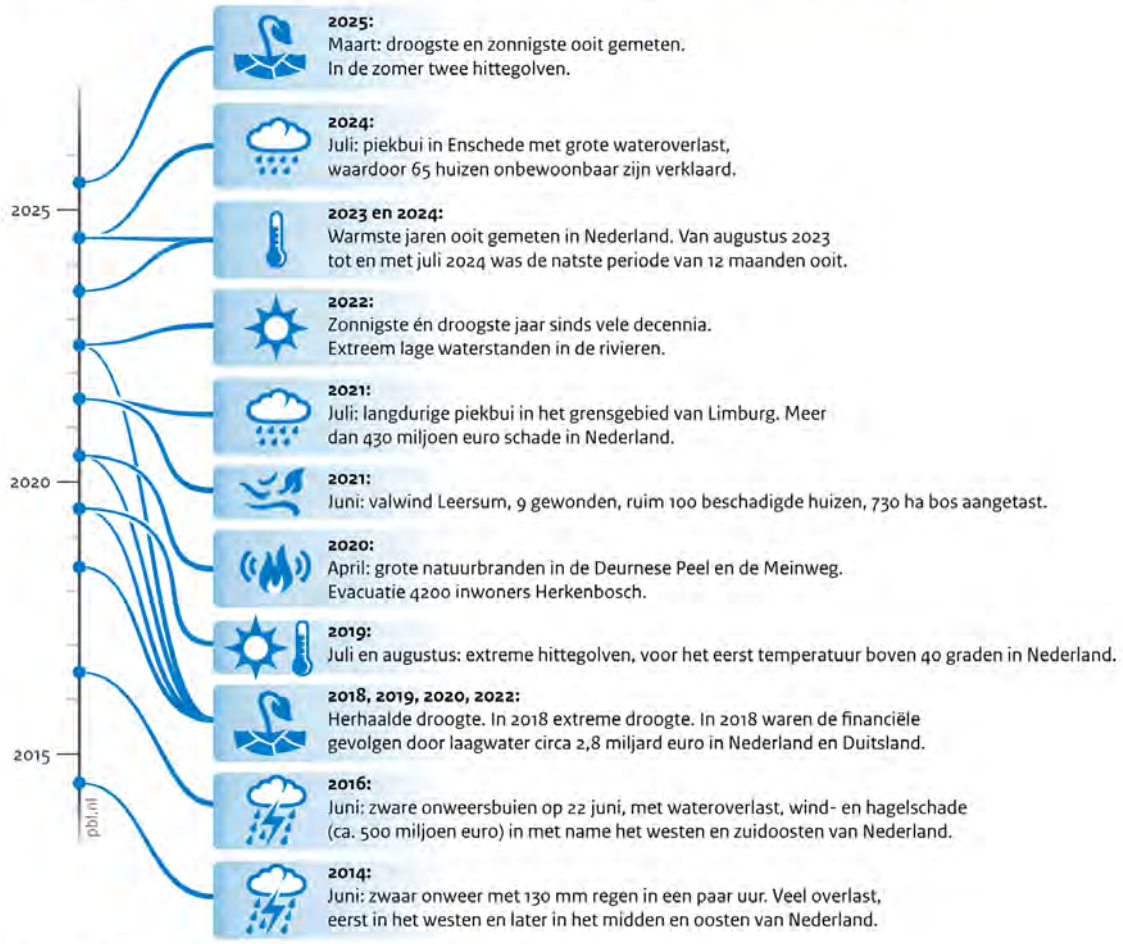
Bron: WMO 2025; bewerking PBL

Nederland warmt sneller op dan het wereldwijde gemiddelde. Sinds de metingen in 1901 begonnen, is de temperatuur in Nederland gemiddeld met 2,5°C gestegen (CLO 2026a). Nederland werd

door die opwarming in het afgelopen decennium meerdere malen geconfronteerd met extreme weergebeurtenissen met grote gevolgen (zie figuur 1.2).
Voor de toekomst verwacht het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) dat de nu al geconstateerde trends zich in deze eeuw zullen voortzetten (KNMI 2023a): het wordt warmer, droger, natter en de zeespiegelstijging gaat verder versnellen. De Nederlandse samenleving moet zich dus voorbereiden op een toekomst waarin de klimaatverandering doorzet.

Figuur 1.2

Extreme weergebeurtenissen in Nederland en de impact ervan, 2014 – 2025



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

Door snel veranderend klimaat is aanpassing nodig van de Nederlandse samenleving

Weersextremen zoals hitte, langdurige droogte en zware buien komen dus steeds vaker voor en worden ook steeds heviger. Ook de zeespiegel stijgt versneld. De gevolgen voor mens, economie en natuur zijn nu al merkbaar. Klimaatverandering grijpt nu al in op het dagelijks leven van Nederland en haar inwoners (PBL 2024a). Gezondheid, veiligheid, cultureel erfgoed en natuur staan steeds meer onder druk en ook de schade door weersomstandigheden neemt toe. Deze druk zal naar verwachting verder toenemen in de toekomst. De Nederlandse samenleving en fysieke leefomgeving zijn nog vooral ingericht op het klimaat van vroeger, terwijl de realiteit inmiddels ingrijpend is veranderd. Als Nederland het tempo waarin het klimaat verandert niet bijhoudt met beleid en maatregelen, zal de schade voor alle inwoners, economie en leefomgeving steeds verder toenemen (zie ook hoofdstuk 5).

Nu keuzes nodig over hoe Nederland wil omgaan met toenemende klimaatrisico's

Nederland kan op verschillende manieren omgaan met de gevolgen van klimaatverandering. Daar wordt al langere tijd over nagedacht en aan gewerkt, onder andere in de Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS) en het Deltaprogramma (DP). Het doel van het huidige klimaatadaptatiebeleid is dat Nederland in 2050 waterrobuust en klimaatbestendig is ingericht (Deltaprogramma 2025a). Er is al het nodige in gang gezet door Rijk, provincies, waterschappen, gemeenten, bedrijven en burgers.

Door het snel veranderende klimaat worden de risico's groter en wordt een aanpak urgenter. De Nederlandse samenleving, politiek en beleid moeten hier op korte termijn keuzes over maken. Daaraan ten grondslag ligt een aantal fundamentele vragen: wat is een klimaatbestendig Nederland, hoe wil Nederland zich aanpassen aan klimaatverandering, welke adaptatiemaatregelen passen daarbij en wie moet deze maatregelen nemen (zie ook figuur 1.3)? Daarbij is het van belang om nu al na te denken over de verdeling van de lusten en lasten van klimaatverandering en het adaptatiebeleid: wie profiteert van de genomen maatregelen en wie draagt de kosten ervan.

De keuzes die samenleving, beleid en politiek nu maken, zijn bepalend voor de mate waarin huidige en toekomstige generaties de gevolgen van klimaatverandering zullen ervaren.

Figuur 1.3

Keuzes voor een klimaatbestendige leefomgeving

Vragen voor politiek, beleid en samenleving



Bron: PBL

Dit rapport: toekomstige klimaatrisico's en opties voor adaptatie

In dit rapport analyseert het PBL de risico's die het veranderende klimaat met zich meebrengt. Ook bespreken we verschillende manieren waarop Nederland met die gevolgen van klimaatverandering kan omgaan, en brengen we de consequenties van die keuzes in kaart. Politiek en beleid kunnen deze kennis gebruiken om de verschillende adaptatiemogelijkheden tegen elkaar af te wegen en keuzes te maken.

Dit rapport is gemaakt op het verzoek van verschillende departementen onder de vlag van het Directeurenoverleg NAS om een klimaatrisicoanalyse uit te voeren, met als achterliggende vraag: hoe klimaatbestendig is Nederland op dit moment en in de toekomst? Met dit project leveren we (nieuwe) informatie voor de herziening van de Nationale Adaptatiestrategie (NAS) en de herijking van de Deltabeslissingen, beide voorzien in 2026. In het kader van dit project publiceerde het PBL in mei 2024 een eerste rapport: 'Klimaatrisico's in Nederland; de huidige stand van zaken' (PBL 2024a). In dit tweede rapport gaan we in op de klimaatrisico's in de toekomst, en de mogelijke maatregelen om Nederland klimaatbestendiger te maken. De risicoanalyse heeft als doel inzicht te geven in de mogelijke toekomstige ontwikkelingen en de keuzes die gemaakt kunnen worden voor een klimaatbestendig Nederland in 2050 en daarna.

Deze studie is tot stand gebracht door samenwerking van het PBL met andere instituten

Voor deze analyse hebben we naast bestaand onderzoek van het PBL zelf, vooral gebruikgemaakt van onderzoeksresultaten van collega-kennisinstellingen waaronder Deltares, ORG-ID, TU Delft, RCE, RIVM, TNO, KNMI en WUR. Deze kennisinstellingen hebben in opdracht van het PBL onderzoek gedaan naar toekomstige klimaatrisico's voor verschillende sectoren, zoals gezondheid, waterkwaliteit en landbouw, en daarbij gebruik gemaakt van een gegeven methodiek (PBL 2023). Per (beleids)sector is een inventarisatie gemaakt van de toekomstige klimaatrisico's voor de specifieke sectoren, van mogelijke adaptatieopties en van het effect hiervan op het risico. De uitgebreide onderzoeksresultaten staan in de achtergrondrapporten van genoemde kennisinstituten (zie bijlage 1). Daarnaast zijn er een beleidsanalyse van de knelpunten in het huidige (adaptatie)beleid (ORG-ID 2026) en een onderzoek naar de beleving van klimaatrisico's en oplossingsrichtingen (uitgevoerd door het PBL).

Afbakening

Net als bij de verkenning van de huidige klimaatrisco's (PBL 2024a) analyseren en verkennen we de toekomstige klimaatrisico's voor een breed spectrum van (beleids)sectoren. De sectoren die meegenomen zijn in dit onderzoek spelen een centrale rol in de samenleving en economie, namelijk gezondheid, cultureel erfgoed, drinkwater, energie, waterveiligheid, waterkwantiteit en -kwaliteit, natuur, landbouw, gebouwde omgeving, infrastructuur en mobiliteit (zie figuur 1.4). Ten opzichte van de eerste rapportage van de huidige risico's (PBL 2024a) zijn er twee sectoren toegevoegd, namelijk natuurbranden en digitale infrastructuur.

Een aantal sectoren die ook belangrijk zijn voor de samenleving, zijn in dit rapport door gebrek aan capaciteit en budget echter niet uitgewerkt. Zo zijn de recreatiesector en de risico's voor Nederland door klimaatverandering in het buitenland niet meegenomen (in een eerdere analyse uit 2015 zijn deze wel beschreven; PBL 2015). Verder is dit onderzoek beperkt tot het Europese deel van Nederland en beslaat het niet het Caribisch deel van het Koninkrijk der Nederlanden.

Omdat deze studie een risicoanalyse betreft besteden we maar beperkt aandacht aan de eventuele positieve impacts of kansen. Wel wordt in dit rapport breed gekeken naar de voor- en nadelen van de verschillende adaptatiemogelijkheden; en kansen om synergiën te benutten.

Figuur 1.4

Klimaatdreigingen en sectoren in analyse toekomstige klimaatrisico's



Bron: PBL

Leeswijzer

In Deel I schetsen we eerst hoe het klimaat en de Nederlandse samenleving zich zouden kunnen ontwikkelen op de lange termijn, los van huidig adaptatiebeleid en -maatregelen (zie hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 staan de aanpak van de analyse en de keuzes die daarbij gemaakt zijn. Hoofdstuk 4 beschrijft de toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid, dus zonder aanvullend adaptatiebeleid en maatregelen. Mogelijk aanvullend adaptatiebeleid en -maatregelen zijn ingevuld aan de hand van twee aanvullende adaptatierichtingen, die zijn beschreven in hoofdstuk 5 (en een meer gedetailleerde uitwerking in bijlage 3). Vervolgens is geanalyseerd hoe klimaatrisico's zouden veranderen bij de verschillende adaptatierichtingen. De klimaatrisico's na uitvoering van maatregelen uit de twee verschillende adaptatierichtingen geven aan wat adaptatiekeuzes kunnen opleveren (zie hoofdstuk 5). Omdat zowel veel klimaatrisico's als ook adaptatieopties de burger in Nederland raken is er ook een enquête uitgezet onder burgers om hen te bevragen hoe ze klimaatriscio's en -maatregelen beleven. Resultaten van deze enquête zijn beschreven in hoofdstuk 6.

2 Klimaatverandering en andere toekomstige ontwikkelingen

Hoe ziet het Nederlandse klimaat er in de toekomst mogelijk uit? En hoe zal de Nederlandse samenleving zich ontwikkelen? Waar krijgen inwoners mee te maken? Waar lopen de huidige en de volgende generaties tegenaan? In dit hoofdstuk beschrijven we klimaatverandering en toekomstige ontwikkelingen in onder meer de bevolking en economie. Deze ontwikkelingen worden gebruikt om twee zogenoemde contextscenario's op te stellen, waarmee de bandbreedte van toekomstige klimaatrisico's kan worden verkend (zie hoofdstuk 3).

2.1 Klimaatverandering richting 2050 en 2100

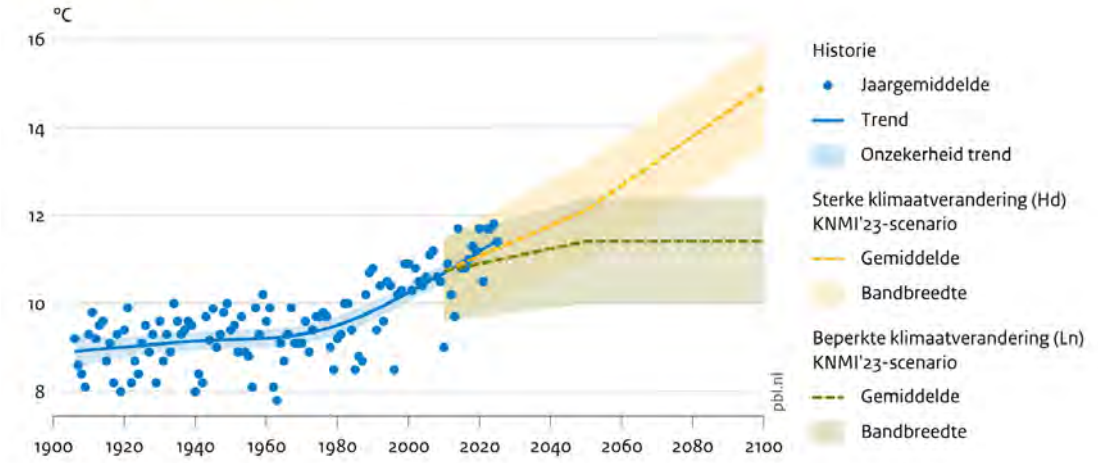
Het is al warmer, droger en natter, met meer extreme weergebeurtenissen

Het klimaat in de wereld verandert in snel tempo, en in Europa nog sneller; Europa inclusief Nederland is het snelst opwarmende continent (EEA 2024). De jaargemiddelde temperatuur is in Nederland tussen het begin van de metingen in 1906 en 2024 met 2,5°C gestegen (CLO 2026a, figuur 2.1), de jaarlijkse neerslaghoeveelheid is in diezelfde periode toegenomen met bijna 30 procent (CLO 2026b).

Niet alleen is er een stijgende trend in de jaargemiddelde temperatuur en de jaarlijkse neerslag, ook zijn de intensiteit en duur van veel (maar niet alle) weersextremen toegenomen. Zo komen hittegolven nu vaker voor dan begin vorige eeuw, zijn ze veelal heftiger en duren ze langer dan vroeger (PBL 2024a). En het aantal dagen met zware neerslag (een dag met ergens in Nederland een neerslag van 50 millimeter of meer) is toegenomen van 5 dagen in 1951 naar ongeveer 9 dagen per jaar in deze eeuw (CLO 2023; KNMI 2025). Tegelijkertijd zijn de zomers gemiddeld in de afgelopen decennia droger geworden, zoals in 2018, 2019, 2020 en 2022.

Verder neemt de snelheid toe waarmee de zeespiegel voor de Nederlandse kust stijgt. Sinds 1900 steeg de zeespiegel gemiddeld 1,7 millimeter per jaar, in de periode 1971-2018 met 20 een 2,3 millimeter per jaar, en tussen 2006 tot 2018 bedroeg de stijging gemiddeld 3,7 millimeter per jaar (KNMI 2023a). Wereldwijd bedroeg de snelheid van zeespiegelstijging in 2023 4,5 millimeter per jaar (Hamlington et al. 2024).

Figuur 2.1
Temperatuur in Nederland



Bron: KNMI

Klimaatverandering zet door, maar hoeveel en hoe snel is onzeker

Klimaatverandering zet naar verwachting deze eeuw en daarna verder door, ook in Nederland. Hoe groot de klimaatverandering uiteindelijk zal zijn, is onzeker. Dit hangt onder meer af van de hoeveelheid broeikasgassen die nog wordt uitgestoten en van onzekerheden in het klimaatsysteem (bijvoorbeeld de 'klimaatgevoeligheid'; de mate waarin de temperatuur reageert op veranderende concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer).
Met het oog op deze onzekerheden en de voortschrijdende kennis komt het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) regelmatig met nieuwe mondiale klimaatscenario's. Deze geven echter niet voldoende informatie voor een klein gebied als Nederland. Daarom ontwikkelt het KNMI, op basis van deze wereldwijde projecties, klimaatscenario's specifiek voor Nederland en omgeving, het meest recent in 2023 (KNMI 2023a, figuur 2.1). Deze klimaatscenario's varieren langs de assen 'mondiale broeikasgasemissies' (hoge (H) versus lage (L) uitstoot), en de 'mate van droge zomers/natte winters' . Dat laatste is relevant omdat onzeker is hoe verdere opwarming leidt tot veranderingen in de ligging van lage- en hogedrukgebieden, en dus in de hoeveelheid neerslag in de winter en zomer. Daarom onderscheidt het KNMI per uitstootscenario twee varianten:

- Een 'nat' scenario (aangeduid met de letter 'n') waarin de winters sterk vernatten en de zomers licht verdrogen.
- Een 'droog' scenario (aangeduid met de letter 'd') waarin de winters licht vernatten en vooral de zomers sterk verdrogen.

Geleidelijke veranderingen én meer en intensere extremen

Volgens alle KNMI-klimaatscenario's zullen de huidige trends zich deze eeuw versneld voortzetten, met grote en snelle veranderingen in de klimaatscenario's met een hoge uitstoot en snelle klimaatverandering (Hn- en Hd- scenarios), en beperkte veranderingen in klimaatscenario's met een lage uitstoot en langzame klimaatverandering (Ln en Ld) (figuur 2.2).

Figuur 2.2

KNMI-scenario's voor klimaatverandering in Nederland rond 2100



Bron: KNMI 2023

Bij de verwachte klimaatverandering gaat het om zowel veranderingen van het gemiddelde klimaat (temperatuur, neerslag, enzovoort) als het vaker voorkomen van (heftiger) extremen (figuur 2.3). Daarbij is de verwachting dat de gemiddelde jaartemperatuur in 2100 in Nederland tussen de 0,9 en 4,4°C stijgt (ten opzichte van de referentieperiodes 1991-2020), en daarmee net iets meer opwarmt dan de wereld als geheel (+0,8 tot 4,0°C ten opzichte van de referentie 1991-2020, oftewel +1,7 tot +4,9°C ten opzichte van pre-industrieel, KNMI'23). De verschillen in klimaatverandering voor de klimaatscenario's betekenen ook verschillen in de hieraan verbonden risico's voor de samenleving, met gevolgen voor de huidige generatie én toekomstige generaties (figuur 2.4).

Figuur 2.3[1]

Toename van extremen in het klimaat van Nederland rond 2100



Bron: KNMI 2023

[1] referentieperiode voor klimaatgrootheden is 1991-2020, voor zeespiegelstijging 1995-2014

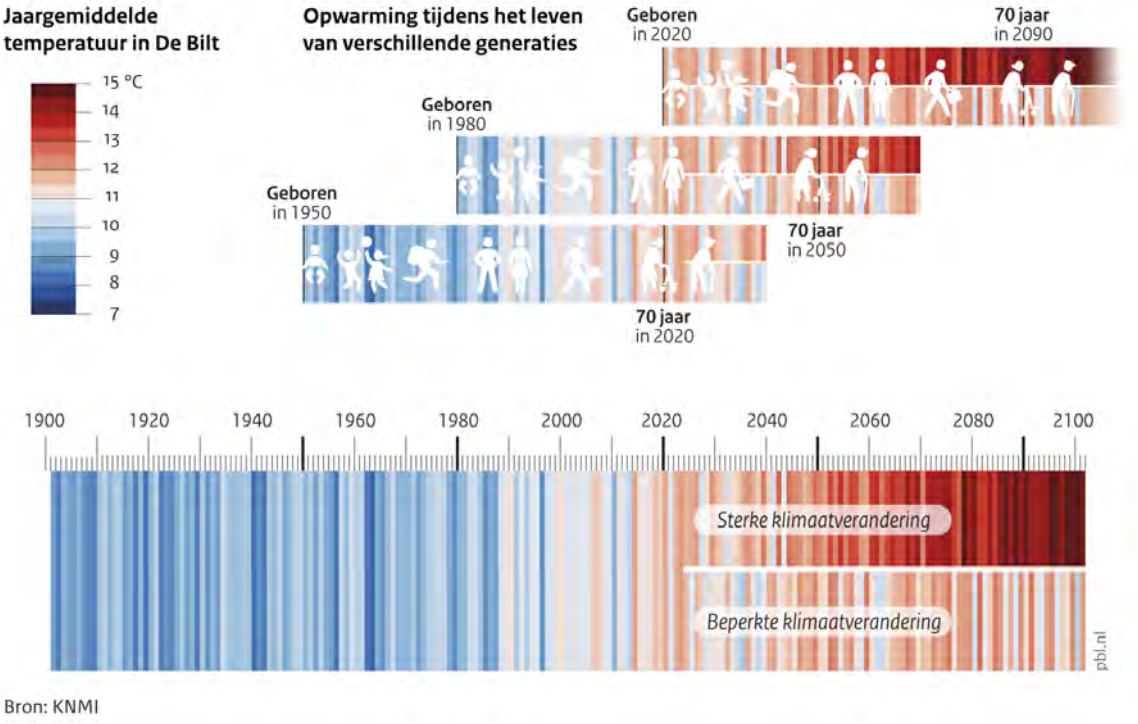
Het wordt warmer: extreme temperaturen stijgen meer dan het gemiddelde, tot 40°C in 2100

Naar verwachting stijgt de jaargemiddelde temperatuur in Nederland tot 2050, ten opzichte van de referentieperiode 1991-2020, tussen 0,9 (scenario Ln) en 1,6 °C (scenario Hd), en in 2100 tussen de 0,9 en 4,4°C (Bijlage 2). Deze stijging is in Nederland het grootst in het zuidoosten en in de zomer. De jaargemiddelde temperatuur stijgt in Maastricht tot wel 1°C meer dan in het noordwesten van Nederland in 2100, en de zomertemperaratuur tot wel 2°C meer.

Hittegolven zullen naar verwachting in de toekomst vaker voorkomen, heter worden en langer aanhouden. Bij sterke klimaatverandering kan in 2100 één hittegolf de hele zomer beslaan. Extreem hoge en extreem lage temperaturen stijgen naar verwachting meer dan de gemiddelden. Zo stijgt in de klimaatscenario's het aantal tropische dagen (dagen met temperatuur op een dag van 30°C of hoger) in De Bilt van 5 dagen per jaar in de referentieperiode 1990-2020 naar 9 (Ln) tot 14 (Hd) dagen per jaar rond 2050, en naar 9 (Ln) tot 35 (Hd) dagen per jaar rond 2100. En een maximum temperatuur van 40°C of meer is in Nederland tot op heden pas maar één keer waargenomen (in 2019, KNMI 2023a), maar zal naar verwachting bij een sterke klimaatverandering rond 2100 vrijwel jaarlijks kunnen voorkomen (zie ook tekstkader 2.1). Het aantal tropische nachten (dagen/nachten met minimumtemperatuur van 20 graden°C of hoger) neemt (in de Bilt) waarschijnlijk toe van 0,3 in het huidige klimaat tot maximaal 3 rond 2050 en maximaal 24 in 2100.

Figuur 2.4

Temperatuurverandering in Nederland voor verschillende generaties



Bron: KNMI

Ruimtelijk zullen zomerse/tropische dagen vaker voorkomen en extremer zijn in Zuidoost-Nederland dan aan de kust. En omdat steden nu al warmer zijn dan het omliggende platteland, vanwege het hitte-eilandeffect, zijn temperaturen in de steden in Nederland tot 50°C bij een sterke klimaatverandering niet uit te sluiten (KNMI 2023a). Tegelijk nemen de aantallen vorst- en ijsdagen naar verwachting verder af; het aantal ijsdagen in de Bilt daalt van 9 dagen in de refentieperiode 1990-2020 naar 3 tot 4 dagen in 2050, en 0 tot 4 dagen in 2100 (vorstdagen en ijsdagen zijn dagen met een respectievelijk minimum- en maximumtemperatuur onder de 0°C).

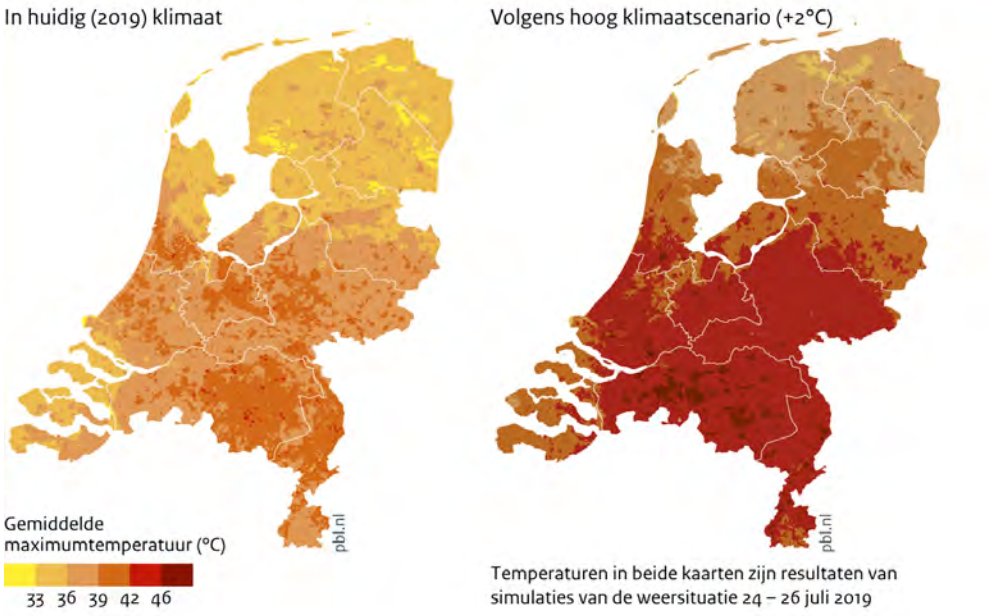
Tekstkader 2.1 Hittegolven in de toekomst

Het KNMI heeft berekend hoe de warmste hittegolf ooit in Nederland waargenomen (rond 25 juli 2019) eruit zou zien wanneer het mondiaal 2°C warmer is (rond 2065 in de hoge uitstootscenario's Hn en Hd) (KNMI 2023). Het gebied waarin de temperatuur kan oplopen tot boven 40°C, wordt in dat geval veel groter, en op veel plekken in Nederland wordt dan een temperatuur van tussen 42,5 en 45°C bereikt (figuur 2.4). In een klimaat waarin het mondiaal 4°C warmer is (rond 2100), zijn in de stad temperaturen tot 50°C niet uit te sluiten. Dan zou een zomer zoals die van 2019 ook vrijwel één continue hittegolf zijn (KNMI 2023).

Het bestaande patroon van temperatuurverschillen tussen regio's en tussen stad en omgeving verandert bij een verdere opwarming niet. Dit betekent dat ook in de toekomst in het zuidoosten van Nederland de zomers warmer zullen zijn en hittegolven langer zullen duren dan langs de kust.

Figuur 2.5

Gemiddelde maximumtemperatuur gedurende een extreme hittegolf



Bron: KNMI

Het wordt natter, vooral in de winter

De jaarlijkse hoeveelheid neerslag is in Nederland in de periode 1906-2024 met bijna 30procent toegenomen (PBL 2024a; CLO 2026b). Naar verwachting zal deze jaarlijkse hoeveelheid tussen nu en 2100 beperkter veranderen (+8 procent in Hn-scenario, -3 procent in Hd ten opzichte van referentieperiode 1991-2020). Naar verwachting zullen winters nog natter worden (in 2100 tussen de +5 tot +24 procent), maar de zomerse neerslag zal afnemen (in 2100 tussen de -2 tot -29 procent). Zie ook bijlage 2. Deze veranderingen zijn redelijk uniform over Nederland verdeeld.

Het wordt ook droger, vooral in het binnenland en in de zomer

Door de grotere verdamping als gevolg van hogere temperaturen en meer zonnestraling, en door minder zomerse neerslag worden zomerdroogtes naar verwachtting langer en intenser.

In de referentieperiode 1991-2020 bereikte het gemiddelde jaarlijkse maximale neerslagtekort tijdens het groeiseizoen 160 millimeter; eens in de 10 jaar liep dit op tot 265 milimeter. De verwachting is dat tot 2050 deze waarden in het Ln-scenario stijgen met respectievelijk 13 procent (jaarlijks) en 9 procent (eens in de 10 jaar); daarna blijven ze tot 2100 gelijk. In het Hd-scenario is deze stijging hoger, namelijk 35 procent (jaarlijks) en 30 procent (eens in de 10 jaar) rond 2050, en zet de stijging ook richting 2100 door tot respectievelijk 79 en 63 procent hogere neerslagtekorten ten opzichte van de referentie. De droogte neemt naar verwachting het meest toe in Zuid-Nederland, door de relatief hoge temperaturen en minder neerslag.

Zomers droger, wel met meer heftige buien

De zomers worden gemiddeld droger, maar als het regent zullen de buien naar verwachting vaker intenser zijn. Zo kan de maximale uurneerslag die eens per jaar valt rond 2100 in het meer natte Hn-scenario tussen de 17 en 46 procent toenemen. Een verschuiving naar vaker zware buien in de zomer is ook terug te zien in de verwachte frequentie van die zware buien (tabel 2.1, STOWA 2025)).

In de scenario's met sterke klimaatverandering neemt de maximale hoeveelheid neerslag die eens per jaar in een uur valt tot 2100 naar verwachting toe met 25 procent (van 16 naar 20 millimeter). Voor de bui die die eens in de 100 jaar voorkomt waarbij binnen een uur een extreme hoeveelheid valt, is die toename 22 procent (van 58 millimeter naar 71 millimeter).
De kans op een bepaald type zware bui verandert ook in de loop der tijd. De kans op een hoosbui (25 millimeter in een uur) verandert van eens per 5 jaar naar eens in 2 jaar, en dagen met hele zware neerslag (100 millimeter in 24 uur) zullen in 2100 mogelijk eens in 50 jaar voorkomen (nu eens in 100 jaar). In de klimaatscenario's met een beperkte uitstoot van broeikasgassen zijn de toenames en veranderingen kleiner, met name voor periode na 2050. Zo worden de zomers in het lage scenario bijna niet droger ten opzichte van de referentieperiode (in 2100 -2 procent in plaats van -29 procent in het hoge scenario), en neemt de verwachte intensiteit van extreme buien veel minder toe (bijvoorbeeld uurneerslag in 2100 +6 procent in plaats van +31 procent (zie bijlage 2 voor details). Nederland moet in de zomer dus voorbereid zijn op zowel meer regen in korte tijd als langere periodes van hitte en droogte.

Tabel 2.1
Frequentie (T) en intensiteit van verschillende typen buien in de referentieperiode (1991-2020) en bij het klimaatscenario met sterke klimaatverandering (Hn)

A) Frequentie (T) en intensiteit van neerslag in de referentieperiode (1991-2020)

Frequentie (eens in de T jaar)	Neerslag (mm) in 10 min	Neerslag (mm) in 60 min	Neerslag (mm) in 12 uur	Neerslag (mm) in 24 uur	Neerslag (mm) in 8 dagen
1	10	16	31	37	79
2	12	20	36	44	90
5	15	26	45	54	105
50	25	48	77	87	141
100	29	58	90	99	152
1000	48	111	139	148	188

B) Frequentie (T) en intensiteit van neerslag in Hn-scenario (2100)

Frequentie (eens in de T jaar)	Neerslag (mm) in 10 min	Neerslag (mm) in 60 min	Neerslag (mm) in 12 uur	Neerslag (mm) in 24 uur	Neerslag (mm) in 8 dagen
1	13	20	38	45	88
2	15	25	45	54	100
5	19	32	56	67	117
50	30	59	94	107	157
100	35	71	111	122	169
1000	59	137	172	183	209

Bron: STOWA 2025

Wind en stormen veranderen niet of nauwelijks

Naar verwachting zullen de gemiddelde windsnelheden nauwelijks veranderen richting 2050 en 2100. De verschillen tussen de klimaatscenario's met een hoge en lage uitstoot van broeikasgassen zijn dan ook klein. Wel kunnen windstoten en valwinden bij buien sterker worden, al is de onzekerheid groot. Ook zal het bij stormachtige wind of storm (windkracht > 7 beaufort) naar verwachting vaker uit het zuidwesten waaien en minder vaak uit het noordwesten, wat tot minder stormvloeden zal leiden (die de gevaarlijkste winden zijn voor Nederland) (KNMI 2023a).

Zonnestraling neemt naar verwachting (iets) toe

Naar verwachting zal de hoeveelheid zonnestraling stijgen, met 4 tot 5 procent in 2050 en 4 tot 6 project in 2100 (ten opzichte van referentieperiode 1991-2020) (KNMI 2023a). Dit komt doordat de lucht boven Nederland nog schoner wordt (in alle klimaatscenario's) en het aandeel droge oosterwinden, met wolkeloze dagen, naar verwachting toeneemt (in het Hd-scenario). Bij een schonere lucht kan meer zonnestraling het aardoppervlak bereiken. Er zijn indicaties dat de luchtverontreiniging boven oceanen sinds 2020, na het in werking treden van strenge regels voor de scheepvaart, zodanig is afgenomen dat meer zonnestraling de aarde bereikt (Hansen et al. 2025). Dit is één van de factoren die bijgedragen heeft aan de hoge temperaturen in de afgelopen jaren (KNMI 2026b).

Zeespiegel stijgt versneld

De snelheid waarmee de zeespiegel langs de Nederlandse kust stijgt, is toegenomen (van 1,7 millimeter per jaar sinds 1990 tot 3,7 millimeter per jaar tussen 2006 en 2018, KNMI 2023a). Naar verwachting zet deze versnelling verder door richting 2050, 2100 en daarna, zelfs als de uitstoot van broeikasgassen sterk beperkt wordt (KNMI 2023a). Tot 2050 verschilt de verwachte stijging niet veel tussen de KNMI-klimaatscenario's: +24 tot +27 centimeter ten opzichte van de referentieperiode 1995-2014. Na 2050 lopen de verwachtingen in de klimaatscenario's wel uit elkaar. In de klimaatscenario's met beperkte klimaatverandering komt de verwachte zeespiegelstijging uit op circa 44 centimeter (26-73 centimeter) in 2100 en circa 68 centimeter (43-103 centimeter) in 2150. Bij het scenario met veel klimaatverandering is de stijging naar verwachting groter: tot 82 centimeter (59-124 centimeter) in 2100 en circa 141 centimeter (109-200 centimeter) in 2150. Een stijging van 1 meter is in dit scenario rond 2100 niet uit te sluiten; 50 jaar eerder dan in het scenario met beperkte klimaatveranderingen.

Deze projecties van de toekomstige zeespiegel zijn omgeven met een grote onzekerheid, onder meer omdat veel processen een rol spelen en de zeespiegel traag reageert op deze processen. Eén van de onzekerheden is het afsmelten van ijskappen. Voor de snelheid van de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is hierbij vooral van belang hoe snel de Antarctische ijskap (de Zuidpool) afsmelt. Een versnelling in dat proces kan op lange termijn tot een zeespiegelstijging van vele meters leiden (zie paragraaf 2.2).

Te verwachten ontwikkelingen afvoeren Rijn en Maas

Voor de waterveiligheid van Nederland zijn naast de zeespiegelstijging ook de afvoeren van de Rijn en Maas van belang. Over het algemeen wordt verwacht dat de verschillen tussen de klimaatscenario's in verwachte neerslag in het stroomgebied zullen leiden tot verschillen in rivierafvoeren in Nederland.

In alle klimaatscenario's zal er op jaarbasis minder water aangevoerd worden, maar de verschillen tussen de scenario's zijn wel groot, met name in de zomer (Deltares 2024, bijlage 2). In het Hd-scenario met veel klimaatverandering is de verwachting dat de zomerafvoeren van Rijn en Maas in

2050 met 8 tot 18 procent afnemen, en in 2100 met 20 tot 30 procent (ten opzichte van periode 1991-2020). Bij het scenario met een beperkte klimaatverandering (Ln) nemen de zomerafvoeren in 2050 naar verwachting met 6 tot 13 procent af, om daarna min of meer constant te blijven . Hierbij de notie dat de dalende afvoeren samen gaan met een watervraag die door oplopende temperaturen stijgt. Dit leidt naar verwachting tot meer droogte.

In de winter neemt de neerslag in de stroomgebieden van Rijn en Maas naar verwachting toe, waardoor ook de maximale afvoeren in de winter en het voorjaar sterk toenemen (voor de Rijn tot +10 procent in 2050 en bijna +30 procent in 2100, Deltares 2024). Voor de Maas worden iets kleinere veranderingen verwacht.
Kanttekening bij deze verwachte rivierafvoeren is dat de afvoer van de Rijn en Maas ook beïnvloed wordt door (beleids)veranderingen in het bovenstroomse gebied. Dit geeft een extra onzekerheid bij het maken van verwachtingen van rivierafvoeren.

2.2 Klimatologische wildcards

In de KNMI-scenario's (KNMI 2023a) wordt verkend hoe het klimaat zich waarschijnlijk zal ontwikkelen. Maar hoe de toekomst daadwerkelijk zal verlopen is onzeker. Van sommige ontwikkelingen is de kans klein dat ze zich zullen voordoen, maar áls ze optreden zullen ze een grote impact hebben; de zogenoemde wildcards of kantelpunten. Op twee daarvan gaan we hieronder in omdat ze voor Nederland grote gevolgen hebben:
(1) Het sterk afzwakken/stilvallen van AMOC, met gevolgen voor de warme golfstroom en
(2) een versnelt/sterk afsmelten van ijskappen op Antarctica, met als gevolg een extra zeespiegelstijging.

Afzwakken golfstroom langs Nederlandse kust

Het weer en klimaat in Nederland worden deels bepaald door de temperatuur van de Noord-Atlantische Oceaan en de Noordzee. De gemiddelde temperatuur in Nederland is daardoor hoger dan bijvoorbeeld in het zuiden van Canada, terwijl deze gebieden op dezelfde breedtegraad liggen. Cruciaal is hierbij het functioneren van de Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), waar de warme Golfstroom onderdeel van is. De AMOC betreft het transport van relatief warm water van het zuidelijk halfrond via de evenaar naar de oceaan ter hoogte van Groenland en IJsland. Rond Groenland koelt een deel van het warme water af, waardoor het een hogere dichtheid krijgt en zinkt naar diepere waterlagen. Vervolgens stroomt dit afgekoelde water op diepte terug naar het zuiden.

Door onder meer het afsmelten van de Groenlandse ijskap en toenemende neerslag wordt het oppervlaktewater in de Noord-Atlantische oceaan zoeter en lichter. Daarnaast koelt het oppervlaktewater minder snel af door de opwarming van de atmosfeer. Door het zoeter, lichter en warmer worden zal het water moeilijker de hogere dichtheden krijgen die nodig zijn om naar de diepere lagen te kunnen zinken. Dit zorgt voor een afzwakking van de AMOC en kan er zelfs mogelijk toe leiden dat de AMOC stil zal komen te vallen. Dit is een langzaam proces, maar als het kantelpunt eenmaal bereikt is, is er geen weg terug. Het is de verwachting dat vanaf het moment dat het kantelpunt wordt bereikt, het nog tot ongeveer 100 jaar duurt voordat de AMOC volledig stillvalt en klimatologische gevolgen zichtbaar worden (Van Westen 2024).

Vertraging AMOC leidt tot flink koudere, ruigere winters, drogere zomers en extra zeespiegelstijging in Nederland

Het sterk afzwakken van de AMOC heeft grote gevolgen voor het klimaat in de wereld, ook voor Europa inclusief Nederland. Door het sterk afzwakken van AMOC kan het klimaat in de winter in het noorden en noordwesten van Europa uiteindelijk (tot wel 100 jaar na die verzwakking) flink kouder (-0,5 tot - 1°C per 10 jaar, Van Westen et al. 2024) en ruiger (onder andere meer wind) worden (KNMI 2025). Zomers worden vooral veel droger. Daarbij dient vermeld te worden dat de effecten van het sterk afzwakken van de AMOC wel boven op de klimaatverandering komen. In de rest van Europa zet de klimaatverandering verder door. En op andere plekken in de wereld wordt het dan nóg warmer, omdat de warmte niet meer via deze oceaanstroming wordt afgevoerd naar het noorden. De zeespiegel langs de Nederlandse kust zal bij het sterk afzwakken van de AMOC met 0,5 tot 1 meter extra stijgen (KNMI 2025; Deltaprogramma 2024a). Hiermee wijken de klimaateffecten van het sterk afzwakken van de AMOC substantieel af van de KNMI'23-klimaatscenario's.

Er zijn signalen dat de AMOC al aan het afzwakken is en dat deze een hierboven beschreven kantelpunt nadert (Deltaprogramma 2024a). Het is nog onduidelijk wanneer dit kantelpunt bereikt wordt. Mogelijk gebeurt dit al in deze eeuw, mogelijk zelfs al rond 2060. Maar na het bereiken van het kantelpunt kan het dus nog 100 jaar of meer duren voordat het klimaat in Noordwest-Europa daarop reageert. Mocht de AMOC inderdaad sterk afzwakken, dan worden dus de grootste effecten na 2100 verwacht (Van Westen et al. 2025).

Versneld afsmelten Antarctische ijskappen

De ijskappen op Groenland en Antarctica zijn kilometers dik. Zonder klimaatverandering is er sprake van een evenwicht, waarbij de ijskappen soms (langzaam) groeien, soms krimpen. Door al waargenomen klimaatverandering is er geen sprake meer van een evenwicht. Het smelten van de ijskappen gaat steeds harder (ongeveer verdubbeld ten opzichte van 40 jaar terug) en draagt nu substantieel (ongeveer 1/3) bij aan de huidige mondiale zeespiegelstijging (ongeveer 33 procent; een verdubbeling ten opzichte van decennia geleden, IPCC 2019).

Er zijn daarnaast enkele zelfversterkende processen die het smelten van de ijskappen over een kantelpunt heen kunnen duwen, met dan nog snellere veranderingen tot gevolg die min of meer onomkeerbaar zijn. Bij Antarctica speelt bijvoorbeeld in hoeverre de drijvende ijsplaten in contact staan met het relatief warme oceaanwater. De West-Antarctische ijskap is hier het meest gevoelig voor, en bevat genoeg ijs om de zeespiegel met ruim 5 meter te laten stijgen (KNMI 2023b, Deltaprogramma 2024b).

Klimaatverandering speelt een belangrijke rol in smeltgedrag van Antarctica. Iedere tiende graad meer opwarming vergroot de kans op dit kantelpunt aanzienlijk (KNMI 2024a). Ook wanneer de mondiale temperatuurstijging onder de 2°C ten opzichte van pre-industrieel (ook tot 2100) blijft, kan het kantelpunt bereikt worden, maar de kans is kleiner dan bij een sterke klimaatverandering. En de snelheid waarmee de ijskappen vervolgens krimpen nadat het kantelpunt is gepasseerd, is hoger naarmate de aarde verder opwarmt.

Versneld afsmelten poolkappen heeft extreme zeespiegelstijging (2,65 meter in 2100) langs Nederlandse kust tot gevolg

Als het kantelpunt bereikt wordt en de ijskappen versneld afsmelten, kan de zeespiegel vrij plots sneller gaan stijgen dan dat nu de verwachting is. En deze versnelling zal naar verwachting onomkeerbaar zijn. In 2050 kan de zeespiegelstijging ruim verdubbeld zijn ten opzichte van een situatie

waarin dit kantelpunt niet wordt bereikt (tot 72 centimeter in plaats van 24 tot 27 cm). En vooral na 2050 kan het dan hard gaan. Rond 2100 kan de zeespiegel tot 2,65 meter hoger staan, in 2150 tot ruim 5 meter, en met nog een sterkere versnelling in de eeuwen erna -6 tot 18 meter, ook als de temperatuur dan niet verder stijgt (KNMI 2023a). Onderzoek laat zien dat het technisch gezien mogelijk is om Nederland met de huidige aanpak te beschermen tegen een zeespiegelstijging tot aan 3 meter (Kennisprogramma Zeespiegelstijging 2023).

2.3 Toekomstige ontwikkelingen Nederlandse samenleving

Ook Nederlandse samenleving verandert en wordt kwetsbaarder voor de gevolgen van klimaatverandering

Niet alleen het klimaat, ook de Nederlandse samenleving zal veranderen, al is onzeker hoe. Hoeveel Nederlanders zijn er in 2100 en hoe zullen zij dan leven en werken? Voor 2050 zijn er een aantal verkenningen en zijn huidige trends door te trekken die laten zien wat er mogelijk kan gebeuren (zie bijlage 2). In deze studie baseren we ons vooral op WLO-toekomstverkenning 2025 (Welvaart en Leefomgeving, PBL 2025a). De WLO-scenario's beschrijven vier mogelijke richtingen voor de demografische en sociaal-economische otntwikkelingen in Nederland, en wat dit voor maatschappelijk opgaven met zich meebrengt voor bijvoorbeeld woningbouw, mobiliteit en energieinfrastructuur. Die ontwikkelingen beïnvloeden hoe kwetsbaar Nederland en zijn inwoners zijn voor klimaatverandering.

Nederland zal naar verwachting in 2050 meer *inwoners* tellen. Inschattingen lopen uiteen van ruim 18 tot mogelijk bijna 21 miljoen (zie ook bijlage 2). Van deze mensen zal een groter deel ouder zijn, en daarmee kwetsbaarder. Ouderen zijn bijvoorbeeld gevoeliger voor hittestress, of minder mobiel, wat een grote beperking kan zijn wanneer er een evacuatie nodig is in geval van een naderende overstroming of natuurbrand. Ook zal naar verwachting een groter deel van de inwoners in de stad wonen, waar de temperaturen tijdens hittegolven hoger oplopen dan in de omringende omgeving (het zogeheten hitte-eiland).
Ook door toegenomen bebouwing zal de mogelijke schade door extreem weer groter worden. Voor 2050 moeten volgens de Nota Ruimte 1,65 miljoen nieuwe woningen (VRO 2025) bijgebouwd worden, dat is 20 procent boven op de huidige 8 miljoen. Dat vraagt ook om bijvoorbeeld meer scholen en ziekenhuizen, en om meer wegen en spoorlijnen om de toegenomen hoeveelheid mensen en goederen te vervoeren. De mogelijke gevolgen door extreem weer wordt door deze ontwikkelingen groter
Alle inwoners van Nederland zullen toegang nodig hebben tot voldoende drinkwater, energie, internet en voedsel. Met name de vraag naar elektriciteit zal sterk toenemen, niet alleen vanwege de groei van de bevolking, maar ook vanwege elektrificatie in eigenlijk alle delen van de samenleving, en vanwege de toename in elektrisch transport en van dataverkeer. Alle vitale functies zijn sterk afhankelijk van elkaar: geen schoon drinkwater, internet en mobiliteit zonder energie, en vice versa. Deze verwevenheid maakt de samenleving extra kwetsbaar voor zogenoemde keteneffecten. Een enkele piekbui kan er bijvoorbeeld toe leiden dat een regionaal riviertje overstroomt, met als mogelijk gevolg een ondergelopen onderstation, waardoor de stroom kan uitvallen, en drinkwaterputten verontreinigd worden.

Wat Nederlanders in de toekomst zullen eten en wat voor voedsel er in Nederland geproduceerd zal worden, is naar verwachting ook anders dan nu. Maar hoe dit precies zal uitpakken, is zeer onzeker (PBL 2025b). De landbouw zal mogelijk (in beperkte mate) nieuwe teelten omvatten en nieuwe bedrijfssystemen ontwikkelen, vanwege milieu-, natuur-, klimaat- en waterkwaliteitsregels. Daarin spelen ook andere ontwikkelingen een rol, zoals het vernatten van veengebieden, de verzilting van delen van West- en Noord-Nederland, en nieuwe technische/institutionele innovaties zoals gentechnologie.

3 Aanpak verkenning klimaatrisico's

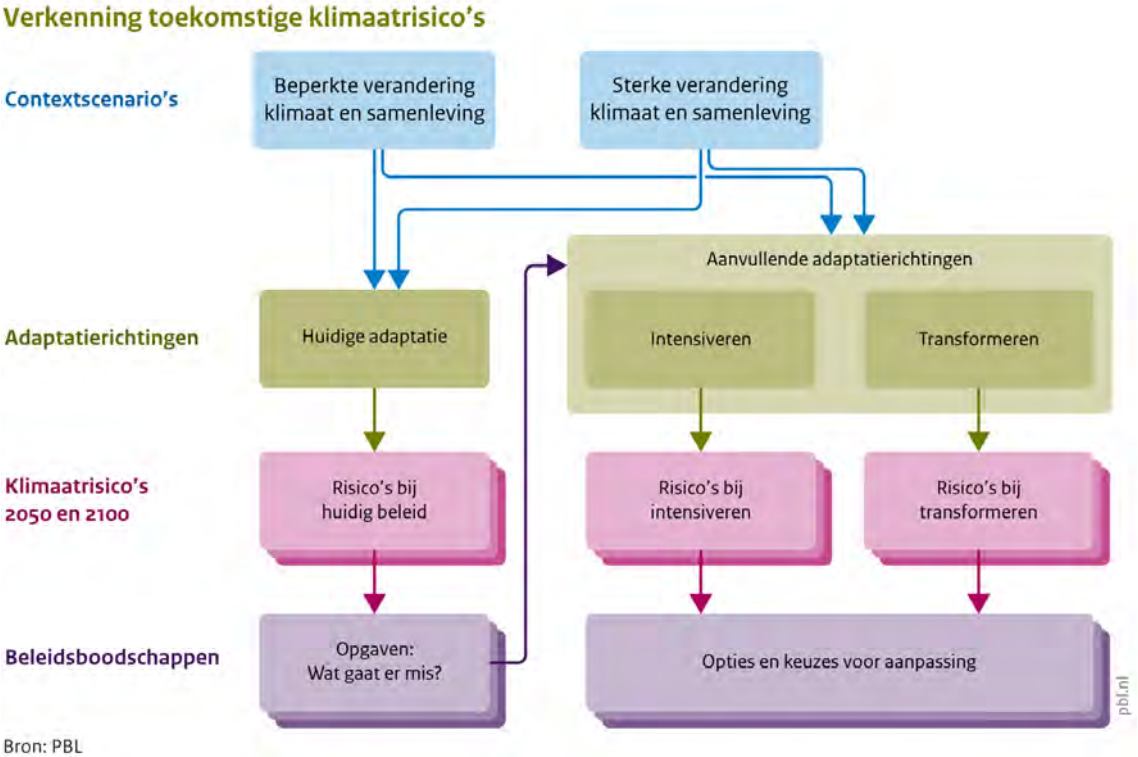
3.1 Aanpak op hoofdlijnen

Verkenning toekomstige klimaatrisico's door middel van een scenariostudie

Voor deze verkenning naar toekomstige klimaatrisico's en naar beleidsopties om met deze risico's om te gaan, hebben we een scenariostudie uitgevoerd. Deze scenariostudie bestaat uit twee zogenoemde contextscenario's en twee adaptatierichtingen. In de contextscenario's zijn klimaatscenario's gecombineerd met scenario's op het gebied van demografie en economie. De adaptatierichtingen zijn 'intensiveren' en 'transformeren', waarmee we verschillende beleidsopties verkennen. Onze verkenning is gericht op de zichtjaren 2050 en waar mogelijk 2100.
In dit hoofdstuk gaan we we nader in op de scenario's en de analyse, en de keuzes die we daarbij hebben gemaakt. In deel II wordt aanvullend toegelicht hoe de kennisinstellingen hun risico-inschattingen per sector hebben gemaakt.

In figuur 3.1 is schematisch in beeld gebracht welke analysestappen in deze verkenning zijn uitgevoerd, en hoe we daarbij de context- en adaptatierichtingen hebben gebruikt. Zie voor meer details het PBL-rapport waarin de methode voor het onderzoeken van huidige en toekomstige klimaatrisico's is beschreven (PBL 2023b).

Figuur 3.1
Analysestappen in de scenario-studie voor de verkenning van toekomstige klimaatrisico's



Bron: PBL

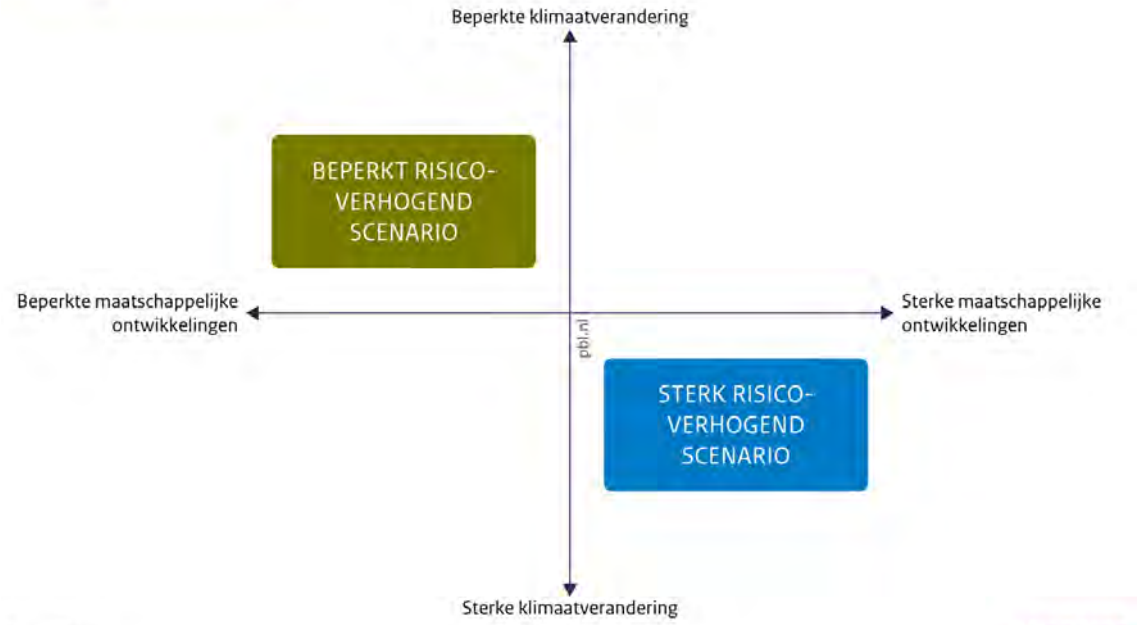
3.1.1 De contextscenario's

Om de toekomstige klimaatrisico's te verkennen, schetsen we eerst hoe het klimaat en de Nederlandse samenleving zich zouden kunnen ontwikkelen op de lange termijn, los van huidig adaptatiebeleid en -maatregelen. Hiervoor hebben we twee contextscenario's ontwikkeld (zie figuur 3.1), die elk bestaan uit een palet aan ontwikkelingen op het gebied van klimaat, demografie, economie en maatschappij die van invloed zijn op de toekomstige klimaatrisico's.

Scenario's met beperkte en met sterke klimaat- en sociaaleconomische veranderingen

Vanwege de onzekerheden met betrekking tot toekomstig Nederland schetsen we twee contextscenario's, waarvan de één is gebaseerd op een 'bovengrens' en de ander op een 'ondergrens' van de klimaatrisico's in toekomstig Nederland (figuur 3.2). Deze geven de mogelijkheid om de hele bandbreedte te verkennen van toekomstige klimaatrisico's. Het gaat om een sterk risicoverhogend scenario met sterke klimaatverandering en sterke demografische en economische groei (bovengrens), en een beperkt risicoverhogend scenario met daarin beperkte klimaatverandering en beprkte demografische en economische groei (ondergrens). Zie kader 3.1 en bijlage 2 voor een verdere uitwerking van de contextscenario's.

Figuur 3.2
Invulling contextscenario's



Bron: PBL

Concept

De twee contextscenario's kunnen worden gebruikt om de effectiviteit van het huidige adaptatiebeleid en dat van de adaptatierichtingen te toetsen. Zo geeft de combinatie van de contextscenario's met het scenario met huidige beleid een beeld van de bandbreedte van de adaptatieopgave voor beleid van een bepaald klimaatrisico in de toekomstige situatie.

Zichtjaren 2050 en 2100

In onze verkenning gaan we uit van de zichtjaren 2050 en 2100. De contextscenario's bevatten voor de situatie in 2050 zowel klimaatverandering als ook socio-economische ontwikkelingen. Voor de situatie in 2100 zijn de contextscenario's alleen uitgewerkt voor klimaatgerelateerde ontwikkelingen, omdat aannames over demografische, economische en maatschaplijke ontwikkelingen zeer

onzeker zijn. Een groot verschil tussen de twee contextscenario's is dat klimaatverandering bij het 'sterk risicoverhogend scenario' blijft doorgaan na 2050, terwijl er bij het 'beperkt risicoverhogend scenario' veelal sprake is van een stabilisatie tussen 2050 en 2100. In deze studie is ervoor gekozen voor de klimaatverandering gebruik te maken van de KNMI-scenario's (KNMI 2023a), en zogenaamde 'wildcards' niet op te nemen in de contextscenario's. Van twee klimaatgerelateerde wildcards (zie hoofdstuk 2) worden apart op hoofdlijnen de gevolgen ingeschat.

3.1.2 Adaptatierichtingen

Voortzetting van het huidig beleid

In de volgende stap in de scenariostudie zijn de contextscenario's gecombineerd met verschillende manieren van adaptatie (figuur 3.2 groene blokken). Hierbij kijken we eerst naar de adaptatie op dit moment: 'het huidig beleid'. Dit geeft een indruk van de toekomstige klimaatrisico's zonder extra beleidsinspanningen. Hierdoor wordt ook duidelijk wat de beleidsopgave is: wat gaat er 'mis' zonder aanvullend adaptatiebeleid en maatregelen (zie figuur 3.1, oranje blok).

Extra beleid: intensiveren en transformeren

Daarnaast analyseren we de klimaatrisico's bij twee verschillende, aanvullende adaptatierichtingen, met een verschillende invulling van aanvullend adaptatiebeleid en -maatregelen.
Bij 'transformeren' ligt de focus op de inrichting van de ruimte, waarbij het doel is om te komen tot robuuste systemen, bij 'intensiveren' is de focus vooral gericht is op technische maatregelen, waarbij we dezelfde dingen blijven doen op dezelfde locaties.
Een uitgebreidere toelichting op het adaptatiebeleid en de maatregelen bij 'intensiveren' en 'transformeren' staat in hoofdstuk 5 en is per sector gedetailleerd uitgewerkt in bijlage 3.

3.2 Analyse: invulling contextscenario's

Klimatologische ontwikkelingen op basis van KNMI-klimaatscenario's

De klimatologische ontwikkelingen zijn gebaseerd op de KNMI'23-klimaatscenario's (KNMI 2023a). Deze klimaatscenario's zijn de meest recente verkenningen met betrekking tot het toekomstige klimaat in Nederland in 2050 en 2100. Ze zijn afgeleid van wereldwijde klimaatprojecties van het IPCC. De KNMI'23-klimaatscenario's geven ook een indicatie voor de mogelijke zeespiegelstijging in 2150.

De mate waarin het Nederlandse klimaat zal veranderen, hangt af van de hoeveelheid broeikasgassen die nog zal worden uitgestoten en de gevoeligheid van het klimaatsysteem als reactie hierop (zie hoofdstuk 2). De KNMI'23-klimaatscenario's tellen vier klimaatscenario's, opgespannen langs de assen 'mondiale hoogte van broeikasgasemissies', en de 'mate van droge zomers/natte winters'.

In onze klimaatrisicoanalyse staan twee van de vier KNMI-klimaatscenario's centraal: het sterk risicoverhogend scenario omvat het KNMI-scenario 'Hoge uitstoot droog' (Hd), en het beperkt risicoverhogend scenario omvat 'Lage uitstoot nat' (Ln) (zie figuur 2.1). Daarmee gebruiken we de grootste bandbreedte voor risico's die te maken hebben met droogte en watertekort. In enkele gevallen wordt in het sterk risicoverhogend scenario ook verwezen naar het 'Hoge uitstoot nat (Hn)'-scenario, met name als het gaat om klimaatrisico's die gerelateerd zijn aan natte omstandigheden, zoals wateroverlast en waterveiligheid.

Tekstkader 3.1 Intermezzo: hoe zijn de gekozen klimaatscenario's te duiden?
Scenario's beschrijven nooit de werkelijkheid, maar zijn bedoeld om aan te geven wat er in de toekomst mogelijk kan gaan gebeuren, uitgaande van bepaalde kennis en aannames. In deze studie zijn de klimaatscenario's voor Nederland gebaseerd op de uitersten van de mogelijke wereldwijde klimaatverandering op basis van modellen en kennis (onder andere over uitstoot van broeikasgassen en klimaatgevoeligheid: de mate waarin het klimaat reageert op een toename van de concentratie van broeikasgassen.). Ze spannen een bereik op waarvan de verwachting is dat klimaatverandering zich daarbinnen waarschijnlijk zal voltrekken. Deze informatie dient als basis voor deze verkenning van toekomstige klimaatrisico's.

Het sterk risicoverhogend scenario heeft als basis de klimaatverandering zoals die komt uit het hoge-emissiesscenario van het KNMI. Eenzelfde sterke klimaatverandering zou ook mogelijk zijn bij een wat lagere uitstoot maar met een hogere klimaatgevoeligheid dan dat tot nu toe verwacht wordt. Het beperkt risicoverhogend scenario sluit aan bij de KNMI-scenario's die uitgaan van een verlaging van de uitstoot van broeikasgassen, wat min of meer in lijn is met het klimaatakkoord van Parijs (streven naar niet meer dan 1,5°C opwarming ten opzichte van pre-industrieel).

Volgens een recent rapport van de Verenigde Naties (UNEP 2025) zal de aarde naar verwachting tot eind van deze eeuw 2,3 tot 2,6°C opwarmen, op basis van huidige beloftes van beperkingen van emissies van broeikasgassen. Wat van deze beloftes gerealiseerd wordt blijft onzeker, net als de klimaatgevoeligheid. Bovendien kunnen feedbackmechanismen en overschrijdingen van kritieke drempels (zogenoemde kantelpunten) zorgen voor een snellere en grotere temperatuurstijging, ook bij lagere broeikasgasemissies. Ook zijn er aanvullende processen die bijdragen aan een versnelling van klimaatverandering, zoals een verlaagde CO_2-opname van bossen (bijvoorbeeld door meer droogte (Knutzen et al. 2025, Migliavacca et al. 2025)) en meer CO_2-uitstoot door meer natuurbranden (Van der Werf et al. 2025).

Secundaire effecten op het watersysteem op basis van de Deltascenario's
Een aantal variabelen, zoals water- en bodemtemperatuur, grondwaterpeil, en groeiseizoen die nodig zijn voor het bepalen van de klimaatrisico's van de sectoren, zijn beperkt beschikbaar vanuit de KNMI-klimaatscenario's. Deze informatie kan wel worden afgeleid uit de primaire klimaatvariabelen. Zo maken we voor (extreem hoge of lage) rivierafvoeren gebruik van de Deltascenario's (Deltares 2024). In deze Deltascenario's wordt een doorvertaling gemaakt van de KNMI-klimaatscenario's naar onder andere secundaire klimaateffecten op het watersysteem. Zie bijlage 2 voor verdere uitwerking.

Bandbreedte van sociaal-economische ontwikkelingen in contextscenario 'beperkt risicoverhogend'
In het contextscenario 'beperkt risicoverhogend' is de verwachting dat de bevolking in eerste instantie groeit tot 2040 maar daarna zal dalen tot 18,3 miljoen mensen in 2050. Hiermee is het aantal inwoners vergelijkbaar met dat van nu (PBL 2025a). Het aandeel ouderen neemt wel sterk toe (66+'ers van 19 procent naar 23 procent in 2050). Hierbij blijft het aantal huishoudens vergelijkbaar met huidige situatie. De economische groei is in de periode tot 2050 gematigd: gemiddeld 0,5 procent per jaar, wat in 2050 neerkomt op een totale groei van 16 procent ten opzichte van de economie van 2021. De verwachte groei is relatief laag door onder meer een beperkte innovatie, waardoor er minder mensen in Nederland komen werken.

Ondanks de aanvankelijke bevolkingsgroei zal de vraag naar energie dalen omdat de

energietransitie gepaard gaat met energiebesparende maatregelen. Er zullen ook andere maatregelen worden genomen om zoveel mogelijk te voldoen aan klimaatneutraliteit. Het energiesysteem zal bestaan uit meerdere bronnen en de daarbij horende infrastructuur: elektriciteit uit voornamelijk hernieuwbare bronnen (zon, wind, water), waterstof, kernenergie, opslag, enzovoort. Fossiele energie verdwijnt bijna geheel.
Terwijl de vraag naar energie daalt zal de vraag naar elektriciteit sterk toenemen, vanwege elektrificatie in eigenlijk alle sectoren van de samenleving, en door een toename in elektrische mobiliteit en van het dataverkeer. Alleen de binnenvaart krijgt naar verwachting te maken met een lagere vraag doordat er veel minder fossiele energie (met name kolen) getransporteerd hoeft te worden. Infrastructuur voor energie raakt steeds meer verweven met andere infrastructuren zoals de digitale infrastructuur.

Bandbreedte van sociaal-economische ontwikkelingen in contextscenario 'sterk risicoverhogend'

In het contextscenario 'sterk risicoverhogend' nemen de ontwikkelingen sterk toe. De bevolking groeit tot bijna 21 miljoen mensen in 2050, mede door migratie naar Nederland (PBL 2025a). Ook de economie blijft substantieel groeien. In de periode tot 2050 wordt uitgegaan van een jaarlijkse groei van 2,1 procent per jaar, wat dan in 2050 neerkomt op een totale groei van 87 procent ten opzichte van 2021. Naar verwachting woont een groter deel van de inwoners (van 33 naar 36 procent) dan in de stad, en is er meer vervoer van mens en goederen. De omvang van de binnenvaart zal in dit scenario stijgen. Minder vervoer van fossiele energiedragers wordt gecompenseerd door een grotere materiaalbehoefte voor een grotere populatie (zoals meer zand en steen voor woningbouw).

Het energiesysteem zal in het sterk risicoverhogend-scenario bestaan uit vele bronnen en bijbehorende infrastructuur: elektriciteit uit voornamelijk hernieuwbare bronnen (zon, wind, water), waterstof, kernenergie, en opslag, zal ook in dit scenario sterk in belang toenemen, maar minder vanwege de beperkte focus op klimaatmitigatie (uitstoof broeikasgassen). Fossiele energiesysteem zoals gas, kolen en olie blijven in dit scenario een rol spelen (maar wel beperkter dan nu).

Toepassing van context- en adaptatiescenario's per sector

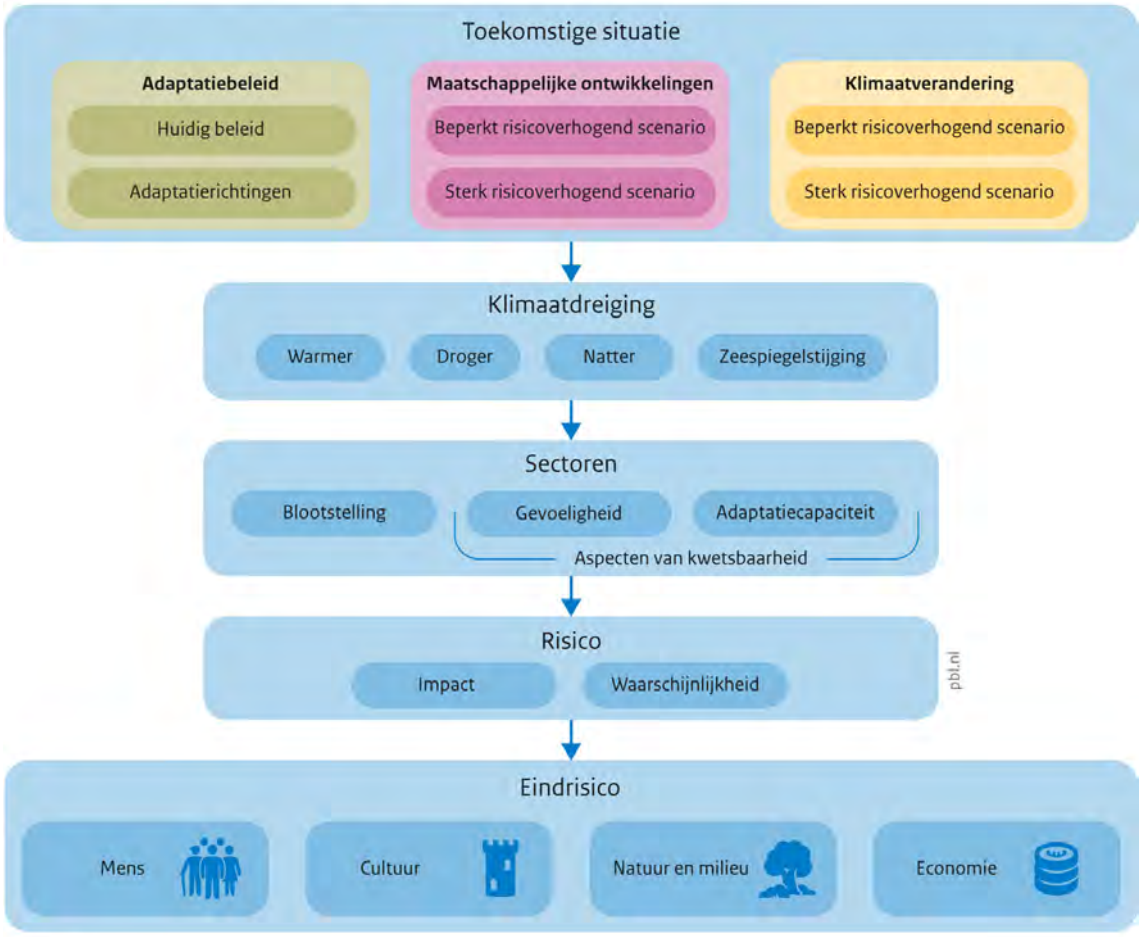
De betrokken kennisinstellingen hebben, gecoördineerd door het PBL, de klimaatrisico's uitgewerkt per sector. Dit is gedaan door de twee toekomstige Nederlanden in de twee contextscenario's (figuur 3.1 blauwe blokken) te combineren met de twee verschillende adaptatierichtingen (groene blokken). Deze analyse van de effecten van de twee adaptatierichtingen op de klimaatrisico's geeft een beeld van wat aanvullende adaptatieopties kunnen opleveren, afhankelijk van specifieke omstandigheden en activiteiten binnen een sector.

3.3 Methode analyse klimaatrisico's

De klimaatrisico's voor de sectoren zijn geanalyseerd door de betrokken kennisinstellingen. Zij hebben gewerkt onder coördinatie van het PBL en volgens een gestructureerde onderzoeksmethode (zie figuur 3.3). Het PBL heeft deze methode voor de analyse van huidige en toekomstige klimaatrisico's in Nederland eerder gepubliceerd in een apart methoderapport (PBL 2023b). Deze methode voor klimaatrisicoanalyse is gebaseerd op internationale richtlijnen (ISO 2021) en vergelijkbare analyses in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk (Betts et al. 2021; Kahlenborn et al. 2021).

Figuur 3.3

Methode voor de Nederlandse klimaatrisicoanalyse



Bron: PBL

Methode bepaling klimaatrisico's in stappen

Om de toekomstige klimaatrisico's te kunnen bepalen, zijn verschillende stappen doorlopen (zie figuur 3.3). De potentiële klimaatveranderingen 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. Door verschillende onderdelen van een klimaatrisico te analyseren (klimaatdreiging, blootstelling, gevoeligheid en adaptatiecapaciteit), zijn de toekomstige klimaatrisico's (met een impact en een waarschijnlijkheid van voorkomen) in kaart gebracht.

Klimaatrisico's: grootte, waarschijnlijkheid en impact

De grootte van klimaatrisico's (zowel de huidige als toekomstige) wordt uitgedrukt door de waarschijnlijkheid (kans op voorkomen) van het risico te vermenigvuldigen met de omvang van de impact (*risico = kans x impact*). Voor waarschijnlijkheid wordt gekeken naar de kans op optreden per xx jaar (zie tabel 3.1). In de klasse-indeling voor de impact is onderscheid gemaakt tussen de domeinen mens, cultuur, natuur en milieu en economie (zie tabel 3.2).

Tabel 3.1
Gebruikte klasse-indeling kans op voorkomen van een klimaatrisico

Klasse-indeling kans op voorkomen van een klimaatrisico
Jaarlijks
Eens per 1-10 jaar
Eens per 10-100 jaar
Eens per 100-1000 jaar
Minder dan eens per 1000 jaar

Tabel 3.2
Gebruikte klasse-indeling grootte van de impact van een klimaatrisico

Impact	Economie	Mens	Natuur en waterkwaliteit	Cultureel erfgoed
Groot	Meer dan 1 miljard euro	Meer dan 100.000 getroffen mensen, 100 ernstig gewonden/doden	Nationale en/of onomkeerbare schade	Nationale en/of onomkeerbare schade
Midden	0,1 - 1 miljard euro	10.000 – 100.000 getroffen mensen, 10 – 100 ernstig gewonden/doden	Regionale en/of moeilijk omkeerbare schade	Regionale en/of moeilijk omkeerbare schade
Klein	Minder dan 0,1 miljard euro	< 10.000 getroffen mensen, 0 – 10 ernstig gewonden/doden	Lokale en/of omkeerbare schade	Lokale en/of omkeerbare schade

Voor de analyse van toekomstige klimaatrisico's worden dezelfde klasse-indelingen gebruikt voor waarschijnlijkheid en impact als we hebben gebruikt in het rapport over huidige klimaatrisico's (PBL 2024a) (zie tabel 3.1 en 3.2). Dit maakt het mogelijk om te vergelijken of de kans op optreden en/of omvang van de impact verschilt tussen de huidige en toekomstige situatie, en tussen de verschillende context- en adaptatierichtingen. Risico-inschattingen worden gemaakt voor de zichtjaren 2050, en waar mogelijk en relevant voor 2100, bijvoorbeeld voor klimaatdreigingen zoals zeespiegelstijging die op langere termijn van belang worden.

Risico-inschattingen per sector

In samenwerking tussen de kennisinstellingen en het PBL zijn klimaatrisico's die van belang zijn voor elke sector ingedeeld volgens hun impact op mens en cultuur, natuur en milieu, en economie. Daarbij is een inschatting gemaakt van de grootte van de klimaatrisico's (impact en waarschijnlijkheid). Deze inschattingen van klimaatrisico's zijn veelal gedaan op basis van expert-judgement, en in enkele gevallen op basis van modelresultaten. Risico-inschattingen zijn gemaakt voor het huidig beleid en voor de twee adaptatierichtingen (figuur 3.1 paarse blokken). De bijdragen van de kennisinstellingen zijn vastgelegd in achtergrondrapporten (zie bijlage 1).

4 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig adaptatiebeleid

In dit hoofdstuk beschrijven we in grote lijnen hoe het huidige adaptatiebeleid er uitziet, en wat in hoofdlijnen de klimaatrisico's zijn die bij voortzetting van het huidige beleid in 2050 verwacht kunnen worden. Voor de specifieke invullingen van de sectorale analyses door de diverse kennisinstellingen: zie deel II met invulling en resultaten per sector, en de achtergrondrapporten die zijn gemaakt door de meewerkende kennisinstellingen (bijlage 1).

4.1 Huidig adaptatiebeleid

In deze paragraaf gaan we in op het huidig adaptatiebeleid. De focus ligt daarbij op het nationale beleid, maar waar relevant is ook gekeken naar regionale en lokale overheden en naar maatregelen van de sectoren. 'Adaptatiebeleid' is daarbij niet alleen het beleid dat expliciet bedoeld is als aanpassing aan klimaatverandering, zoals de Nationale Klimaatadaptatie Strategie (NAS), maar ook ander beleid dat impact heeft op klimaatrisico's, zoals het waterveiligheidsbeleid.

'Huidig beleid' is alleen vastgesteld beleid en maatregelen

In de analyse van toekomstige klimaatrisico's bij het huidige beleid is alleen adaptatiebeleid meegenomen dat vastgesteld, gefinancierd en geïnstrumenteerd is. We hebben dus niet gekeken naar de effecten van voornemens voor de toekomstige invulling van de NAS of andere beleidstrajecten, zoals beschreven in de Ontwerp Nota Ruimte (maar zie wel tekstkader 5.3 over de Ontwerp Nota Ruimte). In deze stukken wordt weliswaar aangegeven hoe de lijnen van toekomstige uitvoering er uitzien, maar zij bevatten geen concreet, vastgesteld beleid.

Maatregelen komen - niet alleen voort uit beleid, maar kunnen ook worden genomen in de sectoren zelf, denk aan vrijwillige extensiveringsmaatregelen door de landbouw, of maatregelen door de drinkwaterbedrijven in samenwerking met overheden ten behoeve van de leveringszekerheid van drinkwater. Dit type maatregelen is meegenomen als huidig beleid als ze voldoende 'hard' zijn, via afspraken of verplichtingen, breed worden toegepast en een significant effect kunnen hebben op de klimaatrisico's.

Hoofdlijnen klimaatadaptatiebeleid: Green Deal, NAS en Deltaprogramma

Het doel van het huidige klimaatadaptatiebeleid is dat Nederland in 2050 waterrobuust en klimaatbestendig is ingericht (Deltaprogramma 2025a). Ook in Europees verband is er aandacht voor klimaatadaptatie. Om het doel 'De EU moet in 2050 volledig in staat zijn zich aan te passen aan de effecten van de klimaatverandering' te bereiken is, in het kader van de Europese Green Deal, in 2021 een nieuwe klimaatadaptatiestrategie ontwikkeld (EC 2021).

De Nederlandse uitwerking van deze Europese ambitie vindt plaats in de Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS) en het Deltaprogramma (DP). De NAS is op meer sectoren gericht dan het Deltaprogramma. Bij het DP gaat het om waterveiligheid, zoetwatervoorziening en ruimtelijke adaptatie (Deltaprogramma 2025a). Bij de NAS ook om sectoren als gezondheid, de gebouwde omgeving, cultureel erfgoed en vitale sectoren zoals energie, ICT, infrastructuur, drinkwater, cultureel erfgoed, landbouw, natuur (en natuurbranden) en waterkwaliteit. Het DP is een nationaal programma,

waaraan gemeenten, waterschappen, provincies en het Rijk deelnemen. De NAS is ook een nationaal programma waarin 7 ministeries samenwerken.

Met de NAS en het bijbehorende Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUPKA) (IenW 2023a) wordt de komende jaren gewerkt aan vijftien inhoudelijke opgaven op het gebied van water, landbouw, natuur en milieu, mens en cultuur, en wonen en werken. In het NUPKA is aandacht voor versnelling van de uitvoering en het legt een basis voor de coördinatie van klimaatadaptatiebeleid en verheldering van de verantwoordelijkheden. Ook wordt aandacht gevraagd om de sociale gevolgen van klimaatadaptatie in beeld te brengen. Het NUPKA speelt in deze analyse geen rol in het bepalen van de toekomstige klimaatrisico's; in het traject van herziening en verdere uitwerking van de NAS zullen de uitgangspunten in het NUPKA vertaald worden in concreet beleid en maatregelen.

In bijlage 3 wordt per sector/onderwerp beschreven wat het belangrijkste beleid en de belangrijkste maatregelen zijn, die zijn meegenomen bij het bepalen van de toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid. Het huidige adaptatiebeleid wordt ook beschreven in het PBL-rapport over de huidige klimaatrisico's (PBL 2024a).

4.2 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

In deze paragraaf worden de belangrijkste gevolgen beschreven waar Nederland mee te maken gaat krijgen als het ervoor kiest om geen extra adaptatiemaatregelen te nemen (ten opzichte van wat er nu al geimplementeerd is en waar nu al aan gewerkt wordt (zie ook bijlage 3)). In welke mate komen dan belangrijke basiswaarden zoals de veiligheid en gezondheid van de inwoners in het geding? Wat blijft er behouden aan natuur en cultureel erfgoed? Wat zal het betekenen voor het dagelijks leven en basisbehoeften zoals de levering van drinkwater, energie en internet? En hoe raakt dit economische sectoren zoals de landbouw?

Zonder extra adaptatiebeleid en maatregelen veel gevolgen voor de maatschappij

Zonder extra adaptatiebeleid en maatregelen zal in de toekomst de maatschappij op veel onderdelen extra geraakt worden door klimaatverandering. Zo zal het klimaat effect hebben op veiligheid en gezondheid, op het dagelijks leven van mensen, op aspecten rond water, op behoud van natuur en erfgoed, en op economische sectoren. In de paragrafen hieronder wordt dat verder toegelicht.

Belangrijkste toekomstige klimaatrisico's: risico's rond droogte, hitte en wateroverlast

Op basis van de te verwachten klimaatrisico's zijn, zonder aanvullende adaptatie, vooral de volgende gevolgen groot:

- Vaker en grotere gevolgen van **temperatuurstijging en hitte** voor de inwoners van Nederland, met gevolgen voor gezondheid, voor het gebruik van de leef- en woonomgeving, voor het dagelijks leven, en voor de economie, onder andere door verminderde arbeidsproductiviteit. Deze risico's kunnen veel mensen raken, want hitte komt vaak voor en mens en economie zijn hiervoor gevoelig. Zie verder paragraaf 4.2.1.
- De gevolgen van **droogte** voor de beschikbaarheid van water en daarmee de waterverdeling voor veel sectoren, zoals de landbouw. Deze risico's kunnen tot onomkeerbare schade leiden bij natuur en cultureel erfgoed, en kunnen gevolgen hebben voor de economische en maatschappelijke ontwikkeling, zie paragraaf 4.2.2.

- Wateroverlast door **extreme neerslag** kan overal voorkomen en tot overlast leiden en in sommige gebieden ook tot regionale overstromingen, met mogelijk grote schade en maatschappelijke verstoring, zie paragraaf 4.2.3.

De potentiële impact (schade en slachtoffers) van een overstroming vanuit zee, grote rivieren en meren is groot. Maar door de strenge normen voor de hoofdwaterkeringen, gebaseerd op een risicobenadering, is de kans op een dergelijke overstroming zeer klein (PBL 2024a), Vanuit dat perspectief valt dit niet onder de belangrijkste toekomstige risico's.

Naast klimaatrisico's voor afzonderlijke sectoren zijn ook complexe risico's van belang: risico's die elkaar versterken of stapelen en een nieuw risico kunnen vormen. In paragraaf 4.2.4 wordt hier verder op ingegaan.

4.2.1 Temperatuurstijging en hitte

Temperatuurstijging en hitte hebben grote gevolgen voor de gezondheid van mensen, voor het behoud van cultureel erfgoed, voor de staat van de natuur en voor het welzijn van vee (zie ook figuur 4.1). Hittegolven nemen duidelijk in aantal, duur en intensiteit toe (zie hoofdstuk 2). Niet alleen komen de heetste dagen frequenter voor, ook blijven nachten warmer, waardoor woningen minder kunnen afkoelen en slaapkwaliteit en herstel onder druk komen te staan. In warme jaren zullen tropische nachten (≥ 20°C) vaker voorkomen, met middernachttemperaturen die in ongunstige jaren richting 25°C kunnen gaan. Regionale verschillen nemen toe: in het (zuid)oosten van Nederland komen meer tropische dagen voor dan in de kust- en noordelijke regio's. In steden zorgt het stedelijk hitte-eilandeffect ervoor dat het gemiddeld 2-3°C warmer is dan in omliggend land, met 's nachts grotere verschillen (zie tekstkader 4.1). Dat vertaalt zich naar minder nachtelijke afkoeling, meer slaaptekort en toenemende druk op wooncomfort en arbeidsomstandigheden.

Tekstkader 4.1 Stedelijk hitte-eiland

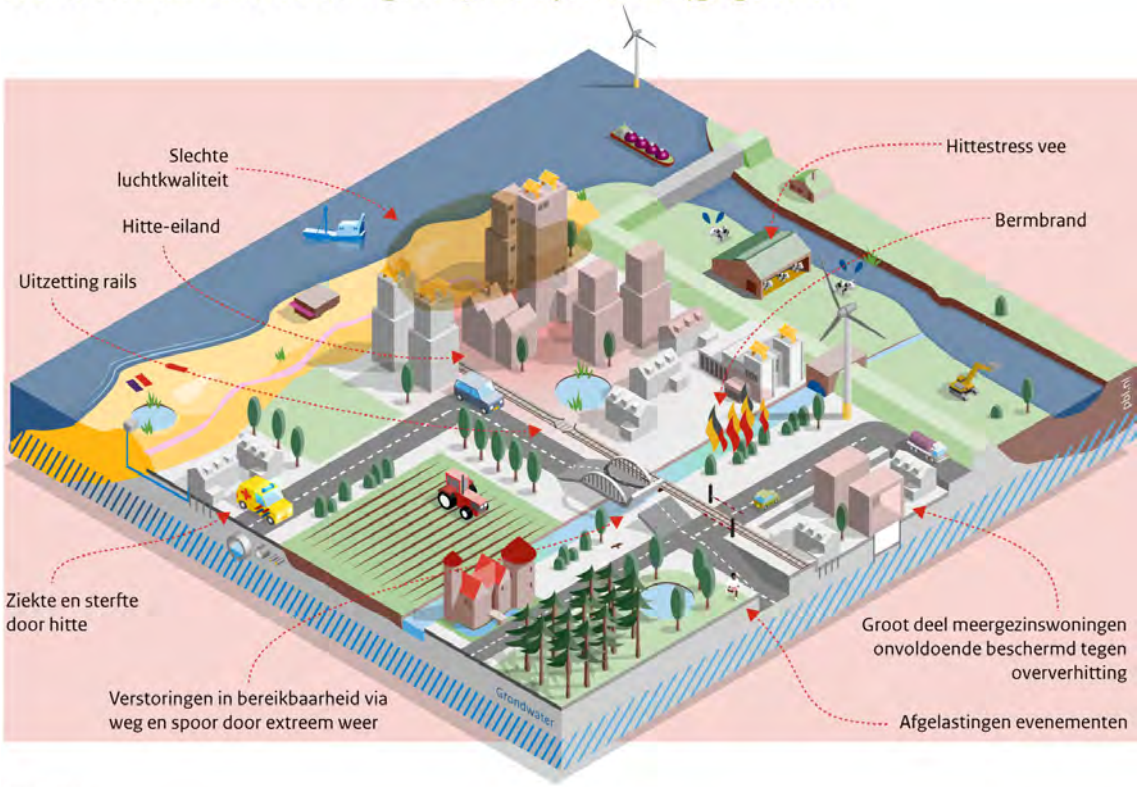
Gebouwen en asfalt in de stad nemen overdag warmte op. Door hoge bebouwing staat er in de stad weinig wind en er is weinig begroeiing die voor verkoeling kan zorgen. Als gevolg daarvan is de stad zowel overdag als 's nachts over het algemeen warmer dan de omgeving: het hitte-eilandeffect. In Nederland is het verschil tussen (vrij sterk) stedelijk gebied en de omgeving gemiddeld over het zomerseizoen ongeveer 2-3°C, op hete zomerdagen kan het verschil beduidend verder oplopen (Atlas Natuurlijk Kapitaal z.d.).
In de zomer heeft het stedelijk hitte-eilandeffect vooral 's nachts invloed op de gezondheid van mensen. Het is dan zo warm dat mensen niet van de hitte van overdag kunnen herstellen.

Zonder extra maatregelen jaarlijks tot duizenden extra sterfgevallen door hogere temperaturen

Temperatuurstijging door klimaatverandering heeft een groot effect op de gezondheid van mensen. Het veroorzaakt gezondheidsklachten, vooral bij ouderen, mensen met een chronische aandoening, zwangeren en (heel) jonge kinderen, met mogelijk extra sterfte – zogenoemde warmtegerelateerde sterfte – tot gevolg. Tijdens de hittegolf van juli 2019, met recordtemperaturen rond de 40°C, overleden in één week 400 mensen meer dan gebruikelijk.

Figuur 4.1

Effecten van klimaatverandering in 2050: temperatuurstijging en hitte



Bron: PBL

Ook in 2020 werd tijdens een dertien dagen durende hitteperiode, met een maximum van bijna 35°C, 9 procent meer sterfgevallen geregistreerd, dit betekende bijna 100 extra overlijdens (RIVM 2024b). Naar verwachting zullen dergelijke omstandigheden vaker voorkomen en langer aanhouden, met in 2050 zonder extra maatregelen bij beperkte klimaatverandering circa 2.300 mensen per jaar die eerder overlijden. Bij sterke klimaatverandering is dat naar verwachting ongeveer 3.700 mensen (RIVM 2026) (zie hoofdstuk 7). Die stijging komt deels (~30 procent) door de verwachte bevolkingsgroei in Nederland, en het grotere aandeel oudere mensen. Naast sterfte veroorzaken hogere temperaturen ook andere gezondheidsklachten, van lichte symptomen zoals hoofdpijn en vermoeidheid, met effect op de arbeidsproductiviteit, tot ernstige gevallen, met opname in het ziekenhuis tot gevolg (RIVM 2024a).

Stapeling van gezondheidsrisico's: door hogere temperaturen ook meer effecten van luchtverontreiniging, infectieziekten en allergieën op de gezondheid

Tijdens perioden met hitte en droogte is er vaak meer ozon en fijnstof in de lucht, met als resultaat zomersmog: extra luchtvervuiling op zomerse dagen met weinig wind. Luchtverontreiniging kan een rol spelen in het ontstaan van onder andere hart- en vaatziekten en luchtwegklachten. Verder stijgt door klimaatverandering ook de kans op infectieziekten: door hogere temperaturen en veranderingen in neerslag worden de omstandigheden gunstiger voor ziekteverwekkers zoals vibrio, legionella, campylobacter, salmonella en dragers van ziekteverwekkers, zoals teken (lyme) en muggen (westnijl, dengue). Klimaatverandering leidt ook tot een toename van allergieën. Dit geldt vooral voor hooikoorts: door hogere temperaturen en meer CO_2 in de lucht wordt het pollenseizoen langer en produceren planten en bomen meer pollen die ook meer allergeen zijn, waardoor de klachten toenemen. Met uitzondering van temperatuurgerelateerde sterfte (zie de vorige paragraaf), zijn de effecten van klimaatverandering op gezondheid nog niet te kwantificeren.

Toename huidkanker door meer zonuren

De hoeveelheid zonlicht neemt naar verwachting tot in 2050 toe. Dit komt deels door klimaatverandering (minder wolken), deels door andere factoren (beleid om luchtkwaliteit te verbeteren). Er zijn maatregelen genomen om de uitstoot van chemische stoffen te verminderen die de ozonlaag afbreken, maar klimaatverandering vertraagt het herstel van de ozonlaag. Deze ontwikkelingen kunnen negatieve effecten op de gezondheid hebben, met name meer huidkanker (RIVM 2026).

Aantal woningen met kans op oververhitting neemt toe

Ongeveer de helft van de woningen ligt nu al in gebieden met een stedelijk zomergemiddeld hitte-eilandeffect van meer dan 1°C verschil tussen stad en omgeving, waardoor hittegolven juist daar zwaarder drukken. Van de Nederlandse meergezinswoningen zoals appartementen is 35 procent onvoldoende beschermd tegen oververhitting. Met het huidige beleid kan dit aandeel bij sterke klimaatverandering in 2050 toenemen tot 62 procent (TNO 2026a).

Hittestress heeft gevolgen voor dierenwelzijn en productie in de veeteelt

In het scenario met sterke klimaatverandering zal de periode dat vee wordt blootgesteld aan hittestress flink toenemen. Rond 2100 zal naar verwachting vee ongeveer een derde van het jaar worden geconfronteerd met hittestress. De effecten op dierenwelzijn, productie en sterfteaantallen zijn groot, met een 3 tot 12 procent lagere opbrengst van zuivelproductie, en vergelijkbaar lagere groei van varkens, lager lichaamsgewicht en sterfte bij vleeskuikens. Economisch kan dit een verlies betekenen van 0,5 miljard euro per jaar rond 2050, en tussen de 0,5 en meer dan 1 miljard euro per jaar in 2100.

4.2.2 Droogte

Het Nederlandse watersysteem kent nu al uitdagingen rond waterbeschikbaarheid. Die uitdagingen worden groter door klimaatverandering (zie figuur 4.2). Nederland wordt steeds meer geconfronteerd met lentes en zomers waarin langdurige periodes van droogte en hittegolven vaker voorkomen en intenser worden (hoofdstuk 2). Dit leidt naar verwachting tot een daling van de grondwaterstanden, toenemende vraag naar water en verminderde beschikbaarheid van (schoon) oppervlaktewater met gevolgen voor alle sectoren (zie figuur 4.3).

Tekort aan oppervlaktewater heeft gevolgen voor scheepvaart, natuur, energieproductie, industrie, landbouw, drinkwaterwinning en koeling datacenters

Droogte kan leiden tot een tekort aan oppervlaktewater, in de vorm van lagere (rivier)afvoeren, waardoor ook de waterkwaliteit kan verslechteren. De verwachting is dat tot 2050 het watertekort in laag-Nederland tussen de 25 en 40 procent zal toenemen, afhankelijk van de mate waarin het klimaat verandert en de zeespiegel stijgt. Dit kan verschillende gevolgen hebben: voor het gebruik van koelwater bij energieproductie en van proceswater in de industrie; voor het gebruik van water in de landbouw voor onder andere beregening van gewassen; voor de winning van oppervlaktewater voor drinkwater; voor het gebruik van water voor koeling van datacenters; en voor de bevaarbaarheid voor de binnenvaart. Als de scheepvaart hinder ondervindt, zijn de economische gevolgen groot. Zo wordt verwacht dat in 2050 het goederentransport over vaarwegen eens in de 5 jaar te maken krijgt met een droogteschade van 288 miljoen euro, en eens in de 20 jaar van 450 miljoen.

Figuur 4.2

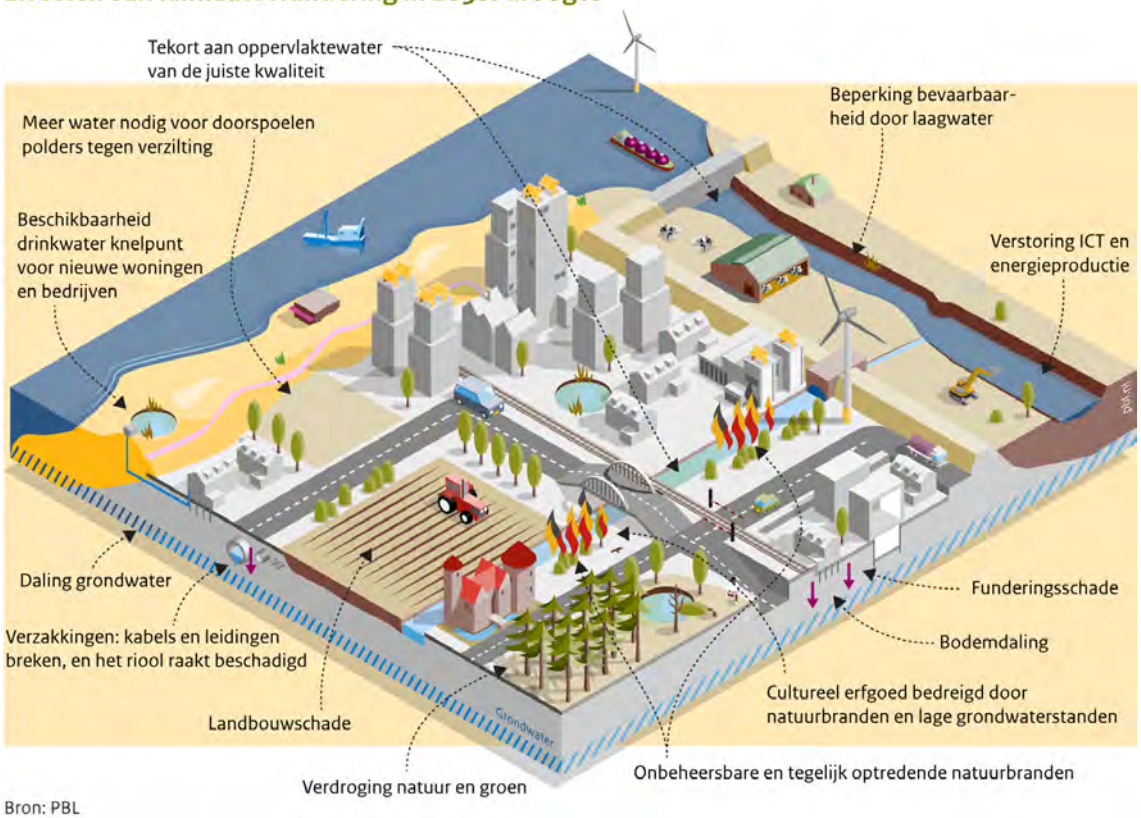
Opgaven in relatie tot droogte en klimaatverandering



Bron: Mens et al. 2020

Figuur 4.3

Effecten van klimaatverandering in 2050: droogte



Bron: PBL

In droge perioden neemt het aanbod van water af en de vraag naar water vanuit de sectoren toe. Voor de verdeling van oppervlaktewater in droge perioden bestaat al de zogenoemde landelijke verdringingsreeks (zie figuur 4.4). In laag-Nederland kan het watertekort aangevuld worden vanuit het hoofdwatersysteem. Met name doorspoeling (voor het zoet houden van wateren en polders) en peilbeheer zijn daar grote watervragers. Het peilbeheer in de veenweidegebieden heeft volgens de verdringingsreeks een hoge prioriteit (categorie 1), en de behoefte aan water neemt daar nog toe door het mitigatiebeleid waarbij de veenweidegebieden vernat worden om uitstoot van CO_2 te verminderen. Ook natuurgebieden die bij uitblijven van water onomkeerbare schade kunnen oplopen, krijgen prioriteit. De provincies hebben een kaart ontwikkeld waarop de natuurgebieden staan die vallen in categorie 1; dit is maar een beperkt deel van alle natuur. Vervolgens krijgt de drinkwater- en energievoorziening voorrang (categorie 2), waarbij voor drinkwater een wettelijke leveringsverplichting geldt. Kapitaalintensieve teelten vallen onder categorie 3 van de verdringingsreeks. Het grootste deel van de natuur en landbouw valt in categorie 4, wat betekent dat hiervoor minder water beschikbaar is, met negatieve gevolgen voor productie, biodiversiteit en ecosysteemdiensten. Dat geldt ook voor de andere watervragers die in de laagste categorie vallen, zoals koelwater voor datacenters, met mogelijke lokale uitval van internet tot gevolg.

Figuur 4.4



Tekort aan grondwater heeft gevolgen voor natuur, cultureel erfgoed, gebouwde omgeving, natuurbranden, landbouw en drinkwaterwinning

Het grond- en oppervlaktewatersysteem in hoog-Nederland is de afgelopen halve eeuw grotendeels ingericht om de landbouw te faciliteren en in de drinkwatervraag te voorzien. Dit heeft geleid tot verdroging van grondwaterafhankelijke natuurgebieden en een daling van de gemiddelde grondwaterstand in met name ontwaterde gebieden en kwelgebieden. Dat betekent dat de benodigde condities om natuurdoelen te halen verslechteren (verdroging) en de landbouw steeds vaker behoefte heeft aan beregening uit grondwater.
Door klimaatverandering zullen droge perioden frequenter en intenser worden, waardoor op veel

plekken de grondwaterstanden zullen dalen. De verwachting is dat in 2050 bij sterke klimaatverandering de zomergrondwaterstanden op de hoge zandgronden dalen met gemiddeld 10 tot 50 centimeter, en dicht bij onttrekkingslocaties van drinkwater en industrie zijn dalingen tot 1 meter te verwachten. Dit kan resulteren in verdroging van grondwaterafhankelijke natuur, het verdwijnen van nat archeologisch erfgoed, toenemende funderingsschade door paalrot en verzakkende funderingen, een toenemende kans op natuurbranden, en minder beschikbaar water voor de landbouw (voor beregenen wordt voor circa driekwart grondwater gebruikt) en voor de drinkwatervoorziening (zie tabel 4.1).

Tabel 4.1
Effecten van tekort aan grondwater in 2050 bij sterke klimaatverandering (zie ook deel II)

Natuur	Afname duurzaam beschermde soorten met 10-25%
Landbouw	Gemiddelde waterbehoefte voor irrigatie neemt toe met 30-80%; eens in de 10 jaar (zomerdroogte) een schade tussen 100 miljoen en 1 miljard euro
Drinkwatervoorziening	Het niet tijdig beschikbaar komen van nieuwe bronnen kan in de toekomst een knelpunt vormen voor nieuwbouwprojecten (Binnenlands Bestuur 2022) en voor de opstart van nieuwe bedrijven (H2O 2023)
Cultureel erfgoed	Door lage grondwaterstanden vergaan organische archeologische resten, en risico op scheefstaande, scheurende en onbewoonbare monumenten. Ook een groter risico op schade aan erfgoedlocaties in natuurbrandgevoelige gebieden.
Gebouwde omgeving	Toename van funderingsschade bij gebouwen door toenemende fluctuatie in grondwaterstanden, tot 2050 directe funderingsschade aan circa 425.000 woningen, totale kosten tot €60 miljard
Natuurbranden	Toenemende kans op onbeheersbare natuurbranden: in 2050 verdubbeling van het aantal natuurbranden

In landelijke gebieden zonder directe toegang tot oppervlaktewater zijn de gevolgen van droogte het meest direct zichtbaar in de landbouw en natuur. Door toenemende en extremere droge perioden neemt de gebruiksdruk op het grondwater toe. Boeren proberen droogteschade zo veel mogelijk te beperken door te beregenen, zolang er voldoende zoetwater beschikbaar is en er geen beregeningsverboden gelden. In tijden van droogte wordt er ook meer grondwater onttrokken door drinkwaterbedrijven. Drinkwaterbedrijven hebben namelijk een leveringsplicht, en tijdens droge periodes neemt de vraag naar drinkwater toe. Dit kan in periodes van droogte leiden tot het onttrekken van meer grondwater dan toegestaan, met extra lage grondwaterstanden tot gevolg en met negatieve gevolgen voor landbouw, erfgoed en natuur (biodiversiteit en ecosysteemdiensten).

In de gebouwde omgeving, en met name in het westen van Nederland, hangen de gevolgen van droogte en hitte samen met bodemdaling en verouderde infrastructuur. Droogte veroorzaakt daling van klei- en veenbodems, met schade aan funderingen, wegen, het spoor en rioleringen tot gevolg (PBL 2024a).

In kustregio's ook gevolgen van toenemende verzilting, mogelijk 40 procent meer water nodig voor doorspoeling

De samenhang tussen droogte, hitte en verzilting leidt tot een complex samenspel van risico's: niet alleen neemt de kans op misoogsten toe, ook de kwaliteit van natuurgebieden en de drinkwatervoorziening komt in het geding (Deltares 2021). In de kustregio's speelt verzilting een steeds grotere rol. Door lage rivierafvoeren en een stijgende zeespiegel dringt zout water verder het land

binnen, wat de beschikbaarheid van zoet water voor landbouw, natuur en drinkwatervoorziening onder druk zet. Dit heeft negatieve effecten op de waterkwaliteit en biodiversiteit. Om het water voldoende zoet te houden is er meer wateraanvoer nodig om polders door te spoelen. Bij sterke klimaatverandering van 2°C in 2050, waarbij de zeespiegel met 1 meter stijgt, is er in droge zomers 40 procent meer water nodig om laag-Nederland door te spoelen en even zoet te houden als nu.

4.2.3 Wateroverlast

Wateroverlast door extreme neerslag neemt toe

Sinds het begin van de 20e eeuw is de jaarlijkse neerslag in Nederland met ongeveer een kwart toegenomen, vooral in de winter (PBL 2024a). Vooruitkijkend richting 2050 en 2100 neemt naar verwachting de totale neerslag in de winter toe (met 4 tot 7 procent tot 2050, zie hoofdstuk 2), en hetzelfde geldt voor de frequentie en de intensiteit van piekbuien, ook in de zomer. Langere perioden met grootschalige neerslag kunnen leiden tot wateroverlast en overstromingen vanuit het regionale watersysteem, met soms grote schade tot gevolg: voor de gebeurtenissen van de zomer van 2021 in Limburg bedroeg de schade naar schatting 433 miljoen euro. Wateroverlast door lokale piekbuien komt vaker voor, maar leidt meestal tot minder schade. Figuur 4.5 laat zien dat grootschalige extreme regen in het hele land tot wateroverlast kan leiden: ondiepe maar langdurige wateroverlast in laag Nederland en diepe maar lokale en kortdurende wateroverlast langs beken in hoog Nederland (Deltares 2025).

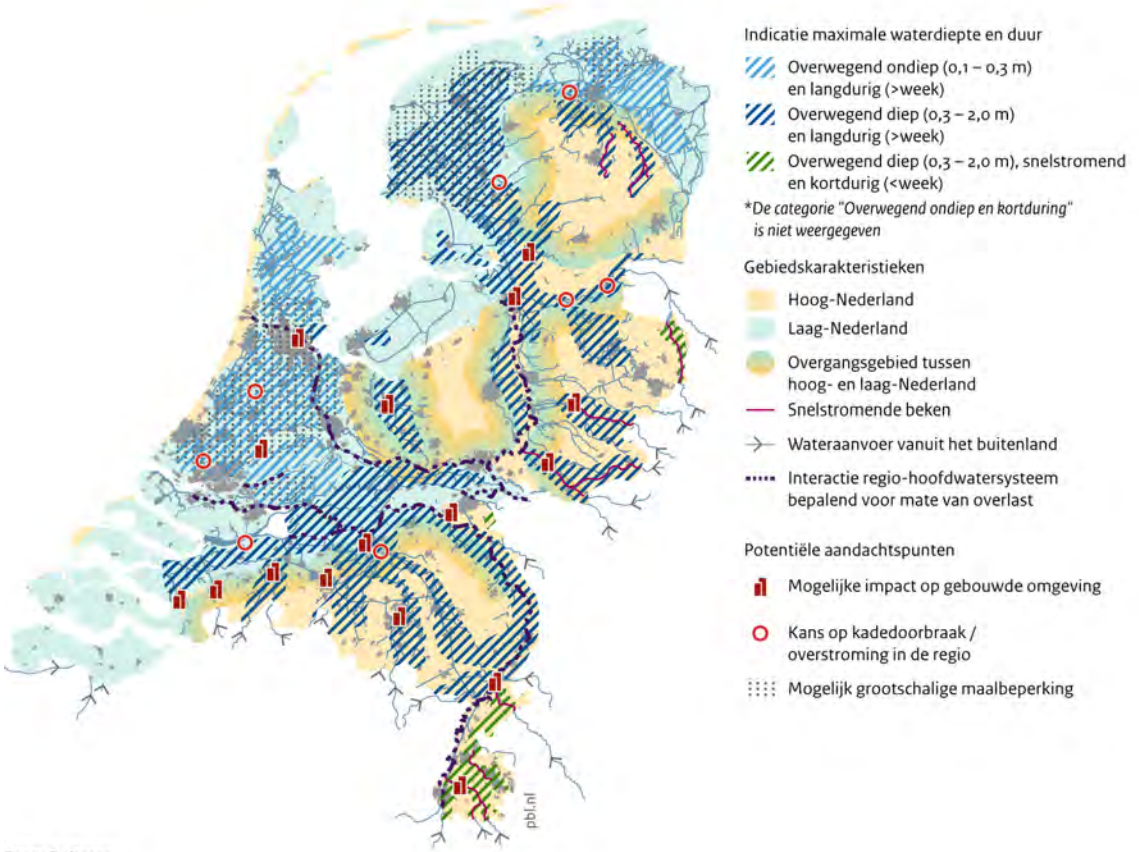
Extreme neerslag heeft gevolgen voor landbouw, infrastructuur, gebouwde omgeving, energiesysteem en gezondheid

In de land- en tuinbouw leidt extreme neerslag tot opbrengstderving, maar de relatie tussen oorzaak en gevolg kent veel onzekerheden en is afhankelijk van onder andere het moment van optreden van die neerslag en de bodemeigenschappen. Op het wegennet leidt vaker en/of meer wateroverlast tot verlies aan veiligheid, hinder voor mens en bedrijfsleven door afgenomen mobiliteit en een toename van aanleg- en onderhoudskosten; het is onbekend hoe groot deze impact is. Uit onderzoek naar casussen in het verleden blijkt dat naast de intensiteit van de neerslag ook de kwetsbaarheid van het gebied een belangrijke factor te zijn die de impact bepaalt. Daarbij gaat het onder andere om de ligging van het gebied (lager dan de omgeving), menselijke ingrepen (zoals dempen van beken), de mate van verstedelijking en daarmee verharding, en het vóórkomen van vitale infrastructuur. Ook is er vaak sprake van een samenloop met andere risicofactoren (OVV 2026). Zie ook figuur 4.6 voor een aantal belangrijke risico's die het gevolg zijn van een natter toekomstig klimaat.

Wateroverlast heeft gevolgen voor gewasopbrengsten en de economische positie van boeren

De land- en tuinbouw in Nederland is gevoelig voor zowel lange natte periodes, als ook voor piekbuien. Zo kunnen percelen en gewassen langere tijd onder water komen te staan, of piekbuien ervoor zorgen dat gewassen zoals granen platslaan. Dergelijke natte omstandigheden leiden in de landbouw vooral tot problemen in het voor- en najaar, wanneer veel rooivruchten worden geplant en geoogst. Het gaat dan om opbrengstverliezen, maar ook om verlies in bodemkwaliteit en uiteindelijke tot economische schade voor boeren.

Figuur 4.5
Zones waar mogelijk water komt te staan bij grootschalige, extreme regen



Bron: Deltares

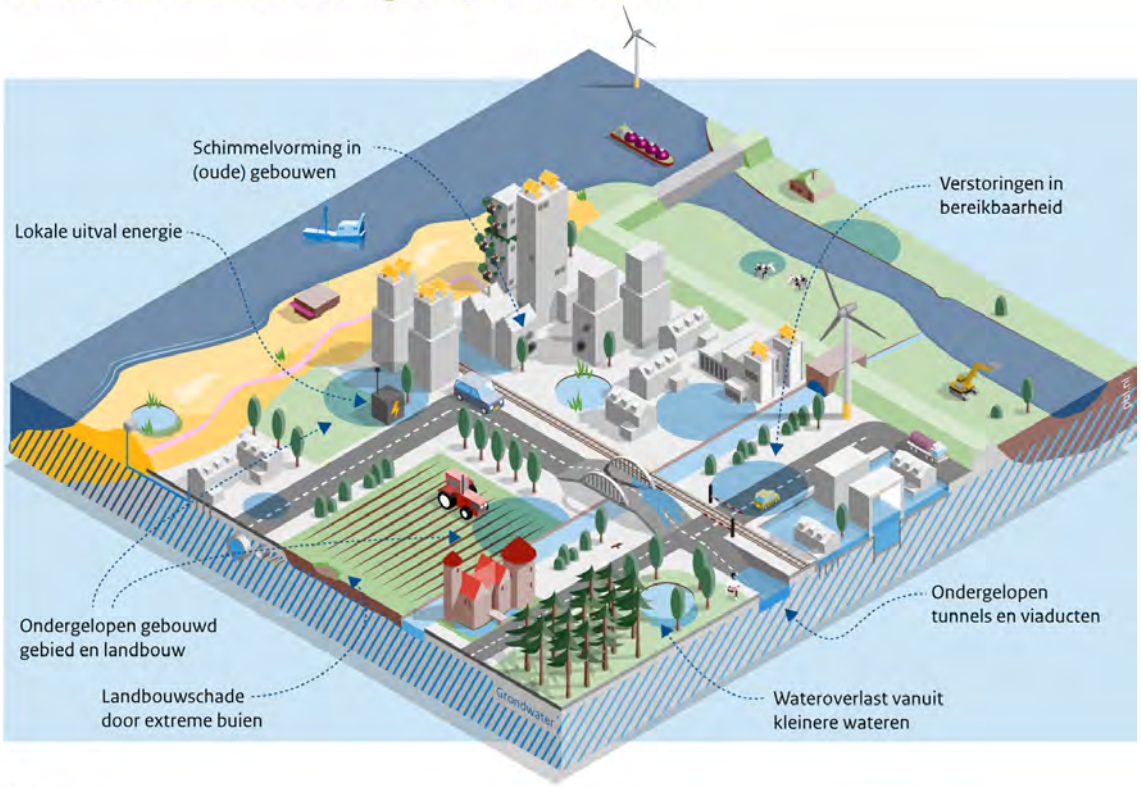
Bij aardappels kan dit, zonder aanvullende maatregelen, bijvoorbeeld tot een opbrengstderving van 35 procent leiden (WUR 2026b). Dergelijke verliezen hebben ook gevolgen voor consumenten, omdat het aanbod afneemt en prijzen kunnen stijgen. Zonder extra adaptatiemaatregelen wordt de economische risico door piekbuien en lange natte perioden voor 2050 ingeschat op tussen de 100 miljoen en 1 miljard euro schade, met een frequentie van eens in de 1 tot 10 jaar. De relatie tussen oorzaak en gevolg kent wel veel onzekerheden, en is onder andere afhankelijk van het type bedrijf en kan sterk kan verschillen tussen regio's, bijvoorbeeld vanwege bodemeigenschappen.

Wateroverlast in de gebouwde omgeving heeft economische en maatschappelijke gevolgen

Acute wateroverlast in de gebouwde omgeving kan leiden tot economische, maatschappelijke en gezondheidsgevolgen. Een aanzienlijk deel van de Nederlandse huizen kan hierdoor getroffen worden. Zonder extra maatregelen stijgt richting 2050 de jaarlijkse kans op meerdaagse wateroverlast vooral in Randstad-steden en Zuid-Limburg. Maar lokaal kan ook elders de impact groot zijn: in Enschede konden na een piekbui van 55 millimeter in één uur op 21 juli 2024, 65 huurwoningen definitief niet meer bewoond worden, omdat verdere aanpassingen onmogelijk waren (De Woonplaats 2025). Hoewel heel Nederland te maken kan krijgen met extreme neerslag, zijn stedelijke gebieden in het westen extra kwetsbaar door regionale verschillen in waterberging.

Figuur 4.6

Effecten van klimaatverandering in 2050: wateroverlast



Bron: PBL

De economische gevolgen zijn schade aan woningen, infrastructuur en bedrijfsruimten, met soms schadeposten in de orde van honderden miljoenen euro's per gebeurtenis. Dit was bijvoorbeeld het geval bij de hagel in 2016 in Brabant en de overstroming in Limburg in 2021. Wateroverlast verstoort ook het dagelijks leven; huishoudens en bedrijven ondervinden hinder door de schade, en er kunnen gezondheidsrisico's ontstaan bij contact met vervuild water en door schimmelvorming in een latere fase. Tot slot kunnen toename in temperatuur en vaker extreme regen en droogte de omstandigheden gunstiger maken voor ziekteverwekkers, waardoor in de toekomst meer infectieziekten voorkomen.

Risico's voor wegen en spoor van extremere neerslag zullen toenemen

Extreme neerslag, zowel in de vorm van grootschalige zware regenbuien als kleinschalige piekbuien, vormt een direct risico voor het wegennet. Door grootschalige piekbuien kunnen zowel hoofdwegen als onderliggende netwerken tegelijk onderlopen. Tunnels en verdiepte wegen zijn hierbij kwetsbaar, wat kan leiden tot grote verkeersproblemen, onbereikbaarheid van hulpdiensten en schade aan technische installaties. Ook kleinere piekbuien zullen naar verwachting steeds vaker voorkomen (KNMI 2023a) en plasvorming en ondergelopen tunnels veroorzaken, vooral op lagergelegen wegen. In combinatie met slecht zicht leiden ze tot gevaarlijke verkeerssituaties.

Voor het spoor is het grootste klimaatrisico dat wateroverlast en langdurige verzadiging van het spoorweglichaam leiden tot ernstige verstoringen en schade. De gevolgen hiervan zijn groot: vertragingen, uitval van treindiensten, verhoogde onderhouds- en herstelkosten en een verminderde betrouwbaarheid van het spoorwegnet. Verder zijn kritieke onderdelen van het spoor, zoals

tunnels, emplacementen en spoorbruggen, extra kwetsbaar voor wateroverlast. Tunnels kunnen onder water lopen of water kan in technische ruimtes binnendringen, wat leidt tot uitval van signalerings- en beveiligingssystemen. De gevolgen van grootschalige regenoverstroming en vernatting zullen toenemen richting 2050, van 100 miljoen-1 miljard euro in de huidige situatie, naar > 1 miljard euro in 2050, wat mede komt door de toename van gebruik van het spoor (43-78 procent stijging personenvervoer (PBL 2025a)) en een toename van het aantal verdiepte liggingen en tunnels.

Beperkte en kleinschalige impact van extreme neerslag op het energiesysteem

Extreme neerslag en de daaropvolgende wateroverlast vormen een risico voor de elektriciteitsinfrastructuur, zoals onderstations en distributienetten. Een voorbeeld hiervan is het stroomverdeelstation in Nijverdal, dat in oktober 2023 door extreme neerslag en hoge grondwaterstand onder water kwam te staan. Er ontstond kortsluiting waardoor ruim 11.000 elektriciteitsaansluitingen 5 uur zonder stroom kwamen te zitten. Dergelijke stroomonderbrekingen kunnen wel makkelijker hersteld worden dan bij overstromingen door het doorbreken van dijken: omdat piekbuien vaak ruimtelijk beperkt zijn, kan na het wegtrekken van het water relatief snel worden geschakeld. De klimaatdreiging van extreme neerslag is vergeleken met rivieroverstromingen meestal minder ernstig qua inundatie, en resulteert ook in een kleinschaliger impact.

4.2.4 Complexe klimaatrisico's

Complexe risico's in een complexe maatschappij

In de paragrafen hierboven zijn in de meeste gevallen aparte klimaatrisico's beschreven, die voortkomen uit één klimaateffect - zoals hitte, droogte, overstroming, bosbranden of extreme neerslag - op één bepaalde sector. Het is belangrijk om daarnaast ook rekening te houden met zogenoemde complexe risico's. Daarbij gaat het om de mogelijke doorwerking in andere sectoren of in de maatschappij als geheel, de zogenoemde cascade-effecten of ketenrisico's. En met het samenvallen van verschillende klimaateffecten op dezelfde plaats en tijd; de zogenoemde gestapelde risico's, bijvoorbeeld als gevolg van het samenvallen of kort na elkaar optreden van hittegolven, extreme droogte en extreme neerslag.

De maatschappij is complex, waardoor de effecten van klimaatverandering en weersextremen in ruimte en tijd op verschillende manieren kunnen doorwerken in maatschappelijke, economische, technologische en ecologische systemen. Klimaatrisico's kunnen van het ene systeem of de ene sector doorwerken naar andere (cascade-effecten) waardoor nieuwe risico's kunnen ontstaan of bestaande risico's kunnen worden verergerd. Dit kan leiden tot bijvoorbeeld de ontwrichting van de gezondheidszorg, toeleveringsketens of van kritische infrastructuur zoals (drink)water-, energie-, communicatie- en transportsystemen, en het betalingsverkeer.
De risico's die het gevolg zijn van de interactie tussen klimaateffecten en de socio-economische, technologische en ecologische systemen worden complexe klimaatrisico's genoemd. Deze risico's zijn doorgaans moeilijk te voorspellen en te begrijpen en kunnen onvoorspelbare gevolgen met zich meebrengen (Simpson et al. 2021). In het kader van ons onderzoek was het niet haalbaar om dergelijke complexe risico's verder uit te werken. Tekstkader 4.2 geeft een voorbeeld van mogelijke keteneffecten in een scenario van langdurige droogte, extreme hitte en natuurbrand.

Tekstkader 4.2 Voorbeeld keteneffecten in scenario met langdurige droogte, extreme hitte en natuurbrand

Ten behoeve van het rapport 'Klimaatdreigingen, bijbehorende cascade-effecten en gevolgen voor crisisrespons' (Deltares 2026a) heeft een groot aantal partijen (waaronder de veiligheidsregio's, de politie, Rijkswaterstaat en Prorail) in een zogenoemde doorleefsessie de mogelijke keteneffecten in beeld gebracht bij een scenario van langdurige droogte, extreme hitte en natuurbrand. Hieronder staat een samenvatting daarvan.

Er is sprake van langdurige droogte, waardoor de verdringingsreeks is geactiveerd en er onder andere sproeiverboden gelden. Dit alles leidt tot uitdroging van bodem en vegetatie, tot verzilting en lage rivierafvoeren, waardoor gevaarlijke stoffen over de weg en het spoor worden vervoerd in plaats van via de scheepvaart. Tijdens deze droogte treedt een hittegolf op die minstens een week aanhoudt. Kwetsbare groepen en ouderen krijgen gezondheidsproblemen en de druk op de zorg neemt toe. In dezelfde week breekt een natuurbrand uit bij de Amsterdamse Waterleidingduinen. De brand is kortdurend, maar verspreidt zich snel in een toeristisch gebied nabij bebouwing. Een aantal wegen nabij de natuurbrand zijn gestremd door rook. Daarnaast is de A9 gestremd door een klemmende brug, wat de aanrijdtijden van hulpdiensten verlengt. Al eerder is een langdurige grote natuurbrand uitgebroken in Noord-Brabant, die inzet vanuit andere regio's vraagt. Hierdoor is de beschikbaarheid van aanvullende hulp voor de brand in de Waterleidingduinen beperkt.

De natuurbrand beschadigt een midden- en laagspanningsstation, waardoor een gebied, met daarin onder andere een grote zorginstelling, zonder stroom komt te zitten. Twee uur later heeft dit gevolgen voor de telecommunicatie, waardoor de meldkamer vanuit dit gebied slecht bereikbaar is en de communicatie tussen hulpdiensten verstoord raakt. Ondertussen is in de zorginstelling de airconditioning uitgevallen, een risico dat ook op andere locaties dreigt.

De natuurbrand bij de Waterleidingduinen bedreigt de bebouwing. Enkele toeristische locaties lopen gevaar en ook Zandvoort, waar veel recreanten aanwezig zijn en kwetsbare voorzieningen zoals verzorgingstehuizen, hotels en rijksmonumenten liggen. Tegelijkertijd ontstaan problemen op het spoor: door overbelasting van de voorkoeling valt de stroom uit en komen treinen stil te staan tussen Haarlem en Leiden, hoewel het spoor zelf niet direct door de brand wordt bedreigd. In de regio ontstaan veel files door drukte naar de stranden, mogelijke evacuaties door de natuurbrand, gestremde wegen en de uitval van treinen.

4.3 Mogelijke gevolgen van wildcards

Eerder in het rapport noemden we al dat er bij klimaatverandering ook een kans is op zogenoemde klimatologische wildcards (paragraaf 2.2): gebeurtenissen die een kleine kans van optreden hebben, maar die wel een grote impact kunnen hebben. In deze paragraaf beschrijven we globaal wat twee wildcards kunnen betekenen voor de toekomstige klimaatrisico's.

4.3.1 Versneld afsmelten antarctische ijskappen

Versneld afsmelten ijskappen kan grote gevolgen hebben voor sectoren

Het versneld afsmelten van ijskappen zou een direct effect hebben op de waterveiligheid in Nederland. Als de zeespiegel stijgt, dan moeten de dijken meestijgen om aan de veiligheidsnormen te voldoen. Dat betekent een grotere versterkingsopgave als de zeespiegel versneld stijgt. Ook waterveiligheid van rivieren moet opnieuw beschouwd worden omdat water minder snel afgevoerd kan

worden. Omdat implementatie van extra maatregelen veel tijd kost, moet er op tijd geanticipeerd worden.

Verder zal een hogere zeespiegel, en meer verzilting (en mogelijk minder zoetwater omdat dat dat nodig is door te spoelen) de nodige gevolgen hebben voor diverse sectoren:

- Landbouw: door verzilting kunnen sommige vormen van landbouw niet overal meer plaatsvinden, zoals de fruit- en bollenteelt.
- Natuur: vooral natuur langs kust en rivieren kan last krijgen van wateroverlast en (langs de kust) verzilting.
- Woonlocaties: met technische oplossingen kunnen de gevolgen van hogere waterstanden deels worden beperkt, maar hier zijn grenzen aan.
- Transport: vooral in havens zullen hogere waterstanden voor uitdagingen zorgen en zijn er bijvoorbeeld meer sluizen nodig.

Extra keuzes nodig in beleid bij versneld afsmelten ijskappen

Technisch is het mogelijk om Nederland met opschalen van de huidige aanpak (dijken, pompen, zandsuppletie) te beschermen tegen een zeespiegelstijging tot aan 3 meter. In het KNMI-scenario met de sterkste klimaatverandering wordt die stijging iets na 2100 bereikt, in het lage-uitstootscenario wordt dit helemaal niet bereikt. Bij versneld afsmelten van de ijskappen kan in 2050 de zeespiegelstijging echter ruim verdubbelen (zie paragraaf 2.2). Bij een dergelijke extreme zeespiegelstijging zullen mogelijk ook andere ruimtelijke keuzes gemaakt moeten worden voor na 2100, omdat alleen dijken versterken/ophogen tegen grenzen aanloopt. Extremere zeespiegelstijging zal er ook toe leiden dat de zoutindringing groter wordt, wat ook gevolgen heeft voor de zoetwaterbeschikbaarheid. Er zal niet overal meer voldoende rivierwater kunnen zijn om al het zout weg te spoelen. Er moeten dan keuzes gemaakt worden. Voor sommige gebieden moet mogelijk worden geaccepteerd dat deze verzilten.

4.3.2 Afzwakken AMOC

Afzwakken AMOC kan sommige klimaatrisico's vergroten, andere verkleinen

De klimatologische effecten van een afzwakken van AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation) komen boven op de klimaatverandering door broeikasgassen (zie paragraaf 2.2). In sommige gevallen kan dit een netto versterking betekenen (bijvoorbeeld voor droogte en zeespiegelstijging), in sommige gevallen compensatie (bij bijvoorbeeld temperatuurstijging). Het netto-effect is afhankelijk van het klimaatscenario. Dit alles maakt het lastig om in te schatten wat de effecten zijn op de sectorale risico's en Nederlandse leefomgeving, maar de verwachting is wel dat de uiteindelijke effecten groot zullen zijn.
Het extra verdrogen van de zomers door afzwakken van de AMOC versterkt de huidige trend naar drogere zomers. Dit versterkt de droogteproblematiek in Nederland, bijvoorbeeld voor landbouw, natuur, funderingen, en scheepvaart.

Naar verwachting zullen de maximale zomertemperaturen nauwelijks worden beïnvloed door afzwakken van AMOC, en er is dan ook niet per se een effect op hitte-gerelateerde risico's (Van Westen et al. 2025). De winters zullen naar verwachting wel ruiger worden.

Strengere winters met lagere temperaturen kunnen zorgen voor:

- Meer koude-doden
- Vergroting van het overstromingsrisico van rivieren door bevriezing. De bevriezing zorgt voor een grotere weerstand, wat de stroomsnelheid verlaagt en de waterstand verhoogt.
- Meer energieverbruik om te verwarmen

En ruigere stormen kunnen zorgen voor:

- Schade aan gebouwen, infrastructuur en erfgoed
- Opbrengstenderving landbouw
- Schade aan natuur

De stijging van de zeespiegel ten gevolge van het stilvallen van de AMOC komt boven op de al bestaande zeespiegelstijging. Dit versterkt de problemen die door zeespiegelstijging worden veroorzaakt.

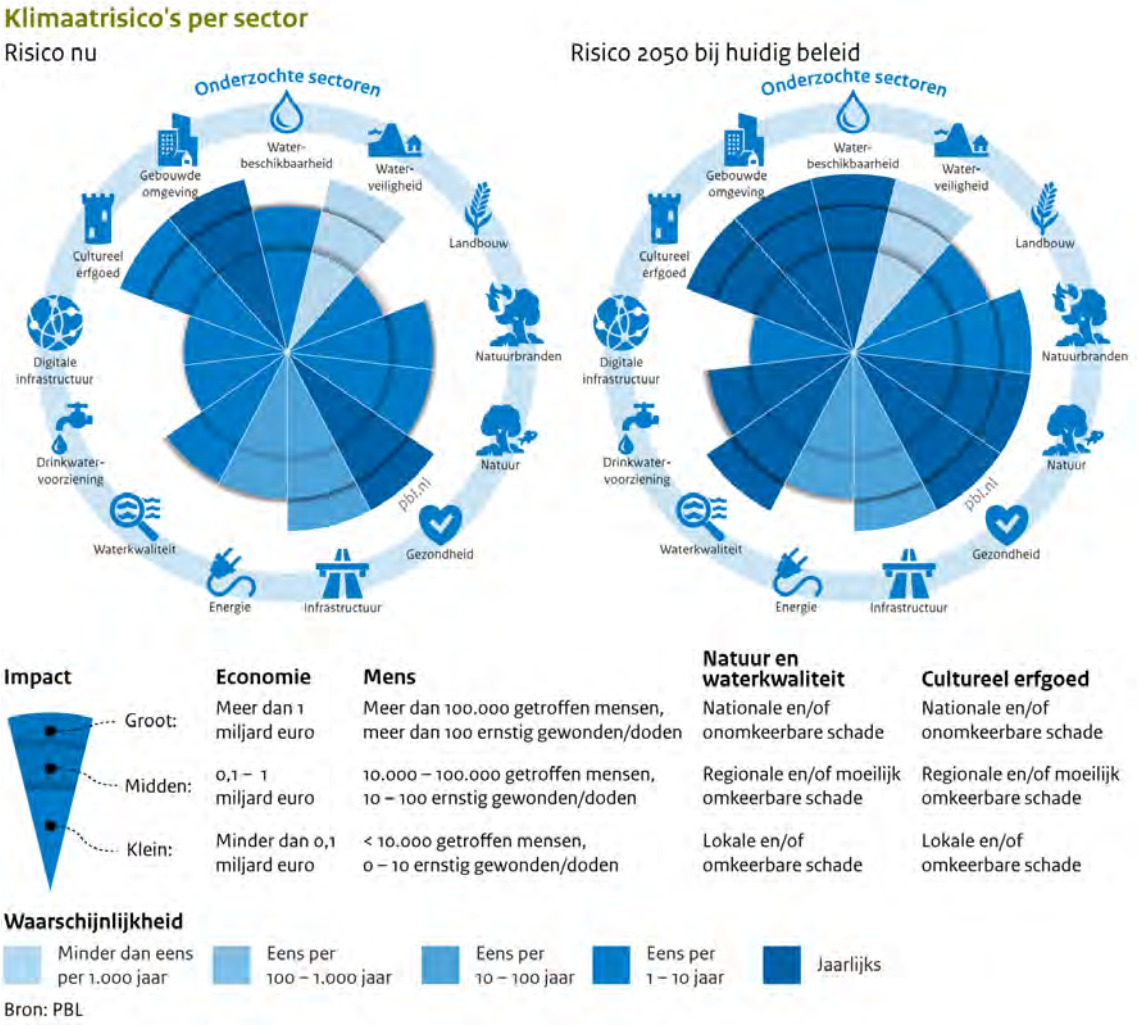
4.4 Conclusies en aandachtspunten

Vaker en grotere gevolgen door veranderend klimaat

Zoals in de paragrafen hierboven is beschreven, nemen zonder extra adaptatiebeleid en -maatregelen vrijwel alle klimaatrisico's in 2050 toe ten opzichte van de risico's waar Nederland nu al mee te maken heeft (zie voor dat laatste PBL 2024a). Daarbij gaat het om een toename in de kans dat een risico optreedt en/of een toename van de grootte van de impact als het risico zich voordoet. Een uitzondering daarop is de bescherming tegen overstroming vanuit zee en de grote rivieren en meren, onder de voorwaarde dat de nu al geplande extra beschermende maatregelen worden uitgevoerd (zie paragraaf waterveiligheid), volgens normen waarin het veranderende klimaat al wordt meegenomen.

In figuur 4.7 staat een overzicht van veranderingen van enkele klimaatrisico's voor elk van de sectoren en onderwerpen die in deze studie zijn meegenomen tussen nu en 2050. Dit zijn de risico's die er zijn bij voortzetten van het huidig beleid, uitgaande van het sterk risicoverhogende contextscenario (zie hoofdstuk 3). In de analyse is ook gekeken naar resultaten voor het beperkt risicoverhogende contextscenario, maar het gaat hier om een risicoanalyse, waarin we een zo compleet mogelijk overzicht willen laten zien met welke klimaatrisico's Nederland te maken kan krijgen. Bovendien blijkt uit de analyse dat tot 2050 de verschillen in de klimaatrisico's tussen de contextscenario's klein zijn (op een enkele uitzondering na, zie hiervoor deel II). Voor 2100 is het beeld anders, met grotere verschillen tussen de contextscenario's, zie ook hiervoor de beschrijvingen per sector in deel II.
In het figuur wordt per sector het belangrijkste risico of combinatie van risico's weergegeven, dat wil zeggen het risico met de grootste kans op voorkomen en/of de grootste impact. In tabel 4.2 staat vermeld om welke risico's het gaat.

Figuur 4.7



Tabel 4.2
Belangrijkste klimaatrisico('s) per sector/onderwerp, zoals weergegeven in figuur 4.7

Onderwerp/sector	Risicocategorie (economie, mens, natuur, cultuur) en belangrijkste risico('s)
Waterveiligheid	Mens, economie, natuur, cultuur: schade en slachtoffers door overstromingen vanuit zee, grote rivieren en meren
Landbouw	Economie: minder opbrengst akkerbouw door droogte
Natuurbranden	Mens, economie, natuur, cultuur: kans op gelijktijdige of onbeheersbare natuurbranden door hitte en droogte
Natuur	Natuur: onomkeerbare schade aan biodiversiteit en ecosysteemdiensten door hitte en droogte
Gezondheid	Mens: aantal extra sterfgevallen door hogere temperaturen; toename infectieziekten, allergieën, en ziekte door luchtverontreiniging en UV-straling
Infrastructuur	Economie: fysieke schade en maatschappelijke verliezen door extreem weer, met gevolgen hebben voor binnenvaart, weg en spoor
Energie	Economie, mens: schade en overlast door uitval energievoorziening door droogte

Waterkwaliteit	Natuur: onomkeerbare schade aan biodiversiteit en ecosysteemdiensten door hitte en droogte
Drinkwatervoorziening	Natuur: toenemende schade aan natuur door drinkwateronttrekkingen
Digitale infrastructuur	Economie, mens: schade en overlast door uitval datacenters bij extreme hitte i.c.m. langdurige droogte
Cultureel erfgoed	Cultuur: verdwijnen nat archeologisch erfgoed door droogte
Gebouwde omgeving	Mens: aantal mensen getroffen door hitte en wateroverlast
Waterbeschikbaarheid	Economie: verzilting in laag-Nederland

Grote gevolgen door temperatuurstijging en hitte, droogte en extreme neerslag

De temperatuurstijging en hitte, droogte en extreme neerslag hebben grote gevolgen voor de samenleving. Zo zijn er risico's voor de gezondheid (door temperatuurstijging, maar ook door luchtverontreiniging en Uv-straling, via infectieziekten en allergieën) en lopen alle gebruikers van water een risico op tekorten in droge perioden: drinkwater, landbouw, koeling voor energie en datacenters, natuur, erfgoed. Ook wateroverlast door extreme regen raakt vele sectoren, zoals landbouw, infrastructuur, gebouwde omgeving en energiesysteem.

Uit een door het PBL uitgezette enquête blijkt dat het beeld van de inwoners van Nederland over wat de grootste klimaatrisico's zijn, redelijk overeenkomt met het oordeel van de experts waar figuur 4.7 op is gebaseerd (zie hoofdstuk 6).

Keuzes voor een acceptabel basisniveau van bescherming

Het huidig adaptatiebeleid mist veelal een concrete, toekomstgerichte uitwerking en is nog niet verankerd in alle relevante beleidsdossiers. Zo is het centrale doel om in 2050 klimaatbestendig te zijn vaak nog niet vertaald in doelen, budgetten en inzet, met uitzondering van het beleid rond waterveiligheid en wateroverlast. Gegeven de snelle klimaatverandering en verwachte oplopende schades en risico's is het urgent om nu te bepalen wat er wordt verstaan onder een klimaatbestendig Nederland: in welke mate vinden overheid en samenleving klimaatrisico's acceptabel en welke maatregelen willen ze nemen om de klimaatrisico's nu en in de toekomst te verminderen? En hoe vertalen ze dat in concrete doelen, budgetten en middelen? Uiteindelijk zijn dit politieke keuzes, waarbij het belangrijk is om maatschappelijke actoren en bewoners erbij te betrekken, bijvoorbeeld via een maatschappelijk debat. Die betrokkenheid bij beleid maakt het adaptatiebeleid rechtvaardiger, effectiever, meer gedragen en versterkt sociale cohesie en daarmee veerkracht.

Ongelijke verdeling van risico's

De effecten van klimaatverandering raken sommige groepen mensen harder dan andere, afhankelijk van hun kwetsbaarheid en mogelijkheden om zich aan te passen. Zo krijgt niet iedereen in dezelfde mate te maken met hitte. Over het algemeen zijn de temperaturen in het zuidoosten van Nederland hoger, en in de kustgebieden lager door verkoeling van de zee. Bewoners in steden ervaren meer hitte door het stedelijk hitte-eilandeffect, zie tekstkader 4.1. Ook zijn er verschillen tussen groepen mensen. Zo krijgen bijvoorbeeld buitenwerkers (bouwvakkers, groenwerkers) meer te maken met hitte. En de impact van hitte is groter voor ouderen, mensen met een chronische aandoening, zwangeren en (heel) jonge kinderen.

In kwetsbare wijken komen problemen samen die elkaar ook nog versterken: vaak zijn deze wijken sterk versteend, met weinig groen, hebben de bewoners vaker een slechtere gezondheid en hebben ze beperkte (financiële) middelen om bijvoorbeeld zonwering aan te brengen. Juist deze combinatie van factoren vraagt om extra aandacht van het beleid. Ook de deelnemers aan de

beleidsanalyse van ORG-ID (zie de tekstkader 5.1) hebben aangegeven dit een belangrijk aandachtspunt te vinden (ORG-ID 2026).

Integratie complexe risico's in beleid en uitvoering

De kwetsbaarheid van de maatschappij voor klimaatverandering en weersextremen wordt in hoge mate bepaald door de specifieke omstandigheden en hangt onder andere af van de geomorfologie, het landgebruik en de fysieke inrichting en infrastructuur, de demografie, de economische vitaliteit, het adaptief vermogen in beleid, bestuur en maatschappij en de kwaliteit van de rampenbestrijding en -beheersing. Het aantal mogelijke situaties waarbij risico's toenemen door stapeling, door opeenvolgende gebeurtenissen, of door doorwerking naar andere sectoren, is daarom groot. Omgang met complexe risico's vraagt dan ook maatwerk en het is ondoenlijk om voor alle mogelijke situaties draaiboeken te hebben klaarliggen.

Om hier toch grip op te krijgen, adviseert de Signaalgroep Deltaprogramma om cascade-effecten van klimaatverandering op te nemen in de scenario's die gebruikt worden voor crisisbeheersing (Signaalgroep Deltaprogramma 2022). Verder kunnen complexe risico's ook worden meegenomen in de stresstesten die in het kader van het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) op verschillende niveaus door overheden worden uitgevoerd. Vervolgens is het belangrijk om de omgang met complexe risico's te integreren in het beleidsproces en de uitvoering. Dit alles vraagt een integrale benadering, participatie van relevante groepen en burgers bij de verkenning van de mogelijke complexe risico's, en vervolgens integratie in de beleidsstrategie en uitvoering op verschillende schaalniveaus, van nationaal tot lokaal.

5 Toekomstige klimaatrisico's bij aanvullende adaptatierichtingen

In dit hoofdstuk kijken we wat het voor de klimaatrisico's in 2050 betekent als er wel extra maatregelen worden genomen. Het gaat daarbij om beleid en maatregelen uit twee aanvullende adapatatierichtingen: 'intensiveren' en 'transformeren'. In paragraaf 5.1 wordt toegelicht hoe de adaptatierichtingen tot stand zijn gekomen en hoe ze ingevuld zijn. In paragraaf 5.2 beschrijven we de belangrijkste klimaatrisico's bij beide adaptatierichtingen in 2050. In paragraaf 5.3 wordt ingegaan op de mogelijke effecten van een tweetal belangrijke wildcards, die beschreven zijn in paragraaf 2.2 en 4.3.
Een uitgebreider overzicht van de risico's na uitvoering van de maatregelen van de adaptatierichtingen voor de onderzochte sectoren is terug te vinden in de diverse hoofdstukken in Deel II.

5.1 Uitgangspunten en invulling aanvullende adaptatierichtingen

Verschillende keuzes mogelijk voor klimaatadaptatie, met verschillende resultaten
Uit het vorige hoofdstuk blijkt dat, als Nederland geen aanvullende maatregelen neemt, de meeste klimaatrisico's toenemen in 2050. Nederland kan op verschillende manieren omgaan met deze risico's, waarbij verschillende adaptatiemaatregelen mogelijk zijn. De invulling van klimaatadaptatie is geen keuze die voor heel Nederland en voor elke uitdaging gelijk is. Afhankelijk van de plaats, de tijd en de opgave die moet worden opgelost, kan de keuze anders uitpakken. Elke maatregel heeft voor- en nadelen, maar is ook afhankelijk van de keuzes die op andere plekken en op andere momenten zijn of worden gemaakt.

In deze studie zijn de adaptatieopties gebundeld in twee samenhangende adaptatierichtingen: 'intensiveren' en 'transformeren'. Deze adaptatierichtingen sluiten aan bij visies en voorkeuren in het beleid en de maatschappij en in onderzoek, waaronder de Ruimtelijke Verkenning 2023 en de Landbouw- en natuurverkenning van het PBL (PBL 2023a, 2025b), adaptatierichtingen uit het Kennisprogramma Zeespiegelstijging van het Deltaprogramma (Deltares 2019), de PlanMER van de herziene NAS (Movares 2026), de visie NL2120 (NL2120 2025) en adviezen van de Wetenschappelijke Klimaatraad (WKR 2025), de Sociaal-Economische Raad (SER 2025) en de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli 2024). Zie tabel 5.1 voor een toelichting op de relatie tussen deze studies en het gebruik van de adaptatierichtingen in de voorliggende analyse.

Tabel 5.1
Relatie tussen eerdere studies en de adaptatierichtingen in deze analyse

Studie	Scenario's / aanpak	Relatie met deze analyse
Ruimtelijke Verkenning (PBL 2023a)	'Mondiaal ondernemend' en 'Groen land'	Dit zijn de twee meest onderscheidende van de vier gebruikte scenario's in de Ruimtelijke Verkenning, met uitgangspunten vergelijkbaar met *intensiveren* en *transformeren*

Landbouw- en Natuurverkenning (PBL 2025b)	'Intensief-technologisch scenario' en 'natuur-inclusief scenario'	Ook de twee gebuikte scenario's in de Landbouw- Natuurverkenning hebben uitgangspunten vergelijkbaar met *intensiveren* en *transformeren*
Kennisprogramma Zeespiegelstijging van het Deltaprogramma (Deltares 2019)	'Beschermen' en 'meebewegen' zijn twee belangrijke strategieën m.b.t. waterveiligheid, met een voortzetting van de huidige waterveiligheidsstrategie (beschermen), en een adaptieve aanpak (meebewegen)	De adaptatierichtingen *intensiveren* en *transformeren* sluiten hierop aan
Visie NL2120 (NL2120 2025)	Een transformatieve visie op de toekomst van Nederland	De adaptatierichting *transformeren* sluit hierop aan
Meeveranderen met het klimaat (WKR 2025)	Gebruikte scenario's *intensiveren* en *transformeren*	Dezelfde scenario's worden gebruikt in deze analyse
Naar een toekomstbestendige omgang met water (SER 2025)	Maakt onderscheid tussen een 'technische' en een 'samenhangende' aanpak, met binnen de laatste aanpak focus op 'ons land … inrichten' en 'fundamentele keuzes'	Eenzelfde onderscheid kenmerkt *intensiveren* en *transformeren* in deze analyse
Ruimtelijke ordening in een veranderend klimaat (Rli 2024)	Maakt onderscheid tussen 'waterstaatkundige maatregelen' en 'ruimtelijke keuzes'	Eenzelfde onderscheid kenmerkt *intensiveren* en *transformeren* in deze analyse.
PlanMER Nationale Adaptatie Strategie 2026 (Movares 2026)	Gebruikt *intensiveren* en *transformeren* als 'alternatieven' in de PlanMER	Dezelfde scenario's worden gebruikt in deze analyse
Herziene Nationale Klimaatadaptatie Strategie (IenW et al. in prep.)	Onderscheid (in de adaptatiepaden per sector) maatregelen als passend in *intensiveren* of *transformeren*	Dezelfde scenario's worden gebruikt in deze analyse

Ook bij de maatregelen die zijn opgenomen in de adaptatiepaden die in de ontwerp-NAS worden gebruikt, wordt onderscheid gemaakt in 'intensiveren' en 'transformeren'. Waar de adaptatiepaden vooral gericht zijn op het aangeven van mogelijke maatregelen en de volgorde waarin deze kunnen worden toegepast, richten we ons in de voorliggende studie voornamelijk op de resultaten van maatregelen: wat betekenen maatregelen voor de omvang van toekomstige klimaatrisico's, en wat zijn andere voor- en nadelen van de verschillende adaptatieopties?

Hoewel in de praktijk altijd gekozen zal worden voor een mix van opties uit beide adaptatierichtingen, zijn de adaptatierichtingen een goed hulpmiddel om belangrijke keuzes voor klimaatadaptatie en de consequenties daarvan in beeld te brengen. Ze vormen de hoekpunten van het spectrum aan keuzeopties die Nederland heeft voor klimaatadaptatie. Beide adaptatierichtingen zullen resulteren

in een meer klimaatbestendig Nederland, waarin de samenleving minder last heeft van klimaatverandering. Toch zullen de resultaten anders zijn: er zal verschil zijn in hoe Nederland eruitziet, welke activiteiten er wel of niet worden ondernomen en waar die worden gehouden. De adaptatierichtingen zijn daarmee een middel om te helpen na te denken welke keuzes Nederland kan en wil maken voor klimaatadaptatie.

Twee adaptatierichtingen: intensiveren en transformeren

Een belangrijk onderscheid tussen de twee adaptatierichtingen die we in deze analyse gebruiken, is of Nederlanders zo veel mogelijk proberen vast te houden aan de activiteiten die ze nu doen en de locaties waarop ze die doen, of dat Nederland ervoor kiest om meer te gaan denken vanuit ruimtelijke oplossingen en de activiteiten af te stemmen op de omgeving. De eerste insteek kan omschreven worden als het 'intensiveren' en doorontwikkelen van het huidig beleid, zonder grote veranderingen in wat mensen doen en de plekken waarop ze dat doen. Hierbij wordt met vooral technische maatregelen de omgeving zoveel mogelijk aangepast aan de verdere ontwikkeling van de samenleving, en op die manier geprobeerd zo weinig mogelijk last te hebben van klimaatverandering. In de tweede insteek wordt Nederland ruimtelijk aangepast aan de natuurlijke omstandigheden, zoals het water- en bodemsysteem, en aan de te verwachten effecten van klimaatverandering. Dan is er meer een 'transformatie', waardoor bijvoorbeeld natuur, steden, landelijk gebied en bedrijvigheid beter bestand zijn tegen verschillende gevolgen van klimaatverandering.

In tabel 5.2 staat een aantal belangrijke verschillen tussen intensiveren- en transformeren-scenario's. Bij transformeren zijn de omgeving en de natuurlijke systemen het uitgangspunt voor meer grootschalige en ruimtelijke aanpassingen. Door die aanpassingen worden de maatschappij en de leefomgeving veerkrachtiger en beter bestand tegen mogelijke gevolgen van klimaatverandering. Bij intensiveren zijn veel meer de huidige activiteiten op de huidige locaties het uitgangspunt en zijn de vooral kleinschalige, technische maatregelen bedoeld om de omgeving aan te passen aan de eisen van de activiteiten ter plekke.

Tabel 5.2
Een aantal belangrijke verschillen tussen intensiveren en transformeren

Intensiveren	Transformeren
Maatregelen om grotendeels hetzelfde op dezelfde plekken te kunnen blijven doen	Omgeving is leidend voor wat je doet
Lokale maatregelen	Aanpassingen op brede schaal
Maatregelen om het natuurlijk systeem aan te passen aan de activiteiten	Gebruik maken van of terugkeren naar het natuurlijk systeem
Gericht op het tegengaan van specifieke klimaatrisico's	Gericht op het robuuster en veerkrachtiger maken van systemen (natuur, water, stad)
Focus op zelfredzaamheid van mensen	Focus op samenredzaamheid van de maatschappij

Voorbeelden kunnen het verschil duidelijk maken. Hittegolven zijn bedreigend voor de gezondheid, dus is het belangrijk te zorgen voor verkoeling. Bij intensiveren zal de nadruk liggen op technische oplossingen in en rond woningen, scholen en werkgebouwen. Denk aan zonweringen en airco's. Transformeren gaat veel meer uit van grootschalige en ruimtelijke aanpassingen, zoals een verkoelende inrichting van de gebouwde omgeving met schaduwrijke bomen, water, en minder

verharding. Een ander voorbeeld is de keuze tussen het verder ophogen van dijken (*intensiveren*) of aanvullend ruimte geven aan rivieren (*transformeren*) om overstromingen tegen te gaan.

Keuze van adaptatieopties deels normatief, en kan resulteren in verschillende vormen van klimaatbestendigheid

Deze keuze tussen 'intensiveren' en 'transformeren' is voor een belangrijk deel normatief: gekoppeld aan wat mensen wel of niet belangrijk vinden. Bij intensiveren wordt vooral waarde gehecht aan het behouden van wat ze nu hebben en doen, en is er meer vertrouwen in techniek en innovatie om de negatieve effecten van klimaatverandering tegen te kunnen gaan. Bij transformeren wordt er meer toegewerkt naar een meer veerkrachtige samenleving en leefomgeving, om zo veel mogelijk bestand te zijn tegen verschillende mogelijke klimaatrisico's. In veel gevallen is immers niet exact bekend welke gevolgen klimaatverandering zal hebben, op welke plaats en wanneer. In deze adaptatierichting wordt ook meer gezocht naar win-win: het met dezelfde maatregelen bereiken van meerdere positieve resultaten.

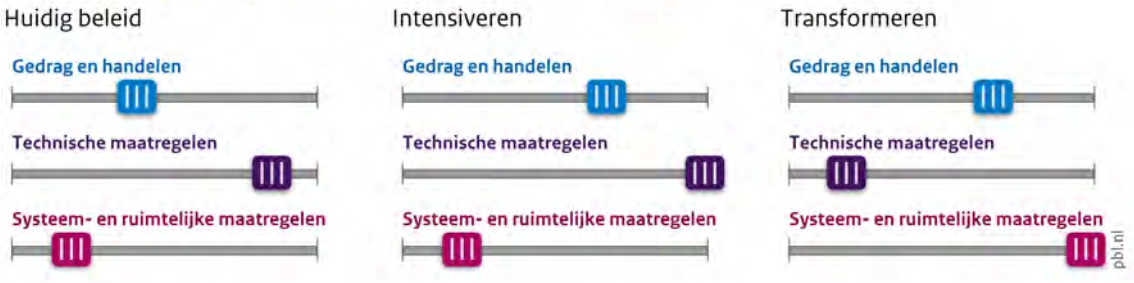
5.1.1 Adaptatierichting *intensiveren*

Faciliteren huidige activiteiten, met vooral technische maatregelen

In deze adaptatierichting blijft Nederland in grote lijnen dezelfde activiteiten op dezelfde locaties uitvoeren. Met gerichte maatregelen wordt geprobeerd de effecten van klimaatverandering zoveel mogelijk te beperken en Nederland weerbaarder te maken. De maatregelen zijn vooral technisch van aard en zijn gericht op specifieke problemen op specifieke plekken (zie figuur 5.1).
Voor meer ingrijpende 'systeemmaatregelen' die iets veranderen aan de werking van bijvoorbeeld steden of natuur is in deze benadering minder ruimte. Ook 'ruimtelijke maatregelen' die op grote schaal veranderen wat iedereen waar doet, spelen hier geen grote rol.

Figuur 5.1

Type maatregelen bij huidig beleid en adaptatierichtingen



Bron: PBL

Voorbeelden van maatregelen in deze adaptatierichting zijn:

- Technische waterstaatkundige maatregelen, zoals dijkversterking of verhoging van de pompcapaciteit om overstromingen tegen te gaan.
- Meer flexibiliteit in het peilbeheer van de grote meren om ervoor te zorgen dat er meer water beschikbaar is voor gebruik in droge perioden.
- Kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater om te zorgen voor voldoende grondwater voor drinkwaterwinning.
- Toepassing van druppelirrigatie in de landbouw, waardoor er minder water nodig is voor beregening van gewassen in droge perioden.

- Verdroging van natuur verminderen door water vanuit andere locaties in te laten, en dit eerst te zuiveren als het te vervuild is voor de natuur.

In bijlage 3 wordt per sector een opsomming gegeven van de maatregelen in de adaptatierichtingen.

Ondanks de maatregelen moeten Nederland in de toekomst rekening blijven houden met negatieve effecten van klimaatverandering. Het is daarom belangrijk dat overheid, bedrijven, burgers en gemeenschappen weten wat ze kunnen verwachten en – waar nodig – passend handelen ('gedrag en handelen' in figuur 5.1).

5.1.2 Adaptatierichting *transformeren*

Activiteiten aanpassen aan omgeving, met vooral ruimtelijke maatregelen

In adaptatierichting transformeren neemt Nederland maatregelen om ervoor te zorgen dat steden, landelijk gebied, natuur, bedrijvigheid en andere activiteiten zo functioneren dat ze beter bestand zijn tegen meerdere klimaatrisico's. Oftewel, er wordt gestreefd naar meer veerkrachtige, robuuste systemen. Een voorbeeld van dit soort 'systeemmaatregelen' (zie ook figuur 5.1) is het verbeteren van de omstandigheden van natuur, waardoor de natuur gezonder wordt en minder snel last heeft van klimaatverandering. Of het aanleggen van meer groen en water in steden, waardoor deze tijdens hittegolven minder opwarmen, en er in natte perioden ook meer water kan worden vastgehouden om tijdens droogtes te gebruiken. Ruimtelijke maatregelen spelen in deze insteek een belangrijke rol. Daarbij worden activiteiten beter aangepast aan de omgeving. Landbouwgewassen die veel water vragen worden bijvoorbeeld geteeld op locaties waar dat water al beschikbaar is. Bij de keuze voor woningbouwlocaties wordt gekeken naar de kans op overstroming en wateroverlast. En er wordt meer uitgegaan van een natuurlijk grondwaterpeil, waar de activiteiten dan op worden aangepast. Deze insteek sluit aan bij het uitgangspunt in de Ontwerp Nota Ruimte dat bij ruimtelijke ontwikkelingen en ruimtegebruik rekening wordt gehouden met water, bodem en ondergrond (VRO 2025).

Voorbeelden van maatregelen in deze adaptatierichting zijn:

- 'Water, bodem en klimaat sturend', waarbij menselijke activiteiten worden aangepast aan de natuurlijke kenmerken ter plekke van het water, de bodem en de te verwachten effecten van klimaatverandering.
- Meer ruimte voor water, door het aanleggen van overstromingsvlaktes en buffers, of het weer laten meanderen van rivieren en beken. Hierdoor kunnen overstromingen en wateroverlast beter worden opgevangen.
- Grootschalige besparing van het gebruik van water voor drinkwater, voor beregening in de landbouw, en in de industrie. Hiermee wordt het probleem van te weinig water in droge perioden 'aan de basis' aangepakt.

In bijlage 3 wordt per sector een opsomming gegeven van de maatregelen in de adaptatierichtingen.

Door de ruimtelijke maatregelen levert transformeren een andere omgeving op dan intensiveren (en ook anders dan in de huidige situatie). De maatregelen worden vaak op grotere schaal genomen (bijvoorbeeld groen en blauw in de stad, ruimte voor water) en zijn vaak niet direct gericht op een specifiek effect van klimaatverandering, maar zorgen voor een meer veerkrachtige maatschappij en leefomgeving. Net als bij intensiveren zijn ook hier 'gedrag en handelen' belangrijk: er zullen

in de toekomst uitdagingen blijven door klimaatverandering, waar de samenleving zo goed mogelijk mee om moeten kunnen gaan.

5.1.3 Invulling van de adaptatierichtingen

Beide adaptatierichtingen leiden tot een ander klimaatbestendiger Nederland, met een andere inrichting, andere activiteiten op andere locaties en een andere verdeling van verantwoordelijkheden en kosten. In figuur 5.2 is te zien hoe anders Nederland er uit kan zien bij de twee adaptatierichtingen.

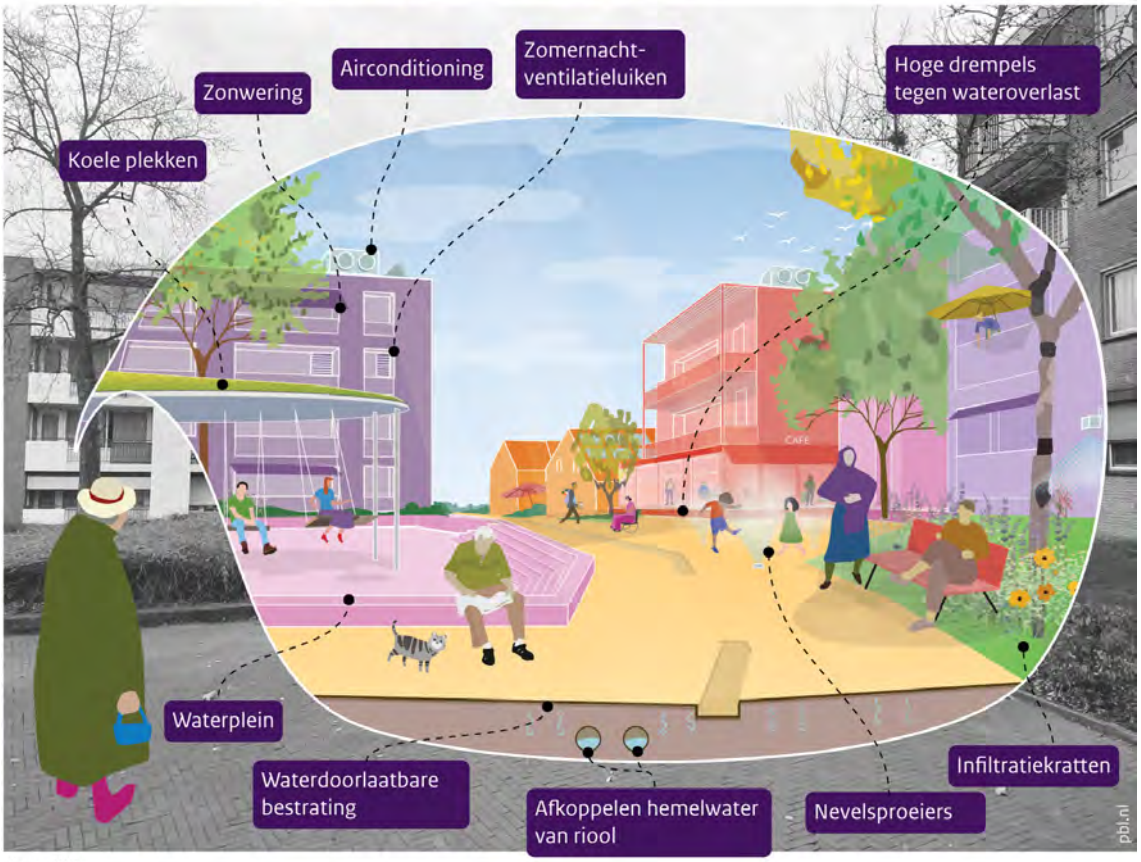
Figuur 5.2
Verzameling beeldende illustraties van gebouwde omgeving en landelijk gebied en hoe deze omgevingen kunnen veranderen bij de adaptatierichtingen intensiveren en transformeren



Bron: PBL

Beeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

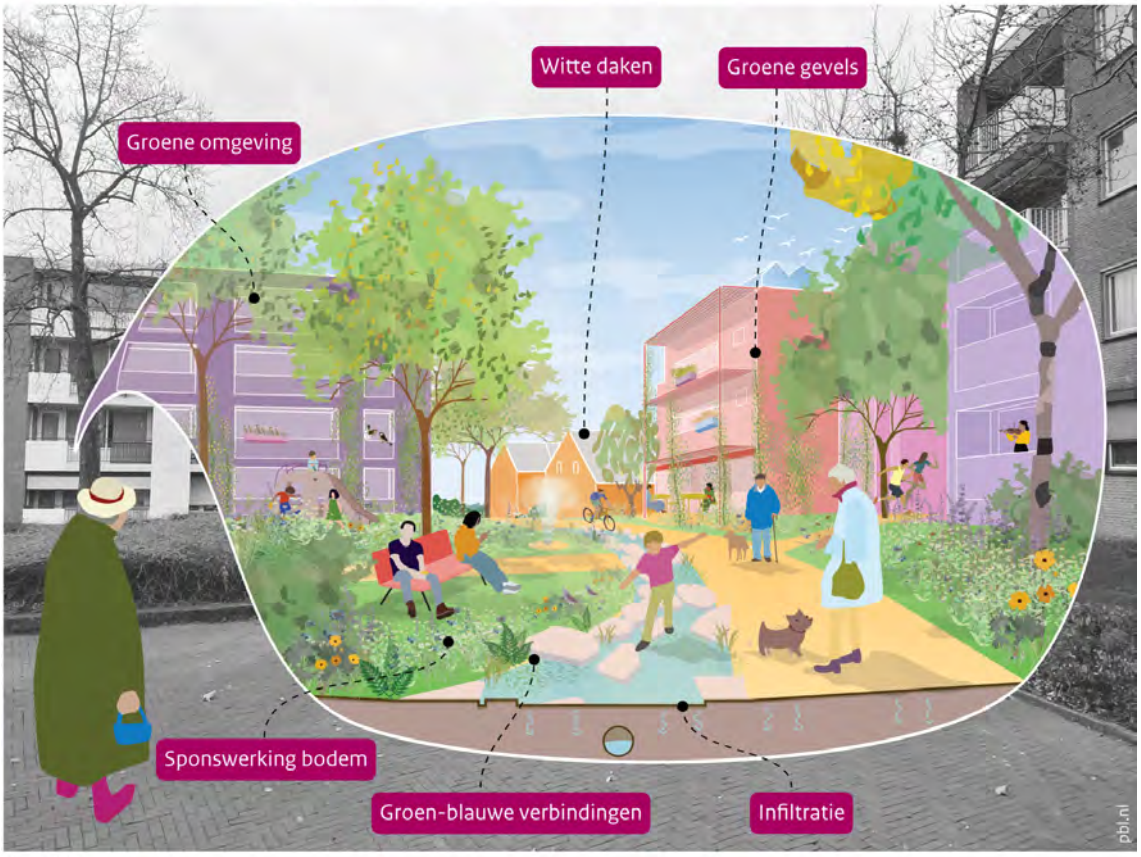
Intensiveren: Maatregelen in de gebouwde omgeving



Bron: PBL

Beeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

Transformeren: Maatregelen in de gebouwde omgeving



Bron: PBL

Beeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

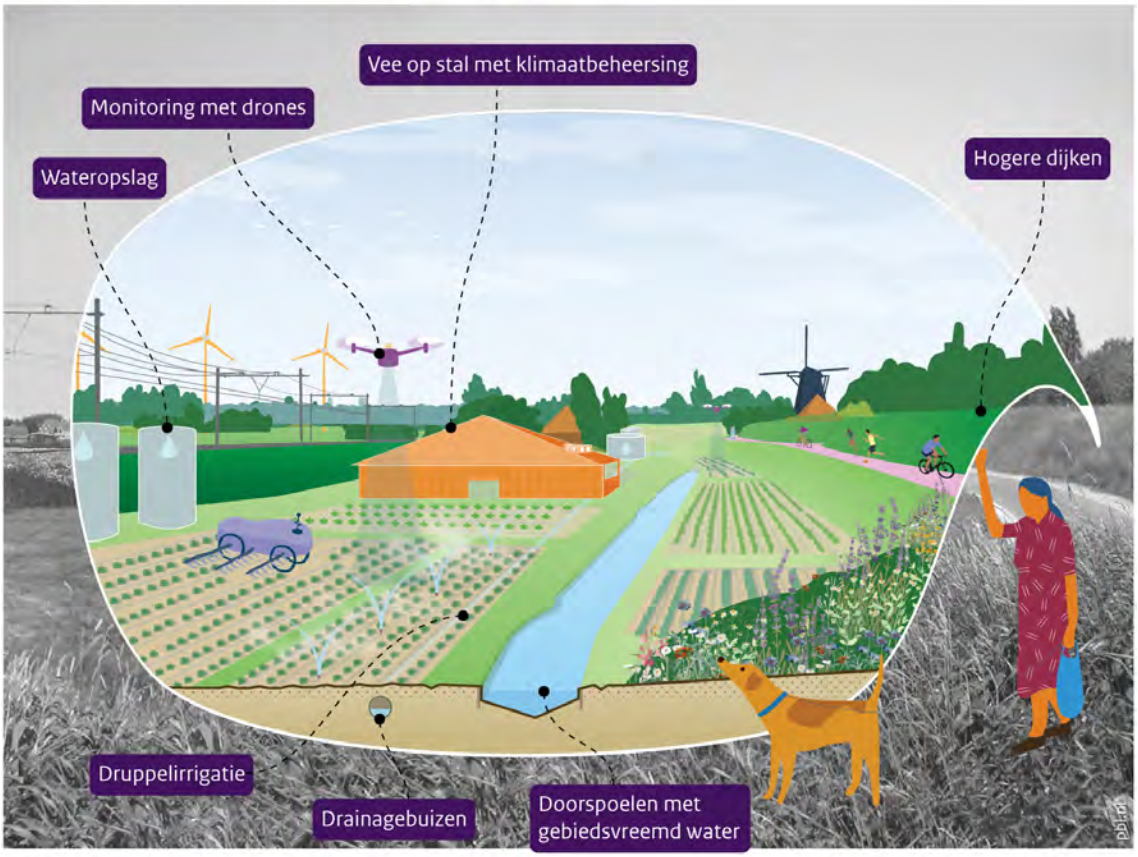
Effecten klimaatverandering huidige situatie in het landelijk gebied



Bron: PBL

Beeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

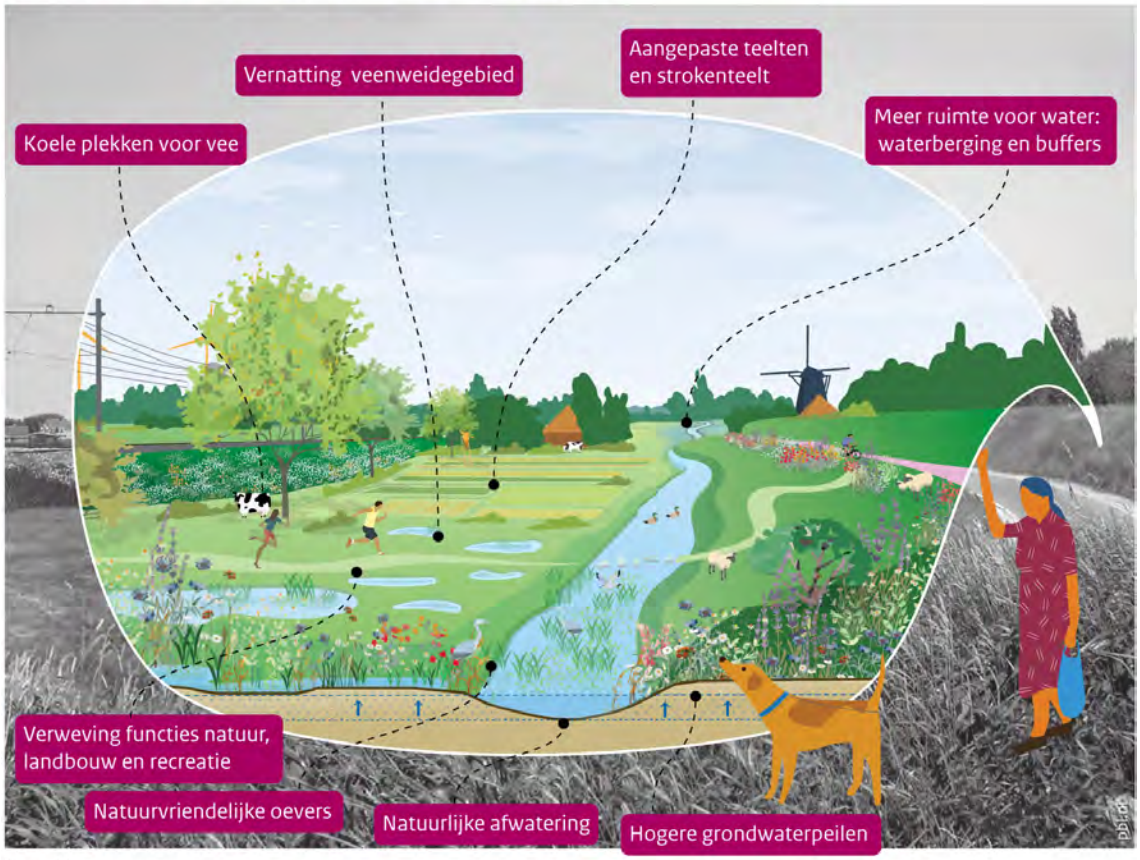
Intensiveren: Maatregelen in het landelijk gebied



Bron: PBL

Beeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

Transformeren: Maatregelen in het landelijk gebied



Bron: PBL

Beeld door PosadMaxwan in opdracht van PBL

Afweging voor- en nadelen bij keuze adaptatiemaatregelen

Beide adaptatierichtingen hebben voor- en nadelen, die goed moeten worden meegewogen bij het kiezen van maatregelen. Intensiveren heeft als voordeel dat maatregelen effectief gericht zijn op het verminderen van specifieke klimaatrisico's. Het vraagt om minder (grootschalige) ruimtelijke veranderingen, met daardoor minder ingrijpende gevolgen voor het dagelijks leven van mensen. Een nadeel is dat er meer kans is op afwenteling in tijd, ruimte of op andere groepen mensen, omdat de focus meer ligt op individuele klimaatrisico's. Omdat het onzeker is waar en wat Nederland in de toekomst exact gaat merken aan effecten van klimaatverandering, bestaat de kans dat er bij intensiveren maatregelen worden genomen die zijn gericht op specifieke klimaatrisico's of locaties, die achteraf niet nodig blijken te zijn. Ook kan een (te grote) afhankelijkheid van technologie de samenleving kwetsbaar maken, bijvoorbeeld als de energie- of ICT-voorzieningen uitvallen.

Bij transformeren wordt meer toegewerkt naar veerkracht, waardoor de maatschappij beter bestand wordt tegen verschillende, onzekere gevolgen van klimaatverandering. Deze insteek geeft meer mogelijkheden om ook bij te dragen aan andere verbeteringen, bijvoorbeeld van de biodiversiteit, van een gezonde leefomgeving of recreatie. Daar staat tegenover dat bij transformeren meer grootschalige ruimtelijke veranderingen plaatsvinden, die meer veranderingen vragen aan de maatschappij. En waarbij niet bij voorbaat zeker is of dergelijke grote veranderingen in toekomst daadwerkelijk nodig zullen zijn.

Het is belangrijk dat de samenleving en politiek van tevoren nadenken over waar ze uiteindelijk willen uitkomen. Voor welke verhouding tussen intensiveren en transformeren kiezen ze – waar, wanneer en voor welke uitdaging? In een door het PBL uitgezette enquête geven de respondenten aan een voorkeur te hebben voor de transformatieve adaptatierichting boven de intensiverende oplossingen (zie hoofdstuk 6).

5.1.4 Gedrag en handelen

Vergroten maatschappelijke weerbaarheid bij alle oplossingen nodig

Nederland moet in de toekomst rekening blijven houden met de negatieve effecten van klimaatverandering. Maatregelen kunnen die effecten beperken, maar nooit helemaal wegnemen of voorkomen. Daarom is het, ongeacht de gekozen oplossingen, belangrijk dat overheid, bedrijven, mensen en gemeenschappen weten wat ze kunnen verwachten aan effecten van klimaatverandering. En dat ze vervolgens leren hoe daar op de juiste manier naar te handelen, om zo het effect te verkleinen of herstel te versnellen. Dit geldt niet alleen voor het moment waarop zo'n effect optreedt, maar ook ervoor en erna. Dit wordt ook wel 'maatschappelijke weerbaarheid' genoemd. Er zijn veel verschillende maatregelen mogelijk om hiervoor te zorgen, zoals informatievoorziening en reclamecampagnes voor bewustwording, waarschuwingssystemen, rampenplannen en oefeningen, het goed regelen van hulpdiensten, afspraken over herstelmaatregelen en opvang van mensen die getroffen worden. Het nemen van dit soort maatregelen die de 'maatschappelijke weerbaarheid' vergroten is daarom altijd verstandig, oftewel een 'geen-spijt-maatregel'.

5.1.5 Governance bij de adaptatierichtingen

Adaptatierichtingen vragen om verschillende vormen van governance

Beide adaptatierichtingen verschillen in de uitgangspunten voor de governance: de organisatie van het bestuur, de verdeling van verantwoordelijkheden, de invulling van beleid en regels, en de wijze waarop maatschappij en bedrijven worden aangestuurd. Ook stellen beide adaptatierichtingen, om adaptatiemaatregelen goed te laten landen, verschillende eisen aan de governance.

Bij intensiverende maatregelen nadruk op zelfredzaamheid en economische belangen

Voor intensiverende maatregelen lijken de uitgangspunten en eisen voor de govenance in veel aspecten op de huidige. Bij deze adapatatierichting wordt aangenomen dat de nadruk ligt op zelfredzaamheid: mensen zijn overwegend zelf verantwoordelijk voor hun eigen aanpassing aan klimaatverandering. Wet- en regelgeving worden zo beperkt en zo eenvoudig mogelijk gehouden, en ook de instrumenten die worden gebruikt om regels en beleid uit te voeren zijn zo eenvoudig mogelijk.

De financiering die nodig is voor intensiveren sluit goed aan bij de huidige fondsen voor klimaatadaptatie, die vaak nauwe, specifieke doelstellingen hebben en een kortetermijnfocus op doelmatigheid (WKR 2025). Economische belangen spelen een grote rol. De invloed van bedrijven op de invulling van beleid en maatregelen is groot, wat deels ten koste gaat van een effectieve betrokkenheid van burgers. Groepen in een zwakkere positie worden minder gehoord, wat leidt tot meer ongelijkheid (PBL 2023c).

Bij transformatieve maatregelen regie en keuzes nodig van overheid, en meer regelgeving en handhaving

Klimaatadaptatie wordt bij de transformeren-richting gezien als een collectieve publieke opdracht, onder regie van de Rijksoverheid, met expliciete keuzes voor langetermijnstrategieën. Maatregelen zijn meer overkoepelend en grootschaliger, maar zullen ook duurder zijn. Er is een integrale aanpak nodig, met aandacht voor samenwerking tussen sectoren en voor gebiedsprocessen. Ook is er meer regelgeving nodig om transformaties te realiseren. Bijvoorbeeld regelgeving voor de bouw, zoals het verplicht loskoppelen van regenwater van de afvoer van het riool. Ook zal er meer bureaucratie nodig zijn voor de uitvoering en handhaving van deze regels (PBL 2023c).

Transformeren vraagt om verbrede financiering, met oog voor alle voordelen voor de maatschappij op de langere termijn (WKR 2025). Als het overkoepelende publieke belang het uitgangspunt is, is er waarschijnlijk aandacht voor burgerbetrokkenheid, maar kan de individuele vrijheid voor handelen en consumeren worden ingeperkt (PBL 2023c). Om te komen tot een governance waarbinnen grootschalige transformaties mogelijk zijn, is het nodig dat er een breed maatschappelijk bewustzijn ontstaat over en draagvlak voor het nut en de urgentie van klimaatadaptatie, die meer ingrijpende maatregelen legitimeert.

Knelpunten om aan te pakken in toekomstig klimaatadaptatiebeleid

Klimaatadaptatie raakt meerdere sectorale beleidstrajecten, en meerdere bestuurslagen. Ten behoeve van deze studie heeft ORG-ID een beleidsanalyse uitgevoerd, gebaseerd op inbreng van beleidsverantoordelijken en deskundigen (ORG-ID 2026) (zie tekstkader 5.1). Daarin wordt geconstateerd dat de verdeelde verantwoordelijkheden voor klimaatadaptatie – over verschillende ministeries, provincies, waterschappen en gemeenten – een knelpunt vormt, dat om verduidelijking vraagt. Ook vonden de deelnemers aan de beleidsanalyse dat een betere verbinding nodig is tussen beleid voor de korte termijn en voor lange termijn, en dat er een gebrek is aan structurele financiering voor klimaatadaptatie, met name voor hittestress en droogte.

Tekstkader 5.1 Beleidsanalyse klimaatadaptatie

In 2025 heeft ORG-ID in opdracht van het PBL een beleidsanalyse klimaatadaptatie uitgevoerd, met als doel inzicht te geven in de voortgang en de belangrijkste knelpunten van het Nederlandse klimaatadaptatiebeleid (ORG-ID 2026). De analyse bestond uit twee fasen. In de eerste fase is een enquête uitgezet onder beleidsmedewerkers die verantwoordelijk zijn voor de onderzochte beleidsvelden. Basis hiervoor was de PBL-analyse naar de huidige klimaatrisico's (PBL 2024a) en aanvullend literatuuronderzoek van ORG-ID. In de tweede fase zijn vier verdiepingssessies georganiseerd over onderwerpen die in de resultaten van de enquête een hoge prioriteit hadden gekregen:

-Politiek, verdeling, communicatie
-Meerlaags denken
-Financiering
-Cascade- en keteneffecten.

Aan de verdiepingssessies deden naast beleidsmedewerkers ook andere belanghebbenden en deskundigen mee, waaronder medewerkers van provincies en gemeenten, en mensen van belangen- en maatschappelijke organisaties.

De deelnemers aan de analyse kwamen onder meer tot de volgende conclusies:

-Politieke context: door de langetermijnfocus van klimaatadaptatie is het onderwerp gevoelig voor de politieke context en kwetsbaar voor een eventuele focus van politiek op de kortere termijn.
-Verdelingsvraagstuk en sociale weerbaarheid: er moet meer aandacht komen voor de verdeling van kosten en baten, vooral als het gaat om gezondheid, verstedelijking en vervoersmodaliteiten.
-Meerlaags denken: meerlaagsveiligheid biedt een brede basis voor de aanpak van alle klimaatopgaven, niet alleen die van waterveiligheid. Bij meerlaagsveiligheid wordt niet alleen gekeken naar preventie, maar ook naar ruimtelijke adaptatie (bijvoorbeeld rekening houden met de kans op overstromingen bij ruimtelijke keuzes, zoals aangepast bouwen) en naar crisisbeheersing (het beperken van de gevolgen wanneer een extreme gebeurtenis optreedt). Hierbij is ook meer aandacht en budget nodig voor cascade- en keteneffecten en voor snel en robuust herstel.
-Financiering: er is een gebrek aan structurele financiering voor klimaatadaptatie, met name voor hittestress en droogte.
-Overkoepelend: stimuleer publiek-private samenwerking en zoek naar innovatieve financieringsmodellen, zorg voor een langetermijnvisie en integreer klimaatadaptatie in alle relevante beleidsdomeinen, verbeter de samenwerking en communicatie tussen overheden, bedrijven en burgers, en monitor het beleid, schades en effecten van beleid.
Zie verder *Beleidsanalyse Klimaatadaptatie* (ORG-ID 2026).

5.2 Toekomstige klimaatrisico's bij aanvullende adaptatierichtingen

In deze paragraaf beschrijven we wat de intensiveren- en transformeren-aanpak kunnen betekenen voor de belangrijkste klimaatrisico's die in hoofdstuk 4 zijn beschreven: temperatuurstijging en hitte, droogte en wateroverlast.

5.2.1 Temperatuurstijging en hitte

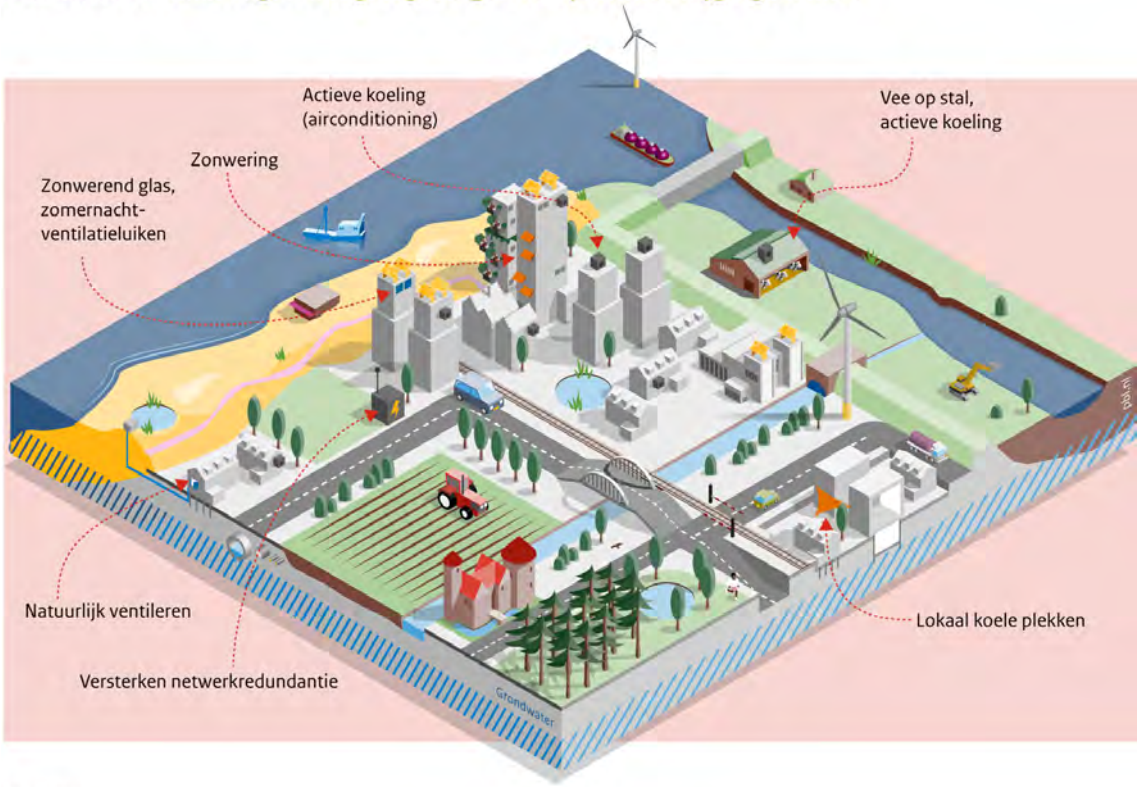
Op kortere termijn positief gezondheidseffect mogelijk door technische maatregelen aan gebouwen en leefomgeving, gedragsaanpassingen, verbetering waarschuwing, en versterken zorg

Bij intensiveren kunnen technische maatregelen aan gebouwen en leefomgeving worden genomen om de gezondheidsrisico's van hitte te verminderen. Hierbij gaat het onder andere om het installeren van zonneschermen en airconditioning, en plaatsen van horren om muggen en pollen buiten te houden, en wel de mogelijkheid te houden voor natuurlijke ventilatie voor afkoeling tijdens de nacht. Dit soort maatregelen kan wel andere problemen vergroten, waarbij bijvoorbeeld airconditioning de klimaatverandering kan verergeren door toegenomen gebruik van elektriciteit dat de buitentemperatuur doet stijgen. Bij deze insteek past ook het sturen op aanpassingen van gedrag, bijvoorbeeld via waarschuwingssystemen bij hitte, slechte luchtkwaliteit, meer kans op infectieziekten en allergieën, en (te) sterke UV-straling. Met adviezen kan de overheid proberen ervoor te zorgen dat iedereen in gedrag daarmee rekening houdt.

Een andere maategel bij deze adaptatierichting is het versterken van de zorgverlening. Dit kan door meer zorgpersoneel, maar de verwachting is dat er in 2034 in de zorg juist een tekort is van 266.000 medewerkers. Wel kunnen technologische ontwikkelingen in de zorg, zoals snellere methoden om ziektes vast te stellen en verbeterde medicijnen en behandelingen, bijdragen aan het verkleinen van gezondheidseffecten.

Figuur 5.4

Intensiveren: Maatregelen tegen gevolgen temperatuurstijging en hitte



Bron: PBL

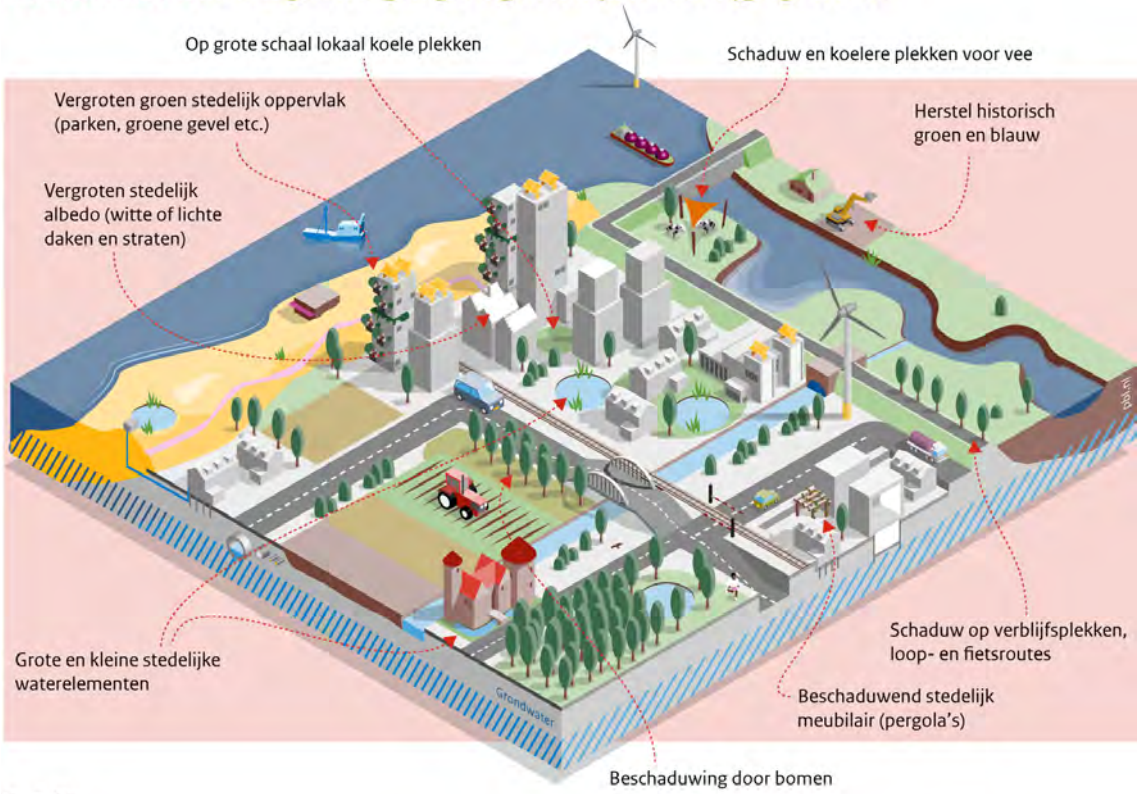
De intensiveren-maatregelen zijn veelal kortetermijnoplossingen, waardoor ze telkens moeten worden aangevuld met nieuwe maatregelen als de effecten van klimaatverandering in de loop der tijd toenemen, met ook weer extra kosten. Het voordeel is wel dat technische maatregelen sneller in te zetten zijn dan de grootschalige maatregelen die een belangrijke rol spelen in een transformatieve insteek. Maar het is niet zeker of deze technische insteek voldoende is om op de langere termijn een toename in de gezondheidseffecten te voorkomen. Bij intensiveren ligt de verantwoordelijkheid grotendeels bij individuele bedrijven en burgers. Niet iedereen zal evenveel financiële ruimte hebben om huis of omgeving aan te passen of om de kosten van zorgverlening te betalen. Hierdoor worden gezondheidsverschillen tussen groepen – die er ook nu al zijn – nog groter, zoals in levensverwachting, aantal gezonde levensjaren en aantal chronische aandoeningen.

Een meer structurele insteek kan meer winst voor gezondheid opleveren op de langere termijn

Bij de transformeren-aanpak wordt er gekozen voor meer structurele systeemaanpassingen waarbij de samenleving en leefomgeving meer worden aangepast aan de te verwachten klimaatverandering. Meer bomen, planten en water (meer 'groen en blauw') kunnen bijvoorbeeld zorgen voor meer schaduw en lagere tempraturen. Hier ligt een rol voor zowel overheden bij de inrichting van steden en buurten, als particulieren bij de inrichting van tuinen. Hierbij zou tegelijk ook rekening moeten worden gehouden met pollen en infectieziekten. Groen is daarbij ook goed voor de mentale gezondheid.

Figuur 5.5

Transformeren: Maatregelen tegen gevolgen temperatuurstijging en hitte



Bron: PBL

Hierbij is wel de kanttekening te plaatsen dat het vergroenen van steden haaks kan staan op een andere beleidsopgave: het creëren van meer woningen in de bestaande steden. Door verdichting is er minder ruimte voor groenvoorzieningen en waterpartijen, en bij hoogbouw is vergroenen niet eenvoudig. Dit roept de vraag op wat de ideale mix en vorm is van verdichten en vergroenen in de stad. Naast maatregelen in de leefomgeving kan ook worden ingezet op sociaal-maatschappelijke veranderingen. Het dagritme van de samenleving kan worden aangepast aan het verloop van de temperatuur en de kracht van de zon, bijvoorbeeld door meer flexibele werktijden, vooral voor buitenwerkers. En ook activiteiten zoals sporten kunnen worden gepland op momenten waarop de weersomstandigheden het meest gunstig zijn om zo negatieve effecten op de gezondheid te voorkomen.

Het verbeteren van de gezondheidstoestand van mensen is een goede structurele aanpak om de negatieve gezondheidseffecten van klimaatverandering te verminderen. Maatregelen die gezonde voeding en meer bewegen stimuleren kunnen hierbij helpen. Soms zijn er directe meekoppelkansen van adaptatie met gezondheid: een aantrekkelijke groene omgeving kan mensen ook stimuleren om meer buiten de deur te bewegen. Mensen met een goede gezondheid zijn minder kwetsbaar voor allerlei negatieve invloeden. Dat vermindert niet alleen de impact van klimaatverandering, maar ook andere aandoeningen en ziektes die niet aan het klimaat gekoppeld zijn. Wat weer de druk op de zorgverlening kan verminderen.

Zo'n transformatieve insteek vraagt om een langetermijninvestering: het gaat vaak om maatregelen die langere tijd nodig hebben om uitgevoerd te kunnen worden of niet direct resultaat hebben. Op kortere termijn zal het effect dus kleiner zijn, maar op de langere termijn zal deze aanpak meer

gezondheidswinst opleveren. De verwachting is dat ook bij sterke klimaatverandering dit soort systeemoplossingen van de transformatie-aanpak uitkomst bieden.

Intensiveren effectiever dan transformeren als het gaat om beperken hittestress bij vee

Met maatregelen kan de duur dat vee aan hitte wordt blootgesteld worden verminderd. Bij intensiveren gaat het om technische maatregelen in stallen, zoals ventilatie en sproeiers, om zo de kans op hittestress te beperken. Maar ook om innovatie voor bijvoorbeeld het beter kunnen voorspellen van hitteperiodes en het ondersteunen van dieren (naast koeling ook voedingsondersteuning). Als dit soort maatregelen op grote schaal en consequent worden toegepast, kunnen deze de economische schade als gevolg van hittestress in stallen met 50 tot 80 procent verminderen. Het effect op buitendieren (grazend vee, paarden, scharrelpluimvee) blijft echter beperkt. Ook na intensiveren blijft er een mogelijke economische schade tussen 0,1 en 0,4 miljard euro per jaar in 2050, en tussen de 0,1 en 0,6 miljard euro per jaar in 2100. Hiermee is de intensiveren-aanpak effectiever dan transformeren (zie hieronder). Wel heeft een veehouder bij intensiveren te maken met hogere energie- en onderhoudskosten. En stroomstoringen tijdens hittegolven kunnen leiden tot plotselinge hoge verliezen, vooral bij het pluimvee (zie ook keteneffecten in hoofdstuk 18).

Bij transformeren wordt voor de buitenruime uitgegaan van vooral ruimtelijke maatregelen die voor schaduw en koelere plekken voor de dieren zorgen. In stallen kunnen betere ventilatie, hogere luchtsnelheid en aangepaste oriëntatie van het gebouw de ophoping van warmte en vochtigheid verminderen. Voor vee buiten kunnen bij hitte ook de weidegang (ook zomers meer vee op stal) en begrazingspatronen worden aangepast. Wanneer adaptatiemaatregelen consequent en op grote schaal worden toegepast kunnen naar verwachting de economische verliezen door hittestress een 30 tot 50 procent lager komen te liggen. Met name in het hoge klimaatscenario met frequentere of langere hete periodes blijft er echter een risico bestaan, vooral tijdens meerdaagse hitteperiodes en bij hoge bezettingsdichtheden. Voor 2050 wordt dit mogelijk restrisico geschat op tussen de 0,1 en 0,5 miljard euro per jaar, voor 2100 tussen de 0,1 en 0,7 miljard euro per jaar, onder andere training van de boeren en monitoring van de klimatologische omstandigheden in de stal kunnen deze bedragen nog naar beneden brengen.

5.2.2 Droogte

Met intensiveren veel maatregelen mogelijk, maar tekorten aan oppervlaktewater blijven

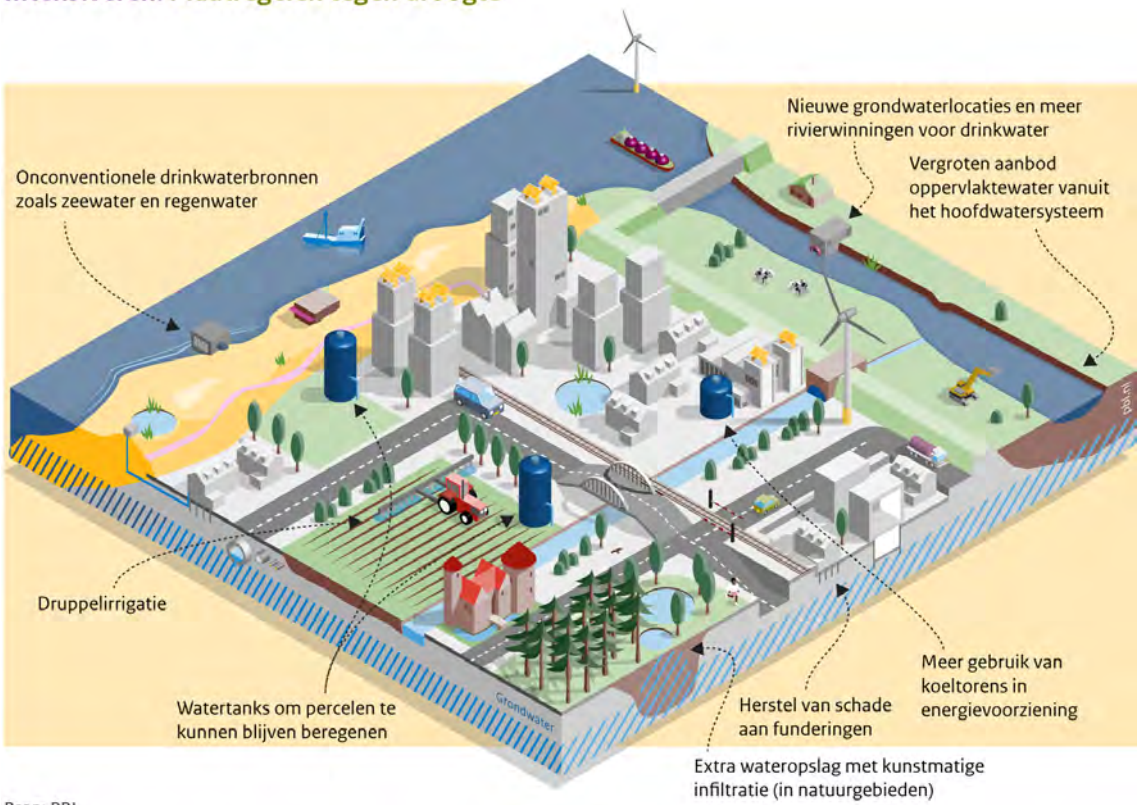
Met de adaptatierichting intensiveren wordt bij droogte eerst ingezet op het vergroten van het aanbod van oppervlaktewater vanuit het hoofdwatersysteem. Daarbij kan gedacht worden aan maatregelen als het vernatten van laag-Nederland met innovatieve technieken zoals onderwaterdrainage of drukdrainage. De aanvoercapaciteit naar laag-Nederland vanuit andere gebieden wordt vergroot, en er wordt een groter peilverschil in het IJsselmeer en het Markermeer toegestaan (van 20 centimeter), zodat er een grotere voorraad water beschikbaar is voor Noord-Nederland. De Nieuwe Waterweg wordt ondieper gemaakt, waardoor er minder zout water vanuit de zee kan binnendringen.

De watervraag voor het doorspoelen van polders neemt bij sterke klimaatverandering flink toe, met naar verwachting bijna een verdubbeling in 2050. En de watervraag voor peilbeheer in de veengebieden neemt naar verwachting toe met 35 procent. Aan deze extra watervraag kan maar deels voldaan worden met het extra aanbod vanuit hoofdwatersysteem.
De watervraag van de landbouw, industrie en drinkwater neemt maar beperkt af, want er wordt beperkt gestuurd op afname van deze vraag. Hiertoe worden vooral technische maatregelen genomen. In de landbouw wordt bijvoorbeeld ingezet op druppelirrigatie, en veredeling en genetische

modificatie (GMO's) om gewassen te ontwikkelen die beter bestand zijn tegen droogtestress. In de energievoorziening wordt meer gebruik gemaakt van koeltorens. Voor vaarwegen worden waterstanden actief beheerd via baggeren, sluizenbeheer en waterverdeling. Drinkwaterbedrijven die oppervlaktewater gebruiken breiden hun bekkens en duinreserves uit en zetten, bij verslechterde rivierwaterkwaliteit, in op geavanceerdere technologieën voor zuivering. Desondanks zullen, door vaker en intensere perioden van droogte, voor de meeste sectoren naar verwachting de effecten van droogte niet afnemen.

Figuur 5.6

Intensiveren: Maatregelen tegen droogte



Bron: PBL

Dit alles betekent dat er zoetwatertekorten blijven in zowel West- als Noord-Nederland. De scheepvaart krijgt met steeds meer beperkingen te maken. Door onder andere verondieping en harde overgangen krijgen waterkwaliteit en natuur steeds meer last van extremen in verzilting, opwarming en verdroging. Door verdergaande klimaatverandering is het na 2050 nodig om maatregelen te nemen om de watervraag te verminderen.

In deze adaptatierichting is er sprake van een grote concurrentie tussen regio West en regio Noord. Als bijvoorbeeld gekozen wordt om meer water naar het noorden te sturen, dan worden de gevolgen van extreme droogte in West-Nederland groter, ondanks de daar getroffen maatregelen. Daardoor komt de noodzaak voor grote systeemkeuzes sneller dichterbij, zoals verdere aanpassingen in het landgebruik, of verdere vergroting van de waterbuffer in het IJsselmeer en Markermeer.

Met transformeren tot 2050 kleiner tekort aan oppervlaktewater door afname van de vraag

In de adaptatierichting transformeren wordt in laag-Nederland eerst ingezet op het beperken van de vraag naar oppervlaktewater. Het verzilten en verbrakken van het regionale watersysteem wordt geaccepteerd en het land- en watergebruik wordt daarop afgestemd. Om de Randstad te beschermen wordt in deze adaptatierichting gekozen voor grote systeemoplossingen. Zo wordt, net

als in de oplossingsrichtingen van het Deltaprogramma het afsluiten van de Nieuwe Waterweg als optie overwogen, Deze maatregel waarbij de open verbinding met de zee wordt verplaatst naar het Haringvliet, heeft grote consequenties. Er zijn dan grote pompinstallaties nodig om het water van de Rijn en Maas weg te kunnen pompen, en er is meer ruimte voor dijken nodig. De natuur in de estuaria zal veranderen, en de open verbinding naar de haven van Rotterdam verdwijnt. Scheepvaart moet zich anders gaan organiseren met overslag naar binnenschepen op de Maasvlakte. Het vervoer van lading naar het achterland zal hierdoor dus complexer worden, meer tijd vragen en duurder worden. Een dergelijke keuze zal moeten worden beoordeeld in samenhang met de logistiek en operationele aspecten om de Rotterdamse haven te kunnen doen functioneren (KPZS 2024).

Figuur 5.7

Transformeren: Maatregelen tegen droogte



Bron: PBL

De watervraag in de landbouw neemt sterk af doordat er minder beregend wordt (in 2050 12 procent minder dan nu, 55 procent minder dan in intensiveren (Deltares 2026c). Er wordt meer ingezet op droogteresistente gewassen, zoals kikkererwten, linzen, pastinaak of bepaalde tomatenrassen, en grasland dat niet meer beregend wordt. Er wordt ook ingezet op risicospreiding door het bouwplan te verruimen naar gewasrotatie met meer gewasdiversiteit.

Bij vaarwegen kan transformeren leiden tot het verplaatsen van terminals, het bevorderen van vervoer via spoor of weg, en het ontwikkelen van alternatieve vaarwegen. Bij ontwikkelingen in het energiesysteem worden het water- en bodemsysteem en klimaatverandering expliciet meegenomen in de ruimtelijk planning. Dit betekent dat nieuwe energie- en waterstofcentrales geplaatst worden langs de kust en estuaria, om mogelijke koelwatertekorten te beperken. Maatregelen om drinkwater te besparen worden in deze adaptatierichting verplicht, en oppervlaktewaterbedrijven breiden het bergen van water in natuurlijke bekkens en in de duinen uit, om lage afvoeren beter te kunnen overbruggen.

Hiermee zijn naar verwachting tot 2050 de watertekorten en bijbehorende risico's in grote delen van West- en Noord-Nederland beperkt. Maar dit vraagt wel grote aanpassingen in vooral de landbouw en de scheepvaart. Na 2050 zullen door verdergaande klimaatverandering de tekorten weer toenemen en zullen extra maatregelen en keuzes nodig zijn.

Tot slot biedt deze adaptatierichting meer mogelijkheden om aan te sluiten bij andere opgaven dan intensiveren. Aanpassingen van landgebruik zijn namelijk beter te combineren met andere beleidsdoelen zoals biodiversiteitsbeleid, het tegengaan van bodemdaling en de landbouwtransitie (zie WKR 2025). Daar staat wel tegenover dat ruimtelijke ingrepen in het algemeen grootschaliger zijn en meer verandering vragen van de maatschappij.

Intensiveren-maatregelen hebben vooral lokale effecten op grondwaterstanden

In de adaptatierichting intensiveren blijft de ruimtelijke structuur in hoog-Nederland vrijwel ongewijzigd, en wordt ingezet op technische maatregelen om de daling van grondwaterstanden te beperken. Het watersysteem wordt actief beheerd, met nieuwe waterbuffers en extra zoetwatervoorraden, inlaat van gebiedsvreemd water en actieve infiltratie van oppervlaktewater. De landbouw blijft grootschalig en gemechaniseerd, met droogteresistente gewassen, precisielandbouw, druppelirrigatie en peilgestuurde drainage. De toename in drinkwatervraag ten opzichte van de huidige situatie wordt opgevangen door nieuwe grondwaterlocaties en meer rivierwinningen. Natuurgebieden kunnen minder droogtegevoelig worden gemaakt door extra wateropslag met kunstmatige infiltratie.

Dit soort maatregelen zal vooral lokaal effectief zijn, maar niet leiden tot een significante en structurele vermindering van de klimaatgerelateerde achteruitgang in grondwaterafhankelijke natuur. Zo kan met druppelirrigatie circa 30 procent water worden bespaard, maar bij sterke klimaatverandering wordt de besparing tenietgedaan door de extra vraag naar water. Voor natuur betekent dit een afname van het aandeel duurzaam beschermde soorten met 10 tot 25 procent ten opzichte van de huidige situatie, een afname vergelijkbaar met de situatie in 2050 bij alleen huidig beleid (zie hoofdstuk 9). Ook de droogteschade in de landbouw blijft in deze adaptatierichting min of meer gelijk aan de situatie in 2050 bij alleen huidig beleid.

Transformeren leidt tot minder daling van grondwaterstanden, door vermindering watergebruik en herstel natuurlijke processen

Met de adaptatierichting transformeren wordt het gebruik van grondwater sterk verminderd. Er vindt een verschuiving plaats van een deel van de akkerbouw naar de kleigronden in laag-Nederland, waar meer water beschikbaar is. Dit gaat ten koste van het nu aanwezige grasland en de veeteelt. Grootschalige wateraanvoer voor de landbouw stopt, en de landbouw past zich aan aan de natuurlijke beschikbaarheid van grondwater. Maatregelen om drinkwater te besparen worden verplicht. Als gevolg hiervan neemt de drinkwatervraag naar grondwater af: in 2050 met gemiddeld 20 tot 25 procent in het beperkt risicoverhogende contextscenario, en met 10 tot 15 procent in het sterk risicoverhogende scenario. Bestaande grondwaterwinningen worden zoveel mogelijk behouden door natuurlijke infiltratie van regen- en oppervlaktewater rondom de waterwinningen.

Grote delen van hoog-Nederland worden ingericht voor het herstellen van hydrologische processen, zoals natuurlijke infiltratie en beekherstel. Er worden bufferzones ingesteld rondom natte natuur en beekdalen, waar de grondwaterstanden worden verhoogd. Met al deze maatregelen kan de klimaatgerelateerde daling van de grondwaterstanden sterk gereduceerd of zelfs volledig gecompenseerd worden. Vooral het verhogen van de ontwateringsbasis in bufferzones draagt hier sterk aan bij. Het aandeel duurzaam beschermde plant- en diersoorten neemt daarmee in 2050 toe met 5 tot 10 procent ten opzichte van de huidige situatie. Bij sterke klimaatverandering zal dit aandeel

na 2050 echter weer afnemen. De droogteschade in de landbouw neemt in 2050 af tot minder dan 100 miljoen euro, bij een droogte van eens in de 10 jaar.

Combinatie van verschillende oplossingen nodig om op de langere termijn de oppervlaktewatertekorten te beperken

De uitwerking van de oplossingsrichtingen intensiveren en transformeren laat zien dat er op de langere termijn een combinatie nodig is van verschillende soorten oplossingen. Met een intensiverende insteek kan nog een tijd worden vastgehouden aan de activiteiten die burgers en bedrijven nu doen, en op dezelfde locaties als nu. Maar er zijn steeds meer en verdergaande maatregelen nodig om de tekorten aan oppervlaktewater hanteerbaar te houden, wat steeds meer belemmeringen gaat opleveren voor onder andere de drinkwatervoorziening en de scheepvaart. Ook natuur zal bij deze aanpak blijvend last houden van te weinig water. Omdat het watertekort steeds meer zal toenemen, zijn er uiteindelijk – zeker bij sterke klimaatverandering – meer drastische maatregelen nodig, zoals nog grotere aanpassingen in het landgebruik, verdere vergroting van de waterbuffer in het IJsselmeer en Markermeer, of het afsluiten van de Nieuwe Waterweg.

Met ruimtelijke maatregelen, waterbesparing en een ingrijpende maatregel als het afsluiten van de Nieuwe Waterweg, biedt een transformatieve aanpak voldoende oplossingen om het uitgangspunt van het Deltaprogramma (watertekorten beperken tot eens in de 20 jaar) te halen, maar wel met grote en ingrijpende consequenties voor vooral de landbouw en de scheepvaart. Ook bij deze insteek zullen uiteindelijk de watertekorten richting 2100 verder oplopen en zullen, met name bij een sterke klimaatverandering, extra maatregelen nodig zijn, ook maatregelen die een meer intensiverend karakter hebben.

Gebruik van grondwater vraagt om nieuwe afweging van belangen

Met de oplossingsrichting intensiveren blijft een groot deel van de natuur op de hoge zandgronden in de toekomst last houden van verdroging. Een transformatieve aanpak kan er wel voor zorgen dat de verdroging van natuur in 2050 grotendeels wordt opgelost. Een fundamenteel deel van de oplossing, die het probleem aan de basis aanpakt, is het drastisch terugbrengen van de vraag naar water door huishoudens, landbouw en industrie. Dit vraagt om ingrijpende maatregelen in de landbouw, zoals verhoging van grondwaterstanden en beperking van gebruik van grondwater voor beregening. Ook voor de drinkwatervoorziening heeft dit gevolgen, in de vorm van het verminderen van grondwaterwinningen.

Dit zijn ingrepen die door de overheid actief moeten worden gestuurd en vragen om een (nieuwe) afweging van welke belangen voorrang krijgen bij de waterverdeling in hoog-Nederland. Blijven de landbouw en de industrie water krijgen ten koste van de kwaliteit van de natuur en de bescherming van nat archeologisch erfgoed? Of moeten er keuzes worden gemaakt op basis van het natuurlijk watersysteem en het principe dat water en bodem sturend zijn, waardoor landbouw en drinkwaterwinningen moeten verplaatsen of zich aanpassen aan de nieuwe omstandigheden, en de natuur zich kan herstellen? Het is belangrijk dat deze keuzes snel worden gemaakt, zodat de gewenste insteek op tijd kan worden ingezet.

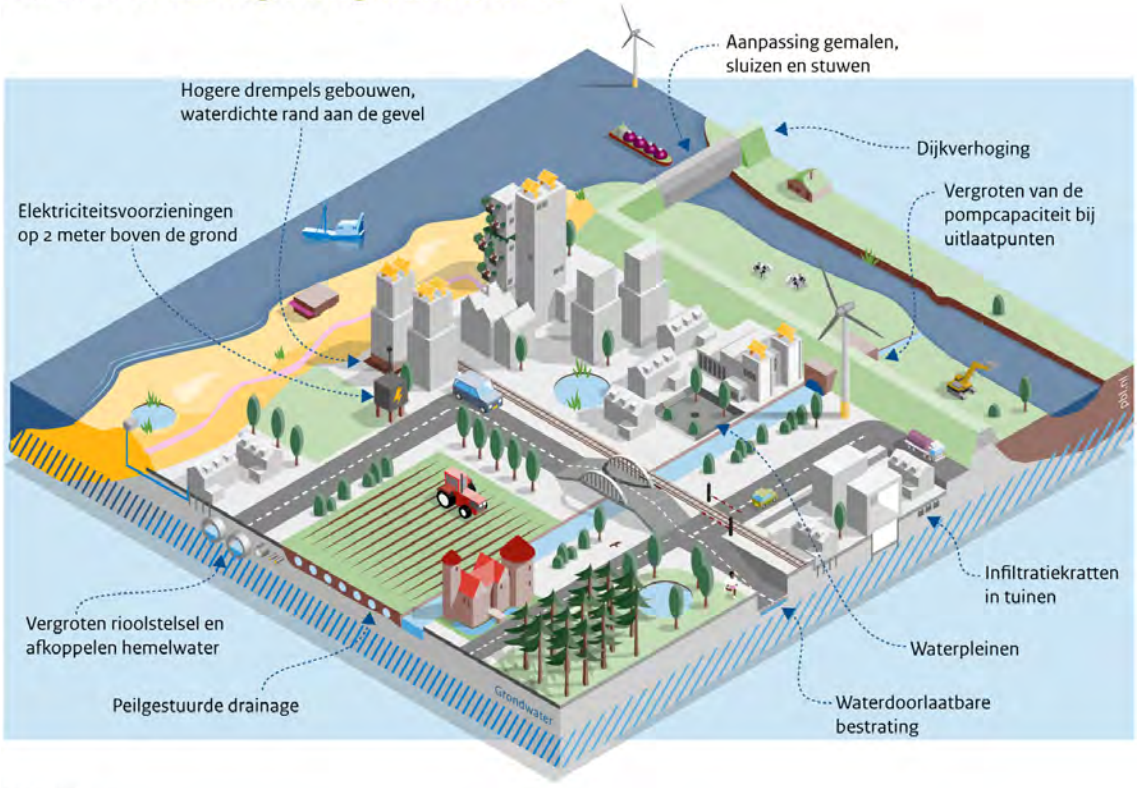
5.2.3 Wateroverlast

Intensiveren-aanpak kan de impact van wateroverlast deels verminderen, maar cascaderisico's blijven

Met de adaptatierichting intensiveren wordt het wateroverlastrisico aangepakt door voort te bouwen op het huidige beleid door de technische maatregelen uit te breiden en te versterken. Dit betekent in de gebouwde omgeving onder andere het vergroten van de capaciteit van de riolering en het aanleggen van extra technische waterbergingen, zoals ondergrondse tanks en vijvers. De bestaande infrastructuur wordt technisch versterkt. Voor wegen betekent dit vooral het verbeteren van afwateringssystemen. Voor het spoor worden rails, taluds en drainage aangepast om wateroverlast te beperken. Deze aanpak is effectief tegen regelmatige, intense buien en kan de directe gevolgen van wateroverlast beperken. Bij zeldzame, zeer extreme neerslag blijft het risico op wateroverlast en schade echter bestaan, terwijl de infrastructuur bij uitzonderlijke gebeurtenissen alsnog faalt. Cascaderisico's, onder andere door de afhankelijkheid van energievoorziening en communicatiesystemen, blijven een bron van kwetsbaarheid.

Figuur 5.8

Intensiveren: Maatregelen tegen wateroverlast



Bron: PBL

Voor de landbouw is het zo snel mogelijk afvoeren van overtollig water een preventieve maatregel om het risico van wateroverlast te beperken. Drainage kan verbeterd worden door deze optimaal te onderhouden, te vernieuwen en/of deze te intensiveren door de afstand tussen de buizen te verkleinen. Hierdoor neemt enerzijds het risico op wateroverlast af, maar anderzijds wordt hiermee de mogelijkheid beperkt om water langer vast te houden.

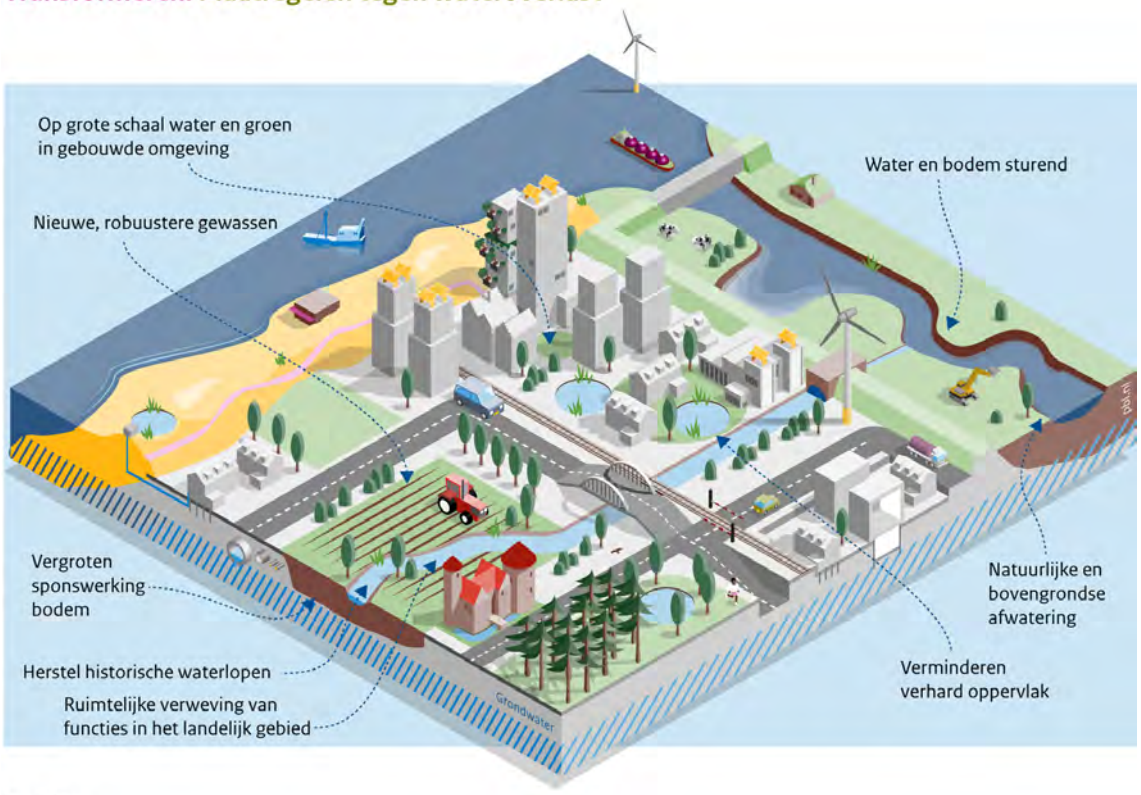
Met transformeren nemen de risico's af, door groen en blauw, ruimtelijke aanpassingen en meer ruimte voor water

Bij transformeren wordt in de gebouwde omgeving ingezet op het creëren van een groen-blauwe infrastructuur die water vasthoudt en infiltreert in plaats van het snel af te voeren. Door het verminderen van verhard oppervlak en het vergroten van de infiltratiecapaciteit kan het regenwater beter worden opgevangen en vertraagd afgevoerd. Deze maatregelen dragen ook bij aan een aangenamere leefomgeving met meer groen en biodiversiteit. Nieuwbouwprojecten worden bij voorkeur gepland op locaties met een lager risico op wateroverlast, en bestaande stedelijke gebieden worden klimaatbestendig ingericht met een minimumpercentage groen en water.

Bij transformeren wordt de veerkracht van het transportsysteem vergroot door redundantie in het netwerk te versterken en gebruikers te laten aanpassen aan tijdelijke verstoringen. Voor wegen en spoor betekent dit het toevoegen van alternatieve routes naar kritieke locaties en overstap- en overslagpunten voor modal shift, waardoor de kans op onbereikbaarheid bij wateroverlast verkleind wordt. Deze infrastructurele maatregelen vereisen grote investeringen in aanleg en onderhoud, maar zijn effectief om transport betrouwbaar te houden. Daarnaast kunnen gebruikers zich aanpassen door woon-werkverkeer te verminderen via thuiswerken, waarbij wel juiste ICT-middelen en stabiele voorzieningen nodig zijn, en door voor goederentransport een minder strikt 'just-in-time'-principe in het voorraadbeheer te hanteren, waardoor verstoringen door wateroverlast beter kunnen worden opgevangen.

Figuur 5.9

Transformeren: Maatregelen tegen wateroverlast



Bron: PBL

Met deze adaptatierichting zal de gevoeligheid van de landbouw voor extreme neerslag en lange natte perioden afnemen door een grotere mate van risicospreiding door het bouwplan te verruimen. Door meer ruimtelijke verweving van functies in het landelijk gebied, zoals landbouw,

waterbeheer en natuur, zal water meer de ruimte krijgen, waardoor extreme buien en lange natte perioden beter kunnen worden opgevangen. In sommige gebieden worden nieuwe, robuustere gewassen geïntroduceerd die beter bestand zijn tegen wateroverlast, wat lokaal bijdraagt aan een lagere kwetsbaarheid van het landbouwsysteem. Ondanks deze maatregelen blijft vochtschade een risicofactor, door onder andere zuurstoftekort en een verhoogde druk op ziekten en plagen.

Combinatie nodig van snelheid van intensiveren en structurele aanpak van transformeren

Met intensiveren kunnen veel fysieke risico's direct worden aangepakt, maar blijven veel keten- en afhankelijkheidsrisico's intact. Ondanks technische maatregelen kunnen energie-, telecom- en drinkwatervoorziening uitvallen, met name na 2050. Intensiveren biedt snelle, gerichte oplossingen die vooral effectief zijn voor diegenen die kunnen investeren, maar laat onderliggende kwetsbaarheden intact. Bovendien kan intensiveren leiden tot lock-in en risicoverschuiving, waarbij risico's worden afgewenteld op natuurlijke systemen of er op langere termijn onhoudbare beheerlasten ontstaan.

Transformeren pakt problemen fundamenteler aan en creëert structurele veerkracht, maar kent langere transitietijden en vraagt ingrijpende veranderingen met mogelijke conflicten tussen belangen. Met transformeren worden sommige ketenafhankelijkheden doorbroken, waardoor cascaderisico's structureel dalen. Tegelijkertijd brengt de transformeren-aanpak transitiesrisico's met zich mee: tijdens de ombouw kunnen tijdelijk hogere kwetsbaarheden ontstaan en de kosten en baten van de transitie kunnen ongelijk verdeeld zijn over regio's en sectoren.

Hoe Nederland er in de toekomst richting 2050 en verder, zowel klimatologisch als sociaal-economisch, uit zal zien is onzeker. De adaptatierichtingen gaan daar verschillend mee om. Intensiveren biedt relatief voorspelbare korte-termijnresultaten, maar is minder flexibel bij onverwachte extremen of nieuwe inzichten. Transformeren vereist adaptieve planning en fasering om bij veranderende omstandigheden bij te kunnen sturen. Geen van beide adaptatierichtingen elimineert alle risico's volledig. De uitdaging is om de snelheid van intensiveren te combineren met de structurele aanpak van transformeren.

5.3 Conclusies en aandachtspunten

Beide adaptatierichtingen resulteren in vermindering van klimaatrisico's, maar substantiële vermindering vooral bij transformeren

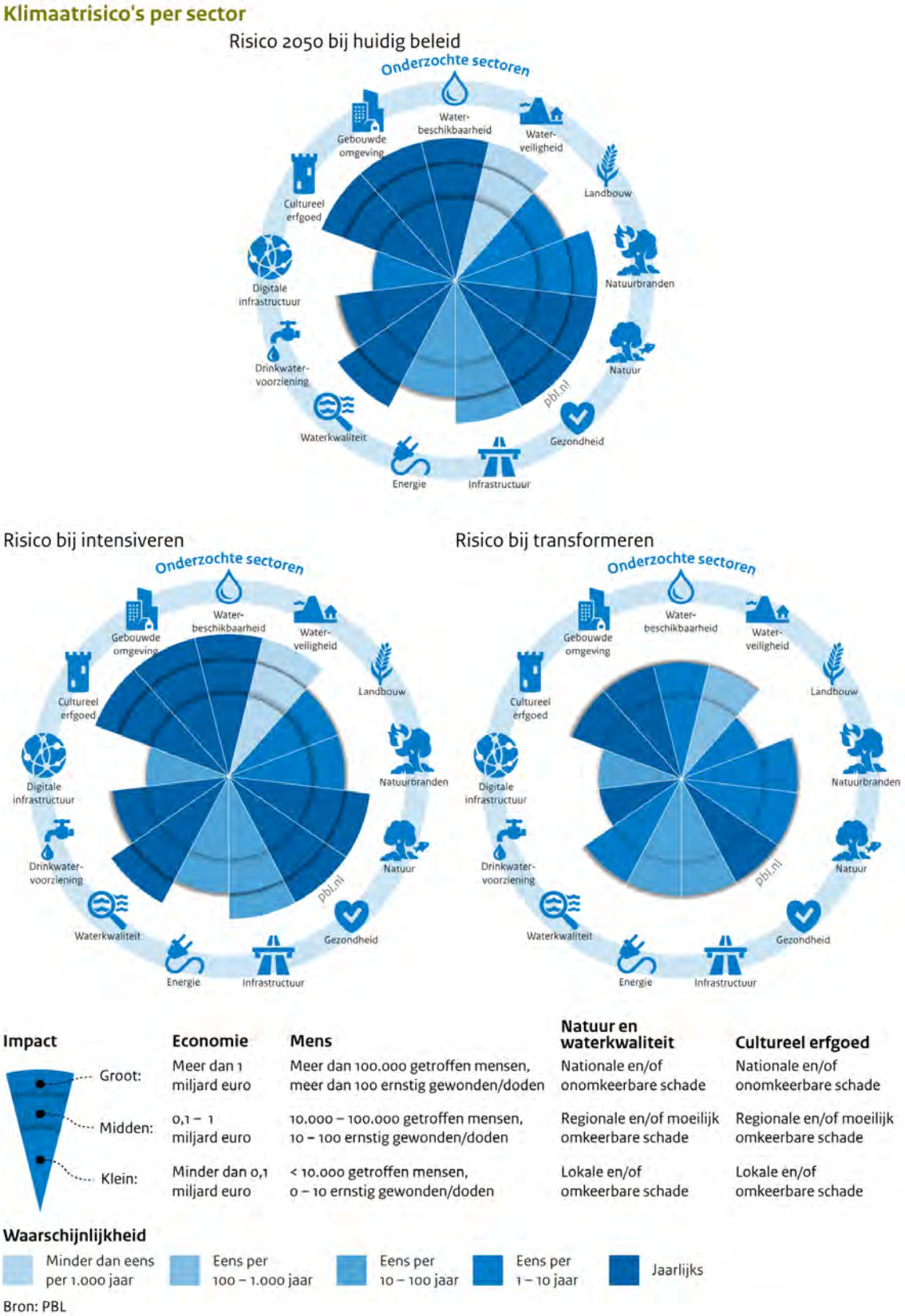
In de paragrafen hierboven is beschreven welke effecten op de klimaatrisico's verwacht kunnen worden bij de twee adaptatierichtingen intensiveren en transformeren (zie paragraaf 5.1). Figuur 5.10 geeft een samenvattend overzicht hiervan.
In dit figuur zijn alleen verminderingen zichtbaar die groot genoeg zijn om te resulteren in een andere klasse van waarschijnlijkheid of impact. Bij maatregelen uit intensiveren is de vermindering hiervoor vaak te beperkt. Bij transformeren is een meer substantiele verbetering te zien, onder andere in de impact op drinkwatervoorziening, landbouw, natuur, waterkwaliteit, gezondheid, gebouwde omgeving en infrastructuur. Daarbij geldt wel de kanttekening dat de maatregelen in transformeren over het algemeen grootschaliger zijn dan in intensiveren.
Net als in het vergelijkbare schema in figuur 4.7, geldt ook voor dit figuur dat de risico's worden getoond bij het sterk risicoverhogend contextscenario. Het gaat hier namelijk om een risicoanalyse, waarin we een zo compleet mogelijk overzicht willen laten zien met welke klimaatrisico's Nederland te maken kan krijgen. Bovendien blijkt uit de analyse dat tot 2050 de verschillen in de

klimaatrisico's tussen de contextscenario's klein zijn (op een enkele uitzondering na, zie hiervoor deel II). Voor 2100 is het beeld anders, met grotere verschillen tussen de contextscenario's, zie ook hiervoor de beschrijvingen per sector in deel II. In het figuur wordt per sector het belangrijkste risico of combinatie van risico's weergegeven, dat wil zeggen het risico met de grootste kans op voorkomen en/of de grootste impact. In tabel 5.3 staat aangegeven om welke risico's het gaat.

Tabel 5.3
Belangrijkste klimaatrisico('s) per sector/onderwerp, zoals weergegeven in figuur 5.10

Onderwerp/sector	Risicocategorie (economie, mens, natuur, cultuur) en belangrijkste risico('s)
Waterveiligheid	Mens, economie, natuur, cultuur: schade en slachtoffers door overstromingen vanuit zee, grote rivieren en meren
Landbouw	Economie: minder opbrengst akkerbouw door droogte
Natuurbranden	Mens, economie, natuur, cultuur: kans op gelijktijdige of onbeheersbare natuurbranden door hitte en droogte
Natuur	Natuur: onomkeerbare schade aan biodiversiteit en ecosysteemdiensten door hitte en droogte
Gezondheid	Mens: aantal extra sterfgevallen door hogere temperaturen; toename infectieziekten, allergieën, en ziekte door luchtverontreiniging en UV-straling
Infrastructuur	Economie: fysieke schade en maatschappelijke verliezen door extreem weer, met gevolgen hebben voor binnenvaart, weg en spoor
Energie	Economie, mens: schade en overlast door uitval energievoorziening door droogte
Waterkwaliteit	Natuur: onomkeerbare schade aan biodiversiteit en ecosysteemdiensten door hitte en droogte
Drinkwatervoorziening	Natuur: toenemende schade aan natuur door drinkwateronttrekkingen
Digitale infrastructuur	Economie, mens: schade en overlast door uitval datacenters bij extreme hitte i.c.m. langdurige droogte
Cultureel erfgoed	Cultuur: verdwijnen nat archeologisch erfgoed door droogte
Gebouwde omgeving	Mens: aantal mensen getroffen door hitte en wateroverlast
Waterbeschikbaarheid	Economie: verzilting in laag-Nederland

Figuur 5.10
Grootte van belangrijke klimaatrisico's per sector en onderwerp, in 2050 bij het sterk risicoverhogend contextscenario, bij voortzetting van huidig beleid, en bij intensiveren en transformeren



Bron: PBL

Voor de meeste opgaven is een mix van verschillende oplossingen nodig

Voor meerdere opgaven lijkt het nodig om in te zetten op een mix van de intensiveren- en transformeren-aanpak. Dat geldt bijvoorbeeld voor waterveiligheid, waterbeschikbaarheid en natuurbranden. Daar is het belangrijk om uit te gaan van een zogenoemde meerlaagsveiligheid, met een mix van technische preventiemaatregelen, ruimtelijke maatregelen en gedrag. Ook deelnemers aan de beleidsanalyse van ORG-ID (zie tekstkader 5.1) pleitten voor een brede inzet van het meerlaags denken, waarbij niet alleen gekeken wordt naar preventie, maar ook naar ruimtelijke adaptatie (bijvoorbeeld rekening houden met de kans op overstromingen bij ruimtelijke keuzes, zoals aangepast bouwen) en naar crisisbeheersing en herstel (het beperken van de gevolgen en het versnellen van het herstel wanneer een extreme gebeurtenis optreedt).

Voor gezondheid is het nodig om voor de langere termijn in te zetten op transformeren, zodat onder meer een gezondere leefomgeving en grotere weerbaarheid ervoor zorgen dat de negatieve effecten van klimaatverandering beperkt blijven. Omdat de resultaten van dit soort maatregelen pas op termijn merkbaar worden, en omdat het de vraag is of deze maatregelen voldoende zijn, is het nodig om op korte termijn een mix met intensiverende maatregelen te implementeren. Van belang is dat daarmee op korte termijn wordt gestart.

Voor de drinkwatervoorziening is het effectief om zowel drinkwaterbesparende maatregelen te nemen en maatregelen om de waterkwaliteit bij drinkwaterinnamepunten te verbeteren (transformeren), het aantal bronnen uit te breiden en de zuivering te verbeteren (intensiveren). In de landbouw kunnen intensiverende maatregelen bijdragen aan het verminderen van de gevolgen van klimaatverandering voor de akkerbouw, maar zijn voor een effectievere vermindering van de risico's, en voor risicospreiding, ook transformatieve maatregelen nodig.

Voor cultureel erfgoed kunnen technische maatregelen helpen, maar deze zijn duur. Transformeren kan effectief zijn als daarbij historische kennis wordt gebruikt en rekening wordt gehouden met de impact van maatregelen op erfgoed. Voor wonen kunnen snelle *no-regret*-ingrepen op korte termijn helpen, maar voor de langere termijn, en met name bij nieuwbouw, is een transformatieve insteek het meest effectief. En met alleen technische maatregelen (intensiveren) blijven de tekorten van oppervlaktewater toenemen, er zijn ook ruimtelijke maatregelen nodig.

Voor sommige opgaven is een transformatieve insteek nodig

Daarnaast zijn er opgaven waarvoor met name een transformatieve insteek nodig is om te komen tot substantiële bescherming tegen klimaatverandering. Dit geldt voor natuur en waterkwaliteit, waar met techniek 'natuur- en waterparels' kunnen worden beschermd, maar voor een bredere bescherming transformatieve maatregelen nodig zijn die zorgen voor veerkrachtige natuur- en watersystemen. Tot slot is, om het tekort aan grondwater in droge perioden aan de basis aan te pakken, een structurele vermindering nodig van de drinkwatervraag en de vraag vanuit landbouw en industrie.

Een ruimtelijke analyse laat zien dat een transformatieve insteek in de gebouwde omgeving kan zorgen voor een significante daling van de potentiële overstromingsschade en van wateroverlast, terwijl er ook binnen transformeren nog afwegingen en keuzes mogelijk zijn (zie tekstkader 5.3).

Klimaatverandering leidt tot grote schade, maar kosten van adaptatie veelal onbekend

Er is steeds meer bekend over schade door klimaatverandering in Nederland, maar minder over kosten en financiële baten van adaptatiemaatregelen. Beschikbare studies hierover verschillen

sterk in aanpak (onder andereklimaatscenario's, afbakening), schadebedragen en baten van maatregelen (zie ook KGG 2025a). Zo geven CPB-schattingen aan dat extra adaptatiemaatregelen de jaarlijkse schade door klimaatverandering in Nederland in 2050 met 1-2 miljard euro verminderen, en in 2100 met 7-8 miljard euro, uitgaande van een gemiddelde wereldwijde opwarming van 2°C in 2050 en 3°C in 2100 (CPB 2023). Volgens een analyse voor de gemeente Amsterdam kan een investering tot 2050 van ruim 1 miljard euro ervoor zorgen dat de stad leefbaarder, gezonder en aantrekkelijker wordt en tot bijna eenzelfde bedrag aan klimaatschade worden vermeden (Arcadis 2025). En een recente analyse stelt dat klimaatadaptatie gemeenten voor grote financiële uitdagingen stelt, maar dat de kosten van de klimaatschade eveneens hoog zijn (Ivanova et al. 2026).

Kortere en langere termijn vragen om verschillende aanpakken

Transformatieve maatregelen zijn vaak ingrijpender en van grotere omvang, bijvoorbeeld in het geval van maatregelen die moeten zorgen voor een robuustere natuur. Het zal langer duren om dit soort maatregelen vast te stellen en uit te voeren en de effecten zullen vaak ook pas na langere tijd zichtbaar worden. Er spelen wel economische afwegingen bij de timing van grote investeringen (zie tekstkader 5.2).
Waar ingezet wordt op transformeren, zal het vaak nodig zijn om de gevolgen van klimaatverandering voor de kortere termijn te beperken met gerichte, technische maatregelen.

Tekstkader 5.2 Economische afwegingen bij investeringen in klimaatadaptatie

Waarom is timing bij klimaatadaptatie-investeringen belangrijk?
Klimaatadaptatie vergt beleidskeuzes die zowel technische, ruimtelijke als economische componenten bevatten. In dit kader gaan we in op de economische component, waarbij we inzoomen op één specifiek aspect: de factor tijd. Concreet gaat het om wanneer bepaalde investeringen, maar ook wanneer (groot) onderhoud vanuit economisch perspectief het beste kunnen worden uitgevoerd.

Een mogelijke strategie is om een dijklichaam in één keer met één meter te verhogen. Gezien de geleidelijke stijging van het waterpeil is een dergelijke volledige verhoging meestal niet direct nodig. Een alternatief is een gefaseerde aanpak, bijvoorbeeld twee verhogingen van vijftig centimeter met een tussenliggende periode van dertig jaar. Een dergelijke gefaseerde aanpak vergt een aanvankelijk lagere investering en biedt ruimte om nieuwe inzichten over klimaatverandering en -adaptatie mee te nemen. Daartegenover staat dat twee uitvoeringsmomenten extra organisatie en kosten met zich meebrengen. De spanning tussen te vroeg, te laat investeren en het economische optimale moment investeren vormt de kern van de afweging.

Het concept van 'disconteren'
Om keuzes in de tijd goed te vergelijken, wordt in (maatschappelijke) kosten-batenanalyses gebruikgemaakt van een discontovoet. De discontovoet wordt gebruikt om kosten en baten die op verschillende momenten in de tijd optreden terug te rekenen naar het heden. Hierdoor kunnen investeringen en onderhoud op verschillende tijdstippen consistent worden vergeleken. (Boardman et al. 2018; Werkgroep discontovoet 2025).

Zie bijlage 5 voor een nadere uitwerking.

Transformeren biedt meer kansen voor het verminderen van ongelijke verdeling van klimaatrisico's

Zonder extra beleid en maatregelen zal de ongelijke verdeling van klimaatrisico's over groepen mensen verder toenemen. Ook de implementatie van adaptatiemaatregelen zal ongelijk verdeeld zijn, bijvoorbeeld als het gaat om locaties of kosten. Daarom is het belangrijk om bij de verdere invulling van klimaatadaptatie expliciet aandacht te besteden aan de verdeling van de effecten van klimaatverandering en van de adaptatiemaatregelen, evenals aan de verdeling van de schades en kosten als gevolg van klimaatverandering. In een intensiverende aanpak wordt een belangrijk deel van de verantwoordelijkheid voor het aanpassen aan klimaatverandering bij de burgers gelegd. Dit kan een ongelijke verdeling van klimaatrisico's versterken. Mensen met onvoldoende (financieel) adaptatievermogen kunnen mogelijk bijvoorbeeld hun huis niet aanpassen of andere maarteregelen nemen. Met aanvullende maatregelen zoals gerichte subsidies zou daar binnen deze aanpak iets aan gedaan kunnen worden. Een transformatieve insteek biedt meer kansen voor het verminderen van een ongelijke verdeling, omdat in deze aanpak meer collectieve maatregelen worden genomen, waar grotere groepen mensen baat bij hebben.

Robuustheid en flexibiliteit in klimaatadaptatie

Het klimaat verandert en gevolgen zullen naar verwachting toenemen, maar het blijft onzeker hoe deze gevolgen er in de toekomst exact uit zullen zien. Daarbij is het vooral onzeker in welke mate het gaat lukken om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen en daarmee klimaatverandering te beperken. Er zijn ook kantelpunten, zoals extreme zeespiegelstijging en vertragen van AMOC, die voor extra onzekerheden zorgen. Dit vraagt om robuustheid en flexibiliteit van de adaptatiemaatregelen. Maatregelen en strategieën die inzetten op veerkrachtige systemen, die met een breder palet aan klimaatdreigingen kunnen omgaan, bieden op de lange termijn meer zekerheid dan maatregelen die gericht zijn op het beperken van specifieke klimaatrisico's op specifieke locaties.

Gezien de benodigde tijd om nieuw adaptatiebeleid en -maatregelen vast te stellen en te implementeren is het verstandig om ontwikkelingen goed te monitoren en alvast plannen te maken om met dergelijke onverwachte ontwikkelingen/wildcards om te gaan, en hier niet mee te wachten totdat het kantelpunt bereikt is (Biesbroek et al. 2025).

Klimaatadaptatie vraagt om langetermijnvisie: hoe zien een klimaatbestendig Nederland en samenleving eruit?

Bij een keuze voor technische maatregelen krijgt klimaatbestendigheid een heel andere vorm dan met ruimtelijke maatregelen, met verschillen in hoe Nederland er – letterlijk en figuurlijk – uitziet. Bijvoorbeeld: een technische oplossing voor hitte in de stad, met meer zonwering en airconditioninginstallaties, ziet er anders uit dan een ruimtelijke oplossing met meer groen en water. Ook welke activiteiten mensen wel of niet doen en waar ze die doen zal afhangen van de gemaakte keuzes. Met een technische insteek is het streven om zoveel mogelijk dezelfde dingen op dezelfde locaties te blijven doen, terwijl bij een ruimtelijke oplossing bijvoorbeeld huizen worden gebouwd op plekken waar de kans op overstroming of wateroverlast klein is, en landbouw wordt gedaan op locaties waar al bij voorbaat voldoende water beschikbaar is. Het is belangrijk om van tevoren na te denken over zo'n langetermijnvisie en waar Nederland uiteindelijk zou moeten uitkomen. Ook in de beleidsanalyse van ORG-ID (zie tekstkader 5.1) kwam het belang van zo'n langetermijnvisie naar voren (ORG-ID 2026). Dit is een politieke keuze, die vraagt om betrokkenheid van de maatschappij. In tekstkader 5.3 wordt ingegaan op de mate waarin in de Ontwerp Nota Ruimte een langetermijnvisie op ruimtelijke ordening is opgenomen. Het is belangrijk om de voor- en nadelen van een

gekozen insteek voor een opgave of een gebied te blijven afwegen, want de omgeving en de samenleving blijven in beweging.

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

Ons onderzoek laat zien dat klimaatverandering impact heeft op een groot aantal sectoren en maatschappelijke actoren. Dat betekent dat klimaatadaptatie verankerd moet 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 gemeenten.

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. Zo zullen droogte, in de vorm van beschikbaarheid van (drink)water, wateroverlast en overstromingskansen mede bepalen waar en hoe kan worden gebouwd. En stelt hitte eisen aan de inrichting van wijken en industrieterreinen. Dat kan fout gaan ('maladaptatie') of juist kansen bieden om beleid op elkaar aan te laten sluiten. Ook dit vraagt om bovenregionale regie om ervoor te zorgen dat klimaatadaptatie op een consistente manier en in de volle breedte wordt ingevuld.

Vergroten maatschappelijke weerbaarheid is een no-regret-maatregel

Ongeacht de gekozen oplossingen is het van belang dat overheden, bedrijven, maatschappelijke organisaties en burgers weten wat zij kunnen verwachten als het toch mis gaat, en welke acties zij moeten nemen. Het vergroten van de maatschappelijke weerbaarheid is daarom een *no-regret*-maatregel. In de adaptatierichting intensiveren ligt de nadruk ligt op de individuele zelfredzaamheid van mensen, waarbij mensen bijvoorbeeld via waarschuwingssystemen worden geïnformeerd over te verwachten risico's. In transformeren worden maatregelen genomen die gericht zijn op het vergroten van 'samenredzaamheid'. Dat zorgt ervoor dat groepen mensen meer en beter in staat zijn om op een goede manier te reageren op negatieve omstandigheden. De overheid, bedrijven en maatschappelijke organisaties kunnen daarvoor extra investeren in wijken en buurten.

Tekstkader 5.3 Klimaatadaptatie in de Ontwerp Nota Ruimte

In september 2025 heeft het Rijk de Ontwerp Nota Ruimte gepubliceerd (VRO 2025). Deze ontwerpnota is een tussenstap op weg naar de definitieve Nota Ruimte, waarin het Rijk een geactualiseerde langetermijnvisie presenteert op de ruimtelijke inrichting van Nederland.
De Ontwerp Nota Ruimte hanteert een ruimtelijk uitgangspunt voor klimaatadaptatie: "We moeten … voorbereid zijn en ons, indien nodig, aanpassen aan de veranderende omstandigheden. Een sterke inzet op klimaatadaptieve ruimtelijke ordening en inrichting helpt ons daarbij." Er wordt in de nota vooral gesproken van 'rekening houden met' water, bodem en ondergrond bij ruimtelijke ontwikkeling en ruimtegebruik, in plaats van het uitgangspunt van 'water en bodem sturend' in de eerdere Kamerbrief over de rol van water en bodem bij ruimtelijke ordening (IenW 2022). Het is hierbij onduidelijk of water en bodem sturend zijn voor de ontwikkelingen of mee te wegen belangen. Verder houdt de ontwerpnota in onvoldoende mate rekening met het feit dat de grenzen van de maakbaarheid van het water- en bodemsysteem zijn bereikt (PBL 2026). In het Coalitieakkoord D66-VVD-CDA (2026) is dit recent aangepast tot 'water en bodem richtinggevend'. Hoe dit in de definitieve Nota Ruimte betekenis krijgt, moet nog blijken.

Zoals hierboven is aangegeven, is het – zeker bij een ruimtelijke insteek – belangrijk om een langetermijnvisie te ontwikkelen, waarin gekozen wordt naar welke vorm van klimaatbestendigheid Nederland toe wil werken. In de Ontwerp Nota Ruimte wordt hier maar beperkt rekening mee gehouden. Er wordt in de ontwerpnota verwezen naar het Ruimtelijk afwegingskader klimaatadaptieve gebouwde omgeving (IenW & BZK 2023), waarin een ruimtelijke visie is opgesteld voor woningbouw, maar veel van de woningbouwlocaties die in de ontwerpnota worden genoemd vallen in gebieden met – volgens het afwegingskader – een middelgrote tot grote wateropgave (PBL 2026). De vraag hierbij is hoe groot de rol is geweest van water en bodem bij de keuze van de aangegeven woningbouwlocaties. Voor het landelijk gebied kondigt het Rijk in de Ontwerp Nota Ruimte gebiedsgericht beleid aan met een regionale gebiedsindeling op basis van de kenmerken van het water- en bodemsysteem (afwateringsgebieden). Er worden nog geen ruimtelijke keuzes gemaakt. Er wordt in de nota gesteld: “Sectoren en agrarische ondernemers moeten rekening houden met veranderende water- en bodemcondities”, maar hoe wordt volledig overgelaten aan de sectoren zelf: “Het Rijk schrijft niet voor hoe” (VRO 2025).

6 Beleving van klimaatrisico's en adaptatie

6.1 Zicht op beleving van klimaatrisico's

Beleving van klimaatrisico's belangrijk voor beleid

Hoe mensen de klimaatrisico's beleven en inschatten heeft invloed op de maatschappelijke aanvaardbaarheid van beleid en de bereidheid om mee te werken aan gedragsinterventies en preventie (Siegrist & Arvai 2020). In dit hoofdstuk staan we daarom stil bij hoe inwoners van Nederland aankijken tegen die risico's en hoe zij vinden dat de overheid met die risico's moet omgaan. Onderzoek op het gebied van risicoperceptie- en management laat namelijk zien dat de beleving van risico's door niet-experts niet in lijn hoeft te zijn met inschattingen van experts (Slovic 2016; Bostrom 1997).

Het is belangrijk om zicht te hebben op de beleving van risico's in de samenleving om tot legitiem beleid te kunnen komen. De vraag of beleid legitiem is valt te bestuderen aan de hand van een aantal criteria verdeeld over verschillende fasen van beleid (zie Martens et al. 2023, Martens et al. 2025). Een belangrijke voorwaarde voor legitiem beleid is de vraag of er sprake is van een urgent en belangrijk probleem en of het beleid bijdraagt aan de oplossing.

Experts kunnen op basis van onderzoek berekenen hoe groot de impact is van een risico, maar kunnen niet volledig de vraag beantwoorden hoe erg het is als een risico zich voordoet. Dat vraagt namelijk om een waardeoordeel waarvoor het behulpzaam is om een representatieve groep inwoners te bevragen. In dat oordeel spelen ook emoties een legitieme rol aangezien deze signalen afgeven over de morele aanvaardbaarheid van risico's (Roeser 2006). Ook als het gaat om beleidskeuzes spelen waardeoordelen een rol, naast meer objectiveerbare aspecten als hoe effectief en efficiënt het beleid is. Met informatie over zowel het expert- als burgerperspectief op klimaatrisico's kunnen er dus meer legitieme keuzes gemaakt worden.

Meerdere kenmerken spelen een rol bij de beleving van risico's

De beleving van risico's door niet-experts kan afwijken van inschattingen door experts. Dit heeft meerdere oorzaken. Experts, ook de bij dit rapport betrokken experts, schatten risico's in aan de hand van waarschijnlijkheid en impact. Ze proberen te kwantificeren hoe waarschijnlijk het is dat een bepaalde gebeurtenis zich voordoet (bijvoorbeeld minder dan eens per 1000 jaar) en te berekenen wat de impact daarvan is (bijvoorbeeld in termen van financiële schade). De combinatie hiervan geeft dan aan hoe groot het risico is en deze inschatting speelt een belangrijke rol in hoe met het risico om te gaan.

Deze dimensies van waarschijnlijkheid en impact spelen ook een rol bij hoe inwoners tegen risico's aankijken, maar daarnaast spelen ook andere kenmerken van een risico een rol. Het gaat er dan bijvoorbeeld om of een risico controleerbaar, vrijwillig en observeerbaar is. Een observeerbaar risico waaraan mensen zich vrijwillig blootstellen, zoals skiën of autorijden, voelt heel anders dan minder vrijwillige blootstelling aan onobserveerbare milieurisico's als fijnstof en PFAS. Baanbrekend onderzoek heeft in de jaren '80 al laten zien dat dergelijke kenmerken uiteenvallen in twee dimensies: hoe bekend een risico is en hoe angstwekkend (Slovic, Fischhoff & Lichtenstein 1986). Deze

kenmerken kunnen gedeeltelijk verklaren waarom inwoners het risico van opslag van nucleair afval (Perko 2014) of toepassingen van biotechnologie (Savadori et al. 2004) als groter inschatten dan experts, terwijl zij het risico van radon (Perko 2014) of de aanleg van tijdelijke wegen voor houtkap (McDaniels et al. 1997) juist weer lager dan experts inschatten.

Naast kenmerken van het risico zelf spelen media en sociale netwerken ook een rol bij het uitvergroten of juist afzwakken van risico's, waardoor publieke zorgen soms sterk afwijken van de expertinschatting van het gevaar (Kasperson et al. 2022; Kasperson et al. 1988). Zorgen van experts en inwoners en de interacties daartussen kunnen substantiële gevolgen hebben voor beleid. Zo hebben wetenschappers onderzocht dat leukemie bij kinderen iets vaker voorkomt bij mensen die relatief dicht bij een hoogspanningslijn wonen (Ahlbom et al. 2000) zonder dat zij hier een plausibele verklaring voor konden vinden (Feychting et al. 2005). Op basis van het voorzorgsbeginsel is er vervolgens in Nederland een vrijwillige uitkoopregeling ingesteld voor woningen onder hoogspanningslijnen waarvoor 140 miljoen euro was uitgetrokken. Dit was mede gebaseerd op de associatie met leukemie die wetenschappers hadden vastgesteld, maar ook gedreven door de grote zorgen van groepen omwonenden. De ervaren inconsistentie tussen de boodschap dat er sprake is van een klein en onzeker risico en een omvangrijke uitkoopregeling leek zorgen bij omwonenden eerder te versterken dan te verminderen (Porsius et al. 2016). Ook persoonlijke kenmerken, zoals persoonlijke risicoaversie, maar ook leeftijd, geslacht, opleidingsniveau en politieke of culturele waarden, hebben invloed op risicobeleving en acceptatie (Siegrist & Arvai 2020).

Representatieve enquête naar de beleving van klimaatrisico's en adaptatiebeleid

In dit hoofdstuk beschrijven we de resultaten van een enquête onder een representatieve steekproef van de Nederlandse bevolking; hoe kijken de deelnemers aan tegen klimaatrisico's en adaptatiebeleid (bijlage 4.4). Deze enquête is gebaseerd op de lijst van risico's die experts hadden opgesteld in het voorgaande rapport (PBL 2024a) en de adaptatierichtingen zoals gepresenteerd in dit rapport. De lijst van risico's is aangevuld op basis van een viertal focusgroepen; vier bijeenkomsten die zijn georganiseerd met een kleine groep inwoners van Nederland, waarin onder andere gevraagd werd naar de mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor inwoners van Nederland. De focusgroepen worden ook gebruikt om de kwantitatieve resultaten uit de enquête beter te kunnen duiden. Voor details over de methodologie zie paragraaf 4.1 in bijlage 4.

6.2 Resultaten enquête beleving klimaatrisico's

Gevolgen van klimaatverandering een serieus probleem voor inwoners van Nederland

Op basis van de resultaten van de enquête concluderen we dat gemiddeld genomen inwoners grote gevolgen zien van klimaatverandering voor Nederland. Dit is in lijn met recent onderzoek van het SCP (Klimaat en Samenleving 2025c). In ons onderzoek vindt een meerderheid het waarschijnlijk of zeer waarschijnlijk dat er in 2050 in Nederland vaker hete zomers (71 procent van de deelnemers denkt dit) en droge (68 procent) zomers zullen voorkomen, alsook dat er meer zware regen- of hagelbuien zullen zijn (68 procent) en dat de zeespiegel stijgt (66 procent). Een meerderheid ervaart ook de potentiële impact van deze dreigingen als hoog en geeft aan het erg tot verschrikkelijk erg te vinden als deze dreigingen zich zouden voordoen in 2050 (variërend van 79 procent voor zeespiegelstijging tot 57 procent voor hete zomers). Ook vindt een ruime meerderheid dat klimaatverandering serieuze gevolgen heeft (77 procent) en dat de eerste gevolgen nu al voelbaar zijn (51 procent) of anders binnen 25 jaar (29 procent).

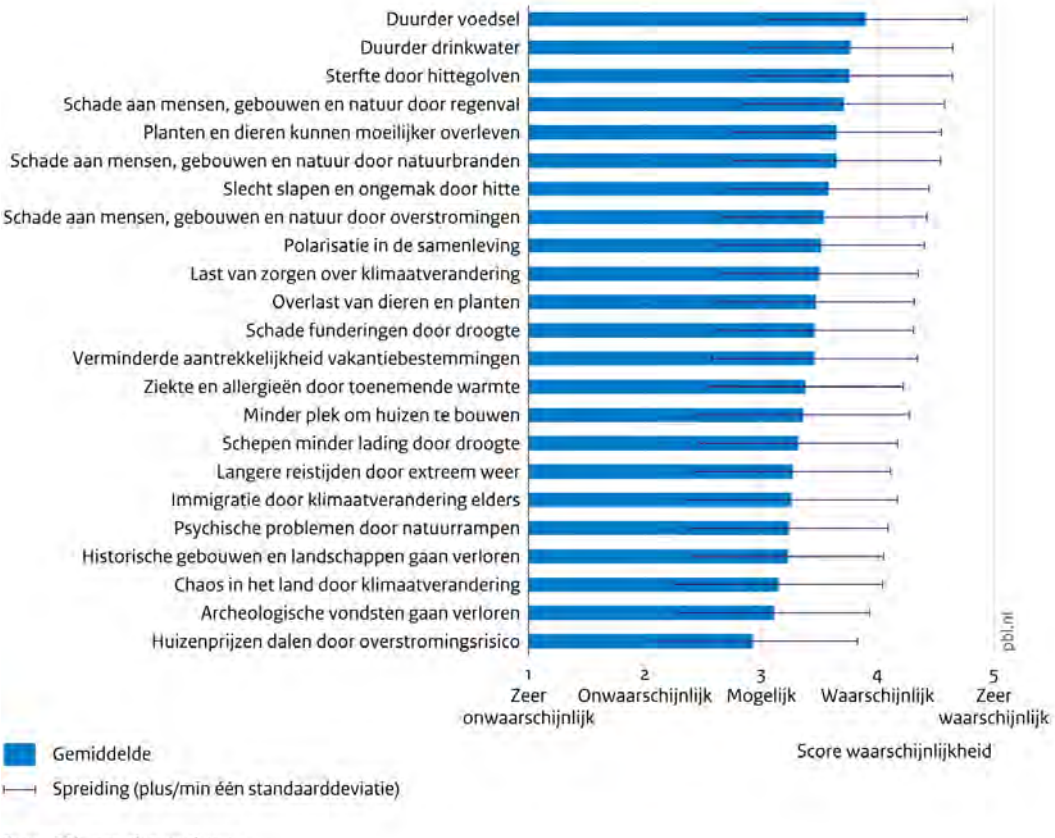
Deze erkenning van de risico's komt ook tot uiting in de focusgroepen. Als deelnemers gevraagd wordt naar waar ze aan denken bij de mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor inwoners

van Nederland, noemen ze een breed scala aan gevolgen en dreigingen. Bijvoorbeeld als het gaat om hitte:
"Ik had onder andere hittestress. Ik woon in een monumentenpand, dat heeft consequenties. Ik haat tegenwoordig de zomer. Het is niet te harden bij mij." (R6, groep 1)
of overstromingen:
"Ik denk toch uiteindelijk dus wel natte voeten, omdat het niet meer haalbaar is om bepaalde regio nog bewoonbaar te houden zeg maar, dat we echt straks zoveel geld kwijt zijn om die dijken op een hoog genoeg niveau te houden zodat mensen nog droge voeten houden, dat we uiteindelijk regio's gaan afstoten." (R2, groep 2)
en droogte:
"De laatste jaren, Spanje, Italië, droogte, de grote steden worden allemaal droger, er komt meer brand, die meer woestijn gaan worden in de loop van de tijd." (R4, groep 4)

Uit de enquête blijkt echter ook dat een minderheid niet gelooft dat klimaatverandering bestaat (5 procent). Dit past bij de groep inwoners die het onwaarschijnlijk achten dat er in 2050 meer hete (2 procent) of droge zomers (3 procent) zullen zijn. Een voorbeeld van dit geluid zien we ook terug in een van de vier focusgroepen:
"Ik bedoel, ondertussen word ik kostmisselijk van al dat geouwehoer over dat duurzaam, klimaatverandering. Ik heb zoiets van, jongens, doe even normaal. Ik hoor het hier ook weer van, het wordt elke zomer heter. We hebben een klote zomer gehad dit jaar. Waar hebben we het over? Het is helemaal niet heter geworden." (R3, groep 1)

Figuur 6.1

Perceptie van Nederlanders over kans op klimaatrisico's in 2050



Bron: PBL-enquête april 2025

Figuur 6.2

Perceptie van Nederlanders over impact van klimaatrisico's in Nederland



Bron: PBL-enquête april2025

Enquête geeft inschatting inwoners voor waarschijnlijkheid en impact van klimaatrisico's

In de enquête is voor allerlei mogelijke klimaatrisico's gevraagd hoe inwoners van Nederland de waarschijnlijkheid inschatten (zie figuur 6.1). De inschatting van inwoners varieert van 21 procent voor de waarschijnlijkheid dat huizenprijzen in 2050 dalen door een toenemende kans op overstromingen tot 68 procent dat voedsel duurder wordt door mislukte oogsten als gevolg van extreem weer (zie bijlage 4.4 voor tabellen met percentages). Van de lijst van 23 risico's vindt een meerderheid het voor 6 risico's waarschijnlijk tot zeer waarschijnlijk dat deze zich in 2050 vaker zullen voordoen. Voor alle 23 risico's geldt dat een ruime meerderheid het op zijn minst mogelijk acht dat deze vaker voorkomen in 2050. Als het gaat om de potentiële impact van deze risico's (zie figuur 6.2) geldt dat voor 14 risico's ten minste de helft van de bevolking het erg tot verschrikkelijk erg zou vinden als deze zich vaker zouden voordoen in Nederland (zie bijlage 4.4 voor tabellen met percentages).

6.3 Overeenkomsten en verschillen tussen risicoperceptie burgers en experts

Burgers schatten kans op funderingsschade en schade aan archeologie lager in

Als we kijken naar de beleving van klimaatrisico's door burgers in vergelijking met expertinschattingen zien we overeenkomsten en verschillen. Experts verwachten dat de kans op negatieve gevolgen van klimaatverandering in 2050 het grootst is als het gaat om meer sterfte door hogere temperaturen, schade aan archeologie, achteruitgang van natuur door verdroging en hitte, meer funderingsschade en wateroverlast (zie paragraaf 4.2). Voor de meeste risico's komt dit overeen met de beleving van de burger, behalve voor de kans op funderingsschade en schade aan archeologie. Bij funderingsschade en schade aan archeologie is dus mogelijk sprake van een onderschatting van de kans op voorkomen bij inwoners. Funderingsschade raakt inwoners direct wanneer deze zich voordoet en is daarmee een logisch aandachtspunt voor beleid. Daar komt bij dat een accurate inschatting van het risico door inwoners kan bijdragen aan het stimuleren van anticipatiegedrag door inwoners. Denk daarbij aan een passende prijsvorming op de woningmarkt, tijdig laten uitvoeren van funderingsonderzoek, en het versterken van inspraak bij lokaal grondwaterbeleid. In de focusgroepen is schade aan archeologie niet ter sprake gekomen, maar funderingsschade wel zonder dat hier verder over gediscussieerd werd in de groep:

"Ik heb ook nog opgeschreven dat huizen er hier niet opgebouwd zijn. Dus als het veel te nat wordt en de grond ineens veranderd, dan krijg je van die zakkende funderingen of dat soort dingen. En bij warmte zijn de huizen weer veel te goed geïsoleerd, waardoor de warmte ook niet eruit kan, dan krijg je daar weer problemen van. (R2, groep 4)

"Als je te laat bent, krijg je allerlei problemen. Je kan denken aan hoog water, in de Zaanstreek zijn hele wijken die zijn gebouwd op houten palen. Dan komt er palenrot, omdat er wordt gewerkt met grondwater, dat laat het zakken. En vervolgens komt er een heleboel water, het stijgt. En op die manier zorgt het echt voor dat het begint te rotten, moet je nieuwe fundering aanbrengen, dat kost weer zo 50, 60 duizend euro." (R8, groep 8)

Burgers zien hoge impact als gevolg van chaos door klimaatverandering

Als het gaat om de mogelijke impact van klimaatverandering in 2050 schatten experts deze het grootst in voor gezondheid, schade aan archeologie, achteruitgang van natuur, schade door natuurbranden, en waterveiligheid (slachtoffers en grootschalige schade), zie paragraaf 4.2. Dit komt ook aardig overeen met de beleving van burgers, met uitzondering van de impact van het verlies van archeologisch erfgoed. Burgers schatten deze een stuk lager in. Daarnaast is het opvallend dat burgers de impact hoog inschatten op het ontstaan van chaos door gevolgen van klimaatverandering. Een dergelijk veelomvattend risico is door experts niet ingeschat, maar burgers vinden dit mogelijk wel belangrijk. Dit blijkt ook uit enkele uitspraken in de focusgroepen:

"Nee, dit gaat tot oorlog leiden hè, de klimaatproblemen. Watertekort, verdroging." (R6, groep 1)

"50 procent ligt onder de zeespiegel, dat gaat op een gegeven moment verdwijnen. Niet nu, maar over een paar honderd jaar is 30 procent weg. De andere 30% procent wordt beschermd door dijken. Op een gegeven moment houden die dijken het ook niet meer. Nederland is op een gegeven moment voor een groot gedeelte verdwenen." (R1, groep 4)

"dat een deel van Nederland onbewoonbaar wordt. We zien allemaal wel dat als je door Nederland rijdt op een gegeven moment een bord ziet met 'onder zeespiegel' of wat dan ook. Dus ik denk dat een deel van Nederland onbewoonbaar wordt en daarvan is weer een gevolg dat een groot gedeelte van de bevolking daarvan de gedupeerden zijn, dat ze hun huis verliezen en noem maar op. En anderzijds moeten die natuurlijk ook ergens wonen, dus dat kan wel een shift in de bevolking teweegbrengen. Ja, we wonen niet echt in een groot land, dus dat is denk ik ook wel een uitdaging." (R1, groep 2)

"Nou, eigenlijk is ons systeem er nu op gericht dat er elke keer groei moet zijn, maar uiteindelijk zijn we straks met zoveel mensen op zo'n klein stukje aarde met slechtere leefcondities, dat die groei nog maar heel moeilijk mogelijk

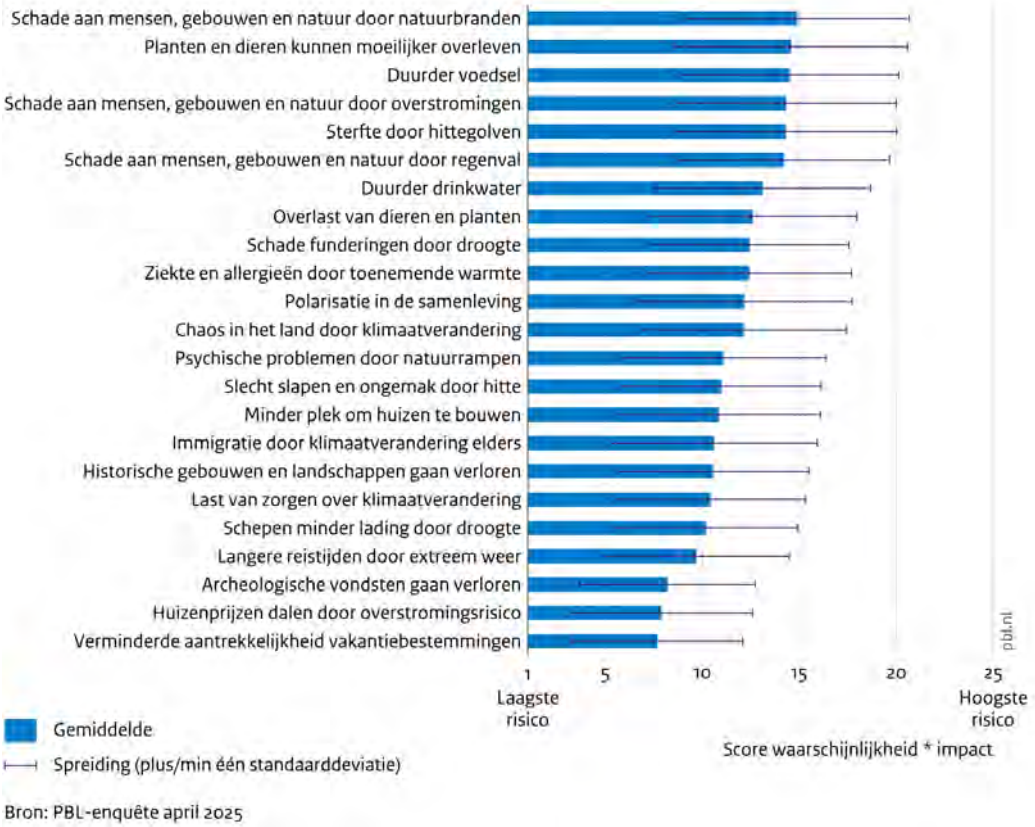
is, dat je eigenlijk een soort van stagneert. En dat kan binnen een kapitalistisch systeem niet, want dat moet altijd groeien. Dus dat werkt op een gegeven moment niet meer." (R2, groep 2)

Grootste risico's volgens burgers: natuurbranden, uitsterven van planten en dieren, voedselprijzen, overstromingen en extreme buien, sterfte door hittegolven

Daarbij moet opgemerkt worden dat burgers het minder waarschijnlijk vinden dat een dergelijke chaos daadwerkelijk zal optreden in 2050. Bij risico's met een als zeer groot ervaren impact kan de impact zwaarder wegen voor de aanvaardbaarheid dan de waarschijnlijkheid. De beleving van een risico is daarmee complexer dan kans maal impact[1]. Desondanks kiezen we ervoor om in onderstaande figuur 6.3 de waarschijnlijkheidsscores te vermenigvuldigen met de impact scores. De scores zijn daardoor lastiger zelfstandig te interpreteren, maar geven wel een indruk van welke risico's inwoners als groter zien ten opzichte van elkaar. Hieruit komt naar voren dat inwoners de grootste risico's zien in 2050 voor de schade van natuurbranden, het uitsterven van planten en dieren, het duurder worden van voedsel, schade door overstromingen en extreme buien en sterfte door hittegolven. Het minst urgent vindt men een verminderde aantrekkelijkheid van vakantiebestemmingen, dalende huizenprijzen door toename van overstromingsrisico's en het verloren gaan van archeologische vondsten.

Figuur 6.3

Perceptie van Nederlanders over klimaatrisico's in Nederland in 2050



Bron: PBL-enquête april 2025

[1] Overigens geldt ook voor experts dat zij een extreme impact zwaarder kunnen laten wegen bij het prioriteren van risico's, ook bij een lage waarschijnlijkheid (zie Pescaroli et al. 2025). Robuustheid is bij *high impact low probability risks* van belang als het gaat om de ontwikkeling van adaptatiestrategieën.

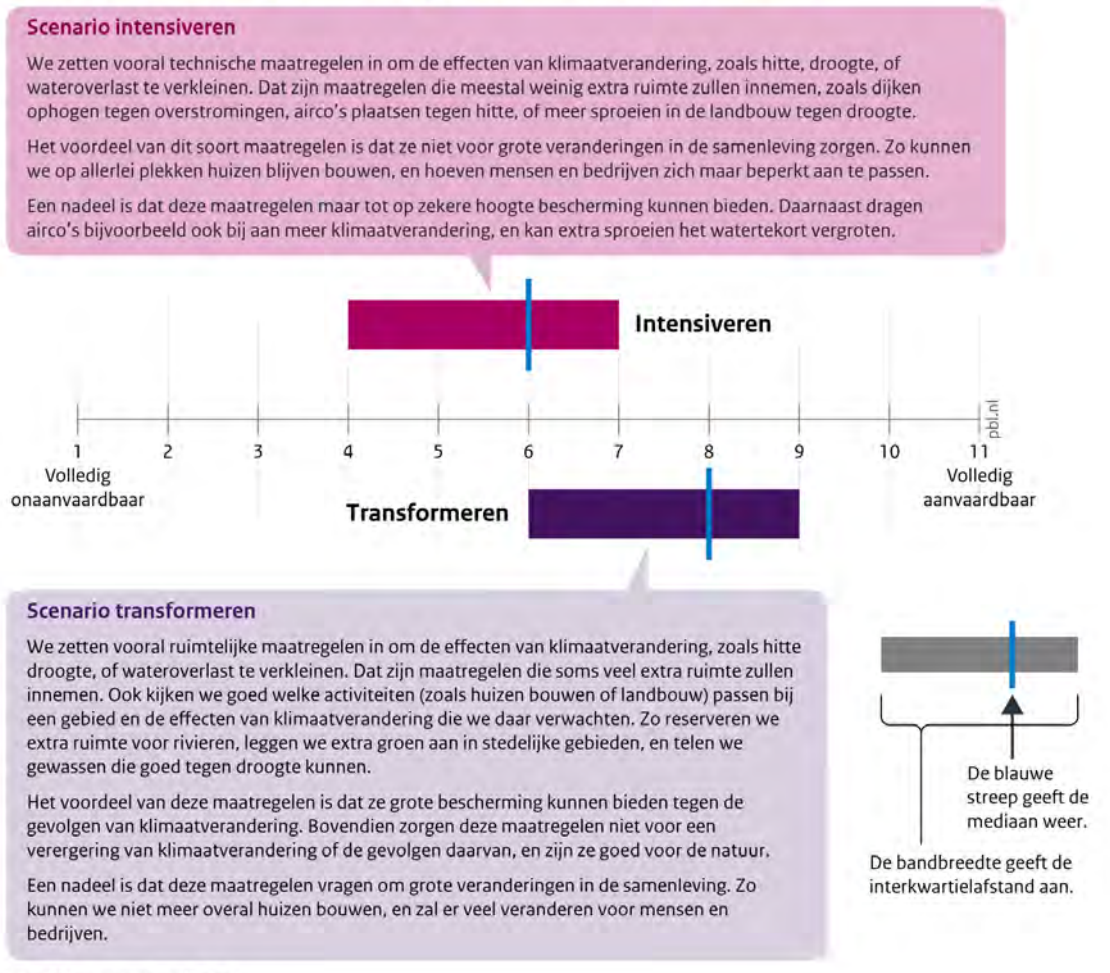
Inwoners willen stevige inzet op adaptatiebeleid

In lijn met de brede erkenning van de gevolgen van klimaatverandering voor Nederland zien we in de enquête ook duidelijke signalen dat burgers graag een stevige inzet zien op adaptatiebeleid. Zo vindt een ruime meerderheid (71 procent) dat de overheid zich zowel moet richten op de aanpak van de oorzaken van klimaatverandering (mitigatie) als op het voorbereiden op de gevolgen (adaptatie) en dat de overheid hier meer geld aan moet uitgeven (67 procent). Dit past bij de ruime meerderheid (73 procent) die vindt dat Nederland ervoor moet zorgen dat toekomstige generaties niet meer risico's lopen dan nu.

Inwoners van Nederland vinden een transformatief scenario met meer ingrijpende ruimtelijke maatregelen aanvaardbaarder dan een scenario met vooral lokale en meer technische maatregelen. Hieronder (zie figuur 6.4) staan de twee voorgelegde adaptatierichtingen die gebaseerd zijn op de adaptatierichtingen waar experts ook mee gewerkt hebben. Daaronder is het gemiddelde oordeel van inwoners over beide adaptatierichtingen te zien. Bij de adaptatierichtingen is gevraagd om op een 11-punts schaal (1= volledig onaanvaardbaar, 11=volledig aanvaardbaar) aan te geven hoe aanvaardbaar men het zou vinden als de overheid op deze manier beslissingen zou nemen, daarbij denkend aan wat het beste is voor iedereen.

Figuur 6.4

Aanvaardbaarheid adaptatierichtingen door inwoners van Nederland



Bron: PBL-enquête april 2025

De mediaan is 2 punten hoger voor het transformatieve scenario, waaruit een duidelijke voorkeur blijkt voor deze aanpak om de effecten van klimaatverandering tegen te gaan. Hoewel het gemiddelde beeld duidelijk is, geeft de aanzienlijke spreiding ook aan dat er veel verschillen zijn tussen hoe individuele inwoners tegen de adaptatierichtingen aankijken. Daarnaast is het goed om te realiseren dat we met deze adaptatierichtingen hebben gevraagd naar wat inwoners in het algemeen een legitieme manier vinden om beleidskeuzes te maken op dit terrein. In een specifieke lokale context kunnen inwoners andere keuzes meer legitiem vinden. Ook kan het oordeel van burgers veranderen als zij uitgebreidere of andere informatie krijgen over details van deze adaptatierichtingen, zoals over kwantitatieve informatie over de effectiviteit, de financiële kosten of gezondheidseffecten van keuzes in deze adaptatierichtingen.

Voorkeur lijkt uit te gaan naar structurele maatregelen

In de focusgroepen hebben we inwoners een aantal beleidskeuzes voorgelegd in lijn met de twee adaptatierichtingen (zie bijlage 4). Daarin zagen we dat de deelnemers het lastig vonden om afwegingen te maken tussen de kosten en baten van de verschillende adaptatiestrategieën. Daarbij verwezen ze ook naar de rol van experts om de kosten en baten in kaart te brengen. Tegelijkertijd zagen we ook mogelijke aanwijzingen waarom er in de enquête een duidelijke voorkeur is voor een meer transformatief scenario. Het lijkt erop dat deelnemers een voorkeur hebben voor meer structurele maatregelen om met de gevolgen van klimaatverandering om te gaan:

"Ik denk als je overal airconditioning gaat plaatsen, dat werkt misschien wel eventjes, maar dat brengt en heel veel kosten met zich mee en ook heel veel energie. Ik denk dat het juist beter is dat je woningen zo bouwt dat ze goed kunnen luchten 's avonds als het wat koeler is. (R2, groep 4)"

"Het voelt meer dat de natuur zijn gang, als je de ruimte geeft, in plaats van dijken ophogen, een soort van de natuur tegenhouden. En kun je over tien jaar de dijken weer een beetje hoger zetten." (R6, groep 3)

Mogelijk speelt daarbij mee dat men een voorkeur heeft voor oplossingen die ook op de lange termijn werken:

"En ik denk, dat we op den duur, op de lange termijn het land ook anders moeten gaan inrichten, dat er misschien meer mensen op de hoger gelegen gebieden gaan wonen, dat daar de grote steden gaan komen. En dat we toch ook stukken van Nederland misschien terug gaan geven aan de zee." (R2, groep 3)

"Ik ben ook heel erg voor de tweede (red. meer groen en water in steden i.p.v. airco), omdat het veel meer een langetermijnoplossing is." (R4, groep 2)

Daarbij lijken deelnemers zich bewust te zijn van de rol die de lokale context speelt bij deze keuzes, hebben ze veelal oog voor neveneffecten en zien ze vaak de betere oplossing in combinaties van maatregelen uit beide adaptatierichtingen. Bijvoorbeeld als het gaat om de keuze om dijken te verhogen of rivieren meer de ruimte geven:

"kan je niet en en ook? Want ik kan me voorstellen dat je in een bepaald gebied de rivieren meer de ruimte geeft en in een ander gebied de dijken ophoogt?" (R2, groep 3)

"Het ligt ook per gebied. Het ene kunnen we dat doen en het andere dat." (R6, groep 1)

Of als het gaat om de keuze om water aan te voeren naar droge landbouwgebieden of gewassen te laten groeien die beter tegen droogte kunnen:

"Maar misschien dan een combinatie, niet alleen de gewassen maar dat je ook hulpmiddelen gebruikt die ervoor zorgen dat ze minder water nodig hebben. Want nu zie je dat er water overheen gegooid wordt en dat is gigantisch inefficiënt natuurlijk." (R2, groep 2)

6.4 Conclusies en aandachtspunten

Ruime meerderheid ziet gevolgen klimaatverandering als groot risico

Uit de enquête blijkt dat een ruime meerderheid (77 procent) van de inwoners in Nederland klimaatverandering en de gevolgen ervan als een groot risico ziet. Dat gaat op voor veel van de bevraagde algemene en meer specifieke klimaatrisico's. De grootste risico's ziet men in het niet kunnen overleven van planten en dieren, de impact van natuurbranden, hogere prijzen voor voedsel, impact van overstromingen of regenval, en overlijden door hitte. Burgers denken hier in grote lijnen hetzelfde over als wetenschappelijke experts. Slechts 7 procent van de inwoners van Nederland denkt dat klimaatverandering geen serieuze negatieve gevolgen zal hebben en 5 procent van de inwoners van Nederland denkt dat klimaatverandering niet bestaat. Beleidsmakers kunnen er daarmee van uitgaan dat een ruime meerderheid van de inwoners de ernst van de gevolgen van klimaatverandering begrijpt.

Meeste inwoners willen geen toename klimaatrisico's

Inwoners van Nederland vinden het belangrijk dat de gevolgen van klimaatverandering voor Nederland worden beperkt met voldoende adequaat adaptatiebeleid. Dat blijkt onder andere uit de ruime meerderheid (73 procent) van de inwoners die aangaf dat Nederland ervoor moet zorgen dat toekomstige generaties niet meer risico's lopen dan nu. Zoals ook in paragraaf 4.3 te lezen is, is Nederland nu op veel risico's nog onvoldoende voorbereid. Dat betekent dat er aanvullend beleid nodig is om te voldoen aan deze wens. .

Klimaatadaptatiebeleid kan op allerlei verschillende manieren worden vormgegeven. In deze studie delen de experts deze strategieën in in 'transformeren' en 'intensiveren'. In dit onderzoek hebben we inwoners van Nederland globaal voorgelegd wat deze strategieën inhouden en hen gevraagd hoe zij hier tegenaan kijken. Beide strategieën lijken te kunnen rekenen op een zekere mate van maatschappelijk draagvlak, waarbij er een voorkeur bestaat voor een transformatieve strategie boven een intensiveringsstrategie. Uit de focusgroepen blijkt dat dit mogelijk komt doordat men deze strategie als een meer structurele oplossing ziet voor de lange termijn. Tegelijkertijd blijkt uit de focusgroepen dat men vaak winst ziet in combinaties tussen beide strategieën en er oog moet zijn voor de lokale context en mogelijke neveneffecten van maatregelen. Ook op dit vlak lijken inwoners en wetenschappelijke experts dus gemiddeld genomen op één lijn te zitten en mogen beleidsmakers ervan uitgaan dat inwoners begrijpen dat ingrijpende keuzes op dit gebied soms noodzakelijk zijn.

Meer onderzoek nodig naar legitimiteit van beleidskeuzes

Het is belangrijk om meer onderzoek te doen naar de ervaren legitimiteit van verschillende adaptatiestrategieën. Dat is nodig om rekening te kunnen houden met de waarden en beleidsvoorkeuren van burgers. Adaptatiebeleid kan effectiever en sneller worden geïmplementeerd als beleidsmakers tijdig zicht hebben op manieren om de neveneffecten daarvan te beperken en het maatschappelijk draagvlak te waarborgen (zie ook van Rijswick et al. 2014).

Dit onderzoek biedt daarvoor slechts een eerste verkenning. Klimaatadaptatiebeleid staat voor veel mensen nog relatief ver van hun dagelijkse leefwereld af, zo bleek uit onze gesprekken met inwoners. De ideeën van burgers over adaptatiebeleid zullen zich verder ontwikkelen wanneer zij hier meer over nadenken. Wanneer beleidsopties concreter worden en de nadelen op individueel niveau zichtbaar worden, kan de houding van mensen omslaan en kan, zeker lokaal, meer weerstand ontstaan. Veel onderzoek was tot nu toe gericht op de mate waarin burgers klimaatverandering erkennen. Inmiddels is daar al veel over bekend. Over beleidsvoorkeuren voor concreet

adaptatiebeleid is veel minder bekend, terwijl dit beleid urgent is en ingrijpende gevolgen zal hebben, ook voor burgers.

Communicatie kan verschillen verkleinen in oordeel over waarschijnlijkheid tussen burgers en experts

In grote lijnen komen de risico-inschattingen van burgers en experts overeen, maar er zijn ook verschillen. Soms kijken inwoners anders aan tegen de waarschijnlijkheid en impact van ongewenste gebeurtenissen dan wetenschappelijke experts. Een voorbeeld daarvan was het risico op verlies van archeologische vondsten. Inwoners van Nederland lijken dat minder als een risico te ervaren dan experts. Inwoners vinden het moeilijker om de ervaren waarschijnlijkheid van ongewenste gebeurtenissen in te schatten dan om de impact te beoordelen, geven zij ook zelf aan. Burgers zijn bij het beoordelen van de waarschijnlijkheid meer bereid om te leunen op het oordeel van experts. Inwoners van Nederland hebben vertrouwen in wetenschappelijke kennis. Terwijl het vertrouwen in de wetenschap relatief groot is, is het vertrouwen in de manier waarop de overheid met wetenschappelijke kennis omgaat beperkter (Rathenau 2025). Communicatie over wetenschappelijke inzichten kan de verschillen in het oordeel over de waarschijnlijkheid tussen burgers en experts mogelijk verkleinen. Dat kan met name belangrijk zijn voor risico's die burgers direct raken of waar zij anticiperend op kunnen handelen, zoals funderingsschade.

Verschillen in waarden tussen burgers en experts bij beoordelen impact lijken beperkt

Discrepanties in de ervaren impact vragen mogelijk om een andere beleidsaanpak dan verschillen in waarschijnlijkheid. Bij inschattingen van impact spelen waarden een grotere rol: hoe ernstig of onaanvaardbaar gevolgen worden gevonden, zoals verlies van mensenlevens, fysieke schade, economische schade of natuurschade, hangt niet alleen af van objectieve berekeningen, maar ook van normatieve oordelen die waardeafhankelijk zijn. Ook hier zien we dat inwoners van Nederland de impact van het verlies van archeologische vondsten als minder erg lijken te beoordelen dan wetenschappelijke experts. Bij het oordeel van experts weegt de onomkeerbaarheid van dit verlies zwaar. We weten niet precies welke waarden er meespelen bij de lagere inschatting van de impact van verlies aan archeologische vondsten door burgers. Mogelijk wegen inwoners van Nederland andere waarden zoals verlies aan mensenlevens of ander direct lijden zwaarder. In grote lijnen zien we echter veel overeenkomsten tussen de impactbeoordelingen van wetenschappelijke experts en burgers en lijken verschillen in waarden wat dat betreft beperkt.

Wel zagen we dat inwoners van Nederland zich zorgen maakten over een aantal risico's die niet expliciet door wetenschappelijke experts beoordeeld waren in dit rapport. Dat maakt het moeilijk om de ervaring van experts en inwoners van Nederland te vergelijken. Toch vinden we het belangrijk om deze observatie te benoemen. Het gaat namelijk om gebeurtenissen die behoorlijk ernstig zijn. Zoals het instorten van het financiële systeem of het onbewoonbaar worden van delen van Nederland door permanente overstromingen. Uit de focusgroepen bleek dat er zorgen leefden over dit soort risico's. Daarom hebben we deze zoveel mogelijk meegenomen in de vragenlijst.

Het is aannemelijk dat inwoners van Nederland behoefte hebben aan informatie over de kans dat deze gebeurtenissen zullen optreden en over de impact daarvan. Tegelijkertijd gaat het om onzekere en veelomvattende gebeurtenissen, ver in de toekomst, waarover experts mogelijk onvoldoende data hebben. Voldoen aan informatiebehoefte van inwoners van Nederland en inspelen op zorgen is echter wel belangrijk voor behoud van het gezag van de overheid. Daarom lijkt het goed om kennis over deze onderwerpen verder te ontwikkelen.

Verdieping deel II: Toekomstige klimaatrisico's per sector of onderwerp

In deel II van de verdieping beschrijven we de klimaatrisico's en adaptatieopties per sector. Deel II bestaat uit hoofdstuk 7 tot en met 19.

7 Gezondheid

- *Door klimaatverandering zullen negatieve gezondheidseffecten door hogere temperaturen sterk toenemen, evenals de effecten op de gezondheid van luchtverontreiniging, infectieziekten, allergieën en uv-straling. Ook bevolkingsgroei en vergrijzing spelen hierbij een belangrijke rol.*
- *Bij de intensiveren-aanpak wordt ingezet op vergroting van de zelfredzaamheid van mensen door onder andere verbetering van monitoring en waarschuwing, op versterking van de zorg door vooral technologische ontwikkelingen, en op technische maatregelen in en rond woningen. Met deze aanpak wordt de verantwoordelijkheid vooral neergelegd bij burgers en zorg(instellingen); zij geven de adaptatie vorm en dragen de kosten hiervoor. Niet alle groepen zijn hier even goed toe in staat, wat kan leiden tot ongelijkheid. Op korte termijn kunnnen dit soort technische maatregelen een positief effect op de gezondheid hebben, maar op de langere termijn zal de toenemende klimaatverandering leiden tot een grotere zorgvraag, waardoor de zorg kan vastlopen.*
- *Bij de transformeren-aanpak worden de effecten op gezondheid verminderd door maatregelen in de leefomgeving. Denk aan de inrichting van wijken en de wijze van bouwen. Hiervoor is het nodig om slimme en tijdige keuzes te maken, bijvoorbeeld voor meer groen en blauw in de omgeving. Bij dergelijke herinrichtingsplannen is het belangrijk om rekening te houden met de effecten op gezondheid, ook bij adaptatiemaatregelen voor andere doelen, zoals wateroverlast. Hierbij is samenwerking tussen verschillende beleidsvelden en overheidslagen van belang. Er wordt ook ingezet op 'samenredzaamheid', waarbij de samenleving goed voorbereid is op en rekening houdt met de gevolgen van klimaatverandering. Er wordt gewerkt aan het verbeteren van de gezondheid van mensen, waardoor ze minder kwetsbaar zijn voor de effecten van klimaatverandering (zie tabel 7.1)*
- *Transformeren heeft effect op de langere termijn, voor de kortere termijn is het nodig om ook technische maatregelen te nemen, zoals aanpassingen aan woningen. Voor een effectieve aanpak van de gevolgen van klimaatverandering voor gezondheid is dus een mix van maatregelen nodig. Verder is het nodig om bij adaptatiemaatregelen gericht op andere doelen of sectoren rekening te houden met mogelijke negatieve gezondheidseffecten, bijvoorbeeld door bij het aanleggen van meer groen geen soorten te gebruiken die hooikoorts veroorzaken.*
- *Klimaatverandering kan direct en indirect leiden tot mentale problemen. Het is belangrijk dat overheden en maatschappij de zorgen van mensen over klimaatverandering serieus nemen, en laten zien dat er wordt gewerkt aan het verminderen van klimaatverandering en de gevolgen ervan.*

Tabel 7.1
Effecten van klimaatverandering op temperatuurgerelateerde sterfte: heden en toekomst bij huidig beleid en bij twee adaptatierichtingen (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	*2024*	*2050 bij huidig beleid*	*2050 bij intensiveren*	*2050 bij transformeren*
Temperatuur gerelateerde sterfte	*Impact groot, kans jaarlijks*	*Impact groot, kans jaarlijks*	*Impact groot, kans jaarlijks*	*Impact midden, kans jaarlijks*

Voor inschatting van de omvang van het effect op de andere gezondheidsthema's is onvoldoende wetenschappelijke onderbouwing

Tekstkader 7.1 Analyse in het kort
De effecten op gezondheid worden beschreven voor de vijf gezondheidsthema's hitte, luchtkwaliteit, uv-straling, infectieziekten, en allergieën en pollen, thema's die ook onderdeel waren van de eerdere analyse van de huidige klimaatrisico's (PBL 2024a). Aanvullend is een analyse gedaan van de dwarsdoorsnijdende thema's gedrag en perceptie, mentale gezondheid en gezondheidszorg.
Voor de analyse van toekomstige gezondheidsrisico's bij voortzetting van het huidige beleid zijn eerst klimaatgerelateerde risico's geïnventariseerd door middel van een literatuurstudie. Vervolgens zijn de gezondheidsrisico's beoordeeld door experts, volgensde in dit project gebruikte methodiek (PBL 2023b).
Voor de beoordeling van effecten van mogelijk adaptatiebeleid op de klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's is eerst met experts een inventarisatie gemaakt van adaptatiemaatregelen die de gezondheidsrisico's kunnen beperken. Vervolgens zijn in expertsessies de effecten van adaptatiemaatregelen beoordeeld.
Alleen voor het thema hitte zijn er kwantitatieve berekeningen uitgevoerd naar temperatuur-gerelateerde sterfte. Dit is gedaan op basis van een in een wetenschappelijk tijdschrift beschreven en *peer-reviewed* tutorial (Vicedo-Cabrera et al. 2019). Voor de andere thema's is een inschatting van de omvang van het effect achterwege gelaten, omdat die niet wetenschappelijk onderbouwd kan worden.
Waar van toepassing is bij de gezondheidsthema's ook een uitspraak gedaan over de economische impact, gebaseerd op zorg- en medicijnkosten, arbeidsverlies of het gemonetariseerde aantal verloren levensjaren.

Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op de achtergrondstudie 'Gezondheidseffecten van klimaatverandering; Verkenning van toekomstige klimaatrisico's voor gezondheid in 2050' (RIVM 2026).

7.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Zonder extra maatregelen jaarlijks tot duizenden extra sterfgevallen door hogere temperaturen

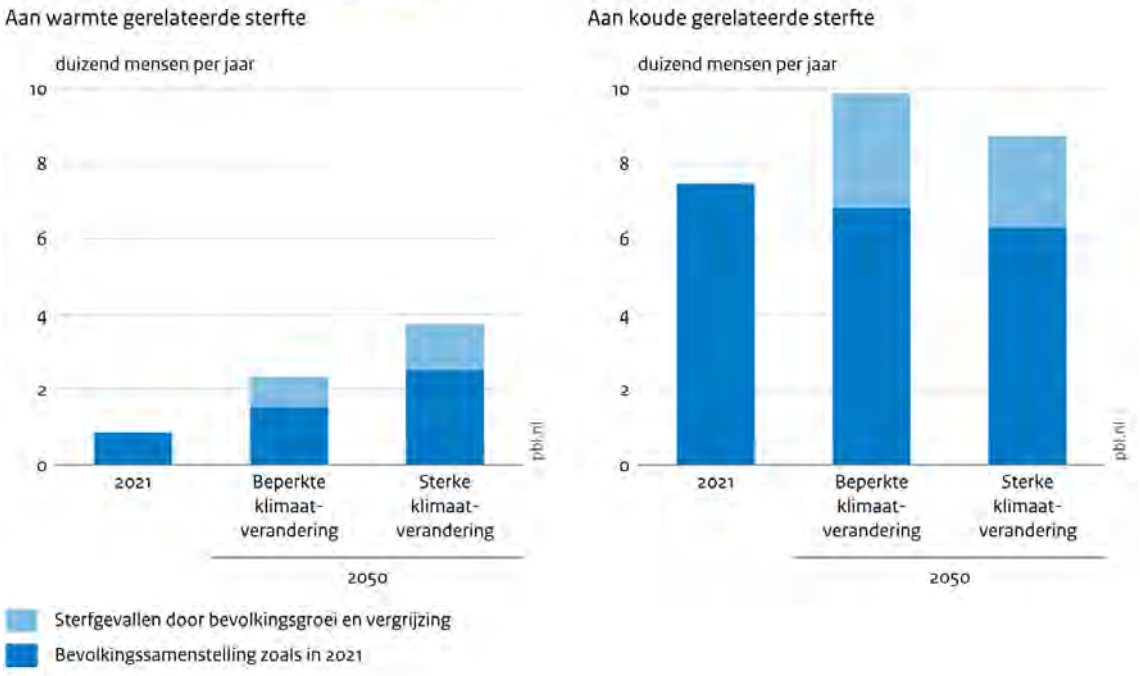
Temperatuurstijging door klimaatverandering heeft een groot effect op de gezondheid van mensen. De hogere gemiddelde temperatuur veroorzaakt extra sterfte. Daarnaast komen hittegolven vaker voor, duren ze langer en worden ze intenser. Meer mensen overlijden hierdoor of krijgen gezondheidsklachten, vooral ouderen, mensen met een chronische aandoening, zwangeren en (heel)

jonge kinderen. Tijdens de hittegolf van juli 2019, met recordtemperaturen boven de 40°C, overleden in één week 400 mensen meer dan gebruikelijk. Ook in 2020 werd tijdens een dertien dagen durende hitteperiode, met een maximum van 34,6°C, 9 procent meer sterfgevallen geregistreerd, oftewel bijna 100 extra overlijdens (RIVM 2024b).

Naar verwachting zullen er in 2050, zonder extra maatregelen en bij beperkte klimaatverandering, circa 2.300 mensen per jaar eerder overlijden als gevolg van warmte; bij sterke klimaatverandering zijn dat ongeveer 3.700 mensen per jaar (RIVM). Ongeveer 30 procent is te verklaren doordat er dan meer, en vooral meer oudere mensen in Nederland leven (vanwege vergrijzing). Hoewel er door hogere temperaturen minder mensen door kou sterven in de winter, wordt toch verwacht dat sterfte door kou in 2050 zal toenemen. Dit wordt deels veroorzaakt door de circulatie van pathogenen (griep) en het gedrag van de bevolking dat tot verspreiding leidt. De stijging komt deels (~30 procent) ook door een toename van het aantal mensen en het aandeel oudere mensen. Naast sterfte veroorzaken hogere temperaturen andere gezondheidsklachten met uiteenlopende effecten. Lichte symptomen zoals hoofdpijn en vermoeidheid hebben effect op de arbeidsproductiviteit, ernstige gevallen hebben opname in het ziekenhuis tot gevolg (RIVM 2024a).

Figuur 7.1

Aan temperatuur gerelateerde sterfte



Bron: RIVM

Niet iedereen krijgt in dezelfde mate te maken met hitte. Over het algemeen zijn temperaturen in het zuidoosten van Nederland hoger dan gemiddeld. In de kustgebieden zijn ze lager dan gemiddeld door verkoeling van de zee. Bewoners in steden ervaren meer hitte door het stedelijk hitte-eiland, zie tekstkader 4.1. Ook zijn er verschillen tussen groepen mensen, zo krijgen buitenwerkers (bouwvakkers, groenwerkers) en buitensporters meer te maken met hitte. En de impact van hitte is zoals gezegd groter voor ouderen, mensen met een chronische aandoening, zwangeren en (heel) jonge kinderen.
In kwetsbare wijken komen problemen samen die elkaar versterken: vaak zijn deze wijken sterk versteend, is er weinig groen, hebben bewoners een slechtere gezondheid en hebben ze beperkte

(financiële) middelen om bijvoorbeeld zonwering aan te brengen. Juist deze combinatie van factoren vraagt om extra beleidsmatige aandacht.

Door hogere temperaturen meer effecten van luchtverontreiniging, infectieziekten en allergieën op gezondheid

De hogere temperaturen leiden ook tot andere gezondheidseffecten. Tijdens perioden met hitte en droogte is er vaak meer ozon en fijnstof in de lucht, met als resultaat zomersmog: extra luchtvervuiling op zomerse dagen met weinig wind. Luchtverontreiniging kan een rol spelen in het ontstaan van onder andere hart- en vaatziekten en luchtwegklachten. Nederlanders leven op dit moment gemiddeld enkele maanden korter door luchtvervuiling, met name door fijnstof en stikstofoxiden. Of er in de toekomst meer zomersmog komt is mede afhankelijk van klimaatverandering en luchtkwaliteitsbeleid: hoe dit zal uitpakken is nog niet goed te bepalen. De kans op infectieziekten neemt toe door klimaatverandering: door hogere temperaturen en veranderingen in neerslag worden de omstandigheden gunstiger voor ziekteverwekkers zoals vibrio, legionella, campylobacter en salmonella, en voor dragers van ziekteverwekkers, zoals teken (de ziekte van Lyme) en muggen (westnijlvirus, denguevirus).

Klimaatverandering leidt ook tot een toename van allergieën. Dit geldt vooral voor hooikoorts: door hogere temperaturen en meer CO_2 in de lucht wordt het pollenseizoen langer en produceren planten en bomen meer pollen die ook een sterkere allergische werking hebben, waardoor de klachten toenemen. Het is niet goed bekend hoeveel mensen nu last hebben van hooikoorts, en in welke mate. In 2023 gebruikten rond de 1,43 miljoen mensen voorgeschreven medicatie, maar het daadwerkelijke aantal mensen dat medicatie neemt, is niet met zekerheid te bepalen omdat veel mensen vrij verkrijgbare medicijnen kopen. De inschatting is dat 20-25 procent van de bevolking last heeft van hooikoorts. Door klimaatverandering, en doordat er daardoor vaker en langer meer pollen in de lucht zijn die ook nog een sterkere allergische werking kunnen hebben, zal dit percentage in de toekomst toenemen. Dit heeft ook economische gevolgen: extra kosten in de ziekenzorg en de kosten van ziekteverzuim en verminderde arbeidsproductiviteit worden nu geschat op 100 miljoen tot 1 miljard euro per jaar. Met meer onderzoek zouden berekeningen kunnen uitkomen op meer dan 1 miljard euro per jaar. Door klimaatverandering zullen deze kosten verder oplopen.

In 2050 worden hogere zomertemperaturen verwacht, met meer zonnestraling en minder regen in de zomer, en daardoor meer luchtvervuiling. Bij beperkte klimaatverandering zal dit meer dan gecompenseerd worden door het positieve effect van klimaat- en luchtkwaliteitsmaatregelen, zoals Europese normen voor luchtkwaliteit en het Schone Lucht Akkoord, met maatregelen voor onder andere mobiliteit en de industrie. Bij sterke klimaatverandering zal de negatieve impact op de gezondheid toenemen.

Door hogere temperaturen en frequentere extreme neerslag en droogte zullen infectieziekten meer voorkomen. Vibrio-bacteriën, die voorkomen in warm zout of brak water, zullen toenemen door stijging van de temperatuur en vaker de ziekte Vibriosis veroorzaken bij zwemmers of mensen die besmette vis en schaal- en schelpdieren eten. Er is berekend dat het risico op Vibriosis per keer zwemmen of per maaltijd met rauwe oesters in 2050 1,5 keer toeneemt bij beperkte klimaatverandering, en 3,5 keer bij sterke klimaatverandering (RIVM 2023).

De stapeling van gezondheidseffecten van hitte, luchtverontreiniging, allergieën en infectieziekten waar Nederland mee te maken krijgt door toenemende klimaatverandering, vraagt om aandacht van beleidsmakers en om een integrale aanpak om de impact te beperken of te voorkomen.

Toename huidkanker door meer zonuren en meer buitenrecreatie

Uv-straling is nodig om vitamine D aan te maken, maar langdurige blootstelling heeft een negatief effect op de huid en ogen: huidverbranding, huidveroudering, huidkanker, staar en blindheid. Ze is de belangrijkste oorzaak van huidkanker. De hoeveelheid uv-straling is in de afgelopen tientallen jaren toegenomen. Hier zijn verschillende redenen voor: meer zonuren, minder bescherming door bewolking, luchtkwaliteit die gemiddeld verbetert (behalve gedurende hittegolven wanneer de luchtkwaliteit aanzienlijk slechter is) en minder bescherming doordat de ozonlaag dunner is geworden. Er is een forse toename van huidkanker in Nederland: sinds 1990 is het aantal huidkankergevallen verviervoudigd. Ongeveer de helft daarvan is het gevolg van groei van de bevolking en van vergrijzing. Ook gedrag speelt een belangrijke rol: op warme en zomerse dagen gaan mensen meer buiten recreëren en worden dus meer blootgesteld aan uv-straling.

De hoeveelheid zonlicht neemt in de periode tot 2050 toe door klimaatverandering. Ondanks maatregelen om de uitstoot van chemische stoffen te verminderen die de ozonlaag afbreken, wordt de ozonlaag door klimaatverandering toch dunner. Dat betekent dat de negatieve effecten op de gezondheid zullen toenemen. Er zijn nog veel vragen over de relatie tussen gezondheid en uv-straling. Het is dus belangrijk dat daar meer onderzoek naar wordt gedaan. Daarnaast is het nuttig om mensen meer bewust te maken van de invloed van hun gedrag op blootstelling aan uv-straling, en wat de negatieve effecten daarvan kunnen zijn op hun gezondheid.

Klimaatverandering en extreem weer baren zorgen en beïnvloeden mentale gezondheid

Steeds meer mensen maken in Nederland of op vakantie in het buitenland extreem weer mee, wat hun mentale gezondheid kan beïnvloeden. De verwachting is dat extreme gebeurtenissen zullen toenemen en meer mensen gaan raken. Effecten op de mentale gezondheid kunnen ook indirect zijn, doordat mensen zich zorgen maken over de gevolgen van klimaatverandering, ook zonder deze zelf te ervaren: *eco-anxiety* (RIVM 2024b).

Omdat klimaatverandering steeds zichtbaarder wordt, zullen de negatieve mentale effecten naar verwachting toenemen. Al bestaande mentale gezondheidsklachten kunnen hierdoor verergeren. Een samenspel van aan het klimaat gerelateerde factoren beïnvloedt mentale gezondheid: directe ervaringen met extreem weer en natuurrampen, het verlies van bestaanszekerheid en een vertrouwde leefomgeving, en de druk van fysieke gezondheidsproblemen. Dit geheel roept gevoelens op van angst, verdriet, machteloosheid en verlies, verzwakt de mentale veerkracht, verergert bestaande klachten en leidt tot een stijging van psychiatrische opnames en suïcidecijfers (RIVM 2024b).

Onderzoek in tien landen laat zien dat 59 procent van de 16- tot 25-jarigen erg of extreem bezorgd is over klimaatverandering. Deze bezorgdheid is vaak gekoppeld aan het feit dat jongeren de reacties van overheden als onvoldoende zien en zij zich daardoor in de steek gelaten voelen (Lancet 2021). Hoe groot het effect van klimaatverandering op gezondheid is, hangt ook af van het beleid voor bijvoorbeeld woningbouw, natuur en luchtkwaliteit.

7.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren

Positief gezondheidseffect op korte termijn mogelijk door technische maatregelen aan gebouwen en leefomgeving, door gedragsaanpassingen

Een aanpak die vooral voortbouwt op het huidige beleid gaat gepaard met maatregelen die ervoor zorgen dat de blootstelling aan zon, hitte en ziektebronnen wordt verminderd. Dit zijn bijvoorbeeld technische maatregelen aan gebouwen en leefomgeving zoals de installatie van zonneschermen of airconditioning, de plaatsing van horren om muggen en pollen buiten te houden, en het gebruik van bestrijdingsmiddelen tegen plaagdieren. Sommige maatregelen kunnen ongunstige effecten hebben. Airconditioning vergt elektriciteit en doet de buitentemperatuur stijgen. Bestrijdingsmiddelen kunnen slecht zijn voor mensen, natuur en waterkwaliteit.

Bij deze aanpak past ook het sturen op aanpassingen van gedrag. Bedrijven en inwoners kunnen bijvoorbeeld worden gewaarschuwd voor te verwachten risicovolle omstandigheden zoals hitte, slechte luchtkwaliteit, meer kans op infectieziekten en allergieën, en (te) sterke Uv-straling. Met adviezen kan de overheid proberen ervoor te zorgen dat mensen hier rekening mee houden. Voor de langere termijn is het ook nuttig om door monitoring een beter begrip te krijgen van de acute en langetermijneffecten van klimaatverandering op de gezondheid. Op deze wijze kan de 'maatschappelijke weerbaarheid' (zie ook hoofdstuk 4) worden vergroot. In deze adaptatierichting ligt de nadruk ligt op de zelfredzaamheid van mensen.

Ook verbetering monitoring en waarschuwing, en versterking zorg hebben op korte termijn effect

Versterking van de zorgverlening is vanuit deze aanpak ook een maatregel om gezondheidseffecten te beperken. De verwachting is echter dat er in de zorg in 2034 al een tekort is van 266.000 medewerkers (Kamerbrief VWS 2024) mede als gevolg van de toenemende vraag naar zorg door meer inwoners en meer ouderen. Technologische ontwikkelingen in de zorg, zoals snellere methoden om ziektes vast te stellen en verbeterde medicijnen en behandelingen, kunnen bijdragen aan het verkleinen van gezondheidseffecten. Ook bijscholing van zorgpersoneel over de effecten van klimaatverandering op gezondheid draagt hieraan bij. Tot slot kan het helpen als het aandeel informele zorg toeneemt. Dit betreft bijvoorbeeld mantelzorg, burenhulp en buurtinitiatieven. Sociale cohesie is belangrijk voor de organisatie van dit soort informele zorg.

Omdat intensiveren inzet op kortetermijnoplossingen, zullen deze telkens moeten worden aangevuld met nieuwe maatregelen als de effecten van klimaatverandering toenemen. Deze brengen ook weer kosten mee. Technische maatregelen zijn wel sneller in te zetten dan de grootschalige maatregelen die passen bij een transformatieve aanpak. Niet zeker is of deze technische aanpak op de langere termijn voldoende is om een toename in de gezondheidseffecten te voorkomen. Bovendien is het vergroten van de zorgcapaciteit via technische oplossingen niet voor alle gezondheidseffecten van klimaatverandering een oplossing. Naast een stijging van de ziektelast kan dit leiden tot hogere druk op de zorgverlening, vooral bij een sterkere klimaatverandering. Zwaar leunen op technische oplossingen, zowel in de zorg als bij bedrijven en burgers, brengt met zich mee dat uitval van stroom of van ICT een risico vormt.

Er komt meer verantwoordelijkheid te liggen bij individuele bedrijven en burgers. Maar niet iedereen heeft de financiële ruimte om huis of omgeving aan te passen of om de kosten van zorgverlening te betalen. Ook is niet iedereen in gelijke mate in staat om het gedrag aan te passen na waarschuwingen (zelfredzaamheid). Het resultaat zal zijn dat groepen mensen in kwetsbare posities meer negatieve effecten van klimaatverandering op de gezondheid ervaren dan anderen.

Hierdoor worden gezondheidsverschillen tussen groepen – die er ook nu al zijn – nog groter, zoals verschillen in levensverwachting, aantal gezonde levensjaren en aantal chronische aandoeningen.

7.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren

Structurele aanpak kan winst voor gezondheid opleveren op de langere termijn

Een andere aanpak is om te kiezen voor meer structurele systeemaanpassingen, waarbij we hoe en waar we leven meer aanpassen aan de te verwachten klimaatverandering (adaptatierichting transformeren). Dat kan bijvoorbeeld door meer groen (bomen en planten) en meer blauw (water) aan te leggen, waardoor er tijdens perioden van hitte meer schaduw is en de temperatuur lager uitpakt dan in een situatie zonder deze ingrepen. Hierbij kan rekening worden gehouden met pollen en infectieziekten. Groen is ook goed voor de mentale gezondheid. Het verdichten en het vergroenen van steden kunnen echter haaks op elkaar staan: de ruimte is beperkt en bij hoogbouw is vergroenen niet eenvoudig. Stedelijke verdichting kan ook het totale opwarmende oppervlak in de stad vergroten, waardoor meer hitte wordt vastgehouden. Dit roept de vraag op hoe stedelijk verdichten en vergroenen het best kunnen worden gecombineerd.
Behalve op maatregelen in de fysieke leefomgeving kan ook worden ingezet op sociaal-maatschappelijke veranderingen. Het dagritme van de samenleving kan worden aangepast aan het verloop van de temperatuur en de kracht van de zon, bijvoorbeeld door hantering van flexibele werktijden, vooral voor buitenwerkers. En activiteiten zoals sporten kunnen worden gepland op momenten waarop de weersomstandigheden het meest gunstig zijn. Zo worden negatieve effecten op de gezondheid voorkomen.

Zowel in de steden als daarbuiten wordt ingezet op maatregelen die voor een robuustere en gezondere natuur zorgen. Voldoende gezonde natuur draagt bij aan bijvoorbeeld bescherming tegen hitte en uv-straling, schoon drinkwater en goede waterkwaliteit bij droogte, en voldoende waterberging bij piekbuien (ook wel 'ecosysteemdiensten' genoemd). Hoe meer in evenwicht de natuur is, des te kleiner de kans wordt op plaagdieruitbraken en de verspreiding van risicovolle hoeveelheden ziekteverwekkers. Ook het aanpakken van de vervuiling van water kan daar bij helpen, bijvoorbeeld door maatregelen in de landbouw.

De transformatieve aanpak leidt ook tot maatregelen die de 'maatschappelijke weerbaarheid' (zie hoofdstuk 3) vergroten door middel van samenredzaamheid. Een belangrijk onderdeel daarvan is dat mensen elkaar vertrouwen en zich onderling verbonden voelen (sociale cohesie) waardoor mensen beter in staat zijn om gezamenlijk adequaat te reageren op negatieve omstandigheden. De overheid, bedrijven en maatschappelijke organisaties kunnen hierin investeren in wijken en buurten, via de fysieke en sociale infrastructuur van instellingen, sleutelfiguren en netwerken. Koele openbare gebouwen kunnen bijvoorbeeld op hete dagen worden gebruikt als schuilplaats en verzamelpunt, en in straten of buurten kunnen afspraken worden gemaakt om extra hulp te bieden aan kwetsbare bewoners.
Een transformatieve aanpak omvat ook preventie. De gezondheid van mensen kan worden verbeterd door de toename van bijvoorbeeld gezonde voeding, beweging en maatschappelijke interactie. Soms zijn er meekoppelkansen met adaptatie: meer groen kan mensen stimuleren om naar buiten te gaan en meer te bewegen. Wanneer kinderen meer buiten spelen in de natuur, vergroot dat hun weerstand tegen infecties en allergieën. Mensen met een goede gezondheid zijn minder

kwetsbaar voor de impact van klimaatverandering, aandoeningen en ziektes, wat de druk op de zorgverlening kan verminderen.
Een transformatieve aanpak vraagt om een langetermijninvestering. De uitvoering van maatregelen zoals de aanleg van groen- en watervoorzieningen kost tijd. Dit soort maatregelen ter verbetering van gezondheid heeft niet direct resultaat. De verwachting is dat dergelijke maatregelen ook bij sterke klimaatverandering leiden tot een afname van de risico's. Er moet wel tijdig worden begonnen met het inrichten van een gezondere leefomgeving, en bij alle leefomgevingskeuzes zal ook het belang van gezondheid meegenomen moeten worden. In hoeverre gekozen adaptatierichtingen op de lange termijn houdbaar zijn, is onzeker. Wel zullen door het vergroten van de sociale, mentale en fysieke weerbaarheid op basis van een transformatieve aanpak de nadelige gezondheidseffecten van klimaatverandering worden beperkt.

7.4 Conclusies

Maatregelen tegen effecten op mentale gezondheid kunnen verschillende resultaten hebben
De uitdaging voor zowel overheid als maatschappij is om de zorgen van mensen over klimaatverandering serieus te nemen en te laten zien dat er wordt gewerkt aan het verminderen van de effecten ervan. Bij een intensiverende insteek kan meer monitoren en waarschuwen leiden tot meer ongerustheid, en dus tot meer zorgen. Anderzijds kan het ook het gevoel geven dat de overheid serieus aandacht besteed aan klimaatverandering, waardoor het vertrouwen groeit.
Een leefomgeving met meer groen en blauw, een maatregel die wordt ingezet bij transformeren, kan de mentale gezondheid ten goede komen. Ook het verbeteren van de sociale cohesie, wat past binnen transformeren, heeft een positief effect op de mentale gezondheid. Dit kan bijvoorbeeld door schaduwrijke ontmoetingsplekken te creëren of door er voor te zorgen dat kwetsbare groepen mee kunnen komen in de maatschappij. Tot slot: wanneer overheden en maatschappij zich zichtbaar inzetten op het verminderen van klimaatverandering en de effecten ervan, groeit het vertrouwen en nemen de zorgen (*eco-anxiety*) af.

Mix van maatregelen nodig voor effectieve aanpak effecten klimaatverandering op gezondheid
Beide beschreven insteken hebben voor- en nadelen. Een effectieve aanpak van de impact van klimaatverandering op gezondheid vraagt om een mix van maatregelen. Op de kortere termijn helpen vooral technische maatregelen om de al zichtbare effecten van klimaatverandering tegen te gaan. Maar het is ook belangrijk om nu al in te zetten op meer structurele veranderingen, zoals aanpassing van de leefomgeving, verbetering van de volksgezondheid en het weerbaar maken van de maatschappij. Omdat deze maatregelen pas na langere tijd effect hebben, moet er niet te lang mee worden gewacht. Bij sterkere klimaatverandering zullen beide typen maatregelen nodig zijn om de negatieve effecten op de gezondheid te beperken. Met de transformatieve maatregelen kunnen ook andere problemen worden aangepakt waar we nu al tegenaan lopen, zoals de slechte staat van de natuur, gezondheidsverschillen en de grote druk op de zorgverlening.
Over de relatie tussen klimaatverandering en gezondheid zijn nog veel vragen. Onderzoek hiernaar is dus belangrijk. Ook is het nuttig om mensen meer bewust te maken van de invloed van hun gedrag op blootstelling aan negatieve weersinvloeden, en van de negatieve effecten ervan op hun gezondheid.
Hoe groot de effecten van klimaatverandering op gezondheid zijn, hangt ook af van het beleid voor bijvoorbeeld woningbouw, natuur en luchtkwaliteit. Zo leidt beleid ter verbetering van de luchtkwaliteit tot minder zomersmog en heeft het een positief effect op de gezondheid . Sowieso spelen

andere factoren ook een rol, zoals de levensstijl en het gedrag van mensen, en de omgeving waarin mensen leven en werken. Het is daarom belangrijk om in alle keuzes die worden gemaakt over beleid en maatregelen in overweging te nemen welke gevolgen het heeft voor de gezondheid van mensen.

8 Cultureel Erfgoed

- *Cultureel erfgoed is belangrijk voor de cultuur, identiteit en geschiedenis van Nederland. Onder cultureel erfgoed verstaan we archeologie, gebouwd erfgoed, historisch groen, roerend erfgoed en immaterieel erfgoed. Al dit erfgoed loopt gevaar door klimaatverandering.*
- *Lage grondwaterstanden als gevolg van toenemende droogte zorgen dat organische archeologische resten vergaan en leiden tot funderingsschade. Deze heeft scheefstaande, scheurende en onbewoonbare monumenten tot gevolg. Door toenemende droogte lopen erfgoedlocaties in natuurbrandgevoelige gebieden een groter risico op schade.*
- *Historisch groen, landgoederen en stadsparken worden door droogte en hitte in toenemende mate aangetast, en kunnen onopgemerkt snel achteruitgaan en zelfs verdwijnen.*
- *Een aantal monumenten en collectie beherende instellingen en musea is kwetsbaar voor overstromingen en wateroverlast.*
- *Klimaatverandering vormt een directe bedreiging voor het voortbestaan van tradities en ambachten die afhankelijk zijn van specifieke klimatologische omstandigheden, zoals schaatswedstijden op natuurijs en aaisykje', kievietseieren zoeken. Een deel van het immaterieel erfgoed past zich aan, een deel zal zonder aanpassing verloren gaan, wat leidt tot verlies van een traditie of een lokale identiteit. Dit kan de sociale binding van gemeenschappen aantasten, die juist van belang is bij het elkaar helpen bij extreem weer.*
- *Het is moeilijk de waarde van erfgoed uit te drukken in geld, daarom is het lastig erfgoed te positioneren in de belangenafweging tussen sectoren. Veel adaptatie met betrekking tot erfgoed is in het huidig beleid geregeld via andere sectoren waarvan de waarde veelal wel in geld kan worden uitgedrukt.*
- *Het is bij het nemen van maatregelen voor andere sectoren belangrijk om aandacht te hebben voor de positie van erfgoed. Met technische maatregelen (intensiveren) in en rondom erfgoed kunnen de gevolgen worden verkleind, maar vaak gaat het om dure ingrepen, die niet overal kunnen worden toegepast en niet altijd houdbaar zijn voor de lange termijn. Tegelijkertijd kan erfgoed ook negatief worden geraakt door intensiverende adaptatiemaatregelen die genomen worden voor andere sectoren.*
- *Bij transformeren wordt de ruimtelijke inrichting aangepast aan 'water, bodem en klimaat', waarbij historische kennis gebruikt kan worden om landschappen en watersystemen te herstellen en ze zo minder gevoelig te maken voor klimaatverandering. Ruimtelijke maatregelen kunnen helpen om historische landschappen te herstellen, met positieve gevolgen voor het erfgoed zelf. Daarnaast kunnen zulke maatregelen helpen funderingen, archeologie en historisch groen te beschermen. Ze kunnen echter ook omstandigheden verslechteren voor erfgoed dat niet verplaatst kan worden. Erfgoed kan in sommige gevallen voordeel hebben van maatregelen die ook gunstig zijn voor andere sectoren, zoals verhoging van het grondwaterpeil, maar erfgoed moet soms wijken als gevolg van maatregelen (ten behoeve van andere sectoren) die veel ruimte in beslag nemen.*
- *Het erfgoed en de cultuurhistorie zijn belangrijke kennisbronnen voor het ontwikkelen van integrale klimaatadaptatiestrategieën. Het verleden biedt waardevolle kennis voor andere sectoren, aangezien veel klimaatadaptieve maatregelen, zoals wateropvang en compartimentering van landschappen, al eeuwen geleden werden toegepast.*

Tabel 8.1
Kans op en impact van risico's cultureel erfgoed (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Verlies van archeologie	Impact groot, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks

Schade aan funderingen monumenten	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks
Schade aan historische tuinen, parken, groenaanleggen	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks
Schade aan erfgoed door natuurbranden	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans één op 1 tot 10 jaar
Verlies van immaterieel erfgoed	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact midden, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks
Verlies van erfgoedgemeenschappen	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar
Schade aan monumenten, musea, archieven door overstromingen	Impact groot, kans één op 100 tot 1000 jaar	Impact groot, kans minder dan één op 1000	Impact groot, kans minder dan één op 1000	Impact groot, kans minder dan één op 1000
Schade aan buitendijks erfgoed	Impact midden, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks

Tekstkader 8.1 Analyse in het kort

Methodiek: verkenning van de toekomstige klimaatrisico's met inschatting door experts

De Rijkdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) heeft een verkenning gedaan van toekomstige klimaatrisico's voor het cultureel erfgoed. De hier beschreven informatie is gebaseerd op deze analyse van risico's voor de verschillende erfgoeddomeinen waarop klimaatverandering een grote of urgente impact heeft (RCE 2026). De nadruk ligt op risico's waarvoor klimaatadaptatie nodig is om onomkeerbare schade aan erfgoed te voorkomen of te beperken. De verkenning van klimaatrisico's voor erfgoed is redelijk nieuw; eerder heeft de RCE de huidige situatie al in kaart gebracht (PBL 2024a, RCE 2024). Dit rapport vormt een uitbreiding, met risico's voor immaterieel erfgoed, natuurbrandrisico's voor monumenten, musea en archieven, en buiten- en binnendijkse overstromingsrisico's voor erfgoed. Kennis en data zijn soms beperkt beschikbaar. Er zijn verschillende onderzoeksmethoden toegepast en er is veelvuldig gebruik gemaakt van beschikbare kaarten en bestaande (klimaat)modellen. Zo zijn de overstromingsrisicokaarten en de natuurbrandgevoeligheidskaarten gecombineerd met erfgoedlocaties in een Geografisch Informatie Systeem. Daarnaast zijn interviews met deskundigen van museale instellingen gehouden. Het onderzoek en de analyse met betrekking tot de archeologie zijn gebaseerd op gesprekken met archeologen en een hydroloog, op kwantitatieve gegevens en op literatuuronderzoek. Het onderzoek naar immaterieel erfgoed was afhankelijk van kwalitatief onderzoek, waaronder literatuuronderzoek, enquêtes en interviews met erfgoedgemeenschappen/beoefenaars. De score van de klimaatrisico's voor het cultureel erfgoed is tot stand gekomen door middel van *expert judgement*: op basis van alle beschikbare

informatie hebben erfgoedexperts een inschatting gemaakt van de toekomstige risico's overeenkomstig verschillende adaptatierichtingen.

Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op het achtergrondrapport van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed; 'Klimaatrisico's voor Cultureel Erfgoed' (RCE 2026).

Cultureel erfgoed is van maatschappelijk belang en wordt bedreigd door klimaatverandering

Met 'cultureel erfgoed' bedoelen we overblijfselen uit het verleden die de maatschappij van waarde vindt en wil behouden voor toekomstige generaties. Cultureel erfgoed speelt een belangrijke rol bij het vormen van de Nederlandse identiteit ('wie we zijn'). Het biedt een gevoel van verbondenheid met het verleden, en stimuleert de sociale cohesie en hechting aan plekken in het heden. Daarbij gaat het om restanten uit het verleden die nog in de bodem aanwezig zijn (archeologie), monumenten en beeldbepalende of karakteristieke panden, en beschermde dorps- en stadsgezichten (gebouwd erfgoed). Het betreft ook landschappen die ooit zijn gevormd door de mens (cultuurlandschappen), collecties in musea, kerkinterieurs, historische boten, enzovoort (roerend erfgoed). Daarnaast betreft het ook immaterieel erfgoed; alle tradities, gebruiken, ambachten en vaardigheden die een identiteit mede bepalen, zoals braderieën, bloemencorso's, schaatstochten op natuurijs en de vierdaagse van Nijmegen.
Cultureel erfgoed is een zogenoemde 'zachte waarde'. Het is vaak moeilijk om deze waarde uit te drukken in termen van geld. Cultureel erfgoed bepaalt de identiteit van plekken en mensen. Het draagt een waarde in zichzelf en geeft betekenis, maar wordt vaak pas op waarde geschat wanneer het dreigt te verdwijnen of al verdwenen is. Dit maakt het lastig om erfgoed te positioneren in een belangenafweging tussen sectoren en beleidsvelden.
Het cultureel erfgoed wordt bedreigd door klimaatverandering. Hiervan zijn verschillende voorbeelden. Scheepswrakken zijn vermolmd door verdroging. Beuken langs historische beukenlanen verdrogen en worden gekapt. Door droogte zijn er onvoldoende bloemen voor het bloemencorso. Door overstromingen gaat het interieur van een kerk verloren. Een natuurbrand nadert een internationaal gerenommeerd museum (Kröller-Müller museum) tot enkele honderden meters. Zonder aanpassing aan klimaatverandering zal erfgoed toenemende schade ondervinden van wateroverlast, droogte, hitte, overstromingen en de stijgende zeespiegel. Deze schade is grotendeels onomkeerbaar.

Huidig beleid: adaptatie verloopt vooral via andere trajecten

Sinds 1 juli 2016 is er één wet die betrekking heeft op museale objecten, musea, monumenten en archeologie op het land en onder water. Samen met de Omgevingswet maakt de Erfgoedwet (Staatsblad 2024) een integrale bescherming van cultureel erfgoed mogelijk. In de Erfgoedwet is vastgelegd hoe met erfgoed wordt omgegaan, wie welke verantwoordelijkheden daarbij heeft en hoe het toezicht daarop wordt uitgeoefend. Klimaatadaptatie is hierin niet nader uitgewerkt. Adaptatiemaatregelen die betrekking hebben op cultureel erfgoed maken deel uit van beleidstrajecten zoals het waterveiligheidsbeleid. Dit betreft dan vastgestelde maatregelen in de Kaderrichtlijn Water (KRW) en het Programma Aanpak Grote Wateren (PAGW). Cultureel erfgoed is opgenomen in de verdringingsreeks water (zie paragraaf 4.2.2) onder 'andere belangen' in categorie 4 (de laagste). De exacte plek van cultureel erfgoed in de verdringingsreeks varieert afhankelijk van de specifieke omstandigheden en regionale afspraken. Adaptatie vanuit de erfgoedsector zelf is vooral gericht op technische maatregelen voor specifiek erfgoed en specifieke locaties. Er wordt ook ingezet op bewustwording onder erfgoedinstellingen en erfgoedbeheerders zodat zij aan de slag gaan met adaptatiemaatregelen, relevante samenwerking (zoals met de brandweer) en evacuatieplannen. Deze

samenhang tussen adaptatiebeleid voor erfgoed en andere beleidsvelden vraagt om een heroverweging van keuzes en om een afweging van belangen tussen verschillende sectoren

8.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Droogte heeft grote gevolgen, substantieel deel erfgoed kan overstromen

Droogte vormt een toenemend risico voor cultureel erfgoed. Met prognoses die wijzen op een verdere daling van grondwaterstanden tot 2050 en 2100, nemen de zorgen over kwetsbaar erfgoed toe. Vooral archeologische monumenten in risicogebieden zoals Flevoland lopen gevaar. Dit probleem is exemplarisch voor het bodemarchief van heel Nederland. Ook historisch groen loopt schade op door langere en intensere droogteperiodes, waardoor het aanzien van deze locaties verandert.

Funderingsproblemen zullen in de komende jaren aanzienlijk toenemen. Het aantal getroffen gebouwen, waaronder Romaanse kerkgebouwen en boerderijen, neemt toe, vooral bij monumenten met funderingen op staal (zie hoofdstuk 14, Gebouwde omgeving). Monumenten op houten palen zijn ook kwetsbaar, maar vormen een kleinere groep.

Tegen 2050 zal de oppervlakte natuurbrandgevoelige gebieden zijn toegenomen. Daarmee neemt het aantal monumenten toe dat een risico loopt op schade door natuurbranden, met 36 procent. Vooral constructies met hout en rieten daken zijn kwetsbaar voor brandschade. Unieke, voor brandschade gevoelige collectiestukken kunnen onherstelbaar beschadigd raken.

Immaterieel erfgoed in Nederland wordt bedreigd door stijgende temperaturen, extreme hitte, wateroverlast, droogte, extremere weersomstandigheden en verzilting door zeespiegelstijging. Als het niet mogelijk is tradities tijdig aan te passen, heeft dat negatieve gevolgen voor het behoud van immaterieel erfgoed en de sociale cohesie binnen gemeenschappen. Het wegvallen van een lokale traditie zoals bijvoorbeeld een bloemencorso kan een grote aderlating zijn in een kleine gemeenschap en de onderlinge verbondenheid tussen generaties, buren en bevolkingsgroepen aantasten. De wekelijkse vergadering, het dagelijkse praatje of de plek waar je je denkbeelden toetst kan dan wegvallen (WRR 2025).

Van de bijna 142.000 monumenten in Nederland bevinden zich er zo'n 59.500 in potentieel overstromingsgebied. Een doorbraak van primaire waterkeringen vormt het grootste risico op schade of verlies. Verschillende collectie beherende instellingen, waaronder regionale en lokale archieven, streek- en stadsmusea, en enkele bekende musea zoals die in het Rotterdamse Museumpark, De Mesdag Collectie en het Zuiderzeemuseum, lopen aanzienlijke risico's door overstromingen. Momenteel bevindt 40,3 procent van deze instellingen zich in gebieden die zouden kunnen overstromen.

8.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren

Technische maatregelen bieden soms uitkomst maar zijn niet altijd houdbaar

Bij een intensiverende insteek liggen vooral technische maatregelen voor het materiële erfgoed voor de hand. Vegetatie rond gebouwen kan worden aangepast. Er kunnen brandvrije kelders worden aangelegd en gebouwen kunnen van brandwerende bekleding worden voorzien. Zo worden de gevolgen van natuurbranden verkleind voor gebouwd erfgoed, collecties, cultuurlandschappen en aangelegd historisch groen.

Verdroging van historisch groen kan worden tegengegaan door aanpassing van de vegetatie en het gebruik van beregeningsinstallaties. Historische bomenlanen kunnen worden beplant met meer

klimaatbestendige bomen,. Schade wordt hierdoor verminderd, maar is niet volledig te voorkomen als er onvoldoende zoetwater beschikbaar is.
Voor aantasting van archeologisch erfgoed door droogte zijn bij intensiveren geen goede oplossingen. Op een aantal locaties kan een hydrologische zone worden aangelegd, waardoor de waterhuishouding wordt losgekoppeld van de omgeving. Dit is echter zeer kostbaar en de methode is tot nu toe alleen toegepast bij Unesco werelderfgoed Schokland.
Om funderingsschade voor gebouwd erfgoed te beperken wordt geëxperimenteerd met het inpakken van kleilagen zodat deze niet verdrogen. Ook kunnen lokaal dammen geplaatst worden om het waterpeil hoog te houden, maar ook dit kost veel geld en is op de lange termijn niet houdbaar.
Ook het met technische maatregelen beschermen van immaterieel erfgoed tegen hitte of ander extreem weer is lastig. Een groot buitenevenement zoals de vierdaagse van Nijmegen kan niet op deze manier worden beschermd. Het is wel mogelijk om de gevolgen te beperken door middel van aanpassingen in gedrag, zoals het verplaatsen van het evenement naar een koelere periode of het aanpassen van de lengte van de route.
Het is niet waarschijnlijk dat er specifiek voor immaterieel erfgoed maatregelen getroffen gaan worden omdat de economische waarde van immaterieel erfgoed in veel gevallen niet opweegt tegen de kosten van een technische oplossing. Achter iedere vorm van immaterieel erfgoed is echter een ‘erfgoedgemeenschap’ actief. Deze gemeenschappen lopen uiteen van drie personen in een dorp tot een landelijk netwerk met duizenden leden. Aanpassingen aan het veranderend klimaat komen vooral uit de gemeenschap zelf. Het Kenniscentrum Immaterieel Erfgoed Nederland ondersteunt en stimuleert deze gemeenschappen.
Monumenten kunnen worden beschermd tegen hitte door het terugbrengen van historische zonwering. Hiermee wordt niet voorkomen dat historische binnensteden ’s zomers erg heet worden.
Monumenten kunnen worden beschermd tegen overstroming en wateroverlast door gevels waterdicht te maken en plinten te installeren om het water buiten te houden. Ook kan de drainage om een gebouw heen worden vergroot. Collecties kunnen worden verplaatst naar veiligere plekken.
Eventueel kunnen aparte dijken of dammen worden gebouwd om monumenten of collecties te beschermen.

Relatie met andere sectoren blijft beperkt, bescherming erfgoed niet integraal

Bij een intensiverende insteek is cultureel erfgoed niet sterk verbonden met andere sectoren en profiteert daardoor slechts in geringe mate van maatregelen. De technische maatregelen die gericht zijn op het beschermen van alleen erfgoed zijn vaak duur, en zullen in de belangenafweging met andere sectoren vaak afvallen. Het risico bestaat dat technische ingrepen in andere sectoren negatief uitpakken voor archeologie, funderingen van monumenten of voor historisch groen. Door bijvoorbeeld het aanleggen van damwanden of het aanpassen van grondwaterniveaus is er minder water beschikbaar waardoor verdroging een risico vormt. Toch kunnen bepaalde maatregelen in vergelijking met een transformerende aanpak positief uitpakken voor erfgoed, omdat de huidige situatie grotendeels behouden blijft. Intensiverende maatregelen hebben echter een grote impact op het aanzien en de identiteit van het erfgoed waardoor de balans tussen cultuur en natuur verloren raakt en het erfgoed geen sterke verbinding met de omgeving meer heeft.

8.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren

Landschapshistorische kennis biedt perspectieven voor bescherming en herstel waardevol erfgoed

Als wordt gekozen voor een transformatieve aanpak, met meer ruimtelijke maatregelen, is het aan te bevelen deze te baseren op historische kennis van water-, bodem- en klimaatsystemen. Herstel van oude waterlopen, bijvoorbeeld, bevordert de afvoer en opvang van overtollig water en gaat watertekorten tijdens droge perioden tegen. Ook vergroot het de kwaliteit van cultuurlandschappen. Hiervoor zijn echter wel kennis, kunde en inzet van erfgoedgemeenschappen nodig, zowel in de realisatie als het onderhoud.

Extreme weersomstandigheden zoals hitte raken vooral buitenevenementen. Hoewel vergroening van de omgeving en wateropvang de kwetsbaarheid verminderen, blijft de impact op immaterieel erfgoed aanzienlijk.

Het terugbrengen van oude waterlopen kan ook helpen bij de afvoer en opvang van water in natte perioden. Door het verhogen van het grondwaterpeil op plekken met waardevol archeologisch erfgoed, kunnen organische resten worden veiliggesteld. Ook paalrot, een risico voor monumenten met houten funderingen, kan op deze manier worden voorkomen. Verhoging van het grondwaterpeil is ook gunstig voor monumenten gefundeerd op staal die op kleigronden staan, zoals het geval is in Zeeland, Friesland, Groningen en de rivierkleigebieden. Bodembewegingen ontstaan door verdroging van de klei. Met hogere grondwaterstanden of door herstel van oppervlaktewater blijft de klei vochtig.

Door landschappen meer divers te maken en historische elementen te herintroduceren, kan de impact van natuurbranden op gebouwd erfgoed, historische buitenplaatsen en instellingen met collecties worden verminderd. Het creëren van brandwerende omgevingen, open gebieden en buffers rond kwetsbare culturele objecten helpt eveneens om de schade door natuurbranden te beperken. Meer waterreservoirs kunnen zowel de schade door natuurbranden verminderen als cultuurlandschappen versterken.

Door het landschap aan te passen, meer ruimte te geven aan natuur en water, en het grond- en oppervlaktewaterbeheer te herzien, kan verlies van historisch groen worden voorkomen of beperkt. Grootschalige inzet van historisch groen en water helpt om temperaturen te drukken, ook rond monumenten. Daarbij is het belangrijk om historische aanzichten, zoals stads- en dorpsgezichten niet aan te tasten. Een groene omgeving kan ook helpen om de hitte te beperken bij buitenactiviteiten die als immaterieel erfgoed worden gezien, maar bij extreme temperaturen zal dat niet voldoende zijn.

Door meer ruimte aan de rivier te geven, kan het risico op schade aan buitendijks gebouwd erfgoed worden beperkt. Deze maatregel bevordert ook de ecologische toestand van rivieren en omliggende landschappen.

Maatregelen kunnen nadelig zijn voor erfgoed, integrale afweging vereist

Een transformatieve insteek, afgestemd op water- en bodemsystemen en op klimaatverandering, kan helpen om cultuurlandschappen te versterken en te herstellen, en om funderingen, archeologie en historisch groen te beschermen. Maar omstandigheden voor cultuurlandschappen of voor statisch erfgoed kunnen ook verslechteren. Zo kan door vernatting van het veenweidegebied, een transformatieve maatregel, het huidige agrarische landschap, met historische boerderijen, veranderen.. Iets vergelijkbaars kan gebeuren met monumenten in buitendijkse gebieden, als de rivier

daar meer ruimte krijgt. De herkenbaarheid van het landschap kan zodanig worden aangetast dat het niet langer aansluit bij de identiteit van de bewoners. Dit kan de sociale weerbaarheid en het draagvlak voor klimaatadaptatie onder druk zetten. Anderzijds staat Nederland al eeuwen bekend om de strijd tegen het water, en kan het samen werken aan klimaatadaptatie ook bijdragen aan onze identiteit. Voor alle maatregelen geldt dat goed moet worden nagedacht over de gevolgen voor cultureel erfgoed en in welke mate hiermee rekening moet worden gehouden.

8.4 Conclusies

Zorgvuldige en tijdige afweging voors en tegens transformeren en intensiveren voor erfgoed is essentieel

De diversiteit van de vijf erfgoeddomeinen (archeologie, gebouwd erfgoed, historisch groen, roerend erfgoed, immaterieel erfgoed) in Nederland maakt het een uitdaging om een uniforme adaptatiestrategie te bepalen. Zowel transformeren als intensiveren heeft verschillende gevolgen voor de diverse domeinen. Intensiveren is gericht zich op de toepassing van technische maatregelen om de bestaande situatie te beschermen. Erfgoedlocaties zoals musea, archieven en buitendijks erfgoed worden beschermd tegen overstromingen en natuurbranden dankzij dijken of technische installaties. Schade aan archeologie, houten funderingen, funderingen op staal en historisch groen wordt echter niet voorkomen omdat de grondwaterstand niet wordt verhoogd. Daarnaast kunnen technische oplossingen het aanzien en de identiteit van het erfgoed aantasten.
Transformeren, daarentegen, zoekt oplossingen door rekening te houden met de natuurlijke draagkracht van water-, bodem- en klimaatsystemen en omvat maatregelen zoals het creëren van meer ruimte voor rivieren, ontpolderen en het verhogen van de grondwaterstand in onder andere de veengebieden. Dit kan positief uitpakken voor archeologie en monumenten met een fundering op staal of houten palen, doordat een vochtige bodem deze beschermt tegen verzakking en verval. Historisch groen kan profiteren van hogere grondwaterstanden doordat er minder droogte optreedt. Echter, deze transformatieve aanpak kan ook leiden tot verlies van herkenbaarheid van cultuurlandschappen zoals veenweidegebieden en uiterwaarden.
De optimale adaptatiestrategie voor erfgoed ligt in een combinatie van transformeren en intensiveren, waarbij samenwerking met andere sectoren en gebruik van historische kennis van cruciaal belang zijn. Landschapsherstel en natuurontwikkeling kunnen elkaar versterken, mits historische kennis wordt geïntegreerd om verlies van cultuurlandschappen te minimaliseren. Intensiveren brengt meer aandacht voor behoud van cultureel erfgoed op lokaal niveau met zich mee. Hiervoor kan mogelijk historische kennis worden gebruikt.
Erfgoedlocaties zullen niet bepalend zijn in adaptatiestrategieën voor Nederland. Andere belangen zoals veiligheid en het functioneren van fysieke en digitale infrastructuur zijn leidend, waarbij economische overwegingen zwaar wegen. Om de identiteit van Nederland te behouden, is het echter essentieel dat cultureel erfgoed vroegtijdig deel uitmaakt van besluitvorming rond klimaatadaptatie.

9 Natuur

- *Verdere klimaatverandering heeft risico's voor de natuur (structurele verschuiving naar een meer warmteminnende soortensamenstelling), en ecosysteemdiensten (bijvoorbeeld waterberging). Natuurdoelen kunnen onder druk komen te staan. Hoe groot de risico's worden hangt samen met de mate waarin en de snelheid waarmee klimaatverandering zich voltrekt. Bij beperkte klimaatverandering zijn de gevolgen zeer beperkt. Bij sterke klimaatverandering en het uitblijven van adaptatiemaatregelen kunnen bijvoorbeeld mogelijk in 2050 zo een 10 procent minder VHR soorten in Nederland duurzaam voorkomen, richting 2100 kan dit oplopen tot boven de 20 procent.*
- *Klimaatverandering verergerend de negatieve effecten van onder meer stikstofdepositie, verdroging en versnippering op natuurgebieden. Met natuurherstelmaatregelen kunnen de condities van natuur- en watersystemen worden verbeterd en ook de weerbaarheid tegen klimaatverandering worden vergroot.*
- *De gekozen adaptatierichting blijkt zeer bepalend te zijn voor de uiteindelijke impact van klimaatverandering op de natuur. De verwachting is dat door middel van adaptatierichting intensiveren de druk op de natuur op de korte termijn kan worden verminderd; voor de langere termijn biedt intensiveren geen dan wel beperkte oplossing is. Natuurdoelen worden in dat geval steeds minder haalbaar.*
- *Met de adaptatierichting transformeren kunnen de klimaatrisico's op de natuur beperkt worden. Als zodanig biedt deze adaptatierichting kansen voor natuurherstel en -ontwikkeling. Richting het jaar 2100 hangt dit sterk af van de omvang van klimaatverandering. In geval van sterke klimaatverandering zal transformeren naar verwachting de risico's wel kunnen verkleinen, maar niet volledig neutraliseren.*
- *De druk op de levering van veel ecosysteemdiensten als voedselproductie, drinkwatervoorziening, en bestuiving kan alleen verkleind worden wanneer er passende ruimtelijke, en natuurinclusieve adaptatiemaatregelen worden toegepast en de klimaatverandering beperkt blijft.*

Tabel 9.1
Klimaatrisico's voor natuur bij huidig beleid bij sterke klimaatverandering, en bij de twee adaptatiescenario's (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij alleen huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
VHR	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar
Ecosysteemdiensten	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar
Biodiversiteit	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar
KRW	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar

In dit hoofdstuk beschrijven wij de klimaatrisico's voor de natuur en voor bereiken van natuurdoelen. Hierbij gaat het om biodiversiteit, de levering van ecosysteemdiensten (ESD) en doelen die onderdeel zijn van de Vogel- en Habitat Richtlijn (VHR) en de Kader Richtlijn Water (KRW). Op deze

manier leggen wij een link naar belangrijkste Europese natuurverplichtingen. In aanvulling worden in hoofdstuk 17 de risico's voor de aquatische natuur in Nederland verder beschreven, gekoppeld aan de waterkwaliteit van oppervlaktewateren.

Deze tekst is grotendeels gebaseerd op 'Toekomstige risico's en kansen van klimaatverandering voor de Nederlandse natuur" (WUR 2026a), ' Herijking klimaatrisico's- Herijking klimaatrisico's waterkwaliteit (Deltares 2026d) en de achterliggende factsheets over de VHR-doelen, KRW- doelen, Ecosysteemdiensten en Biodiversiteit in het algemeen.

Tekstkader 9.1 Analyse in het kort
De studie is gericht op de gevolgen van deze adaptatierichtingen voor algemene biodiversiteit, VHR-doelen, KRW-doelen en de levering van ecosysteemdiensten (ESD). De beoordeling is uitgevoerd op basis van modellen, literatuur en expertkennis. Gebruikte modellen zijn het MNP (Model for Nature Policy, gebruikt voor temperatuureffect op VHR-doelen), de KRW-verkenner (voor KRW-doelen), het BIOSCORE model (biodiversiteit en habitatvoorkomen) en het Natuurlijk Kapitaal Model (NKM, gebruikt voor Ecosysteemdiensten).
Voor de evaluatie van de VHR-doelen met het MNP is alleen naar temperatuureffecten gekeken (in termen van condities van duurzaam voorkomen van plant- en diersoorten). Andere klimaatontwikkelingen, zoals neerslagveranderingen en verzilting zijn geen onderdeel van de beschreven studie geweest.
De effecten op de VHR-doelen zijn geëvalueerd aan hand van een deelset (in totaal 146) van soorten vlinders, vogels en planten die die op dit moment in Nederland voorkomen. De lijst van VHR-soorten is langer. Door klimaatverandering zullen ook soorten uit het buitenland naar Nederland komen. Deze konden niet worden meegenomen. Daarmee is de uitspraak over doelbereik een eerste indicatie.

Door experts is een semi-kwantitatieve analyse van vraag en aanbod van de 19 ESDs bij toekomstige klimaatverandering toegevoegd aan bestaande modelinschattingen.
Voor de invulling van het scenario met het 'huidig beleid' zijn verschillende bronnen gebruikt. Daarbij gaat het met name om de inventarisatie van huidige klimaatrisico's (WUR 2024), de Nulmeting van Adaptatiebeleid (ORG-ID 2022), de Deltascenario's (Deltares 2024), de PBL Ruimtelijke Verkenning (PBL 2023a), en de PBL-toekomstverkenning van landbouw en natuur (LNVK, PBL 2025a). Zie WUR (2026a) voor meer details. Voor de invulling van het huidige beleid m.b.t. natuur wordt dan ook aangesloten bij de LNVK 2025 (PBL 2025b).
De maatregelen in beide adaptatierichtingen waren onderdeel van de MNP- en KRW-verkenner toepassingen en/of onderdeel van de expertsessie rond Ecosysteemdiensten. Zie WUR (2026a) voor details van de aanpak.

9.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Klimaatverandering vergroot de opgave voor bestaande problemen
De natuur in Nederland is belangrijk voor het welzijn en de economie. De natuur levert onder andere een aantal belangrijke ecosysteemdiensten zoals schoon water, schone lucht, en voedselproductie (bestuiving). Veel economische sectoren zijn dan ook afhankelijk van een goede staat van de natuur. Ook is de natuur belangrijk voor de fysieke en mentale gezondheid van de burger, biedt ze recreatie en welzijn. Behoudt van biodiversiteit is verder essentieel voor de veerkracht van ecosystemen.

De natuur in Nederland is ook belangrijk in Europese context. Zo is ruim 20 procent van het areaal van Europese duinen en kwelders dat onder Natura 2000 valt, in Nederland te vinden (PBL 2010).

De natuur in Nederland staat onder druk. Daarbij moet 'natuur gezien worden over de volle breedte: planten en dieren (al dan niet beschermd), voedselketens en ecosysteemdiensten. Zo nemen populaties van kritische en veelal zeldzame soorten nog steeds in omvang af (WUR 2026a).

Klimaatverandering brengt grote opgaven met zich mee voor de natuur in Nederland (Tabel 9.1). Hierbij gaat het enerzijds om geleidelijke veranderingen van 'gemiddeld klimaat', want bijvoorbeeld ook een gemiddelde temperatuur is een belangrijke factor voor de verspreiding van soorten. Bij geleidelijke opwarming zullen warmteminnende soorten het beter gaan doen in een standplaats dan koudeminnende soorten. In de VHR-rapportage (EEA 2022a; EEA 2022b) is aangegeven dat voor de periode 2012 - 2018 ruim zes procent van de VHR-doelen onder druk is komen te staan door de waargenomen temperatuurstijging (PBL 2024). Ook het groeiseizoen van veel planten en het hooikoortsseizoen worden langer door die geleidelijke klimaatverandering. Veel vogelsoorten leggen eerder hun eerste ei (al lijkt die vervroeging te stabiliseren, CLO 2024, indicator). Omdat soorten verschillend reageren kan zo'n verschuiving ook gevolgen hebben voor de voedselvoorziening van veel dieren: trekvogels komen al terug naar Nederland, terwijl insecten nog niet aanwezig zijn. Bovendien is een temperatuurtoename ook een belangrijke trigger voor de afname van ecosysteemdiensten zoals bodemvruchtbaarheid en koolstofvastlegging, en resulteert het in opwarming van oppervlaktewateren en heeft het algenbloei en slechtere waterkwaliteit tot gevolg. Tenslotte heeft verandering van het gemiddelde klimaat ook (net als klimaatextremen) een effect op de standplaatscondities en versterkt het de andere drukfactoren zoals verdroging. Al met al kan de soortensamenstelling van planten onder invloed van klimaatverandering dusdanig veranderen dat er een effect is op het voorkomen en de samenstelling van ecosystemen/habitats, zoals die ook in de Vogel- en Habitatrichtlijn (VHR) zijn opgenomen. Deze veranderingen kunnen ook nadelig uitwerken voor veel ecosysteemdiensten.

Anderzijds hebben ook toenemende klimaatextremen zoals extreme droogte grote invloed op het voorkomen van soorten en op het functioneren van de natuur in Nederland. Zo heeft de toenemende droogte van de afgelopen decennia een grote negatieve impact gehad op de biodiversiteit en op het leveren van ecosysteemdiensten (figuur 9.1). Dit mede omdat extreme droogte veelal plaatsvindt op Europees schaalniveau, waardoor uitwijkmogelijkheden naar gunstiger leefgebied beperkt zijn. Daarmee is droogte ook een belangrijke risico voor het behalen van doelen in het kader van de VHR en de KRW (EEA 2022b).

Figuur 9.1

Voorbeelden van ecosysteemdiensten in Nederland



Bron: PBL, WUR, CICES 2014

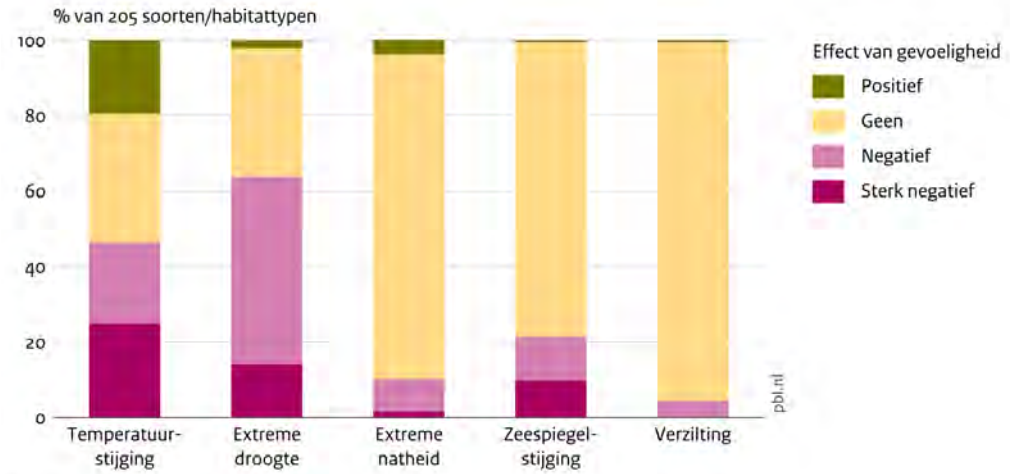
Klimaatverandering heeft negatieve gevolgen voor behalen natuurdoelen

Nederland is verplicht om de achteruitgang van natuur te stoppen en herstel in gang zetten overeenkomstig de natuurdoelstellingen volgens Vogel- en Habitatrichtlijn (VHR), de Kader Richtlijn Water (KRW), de Europese Natuurherstelverordening (NHV) en het nationale Programma Natuur. Klimaatverandering is niet de enige drukfactor op en oorzaak van achteruitgang van de natuur in Nederland. Stikstof, verdroging, versnippering en het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen zijn *tegenwoordig* dominante knelpunten voor de natuur (PBL 2025b). Henkes et al. (2024) stellen dat de toenemende klimaatrisico's in de toekomst een belangrijke(re) rol gaan spelen bij de realisatie van de VHR- en KRW-doelen (figuur 9.2). Veel meer soorten en habitattypen ondervinden negatieve gevolgen dan dat ze kunnen profiteren van de veranderende omstandigheden. Zo is ruim 46 procent van de VHR-soorten en -habitats in negatieve zin gevoelig voor temperatuurverandering en bijna 64 procent van de VHR-doelen is in het geding door de droogte. Voor verzilting is dat risico met 4 procent een stuk kleiner, ook omdat dit effect naar verwachting vooral optreedt in de kustzone.

Verschillende klimaatdreigingen brengen uiteenlopende risico's met zich mee, en soms zelfs kansen voor de natuur in Nederland (figuur 9.2; WUR 2024).

Figuur 9.2

Gevoeligheid voor klimaatverandering van Vogel- en Habitatrichtlijnsoorten en -habitattypen, 2020 – 2050



Bron: WUR

Toekomstige risico's sterk afhankelijk van omvang en snelheid van klimaatverandering

Hoe groot de toekomstige risico's voor de natuur zijn hangt in sterke mate af van de omvang en snelheid van klimaatverandering (figuur 9.3).

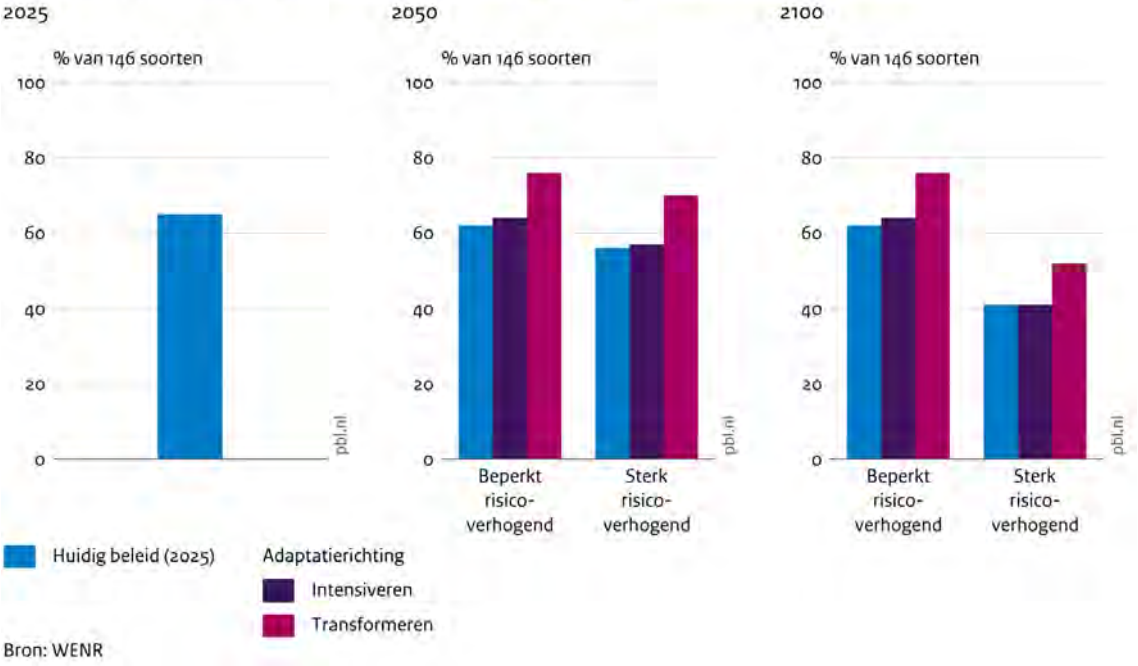
In het *beperkt risicoverhogend contextscenario* is sprake van een klimaatverandering die tot 2050 beperkt is, en daarna vrijwel gelijk blijft. Vooral koudeminnende soorten zullen onder druk komen te staan. Er zal in Nederland een verschuiving zijn naar meer warmteminnende soorten (Hellegers et al. 2025; WUR 2026a). Dit zal in 2050 het geval zijn, al is dit ook een proces dat al decennia plaatsvindt (Hellegers et al. 2025). Toch is de verwachting dat in dit scenario de extra effecten van klimaatverandering op het voorkomen van soorten, het functioneren van habitats en ecosysteemdiensten relatief beperkt zal zijn (zie figuur 9.3).

In het sterk risicoverhogende contextscenario is het beeld aanzienlijk anders. De verwachte effecten zijn naar verwachting substantieel (zie figuur 9.2) en veelal onomkeerbaar als er geen aanvullend beleid komt. Veel plant- en diersoorten die nu in Nederland voorkomen zullen in dit scenario in meer of mindere mate last ondervinden van klimaatverandering. Temperaturen komen buiten toleranties van zowel veel koude- als warmteminnende soorten. En vochttekort brengt nodige droogtestress (neerslagtekort +35 procent), waardoor ook verzilting in laag-Nederland zal verergeren. De adaptatie- en migratiecapaciteit van veel soorten is te laag om de omvang en snelheid van klimaatverandering te kunnen bijhouden (met uitzondering van soorten die zich over lange afstanden kunnen verplaatsen, zoals grote zoogdieren en migrerende vogels, tenzij deze tegen barrières aanlopen). Dit geldt met name richting 2100, maar deels ook al naar 2050 toe. Overal leidt dit naar verwachting tot grote risico's voor de samenstelling en het functioneren van ecosystemen/habitats in Nederland (waarbij de mate afhangt van omvang van klimaatverandering).

Kwantitatief zal de sterk risicoverhogende context in 2100 zonder extra adaptatiebeleid naar verwachting leiden tot een extra verlies van 20 procent van beschermde plant- en diersoorten (deels in VHR, figuur 9.2) in Nederland, bovenop het verlies door andere factoren als vermesting, verdroging en de versnippering van natuurgebieden.

Figuur 9.3

Duurzaam voorkomen van soorten broedvogels, dagvlinders en vaatplanten



Bron: WENR

Uitval ecosysteemdiensten

In het sterk risicoverhogende contextscenario met alleen huidig beleid zal in 2050 ook de levering van de veel ecosysteemdiensten (beschreven in figuur 9.1) afnemen, zoals voedselproductie , drinkwatervoorziening, bestuiving en recreatie (WUR 2026a). Nog onduidelijk is hoe groot de economische risico's zullen zijn door verwachte uitval of beperking van ecosysteemdiensten, met name volgens dit scenario.

9.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren

Type maatregelen

Met de adaptatierichting intensiveren wordt beoogd grotendeels hetzelfde op dezelfde plek te kunnen blijven doen. De omgeving wordt aangepast om bestaande functies (zoals landbouw) te kunnen voortzetten. Door vooral technische maatregelen worden activiteiten aangepast aan een veranderend klimaat, zonder dat hiervoor grote ruimtelijke ingrepen nodig zijn (zie bijlage 3.3 voor overzicht van maatregelen).

Intensiveren leidt tot beperkte verbetering natuur

'Intensiveren' houdt in dat vooral technische maatregelen toegepast worden, zoals waterpeilbeheer, minder grondwater oppompen en gebiedsvreemd water inlaten. De verwachting is dat hierdoor de klimaatrisico's op de natuur (figuur 9.1, figuur 9.3) en ecosysteemdiensten beperkt zullen verbeteren ten opzichte van alleen huidig beleid. Op de korte termijn kan de druk op de natuur nog wel worden verminderd, maar op de langere termijn biedt deze richting geen oplossingen (WUR 2026a). Met name in combinatie met een sterke klimaatverandering (sterk risicoverhogend) zijn de effecten van klimaatverandering structureel, en nemen andere drukfactoren (zoals versnippering) niet af. De vooral technische maatregelen kunnen natuurlijke processen slechts beperkt en met vertraging ondersteunen. Doordat soorten onvoldoende kunnen meebewegen zullen ze door de

toenemende klimaatdruk blijven achteruitgaan. De huidige doelen voor biodiversiteit, VHR, KRW en ecosysteemdiensten blijven – zeker op langere termijn – onder druk staan.

9.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren

Type maatregelen

De adaptatierichting 'transformeren' omvat veel maatregelen waarbij optimaal gebruik gemaakt wordt van het natuurlijk systeem: water en bodem fungeren als onderlegger in de ruimtelijke inrichting en waar mogelijk wordt gekozen voor natuurinclusieve maatregelen (nature-based solutions, zie bijlage 3.3 voor details). Het gaat in om zowel de stedelijke omgeving als het landelijk gebied zo in te richten dat ze beter zijn toegerust op diverse gevolgen van klimaatverandering. Er blijft dan in droogtegevoelige delen van Nederland meer water over voor de natuur doordat landbouw deels verplaatst wordt, en doordat de drinkwatervraag gereduceerd wordt. En belangrijk is dat deze richting aanzienlijk meer ruimte biedt voor natuur en ecosysteemdiensten, juist op die locaties waar de behoefte het grootst is. Dit onder meer door natuurgebieden worden meer met elkaar verbonden.

Transformeren leidt tot sterke verbetering natuur

De adaptatierichting transformeren laat een sterke verbetering van de natuur zien ten opzichte van de situatie zonder aanvullend adaptatiebeleid (figuur 9.1 en 9.3). Ook voor de meeste ecosysteemdiensten wordt een sterke verbetering verwacht (tabel 9.2). Bij een beperkte klimaatverandering (beperkt risicoverhogend) zal naar verwachting de eindsituatie van de natuurdoelen (VHR, KRW, biodiversiteit, ecosysteemdiensten) zelfs verbeteren ten opzichte van het heden, vooral richting 2050. Veel risico's met name rond temperatuurstijging die nu waargenomen worden kunnen gemitigeerd worden. Robuuste natuurnetwerken, hydrologisch herstel, waterbuffering tegen droogte en natuurinclusieve landbouw zullen naar verwachting het duurzaam voorkomen van soorten merkbaar verbeteren tot 2050, waarna de situatie naar verwachting stabiliseert op een hoger niveau dan met alleen huidig beleid wordt bereikt.
Ook als klimaatverandering harder gaat (sterk risicoverhogend) is de verwachting dat de natuur tot 2050 verbetert. Tussen 2050 en 2100 nemen de negatieve effecten dan wel toe. Dit komt bijvoorbeeld doordat temperatuur buiten de tolerantiegrenzen van soorten komt, getijdengebieden en zoet-zoutgradiënten deels verdwijnen en rivierafvoeren verder dalen. Dankzij natuurinclusieve maatregelen blijft het duurzaam voorkomen van soorten dan wel gunstiger dan onder huidig beleid, al wordt het onzeker of biodiversiteitsdoelen behaald kunnen worden.

9.4 Conclusies

Grote invloed klimaatverandering op natuur kan (deels) door adaptatiemaatregelen worden gematigd

Klimaatverandering is van grote invloed op de natuur in Nederland. Bij de relevante klimaatdreigingen gaat het zowel om extreme klimaatgebeurtenissen als ook om geleidelijke verandering zoals temperatuurstijging. Huidige problemen zoals stikstof, verdroging en de versnippering van natuurgebieden worden erger, naargelang de omvang en snelheid van klimaatverandering. Daarom kun je spreken van grote en permanent risico's (categorie hoog en jaarlijks, tabel 9.1).
De verwachting is dat door adaptatiemaatregelen veel van deze toenemende risico's beperkt blijven of zelfs helemaal weggenomen kunnen worden. De maatregelen in adaptatierichting

'transformeren' zijn gericht op het verbinden van natuurgebieden en het verbeteren van de omgevingskwaliteit (b.v. hydrologisch herstel). Deze maatregelen leiden naar verwachting tot een substantiële verbetering van de natuur (soortensamenstelling, ecosysteemdiensten, natuurdoelen) ten opzichte van 2050 met alleen huidig beleid, en mogelijk zelfs ten opzichte van heden (bij beperkte klimaatverandering). Maar er blijven risico's, met name na 2050 bij een sterke klimaatverandering. Sommige ecosystemen lopen tegen hun grenzen aan, en sommige ecosysteemdiensten blijven onder druk te staan. Dit geldt met name voor de diensten koolstofvastlegging en goede drinkwatervoorziening.

De beschouwde maatregelen in adaptatierichting intensiveren zullen daarentegen naar verwachting tot weinig verbetering leiden, ook bij beperkte klimaatverandering. Met dit soort maatregelen loop je dus relatief snel tegen grenzen aan.

Natuurherstel nodig voor klimaatbestendiger natuur

Natuur die al onder druk staat door vermesting, verdroging en versnippering is extra kwetsbaar voor de klimaatverandering. En door klimaatverandering wordt de opgave voor bestaande problemen vergroot, net als de noodzakelijkheid van herstelmaatregelen voor water en natuur. Met natuurherstel maatregelen kunnen de natuur- en watersystemen weerbaarder worden gemaakt. Een klimaatbestendigere natuur wordt vooral verkregen door natuurgebieden te vergroten en te verbinden, verscheidenheid te stimuleren en overgangen tussen biotopen in natuur- en watergebieden te creëren. Verder is het belangrijk de condities in natuurgebieden verbeteren. Gezonde natuur kan meer hebben dan natuur die al is aangetast of in suboptimale condities verkeert. Door bijvoorbeeld verdroogde natuurgebieden te vernatten worden ze minder gevoelig voor de extra droogte die klimaatverandering brengt. Inrichtingsmaatregelen voor waterlopen en rondom natuurgebieden in het kader van de VHR en de KRW helpen dus ook om effecten van klimaatverandering te verminderen.

Klimaatverandering leidt tot discussie haalbaarheid natuurdoelen (PBL 2025b)

Klimaatverandering maakt het behalen moeilijker van huidige doelen van de VHR en de KRW, op langere termijn, in alle adaptatierichtingen. De laatste jaren is er in de wetenschappelijke literatuur en in de maatschappij een discussie op gang gekomen over het 'statisch' geachte doelenkader van de VHR: is dit nog wel houdbaar in het licht van de uitdagingen van klimaatverandering? Kunnen alle behoudsdoelen in alle gebieden wel worden gehaald, of moeten die doelen worden aangepast omdat natuur in de toekomst mee verandert met het klimaat?

Hoewel dit niet met zoveel woorden in de VHR staat, stellen juristen dat uit de jurisprudentie over de richtlijn is af te leiden dat lidstaten wettelijk verplicht zijn de nodige adaptatiemaatregelen te nemen om natuur aan te passen aan klimaatverandering (zie bespreking in Alblas et al. 2025; zie ook Europese Commissie 2019). En het Hof van Justitie van de Europese Unie oordeelde in de inbreukprocedure tegen het Verenigd Koninkrijk dat het verslechteringsverbod niet alleen externe door de mens veroorzaakte verstoringen omvat, maar ook natuurlijke omstandigheden die de staat van instandhouding van soorten en habitats bedreigen. Daaruit is op te maken dat klimaatverandering geen argument is om verslechtering van soorten of habitats toe te staan. Deze inzichten en uitspraken onderstrepen het belang om te investeren in adaptatiemaatregelen om zo de invloed van klimaatverandering te dempen.
Tegelijkertijd maakt de Natuurherstelverordening het in bepaalde situaties mogelijk om klimaatverandering als reden te gebruiken om de VHR-doelen niet te behalen. Er staat dat 'onvermijdelijke habitattransformaties die rechtstreeks het gevolg zijn van klimaatverandering' een

uitzondergingsgrond zijn voor het behalen van natuurdoelen (artikel 4 lid 14-16). De precieze reikwijdte van deze bepaling in relatie tot de eerdere uitspraken zal in de toekomst moeten blijken.

Voor de vraag of klimaatadaptatiemaatregelen nodig zijn, maakt het niet uit in hoeverre Nederland en de Europese Unie de doelen moet blijven richten op bescherming van enkel de huidige natuur of moeten meebewegen naar bescherming van nieuwe natuur. De maatregelen (met name die in de richting transformeren) bieden betere condities voor zowel bestaande als nieuwe natuur ten opzichte van niets doen.

10 Waterkwaliteit

- *Zonder extra adaptatiemaatregelen zal klimaatverandering in 2100 leiden tot onomkeerbare schade aan de aquatische natuur; deze komt bovenop het verlies van aquatische natuur door andere problemen zoals vermesting. Waterkwaliteitsdoelen die volgen uit de Kaderrichtlijn Water (KRW) zullen daardoor steeds minder goed haalbaar zijn.*
- *Keuzes binnen andere beleidssectoren kunnen van grote invloed zijn op de waterkwaliteit. Maatregelen ter verbetering van de connectiviteit tussen verschillende wateren en van de dynamiek van het watersysteem dragen niet alleen bij aan een betere waterkwaliteit, ze kunnen ook de weerbaarheid van de samenleving tegen wateroverlast vergroten.*
- *Intensiveren kan lokale effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit beperken, maar duurzaam behoud van aquatische ecologie vraagt om structurele veerkracht en om ruimtelijke transformatie (transformeren).*
- *Bij de keuze voor een aanpak voor klimaatadaptatie en maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit is het belangrijk om in de gaten te houden volgens welk scenario klimaatverandering zich lijkt te ontwikkelen. Een sterk risicoverhogend contextscenario vergt een tijdige transformatieve aanpak om negatieve effecten op de waterkwaliteit substantieel te verminderen.*
- *Het meest effectief is de combinatie van technische ingrepen voor de korte termijn en ruimtelijke strategieën voor de lange termijn.*

Tabel 10.1
Effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit; heden en toekomst bij huidig beleid en bij twee adaptatierichtingen (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Waterkwaliteit	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar

Tekstkader 10.1 Analyse in het kort
Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande kennis, mede door aansluiting bij andere projecten. Aan de basis liggen klimaatscenario's die zijn doorgerekend met een combinatie van hydrologische modellen (SOBEK, LSM en LHM).
Met SOBEK, een modellensuite voor simulatie van diverse fysische processen, zijn zoutindringing en de kwaliteit van het oppervlaktewater berekend. Met de achterliggende data van de KRW-Verkenner en AqMaD zijn de resultaten doorvertaald naar de ecologische impact. Deze is bepaald op basis van toleranties van KRW-doelsoorten voor ecologische drukfactoren.
Het LHM (Landelijk Hydrologisch Model) is het geïntegreerde landsdekkende grond- en oppervlaktewater model. Het model berekent het regionale grondwaterstromingspatroon van Nederland in relatie tot het klimaat. Het instrumentarium is gericht op de simulatie van gemiddelde en droge situaties. Met het LHM kunnen bijvoorbeeld grondwaterstanden, stijghoogten in diepere watervoerende pakketten, kwel- en wegzijgingsfluxen en de uitwisseling tussen het grond- en oppervlaktewater worden gesimuleerd.
De KRW-Verkenner kan gebruikt worden om de effecten van maatregelen op de ecologische en chemische kwaliteit van het oppervlaktewater te berekenen. De ecologische toestand wordt

beoordeeld aan de hand van het voorkomen van waterplanten, fytoplankton, macro-evertebraten en vissen. Het geeft inzicht in de effectiviteit van de maatregelen in relatie tot de KRW-doelen. Beperkingen in de gebruikte methode volgen vooral uit kennisgebrek. Dat geldt bijvoorbeeld voor de gebruikte temperatuurtoleranties van plant- en diersoorten. Hiervoor zijn vooral data uit andere landen gebruikt omdat er informatie voor Nederland beperkt beschikbaar is. Verder geven de beschreven waterkwaliteitsrisico's geen compleet beeld.

In dit hoofdstuk vatten wij de risico's samen van toekomstige klimaatverandering voor de aquatische natuur en de daarmee samenhangende doelen vanuit de Kader Richtlijn Water (KRW). De tekst is grotendeels gebaseerd op 'Herijking klimaatrisico's - Herijking klimaatrisico's waterkwaliteit (Deltares 2026d) en "Toekomstige risico's en kansen van klimaatverandering voor de Nederlandse natuur" (WUR 2026a).

10.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Door klimaatverandering, landgebruik en watermanagement zullen naar verwachting de klimaatrisico's voor de waterkwaliteit en aquatische natuur toenemen, zeker wanneer er geen aanvullende maatregelen worden ingezet. Hierbij gaat het dan om:

- een toename van omgevingstemperatuur kan leiden tot hogere watertemperaturen. Dit kan resulteren in afsterving van soorten, toename van algenbloei en lage zuurstofconcentraties; dit speelt met name tijdens hittegolven, die ook tot directe hittestress bij dieren kunnen leiden.
- meer frequente en intensere verdrogingseffecten: vaker droogval van vennen, veranderende rivierdebieten, langere verblijftijden in de zomer en hogere kans op stratificatie in de meren;
- toenemende invloed van zoutindringing in zoete systemen;
- langer groeiseizoen en veranderingen in het seizoensverloop. Dit kan leiden tot mismatching van prooi-predatorrelaties en seizoensgebonden verschuivingen in de waterbalans;
- verschuiving arealen van plant- en diersoorten en toenemende rol van exoten, en daardoor afname van biodiversiteit.

Effect stijgende watertemperatuur afhankelijk van contextscenario's

De KNMI'23 klimaatscenario's zijn in de Deltascenario's doorvertaald naar stijgingen van de watertemperatuur voor onder andere de Nederlandse rivieren. Voor het *Deltascenario Rust* was de basis voor contextscenario 'Beperkt risico verhogend. Hierin wordt een stijging van de gemiddelde zomerse watertemperaturen van +1°C verwacht voor 2050, en nog een kleine stijging erna richting 2100. Ook het verdrogingsrisico neemt beperkt toe. Er worden verder lichte verlagingen van waterstanden worden verwacht, maar ook een lichte stijging van debiet voor de brakke tot zoute wateren. Verblijftijd en stroomsnelheden blijven naar verwachting over het algemeen stabiel. De ecologische gevolgen van de temperatuurstijging voor KRW-soorten zijn naar verwachting beperkt (in tijd en vooral plaatselijk). Het is de verwachting dat uiteindelijk de aquatische ecologie in stand blijft.

Anders is het voor het *sterk risicoverhogende contextscenario* (met Deltascenario *Stoom als basis).* De landelijke watertemperatuur neemt gemiddeld toe met rond +2,5°C in 2050, waarna een versnelling volgt tot +4°C in 2085 en + 5°C rond 2100. De gemiddeld watertemperatuur in de zomer komt dan uit veelal boven de 21°C voor 2050 en boven de 23°C voor 2085. Hiermee benaderen de aquatische omstandigheden een sub mediterraan klimaat (Deltares 2026b). Dergelijke veranderingen hebben dan grote gevolgen hebben voor de aquatische ecologie in Nederland.

Allereerst kunnen in dit sterk risicoverhogend contextscenario de watertemperaturen buiten de toleranties van veel KRW-soorten komen, waardoor die op den duur niet meer in de Nederlandse rivieren zouden kunnen leven (tabel 10.2). Voor veel vissoorten is het verwachte effect beperkt: In 2050 komt de watertemperatuur voor omstreeks 14 procent van de vissoorten buiten de tolerantie, richting 2085/2100 wordt dat bijna 20 procent. Anders ligt dat bij ongewervelde dieren zoals slakken. Deze zullen onder druk komen te staan wanneer de watertemperatuur stijgt, de stroming in rivieren afneemt, en er zuurstofstratificatie in toenemende mate plaatsvindt. Dit kan ertoe leiden dat omstandigheden al in 2050 tolerantiegrenzen overschrijden van 70 tot 85 procent van deze soorten, tenzij zij in staat zijn om naar lagere, koelere waterlagen te migreren. En richting 2085 heeft deze autonome adaptatie richting in het sterk risicoverhogend contextscenario nog maar een beperkt effect.

Verder kunnen als gevolg van de verwachte temperatuurstijging bij het sterk risicoverhogend scenario grote waterplanten (=macrofyten) zoals de eendenkroosachtigen, waterlelies en wortelende waterplanten onder druk komen te staan. Geen van de grote waterplanten die Nederland volgens de KRW in stand moet zien te houden is aan zulke temperaturen aangepast. Hiermee gaan mogelijk een belangrijke bron van voedsel, broedgebieden, standplaatsen en ecosysteemstructuren verloren, waardoor de achteruitgang van vissoorten en ongewervelden wordt versterkt.

Ten slotte zullen de hogere watertemperaturen vaker tot zuurstoftekorten, vissterfte en algenbloei leiden.

Tabel 10.2

Percentage KRW-doelsoorten voor 2124 macro evertebraten[2] (boven) en 45 vissoorten (onder) waarvoor de temperatuur in 2050 en 2085 binnen temperatuurtolerantiecurven valt, uitgaande van de twee contextscenario's.

	Huidig heden	Beperkt 2050	Beperkt 2085	Sterk 2050	Sterk 2085
Macro-evertebraat	38%	28%	19%	168%	8%
Macro-evertebraat -5°C	100%	100%	97%	91%	53%
Vis	93%	91%	88%	86%	81%

Waarden zijn bepaald op basis van het verwachtte landelijk zomergemiddelden voor oppervlaktewatertemperatuur. Voor macro-evertebraten zijn eveneens waarden weergegeven gecorrigeerd voor diepere waterlagen (bij aangenomen gemiddelde stratificatie van 5°C).

Meer frequente en meer intense verdrogingseffecten, lagere afvoeren

Tussen de context/klimaatscenario's zijn er grote verschillen te zien in verwachte rivierafvoeren en waterpeilen. In het beperkt risicoverhogend contextscenario (Deltascenario Ruim) wordt er enige stijging verwacht in gemiddeld en maximum zomerafvoeren voor de grote rivieren, terwijl het sterk risico- verhogend scenario (Deltascenario Stoom) een daling in zomerdebiet laat zien. Zo is de verwachting dat de lage afvoeren van de Rijn en Maas in de zomer verder afnemen (laagste 7-daagse afvoer met min 30 procent).

[2] Macro-evertebraten zijn ongewervelde dieren, zoals insecten, slakken, wormen en kreeftachtigen die met blote oog zichtbaar zijn

Een zelfde verschil is te zien voor meren, sloten, brakke tot zoute wateren en nevengeulen. In het beperkt risicoverhogend scenario stijgen de debieten daar tot 2050 licht, terwijl er een sterk dalend debiet verwacht wordt voor het sterk risicoverhogend scenario (landelijk ca. 35-40 procent, zoute wateren in de Zuidwestelijke delta 45 procent). Tussen 2050 en 2085 wordt er dan een herstel verwacht van het debiet voor de brakke tot zoute wateren. Voor de overige waterclusters wordt er geen herstel verwacht.

Deze verschillen tussen de contextscenario's zijn ook terug te zien in de verwachte ecologische consequenties. Bij het beperkt risicoverhogend scenario zijn de ecologische effecten naar verwachting gering. De verblijftijd en stroomsnelheden blijven over het algemeen stabiel, wat betekent dat het zelfreinigend vermogen van watersystemen behouden blijft. Nutriëntenbeschikbaarheid en zuurstofhuishouding blijven functioneel, en het risico op algenbloei blijft grotendeels onveranderd.

Anders is het bij het sterk risico-verhogende scenario. De verwachte aanzienlijke daling in debieten leiden tot sterkere verzilting, tot langere verblijftijden en lagere stroomsnelheden, wat de uitspoeling en de verdunning van nutriënten belemmert. Dit alles zal consequenties hebben voor soortensamenstelling, waarvan de omvang wel sterk afhangt van lokale omstandigheden (bijvoorbeeld morfologie en substraattype).

Waterlichamen vallen vaker droog

In het sterk risicoverhogend contextscenario zal naar verwachting het gemiddeld *neerslagtekort* (het verschil tussen de hoeveelheid water die verdampt en de hoeveelheid neerslag die valt) stijgen met 35 procent tot 210 mm in 2050, en met 59 procent tot 248 mm in 2085. Daarmee daalt ook de (hoogste) grondwaterstand (GHG) en is er een verhoogde kans op droogte. Dit heeft ook gevolgen voor de beekafvoeren. De effecten zijn naar verwachting het grootst op de Hoge Zandgronden Oost en Zuid, en in de Zuidwestelijke Delta.

Door het stijgende neerslagtekort en de dalende grondwaterstanden zullen ondiepe waterlichamen vaker en langduriger droogvallen, met name op de Hoge Zandgronden Zuid. Dit leidt tot een verlies van habitats (bijvoorbeeld bij oevervegetaties) en tot onderbreking van hydrologische verbindingen, zoals sloten en beken. Verder zal aan de kust meer verzilting optreden, ook mede door de verwachte stijging van de zeespiegel. Uiteindelijk zal hierdoor de waterkwaliteit met name in de ondiepe wateren van de polders verslechteren

Ten slotte kan tijdens droogte meer water verdampen, wat de concentratie van nutriënten en verontreinigende stoffen doet toenemen met een (tijdelijke) verslechtering van de waterkwaliteit als gevolg. Ook zullen de nutriënten minder snel afgevoerd worden. Hevige neerslag kan leiden tot incidentele piekbelasting als gevolg van riool-overstort.

De verwachte *algehele ecologische gevolgen* zijn bij een beperkt risico-verhogend scenario beperkt in omvang, beheersbaar en veelal lokaal. Herstel is in veel gevallen nog mogelijk, omdat er veerkracht binnen watersystemen zit. Zo zullen kleine waterlichamen zoals poelen, vennen en beken vaker en langer droogvallen, maar ze verdwijnen niet volledig.

Anders is dat in het sterk risicoverhogende scenario, en met name na 2050. De verwachte meer frequente droogval, en tijdelijke onderbreking van hydrologische verbindingen zullen leiden tot een duidelijke ecologische verslechtering. Specialistische soorten die afhankelijk zijn van stroming (veel vissoorten), zuurstofrijk water of stabiele, natte omstandigheden zullen sterk afnemen of geheel verdwijnen. Dit betreft een breed scala van stromingsgebonden waterplanten, insecten en alle vissoorten. Dergelijk omstandigheden bieden naar verwachting wel kansen voor opportunistische soorten zoals riet en kroos.

En de genoemde verslechterde waterkwaliteit door een hogere concentratie van nutriënten en verontreinigende stoffen zal naar verwachting leiden tot meer frequente vissterfte en een grotere

dominantie van verstoringsresistente soorten. Deze effecten zijn naar verwachting tijdelijk en vooral lokaal.

KRW-doelen structureel onder druk bij sterk risicoverhogend contextscenario

In het beperkt risicoverhogend contextscenario zijn de ecologische gevolgen voor KRW-soorten naar verwachting beperkt (in tijd en qua ruimtelijke omvang), ook in ondiepe wateren. Er wordt een redelijk behoud van aquatische ecologie verwacht en daarmee blijven de KRW-doelen in zicht.

In het sterk risicoverhogende scenario komen de KRW-doelen naar verwachting wel structureel onder druk te staan, met name na 2050. De achteruitgang is grotendeels onomkeerbaar, onder meer omdat veel van de huidige soortgemeenschappen zelfs zouden kunnen verdwijnen uit Nederland. Dit komt door een sterke verhoging van de watertemperatuur, aanzienlijke dalingen in de debieten van rivieren en meren, het vaker droogvallen van waterlichamen, en een verslechtere waterkwaliteit. Netto zullen deze veranderingen resulteren in een verarming van de biodiversiteit en op termijn in instabielere en minder veerkrachtige ecosystemen. In het sterk risicoverhogend contextscenario valt de uiteindelijke impact op waterkwaliteit in 2050 en erna in klasse hoog: frequent/structureel en deels dus onomkeerbaar (tabel 10.1). Dit komt ook doordat de verslechtering niet alleen veroorzaakt wordt door extremen (bijvoorbeeld droogte), maar ook aan geleidelijke klimaatverandering.

10.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren

Zowel de adaptatierichting '*Intensiveren*' als '*Transformeren*' voorziet in maatregelen gericht op het beperken van:

- de stijging van de watertemperatuur;
- verdroging van (stilstaande) wateren;
- hogere verblijftijd van nutriënten in wateren (waterkwaliteit);
- verzilting.

Maatregelen intensiveren vaak reactief en lokaal

Maatregelen die passen in de adaptatierichting intensiveren staan beschreven in tabel 10.3.

Tabel 10.3
Overzicht van mogelijke adaptatiemaatregelen in adaptatierichting 'intensiveren'

Risico	Beleid	Adaptatiemaatregel	Relevantie	Verantwoordelijkheid
Temperatuur	Handhaving toxische normen	Verhoogde temperaturen verhogen de gevoeligheid voor toxicanten	Vermindering interactieve stress	Rijk en waterschappen
Verdroging	Zuiveringsinstallaties	Hergebruik RWZI-effluent	Verminderen zoetwater-ontrekking	Rijk en waterschappen
Verzilting	Zuiveringsinstallaties	Hergebruik RWZI-effluent	Verminderen zoetwater-ontrekking	Rijk en waterschappen
Verzilting	Zuiveringsinstallaties	Zuiveren kwelwater via reverse-osmose	Verkleinen zoutwaterbel en	Rijk en waterschappen

			zoetwater-ont-trekking	
Verzilting	Zuiveringsinstallaties	Zuiveren oppervlak-tewater	Verminderen in-stroom zout wa-ter	Rijk en waterschappen
Verzilting	Kwelreductie-tech-nieken	Dichten zoute wel-len	Verminderen in-stroom zout kwelwater	Rijk en waterschappen
Verzilting	Pompschepen*	Injecteren geperste lucht in onderlaag (bellenpluim)	Verhogen men-ging met zoete bovenlaag	Rijk en waterschappen

Maatregelen in de verschillende en ook tussen die risicocategorieën kunnen elkaar versterken of tegenwerken. Zo kan een adaptatiemaatregel tegen temperatuurstijging ook verdamping en dus verdroging tegengaan. Daarentegen kan herstel van connectiviteit om verblijftijden te verlagen ook leiden tot verdere verspreiding van zoutwater.

Verder hebben deze (meer technische) maatregelen veelal een lokaal invloed op de aquatische natuur. Ook hebben ze vaak een specifieke toepassing, door bijvoorbeeld aan te haken bij chemische processen. Dergelijke maatregelen zijn dan ook per definitie reactief, en zullen pas worden toegepast wanneer een probleem gesignaleerd is. Al met al zijn maatregelen in intensiveren meer gericht op behouden wat er nu aan natuur is, niet op het veerkrachtig maken van een heel watersysteem.

Weinig structurele verbetering door intensiveren

De voorgestelde maatregelen in *Intensiveren* zoals slim waterbeheer, strategische zoetwaterbuffers, en peilsturing zullen naar verwachting tot weinig structurele verbetering van de ecologische waterkwaliteit leiden. Dit geldt zeker voor het sterk risicoverhogend context scenario (niet in 2050, niet in 2100). De impact van klimaatextremen – zoals verdroging, temperatuurpieken, zuurstoftekorten of piekbelasting met nutriënten – worden in heel beperkte mate gedempt. Ook omdat met die maatregelen de onderliggende ecologische druk op de aquatische ecologie (zoals verlies van biodiversiteit en habitatfragmentatie) niet wordt tegengegaan.

De beperkte effectiviteit van intensiveren- maatregelen is te zien in grote delen van Nederland: Noord- en West-Nederland, het rivierengebied, de Zuidwestelijke Delta en de hoge zandgronden in Oost- en Zuid-Nederland. Wel kunnen dergelijke maatregelen zorgen voor lokale, kortdurende en reactieve verlichting van de klimaatdruk. Zo kunnen zuiveringsmaatregelen (zoals kwelwaterbehandeling en omgekeerde osmose) in verziltende gebieden zoals de Zuidwestelijke Delta de instroom van zout beperken, waardoor kwetsbare zoetwatersystemen worden beschermd. Deze maatregel is vooral gunstig voor wieren, wortelende waterplanten en andere soorten die zoutintolerant zijn.

10.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren

Maatregelen in transformeren vooral gericht op verbetering leefomgevingskwaliteit

Bij maatregelen in de adaptatierichting '*transformeren" gaat het* om maatregelen die deels ruimtelijk zijn veelal gericht op verbinden, deels gericht zijn op het verbeteren van de leefomgevingskwaliteit van natuurgebieden en de omgeving (zie tabel 10.4). Beschaduwing van waterlichamen door bufferstroken en aquatische vegetatie is een belangrijke maatregel. Hierdoor wordt opwarming van

ondiepe waterlichamen wordt beperkt, en worden gevoelige soortgroepen beschermd tegen hittestress. Ook worden waterlichamen aangepast via bijvoorbeeld verondieping, waardoor zoutindringing en stratificatie worden beperkt.

Ook prioritering van natuur in het waterbeheer kan bijdragen aan het behoud van water(kwaliteit) en aquatische ecologie. Voorbeelden van maatregelen zijn het vasthouden van meer water in de winterperiode, en het vermindering van watergebruik in andere sectoren.

Tabel 10.4
Overzicht van mogelijke toekomstige adaptatiemaatregelen adaptatierichting 'transformeren'

Risico	Beleid	Adaptatiemaatregel	Relevantie	Verantwoordelijkheid
Temperatuur	Beschaduwing	Beschaduwing via aquatische vegetatie ter vermindering van instraling	Verminderen opwarming	Rijk en waterschappen
Temperatuur	Beschaduwing	Beschaduwing via multifunctionele bufferstroken	Verminderen opwarming	Rijk en waterschappen
Temperatuur	Handhaving toxische normen*	Verhoogde temperaturen verhogen de gevoeligheid voor toxicanten	Vermindering interactieve stress	Rijk en waterschappen
Verdroging	Beheer vegetatie	Verminderen instraling door water-, oever- of terrestrische vegetatie	Verlagen verdamping	Rijk en waterschappen
Verzilting	Aanpassing vorm waterlichaam	Verondiepen bodem	Verminderen instroom zout water	Rijk en waterschappen
Verzilting	Ruimtelijke adaptatie	Ruimtelijke herindeling van type natuurgebied passend bij nieuwe ecologische status.	Ervaren verziltings-problematiek	Rijk en waterschappen
Verzilting	Halofytenfilter	Natuurlijke filtering van zouten uit oppervlaktewater	Filteren van indringend zout	Rijk en waterschappen

Transformeren kansrijk voor behalen KRW-doelen bij beperkte klimaatverandering, bij sterke klimaatverandering doelen slechts deels haalbaar

De effectiviteit van transformeren is naar verwachting groot. Door de focus op structureel systeemherstel, adaptief beheer en herindeling van ruimtelijk gebruik ontstaat er ruimte voor natuurlijke peildynamiek en gradiënten. Er zullen naar verwachting wel verschuivingen in soortensamenstelling plaatsvinden, maar deze leiden niet tot verlies van ecosysteemfunctionaliteit. Ook de veerkracht van veel watersystemen wordt verbeterd.
In een beperkt risicoverhogend contextscenario wordt het behalen en behouden van de KRW-doelen op lange termijn als kansrijk gezien (eindimpact is laag en grotendeels beheersbaar). Met een sterk risicoverhogende context zullen naar verwachting de maatregelen onvoldoende zijn om de toenemende klimaatdruk op watersystemen volledig op te vangen, al blijven KRW-doelen deels

bereikbaar (eindimpact is matig tot hoog en deels onomkeerbaar). Het beperken van de mate en snelheid van klimaatverandering is dan ook essentieel om achteruitgang van de aquatische ecologie te beperken en KRW-doelen in zicht te houden.

10.4 Conclusies

Combinatie van technische ingrepen en ruimtelijke strategieën lijkt meest effectief

Vooral bij de adaptatierichting intensiveren blijven er restrisico's. Hoewel de maatregelen in dit scenario lokaal effect kunnen hebben, is de algehele beheersbaarheid van klimaatrisico's beperkt, met name in combinatie met het sterk risicoverhogende contextscenario. Het verschil met de situatie zonder aanvullende maatregelen is klein: Het bereiken van de KRW-doelen blijft in veel waterlichamen structureel onhaalbaar. De beperkte effectiviteit van maatregelen vanuit intensiveren heeft niet alleen ecologische gevolgen. Een slechtere waterkwaliteit zal naar verwachting ook leiden tot beperkingen voor het watergebruik voor de drinkwatervoorziening en de landbouw (zie respectievelijk hoofdstukken 15 en 16), en kan negatieve effecten hebben op de menselijke gezondheid (zie hoofdstuk 7).

Bij transformeren blijven er alleen risico's over in combinatie met het sterk risicoverhogende contextscenario. Maatregelen kunnen dan niet alles compenseren. Verlies van specifieke (KRW) soorten is niet te voorkomen, maar systeemfuncties worden wel behouden. Toch zijn ook bij een transformatieve insteek technische maatregelen nodig. Omdat ruimtelijke maatregelen en maatregelen m.b.t. de leefomgevingskwaliteit vaak een langere implementatietijd hebben en de resultaten pas op langere termijn zichtbaar zullen zijn, zijn gerichte technische maatregelen nodig om ook op de kortere termijn de meest urgente risico's te beperken.

Impact op de waterkwaliteit hangt dus sterk af van mate en snelheid van klimaatverandering

Bij de keuze voor een aanpak voor klimaatadaptatie en maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit is sterk scenario afhankelijk. Het sterk risicoverhogend contextscenario vergt een tijdige transformatieve aanpak om de negatieve effecten op de waterkwaliteit substantieel te verminderen. De uiteindelijke impact hangt sterk af van de mate en snelheid van klimaatverandering. Zeker voor de langere termijn geldt dat mitigatie de beste vorm van adaptatie is.

11 Waterbeschikbaarheid

- *Het is de verwachting dat door klimaatverandering overal in Nederland er minder zoetwater beschikbaar zal komen, terwijl de watervraag zal toenemen. Dit zal de nodige gevolgen hebben voor diverse sectoren, waarbij de toekomstige uitdagingen rond waterbeschikbaarheid verschillen sterk per landsdeel.*

Laag-Nederland:

- *Voor laag-Nederland wordt verwacht dat door het watertekort tot 2050 tussen de 25 en 40 procent zal toenemen, onder meer als gevolg van lagere rivierafvoeren. Dit heeft gevolgen voor scheepvaart, energieproductie, industrie, landbouw, drinkwaterwinning en datacenters (koeling).*
- *Er zijn veel technische maatregelen (zoals in adaptatierichting intensiveren) mogelijk om het watertekort in laag-Nederland te verminderen, maar door de sterke toename van de watervraag (met name voor het doorspoelen van polders) zullen er tekorten blijven in West- en Noord-Nederland. Keuzes voor waterverdeling moeten dan gemaakt worden.*
- *Bij adaptatierichting transformeren zijn dankzij ruimtelijke maatregelen en op den duur ingrijpende maatregelen zoals de afsluiting van de Nieuwe Waterweg de watertekorten tot 2050 beperkt. Maar dit vergt wel grote aanpassingen in, vooral, de landbouw en de scheepvaart (zie figuur 11.1). Na 2050 zullen door verdergaande klimaatverandering de tekorten toch toenemen en zullen extra maatregelen nodig zijn.*
- *Op langere termijn zal een combinatie van verschillende typen oplossingen nodig zijn om het tekort aan oppervlaktewater in laag-Nederland in de hand te houden.*

Hoge zandgronden:

- *Op de hoge zandgronden wordt het door klimaatverandering droger, met een stijgende watervraag vanuit de landbouw, drinkwater, en industrie. Hierdoor zal de natuur nog meer verdrogen.*
- *Bij adaptatierichting intensiveren worden er op de hoge zandgronden vooral technische maatregelen genomen om de watervraag van diverse gebruikers te verminderen en het aanbod te verhogen. Een voorbeeld is het kunstmatig infiltreren van oppervlaktewater. De verdergaande verdroging van natuurgebieden wordt met intensiveren echter maar heel beperkt opgelost.*
- *Bij adaptatierichting transformeren wordt een deel van de landbouw verplaatst of geëxtensiveerd, en worden er ruimtelijke maatregelen genomen om watersystemen te herstellen en bufferzones rond natuurgebieden te creëren. Ook wordt er minder water opgepompt voor drinkwater. Door al deze maatregelen ontstaat in 2050 een veerkrachtiger natuur en wordt het effect van klimaatverandering grotendeels gecompenseerd (zie tabel 11.1).*
- *Verbetering van verdroogde natuur door een tranformatieve insteek vraagt om actieve sturing van de overheid op de verdeling van water en daarmee om een nieuwe afweging van belangen.*
- *Ook in hoog-Nederland zal een combinatie van verschillende oplossingen nodig zijn om waterbeschikbaarheid zoveel mogelijk te kunnen waarborgen.*

Tabel 11.1
Effecten van klimaatverandering op waterbeschikbaarheid; heden en toekomst bij huidig beleid en bij twee adaptatierichtingen (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Laag Nederland (verzilting, tegendruk, peilbeheer)	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar

Grondwater Hoog-Nederland (m.n. natuur)	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar

Deze tekst is grotendeels gebaseerd op het rapport 'Verkenning van de effecten van twee adaptatiescenario's op zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland' (Deltares 2026c)

Tekstkader 11.1 Analyse in het kort

Gebruikte methode voor klimaatrisico's waterbeschikbaarheid (zie ook Deltares 2026c)

Bij waterbeschikbaarheid gaat het om *watertekorten in laag-Nederland* en om het *grondwaterregime in hoog-Nederland* (vrij-afwaterende zandgebieden). Voor beide zijn rekenmodellen gebruikt om uitspraken te doen over toekomstige risico's rond waterbeschikbaarheid (al dan niet afgeleid uit bestaande studies).

Met het QWAST-model zijn mogelijke watertekorten en het effect hierop van verschillende adaptatiemaatregelen in beeld gebracht in laag-Nederland. Hierbij gaat om zowel de regio Noord (gebieden die afhankelijk zijn van wateraanvoer uit het IJsselmeer en het Markermeer) en de regio West (afhankelijk van aanvoer uit de Hollandsche IJssel en de Lek). Hierbij zijn adaptatiemaatregelen geclusterd in drie categorieën (watervraag aanpassen, wateraanvoer vergroten via regionaal waterbeheer, aanvoer vergroten via aanpassing hoofdwatersysteem). Vanuit de veronderstelling dat alle drie categorieën nodig zijn om toekomstige waterbeschikbaarheid in laag-Nederland te vergroten, vormen ze voor beide adaptatierichtingen de basis. Het verschil zit in de volgorde waarin de maatregelen worden uitgevoerd. Belangrijke input voor de berekening van watertekorten met het QWAST-model zijn de drinkwatervraag (via RIVM) en de beregeningsvraag in de landbouw (als een functie van type gewas, areaal, kans op droogte en mate van droogte). Voor laag-Nederland wordt deze beschouwd in samenhang met de watervraag voor doorspoeling van polders (terugdringen verzilting) en peilbeheer.

Voor berekening van de waterbeschikbaarheid in vrij-afwaterende zandgronden in hoog-Nederland is gebruik gemaakt van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM). Daarbij is alleen gekeken naar de klimaateffecten op grondwaterstanden in grondwaterafhankelijke natuurgebieden, specifiek de laagste grondwaterstanden in een extreem droog jaar (bijvoorbeeld 2003, 2018). Maatregelen die bijdragen aan verhoging van grondwaterstanden hebben vaak ook een positief effect op de kwel en daardoor ook op bepaalde natuurdoelen. Maar dit effect is niet meegenomen in deze studie.

11.1 Uitdagingen waterbeschikbaarheid

Het Nederlandse watersysteem kent grote uitdagingen ook als het gaat om waterbeschikbaarheid. Deze uitdagingen worden versterkt door klimaatverandering. Nederland wordt geconfronteerd met meer lentes en zomers waarin langdurige periodes van droogte en hittegolven vaker voorkomen en intenser worden. En tegelijk neemt door klimaatverandering ook de watervraag toe voor beregening, drinkwater en koeling.

Die uitdagingen rond waterbeschikbaarheid verschillen sterk per landsdeel, ook in toekomst (zie figuur 11.1). Door klimaatverandering krijgt laag-Nederland (IJsselmeergebied, rivierengebied en Zuidwestelijke Delta) te maken met een verminderde beschikbaarheid van oppervlaktewater, door

een verminderde aanvoer via rivieren en door minder neerslag. Hoog-Nederland (Zandgronden) krijgt te maken met een daling van de grondwaterstanden. In beide delen is water van belang voor de totale drinkwatervoorziening, voor de beperking van verzilting, en voor de landbouw, de natuur en de industrie. Verder is er een secundair effect op het cultureel erfgoed omdat de instandhouding daarvan deels afhangt van de waterbeschikbaarheid. Verder kan de scheepvaart in Nederland lijden onder meer frequente en intensere lage rivierafvoeren.

Figuur 11.1
Opgaven in relatie tot droogte en klimaatverandering



Bron: Mens et al. 2020

11.2 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

11.2.1 Zoetwateropgave laag-Nederland

In laag-Nederland zijn er vijf typen watervragers: (i) doorspoelen hoofdwatersysteem (II) doorspoelen polders (iii) beregening landbouw; (iv) peilbeheer in veengebieden; (v) watervraag voor drinkwater en industrie. Grote delen van laag-Nederland zijn in de zomermaanden afhankelijk van wateraanvoer vanuit de grote rivieren. Hierbij gaat het niet alleen om waterbeschikbaarheid maar ook om de waterkwaliteit, onder andere met betrekking tot de chlorideconcentratie: het water moet zoet zijn. De watergebruikers in het gebied (natuur, landbouw, industrie en stedelijk gebied) zijn erop ingesteld dat de waterkwaliteit beheersbaar is; indien nodig worden watergangen doorgespoeld met zoetwater. Voor drinkwaterinnamepunten wordt gerekend op een jaargemiddelde zoutconcentratie van maximaal 150 mg Cl/l (o.a. de innamepunten Andijk in het IJsselmeer, Nieuwersluis in het Amsterdam-Rijnkanaal en Bergambacht aan de Lek).

Zoetwatertekort in laag-Nederland neemt sterk toe bij sterk risicoverhogend contextscenario

Naar verwachting zal er door klimaatverandering minder wateraanvoer in de zomer zijn, stijgt de zeespiegel verder en wordt het gemiddeld warmer. Daardoor wordt de wateropgave (beschikbaarheid maar ook kwaliteit) in laag-Nederland zonder aanvullend beleid flink groter.

Door klimaatverandering groeit met name de watervraag voor doorspoeling. Dit omdat onder meer doordat door zeespiegelstijging en meer verdamping het zoutgehalte in het oppervlaktewater stijgt. Voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KPZSS) zijn inschattingen gedaan van de toenemende watervraag in de zomer voor doorspoelen bij een temperatuurstijging van +2°C en verschillende niveaus van zeespiegelstijging (+1, +2, +3 en +5 meter), en bij behoud van eenzelfde chloridegehalte als in de huidige situatie. Zie figuur 11.3, gebaseerd op een extreem droge zomermaand met een jaarlijkse herhalingstijd van ongeveer 30 tot 50 jaar (Deltares 2026c, in dit figuur staan de waarden van het huidige klimaat tussen haakjes weergegeven). Bij 1 meter zeespiegelstijging (ongeveer het niveau in het sterk risicoverhogend contextscenario in 2100) is de verwachting dat de watervraag vervijfvoudigt voor het alleen al doorspoelen van polders in sommige regio's. En in combinatie met een opwarming van +2°C neemt de totale watervraag in droge zomers toe met meer dan 40 procent (van 935 naar 1325 m3/s), waardoor het watertekort neerkomt op 615 m3/s. Ook het peilbeheer in de veenweidegebieden is een grote watervrager, met een hoge prioriteit volgens de verdringingsreeks. Ook deze watervraag neemt naar verwachting verder sterk toe, met name door het klimaatmitigatiebeleid waarbij de veenweidegebieden vernat worden om uitstoot van CO_2 te verminderen en om op termijn CO_2-neutraal te worden.
Door al deze ontwikkelingen zal naar verwachting op den duur tijdens droge perioden niet altijd en niet overal in laag-Nederland in alle watervragen meer worden voorzien, vooral zonder aanvullende adaptatiemaatregelen. Er zullen wellicht afwegingen moeten worden gemaakt tussen de belangen van scheepvaart (keuzes over de landelijke waterverdeling kunnen leiden tot stremmingen), landbouw, natuur en andere sectoren. En als bijvoorbeeld gekozen wordt om meer water naar het Noorden te sturen, dan worden de gevolgen van droogte in west-Nederland groter.

11.2.2 Opgave grondwaterbeschikbaarheid in hoog-Nederland

Het grond- en oppervlaktewatersysteem in Hoog-Nederland is grotendeels ingericht om de landbouw te faciliteren en om in de drinkwatervraag te voorzien. Dit heeft in de afgelopen decennia geleid tot een daling van de gemiddelde grondwaterstand, met verdroging van grondwaterafhankelijke natuurgebieden tot gevolg, en tot een afname van kwelstromen en waterkwaliteit, die belangrijk zijn voor vele plant- en diersoorten. Natuurdoelen in deze kwelgebieden komen daardoor onder druk te staan. Ook de landbouw ondervindt nadelige gevolgen van de focus op afvoer van water als gevolg van vergrote watertekorten in tijden van droogte: de ontstane verdroging leidt tot een groeiende behoefte aan beregening, met extra verdroging tot gevolg.

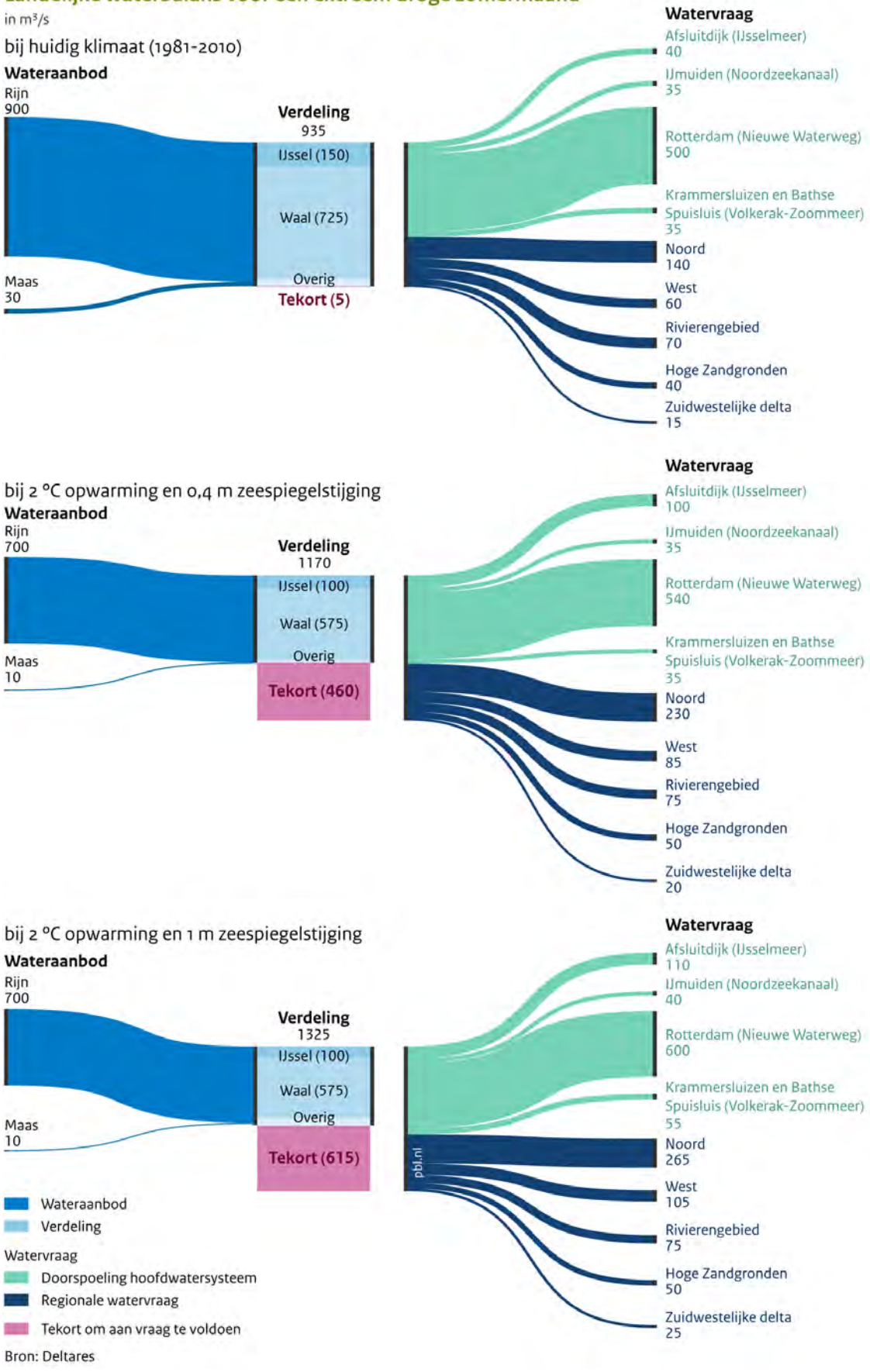
Daling van grondwaterstanden in hoog-Nederland bij sterk risicoverhogend contextscenario

Op basis van het 'oude' hoge KNMI'14-klimaatscenario wordt een toename verwacht van onttrekkingen voor drinkwater en industrie. De verwachting is dat daardoor in 2050 de zomergrondwaterstanden op de hoge zandgronden in grote gebieden met 10 – 50 cm dalen; dicht bij onttrekkingslocaties zijn nog veel sterkere dalingen mogelijk. Ook warme zomers nemen toe in aantal en intensiteit, waardoor de watervraag significant kan stijgen en de natuur steeds vaker te maken krijgt met extra verdroging. In de meer recente KNMI'23-scenario's is het hoge droge scenario (Hd2050 = sterk risicoverhogend contextscenario) droger dan het hoge KNMI'14-scenario.

De verwachting is dan ook dat in dit klimaatscenario de gemiddelde laagste grondwaterstanden nog sterker zullen afnemen dan eerder verwacht werd. Dit speelt het sterkst in de zandgebieden. Een speciaal geval vormen de grotere infiltratiegebieden zoals de Veluwe, het Drents Plateau en de Utrechtse Heuvelrug. In het hoge KNMI'14-scenario (Wh) stegen de grondwaterstanden in deze gebieden nog als gevolg van een sterk toenemend neerslagoverschot in het winterhalfjaar. Maar in het hoge KNMI'23-klimaatscenario (Hd) zullen deze naar verwachting ook dalen omdat het neerslagoverschot in het winterhalfjaar nauwelijks stijgt, terwijl het neerslagtekort in het zomerhalfjaar juist sterk toeneemt.

Figuur 11.3

Landelijke waterbalans voor een extreem droge zomermaand



Bron: Deltares

11.3 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren

Ook bij de beschrijving van de adaptatierichtingen en de effecten hiervan op de wateropgaven maken wij onderscheid tussen de beschikbaarheid van oppervlaktewater in laag-Nederland en van grondwater in hoog-Nederland.

11.3.1 Invulling maatregelen voor waterbeschikbaarheid in Laag-Nederland

Om de waterbeschikbaarheid in laag-Nederland op peil te houden kan men kijken naar de watervraag, en naar het wateraanbod (tabel 11.2). Maatregelen kunnen worden onderverdeeld in drie categorieën:

1. Reduceren watervraag door maatregelen bij de eerder genoemde vijf typen *watervragers*, bijvoorbeeld door veranderingen in landgebruik en waterbesparing;
2. Aanpassing regionaal waterbeheer om wateraanbod te vergroten;
3. Aanpassing hoofdwatersysteem om wateraanbod te verhogen.

Het verhogen van het aanbod kan worden vergroot door de realisatie van meer aanvoercapaciteit naar regio's (bv. door de Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening (KWA) te vergroten), een andere waterverdeling (afvoerverdeling Rijntakken, inzet van de Amsterdam-Rijnkanaalroute (ARK-route)) of de buffer in het IJsselmeer en Markermeer vergroten.
Omdat er in laag-Nederland een sterke relatie is tussen waterbeschikbaarheid enerzijds en waterveiligheid, drinkwatervoorziening, waterkwaliteit/ecologie en transport/scheepvaart anderzijds, kunnen samenhangende systeemkeuzes hierbij effectief zijn.

Studies hebben al laten zien dat maatregelen uit alle categorieën nodig zijn om droogterisico's in de toekomst substantieel te verkleinen, zeker op langere termijn (bijvoorbeeld KPZSS 2023, Deltares 2026c). Het verschil tussen de twee adaptatierichtingen zit hem dan ook in de volgorde waarin de maatregelen worden uitgevoerd, niet in de keuze van de maatregelen zelf. Bij adaptatierichting *transformeren* werken we van genoemde categorie 1 naar 3, en bij adaptatierichting *intensiveren'* juist andersom.

Tabel 11.2
Overzicht van maatregelen t.b.v. waterbeschikbaarheid in laag-Nederland bij de adaptatierichtingen *intensiveren* en *transformeren* (zie ook Deltares 2026c)

Deelgebied of sector	Bodemsoort of sector	Maatregelen Intensiveren	Maatregelen Transformeren
Besparing: laag-Nederland (wateraanvoergebied)	Klei		Reductie doorspoelvraag t.o.v. Stoom2050 of Ruim2050.
Besparing: laag-Nederland (wateraanvoergebied)	Veen	Vernatting d.m.v. onderwaterdrainage of drukdrainage.	Flexibeler peilbeheer en sterke vernatting door greppelinfiltratie, onderwaterdrainage of drukdrainage.
Besparing: Zuidwestelijke delta (incl. Rijn-Maasmonding (RMM))			De komende 20 jaar toewerken naar het beschermen van de Randstad door het afsluiten van

			de Nieuwe Waterweg (en de verbindingstakken zoals Spui, Dordtse Kil en Beneden-Merwede) en de open verbinding met zee te verplaatsen naar het Haringvliet.
Besparing: Zuidwestelijke delta (incl. Rijn-Maasmonding (RMM))	Drinkwater	Toename opvangen door nieuwe locaties of meer rivierwinningen.	Minder onttrekkingen (want minder vraag).
Besparing Landbouw		Geen besparing op beregeningsvraag.	
Besparing Landbouw	Veen	Huidig landgebruik.	Meer natte teelten.
Besparing Landbouw	Zeeklei	Innovatieve drainage, bijvoorbeeld aquifer storage and recovery in kreekruggen.	Deels accepteren, minder zoutgevoelige gewassen (regenwaterlens en aanvullen met iets brakker water).
Besparing Landbouw	Rivierklei	Aanvoer vergroten	Teelten aanpassen; geen verdere groei van fruitteelt
Besparing Drinkwater		De drinkwatervraag blijft gelijk of neemt beperkt toe en gaat van 22 m3/s naar 22 – 26 m3/s.	Meer onttrekken uit rivieren (verschuiving grondwater -> oppervlaktewater).
Besparing Industrie		5procent afname watervraag t.o.v. sterk risicoverhogend scenario.	
Aanpassing Regionaal watersysteem	Peilbeheer veengebieden	Op grote schaal onderwaterdrainage en hogere slootpeilen.	Flexibeler peilbeheer en gebieden sterk vernatten.
Aanpassing Regionaal watersysteem	Doorspoelen verzilte kleigebieden	Geen aanpassingen.	Vraag sterk reduceren door slimmer doorspoelen, en hogere concentraties accepteren.
Aanpassing Regionaal watersysteem	Wateraanvoer	Meer aanvoercapaciteit van HWS naar regio's, zoals ARK-route instellen, KWA vergroten en pompcapaciteit Eefde vergroten (Twentekanalen).	
Aanpassing Hoofdwatersysteem	Wateraanvoer	Vergroten buffer IJsselmeer/Markermeer	Alleen vergroten van buffer als het nodig is in de toekomst.
Aanpassing Hoofdwatersysteem		Verondiepen NWW, en vergroten surplusdebiet (extra water) om Hollandsche IJssel en Lek zoet te houden.	Afsluiten NWW, tot die tijd vergroten surplusdebiet (extra water) om Hollandsche IJssel en Lek zoet te houden.
Aanpassing Hoofdwatersysteem	Sluizen	Zoutindringing bij sluizen beperken met technische	Iets hogere zoutconcentraties accepteren.

	maatregelen zoals zoutvang.

Om in te schatten hoe dergelijke maatregelen doorwerken op watertekorten in laag-Nederland is de waterbalanstool QWAST gebruikt (Horváth 2020; Horváth et al. 2025). In deze berekening was als doel aangenomen dat watertekorten niet vaker dan eens in de 20 jaar mogen voorkomen. Oftewel: in de 5 procent droogste jaren worden watertekorten geaccepteerd. Dit isin lijn met de werkopgave van Deltaprogramma Zoetwater.

In intensiveren ligt de focus op maatregelen in het hoofdwatersysteem

Bij *intensiveren* worden er vooral waterstaatkundige maatregelen in het hoofdwatersysteem genomen, zoals bijvoorbeeld het wegnemen van de beperkingen bij de Bernhardsluizen. En in regio Noord betekent dit een grote buffercapaciteit van het IJsselmeer en Markermeer, in combinatie met de extra aanvoer via het Amsterdam-Rijnkanaal. In regio West wordt de wateraanvoer vergroot via onder meer de Hollandsche IJssel en de Lek. De verdere verzilting van de Rijn-Maasmonding wordt deels tegengegaan door verondieping van de Nieuwe Waterweg. Ook wordt er in dit scenario uitgegaan van waterbesparing, al is die minder groot dan bij *transformeren*: beregening in regio Noord en rivierengebied -10 procent, in west Nederland -33 procent; watergebruik voor drinkwater en industrie -5 procent. De watervraag voor polderdoorspoeling blijft wel hetzelfde als in situatie zonder aanvullende beleid (50 m^3 per seconde). Deze watervraag neemt dus flink toe ten opzichte van nu (20 m^3 per seconde)

In transformeren nadruk op verminderen watervraag

In *transformeren* wordt eerst gekeken naar maatregelen om de watervraag te beperken: doorspoelen -40 procent t.o.v. 2025, beregening -70 procent in regio West en langs rivieren, -20 procent in Noord-Nederland. Ook worden er aanpassingen gedaan in het regionale watersysteem: meer lokale buffers, flexibel peilbeheer, extra aanvoer via Hollandsche IJssel en Lek. Ten slotte wordt het hoofdwatersysteem aangepast: IJsselmeer extra buffer (bijvoorbeeld bouwen extra waterbuffers, +20 cm peilopzet), minder vraag naar doorspoelwater door zoutbeperkende maatregelen bij de Afsluitdijk, en verondiepen en uiteindelijk (rond 2050) afsluiten van Nieuw Waterweg. Deze adaptatierichting richt zich op onder andere een sterke reductie van de vraag naar water om door te spoelen. De vraag daalt naar 27 m^3 per seconde ten opzichte huidig beleid. Dit is bijna een halvering ten opzichte van *intensiveren*. Dit gaat wel gepaard met accepteren van (tijdelijke) verzilting en verbrakking van het regionale watersysteem, wat vraagt om een nieuwe landgebruikskaart en nieuw beregeningsbeleid. Ondanks de sterke reductie in doorspoelvraag ten opzichte van huidig beleid in 2050, groeit de doorspoelvraag ten opzichte van de huidige situatie (27 m^3 per seconde versus 20 m^3 per seconde). Als men de doorspoelhoeveelheid constant zou houden op het huidige niveau zou er nog meer water kunnen worden bespaard. Dit zou echter ook betekenen dat sommige landbouwgebieden moeten worden opgegeven. In transformeren neemt de beregeningsvraag vanuit de landbouw sterk af door het uitgangspunt dat alle landbouw natuurinclusief en minder waterbehoevend wordt, en grasland niet meer beregend wordt. Ook is er sprake van een verschuiving van een deel van de akkerbouw en vollegrondstuinbouw van veengebieden naar locaties in laag-Nederland waar meer water beschikbaar is, zoals de noordelijke kleigebieden. Daardoor heeft droogte minder effect op de landbouw.

In *transformeren* worden maatregelen in het hoofdwatersysteem zo lang mogelijk uitgesteld, behalve het afsluiten van de Nieuwe Waterweg in 2050. Deze ingrijpende keuze is in deze adaptatierichting nodig om de veiligheid van west-Nederland op de langere termijn te kunnen garanderen. Om verzilting te beheersen wordt de Nieuwe Waterweg verondiept en worden surplusdebieten voor de Lek vergroot. De verwachting is dat op lange termijn (na 2050) bij sterke klimaatverandering aanvullende maatregelen nodig zijn om waterbeschikbaarheid op peil te houden. Daarbij kan

het gaan om het verder vergroten van de waterbuffer in het IJsselmeer en het Markermeer, of meer water aanvoeren vanuit het oosten van Nederland.

11.3.2 Invulling maatregelen voor waterbeschikbaarheid op de hoge zandgronden

Voor de zandgronden in hoog-Nederland geven de twee adaptatierichtingen zeer verschillende toekomstbeelden (tabel 11.3).

In intensiveren wordt het watersysteem aangepast aan de huidige functies en activiteiten

De adaptatierichting *Intensiveren* richt zich op het voortzetten van huidige functies en economische activiteiten: het systeem wordt aangepast aan de functie. De ruimtelijke structuur verandert nauwelijks: landbouw blijft dominant en natuuruitbreiding beperkt zich tot afronding van het Natuurnetwerk Nederland. In de landbouw staan technische maatregelen centraal om klimaatimpact (m.n. de watervraag) te beperken. Voorbeelden hiervan zijn: innovatieve irrigatie, (ondergrondse) waterbuffers, kunstmatige aanvulling en infiltratiesystemen. Landbouw blijft grootschalig en gemechaniseerd, met droogteresistente gewassen, druppelirrigatie en precisielandbouw. Het watersysteem wordt actief beheerd, inclusief de inlaat van gebiedsvreemd water waar dat rendabel is.

Om de belasting van het grondwater door de stijgende drinkwatervraag (door bevolkingsgroei) te kunnen beperken wordt er in het intensiveren-scenario een actief beheer van het watersysteem gevolgd: vermindering van drinkwaterwinning rond kwetsbare natuur, creëren van waterbuffers, inlaten van water vanuit andere gebieden en kunstmatige infiltratie. Dit kan tot substantiële verhoging van de grondwaterstand leiden.

In transformeren stuurt het watersysteem het landgebruik en het waterbeheer

De adaptatierichting *transformeren* volgt een fundamenteel andere koers, namelijk die van 'functie volgt systeem': water en bodem sturen het landgebruik en het waterbeheer op een meer regionaal niveau. De wateraanvoer stopt, water wordt beter vastgehouden en de landbouw past zich aan natuurlijke beschikbaarheid aan; bedrijven verhuizen deels ook naar gebieden met meer water, zoals de noordelijke kleigronden. In bufferzones rond natuurgebieden wordt minder beregend. Dit alles leidt tot forse extensivering, meer natuurinclusieve landbouw en extra natuur. Ook de drinkwaterwinning neemt af. Grote delen van de zandgronden worden ingericht voor herstel van hydrologische processen, zoals infiltratie en beekherstel, om grondwaterstanden te verhogen. Naaldbossen worden waar mogelijk vervangen door loofbos en ook bufferzones en kruidenrijke graslanden beperken verdamping en vergroten de biodiversiteit. De hoge zandgronden krijgen zo een groener, robuuster karakter, waarin landbouw een kleinere rol speelt en natuurontwikkeling wordt gecombineerd met energieopwekking en recreatie.

Tabel 11.3
Overzicht van maatregelen in hoog-Nederland bij de scenario's intensiveren en transformeren, opgedeeld naar watergebruiksfunctie.

Deelgebied of sector	Maatregelen Intensiveren	Maatregelen Transformeren
Landbouw	Landbouw blijft grootschalig en gemechaniseerd, met droogteresistente gewassen en precisielandbouw.	Wateraanvoer stopt, landbouw past zich aan natuurlijke beschikbaarheid aan. Dit leidt tot forse extensivering, meer

	Meer beregend areaal, wel met (meer) druppelirrigatie (ca. 30% efficiëntiewinst) en peilgestuurde drainage.	natuurinclusieve landbouw en veel extra natuur. Landbouw verhuist ook naar gebieden waar waterbeschikbaarheid minder grote uitdaging is.
Drinkwater	Drinkwatervraag neemt ca. 7 procent af t.o.v. contextscenario's. De toename in de drinkwatervraag t.o.v. de huidige situatie wordt opgevangen door nieuwe grondwaterlocaties en meer rivierwinningen.	Minder onttrekkingen (want minder vraag) en deels verplaatsen naar rivieren.
Waterbeheer	Het watersysteem wordt actief beheerd, inclusief nieuwe waterbuffers/extra zoetwatervoorraden in de onverzadigde zone boven de grondwaterstand (vooral gebieden met diep grondwater) en inlaat van gebiedsvreemd water. Actieve infiltratie i.s.m. drinkwaterbedrijven (MAR). Nieuwe onttrekkingslocaties om in vraag te voorzien.	Grote delen worden ingericht voor herstel van hydrologische processen, zoals infiltratie en beekherstel, om grondwaterstanden te verhogen. Bufferzones rondom natte natuur en beekdalen. Verhoging van grondwaterstanden door extensiveren van ontwateringssysteem in bufferzones en in beekdalen.
Waterbeheer	Meer grondwaterbronnen aanboren, o.a. nieuwe onttrekkingslocaties benutten in ASV.	
Natuur	Natuuruitbreiding wordt beperkt tot afronding van het Natuurnetwerk Nederland.	Meer bufferzones met verhoogde grondwaterstanden en kwelfluxen in en om grondwaterafhankelijke natuurgebieden, door maatregelen zoals de verhoging van de ontwateringsbasis, en de reductie van grondwateronttrekking voor beregening, drinkwater of industrie.
Natuur		Meer kruidenrijke graslanden.
Natuur		Omvorming van naaldbos naar loofbos.
RO	De ruimtelijke structuur verandert nauwelijks: landbouw blijft dominant, natuuruitbreiding beperkt, stedelijke groei volgt economische logica.	Functie volgt systeem, water en bodem sturen het landgebruik.

11.3.3 Effecten van adaptatiemaatregelen voor waterbeschikbaarheid in laag-Nederland

Uiteindelijk alle maatregelen nodig voor waterbeschikbaarheid op peil houden

Uit de analyse blijkt dat de beschreven maatregelen om meer water aan te voeren in laag-Nederland, zoals deze deel uitmaken van de adaptatierichting *intensiveren*, naar verwachting effectief zullen zijn tot aan 2050 (bij ook sterke klimaatverandering). Na 2050 zullen aanvullende maatregelen nodig zijn die ook de watervraag verminderen om aan de veronderstelde werkopgave te kunnen voldoen: watertekorten komen niet vaker voor dan eens in de 20 jaar. In regio Noord betekent dit

dat de buffercapaciteit van het IJsselmeer nog verder vergroot moet worden, of dat alsnog ingezet moet worden op ruimtelijke maatregelen die de watervraag verminderen. Beide hebben grote consequenties voor het omliggende gebied, omdat dijken, natuur en/of landbouw moeten worden aangepast. In *intensiveren* worden de bovenregionale effecten in de toekomst steeds groter, doordat de noordelijke én westelijke regio's steeds afhankelijker worden van het hoofdwatersysteem en daardoor steeds meer concurreren om water.

Door de ruimtelijke maatregelen in de adaptierichting *transformeren* wordt de watervraag flink teruggebracht. Niettemin zijn aanvullende aanvoermaatregelen nodig om in 2050 het zoetwaterdoel te halen. Op de lange termijn (tot 2100 en erna) zijn uiteindelijk ook met deze aanpak alle maatregelen nodig. De volgorde waarin maatregelen worden uitgevoerd (adaptatiepaden) bepalen wel de uiteindelijke impact. In deze analyse is dit niet verder uitgewerkt.

Het belangrijkste verschil tussen de adaptatierichtingen in termen van waterverdeling in laag-Nederland is de grotere concurrentie tussen regio West en regio Noord bij *intensiveren*. Daardoor komt de noodzaak voor grote systeemkeuzes sneller dichterbij. Als er bijvoorbeeld voor gekozen wordt om meer water naar het Noorden te sturen, worden de gevolgen van extreme droogte in west-Nederland groter, ondanks de daar getroffen maatregelen. Dit betekent dat in de beoordeling van de effectiviteit van maatregelen in West-Nederland ook rekening gehouden moet worden met de voor het IJsselmeergebied gekozen adaptatiemaatregelen.
Een ander verschil betreft de mogelijkheid om maatregelen te combineren met andere beleidsdoelen zoals biodiversiteitsbeleid, tegengaan van bodemdaling en de landbouwtransitie (zie WKR 2025). In de adaptatierichting *transformeren* is dit beter mogelijk.

11.3.4 Effecten van adaptatiemaatregelen voor waterbeschikbaarheid in hoog-Nederland

Op de hoge zandgronden is vooral transformeren effectief voor natuur

Uit de analyses blijkt dat de adaptatierichting *intensiveren* in hoog-Nederland slechts beperkte mogelijkheden biedt voor significant en structureel mitigeren van de door klimaatverandering veroorzaakte achteruitgang van grondwaterafhankelijke natuur. Maatregelen zullen wel lokaal effectief zijn. Zo zal een natuurgebied binnen een intrekgebied van een drinkwaterwinning profiteren van verminderde onttrekking. Onttrekkingsreducties kunnen uit het oogpunt van natuurbehoud en -herstel uiteraard het beste gerealiseerd worden op winlocaties met een grote impact op nabijgelegen natuur; een gelijkmatige reductie op alle winlocaties zou slechts een beperkt effect sorteren (Deltares 2026c).

Overstappen op druppelirrigatie en andere technische aanpassingen in de beregening zijn voor de hand liggende maatregelen om tot waterbesparing in de landbouw te komen. Schattingen van de besparing die dit zou opleveren lopen uiteen, maar worden hier geschat op 30 procent. Toch is het effect op het grondwaterniveau in droge periodes beperkt. Het positieve effect van minder onttrekking wordt meer dan tenietgedaan door klimaatverandering (met een beperkte toename van de grondwateraanvulling in het winterhalfjaar en meer verdamping/sterke toename van het neerslagtekort in het zomerhalfjaar). De conclusie is dan ook dat een verhoogde beregeningefficiëntie slechts een beperkt effect heeft op de risico's rond droogte in grondwaterafhankelijke natuurgebieden op de zandgronden (Deltares 2026c).

Door kunstmatige infiltratie (het extra infiltreren van zoetwater) kan de zoetwatervoorraad vergroot worden en kunnen de effecten van al bestaande onttrekkingen worden gemitigeerd. Deze maatregel is mogelijk op de hoge zandgronden door gebruik te maken van de ruimte in de

onverzadigde zone boven de grondwaterstand. Naast dat de vergrote watervoorraad eventueel kan worden aangesproken in de zomer voor drinkwater of beregening, kan het ook dienen als bron van extra kwel aan de flanken van de hoger gelegen gebieden (De Louw et al. 2022; Deltares 2026c).

In de richting transformeren wordt het landgebruik aangepast en worden bufferzones aangelegd zoals is beschreven in de Kabinetsbrief 'Water en Bodem sturend, Daarmee kan de door klimaatverandering veroorzaakte grondwaterstandsdaling sterk worden gereduceerd of zelfs volledig worden gemitigeerd; zelfs in een sterk risicoverhogend contextscenario. Van de geanalyseerde maatregelen draagt vooral de aanpak van de ontwatering hieraan bij, bijvoorbeeld door verhoging van de ontwateringsbasis en demping van sloten in bufferzones. Het effect van de andere maatregelen, zoals verlaging van de drinkwatervraag, is op regionale schaal kleiner. Echter op lokale schaal, bijvoorbeeld in de nabijheid van een drinkwaterinlaat, kunnen ook deze maatregelen het droogterisico significant beperken. Zo berekenen Van den Eertwegh et al. (2021) dat in het noordelijk deel van de Drentse Aa het sluiten van de drinkwaterwinning de meest effectieve van de in deze droogtestudie onderzochte maatregelen is. Bij het uitvoeren van een dergelijke maatregel zijn er wel nieuwe drinkwaterbronnen nodig.
Verandering in landgebruik, waaronder ook omvorming van natuur, heeft een effect op de mate van transpiratie en verdamping, en daarmee op de grondwateraanvulling. Een akker verdampt bijvoorbeeld op jaarbasis doorgaans minder dan een grasmat en een donker naaldbos staat bekend als een watergrootverbruiker. Maar het effect hiervan op grondwaterafhankelijke natuur is voor alle grondwaterafhankelijke natuurgebieden gering ten opzichte van het effect in sterk risicoverhogende klimaatscenario (Deltares 2026c). Dit geldt zelfs voor grootschalige omvorming van naaldbos naar heide. Hier speelt mee dat de naaldbossen zelf meestal geen grondwaterafhankelijke natuur betreffen. Bovendien is omzetting van naaldbos naar heide landschappelijk gezien een ingrijpende verandering, die vanuit diverse oogpunten ook niet meteen voor de hand ligt. Een omzetting van naaldbos naar loofbos wordt vaak genoemd als een meer logische keuze. De te verwachten winst met betrekking tot grondwateraanvulling is daarbij geringer.

Sommige van de onderzochte maatregelen passen bij beide adaptatierichtingen, waarbij dan de omvang van de implementatie verschilt. Dat geldt bijvoorbeeld voor de keuze van te behouden natuurgebieden of van gebieden waar gestreefd wordt naar waarborging van abiotische condities (zie ook hoofdstuk 9 over natuur). In de adaptatierichting transformeren worden dergelijke maatregelen grootschaliger toegepast, waardoor een groter areaal natuur behouden blijft. Omgekeerd is het afkoppelen van regenwaterafvoer in gebouwd gebied een maatregel die vooral bij intensiveren past (maar niet uitsluitend). Lokaal kan dit zeker tot extra infiltratie leiden en dus een positief effect hebben op de grondwaterstand. Maar de effecten beperken zich meestal tot het gebied en een smalle zone eromheen. Landelijk en regionaal gezien is het verwachte effect kleiner dan het bovengenoemde effect van aanpassing van landgebruik (Deltares 2026c; Van den Eertwegh et al. 2021).

11.4 Conclusies

Houdbaarheid en noodzakelijkheid adaptatiemaatregelen variëren

Allereerst is de verwachting dat als men de klimaatverandering en bijbehorende zeespiegelstijging beperkt dit de watertekorten in Nederland sterk verkleind en dus voordelig kan hebben voor de watervoorziening (zie figuur 11.3).

Verder is het de verwachting dat met adaptatiemaatregelen de nodige verbeteringen in waterbeschikbaarheid mogelijk zijn, zowel in laag-Nederland als op de hoge zandgronden. Maar op langere termijn, met name na 2050, zijn de maatregelen mogelijk onvoldoende om de klimaatgerelateerde effecten te compenseren, zeker in het sterk risicoverhogende contextscenario. Sommige

maatregelen zijn nodig ongeacht de gekozen adaptatierichting. Dat geldt bijvoorbeeld voor het vergroten van de IJsselmeerbuffer, maar dit zal mogelijk op de lange termijn niet voldoende zijn. Ook het vergroten van de debieten van de Hollandse IJssel en de Lek, om verzilting tegen te gaan, is nodig in beide adaptatierichtingen. Bij een zeespiegelstijging hoger dan één meter is dit echter niet meer mogelijk.

Omgang met waterbeschikbaarheid vraagt keuzes

De adaptatierichting *intensiveren* vergt strategische keuzes, met name in het sterk risicoverhogende contextscenario. Allereerst zal er naar verwachting een afweging in waterverdeling gemaakt moeten worden tussen Noord- en West-Nederland. Dit probleem treedt vooral op in extreme jaren (zie ook Mens et al. 2025). De analyse met alleen huidig beleid heeft laten zien dat de watertekorten in beide regio's naar verwachting sterk zullen toenemen, en dat deze gebieden dus steeds afhankelijker worden van wateraanvoer vanuit het hoofdwatersysteem. En door de extra aanvoer naar Noord-Nederland wordt het zoutprobleem in West-Nederland versterkt en vice versa.
Verder zullen uiteindelijk ook bij *intensiveren* keuzes rond landgebruik nodig zijn. Grondwaterafhankelijke natuur kan met intensiveren waarschijnlijk niet afdoende worden beschermd tegen de gevolgen van klimaatverandering.

In de adaptatierichting *transformeren* blijven veel opties open, onder meer omdat er ingrijpende keuzes gemaakt worden met betrekking tot landgebruiksfuncties. Dit gaat wel gepaard met accepteren van (tijdelijke) verzilting en verbrakking van het regionale watersysteem, wat mogelijk aanpassing vraagt van sommige natuurdoelen (zie hoofdstuk 9).
Als, zoals in intensiveren, in het hoofdwatersysteem nu alles uit de kast wordt gehaald om in alle vragen te blijven voorzien, blijft het landgebruik daarop gericht en wordt het steeds moelijker om ruimtelijke aanpassingen te maken.

Maatregelen waterbeschikbaarheid hebben ook gevolgen voor andere sectoren en activiteiten

Veel van de genoemde maatregelen ten bate van de waterbeschikbaarheid kunnen ook gevolgen hebben voor andere sectoren en activiteiten. Enkele voorbeelden zijn:

- Het deels verplaatsen van landbouw naar locaties waar meer water beschikbaar is (met name onderdeel van de adaptatierichting *transformeren*) heeft grote economische en sociale gevolgen (zie hoofdstuk 16:verplaatsing van landbouwbedrijven was geen onderwerp van de beschreven analyse, omvorming naar kringlooplandbouw wel, Deltares 2026c).
- Grootschalige besparing van drinkwater vraagt om aanpassing van het gedrag van alle inwoners van Nederland (zie hoofdstuk 15).
- Vergroting van de bufferschijf IJsselmeer/Markermeer vereist verhoging van de dijken en andere aanpassingen (havens) rond de meren, en heeft effect op de (recreatie)vaart.
- Minder water voor doorspoeling betekent dat op meer plaatsen verzilting moet worden geaccepteerd, met gevolgen voor landbouw en natuur (respectievelijk hoofdstuk 16 en hoofdstuk 9).
- Het afsluiten van de Nieuwe Waterweg zorgt voor betere bescherming tegen overstromingen, maar heeft ook grote consequenties. Er zijn grote pompinstallaties nodig om het water van de Rijn en Maas te kunnen wegpompen en er is meer ruimte nodig voor dijken. De natuur in de estuaria zal veranderen en de open verbinding naar de haven van Rotterdam verdwijnt. (zie hoofdstuk 9 en hoofdstuk 17).

Dit geeft vooral aan dat er complexe afwegingen moeten worden gemaakt. In het *Deltaprogramma* worden verschillende strategieën onderzocht, waaronder de bovenstaande maatregelen (Deltaprogramma 2024b).

12 Natuurbranden

- *Klimaatverandering leidt naar verwachting tot meer en intensere natuurbranden, die ook vaker gelijktijdig zullen optreden. In combinatie met socio-economische trends (bijvoorbeeld meer wonen in groen, meer recreatie) worden ernstigere gevolgen verwacht (bijvoorbeeld doordat personeel en materieel hierdoor schaarser worden). Natuurbranden kunnen brede maatschappelijke impact hebben, met reële risico's voor de volksgezondheid, de kans op schade aan kwetsbare ecosystemen, en de kans op verstoring van vitale infrastructuur.*
- *Het thema natuurbranden is relatief nieuw in Nederland en gaat gepaard meteen beleidsarm dossier. De samenleving is slechts in beperkte mate voorbereid op het aantal natuurbranden en de gevolgen ervan. De verwachting is dat, zonder aanvullend beleid, natuurbranden zich jaarlijks gaan voordoen, ook nabij stedelijk gebieden (zie tabel 12.1). Meer langdurige branden met een groter oppervlak en 'middelgrote' gevolgen voor mens en natuur zullen zicheens in 1 – 10 jaar ergens in Nederland voordoen. De gevolgen zullen veelal bovenregionaal zijn (incl. evacuaties).*
- *Bij intensiveren wordt ingezet op het zoveel mogelijk voorkomen en zo snel mogelijk stoppen van natuurbranden door natuurbrand-adaptief bouwen en vooral door slimme brandbestrijding. Een hoge mate van klimaatverandering kan ertoe leiden dat hulpdiensten bij nog steeds vaker dan nu) tegen de grenzen aanlopen van hun capaciteit en materieel.*
- *Transformeren gaat uit van een integrale benadering voortbouwend op de principes van meerlaagse veiligheid. Naast bewustwording en voorlichting gaat het ook om 'leren leven met vuur' (acceptatie), preventie (b.v. via peilbeheer een gebied nathouden) en gevolgbeperking door het voorkomen van onbeheersbare en ongewenste effecten van natuurbranden. Ook bij ruimtelijke keuzes, bij herstel van systeemkwaliteiten en bij de inrichting en het beheer van gebieden wordt rekening gehouden met natuurbranden. Een voorbeeld hiervan is het (ver)plaatsen van vitale infrastructuur. Door zo'n brede en integrale benadering zullen de kansen op en risico's van natuurbranden substantieel kleiner worden. Qua risicobeheersing is transformeren waarschijnlijk effectiever dan intensiveren (zie tabel 12.1).*
- *No-regret-opties ter verhoging van de weerbaarheid tegen natuurbranden te verhogen zijn onder andere: structurele monitoring (b.v. door middel van risico-analyses zoals de DPRA-stresstesten of scenario-analyses), voorlichting en bewustwording, en kennisontwikkeling. En zoals genoemd, het is belangrijk dat bij ruimtelijke aanpassingen (inclusief klimaatadaptatiemaatregelen) meer rekening wordt gehouden met het gevaar van natuurbranden. Want maatregelen tegen natuurbranden kunnen negatieve effecten hebben op andere sectoren en vice versa.*
- *Er zijn de nodige kennisleemtes, die, als ze worden gevuld, kunnen bijdragen aan betere voorspellingen van natuurbranden en inzicht in de gevolgen alsook de beperking ervan.*

Tabel 12.1
Effect van adaptatiemaatregelen op de kans en impact van natuurbranden op mens en milieu (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Gebeurtenis	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Gelijktijdige branden	Impact midden, kans eens per 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans eens per 1 tot 10 jaar	Impact midden, kans eens per 1 tot 10 jaar	Impact midden, kans eens per 1 tot 10 jaar
Duinbranden bij steden	Impact klein, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks	Impact klein, kans eens per 1 tot 10 jaar

Gelijktijdig grote branden	Impact groot, kans eens per 10 tot 100 jaar	Impact groot, kans eens per 1 tot 10 jaar	Impact groot, kans eens per 10 tot 100 jaar	Impact midden, kans eens per 10 tot 100 jaar

Tekstkader 12.1 Analyse in het kort
Voor de beschrijving van risico's van klimaatverandering op natuurbranden zijn verschillende methoden toegepast. Er bestaat in Nederland nog geen systematische manier om de gevolgen van natuurbranden in te schatten.
Allereerst is er een literatuurstudie gedaan naar bestaande methoden/producten zoals natuurbrandrisico.nl en de Risico Index Natuurbranden. De conclusie is dat met deze methoden de gevoeligheid voor natuurbranden worden beschreven, niet het eigenlijke risico.

Ten tweede is er een raamwerk ontwikkeld om de risico's te kunnen identificeren. Dit raamwerk omvat de PBL-risicogroepen natuur en milieu, cultuur, mens, en economie. Hieraan is toegevoegd: publieke waarde/imago. Dit raamwerk is gebruikt in een workshop met experts van de brandweer en natuurorganisaties. In de workshop zijn de kansen en gevolgen in kaart gebracht voor drie casussen: een duinbrand bij stedelijk gebied, twee gelijktijdige natuurbranden in landelijk gebied, en een combinatie van die twee. De expertsessie liet zien dat natuurbranden in Nederland potentieel een brede maatschappelijke impact kunnen hebben, en dat de omvang en uiteindelijke impact van natuurbranden groter zal zijn als deze zich gelijktijdig voordoen (bijvoorbeeld omdat hulpdiensten keuzes moeten maken).

Ten derde is er een ruimtelijk GIS-model ontwikkeld om natuurbrandrisico's op de kaart zichtbaar te maken. Hierbij gaat het om het mogelijk voorkomen, de omvang en impact van branden. In de analyse zijn ontwikkelingen in klimaat, en sociaaleconomische trends inbegrepen. Toepassing van dit raamwerk laat zien dat door beleids- en adaptatiemaatregelen risico's kunnen worden verkleind.

Door gebrek aan data is de mogelijkheid om toekomstige natuurbrandrisico's in te schatten beperkt. Er is geen langjarige monitoring waardoor schattingen moeilijk gevalideerd kunnen worden. Ook maken de complexiteit en het gebrek aan kennis van natuurbranden en klimaat het lastig om de effectiviteit van de adaptatiemaatregelen goed te kwantificeren. Dit betreft bijvoorbeeld de diversiteit van oorzaken, reacties van hulpdiensten alsook gevolgen). Daarom is ook gekeken naar analysemethoden in het buitenland gebeurt en naar wat deze voor Nederland kunnen betekenen.

Deze tekst is grotendeels gebaseerd op 'Klimaatrisico's natuurbranden. Een analyse in de context van de herziening van de 'Nationale Klimaatadaptatie Strategie' (Stoof et al. 2026) en achterliggende studies.

12.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Integrale benadering natuurbranden nog lastig

Natuurbranden hebben een lange geschiedenis in het Nederlandse landschap. In de afgelopen decennia zijn er in Nederland gemiddeld jaarlijks 600 natuurbranden met gemiddeld 400 hectare verbrand gebied (Stoof et al. 2024). Ze brengen risico's met zich mee op schade en slachtoffers en op

rook en luchtverontreiniging. De frequentie, intensiteit, gelijktijdigheid van branden (dat maakt de bestrijding en crisisrespons veelal lastig) en lokale factoren (bijvoorbeeld aanwezigheid vitale infrastructuur) bepalen hoe groot risico's zijn (Van Marle et al. 2021). En als vitale infrastructuur door een natuurbrand uitvalt en/of er cascade-effecten optreden kan de impact groot worden buiten het direct afgebrande gebied.
Ondanks deze risico's vormen natuurbranden een beleidsarm dossier. Hulpdiensten richten zich op brandbestrijding (technologische benadering) en voor brede adaptatiemaatregelen is weinig aandacht. Recent zet het ministerie LVVN in op integrale natuurbrandbeheersing.

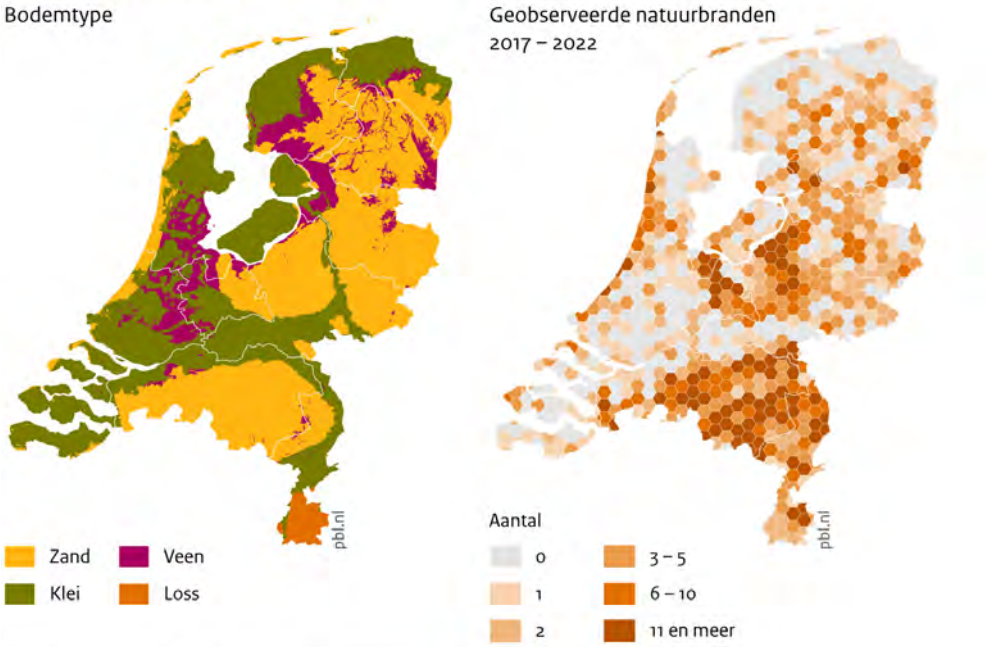
Er zijn veranderingen zichtbaar in de patronen, frequenties en intensiteiten van natuurbranden en in de impact hiervan (Stoof et al. 2026). Mede door klimaatverandering zullen deze doorzetten tot 2050 en daarna. Het inschatten van toekomstig risico's van natuurbranden is complex door het grote aantal factoren die een rol spelen.

- *Klimaat(verandering)* (zie bijvoorbeeld Lambrechts et al. 2024). Een beperkt aantal bestaande studies en datasets houdt rekening met toekomstige klimaatscenario's (zie bijvoorbeeld Van Marle en Agricola 2021).
- *Sociaaleconomische ontwikkelingen, zoals verandering in demografie, inkomen, meer 'wonen en leven in het groen', en behoefte aan recreatie*. Deze factoren zijn mede bepalend voor toekomstig natuurbrandrisico, het adaptief vermogen van de omgeving en dus de uiteindelijke impact van een natuurbrand. Het aantal studies hiernaar is beperkt (bijvoorbeeld Van Marle et al. 2025, gericht op het handelingsperspectief bij bermbranden en de bredere impact hiervan op de maatschappij).
- *Landschapskenmerken zoals bodem, grondwater, vegetatie*. Deze verklaren het ruimtelijke patroon van natuurbranden.
- *Beheer en landgebruiksverandering*. Op basis van bestaande studies blijkt bijvoorbeeld dat een toename in oppervlak (naald)bos zal leiden tot een toename van de hoeveelheid van biomassa. Meer brandstof en meer aaneengesloten brandstof zorgen voor een toename van de verspreidingssnelheid en intensiteit van natuurbranden. Deze gevolgen kunnen gedeeltelijk door middel van beheersmaatregelen worden beperkt. Nieuwe inzichten tonen aan dat vegetatieveranderingen zouden kunnen leiden tot een verhoogde gevoeligheid in onder andere Drenthe, Noord-Brabant en Zuid-Limburg, evenals delen van de kust (Stoof et al. 2026).
- *Groeiende verwevenheid van functies*, ook in landelijk gebied, die de kans op en omvang en impact van natuurbranden groter kunnen maken. Een voorbeeld is de groei van vitale infrastructuur zoals wegen en hoogspanningskabels.
- Nog *beperkte (beleids)aandacht* voor natuurbranden en mogelijke gevolgen. Vanwege een groter aantal natuurbranden op de hoge zandgronden en in de duinen ligt het voor de hand dat beleids- en adaptatiemaatregelen op deze gebieden zijn gericht.

Deze combinatie van factoren maakt dat natuurbranden lastig te voorspellen en te modelleren zijn. Er is maar een beperkt aantal studies beschikbaar waarin natuurbranden breed en integraal worden benaderd (zie figuur 12.1).

Figuur 12.1

Bodemtype en natuurbranden



Bron: Basisregistratie Ondergrond, WUR, NIPV, Deltares

Klimaatverandering leidt tot toename natuurbranden en daarmee tot vergroot risico

Klimaatverandering draagt naar verwachting bij aan een toename van natuurbranden om een aantal redenen.

- Droogte zal toenemen. Hierbij gaat het om zowel meteorologische droogte (die relatief kort kan zijn) als bodemdroogte (langere periode). In combinatie met vegetatie-eigenschappen wordt verwacht dat hierdoor branden meer frequent en intenser worden.
- Temperaturen blijven stijgen. Behalve dat dit bijdraagt aan de genoemde droogte zal vegetatie hierdoor harder en langer doorgroeien waardoor meer brandstof ontstaat (Schasfoort et al. 2024).
- Veranderingen in luchtstromen en klimaat kunnen leiden tot soms extreem snelle intense en onvoorspelbare natuurbranden (zogeheten Extreme Wildfire Events, EWE). Over dit fenomeen is nog veel onzeker, maar zulke branden zijn al in Nederland waargenomen (Stoof et al. 2024). De verwachting is dat door klimaatverandering deze gebeurtenissen zich vaker zullen voordoen, ook in Nederland (Castellnou et al. 2022).

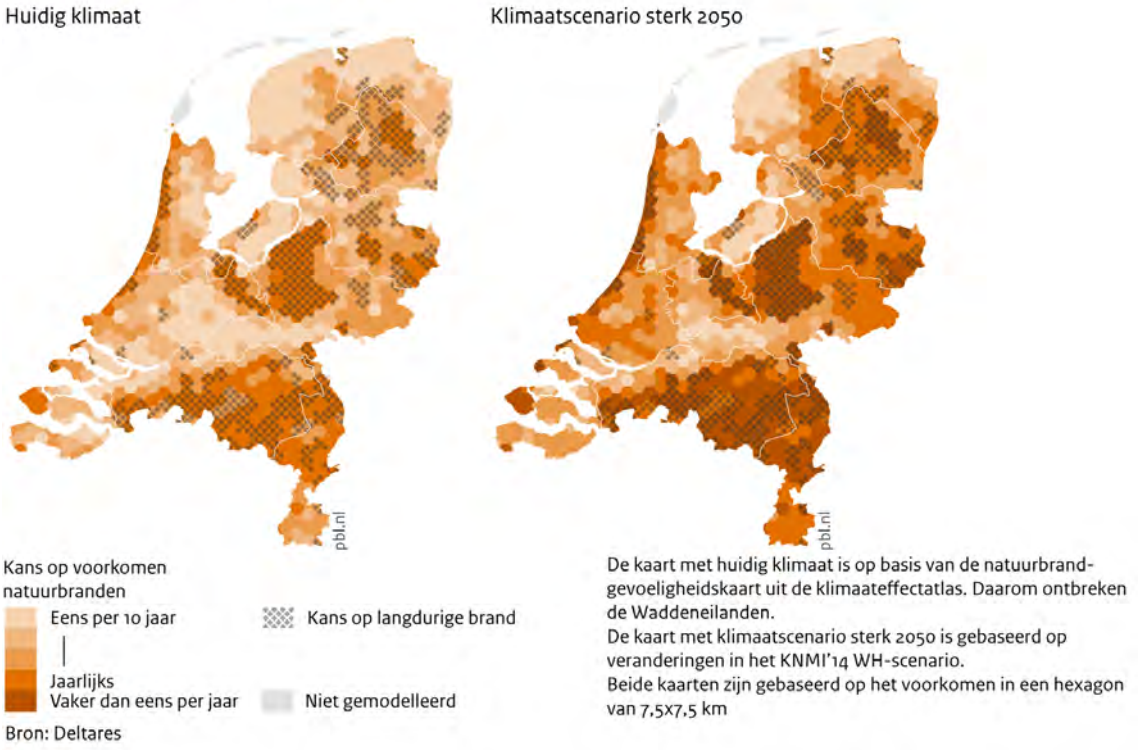
Door deze veranderingen is de verwachting dat het aantal, het oppervlak en de verspreiding van natuurbranden zal toenemen, als er geen aanvullend beleid komt. Volgens de hoge KNMI'14 scenario's zal het aantal locaties met een hoge gevoeligheid voor natuurbranden in 2050 kunnen verdubbelen. Hierbij zullen natuurbranden naast op de al bestaande (hoog)gevoelige locaties ook (vaker) voorkomen op locaties waar ze tot op heden niet of nauwelijks voorkomen, zoals in West-Nederland en Zeeland (figuur 12.2). Verder is het de verwachting dat de branden op veel plekken intenser en langduriger zullen zijn en dat meerdere branden gelijktijdig kunnen optreden. Dit vraagt om meer complexe en veelal bovenregionale inzet van de hulpdiensten, met name als het gaat om meerdere branden die tegelijk optreden. Hierbij moet worden opgemerkt dat meer recente KNMI'23-scenario's (die ook overwegend gebruikt zijn in deze studie) uitgaan van meer droogte dan het scenario uit KNMI'14, en dus naar verwachting leiden tot een groter natuurbrandrisico.

Door de gelijktijdigheid en beperkte mogelijkheden in bestrijding is de verwachting dat kleine branden toch grote gevolgen kunnen hebben, voor de natuur/leefomgeving (met name als het om kwetsbare natuur gaat), voor de mens (inademen van rook en mentale schade) en voor de uitval van vitale infrastructuur. Er is specifieke aandacht nodig voor uitval door stapeling van effecten oftewel cascade-effecten. Daarnaast kunnen de gevolgen van natuurbranden groter worden doordat Nederland maar beperkt is voorbereid op natuurbranden en beleid nog grotendeels ontbreekt. Het huidige beleid is vooral gericht op de bestrijding van natuurbranden en in sommige gevallen op preventie door waarschuwing (Stoof et al. 2026).

Al met al is de verwachting dat zonder aanvullend beleid natuurbranden zich in 2050 jaarlijks zullen voordoen. Gevolgen voor de mens zullen vooral groot zijn als deze branden zich voordoen nabij stedelijke gebieden (bijvoorbeeld in de duinen). De kans op meer langdurige branden met groter oppervlak en op 'middelgrote' gevolgen voor mens en natuur zal in 2050 zonder aanvullend beleid minimaal verdubbelen. Hierdoor zullen deze branden zich met grote regelmaat (eens in 2 – 4 jaar of mogelijk vaker) ergens in Nederland voordoen, met veelal ook bovenregionale consequenties (incl. evacuaties). Dus frequenter en met meer impact dan in de huidige situatie (Stoof et al. 2026).

Figuur 12.2

Schatting voorkomen natuurbranden



12.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren

Maatregelen mogelijk op alle onderdelen van risicoanalyse

Er zijn diverse adaptatiemaatregelen mogelijk om Nederland beter voor te bereiden op natuurbranden (tabel 12.2, Stoof et al. 2026). Deze adaptatiemaatregelen zijn aan de ene kant gericht op de ontwikkeling van een 'vuurcultuur', aan de andere kant op het verminderen van de blootstelling en gevoeligheid voor natuurbranden, en het vergroten van de adaptatiecapaciteit (beperking van negatieve effecten door maatregelen vooraf of maatregelen voor snel herstel). Qua invulling verschillen de maatregelen heel sterk. Het kan gaan om fysieke maatregelen (door vegetatiebeheer de hoeveelheid brandstof verminderen), maar ook om gedrag (bewustwording vergroten) en organisatie. Sommige maatregelen passen meer bij één van de adaptatierichtingen, andere bij beide (tabel 12.1). Een volgende stap houdt in dat wordt bepaald welke maatregelen ingezet kunnen worden en hoe. Kosten-batenafwegingen kunnen hiervoor een criterium zijn (zie bijvoorbeeld Van Marle et al. 2025). Op dit moment is er geen nationaal handelingsperspectief. Dat komt deels door een gebrek aan inzicht en kennis, bijvoorbeeld met betrekking tot mogelijke cascade-effecten van natuurbranden, en deels door het ontbreken van een bestaand afwegingskader. Zo'n handelingsperspectief en bijbehorend actieplan zou zich moeten richten op het beperken van de impact van een natuurbrand, maar ook hulpdiensten helpen bij prioritering van natuurbranden (waar wel bestrijden, waar niet).

Tabel 12.2
Overzicht van mogelijke maatregelen

Waar	Maatregel	Wie	Intensiveren	Transformeren
Blootstelling	RO: Natuurbrand onderdeel van ruimtelijke afwegingen.	Rijk (bijvoorbeeld *Nota Ruimte*)		X
Blootstelling	RO: Natuurbrand onderdeel van vergunningverlening.	Gemeenten		X
Blootstelling	RO: Ontmoedig het (her)bouwen van kwetsbare objecten in risicogebied.	Rijk		X
Blootstelling	RO: verplaatsen vitale functies of kwetsbare objecten uit risicogebied.	Rijk/Provincie		X
Blootstelling	Aanpassing beheer om de kans op natuurbrand te beperken	Velen, m.n. eigenaren		X
Gevoeligheid	Aanpassing beheer om hoeveelheid brandstof te beperken, het potentiële brandgedrag beheersbaar te houden en overslag van natuurbranden te verminderen.	Velen, m.n. eigenaren		X
Gevoeligheid	Verbeter landschapskwaliteit om beter bestand te zijn tegen verschillende klimaatrisico's, en minder gevoelig te zijn voor natuurbranden. Veel synergiën mogelijk (b.v. verbeter hydrologisch systeem in landschap).	Eigenaar, beheerder		X

Gevoeligheid	Aanpassing beheer en onderhoud direct rond kwetsbare gebieden/vitale infrastructuur.	Eigenaar		X
Gevoeligheid	Stimuleer natuurbrand-adaptief bouwen en het gebruik van soortgelijke bouwmaterialen (b.v. via normering, voorlichting).	Rijk, gemeenten	X	
Gevoeligheid	Het stellen van normen aan bebouwing en vitale infrastructuur m.b.t. materiaaleigenschappen en constructie.	Rijk	X	
Adaptatie-capaciteit	Stimuleren zelfredzaamheid burgers.	Burgers, eigenaren		X
Adaptatie-capaciteit	Innovatieve en slimme brandbestrijding, opleiden brandweer en terreinbeheerders.	Veiligheidsregios en beheerders	X	
Adaptatie-capaciteit	Ontwikkel herstelplannen, incl. vangnetten voor getroffenen.	Rijk		X
Adaptatie-capaciteit	Zorg voor fysiek en mentaal welzijn van hulpverleners, omwonenden en andere getroffenen.	Rijk	X	X
Adaptatie-capaciteit	Betere verzekeringen voor gevolgbeperking.	Private sector	X	
Ontwikkelen vuurcultuur	Ontwikkelen integraal natuurbrandbeheer, gericht op meerlaagsveiligheid (bewustzijn, preventie, gevolgbeperking, bestrijding, herstel).	Rijk, beheerders		X
Ontwikkelen vuurcultuur	Opzetten systematische monitoring van natuurbrand.	Rijk, Deltaprogramma	X	X
Ontwikkelen vuurcultuur	Vergroten bewustwording, voorlichting (incl. 'Wat te doen?').	Rijk	X	X
Ontwikkelen vuurcultuur	Kennis en innovatie (ook in onderwijs).	Rijk	X	X

Zo passen maatregelen ter verkleining van de gevoeligheid voor natuurbranden en het vergroten van adaptatiecapaciteit in beide adaptatierichtingen. Bij 'Adaptatiecapaciteit' gaat het om hoe een gebied, de mensen of een object aangepast kunnen worden om de negatieve effecten van toekomstige natuurbrand te beperken. Hierbij kan het gaan om verlaging van zowel blootstelling als gevoeligheid, maar ook om stimulering van zelfredzaamheid, slimme brandbestrijding, en proactieve aandacht voor herstel en welzijn. No regret-maatregelen die in beide adaptatierichtingen passen, hebben betrekking op een systematische monitoring (bijvoorbeeld via risicoanalyses zoals de DPRA-stresstesten), kennisontwikkeling en voorlichting (inclusief bewustwording en handelingsperspectief voor burgers) (Stoof et al. 2026). Onvoldoende kennis en gebrek aan financiële middelen zijn huidige bottlenecks in beide adaptatierichtingen. Op dit moment zijn veel van de

adaptatiemaatregelen rond natuurbranden niet in wetten of beleidspakketten vastgelegd. Een kans om natuurbranden te verankeren in beleid ligt bij de *Nota Ruimte* die in ontwikkeling is. In de *Ontwerp Nota Ruimte* worden natuurbranden nog niet geadresseerd.

Bij de adaptatierichting intensiveren wordt deels ingezet op doorontwikkeling en intensivering van huidig beleid. Dat geldt ook voor natuurbranden. Hierbij ligt de nadruk op bestrijding (incl. slimme innovatie) van natuurbranden, en in beperkte mate op preventie (bijvoorbeeld via beheer). Innovatie beperkt zich tot slimme brandbestrijding: op basis van meer kennis en data (om natuurbrand beter te begrijpen) en slimme inzet van methoden (om natuurbranden beter te beheersen. Door natuurbrand-adaptief bouwen wordt, ook bij bestaande objecten, infrastructuur en datacenters, de weerbaarheid van objecten tegen natuurbrand vergroot, met name als deze een hoge economische waarde hebben. En als er toch een brand uitbreekt, dan kunnen verzekeringen ook de financiële gevolgen beperken.

Een belangrijke insteek bij de adaptatierichting transformeren is die van integraal natuurbrandbeheer, uitgaand van de principes van meerlaagsveiligheid (bewustzijn, preventie, gevolgbeperking, bestrijding, herstel; zie ook hoofdstuk 13 Waterveiligheid). Veel maatregelen zoals beschreven in tabel 12.2 dragen hieraan bij en reduceren zo de verhoogde kans op en impact van natuurbranden door klimaatverandering. Belangrijk in dit scenario is dat er integraal wordt ingezet op robuuste natuurlijke systemen, die passen bij het water- en bodemsysteem, en zo beter bestand zijn tegen verschillende effecten van een veranderend klimaat.
Het uitgangspunt is ruimte geven aan natuurlijke processen. Voor natuurbrand betekent dit: ruimtelijke aanpassingen in de inrichting en beheer van het landschap, en herstel van natuurlijke processen. Deze leiden tot herstel van natuurgebieden en kunnen daardoor het ontstaan, de verspreiding en de impact van natuurbranden beperken (preventie en gevolgbeperking). Zo kunnen waterbeheersmaatregelen de grondwaterstanden verhogen en waterbeschikbaarheid vergroten, met een meer veerkrachtige natuur tot gevolg. De omvorming van naald- naar loofbos, meer compartimentering en het herstel van hydrologische systemen zijn eveneens mogelijke beheersmaatregelen Ook vernatting van veengebieden verkleint de kans op natuurbranden (Stoof et al. 2026).
Verder kunnen sommige ruimtelijke keuzes de mogelijke gevolgen van natuurbranden beperken. Niet of aangepast bouwen in natuurbrandgevoelige gebieden is een hiervan een voorbeeld, of het verplaatsen van mensen of kwetsbare objecten zoals vitale infrastructuur. Ruimtelijk ordeningsbeleid en ook vergunningsverlening bieden gelegenheid voor sturing.
Ten slotte hoort bij transformeren ook de acceptatie van het vóórkomen van natuurbranden (zoals dit nu al veelal het geval is in Zuid-Europa). In plaats van alle natuurbranden proberen te voorkomen en snel te bestrijden, is dan het doel om onbeheersbare natuurbranden te voorkómen en ongewenste effecten van natuurbranden te beperken. Dit vereist nauwe samenwerking tussen relevante partijen, waarbij besluitvorming over welke natuurbrandrisico's acceptabel zijn als basis dient voor de ontwikkeling van beleid, beheer en adaptatie.

Hierbij hoort ook de notie dat sommige ruimtelijke veranderingen, zonder aanvullende maatregelen, het natuurbrandrisico juist kunnen vergroten. Meer natuur en een hogere mate van verbondenheid van natuurgebieden bieden ruimte aan potentieel meer, grotere en langdurige natuurbranden. Meer wonen in het groen, meer groen in de stad, meer vitale infrastructuur in landelijk gebied, en groene daken en muren kunnen ook het risico op brand vergroten. Met genoemde maatregelen zoals landschapsbeheer, compartimentering en materiaalkeuzes kunnen deze risico's worden beperkt.

Dominantie van brandbestrijding voldoet mogelijk niet langer, transformeren met meerlaagsveiligheid meest effectief

Het is dus de verwachting dat door klimaatverandering de kans op en omvang van natuurbranden toeneemt. Gezien het feit dat natuurbranden in Nederland nog niet structureel worden meegenomen in beleid en ook de nodige kennis ontbreekt, is het echter lastig om de effectiviteit van de adaptatiemaatregelen te kwantificeren. Wel is het mogelijk om te leren van andere sectoren (met name waterbeheer met meerlaagsveiligheid) en van ervaringen met natuurbranden in andere landen en het geleerde te vertalen naar een Nederlandse context. Op basis hiervan is de verwachting dat door beleid natuurbrandrisico's verkleind kunnen worden, ook in een veranderend klimaat. Transformeren (integraal vuurbeheer, meerlaagsveiligheid, ruimtelijke maatregelen) zal op termijn effectiever zijn dan intensiveren (technische maatregelen, innovatieve brandbestrijding, weerbaarheid, verzekeringen).

Ook in de richting transformeren zullen natuurbranden naar verwachting blijven voorkomen, soms gelijktijdig. Maar door de brede combinatie van maatregelen gericht op zowel het voorkomen als het beperken van branden, zal de kans op en verspreiding en impact van natuurbranden aanzienlijk kleiner worden, ook bij een sterke klimaatverandering. Bij vergaande implementatie van de gestelde maatregelen kan de kans op een grote brand ergens in Nederland kleiner worden tot eens per 1 tot 10 jaar. De uiteindelijk impact op de leefomgeving wordt daarmee klein tot midden (zie tabel 12.1).

In de richting intensiveren is het de verwachting dat door de mogelijke gelijktijdigheid van branden en beperkte mogelijkheden in bestrijding, kleine branden toch grote gevolgen kunnen hebben (zie ook Castellnou et al. 2022). Met voortschrijdende klimaatverandering zullen natuurbranden steeds vaker onbeheersbaar worden. De frequentie van natuurbranden zal min of meer hetzelfde blijven als in de situatie zonder aanvullend beleid, maar vooral de impact zal kleiner worden (tabel 12.1).

12.3 Conclusies

Natuurbranden vormen een groeiende uitdaging

Het is de verwachting dat de bestrijding van natuurbranden in de toekomst vaak een uitdaging zal zijn, zeker bij een sterkere klimaatverandering. Branden zullen groter en langduriger zijn, en mogelijk tegelijk optreden. Dit vraagt om meer complexe en veelal bovenregionale inzet van hulpdiensten. Dit kan resulteren in een vertraagde respons, waardoor kleine branden toch grote gevolgen kunnen hebben. Dit geldt zeker bij de richting intensiveren, maar mogelijk ook bij transformeren. Het gaat in toekomst meer en meer om een combinatie van bewustwording, preventie, gevolgbeperking, bestrijding en herstel (meerlaagsveiligheid). Hierbij horen ook diverse ruimtelijke maatregelen en een integrale natuurbrandbeheersing, iets dat meer bij transformeren past.

Belangrijk zijn ook bewustwording en acceptatie van natuurbranden, zowel qua frequentie als intensiteit. In plaats van snelle bestrijding van alle natuurbranden zou het doel moeten zijn om onbeheersbare natuurbranden en ongewenste effecten van natuurbranden te voorkomen. Hiervoor moet kennis worden ontwikkeld en een passende governancestructuur worden opgezet. De acceptatie van een restrisico maakt hiervan deel uit.

Nu kans voor keuzes in ontwikkeling van beleid

Het dossier natuurbranden is volop in ontwikkeling. Er is daarom ruimschoots gelegenheid om risico's en adaptatie op te nemen in de ontwikkeling van beleid en wet- en regelgeving.

Hiervoor kan worden aangesloten bij ruimtelijke ordening (*Nota Ruimte*) of natuurbeleid (natuurherstelverordening). Op dit moment ontbreekt het dossier natuurbranden in stresstesten (bijvoorbeeld bij het *Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie*). Hier ligt een kans voor structurele monitoring en samenwerking tussen sectoren en betrokken organisaties.
Ten slotte is er in Nederland nog onvoldoende kennis en expertise op het gebied van natuurbranden voor de transformatie die nodig is (Stoof et al. 2026). Ook gezien de beschreven relevantie van het natuurbrandrisico is het belangrijk om het dossier natuurbranden mee te nemen in kennis- en innovatietrajecten. Op dit moment ontbreken natuurbranden in bijvoorbeeld scenariostudies (zoals de *Landbouw-Natuurverkenning* en *Ruimtelijke Verkenning* van het PBL), waardoor toekomstvisies op het onderwerp nog ontwikkelt moeten worden. En het is belangrijk om kennis over het onderwerp bij burgers te krijgen, zodat ook in het kader van publieks- of buurtinitiatieven rekening wordt gehouden met natuurbranden.

13 Waterveiligheid: overstromingen en wateroverlast

- In Nederland is continu aandacht nodig voor waterveiligheid en wateroverlast. Door ontwikkelingen zoals klimaatverandering zullen naar verwachting overstromingsrisico's en wateroverlast toenemen, zeker wanneer er geen aanvullende adaptatiestrategieën worden ingezet.
- In de huidige situatie zijn de overstromingsrisico's in Nederland vanuit het hoofdwatersysteem (zee, rivieren, meren) het grootst, de overstromingsrisico's vanuit het regionale systeem is ongeveer een factor 3 kleiner.
- Voor waterveiligheid streeft het beleid ernaar dat alle waterkeringen in 2050 aan de huidige normen en eisen voldoen, ook met een veranderend klimaat. Bij uitvoeren van dit huidige beleid zullen met name de kansen op overstromen vanuit het hoofdwatersysteem sterk afnemen, waarbij buitendijkse gebieden wel vaker en dieper kunnen onderlopen. De potentiële impact van overstromingen kan toenemen door bevolkings- en economische groei en is sterk afhankelijk van de locatie.
- Doordat maatregelen vooral gericht zijn op het hoofdwaterwatersysteem zal naar verwachting de bijdrage aan het totale risico vanuit het hoofdwatersysteem in 2050 van dezelfde orde zijn als de bijdrage van overstromingen vanuit de regionale systemen. Ook de locatie van de grootste risico's verandert van het centrale rivierengebied naar stedelijke gebieden en naar gebieden die gevoelig zijn voor overstroming vanuit het regionale systeem.
- De uitkomsten van de adaptatierichtingen 'intensiveren' en 'transformeren' lijken voor waterveiligheid vanuit het hoofdwatersysteem voor 2050 veel op 'alleen huidig beleid 2050', omdat er in het huidig beleid al rekening gehouden wordt met klimaatverandering. In het regionale watersysteem zijn er in 2050 wel verschillen tussen de adaptatierichtingen in hoe uitdagingen opgepakt worden.
- Het huidige waterveiligheidsbeleid rekent met klimaatverandering tot 2050. De primaire keringen moeten dan aan de normen voldoen. Na 2050 zullen de overstromingsrisico's toenemen door verdere klimaatverandering, economische groei en ontwikkelingen in kwetsbare gebieden die leiden tot een grotere impact (meer slachtoffers, meer economische schade). En zijn er dus meer verschillen te verwachten tussen de verschillende adaptatierichtingen en ook in ontwikkeling van de overstromingsrisico's vanuit het hoofdwatersysteem.
- Bij *intensiveren* gaat het om (i) handhaven van de veiligheid in plaats van het handhaven van normen, zodat de maatschappij niet te veel hoeft te veranderen; overstromingen zullen dan minder vaak voorkomen, maar als er toch een plaatsvindt wordt die wel groter/ernstiger (dan alleen bij huidig beleid); (ii) brede invulling van meerlaagsveiligheidsbenadering: meer focus op gevolgbeperking/crisisbeheersing en herstel/verzekeringen. De mate van preventie is afhankelijk van de kosten van preventie en de te beschermen waarde.
- Bij *transformeren* gaat de voorkeur uit naar ruimtelijke maatregelen inclusief het aanpassen of zelfs verplaatsen van vitale functies uit gebieden met een hoog risico. Ook wordt rekening gehouden met overstromings- en overlastgevaar bij locatiekeuze en inrichting van gebieden en bij het ontwerp van belangrijke voorzieningen/objecten. Overlast door kleine overstromingen wordt geaccepteerd. Hierdoor zal de kans op een overstroming of wateroverlast naar verwachting wel toenemen, maar zal het aantal getroffenen en/of economische schade dalen (tabel 13.1). Ook wordt er sterk gekeken naar meekoppelkansen en de samenhang tussen systemen, bijvoorbeeld tussen het hoofd- en regionaal watersysteem. Ook bij transformeren wordt

ingezet op de meerlaagsveiligheidsbenadering om het risico te verlagen en om te voorkomen dat de kwetsbaarheid in de toekomst steeds groter wordt. Dit alles vraagt wel om meer inzet, betrokkenheid en bewustzijn van economische sectoren en burgers, (kan dan ook tijdrovend zijn) en om investeringen.

Dit hoodstuk is onder andere gebaseerd op de achtergrondstudies 'Herijking klimaatrisico's - Overstromingsrisico's nu en in de toekomst' (Deltares 2026b) en 'Klimaatrisico's voor de gebouwde omgeving' (TNO 2026a).

Tabel 13.1
Grootte van risico's gekoppeld aan overstromingen en wateroverlast, in 2050 en 2100 bij sterke klimaatverandering en voortzetting huidig beleid (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren	2100 bij intensiveren	2100 bij transformeren
Overstroming vanuit zee	Impact groot, kans minder dan één op 1000 jaar	Impact groot, kans minder dan één op 1000 jaar	Impact groot, kans minder dan één op 1000 jaar	Impact groot, kans minder dan één op 1000 jaar	Impact groot, kans minder dan één op 1000 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar
Overstroming rivieren, meren, e.d.	Impact groot, kans één op 10 tot 100 jaar	Impact groot, kans minder dan één op 1000 jaar	Impact groot, kans minder dan één op 1000 jaar	Impact groot, kans minder dan één op 1000 jaar	Impact groot, kans minder dan één op 1000 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar ,
Regionale systemen	Impact midden, kans één op 10 tot 100 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar	Impact midden, kans één op 100 tot 1000 jaar

Tekstkader 13.1 Analyse in het kort
Voor het bepalen van de risico's is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande kennis en informatie. Belangrijke projecten en databronnen hierbij zijn hieronder weergegeven.
Gebruikte modellen en tools:
- LIWO (Kaarten): Landelijk informatiesysteem Water en Overstromingen
- SSM (Standaard schade en slachtoffermodule Schade- en Slachtoffer Module | Informatiepunt Leefomgeving)
- Toolbox van LIWO: scripts en tools ontwikkeld voor het maken van de kaarten op LIWO met de Google Earth Engine

- RuimteScanner en Damagescanner t.b.v. analyse van effecten van scenario's op landgebruik en effecten op schade (RuimteScanner | Planbureau voor de Leefomgeving)

13.1 Risico's op overstromingen en wateroverlast

In Nederland is continu aandacht nodig voor waterveiligheid. Daarbij gaat het om zowel bovenregionale overstromingen vanuit de zee, het IJsselmeer en de grote rivieren (het hoofdwatersysteem), als om overstromingen van regionale wateren en wateroverlast door extreme neerslag.

Overstromingen vanuit zee, grote rivieren en grote meren: zeer kleine kans, potentieel zeer grote impact

De zeespiegel stijgt steeds harder, en ook extreme afvoeren van de Rijn, Maas en Vecht nemen toe. Naar verwachting zullen deze toenames door klimaatverandering door blijven gaan (Deltares 2026b). Het huidig beleid houdt al rekening met deze ontwikkelingen en voorziet in het versterken van de waterkeringen en het vergroten van zandsuppletie, afvoercapaciteit en bergingscapaciteit van het watersysteem om ook in 2050 de normen te blijven behalen. Hierdoor is de potentiële impact (schade en slachtoffers) van overstromingen weliswaar groot, maar de kans erop is zeer klein. Hierbij geldt nu nog de kanttekening dat een groot deel van de waterkeringen met name vanuit het hoofdwatersysteem op dit moment niet aan de normen voldoet en het overstromingsrisico dus groter is dan in het beleid wordt beoogd (zie ook tabel 3.1). Het beleid streeft ernaar om ervoor te zorgen dat in 2050 alle waterkeringen aan de normen voldoen.

Meer kans op wateroverlast door grootschalige neerslag: veel regen in een groot gebied gedurende meerdere dagen

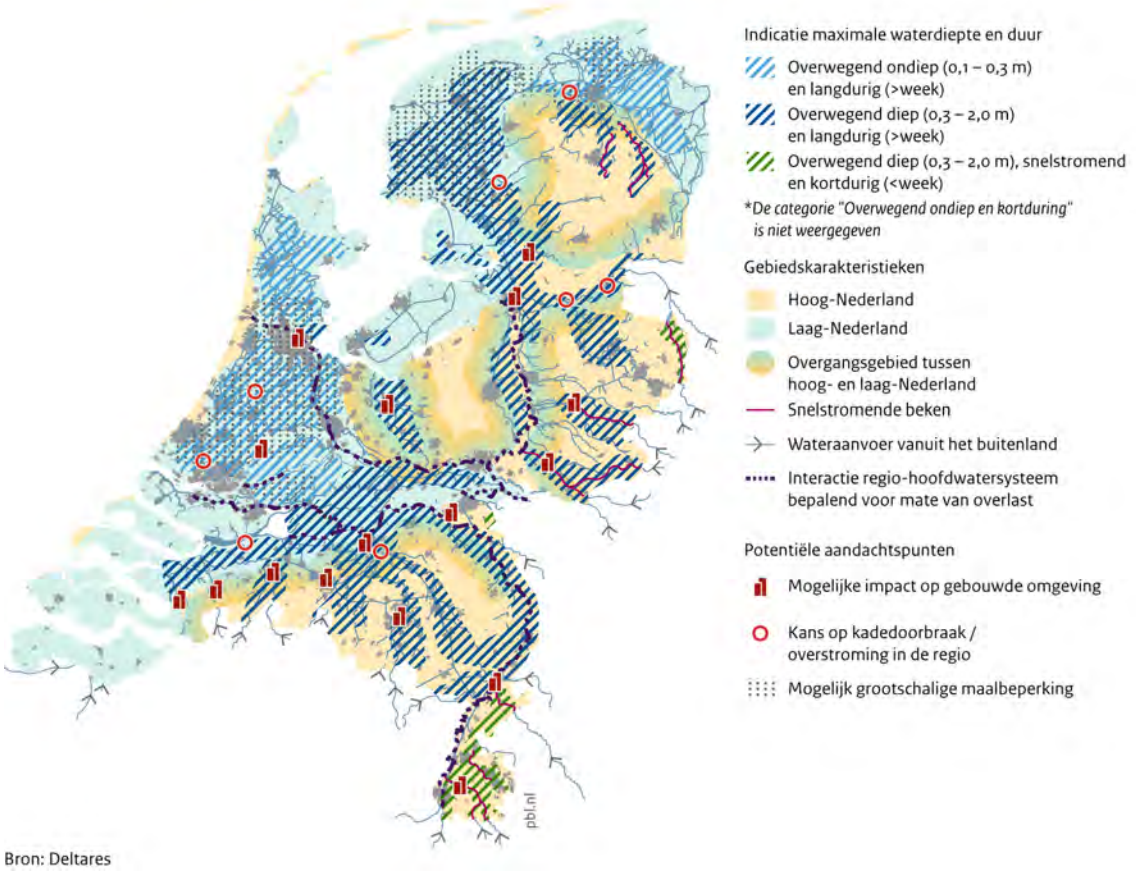
Ook de jaarlijkse neerslag en neerslagextremen zullen naar verwachting in Nederland blijven toenemen (KNMI 2023a). Perioden met grootschalige neerslag kunnen leiden tot overstromingen vanuit het regionale watersysteem, met soms grote schade tot gevolg: voor de gebeurtenissen van de zomer van 2021 in Limburg was dit naar schatting 433 miljoen euro (ENW 2021). Dit soort gebeurtenissen kunnen vaker en ook elders optreden. Onlangs publiceerde Deltares de resultaten van stresstesten waarbij grootschalige extreme regen van 200 millimeter in 48 uur in een groot gebied valt (Deltares 2025). Daaruit blijkt dat grootschalige extreme regen ook in andere delen van het land tot wateroverlast kan leiden: ondiepe maar langdurige wateroverlast in laag-Nederland en diepe maar lokale en kortdurende wateroverlast langs beken in hoog Nederland (zie figuur 13.1).

Wateroverlast door extreme piekneerslag: komt vaker voor maar geeft meestal minder schade

Wateroverlast door lokale extreme piekneerslag komt vaker voor dan de hiervoor genoemde grootschalige neerslag, maar leidt meestal tot minder schade (zie ook voorbeelden in rapport van Onderzoeksraad voor de Veiligheid (2026)). In de land- en tuinbouw kan extreme neerslag tot opbrengstderving leiden, waarbij de relatie tussen oorzaak en gevolg veel onzekerheden kent en afhankelijk is van onder andere de locatie (een extreme situatie was een hagelbui die in 2016 een gebied raakte met veel kassen, met 600 miljoen euro schade), het moment van optreden van die neerslag (wel of niet binnen groeiseizoen) en de bodemeigenschappen. Op het wegennet leidt vaker en/of meer wateroverlast tot verlies aan veiligheid, hinder voor mens en bedrijfsleven door afgenomen mobiliteit en een toename van aanleg- en onderhoudskosten (zie hoofdstuk 17 over infrastructuur). En er zijn diverse lokale voorbeelden van wateroverlast rond de gebouwde omgeving met een hoge verhardingsgraad (bijvoorbeeld in 2024 toen de spoedeisende hulp van het ziekenhuis van Doetinchem tijdelijke moest sluiten vanwege wateroverlast). Vooruitkijkend richting

2050 en 2100 nemen zowel de frequentie als de intensiteit van piekbuien toe, met als gevolg een stijging van economische en gezondheidskosten. In dit hoofdstuk ligt de focus op overstromingen, zie de beschrijvingen over wateroverlast in de hoofdstukken over gezondheid, gebouwde omgeving, landbouw en infrastructuur (hoofdstuk 7, 14, 16, 17).

Figuur 13.1
Zones waar mogelijk water komt te staan bij grootschalige, extreme regen



Bron: Deltares

13.2 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Kans op overstromingen neemt af door dijkversterkingen, na 2050 potentieel meer schade en slachtoffers zonder extra maatregelen

Waterveiligheid raakt alle sectoren, waaronder gebouwde omgeving, landbouw, infrastructuur en cultureel erfgoed. De potentiële impact (slachtoffers en schade) van een overstroming vanuit zee, grote rivieren en meren is groot. Door de strenge normen voor de hoofdwaterkeringen, gebaseerd op een risicobenadering, is de kans op een overstroming vanuit zee, of vanuit onze grote rivieren en meren (het 'hoofdwatersysteem') echter klein (zie ook tabel 13.1, meer details in PBL 2024a).

Door de versterking van de hoofdwaterkeringen gericht op het in 2050 voldoen aan de vastgestelde waterveiligheidsnormen voor deze keringen, daalt de kans op een overstroming vanuit het hoofdwatersysteem en daarmee het jaarlijkse schaderisico tussen nu en 2050 met een factor 5-10. (Deltares 2026b). Tegelijkertijd neemt de kans op schades en het aantal slachtoffers van overstromingen toe door bevolkings- en economische groei. Door toenemende elektrificatie en afhankelijkheid van

ICT kunnen de maatschappelijke gevolgen groot of zelfs ontwrichtend worden, bij overstromingen waarbij de energie- en ICT-voorzieningen uitvallen. De exacte gevolgen van een overstroming zijn sterk afhankelijk van de locatie, waarbij zowel de grootte van de overstroming als de inrichting van de fysieke leefomgeving bepalend zijn.

Om aan de normen te voldoen schat het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP, januari 2025) in dat nog ongeveer 1.360 kilometer – dat is 39 procent van de totale lengte – van de primaire waterkeringen vóór 2050 versterkt moet worden (CLO 2025a). Het huidige budget is niet voldoende om alle dijken en keringen voldoende te versterken. De verwachting is dat het tekort tussen de 2 en 11 miljard euro is. Tussen nu en 2050 vraagt het huidige beleid voor waterveiligheid en het tegengaan van wateroverlast, ook fysieke ruimte voor het verbreden van keringen, verruimen van watergangen en uitbreiden van kunstwerken (zoals spuikokers en gemalen), en voor extra waterberging in het regionale systeem. Dit kan voor spanningen zorgen met andere sectoren die in die ruimtes aanwezig zijn.

Verder is de verwachting dat richtting 2050 overstromingen vanuit het regionale watersysteem (de kleinere rivieren, watergangen en meren) en ook wateroverlast door grootschalige extreme neerslag verder toenemen.

Op dit moment is het schaderisico vanuit het hoofdwatersysteem bijna drie keer zo groot als die vanuit regionale wateren. Als alle hoofdwaterkeringen in 2050 aan de normen voldoen, zullen dus de risico's vanuit het hoofdwatersysteem sterk afnemen. Als gevolg zal de bijdrage aan het totale risico (kans maal gevolg) van beide systemen in dezelfde orde van grootte komen te liggen, waarbij de mogelijke schade en slachtoffers door overstromingen vanuit het hoofdwatersysteem groter zal blijven, maar de kans op overstroming kleiner wordt dan die vanuit regionale wateren. Ook verandert de locatie van de grootste risico's dan van het centrale rivierengebied naar stedelijke gebieden van Amsterdam, Gouda, Zoetermeer en naar gebieden die gevoelig zijn voor overstroming vanuit het regionale systeem in Groningen, Friesland en Noord-Holland (Deltares 2026b).

13.3 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren

Meer nadruk op preventie: kleinere kans op overstromingen, maar minder goed berekend op langere termijn en onverwachte gebeurtenissen

Bij de insteek van de adaptatierichting *intensiveren* wordt de waterveiligheid zo gehandhaafd en wateroverlast zo tegengegaan dat de maatschappij niet te veel hoeft te veranderen. Dijken worden opgehoogd en versterkt, regenwaterafvoercapaciteit wordt vergroot en kunstwerken zoals gemalen, sluizen en stuwen worden aangepast. De kustverdediging tegen hoog water wordt versterkt door meer zand op te spuiten (zandsuppleties) en de pompcapaciteit bij uitlaatpunten (bijvoorbeeld bij IJmuiden) wordt vergroot. Daarnaast worden vitale objecten en infrastructuur lokaal opgehoogd of afgedicht, en wordt de crisis- en herstelcapaciteit vergroot door betere waarschuwingen, noodreparaties, evacuatieplannen en verzekeringsconstructies.

Het Nederlandse beleid voor waterveiligheid kent het principe van meerlaagsveiligheid, waarbij niet alleen gekeken wordt naar *preventie*, maar ook naar *ruimtelijke adaptatie* (rekening houden met de kans op overstromingen bij ruimtelijke keuzes, zoals aangepast bouwen) en naar *crisisbeheersing* (het beperken van de gevolgen wanneer een overstroming toch optreedt). Na de overstroming in Limburg in 2021 is daar de basislaag *waterbewustzijn* aan toegevoegd, en een vijfde laag *herstel* (het

versnellen en verbeteren van het herstel erna). Bij een intensiverende adaptatierichting ligt de nadruk op preventie, en deels ook op crisisbeheersing en herstel (bijvoorbeeld via uitwerken verzekeringen), maar minder op ruimtelijke adaptatie.

Voor 2050 zal de adaptatierichting intensiveren tot een vergelijkbare bescherming leiden als bij alleen huidig beleid zeker met betrekking tot overstromingsrisico's vanuit de grote rivieren en de zee. Deze adaptatierichting verkleint de kans op overstromingen, en is relatief makkelijk uitvoerbaar en technisch beheersbaar omdat veel maatregelen aansluiten op bestaande processen en financieringsstromen. Intensiveren draagt zo bij aan een daling van de kans op economische schade en op slachtoffers. Richting 2100 en daarna kan intensiveren wel afwijken van alleen huidig beleid als het gaat om het verder beperken van extra overstromingsrisico's (door klimaatverandering en zeespiegelstijging). Hierbij kan het gaan om verder uitbouwen van bestaande maatregelen, maar ook om innovatieve methodes (zoals taaie dijken) die de faalkans van dijken verder reduceren. Hierbij worden de potentiële gevolgen (schades, slachtoffers) en kosten expliciet meegenomen (Deltares 2026b). Maatregelen worden geïmplementeerd, tenzij de kosten hoger worden dan de daarmee bereikte risicoreductie. Als gevolg zullen overstromingen en wateroverlast steeds minder vaak voorkomen, maar als het toch gebeurt zal de schade naar verwachting toenemen.

13.4 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren

Keuze voor transformeren: meer bescherming tegen onverwachte gebeurtenissen en meer baten voor andere doelen

In de adaptatierichting *transformeren* wordt er in waterveiligheidsbeleid en ruimtelijke ordening rekening gehouden met klimaatverandering: nieuwbouw en ander kwetsbaar landgebruik wordt gepland buiten gebieden met een hoog overstromingsrisico. En er wordt bij de bouw en inrichting van het gebied rekening mee gehouden, bijvoorbeeld door aanpassingen bij de bouw en door delen van polders vrij te laten voor waterberging. Ook wordt er meer ruimte gegeven aan rivieren, door bijvoorbeeld nevengeulen te maken, en overstromingsvlakken in te richten die piekafvoeren kunnen opvangen. Dat geldt ook voor het stedelijk gebied, waar wateropslag en water vasthouden meegenomen worden in ontwerp en inrichting, waardoor woningen minder kwetsbaar worden voor overstromingen. Bij dit alles wordt zoveel mogelijk gezocht naar meekoppelkansen: mogelijkheden om de aanpassingen te combineren met bijvoorbeeld natuur of recreatie.

In deze adaptatierichting worden kwetsbaar landgebruik en kwetsbare activiteiten dan ook vooral op plekken gedaan waar minder grote gevolgen van een eventuele overstroming of wateroverlast worden verwacht. Er wordt ook voor gezorgd dat het watersysteem en de gebieden voldoende veerkrachtig zijn: ingericht op onverwachte of onverwacht extreme gebeurtenissen. Transformeren is, in tegenstelling tot intensiveren, niet gericht op het verminderen van specifieke klimaatrisico's op specifieke locaties, maar op het creëren van veerkrachtige systemen. Met name voor de periode na 2050 gaat het om het verkleinen van risico's door breder te kijken naar het hele verloop van een hoogwater of extreme neerslaggebeurtenis, van voorspelling tot herstel, en waarbij systeemsamenhang centraal komt te staan (bijvoorbeeld tussen regionaal- en hoofdwatersysteem, tussen stormvloedkeringen en achterliggende dijken, tussen wateroverlast en watertekort). Hierdoor zal ook herstel sneller mogelijk is. Zo zal de potentiële schade (slachteroffers en financiële schade) van een overstroming of wateroverlast kunnen dalen door aanpassingen in de inrichting en eventueel

verplaatsen van activiteiten. De maatregelen van deze insteek vragen meer tijd, en er zal meer gevraagd worden van de maatschappij en de politiek: sectoren zullen zich moeten aanpassen en ook ruimtelijk beleid zal zich meer moeten richten op klimaatdreigingen.

De maatregelen in een transformatieve insteek zijn vaak grootschalig en vragen om keuzes over gebieden heen. Bijvoorbeeld grote gebieden reserveren om meer ruimte te bieden aan hoogwater, het toestaan van overlast in gebieden die minder kwetsbaar zijn, en waar actoren zich moeten aanpassen aan water op maaiveld of zich moeten verplaatsen. Daarvoor is niet alleen regie van de Rijksoverheid nodig maar ook een heldere communicatie zodat sectoren weten dat aanpassen op termijn nodig is: de overheid zorgt hier op termijn niet langer voor 'droge voeten'. Dit vraagt om een brede betrokkenheid vanuit vele (economische) sectoren. Daarnaast kan het verplaatsen van activiteiten met hoge kosten gepaard gaan. Dit alles kan leiden tot maatschappelijke en politieke weerstand, maar ook tot een gezamenlijke visie op een aantrekkelijk en duurzaam Nederland.

13.5 Conclusies

Combinatie van adaptatierichtingen nodig, en aandacht voor gedrag en handelen
Om Nederland te beschermen tegen overstromingen en wateroverlast is allereerst nodig dan in 2050 de huidige normen inderdaad gehaald worden. Verder is de verwachting dat een combinatie van intensiverende en transformatieve maatregelen het meest effectief zal zijn. Om Nederland te blijven beschermen tegen extra hoogwater en storm op zee, tegen meer frequente gevaren zoals overstromingen vanuit regionale wateren en tegen wateroverlast door extreme neerslag, zullen ook in de toekomst technische maatregelen nodig blijven. Tegelijkertijd is het verstandig om ook in te zetten op ruimtelijke maatregelen die zijn gericht op het verlagen van de kwetsbaarheid en het verhogen van veerkracht van een gebied. Hieronder valt ook verplaatsing van vitale functies naar gebieden met minder risico, en aanpassen aan wateroverlast. Vanuit het perspectief van meerlaagsveiligheid betekent dat inzetten op zowel preventie als ruimtelijke adaptatie, crisismanagement, herstel en bewustzijn, met andere woorden het beperken van de gevolgen wanneer een overstroming toch optreedt en het versnellen en verbeteren van het herstel erna.

Het meenemen van de lagen crisisbeheersing en herstel van meerlaagsveiligheid is een '*no-regret*-maatregel': ongeacht de gekozen oplossingen is het van belang dat overheden, bedrijven, maatschappelijke organisaties en burgers weten wat zij kunnen verwachten als het toch mis gaat, en welke acties zij moeten nemen. Dit vraagt om integrale samenwerking met de veiligheidsregio's en de crisisorganisaties van verschillende sectoren, en omvat duidelijke risicocommunicatie, lokale stresstesten, oefening en training van crisisorganisaties en gedragsadviezen. Daarbij is het belangrijk om ook oog te hebben voor maatregelen die vooraf genomen kunnen worden die het herstel bevorderen, zoals het aangepast bouwen van nieuwe vitale infrastructuur.

14 Gebouwde omgeving

- *De gebouwde omgeving blijft kwetsbaar voor hitte, wateroverlast, funderingsschade en bodemdaling; beide adaptatierichtingen (intensiveren en transformeren) verkleinen de risico's maar nemen ze niet volledig weg.*
- *Bij het huidige beleid kunnen de kosten van funderingsschade oplopen tot 60 miljard euro in 2050.*
- *Wateroverlast door extreme buien zorgt in 2050 voor meer problemen: De kans hierop blijft wel klein: eens in de honderd jaar, maar zo'n bui waar 70 millimeter in 2 uur kan vallen, kan lokaal jaarlijks ergens optreden.*
- *In meer woningen wordt warmte een probleem. Momenteel heeft ongeveer 35 procent van de meergezinswoningen al te maken met een binnenklimaat dat zeer oncomfortabel is tijdens warme periodes. Naar verwachting zal dit percentage zonder extra maatregelen in 2050 stijgen naar 41 tot 57 procent (afhankelijk van het klimaatscenario).*
- *Met de intensiveren-aanpak kunnen technische ingrepen aan gebouwen en omgeving (zonwering, zonwerend glas, ventilatie, grotere riolen, lokale berging, funderingsherstel) helpen bij de te verwachten weersextremen. Maar stenige wijken, en mensen met lage inkomens blijven hierbij relatief kwetsbaar. Daarbij dreigt ook zogenoemde maladaptatie; meer aircogebruik leidt tot meer energiegebruik waardoor het buiten nog warmer wordt. Ook kan het extra energiegebruik leiden tot overbelasting of falen van systemen.*
- *Bij transformeren wordt de inrichting van de gebouwde omgeving ingrijpender aangepakt, met groen-blauwe en andere ruimtelijke maatregelen: vergroening, vasthouden/infiltreren van water, toestaan van hogere grondwaterstanden, creëren van drijvende gebouwen. Hiermee worden structurele kwetsbaarheden verminderd, maar deze ingrepen vergen tijd, ander beleid en ingewikkelde keuzes.*
- *Het meeste effect heeft een combinatie van adaptatierichtingen: snelle technische* no-regret*-ingrepen in gebouwen en aan de omgeving, plus gebiedsgerichte transformatie en daarnaast sociale/financiële instrumenten om kwetsbare groepen te ondersteunen en de oude woningvoorraad aan te passen.*

Tabel 14.1
Risicotabel gebouwde omgeving (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Hitte	Impact groot, kans eens per 1 - 10 jaar	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks
Funderingsschade	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks
Wateroverlast*	Impact groot, kans jaarlijks	Impact groot, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks	Impact klein, kans jaarlijks

** 'Jaarlijks' betekent dat ergens in Nederland elk jaar lokaal een bui van 70 mm of meer in 2 uur kan vallen.*

Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op het achtergrondrapport van TNO: 'Klimaatrisico's voor de gebouwde omgeving: hittestress, funderingsschade en schade door acute wateroverlast door piekbuien' (TNO 2026a).

Tekstkader 14.1 Aanpak in het kort

Dit TNO-onderzoek is voornamelijk gebaseerd op literatuurstudie en modellering met externe datasets. Het onderzoek maakt gebruik van bodemdalingskaarten van TNO Geologische Dienst Nederland (TNO GDN), die toekomstige bodemdaling modelleert op basis van huidige grondwaterstanden, de samenstelling van de bodem en toekomstige klimaatscenario's.
Voor klimaatprojecties wordt gebruik gemaakt van de KNMI'23-klimaatscenario's, die voorspellingen doen over veranderingen in grondwaterstanden tot 2050 en 2100 onder verschillende scenario's (mild en sterk). De analyses worden ondersteund met data uit de Klimaateffectatlas (CAS 2025), waaruit kaartlagen worden onttrokken over waterdiepte bij piekbuien (gebaseerd op kaarten van Landelijk Informatiesysteem Water en Overstromingen (LIWO), KNMI-scenario's 2014), grondwaterstanden, en doorlaatbaarheid van de bodem.
Voor het in kaart brengen van de blootstelling wordt het CBS Bestand Bodemgebruik (BBG) uit 2017 gebruikt om de gebouwde omgeving te identificeren. Deze data zijn gecombineerd met de bodemdalingskaarten van TNO GDN. Voor de analyse van acute wateroverlast wordt gebruik gemaakt van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) uit 2012 en kaartlagen uit de Klimaateffectatlas die waterhoogte aan het oppervlak tonen bij buien van 70 en 140 millimeter per twee uur.
De sociaaleconomische analyse combineert CBS-data over Sociaaleconomische Status (SES) op buurtniveau met de kaarten over blootstelling aan klimaatrisico's. Daarnaast wordt de Basiskaart Natuurlijk Systeem Nederland Hoofdklasse gebruikt om doorlaatbaarheid van de bodem te classificeren. Het onderzoek wordt aangevuld met literatuur van Deltares en andere onderzoeksorganisaties voor risicokaarten funderingen en adaptatiemaatregelen.
De analyse van hittestress in de gebouwde omgeving is gebaseerd op de KNMI'23-klimaatscenario's, de uurlijkse temperatuurscenario's die de KNMI voor de gebouwde omgeving heeft ontwikkeld, en thermische gebouwsimulaties waarmee het effect op de binnentemperatuur voorspeld kan worden. Hierbij ligt de focus op de toenemende frequentie en intensiteit van hittegolven, waarbij zowel de hoge dagtemperaturen als de nachtelijke warmte van belang zijn.

14.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

De Nationale Omgevingsvisie (NOVI) is vooralsnog de langetermijnvisie van het Rijk op de ontwikkeling en inrichting van de leefomgeving in Nederland. Het behandelt aspecten van de gebouwde omgeving, waaronder klimaatadaptatie tegen de gevolgen van klimaatverandering zoals extreme weersomstandigheden. De nadruk ligt op waterbeheer, groene infrastructuur en stresstesten. De NOVI biedt een raamwerk voor integratie van duurzaamheids- en klimaatadaptatiemaatregelen in lokale en regionale plannen, met brede samenwerking tussen overheid, bedrijfsleven en burgers. Tot 2026 geldt de NOVI als beleid, waarna een nieuwe Nota Ruimte wordt verwacht.

De landelijke maatlat voor een groene, klimaatadaptieve gebouwde omgeving biedt praktische bouwstenen voor duurzame keuzes. Het kabinet-Schoof heeft in april 2025 te dure woninggebonden klimaatmaatregelen geschrapt. Het is nog afwachten of de vereenvoudiging van het 'besluit bouwwerken leefomgeving' om onnodige en kostbare bouweisen te schrappen dat het kabinet Jetten voor ogen heeft, bouwstenen uit de landelijke maatlat raakt.

Het huidige rijksbeleid is richtinggevend en niet verplichtend voor lokale overheden. Sturing op vergroening via de Omgevingswet is verkend, maar kent geen juridische verplichting. Voor nieuwe woningen is een verplichte toetsing opgenomen om bouwkundige en installatietechnische maatregelen tegen oververhitting te nemen. Voor bestaande woningen zijn geen wettelijke minimumeisen gepland; maatregelen zijn voor eigen verantwoordelijkheid.

Door klimaatverandering en waterbeheer toenemende risico's op paalrot en structurele schade aan de gebouwde omgeving

Funderingsschade is een complex en urgent vraagstuk binnen de gebouwde omgeving. Deze schade ontstaat door verschillende onderliggende processen, zoals bodemdaling – die wordt versterkt door droogte, waarbij de grond langzaam inzakt – en verschilzetting in de bodem, waarbij verschillende delen van een gebouw ongelijkmatig zakken. Dit kan leiden tot scheuren in muren, verzakkingen en uiteindelijk tot ernstige constructieproblemen. De oorzaken van deze schade zijn divers en hangen nauw samen met de bodemgesteldheid, het type fundering en de mate van grondwateronttrekking.

Door klimaatverandering neemt de fluctuatie in grondwaterstanden tussen droge en natte perioden toe. Dat heeft zowel gevolgen voor zowel op hout gefundeerde gebouwen (houten palen die droog komen te staan) als de 'op staal' gefundeerde gebouwen (gebouwen die gedragen worden op de bodem zoals die is, meestal met een gemetselde muur met daaronder een brede gemetselde voet of betonplaat), die onderhevig zijn aan bodembewegingen.

Door droogte en de dalende grondwaterstanden die ermee gepaard gaan, ontstaan er (in combinatie met het huidige waterbeheer dat nog vooral is gericht op lage grondwaterstanden) steeds meer funderingsproblemen aan gebouwen. De grootste risico's doen zich voor bij woningen van voor 1970 waarbij nog vaak houten heipalen werden gebruikt. Gebouwen die zijn gefundeerd op houten palen (zoals veel historische monumenten), zijn gevoelig voor veranderingen in de grondwaterstand. Wanneer deze palen droog komen te staan, rotten ze en verliezen ze hun draagkracht, wat leidt tot verzakkingen. Zuid-Holland, Zeeland, het noorden van Friesland en Groningen, en gebieden langs de grote rivieren kennen een groot risico op paalrot.

Gebouwen gefundeerd 'op staal' , kunnen worden beïnvloed door bodembewegingen. Dit komt vooral voor op klei als die ongelijkmatig krimpt omdat de grond droger wordt.

De huidige aanpak is vooral gericht op het herstellen van schade nadat deze is opgetreden, wat leidt tot hoge kosten en tijdelijke overlast voor bewoners (zie tabel 14.2)

Tabel 14.2
Beleid en maatregelen funderingsschade (bron: TNO 2026a)

Beleid	Adaptatiemaatregel	Domein	Verantwoordelijkheid
Grondwaterregulering	Belangenafweging grondwater	Technisch	Gemeenten, waterschappen
Grondwaterregulering	Peilvakken aanpassen	Technisch	Waterschappen en gemeenten
Klimaatadaptieve landbouw	Natte teelten (paludicultuur)	Technisch	Landbouwsector
Actief grondwaterpeilbeheer	DIT-riool	Technisch	Gemeente
Herstellen schade	Scheuren herstellen (ondiepe funderingen)	Technisch	Woningeigenaar

Herstellen schade	Grondinjecties (ondiepe funderingen)	Technisch	Woningeigenaar
Herstellen schade	Op palen funderen (ondiepe fundering)	Technisch	Woningeigenaar
Herstellen schade	Paalkopverlaging (diepe fundering)	Technisch	Woningeigenaar
Herstellen schade	Fundering compleet vervangen	Technisch	Woningeigenaar
Herstellen schade	Sloop en nieuwbouw van de woning	Technisch	Woningeigenaar
Handelingsperspectief	Fonds Duurzaam Funderingsherstel	Handelingsperspectief	Rijk, gemeenten, woningeigenaren
Meer bewustwording over funderingsschade	Participatiemogelijkheden creëren	Bewustwording	Gemeenten

Wanneer alleen het huidig beleid wordt voortgezet, is aangenomen dat de funderingsproblematiek verder gaat zoals die tot nu toe is waargenomen. Hierbij speelt bodemdaling een belangrijke rol, vooral in gebieden met veen- en kleigronden. Door het inklinken van deze bodems door onder andere het onttrekken van grondwater, bijvoorbeeld voor landbouw of drinkwaterwinning, zakt de bodem langzaam maar gestaag. Dit proces veroorzaakt niet alleen schade aan individuele gebouwen, maar heeft ook bredere maatschappelijke en economische gevolgen. Op dit moment hebben ongeveer 425.000 gebouwen (6 procent van alle gebouwen) te maken met omvangrijke funderingsproblemen (Rli 2024a). Rond 20 procent van deze woningen met ernstige problemen staat in steden en wijken waar mensen met lage inkomens wonen (Bani et al. 2024). De schade kan zich uiten in scheuren in muren en vochtproblemen, en zo leiden tot onveilige woonsituaties en herstelkosten die oplopen tot meer dan 100.000 euro per woning. Voor heel Nederland worden de kosten geschat op tientallen miljoenen euro's per jaar.

De kosten om funderingsschade te herstellen, komen voor rekening van de huiseigenaren. Niet alle eigenaren die funderingsproblemen zullen ervaren, hebben echter voldoende financiële middelen om hun huis veilig te houden (Rli 2024a), en deze funderingsschade is niet (standaard) meeverzekerd in een opstalverzekering. Huiseigenaren kunnen in heel Nederland wel een maatwerklening afsluiten bij urgent funderingsherstel en onvoldoende inkomen (Fonds Duurzaam Funderingsherstel 2025).

Groeiende kans op schade en gezondheidsproblemen in de gebouwde omgeving door intensievere piekbuien en beperkte afvoercapaciteit

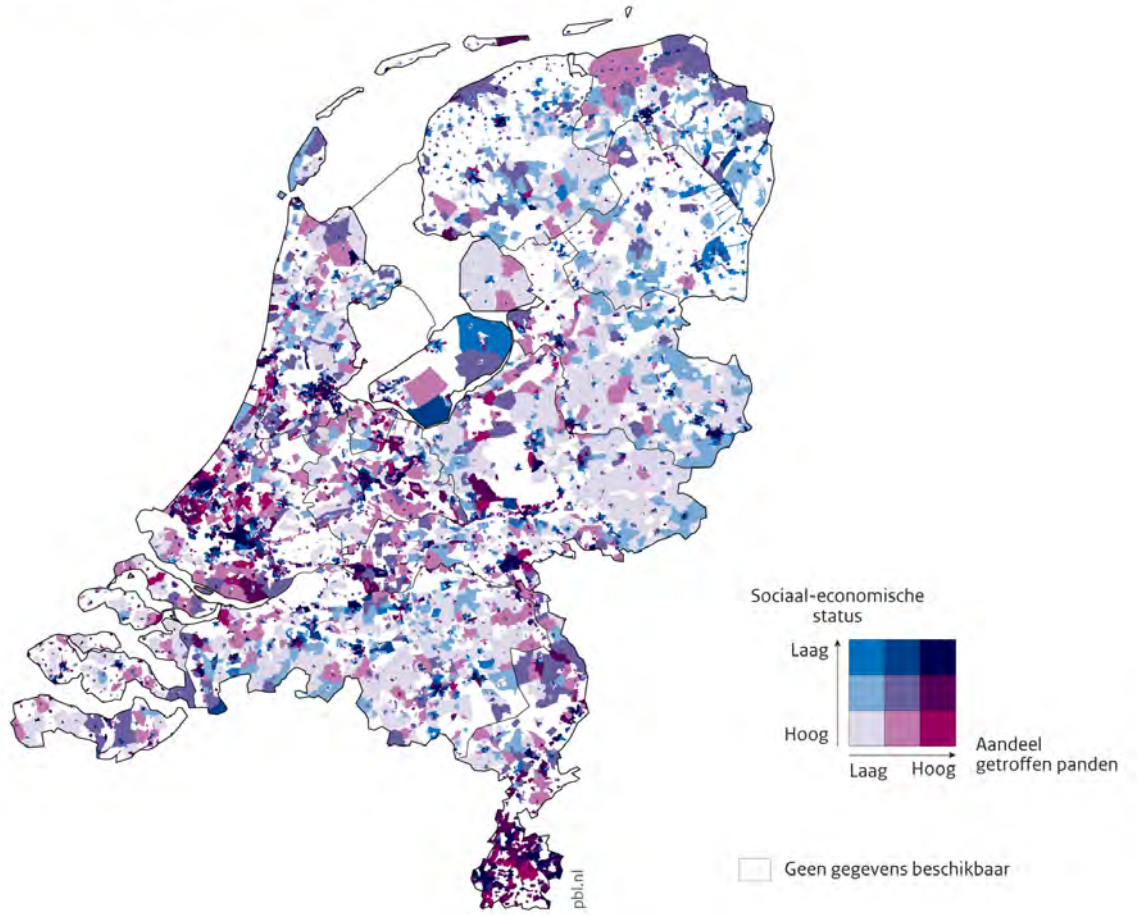
Acute wateroverlast door hevige piekbuien is een groeiend probleem in Nederland, waarbij de intensiteit en frequentie van deze buien naar verwachting zullen toenemen door klimaatverandering. Een pand wordt als getroffen beschouwd wanneer er binnen een straal van twee meter rondom het gebouw een waterdiepte van 20 centimeter of meer ontstaat (HKV lijn in water, TAUW & Defacto stedenbouw 2023). Hoewel de ruimtelijke spreiding van piekbuien over Nederland weinig varieert, is er wel een ruimtelijke variatie in de impact van piekbuien. De acute wateroverlast is vooral een risico in regio's zoals Zuid-Limburg, de Randstad en andere sterk verstedelijkte gebieden

De huidige rioleringssystemen zijn vaak ontworpen om relatief beperkte hoeveelheden neerslag te verwerken, bijvoorbeeld 10 millimeter opvang en 20 millimeter afvoer per uur. Bij hevige piekbuien raakt deze capaciteit snel overbelast, wat leidt tot water dat op straat blijft staan en mogelijk gebouwen binnendringt. Dit veroorzaakt niet alleen materiële schade, maar ook gezondheidsrisico's, zoals schimmelvorming in woningen door vochtophoping (Platform voor duurzame financiering 2023). Bewoners in kwetsbare wijken, vaak met een lagere sociaaleconomische positie, lopen een groter risico en hebben minder middelen om zich te beschermen of schade te herstellen (zie figuur 14.1).

In het huidig beleid wordt al ingezet op meer technische maatregelen, zoals het vergroten van de afvoercapaciteit van de riolering naar meer ruimtelijke maatregelen. De aanpak is echter vaak nog fragmentarisch en onvoldoende om de toenemende wateroverlast structureel te beheersen.

Figuur 14.1

Sociale kwetsbaarheid voor piekbuien per buurt, 2024



Bron: TNO

Toenemende gezondheidsrisico's voor kwetsbare groepen door het hitte-eilandeffect in de gebouwde omgeving en gebrekkige koeling in woningen

Hittegolven gaan vaker voorkomen en worden nog heter. Bij een sterke klimaatverandering kan één hittegolf de hele zomer beslaan. Hete dagen zullen in Zuidoost-Nederland vaker voorkomen en extremer zijn dan aan de kust (zie hoofdstuk 2). De opwarming is sterker in steden dan in het

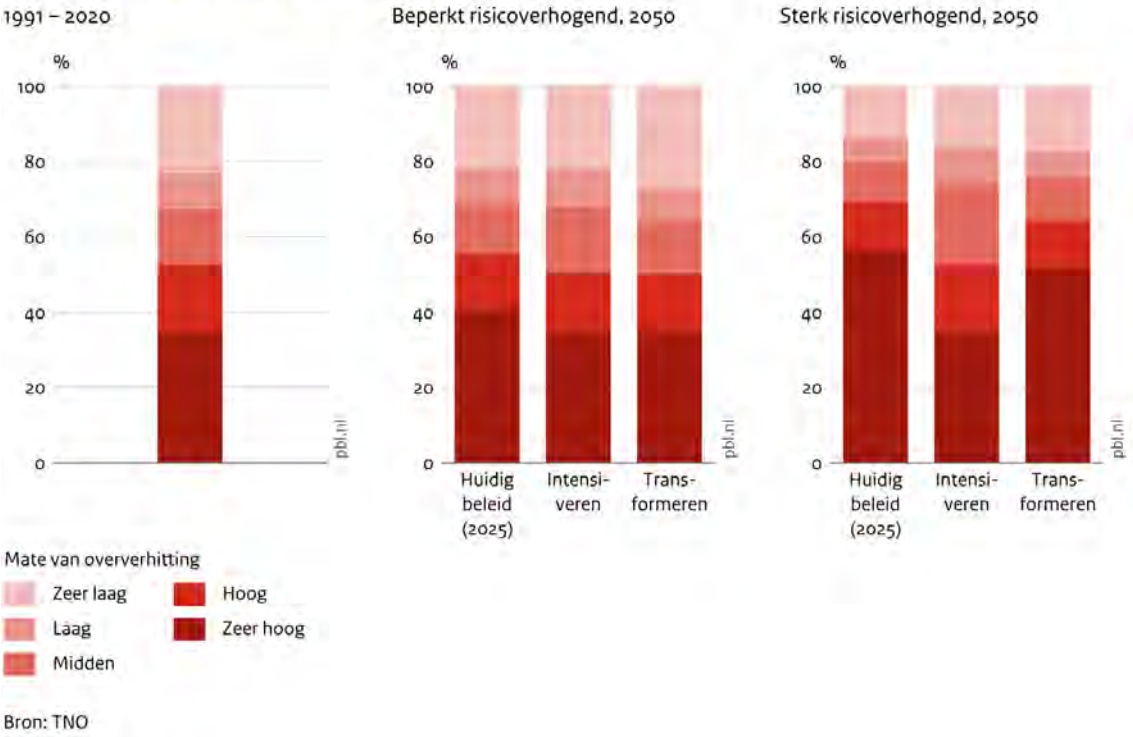
omliggende platteland, vanwege het hitte-eilandeffect; een temperatuur in de stad van 50°C of meer is in 2100, bij een sterke klimaatverandering, niet uit te sluiten.

Hittestress wordt beïnvloed door verschillende factoren, zoals de mate van zontoetreding in gebouwen, de mogelijkheden voor natuurlijke ventilatie, het stedelijk hitte-eilandeffect en regionale verschillen in klimaat. Zo ervaren stedelijke gebieden door het hitte-eilandeffect, veroorzaakt door verstening en een gebrek aan verdamping door weinig aanwezig groen en water, vaak hogere temperaturen, vooral 's nachts, doordat bebouwing en verharding warmte vasthouden en minder verkoeling mogelijk is.

In het scenario waarin het huidig beleid wordt doorgetrokken, is de aanpak van hittestress fragmentarisch en vooral richtinggevend, zonder bindende verplichtingen voor bestaande woningen. Dit betekent dat veel woningen onvoldoende bescherming bieden tegen oververhitting. Momenteel heeft ongeveer 35 procent van de meergezinswoningen zoals appartementen, al te maken met een binnenklimaat dat zeer oncomfortabel is tijdens warme periodes. Naar verwachting zal dit percentage in 2050 stijgen naar tussen de 41 en 57 procent, afhankelijk van het klimaatscenario (zie figuur 14.2). Kwetsbare groepen, zoals ouderen, chronisch zieken en mensen met een lage sociaaleconomische positie, lopen hierbij een hoger risico omdat zij vaak minder mogelijkheden hebben om zich tegen hitte te beschermen. Binnen de groep sociaaleconomische kwetsbaren bevinden zich ook relatief veel huurders die afhankelijk zijn van gebouweigenaren voor adaptatiemaatregelen aan hun woning. Omdat er in het huidige beleid geen rijkssubsidies of minimale verplichtingen zijn opgenomen zullen deze maatregelen slechts in beperkte mate worden uitgevoerd door woningbouwcorporaties en private verhuurders. Huurders zullen daardoor meer gebruik gaan maken van maatregelen die zij zelf makkelijk kunnen plaatsen, zoals mobiele airconditioners.

Figuur 14.2

Oververhitting in meergezinswoningen



Bron: TNO

14.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren

Intensivering van funderingsaanpak: door versneld herstel en sociale steun de impact van schade beperken

Intensiveren is gericht op het versterken van bestaande maatregelen en het versnellen van herstelwerkzaamheden. Hierbij wordt meer geïnvesteerd in monitoring en inspectie van funderingen, zodat problemen vroegtijdig worden gesignaleerd. Ook worden er extra middelen vrijgemaakt voor het herstellen van schade en het verbeteren van de infrastructuur om verdere verzakkingen te voorkomen. Door deze intensivering van maatregelen kan de schade aan gebouwen en de overlast voor bewoners worden verminderd, maar de onderliggende oorzaken van bodemdaling en verschilzetting worden niet volledig weggenomen.
Er kan voor worden gekozen om (kwetsbare) bewoners die te maken krijgen met funderingsproblemen te ondersteunen. Dit kan door het bieden van financiële hulp, het organiseren van voorlichting en het betrekken van bewoners bij besluitvorming.

Intensivering wateraanpak: door technische uitbreiding schade beperken zonder de onderliggende oorzaken op te lossen

Om de wateroverlast te beperken wordt ingezet op het vergroten van de capaciteit van de riolering en het aanleggen van extra technische waterbergingen. Deze maatregelen zijn echter kostbaar en leveren relatief weinig op. Bij extreme neerslag, zoals buien waarin 70 millimeter of meer in twee uur valt blijft het risico op wateroverlast en schade bestaan. Daarnaast bestaat het gevaar van een vals gevoel van veiligheid, waarbij bewoners denken dat de maatregelen voldoende bescherming bieden, terwijl de infrastructuur bij uitzonderlijke gebeurtenissen alsnog faalt. Ook zijn technische ingrepen vaak kostbaar en complex om op grote schaal uit te voeren, wat de haalbaarheid beperkt.

Net als bij funderingsschade wordt voor wateroverlast de monitoring en inspectie verbeterd, zodat problemen sneller worden gesignaleerd en aangepakt. En ook hier is aandacht voor het ondersteunen van bewoners, bijvoorbeeld door financiële hulp en voorlichting. Het intensiveringsscenario leunt met betrekking tot wateroverlast vooral op een reactieve benadering die vooral de schade beperkt en het herstel versnelt, zonder de onderliggende oorzaken van wateroverlast fundamenteel aan te pakken.

Intensivering hitteaanpak: door technische woningaanpassingen binnentemperaturen beheersen zonder de buitenruimte te verkoelen

Met technische maatregelen wordt geprobeerd de hitte in bestaande gebouwen te beperken. Hierbij gaat het om bijvoorbeeld buiten- en binnenzonwering en zonwerend glas, het verbeteren van ventilatiemogelijkheden met bijvoorbeeld zomernachtventilatieluiken en horren, en het aanleggen van groene gevels en daken. Door op zeer grote schaal dit soort technische maatregelen uit te voeren kan de mate van oververhitting in woningen gelijk worden gehouden aan het huidige niveau van 35 procent van de meergezinswoningen dat te maken heeft een met een zeer oncomfortabel binnenklimaat tijdens warme periodes (zie figuur 14.3).

Deze technische oplossingen kunnen zeer gericht worden toegepast op woningen met de grootste oververhittingsrisico's en daarmee bescherming bieden aan kwetsbare groepen. Bij de woningen waar de grootste oververhitting optreedt kunnen technische aanpassingen een groter effect hebben op het binnenklimaat dan een verlaging van het stedelijk hitte-eilandeffect in de wijk als geheel. Sociaaleconomisch kwetsbare groepen kunnen echter veelal de benodigde investeringen niet

zelf dragen. En huurders zijn voor de meeste technische aanpassingen afhankelijk van woningcorporaties en private verhuurders. Met betrekking tot bestaande woningen zijn maatregelen nodig zoals het opnemen van deze aanpassingen in de ISDE-subsidie, het uitbreiden en ondersteunen van gemeentelijke subsidies voor zonwerende maatregelen of het invoeren van een wettelijke minimumeis voor het binnenklimaat.

De maatregelen in intensiveren zijn vooral op woningen gericht en helpen niet om het stedelijk hitte-eilandeffect te verminderen. Hierdoor blijft de blootstelling aan hitte in de buitenruimte in stedelijke gebieden bestaan, vooral in dichtbebouwde wijken met weinig groen.

14.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren

Transformatie funderingsaanpak: door integraal waterbeheer en innovatieve bouwtechnieken schade voorkomen in plaats van herstellen

Met 'transformeren' wordt ingezet op een fundamentele verandering in de aanpak van funderingsschade. Hierbij ligt de focus op het voorkomen van schade door het aanpassen van het waterbeheer en het verbeteren van de bodemcondities. Dit kan bijvoorbeeld door het verhogen van de grondwaterstand in veengebieden, waardoor het inklinken van de bodem wordt beperkt. Ook wordt er gekeken naar innovatieve funderingstechnieken die beter bestand zijn tegen bodembewegingen, zoals het gebruik van duurzame materialen en flexibele constructies. Daarnaast speelt het ruimtelijk beleid een belangrijke rol, waarbij nieuwe bouwprojecten worden gepland op locaties met minder risico op de gevolgen van bodemdaling, zoals schade aan de infrastructuur, kabels en leidingen en het verzakken van tuinen. Een ruimtelijke analyse laat zien dat een transformatieve insteek in de gebouwde omgeving kan zorgen voor een significante daling van de potentiële overstromingsschade en van wateroverlast, waarbij er diverse afwegingen en keuzes mogelijk zijn (zie paragraaf 14.3.1).

Transformeren vraagt om een gelijktijdige aanpak van meerdere opgaven waarbij deze opgaven in samenhang worden beschouwd. Ruimtelijke inrichting, waterbeheer, en innovatieve bouwtechnieken liggen samen op de tekentafel. Dit vergt niet alleen technische innovaties, maar ook beleidsmatige veranderingen en bewustwording bij bewoners en stakeholders. Door deze proactieve benadering kunnen de maatschappelijke kosten op de lange termijn worden beperkt en wordt de leefbaarheid in kwetsbare gebieden verbeterd.

14.3.1 Intermezzo: ruimtelijke uitwerking van verstedelijking bij 'water en bodem sturend'

Deze paragraaf is gebaseerd op het achtergrondrapport 'Integrale ruimtelijke uitwerking transformatieve verstedelijking' van Deltares (2026f).

Water en bodem sturend

In de adaptatierichting transformeren is uitgegaan van 'water en bodem sturend', een principe dat november 2022 door het toenmalig kabinet werd geïntroduceerd als leidend beginsel voor de ruimtelijke inrichting van Nederland. In een analyse met het model Ruimtescanner is dit principe uitgewerkt voor de gebouwde omgeving. Aanvullend op het huidig beleid zijn in de Ruimtescanner

strikte restricties opgelegd waar het 'te gevaarlijk' (overstroombaar) of 'te nat' (potentieel hoge grondwaterstanden) is, of waar bodems 'te slap' zijn omdat de ondergrond bestaat uit veen of klei (Deltares, BoschSlabbers & Sweco 2021). Daarnaast wordt in bestaand stedelijk gebied de nieuwbouw op groene plekken beperkt. Hiermee wordt ruimte voor onder andere waterberging gecreëerd, bijvoorbeeld via wadi's. Ook de nieuwbouw op uitleglocaties wordt in deze adaptatierichting groener ingericht, met minder harde oppervlakten, groene daken, en holle of half verharde wegen (tabel 14.2).

Tabel 14.2
Aangenomen maatregelen voor waterberging om wateroverlast te verminderen

		Scenario huidig beleid 2050	Transformeren 2050
Nieuwbouw	Percentage verhard openbaar terrein	10%	7,5%
	Percentage verhard publiek terrein dat 'half verhard' wordt aangelegd	10%	80%
	Percentage verharde privé tuinen die 'half verhard' worden aangelegd	5%	30%
	Percentage publiek gras dat als wadi wordt ingericht	10%	80%
	Percentage gras in privé tuinen dat als wadi wordt ingericht	5%	30%
	Percentage panden met groen dak	30%	95%
Bestaande bouw	Percentage panden met groen dak in 2050	25%	80%
	Percentage verhard publiek terrein dat 'half verhard' is in 2050	1%	80%
	Percentage holle lokale wegen in 2050	1%	30%
Bestaand groen	Percentage publiek gras dat als wadi is ingericht in 2050	1%	80%

Met het ruimtelijk model 'Ruimtescanner' (Koomen, E., Rijken, B., & Claassens, J. (2024)) worden de maatregelen en hun mogelijke effecten letterlijk in kaart gebracht. Dit model wijst de regionale groei van, in dit geval woningen en banen, op basis van de beschikbaarheid en geschiktheid toe aan specifieke locaties.

Adaptatierichting transformeren variant 1

Zoals te verwachten laat de adaptatierichting transformeren ten opzichte van het scenario onder bestaand beleid beduidend minder nieuwbouw zien op 'lage' en 'natte' plekken en te slappe bodems, zie 'Trans 1' in tabel 14.3. Bij inbreiding wordt het bestaand stedelijk groen grotendeels gespaard. Bij uitbreidingslocaties worden lage, natte en slappe locaties gemeden. . De effecten op potentiële overstromingsschade en de restvraag voor waterberging om wateroverlast te beperken liggen hiermee respectievelijk 65 en 50 procent lager dan in het scenario onder huidig beleid.
De adaptatierichting transformeren heeft ook neveneffecten. Zo is de aansluiting op regionale woonvoorkeuren lager: meer dan 10 procent van de woningvraag wordt gerealiseerd in aangrenzende woningmarktregio, dus buiten de woningmarktregio die de voorkeur van woningzoekenden heeft. Bij het huidig beleid is dat 3 procent . Ook vindt er 70 procent meer verstedelijking plaats op vruchtbare landbouwgronden.

Adaptatierichting transformeren variant 2

De ruimtelijke analyse laat met een tweede variant (Trans 2 in tabel 14.3) zien dat de genoemde baten van transformeren ook gerealiseerd kunnen worden met beduidend kleinere neveneffecten. Door nieuwbouw in hogere dichtheden te realiseren (meer woningen en banen per hectare), waarbij nog steeds wel wordt voldaan aan een klimaatbestendige inrichting zoals beschreven in tabel 14.2, worden genoemde neveneffecten grotendeels vermeden. De aansluiting op de regionale woningvraag neemt dus toe. Ook wordt in een aantal regio's voldaan aan de relatief grotere vraag naar (hoog)stedelijke woonmilieus die gebaat zijn bij hogere dichtheden. De verstedelijking op vruchtbare landbouwgrond is aanzienlijk lager (2 procent) dan in variant 1. De waterbergingscapaciteit en de overstromingsschade blijven vrijwel gelijk ten opzichte van variant 1 en scoren dus nog altijd gunstig ten opzichte van het scenario onder bestaand beleid.

Tabel 14.3
Transformeren t.o.v. ontwikkelingen onder huidig beleid, 2050

	Trans 1	Trans 2
Restvraag waterberging	-49%	-49%
Overstromingsschade	-66%	-67%
Nieuwbouw op vruchtbare landbouwgronden	+69%	+2%
Gemiddeld aantal woningen per hectare	-8%	+18%

Conclusie

Door water en bodem meer sturend te laten zijn in de locatiekeuze en inrichting van nieuwbouwlocaties kan een significante daling van potentiële overstromingsschade en wateroverlast worden gerealiseerd. De varianten laten zien dat dit ten koste kan gaan van ófwel regionale woonvoorkeuren ófwel de beschikbare (buiten)ruimte per woning. Ook binnen de adaptatierichting transformeren zijn er dus nog afwegingen en keuzes te maken.

14.3.2 Effect van transformeren bij andere risico's

Transformatie wateroverlastaanpak: door groen-blauwe inrichting en vasthouden van water piekbelasting verlagen en de gebouwde omgeving klimaatbestendig maken

Transformeren is gericht op een fundamentele verandering in de aanpak van wateroverlast. Hierbij wordt ingezet op het creëren van een groen-blauwe infrastructuur die water vasthoudt en infiltreert in plaats van het snel af te voeren. Voorbeelden hiervan zijn groene daken, wadi's (verlaagde groenstroken die water kunnen bergen), waterpleinen en het ontharden van straten. Door het verminderen van verhard oppervlak en het vergroten van de infiltratiecapaciteit kan het regenwater beter worden opgevangen en vertraagd afgevoerd, waardoor de piekbelasting op het rioolstelsel aanzienlijk afneemt.

Deze natuurlijke bergingsmethoden zorgen niet alleen voor een grote reductie van wateroverlast, maar dragen ook bij aan een aangenamere leefomgeving met meer groen en biodiversiteit. Deze transformatie kan echter ook negatieve gevolgen hebben, zoals een grotere kans op allergieën door meer groen.

Bij deze aanpak stimuleert het beleid daarnaast het vasthouden van water in de bodem en het verhogen van de grondwaterstand waar mogelijk, wat ook gunstig is voor de bodemkwaliteit en het

tegengaan van bodemdaling. Nieuwbouwprojecten worden bij voorkeur gepland op locaties met een lager risico op wateroverlast, en bestaande stedelijke gebieden worden klimaatbestendig ingericht met een minimumpercentage groen en blauw in de directe leefomgeving.

De transitie naar deze duurzame aanpak vraagt om samenwerking tussen verschillende overheidslagen, waterschappen, gemeenten en bewoners. Het vraagt ook om bewustwording en het creëren van draagvlak, omdat het succes van groen-blauwe maatregelen mede afhangt van participatie en investeringen op zowel publiek als privaat terrein. In het Nationaal Water Programma benadrukt de Rijksoverheid dat het belangrijk is om bij ruimtelijke inrichting rekening te houden met water en bodem, en dat het accepteren van een restrisico onderdeel is van een realistische en veerkrachtige aanpak (Nationaal Water Programma 2022-2027).

Transformatie hitteaanpak: door grootschalige vergroening en ruimtelijke ingrepen de omgeving structureel verkoelen en hitteblootstelling verlagen

Transformeren is gericht op grootschalige ruimtelijke en gebouwgebonden maatregelen die het stedelijk hitte-eilandeffect substantieel verminderen. Dit omvat het vergroten van het groene stedelijk oppervlak door meer bomen, parken en groene gevels, het verlagen van de stedelijke dichtheid en het verhogen van het terugkaatsingsvermogen van stedelijke oppervlakken door het toepassen van witte daken en lichte bestrating. Door deze combinatie van buitenruimte- en gebouwmaatregelen ontstaat een structurele verkoeling van de leefomgeving tijdens perioden van hitte, met positieve effecten op de biodiversiteit en de gezondheid van bewoners.

Deze aanpak vermindert het stedelijk hitte-eilandeffect en verlaagt de blootstelling aan hitte in de buitenruimte en in de woning. Het aantal woningen dat is blootgesteld aan hitte kan aanzienlijk worden teruggedrongen. Deze aanpak is echter niet toereikend om oververhitting van alle woningen te voorkomen. Bomen zorgen met name voor schaduw van woningen op de begane grond en de eerste verdieping. Voor het effectief beperken van zontoetreding op ramen op de derde verdieping is een aanzienlijk grote, volwassen boom noodzakelijk. Het planten van bomen levert daarmee wel een duidelijke verbetering van het buitenklimaat op, maar bij woningen waar sprake is van structurele oververhitting door overmatige zontoetreding of beperkte mogelijkheden voor ventilatie zijn aanvullende technische maatregelen noodzakelijk.

Sociaaleconomische omstandigheden en klimaatkwetsbaarheid

Sociaaleconomische verschillen spelen een cruciale rol in de mate van kwetsbaarheid voor klimaatgerelateerde schade en gezondheidsproblemen in de gebouwde omgeving. Sociale kwetsbaarheid is vooral geconcentreerd in grote steden zoals Amsterdam, Rotterdam, Den Haag, Utrecht, Groningen en Nijmegen, maar ook in perifere gebieden zoals Oost-Drenthe, Zuidoost-Groningen en Zuid-Limburg. De inwoners hier zijn gemiddeld minder welvarend, hebben een lager opleidingsniveau en zijn minder vaak langdurig aan het werk. Dit vergroot hun risico op negatieve gevolgen van klimaatverandering omdat zij over minder capaciteit beschikken om de schade te herstellen bij een klimaatgebeurtenis, zoals funderingsschade, wateroverlast en hittestress.

Sociaaleconomische ongelijkheid beïnvloedt daarmee direct de mogelijkheid tot aanpassing en bescherming tegen klimaatrisico's. Terwijl welvarendere bewoners vaak de financiële buffer hebben om preventieve maatregelen te nemen, zoals funderingsherstel of het aanleggen van waterwerende voorzieningen zoals waterdichte randen aan de gevels, zijn kwetsbare groepen hier minder toe in staat. Dit kan leiden tot een vergroting van bestaande ongelijkheden. Dit vraagt om een

gerichte beleidsaanpak die differentieert naar sociaaleconomische groepen, zodat de meest kwetsbaren niet buiten de boot vallen.

14.4 Conclusies

Zowel de intensiverings- als de transformatie adaptatierichting bieden oplossingen voor de klimaatrisico's van hitte, wateroverlast en funderingsschade, maar met verschillende accenten en resultaten. Beide oplossingen vergen substantiële investeringen, maar van verschillende actoren. Gebouwgebonden maatregelen die bij de intensivering horen, vragen vooral investeringen van eigenaren, woningcorporaties en private verhuurders, terwijl gebiedsmaatregelen (transformatie) primair bij overheden liggen. De effectiviteit en rechtvaardigheid van maatregelen hangt sterk samen met wie investeert, waar wordt ingegrepen en welke doelgroepen daarvan profiteren. Voor hittestress zijn collectiviteit en schaal hierbij cruciaal: gebiedsmaatregelen kunnen positieve *spill-over*-effecten hebben, zoals meer groen. Meer groen geeft mogelijkheden voor recreatie, en komt biodiversiteit en gezondheid ten goede, terwijl het effect van gebouwmaatregelen is beperkt tot de woning waar ze worden toegepast. Gebouwmaatregelen kunnen daarentegen juist een groot effect hebben en zeer gericht worden toegepast om de meest kwetsbare bewoners te beschermen. Maatregelen tegen hitte werken het best wanneer ze niet alleen op individueel niveau, maar in samenhang op wijk- of stedelijk niveau worden ontworpen en uitgevoerd.

De keuze tussen of de combinatie van beide bepaalt wie wordt beschermd en wie kwetsbaar blijft. Aandacht voor de verdeling van de kosten en de baten, financiële instrumenten en ondersteuning van het adaptief vermogen van mensen is essentieel om te voorkomen dat klimaatadaptatie de kloof tussen minder kwetsbaren en kwetsbaren vergroot.

15 Drinkwatervoorziening

- *Droogte zal in 2050 de grootste risico's opleveren voor de drinkwatervoorziening, door lage grondwaterstanden, lage rivierafvoeren, en daaraan gekoppeld een slechtere waterkwaliteit. Tegelijkertijd neemt door bevolkingsgroei de drinkwatervraag toe. Als er niet op tijd nieuwe bronnen gerealiseerd worden, kan een tekort aan drinkwater in de toekomst een knelpunt zijn voor nieuwe woningen en nieuwe bedrijven.*
- *Door de grotere toekomstige drinkwatervraag zal de drinkwaterwinning uit grondwater toenemen, waardoor de druk op het watersysteem toeneemt, wat in droge periodes kan leiden tot een mogelijk tekort aan water voor natuur en landbouw.*
- *Bij een technische insteek (intensiveren) om de drinkwatervoorziening te waarborgen wordt ingezet op meer geavanceerde zuiveringstechnologie en het uitbreiden van reserves. Hierbij worden huishoudens en industrie gestimuleerd om drinkwater te besparen, maar het is niet verplicht. Bij deze aanpak blijft het nodig om nieuwe bronnen te ontwikkelen, met als resultaat hogere kosten en meer spanning met andere watervragende functies zoals natuur en landbouw.*
- *Bij transformeren wordt drinkwaterbesparing verplicht, bijvoorbeeld door het verplicht hergebruik van douchewater, en het gebruik van regenwater voor buitenkraan en toilet. Ook worden natuurlijke watersystemen hersteld, waardoor grondwaterwinningen minder impact hebben op de omgeving en er minder innamestops nodig zijn bij oppervlaktewinningen. In bekkens en in de duinen wordt meer water geborgen, als buffer voor droge perioden.*
- *Winning van drinkwater kan ook leiden tot schade aan de natuur, bij het inwinnen van water in en rond natuurgebieden. Bij transformeren neemt de schade aan natuur in 2050 af, en de schade die resteert zal kleinschaliger zijn en meestal omkeerbaar. Mogelijk loopt bij sterke klimaatverandering de schade bij transformeren na 2050 alsnog verder op (zie tabel 15.1).*

Tabel 15.1
Grootte van risico's voor de drinkwatervoorziening, in 2050 bij sterke klimaatverandering en voortzetting huidig beleid (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Schade aan natuur door drinkwaterwinning	Impact klein, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact midden, kans jaarlijks	Impact midden, kans jaarlijks	Impact klein, kans jaarlijks

Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op 'Scenariostudie naar toekomstige klimaatrisico's voor de drinkwatervoorziening - Toekomstige drinkwatervraag, opwarming drinkwater, lage grondwaterstanden en verslechterde oppervlaktewaterkwaliteit in 2050 en 2100" (RIVM 2026).

Tekstkader 15.1 Analyse in het kort
Dit onderzoek is opgebouwd uit een aantal onderdelen. Bij aanvang van het onderzoek zijn uit alle mogelijke klimaatrisico's, de meest relevante risico's voor de drinkwatervoorziening bepaald. Deze kernrisico's zijn in het bijzonder relevant omdat de kans op voorkomen van het risico groot is alsook de gevoeligheid hiervoor van de Nederlandse samenleving en ecosystemen. De risico's zijn verwerkt en weergegeven in een DPSIR-schema (DPSIR staat voor drivers, pressures, states, impacts, effects en responses).

Eerst zijn alle bekende risico's voor de drinkwatervoorziening verkend middels een literatuurstudie. Risico's zijn uitgesplitst naar de thema's grondwaterafhankelijk drinkwater, oppervlaktewaterafhankelijk drinkwater en het distributienet. Vervolgens zijn de risico's middels een enquête beoordeeld op impact en waarschijnlijkheid, door drinkwaterexperts van drinkwaterbedrijven, provincies, Rijkswaterstaat, het ministerie van IenW en kennisinstituten. Voor elk thema is zo één kernrisico bepaald.

De kernrisico's zijn voor verschillende toekomstscenario's en adaptatiestrategieën uitgewerkt en besproken in expertbijeenkomsten om de mogelijke omvang van de eindimpacts en de waarschijnlijkheid hiervan in te schatten. In de expertbijeenkomsten is gebruik gemaakt van het zogenoemde IDEA-protocol: een afkorting van de Engelse woorden Investigate (onderzoek), Discuss (bediscussieer), Estimate (inschatten) en Aggregate (samenvoegen).

15.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Toename drinkwaterwinning uit grondwater draagt bij aan tekort aan water voor natuur en landbouw

Drinkwaterbedrijven winnen 60 procent uit grondwater en 40 procent uit oppervlaktewater. Omdat drinkwaterbedrijven wettelijk verplicht zijn om altijd drinkwater te leveren, heeft droogte nog niet geleid tot beperking van de drinkwatervoorziening. Dit komt ook omdat er voor de drinkwatervoorziening bufferfaciliteiten zijn, hoewel hier tot nu toe bijna nooit gebruik van gemaakt hoeft te worden. Aan het gebruik van de buffervoorzieningen zitten vaak wel nadelen. In de duinen bijvoorbeeld kan het stoppen met infiltreren leiden tot natuurschade en bij langdurende stops kan de zoetwaterbel gedeeltelijk verzilten. Onderbreking van één dag kan al gevolgen hebben voor broedvogels, met name in zomer en voorjaar (RIVM 2013).

Bij een sterke klimaatverandering en zonder extra maatregelen zullen, door meer droogte en een grotere vraag door bevolkingsgroei, de onttrekkingen van grondwater voor drinkwater toenemen, met meer schade aan natuur en voor de landbouw. Ook zal in droge perioden de beschikbaarheid van oppervlaktewater van de juiste kwaliteit en met de juiste temperatuur afnemen. Toenemende droogte, in combinatie met een verhoogde drinkwatervraag, kan ervoor zorgen dat de drinkwatervoorziening onder druk komt te staan. Dit komt vooral omdat de winningsvergunningen geen ruimte geven om meer water te winnen, vanwege de effecten ervan op de omgeving, vooral op natuur. Dat betekent dat voor grootschalige nieuwbouwplannen aansluiting op het drinkwaternet niet altijd kan worden gegarandeerd.

Voor drinkwater wordt in het huidige beleid ingezet op de beperking van het gebruik van drinkwater door huishoudens en industrie. Het huishoudelijk verbruik is ongeveer 75 procent van de totale drinkwatervraag. De maatregelen voor huishoudens sturen op gedragsverandering door bewustwording van drinkwaterschaarste (Nationaal Plan van Aanpak Drinkwaterbesparing, IenW 2024b). Omdat de maatregelen vrijblijvend zijn, en veel van de maatregelen ook nog in de onderzoeksfase zitten, is de verwachting dat de besparing in 2050 beperkt blijft tot ongeveer 2 liter per persoon per dag ten opzichte van het huidige gebruik van circa 120-130 liter (Baggelaar et al. 2022; Algemene Rekenkamer 2025). In de industrie wordt ingezet op waterbesparing door onder andere het onderling delen van kennis rondom waterbesparing, en het overzetten van industriële klanten op een andere kwaliteit water. De industrie heeft zelf doelen opgesteld om het drinkwatergebruik te

verminderen met 20 procent. Op het gebied van drinkwaterbronnen is het beleid vooral gericht op het (faciliteren van) het uitbreiden van drinkwaterbronnen (IPO et al. 2025).

Naar verwachting zal in 2050 droogte de grootste risico's opleveren voor de drinkwatervoorziening, door lage grondwaterstanden, lage rivierafvoeren, en de daaraan gekoppelde slechtere waterkwaliteit (RIVM). Door bevolkingsgroei, en de daarbij behorende woningvraag, zal de drinkwatervraag toenemen, terwijl door de toenemende droogte als het gevolg van klimaatverandering de beschikbaarheid van water zal afnemen. Het niet tijdig beschikbaar komen van nieuwe bronnen kan in de toekomst een knelpunt vormen voor de aansluiting van nieuwbouwprojecten (Binnenlands Bestuur 2022) en nieuwe bedrijven (H2O 2023) op het drinkwaternet. Er is nu geen overkoepelend beeld van de gevolgen van regionale drinkwatertekorten op landelijke doelstellingen, zoals de woningbouwopgave. Wel blijkt dat de woningbouwopgave voor een groot deel gepland is in gebieden waar de drinkwatervoorziening onder druk staat (Algemene Rekenkamer 2025). Als dit soort projecten wordt afgeblazen kunnen de economische effecten zeer groot zijn (>100 miljoen euro). Daarnaast kan een toegenomen onttrekking van grondwater ook rondom de winningslocaties schade door droogte aan de landbouw en natuur verhogen.

Een grotere vraag naar grondwater en een veranderende grondwateraanvulling kan ertoe leiden dat brak grondwater naar boven komt. Daarnaast is bij zeespiegelstijging een grotere kweldruk te verwachten waardoor zoute kwel verder landinwaarts in de bodem kan dringen. Een beperkt aantal grondwaterwinningen op het zoet-zoute grensvlak kan hierdoor verzilten.

Toename innamestops door vaker lage rivierafvoeren

Bij lage rivierafvoeren wordt de waterkwaliteit slechter doordat er minder 'verdunning' is van verontreinigingen zoals lozingen door de industrie en pesticiden uit de landbouw. Hierdoor kan het nodig zijn om te stoppen met de inname voor drinkwater. In de huidige situatie leidt dit al geregeld tot zulke innamestops. Verlaging van de rivierafvoer in toekomstige, drogere zomers zou dit kunnen verergeren. Bij lage rivierafvoeren kan ook zout zeewater verder indringen bij riviermondingen waardoor innamepunten periodiek te zout kunnen worden. Bij toekomstige zeespiegelstijging wordt dit proces versterkt door een grotere zoute druk uit zee. Oppervlaktewaterbedrijven breiden nu al reserves en bekkens uit om innamestops te kunnen overbruggen, en installeren geavanceerdere installaties voor drinkwaterzuivering.

Risico op bacteriën door opwarming van het leidingnet, vooral in oudere woningen een probleem

Een ander negatief effect van klimaatverandering op de drinkwatervoorziening is het opwarmen van het leidingnet. Het water dat uit de kraan komt mag niet boven de 25°C uitkomen. Bij hogere temperaturen wordt de kans op ziekteverwekkers, zoals legionella, groter. Met name in sterk en matig stedelijke gebieden, waar circa 2,6 miljoen mensen wonen, kunnen te hoge watertemperaturen zo'n drie maanden aanhouden. Hier warmt de bodem namelijk sneller op onder het versteende oppervlak. Overigens zijn het vooral binneninstallaties, zoals de cv-ketel of douchekop, die een bron van bijvoorbeeld legionella zijn. Dit zal vooral spelen bij oudere woningen die bij hitte sterk opwarmen. Regelmatig doorspoelen van de eigen leidingen kan hierbij helpen, maar staat op gespannen voet met waterbesparing.

15.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren

Bij een technische insteek in de toekomst nog steeds meer schade aan natuur en landbouw

Bij de intensiveren-aanpak wordt drinkwaterbesparing gestimuleerd, maar blijft het vrijwillig, wat uitkomt op een besparing van 9 liter per persoon per dag ten opzichte van nu. In regio's waar minder drinkwater nodig is proberen drinkwaterbedrijven zoveel mogelijk winning rond kwetsbare natuur te verminderen, wat een positief effect heeft op deze natuur. Door bevolkingsgroei en klimaatverandering neemt (zeker bij sterke klimaatverandering) de vraag naar grondwater nog steeds toe, maar wel minder dan zonder deze maatregelen. Er worden zo'n 10 tot 15 nieuwe grondwaterwinningen ontwikkeld om aan de grondwatervraag te voldoen. In de nieuwe grondwaterbeschermingsgebieden wordt de drinkwaterwinning vaak gecombineerd met wonen, natuur of landbouw, wat in deze gebieden kan resulteren in meer schade voor natuur en landbouw.

Drinkwaterbedrijven die oppervlaktewater gebruiken breiden hun bekkens en duinreserves flink uit om langdurige, droge perioden te kunnen overbruggen. Verder investeren de drinkwaterbedrijven in een bovenregionaal drinkwaternet, om zo nodig ook gebieden te voorzien van drinkwater van elders. Er wordt ingezet op geavanceerdere technologieën voor de zuivering, om bij een verslechterde rivierwaterkwaliteit toch nog drinkwater te kunnen leveren. Om verzilting tegen te gaan worden waterbesparende oplossingen gezocht bij sluizen, bijvoorbeeld door minder te schutten tijdens droogte. Ook wordt het peil in het IJsselmeer opgehoogd.

Risico op bacteriën door opwarming van het leidingnet; leidingen verleggen naar de schaduwkant

Om opwarming van de leidingen te voorkomen kunnen leidingen zoveel mogelijk verlegd worden naar de schaduwkant van straten. Ook kunnen poreuze tegels worden gebruikt, waardoor meer water kan infiltreren en de bodem minder snel opwarmt. Met dit soort maatregelen kan de temperatuur van het water met maximaal 3°C worden verminderd. Daarmee nemen de ergste temperatuurextremen af. In matig stedelijke gebieden kan dit voldoende zijn om onder de norm van 25°C te blijven, in sterk stedelijke gebieden blijft het moeilijk. Hierbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat dit soort maatregelen niet overal toepasbaar is, en dat het vervangen en verplaatsen van het leidingnet veel tijd kost.

15.3 Toekomstige klimaatrisico's bij transformeren

Bij transformeren slechts beperkte natuurschade, en meer combinatie van drinkwaterwinning met natuur

Bij een keuze voor een transformatieve insteek wordt sterk ingezet op het verminderen van de drinkwatervraag, bijvoorbeeld door het verplicht hergebruik van douchewater, en het gebruik van regenwater voor buitenkraan en toilet. Verhogen van de drinkwaterprijs lijkt maar een beperkt effect te hebben op de drinkwatervraag, dus zal als maatregel niet voldoende zijn (Witteveen+Bos 2024). Als die verhoging wel wordt ingevoerd kunnen kostenstijgingen voor eindconsumenten bijvoorbeeld worden gecompenseerd via inkomstenbeleid.

Omdat ook andere watervragers, zoals de landbouw, bij deze insteek minder water gebruiken, komt er veel meer ruimte in het hele systeem van watervoorziening. In de landbouw wordt dan bijvoorbeeld meer water vastgehouden in nattere perioden, om te kunnen gebruiken tijdens droogte. Door verplichtende maatregelen neemt het gebruik van drinkwater af met 31 liter per persoon per dag en komt daarmee, afhankelijk van het contextscenario, op 95 tot 103 liter per persoon per dag. Als gevolg hiervan neemt de vraag naar grondwater af, met gemiddeld 20tot 25 procent in het beperkt risicoverhogend contextscenario, en met 10 tot 15 procent in het sterk risicoverhogend scenario. Daarnaast wordt geprobeerd de bestaande waterwinningen zoveel mogelijk te behouden door natuurlijke infiltratie van regen- en oppervlaktewater rondom de waterwinningen. Dat kan bijvoorbeeld door het weer laten meanderen van beken, het verhogen van het grondwaterpeil en het aanleggen van waterbergingsgebieden. Grondwaterwinningen in de buurt van kwetsbare natuur kunnen worden verminderd. De schade aan natuur neemt door dit alles af, en zal kleinschaliger zijn (lokaal of regionaal) en zeker bij beperkte klimaatverandering meestal niet onomkeerbaar. Bij sterke klimaatverandering is het de vraag of de maatregelen ook op de langere termijn voldoende zijn om natuurschade te voorkomen.

Door de kleinere drinkwatervraag is ook de watervraag bij innamepunten van oppervlaktewater lager. Hierdoor zijn er minder vaak innamestops nodig door een te lage rivierafvoer, kan er langer gebruik worden gemaakt van de waterreserves, en neemt de noodzaak voor uitbreiding van bronnen af. Oppervlaktewaterbedrijven breiden het bergen van water in bekkens en in de duinen uit, om periodes met lage afvoeren beter te kunnen overbruggen. Hierbij worden de nieuwe bekkens zoveel mogelijk gecombineerd met natuur. Dit brengt wel een risico met zich mee: als het water in natuurlijke bekkens of in de duinen daadwerkelijk wordt gebruikt, kan dit een negatief effect hebben op de daar aanwezige natuur. Verder wordt het peil van het IJsselmeer nog verder verhoogd, waardoor er meer water beschikbaar is. Daarbij wordt scheepvaart gestremd bij kans op verzilting zodat de verbinding naar de Waddenzee minder gebruikt wordt, waardoor het minder vaak tot zoute condities zal komen in het IJsselmeer.

Risico op bacteriën door opwarming van het leidingnet; meer groen en blauw kunnen hierbij helpen

In het transformatieve beleid wordt sterk ingezet op groen en water in de stad. Er wordt in straten meer onverhard materiaal gebruikt en er wordt schaduw gecreëerd. Dit kan leiden tot een afname van de temperatuur met maximaal 6°C. Als deze maatregelen overal toegepast zouden worden, zou dit voldoende kunnen zijn om in 2050 in zwel sterk als matige stedelijke gebieden overschrijding van de temperatuurnorm (van 25 °C) te voorkomen.

15.4 Conclusies

Drinkwaterbesparing effectieve manier om de noodzaak van extra drinkwaterbronnen te verminderen

Om ook in de toekomst aan de leveringsplicht te voldoen, hebben drinkwaterbedrijven voldoende bronnen van een goede kwaliteit nodig. De toekomstige omvang van de bevolking en het succes van het drinkwaterbesparingsbeleid bepalen mede hoeveel bronnen er in 2050 nodig zijn. Door klimaatverandering kan de kwaliteit en de kwantitatieve beschikbaarheid van drinkwaterbronnen afnemen. Ook door de woonopgave kunnen forse investeringen nodig zijn om nieuwe bronnen te ontwikkelen, de infrastructuur uit te breiden en water mogelijk meer te zuiveren. Dit zal gepaard gaan met meer natuurschade en heeft gevolgen voor de landbouw.

Omdat huishoudens de grootste gebruikers van drinkwater zijn, is drinkwaterbesparing een effectieve manier om de noodzaak tot bronuitbreiding te verminderen. Ook bij beperkte bevolkingsgroei betekent besparing een verminderde druk op het watersysteem. Er zijn ook andere, niet-onderzochte oplossingsrichtingen, zoals inzet van onconventionele bronnen zoals zeewater of gezuiverd afvalwater, die mogelijk een bijdrage kunnen leveren. Bovendien biedt een klimaatrobuuste inrichting van natuur, landbouw en het watersysteem ook kansen voor de drinkwatervoorziening; zowel in de gebouwde omgeving, waar een groen-blauwe omgeving de temperatuur van het leidingwater kan beperken, als in het landelijk gebied.

16 Landbouw

De klimaatrisico's voor de landbouw in Nederland worden in dit hoofdstuk apart beschreven voor de akkerbouw en voor de veeteelt. Bij de akkerbouw zijn de grootste risico droogte, en vochtschade door extreme neerslag en lange natte perioden, in de veeteelt is dat hittestress. De gebruikte analysemethode is wel hetzelfde voor beide sub-sectoren (zie tekstkader 16.1 'Analyse in het kort').

Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op het rapport van WUR: 'Vooruitblik op klimaatrisico's voor de Nederlandse landbouw & veehouderij in 2050 en 2100. Drie lineaire risicoanalyses van de gevolgen van droogte, vochtschade en hittestress a.d.h.v. de KNMI'23-klimaatscenario's' (WUR 2026b).

Tekstkader 16.1 Analyse in het kort

De KNMI'23-scenario's Hd, en Ln, zijn gebruikt als contextscenario's (sterk risicoverhogend en beperkt risicoverhogend). De herhalingstijden van droogte, piekbuien en natte periodes zijn specifiek voor deze studie berekend naar aanleiding van kritieke perioden en drempelwaarden van gewassen of vee op basis van datasets van het KNMI.

Het areaal grasland neemt door huidig beleid af met 98.000 hectares (10 procent van areaal in 2023) en het areaal akkerland (bouwland) met 6.000 hectares (1 procent) (PBL 2025b). Hierbij is rekening gehouden met krimp van veestapel vanwege het wegvallen van de nitraatderogatie (zie ook PBL 2025b).

De analyse van hittestress op vee is om praktische redenen gericht op drie belangrijke parameters die het meest cruciaal zijn voor de productiviteit en economische levensvatbaarheid van de veehouderij: lagere voeropname, lagere prestaties en hogere sterfte. Door de focus te beperken tot deze fundamentele aspecten van de opbrengsten van de veestapel, is een duidelijke en praktische analyse te maken van de invloed van hittestress op vee.
Voor de inschatting van de economische schade is het huidige prijspeil gebruikt. Bij deze inschatting is alleen rekening gehouden met de opbrengstderving per hectare vanwege klimaatdreigingen en is geen rekening gehouden met opbrengstderving vanwege een andere bedrijfsvoering, waar bijvoorbeeld voor kan worden gekozen bij de transformeren-aanpak.
In de analyse worden kwantitatieve en kwalitatieve eigenschappen gemixt in een enkele analyse. Dit is de kracht en de zwakte van een risicoanalyse. Met name van adaptatiemaatregelen waarvan bekend is dat deze potentie hebben, maar die nog niet wijdverspreid toegepast of onderzocht zijn, is het lastig het effect te analyseren.

Kenmerken van huidig beleid en de adaptatierichtingen voor landbouw zie ook bijlage 3.10)

Huidig beleid

In deze adaptatierichting wordt het huidige (adaptatie)beleid doorgetrokken naar de toekomst. Hierin nemen we alleen beleid mee dat vastgesteld, gefinancierd en geïnstrumenteerd is. We gebruiken hierbij ook landbouwprakijken die gangbaar zijn of al toegepast worden door een significante subgroep (zie de uitwerking van de contextscenario's). Ook de autonome veranderingen zijn meegenomen, zoals intensivering, schaalvergroting, specialisatie, maar die gelden ook voor de andere adaptatierichtingen tenzij expliciet veranderd.

Intensiveren
Deze adaptatierichting heeft een technische focus en is gericht op de doorontwikkeling en intensivering van het huidige beleid. De nadruk ligt op technische maatregelen die de impact van klimaatverandering minimaliseren, waarbij de bestaande activiteiten grotendeels op dezelfde locaties blijven plaatsvinden.

Transformeren
Bij de transformatie-aanpak in de landbouw wordt in hoge mate rekening gehouden met het water en de bodem. De agrarische sector zoekt naar meekoppelkansen zoals met natuur en *nature-based solutions*. Locatie speelt bij deze aanpak een belangrijke rol, omdat rekening wordt gehouden met de toestand van het water en de bodem, maar er is geen grootschalige verplaatsing van bedrijven meegenomen bij deze adaptatierichting.

16.1 Akkerbouw, voedergewassen en tuinbouw

- *In 2050 komen bij sterke klimaatverandering droogtes driemaal vaker voor dan nu en ze zijn intenser. Zonder extra adaptatiebeleid zou dit voor de akkerbouw jaarlijks tot oogstverlies kunnen leiden, met eens in de 10 jaar (zomerdroogte) een schade tussen 100 miljoen en 1 miljard euro. De gemiddelde waterbehoefte voor irrigatie van de landbouwsector neemt met 30 tot 80 procent toe. Bij beperkte klimaatverandering wordt ingeschat dat dit in 2050 eens in de 10-100 jaar gebeurt.*
- *Een extreme bui in het groeiseizoen zal eens in de circa 35 jaar voorkomen. Lange natte perioden zullen vaker voorkomen, gemiddeld eens in de 6 tot 8 jaar. De herhalingstijd van een extreem natte dag (63 millimeter neerslag of meer in een dag in het groeiseizoen) wordt geschat op eens in de 34 tot 37 jaar. Natte omstandigheden hebben directe gevolgen voor gewasopbrengsten, bodemkwaliteit en de economische positie van boeren. Zonder extra adaptatiemaatregelen wordt het economische risico door extreme neerslag en lange natte perioden ingeschat op 'middelmatig': een schade van 100 miljoen tot 1 miljard euro).*
- *Met de transformeren-aanpak is er minder risico op schade, door risicospreiding, flexibel beheer , meer diverse functies, en ruimte voor water. Ook met extra maatregelen blijven gewassen kwetsbaar voor te veel vocht.*
- *De intensiveren-aanpak inclusief innovatie (GMO) kan de impact van droogte en wateroverlast deels verminderen, door respectievelijk druppelrirrigatie en drainage. Bij transformeren zullen de gevolgen nog meer afnemen. Sommige maatregelen uit de twee richtingen kunnen gecombineerd worden voor nog meer effect, zoals druppelirrigatie en rekening houden met de toestand van water en de bodem van de locatie.*

Tabel 16.1
Samenvatting van de risico's landbouw voor 2050, bij alleen huidig beleid, na intensiveren en transformeren (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Droogte akkerbouw	Impact laag, kans op een op 1 tot 10 jaar	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact laag, kans één op 1 tot 10 jaar
Hittestress vee	Impact midden, Kans een op 1 tot 10 jaar	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar	Impact midden, kans één op 1 tot 10 jaar

16.1.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Droogte leidt tot opbrengstderving in de akkerbouw en toename watervraag voor beregening
Droogte en extreme neerslag zijn in de huidige situatie de belangrijkste klimaatdreigingen voor de akkerbouw en voedergewassen (zie ook tabel 16.2). Droogte leidt tot een afname van de opbrengst van (voeder)gewassen, inclusief graslanden. Wanneer de meeste bedrijven dezelfde gewassen en teeltsystemen behouden blijft de agrarische sector afhankelijk van de aanvoer van voldoende zoet water.

Door te beregenen wordt water uit het oppervlakte- of grondwater gebruikt om opbrengstderving te beperken in tijden van droogte. Veel agrarisch ondernemers zullen naar verwachting richting 2050 om de verliezen te beperken, hebben geïnvesteerd in beregeningsinstallaties. De watervraag voor beregening neemt in 2050 in normale jaren toe: in gemiddelde jaren met 30 procent bij geringe klimaatverandering tot meer dan 80 procent bij sterke klimaatverandering. In de 5 procent droogste jaren is deze toename 40 tot 85 procent (Van Asseldonk et al. 2020).

In tijden van extreme droogte kan een waterschap een beregeningsverbod instellen. Een dergelijk verbod zal tot substantiële opbrengstdervingen leiden, vooral in regio's waar gewassen sterk afhankelijk zijn van beregening voor behoud van opbrengst en kwaliteit. De verwachte impact op de opbrengst (in kilo's) varieert per gewas en regio, waarbij met name zaaiuien op kleigrond sterk worden getroffen met een gemiddelde opbrengstdaling van 17 procent. Ook zetmeelaardappelen in de Veenkoloniën en het noordelijk zandgebied laten een forse daling zien van 13 procent, terwijl consumptieaardappelen op klei gemiddeld 4 procent minder opbrengst geven. Daarnaast worden ook pootaardappelen (-6 procent) en suikerbieten (-9 procent) in de Veenkoloniën en het noordelijk zandgebied geraakt. In de kleigebieden is het effect op deze laatste gewassen daarentegen beperkt (Van Asseldonk et al. 2020).
Deze verwachte opbrengstverliezen gaan niet helemaal gelijk op met de inkomstenderving. De economische schade per landbouwbedrijf ligt meestal lager, omdat per kilogram product een hogere prijs gevraagd kan worden.
Desondanks wordt bij het huidig beleid de gemiddelde jaarlijkse droogteschade voor de landbouwsector geraamd op circa 390 miljoen euro, oftewel zo'n 200 euro per hectare per jaar. Er is een duidelijke regionale variatie: in zandgebieden in het zuiden van Nederland loopt dit, bij gelijkblijvende prijzen, op tot circa 400 euro per hectare, terwijl de schade in andere regio's, zoals IJssel-Vecht, rond de 100 euro per hectare per jaar ligt (Polman et al. 2019).

Verder kan droogte ook indirect tot schade leiden doordat het voor (meer) verzilting zorgt, met name in kust- en laaggelegen gebieden van Nederland. Ook dit heeft een direct effect op de productie van (voeder)gewassen. Bovendien kan droogte leiden tot stijgende zoutgehaltes van het oppervlaktewater en het ondiepe grondwater. Daarbij kan het voorkomen dat beregening van gewassen enkel mogelijk blijft door te beregenen met kwalitatief slecht water, zoals water dat verzilt is geraakt.

Droogte beïnvloedt verder de werking van gewasbeschermingsmiddelen, met name bij bodemherbiciden. Door de droge omstandigheden verspreiden deze middelen zich minder goed in de bodem, waardoor hun effectiviteit afneemt. Vooral open gewassen zoals ui, peen, sperziebonen en snijmaïs

blijken kwetsbaar: de beperkte bedekking van de bodem laat ruimte voor onkruid, en de bestrijding onder droge omstandigheden kent extra uitdagingen voor het beheer.

Tabel 16.2
Risico's klimaatverandering voor de landbouw voor 2050, bij huidig beleid, intensiveren en transformeren

Risico	2050	Waarschijnlijkheid	Economie Beperkt	Economie Sterk
Droogte akkerbouw	Huidig beleid	1-10 jaar	Middel	Middel
	Intensiveren	1-10 jaar	Middel	Middel
	Transformeren	1-10 jaar	Laag	Laag
Piekbui	Huidig beleid	10-100 jaar	Middel	Middel
	Intensiveren	10-100 jaar	Laag	Laag
	Transformeren	10-100 jaar	Laag	Laag
Natte periode	Huidig beleid	1-10 jaar	Middel	Middel
	Intensiveren	1-10 jaar	Laag	Laag
	Transformeren	1-10 jaar	Laag	Laag

Impact droogte akkerbouw en voedergewassen

Bij sterke klimaatverandering komen droogtes naar verwachting rond 2050 driemaal vaker voor en ze zijn intenser. Zonder extra adaptatiebeleid zou dit voor de akkerbouw jaarlijks tot oogstverlies kunnen leiden, met eens in de 10 jaar door zomerdroogte (gedefinieerd als 35 dagen met ≤10 millimeter neerslag in juni-augustus) een jaarlijkse schade tussen 100 miljoen en 1 miljard euro (tabel 16.1, 16.2). Met name droogte zal zich vaak in een groter gebied (soms zelfs grote delen van Europa) voordoen, waardoor de marktprijzen van akkerbouw- en tuinbouwproducten toenemen (tot wel een verdubbeling van de prijs bij uien, en +45 procent bij aardappelen (Van Assendonk et al. 2020)). Een deel van de hogere marktprijzen komt dus terecht bij de consument.

Wateroverlast heeft gevolgen voor gewasopbrengsten, bodemkwaliteit en de economische positie van boeren

Natte omstandigheden brengen in de landbouw vooral problemen met zich mee in het voor- en najaar, wanneer veel rooivruchten respectievelijk worden geplant en geoogst. In deze perioden kan langdurige regenval ertoe leiden dat percelen niet toegankelijk zijn voor machines. En wanneer gewassen niet tijdig geoogst kunnen worden, leidt dit tot rotting en dus schade aan verschillende gewassen, en dus opbrengstverliezen en economische schades voor boeren. Ook heeft het directe gevolgen voor consumenten, omdat het aanbod afneemt en prijzen kunnen stijgen. Zonder extra adaptatiemaatregelen wordt de economische schade door extreme neerslag en lange natte perioden ingeschat op middelmatig (100 miljoen – 1 miljard euro schade) (zie tabel 16.2).
Boeren nemen zelf ook maatregelen tegen wateroverlast, bijvoorbeeld in de vorm van het aanleggen van drainagegreppels en het verbeteren van de bodem door aangepast bodembeheer om bodemverdichting te voorkomen. En soms is er verplaatsing naar regio's met minder directe risico's van activiteiten ook een oplossing. Nu al zien we bijvoorbeeld zo een verschuiving van de uienteelt van het westen naar het oosten.

In het westen van Nederland, en met name in het noordwesten, neemt de kans op zulke natte periodes toe (neerslagsom van 100 millimeter of meer binnen 8 dagen in de maanden mei tot en met oktober). Deze regio's worden in toenemende mate geconfronteerd met extreme neerslag tijdens het groeiseizoen. In het scenario Laag-nat (Ln) neemt de kans op natte periodes in vrijwel het hele land toe, met opnieuw een duidelijke nadruk op het westen en noorden. Ook in Zuid-Limburg is sprake van een merkbare toename. In het scenario Hoog-droog (Hd) zijn de verschillen met de huidige situatie over het algemeen kleiner. In sommige gebieden is zelfs sprake van een lichte afname van de kans op natte periodes. Uitzondering hierop vormt het zuidwesten van Nederland, waar juist een toename verwacht wordt.

Ook extreme buien zullen vaker voorkomen, met ook effecten op de akkerbouw: de herhalingstijd van een extreme bui van 63 millimeter of meer in 1 dag in het groeiseizoen (mei-oktober) bedraagt naar verwachting in 2050 eens in de 10 tot 100 jaar. Lange natte perioden zullen vaker voorkomen: gemiddeld eens in de 6 tot 8 jaar.

16.1.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren

Droogte

Intensiveren: techniek kan de impact van droogte deels verminderen , maar mogelijkheden niet oneindig

Technologische en teelttechnische innovaties kunnen de impact van droogte op de landbouw deels verminderen. Een belangrijk voorbeeld is de inzet van veredeling en genetische modificatie (GMO's) om gewassen te ontwikkelen die beter bestand zijn tegen droogtestress. Door de doorontwikkeling van nieuwe rassen die minder gevoelig zijn voor watertekort, kan opbrengstverlies in droge jaren worden beperkt.

Ook irrigatietechnieken spelen een cruciale rol. Druppelirrigatie waarbij water zo dicht mogelijk bij de wortel van de plant wordt gebracht, maakt het mogelijk om water efficiënt en gericht toe te dienen en het beschikbare water optimaal te benutten. Dit effect is met name groot wanneer bedrijven (gedeeltelijk) zelfvoorzienend zijn in hun watervoorziening, bijvoorbeeld via eigen wateropslag of hergebruik van drainagewater. Wateropslag op bedrijfsniveau kan boeren helpen kritieke situaties te overbruggen. In landen waar droogte al langer, vaker of heviger speelt dan in Nederland is gebleken dat die opslag opbrengstderving van boeren kan verminderen. Door het vasthouden zullen echter strategische reservoirs zoals het IJsselmeer minder snel weer opvullen (Ribeiro Neto et al. 2024). Dergelijke maatregelen dienen in afstemming met waterbeheerders te gebeuren om maladaptatie te voorkomen (Lankford et al. 2023).

De mogelijkheden van techniek zijn niet oneindig, zeker bij langdurige of extreme droogte. Met name bij grootschalige bedrijven kan de impact aanzienlijk zijn, doordat er vaak weinig risicospreiding is in gewaskeuze of teeltlocaties. In dergelijke situaties kan de combinatie van veredeling, precisietechnieken en teeltmaatregelen de schade weliswaar verminderen, maar niet volledig voorkomen.

Transformeren leidt tot structurele veranderingen in het landbouwsysteem

Met de transformeren-aanpak wordt landbouw integraler in het landschap ingepast en krijgen water en bodem meer ruimte door het aanleggen van bufferzones, het integreren van functies of een

verbeterde waterberging. Hierdoor kan water beter worden vastgehouden in natte perioden en geleidelijk beschikbaar komen in drogere fasen, wat het risico op droogtestress voor gewassen verkleint. Ook draagt een meer robuuste bodemstructuur bij aan een betere infiltratie en opslag van vocht. Hierdoor treden negatieve effecten van droogte, zoals verminderde gewasgroei en kwaliteitsverlies, minder snel op dan bij voortzetting van het huidig beleid.

Al met al kan worden gesteld dat de adaptatierichting transformeren de impact van droogteschade in de akkerbouw sterker kan verminderen dan de adaptatierichting intensiveren, omdat er niet alleen technische maatregelen worden genomen, maar het hele landbouwsysteem structureel wordt veranderd. Maatregelen zoals een verbeterde waterverdeling en groen-blauwe dooradering kunnen het risico van langdurige droogte op gewassen verminderen en zo schade beperken. Daarom is er bij deze adaptatierichting een laag economisch risico (< 100 miljoen euro). Toch kan in een transformatieve aanpak de schade niet volledig worden voorkomen. Extreme weersomstandigheden blijven een onvoorspelbare factor, en bij zeer droge groeiseizoenen zullen ook robuustere landbouwsystemen hun grenzen kennen.

Wateroverlast

Intensiveren-maatregelen kunnen ook de risico's van wateroverlast voor de akkerbouw verlichten
Technische maatregelen zoals die in de adaptatierichting intensiveren zitten kunnen ook de risico's van wateroverlast voor de akkerbouw verlichten. Zware landbouwmachines vergroten de kans op bodemverdichting, wat de waterinfiltratie en -afvoer beperkt, wat juist in perioden van extreme neerslag of langdurige natheid tot problemen kan leiden. Door over te stappen op lichtere machines of systemen met een lagere bodemdruk, zoals bredere banden, rupsbanden of een combinatie van werktuigen, blijft de bodemstructuur beter intact. Dit vergroot het vermogen van de bodem om water op te nemen en te bufferen, waardoor het risico op wateropstuwing, plasvorming en structuurschade afneemt. Tegelijk ontstaat meer flexibiliteit om ook onder nattere omstandigheden werk uit te voeren zonder de bodem duurzaam te beschadigen. Deze maatregel wordt met name preventief toegepast op klei- en lössgronden, waar de kans op verdichting en afwateringsproblemen bij nat weer relatief groot is.

Overtollig water zo snel mogelijk afvoeren is een preventieve maatregel om het risico van wateroverlast te beperken. Drainage kan verbeterd worden door deze optimaal te onderhouden, te vernieuwen en/of deze te intensiveren door de afstand tussen de buizen te verkleinen. Hierdoor neemt enerzijds het risico op wateroverlast af, maar anderzijds beperk je hiermee de mogelijkheid om water langer vast te houden. Vanwege de beperkingen die greppels met zich meebrengen zullen bedrijven vaak kiezen voor drainage in plaats van greppels.

Intensiveren: inzet gewasbescherming, weersverzekering, beslissingsondersteunende systemen
Gerichtere toepassing van gewasbescherming kan bij intensiveren een belangrijke rol spelen bij de bestendigheid van agrarische bedrijven tegen ziekten en plagen onder natte omstandigheden. Vochtige periodes vergroten vaak de kans op schimmels en bacteriële aantastingen, waardoor een snelle en doelgerichte inzet van middelen essentieel wordt. Door gebruik te maken van beslissingsondersteunende systemen, zoals vochtsensoren en satellietdata, kan een boer het optimale moment bepalen voor behandeling en zo het aantal toepassingen beperken. Precisietechnieken, zoals spuitdrones of veldrobots, maken het mogelijk om alleen besmette plekken te behandelen in plaats van een heel perceel, wat zowel de effectiviteit verhoogt als de milieubelasting verlaagt. Beslissingsondersteunende systemen spelen in deze aanpak dus een belangrijke rol bij de

klimaatbestendigheid van agrarische bedrijven tegen wateroverlast. Door gegevens te koppelen aan weersverwachtingen en gewasgroeimodellen kan een boer gerichter tijdig maatregelen nemen tegen wateroverlast (door bijvoorbeeld op tijd af te wateren). Een beslissingsondersteunend systeem is een vorm van preventieve adaptatie, en kan overigens ook worden ingezet in periodes van droogte, bijvoorbeeld om tijdig te irrigeren en het juiste moment te kiezen voor bodembewerking.

Een brede weersverzekering beperkt de economische risico's van extreem weer voor de agrariër. Hierdoor zal het bedrijfsinkomen stabieler blijven. De boer is zelf verantwoordelijk voor het afsluiten van een weersverzekering. De weersverzekering kan daarbij worden gezien als een preventieve maatregel. Nadeel is dat de premies van deze verzekering hoog zijn, waardoor deze niet voor ieder bedrijf betaalbaar is (Witmond et al. 2024). In 2022 was ongeveer 15 procent van het aantal bedrijven met een weersgevoelige teelt verzekerd, waaronder ongeveer 60 procent van de appel- en peerteeltbedrijven (Witmond et al. 2024).

Transformeren: minder risico op schade door risicospreiding, verruiming van bouwplan en functies, ruimte voor water

In de transformeren-aanpak zal gevoeligheid van de landbouw voor extreme neerslag en lange natte perioden op landschaps- en bedrijfsniveau afnemen door een grotere mate van risicospreiding. Een landbouwbedrijf kan bijvoorbeeld het bouwplan verruimen naar een 8-jarige gewasrotatie met meer gewasdiversiteit, voedselgewassen, voedergewassen, en mogelijk vezel- of groenbemestingsgewassen. Binnen percelen kan worden gewerkt met strokenteelt, waarbij verschillende gewassen naast elkaar in smalle stroken (3 meter, 15 meter of meer) worden geteeld. Combinaties van granen, peulvruchten, koolgewassen en knolgewassen komen zo vaker voor, afgestemd op bodemtype en regionale ketens. Ook zal er meer ruimtelijke afwisseling plaatsvinden tussen akkerbouw, grasland en landschapselementen, waarbij agrarisch gebruik en ecologische functies worden verweven.

Door de ruimtelijke verweving van functies, zoals landbouw, waterbeheer en natuur, zal water meer de ruimte krijgen. Door het geven van ruimte aan water, kunnen extreme buien en lange natte perioden beter worden opgevangen, zodat het directe risico voor de landbouw wordt verminderd. Daarnaast zijn bedrijven minder afhankelijk van één type productie. De toegenomen gewasdiversiteit zorgt voor een spreiding van de risico’s over tijd en ruimte. Mechanisatie zal worden aangepast aan kleinschaligere bewerkingsvormen en het beheer vraagt om meer afstemming tussen bedrijven binnen het gebied. Op gewasniveau blijft de gevoeligheid voor droogte grotendeels vergelijkbaar met die bij huidig beleid, met uitzondering van enkele ingevoerde tolerantere rassen die beter bestand zijn tegen wateroverlast en/of ziekten en plagen die in natte perioden de gevoeligheid van gewassen kunnen aantasten.

Ook met extra maatregelen blijven gewassen kwetsbaar voor te veel vocht

Zowel bij de adaptatierichting intensiveren als transformeren blijft schade door wateroverlast een risicofactor. Bij sterke klimaatverandering zullen extremen vaker voorkomen in het groeiseizoen. De negatieve effecten van vochtschade kunnen met de transformatieve aanpak deels worden beperkt door slimme maatregelen op bedrijfsniveau en regionaal niveau, zoals diversiteit in gewassen.

Tegelijkertijd ontstaan ook nieuwe afhankelijkheden en gevoeligheden. Door de grotere variatie in gewassen en kleinschaliger teeltvormen kan de operationele complexiteit toenemen, wat hogere eisen stelt aan kennis, planning en arbeid. Daarnaast kunnen sommige nieuwe gewassen of rassen

nog beperkt beschikbaar zijn of onzeker presteren onder Nederlandse omstandigheden, waardoor de opbrengsten nog onzeker zijn. Tot slot vergt de verweving van functies een goede coördinatie tussen agrariërs en andere gebiedspartijen, zoals waterschappen; als deze samenwerking stokt, kan dit de effectiviteit van (gebieds)maatregelen beperken en leiden tot bestuurlijke of logistieke knelpunten. De algehele gevoeligheid van de sector hangt in deze adaptatierichting dus niet alleen af van fysieke vochtrisico's, maar ook van sociale en organisatorische robuustheid.

16.1.3 Conclusies

Ingeschat wordt dat beide adaptatierichtingen de gevolgen van droogte en wateroverlast beperken. De intensiveren-aanpak zal de schade enigszins kunnen beperken, met de transformeren-aanpak zullen de gevolgen meer afnemen. Sommige maatregelen uit de twee richtingen kunnen gecombineerd worden voor nog meer effect, zoals druppelirrigatie.

16.2 Veeteelt

- *Rond 2050 zal vee naar verwachting vaker en langer worden blootgesteld aan omstandigheden die leiden tot hittestress. In het sterk risicoverhogende scenario zal dit richting 2100 nog verder verergeren. Het vee zijn dan ongeveer een derde van het jaar worden geconfronteerd met hittestress. De effecten zijn groot: een afname van dierenwelzijn, een 3 tot 12 procent lagere opbrengst van zuivelproductie, een vergelijkbare lagere groei van varkens, en een lager lichaamsgewicht en sterfte bij vleeskuikens. Economisch kan dit een verlies betekenen van 0,5 miljard euro per jaar rond 2050, en tussen de 0,5 en meer dan 1 miljard euro per jaar in 2100.*
- *De intensiveren-aanpak, met technische maatregelen in stallen, is naar verwachting effectiever dan transformeren, met meer schaduw in de buitenruimte, als het gaat om het beperken van mogelijke schade en hittestress bij vee. Na transformeren wordt een mogelijk restrisico geschat op tussen de 0,1 en 0,5 miljard euro per jaar (2050), en tussen de 0,1 en 0,7 miljard euro per jaar (2100). De schade is daarmee 30 tot 50 procent kleiner dan bij voortzetting van het huidig beleid. Bij intensiveren bedraagt de economische schade in 2050 tussen 0,1 en 0,4 miljard euro per jaar, en in 2100 tussen de 0,1 en 0,6 miljard euro per jaar.*

Tabel 16.3
Economische risico's klimaatverandering voor de veeteelt voor 2050, bij huidig beleid, intensiveren en transformeren, voor zowel beperkt risicoverhogende als sterk risicoverhogende klimaatscenario's

Risico	2050	waarschijnlijkheid	Economie Beperkt	Economie Sterk
Hittestress vee	Huidig beleid	1-10 jaar	Middel	Middel
	Intensiveren	1-10 jaar	Laag	Middel
	Transformeren	1-10 jaar	Middel	Middel

Veeteelt sterk gevoelig voor met name hitte

De veehouderij in Nederland bestaat uit diverse sectoren. De belangrijkste sectoren in de Nederlandse veehouderij zijn de melkveehouderij, varkenshouderij en pluimveehouderij. De gevoeligheid van de verschillende diersoorten voor weersomstandigheden verschilt en ook in hoeverre ze daaraan worden blootgesteld. Een deel van het vee staat altijd op stal, en een deel van de melkkoeien, schapen, paarden en scharrelpluimvee staan (delen van het jaar) in het veld.
Klimaatverandering brengt de nodige risico's voor de veehouderij in Nederland. Deze klimaatdreigingen kunnen directe effecten op het vee hebben (zowel op stal als op het land), zoals hittestress

door toegenomen temperaturen en hittegolven. Indirecte effecten op de veehouderij zijn bijvoorbeeld droogte en de daarmee verbonden grotere vraag naar water, een lagere kwaliteit grasland, en lange natte periodes of extreme buien die de weidegang bemoeilijkt en waarvoor aanpassing van beheer nodig is. Ook kan klimaatverandering omstandigheden creëren die gunstig zijn voor de verspreiding van (nieuwe) infectieziekten bij vee. Voorbeelden zijn de uitbreiding van door vectoren overgedragen ziekten zoals blauwtong bij schapen en nodulaire huidziekte bij runderen. Een bijkomende uitdaging is dat het adaptatievermogen voor de sector in het algemeen laag is (Van Klaveren et al. 2026), omdat er tot nu toe weinig noodzaak is geweest voor aanpassing. In toekomstige adaptatierichtingen met ernstigere en langdurigere hittestress zal deze onderontwikkeling van het aanpassingsvermogen zichtbaarder en steeds problematischer worden.

Zowel stijgende gemiddelde temperaturen als ook extreme temperaturen (hitte) leiden tot extra stress in het veehouderijsystemen. Veel dieren hebben een zeer beperkt vermogen om warmte af te voeren, doordat ze niet kunnen zweten of door hun verenbedekking. Zelfs een bescheiden stijging van de omgevingstemperatuur kan bij dieren buiten al tot hittestress leiden. Dit kan leiden tot:

- Afname van de voeropname, met productievermindering tot gevolg (of het nu vlees of zuivel is).
- Verzwakking van de immuunrespons, met als gevolg verhoging van gevoeligheid voor andere stressoren, waaronder sociale competitie en gedrag richting mensen.
- In het ergste geval, vooral tijdens meerdaagse hittegolven met minimale nachtelijke afkoeling, kan hitte tot extra sterfte leiden. Incidenten uit het verleden hebben massale sterfte laten zien waarbij dieren niet in staat waren om interne warmte kwijt te raken.

16.2.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Hittestress voor vee kan fors toenemen richting 2050 en 2100

Hittestress bij vee wordt veel gemeten met de THI-index (Temperature Humidity Index). Dit is een maat voor de warmtebelasting (=hittestress) voor het vee gedurende een dag, gecombineerd met luchtvochtigheid. Melkvee begint hittestress te ervaren bij THI-waarden van 68-72, varkens rond de 74, en pluimvee rond de 72. Om te beoordelen hoe vaak en hoe lang vee in Nederland te maken krijgt met hittestress is berekend hoeveel tijd vee (cumulatief) boven de THI-drempelwaarde van 70 doorbrengt, zogenoemde THI-dagwaarden. In het huidige klimaat in de Bilt zijn er gemiddeld 38 dagen per jaar met een THI boven de 70 en ligt de cumulatieve THI-dagwaarde bij 64,5 (zie figuur 16.1).

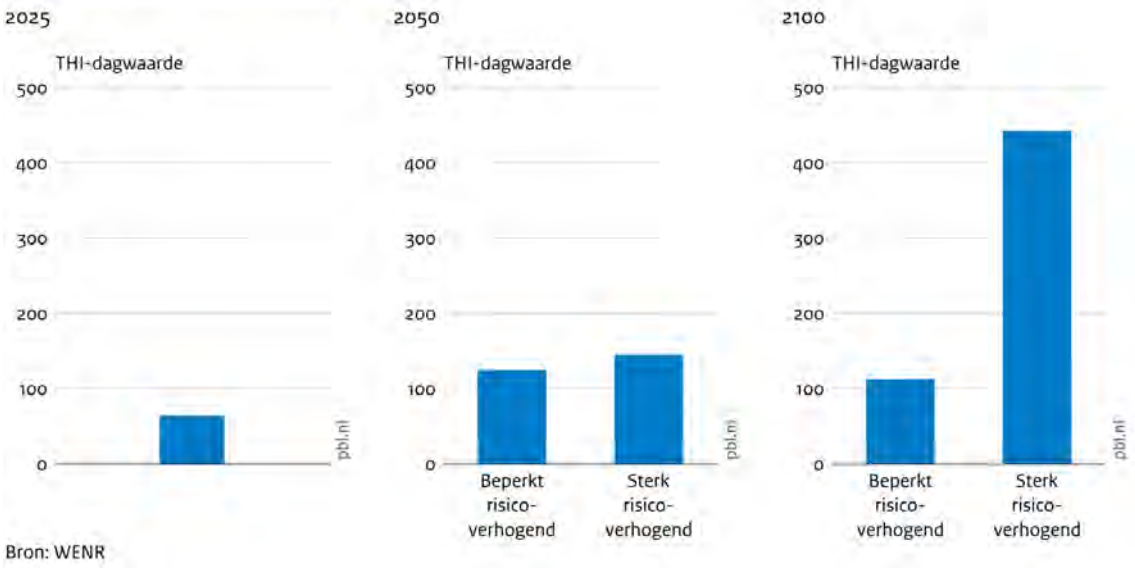
Alle KNMI'23-klimaatscenario's laten een duidelijke toename zien in de frequentie en duur van hittestress (uitgedrukt in THI-dagwaarden). In het sterk risicoverhogende klimaatscenario is richting 2050 de verwachting dat er ruim een verdubbeling van THI-dagwaardes zal zijn. Dit betekent een flinke verlenging van de periode dat vee zal worden blootgesteld aan hittestressomstandigheden. Verder vooruitkijkend naar 2100 stijgt de THI-dagwaarde in het hoge scenario naar 442, wat betekent dat het vee ongeveer een derde van het jaar wordt geconfronteerd met risico's op hittestress. In het lage klimaatscenario verandert de THI-dagwaarde maar beperkt ten opzichte van 2050 waarde (figuur 16.1).

Zonder extra beleid kan de schade oplopen tot meer dan 1 miljard euro per jaar

Het uiteindelijk effect van de extra hitte voor vee verschilt tussen de diergroepen en de al genomen maatregelen. Dieren die in een stal worden gehuisvest, zoals vooral varkens en pluimvee, zijn sterk afhankelijk van mechanische ventilatie en klimaatbeheersing. Als deze systemen goed functioneren, kan de blootstelling (deels) worden verminderd. Dieren die buiten worden gehouden en direct worden blootgesteld aan het weer, zijn grotendeels afhankelijk van de toegang tot schaduw, water en luchtstroom. Als er ook in de toekomst geen aanpassing wordt nagestreefd (=huidig beleid) is de verwachting dat gegeven de sterke stijging in verwachte hitte, de effecten op dierenwelzijn, productie en sterfteaantallen aanzienlijk zal zijn. Zo wordt er voor 2100 een 3 tot 12procent lagere opbrengst van de zuivelproductie verwacht, 3 tot 10 procent lagere groei van varkens en 3 tot 12 procent lager lichaamsgewicht en sterfte bij vleeskuikens (bandbreedte onder meer bepaald door de mate van klimaatverandering). Economisch kan dit een verlies betekenen van tussen de 0,2 (laag klimaatscenario) en 0,5 miljard (hoog scenario) euro per jaar rond 2050, en tussen de 0,5 en meer dan 1 miljard euro per jaar in 2100.

Figuur 16.1

Condities voor hittestress bij vee



Bron: WENR

16.2.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren

Intensiveren mogelijk effectiever dan transformeren als het gaat om beperken mogelijke schade door hittestress bij vee

Zoals beschreven zal de veesector in Nederland naar verwachting richting 2050 en zeker 2100 te maken kunnen krijgen met een forse stijging van het risico op hittestress. Met maatregelen zal de gevoeligheid van de dieren voor hitte niet veranderen, wel de duur dat zij aan hitte worden blootgesteld.

Bij de adaptatierichting transformeren wordt in de buitenruime gezorgd voor schaduw en koelere plekken voor de dieren. Vee op stal wordt minder blootgesteld aan hitte maar wel zonder hoogtechnologische ingrepen: betere ventilatie, hogere luchtsnelheid en aangepaste oriëntatie van het gebouw verminderen de ophoping van warmte en vochtigheid in stallen. En ook management kan inspelen op hittebeperking, zoals aanpassing van weidegang (ook zomers meer vee op stal) en begrazingspatronen.

Wanneer transformatieve maatregelen consequent en op grote schaal worden toegepast kunnen naar verwachting de verliezen door hittestress 30 tot 50 procent lager komen te liggen. Hiermee kunnen de risico's dus gedeeltelijk worden verkleind. Met name in het sterk risicoverhogende klimaatscenario met frequentere of langere hete periodes blijft er een restrisico bestaan, vooral tijdens meerdaagse hitteperiodes en bij hoge bezettingsdichtheden. Voor 2050 wordt dit mogelijk restrisico geschat op tussen de 0,1 en 0,5 miljard euro per jaar, voor 2100 tussen de 0,1 en 0,7 miljard euro per jaar. Goed monitoren van de klimatologische omstandigheden in de stal en duidelijke protocollen kunnen deze bedragen nog naar beneden brengen.

Bij de adaptatierichting intensiveren gaat het om het nog meer implementeren van technische maatregelen in stallen om zo het risico van hittestress te beperken. Door adiabatische koeling (koeling door middel van verdamping), sprinklers en nauwkeurige klimaatbeheersing kan de thermische omgeving actief worden geregeld. Maar onder intensiveren valt ook meer innovatie bij bijvoorbeeld het voorspellen van hitteperiodes en het ondersteunen van dieren (bijvoorbeeld met voedingsondersteuning). Als dit soort maatregelen op grote schaal en consequent worden toegepast, kunnen de verliezen als gevolg van hittestress in stallen met 50 tot 80 procent verminderen. Het effect op buitendieren (grazend vee, paarden, scharrelpluimvee) blijft echter beperkt. Dus ook bij intensiveren blijven er restrisico's. Deze hebben een mogelijke totale economische schade tussen 0,1 en 0,4 miljard euro per jaar in 2050, en tussen de 0,1 en 0,6 miljard euro per jaar in 2100. Hiermee lijkt intensiveren dus iets effectiever dan de transformeren-aanpak. Nadelen zijn dat bij intensiveren een veehouder te maken heeft met hogere energie- en onderhoudskosten, en storingen tijdens hittegolven kunnen leiden tot plotselinge hoge verliezen, vooral bij het pluimvee.

16.2.3 Conclusies

Klimaatverandering kan grote effecten hebben op het welzijn en opbrengst van vee. Met de adaptatierichting transformeren zijn de risico's te beperken, maar het risico blijft met het sterk risicoverhogend klimaatscenario in de risicocategorie 'middel' (met een schade van 100 miljoen tot 1 miljard euro). Maatregelen zijn gericht op de aanleg van schaduw (bomen, schuilplaatsen) en betrouwbare toegang tot water voor grazend vee. Hoewel dit voordelen kan hebben voor landschap en dierenwelzijn is de effectiviteit van deze maatregelen minder consistent en langzamer dan technische systemen van de intensiveren-aanpak.
Met de adaptatierichting intensiveren is een hogere reductie mogelijk, – met name voor veehouderijen waarbij dieren binnen worden gehouden. Onder een sterk risicoverhogend klimaatscenario wordt het risico geschat op 'middel' (een schade van 100 miljoen tot 1 miljard) en onder een beperkt risicoverhogend scenario op 'laag' (<100 miljoen euro). De reductie wordt bereikt door stallen uit te rusten met mechanische ventilatie, verdampingskoeling (adiabatische koeling) en nauwkeurige monitoring. Alleen deze actieve koeling zou de klimaatrisico's met 50 tot 80 procent kunnen verminderen, zelfs tijdens extreme hitte.

17 Infrastructuur

- *Laag- en hoogwater komen in de toekomst vaker voor en leiden tot economische schade bij de binnenvaart. Deze schade hangt samen met de extra vaarreizen die binnenvaartschippers moeten maken, omdat ze bij een lage waterstand alleen kunnen varen met een verminderde beladingsgraad. Bij een sterke klimaatverandering kan het aantal dagen met een zeer lage afvoer (<850 m³/s bij Lobith) toenemen van gemiddeld 3 dagen per jaar in de huidige situatie tot 32 dagen in 2100. Een droogte die in het huidig klimaat eens in de 20 jaar voorkomt, kan in de toekomst met sterke klimaatverandering, eens in de 5 jaar (2050) of eens in de 2 jaar (2100) voorkomen. En waar de schade van zo'n droogte in de huidige situatie rond 288 miljoen euro zou zijn, kan die in 2050 oplopen tot zo'n 450 miljoen euro en in 2100 tot bijna 1 miljard euro. De totale schade kan aanzienlijk groter zijn, bijvoorbeeld door de schade bij de ontvangende industrie (productievermindering) of aanvullende onderhouds- of pompkosten of inspectie- en herstelkosten.*

- *De kans op hoogwater (> 5580 m³/s bij Lobith) komt in het scenario met sterke klimaatverandering ruim anderhalf keer vaker voor, van 7 dagen in de huidige situatie tot 11 dagen in 2050 en 21 dagen in 2100. De economische schade door extra varen via omleidingen vanwege hoogwater onder bruggen wordt momenteel en in de toekomst ingeschat als kleiner dan 100 miljoen euro. De totale schade kan vele malen groter zijn door stremmingen of herstelkosten. Gevolgschade bij de industrie is hier ook niet meegenomen.*

- *Het spoor krijgt in de toekomst vaker te maken met wateroverlast. Het gaat dan om grootschalige extreme regenval die kan leiden tot overstromingen en verzadiging van spoordijken. Het treinverkeer kan hierdoor langdurig verstoord raken. Richting 2050 kan de schade in het sterk risicoverhogend scenario oplopen van 100 miljoen euro tot meer dan 1 miljard. Richting 2100 zal de kans op deze overlast en schade toenemen.*

- *Ook het hoofdwegennet krijgt in de toekomst vaker te kampen met de gevolgen van overstromingen door grootschalige, hevige regenval. Deze zullen toenemen van middel (huidige situatie) naar groot in 2050 (bij scenario 'sterk') voornamelijk vanwege toename mobiliteit (42 procent stijging gebruik sterk, bij beperkt 11 procent). Hoewel alle klimaatdreigingen vaker zullen voorkomen wordt voor 2050 nog niet ingeschat dat ze van waarschijnlijkheidsklasse zullen veranderen, wel voor 2100. Verkeer op het hoofdwegennet krijgt ook vaker last van overstromingen door piekbuien; met name plasvorming en slecht zicht leiden tot gevaarlijke verkeerssituaties.*

- *Hittegolven leiden tot problemen met beweegbare bruggen die uitzetten en daardoor niet goed meer openen en sluiten. In de toekomst neemt het aantal aaneengesloten hittedagen toe, waardoor ook de hinder en economische gevolgen toenemen. Die economische gevolgen worden ook groter door een intensiever gebruik van de infrastructuur. Naast hitte neemt ook de kans op langdurige droogte toe, wat leidt tot ongelijke bodemdaling, en daardoor schade aan spoor en wegen. Daarnaast neemt de kans op bermbranden toe, met gevaar voor verkeer en omgeving.*

  Met een combinatie van maatregelen uit zowel de intensiveren- als de transformeren-aanpak kunnen kwetsbaarheden op korte termijn worden bepekt, en kan de blootstelling aan klimaatdreigingen op de lange termijn structureel worden verminderd. Maatregelen uit de intensiveren-strategie zijn bijvoorbeeld klimaatrobuust onderhoud, zoals vaargeulonderhoud; klimaatrobuuste renovatie en nieuwbouw, zoals het vergroten van drainagesystemen; en versterken van operationele processen, zoals het zorgen voor tijdelijke omleidingen. De transformeren-aanpak kan worden ingezet voor het versterken van netwerkredundantie, zoals het toevoegen van permanente alternatieve routes, en aanpassen door gebruikers (thuiswerken, vlootaanpassing). Bij transformeren wordt korte-termijn technische versterking

gecombineerd met planmatige, gefaseerde transformaties. Integraal gezien zijn de gevolgen van droogte op de vaarwegen het grootst, en zijn ook de maatregelen het meest kostbaar. Daarnaast zijn ook de gevolgen van grootschalige maatregelen voor de scheepvaart het grootste voor andere domeinen. Voor weg en spoor geldt dat, afhankelijk van de middelen (geld en ruimte) de gevolgen van klimaatverandering redelijk tot goed gemitigeerd kunnen worden.

Tabel 17.1
Totale risico's infrastructuur (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Infrastructuur	Impact groot, kans één op 10 tot 100 jaar	Impact groot, kans één op 10 tot 100 jaar	Impact groot, kans één op 10 tot 100 jaar	Impact midden, kans één op 10 tot 100 jaar

Toelichting op tabel 17.1
De grootste impact van klimaatrisico's binnen infrastructuur is economische impact: fysieke schade en maatschappelijke verliezen, door verschillende klimaatdreigingen die gevolgen hebben voor drie transportmodaliteiten: binnenvaart, weg en spoor. Afhankelijk van middelen en capaciteit voor adaptatie kan de effectiviteit groter of kleiner zijn.

De klimaatrisico's die ontstaan door alle verschillende klimaatdreigingen voor de drie modaliteiten (weg, scheepvaart en spoor) zijn hier samengenomen. Om tot deze classificering te komen zijn de gevolgen van de klimaatdreigingen uit dezelfde waarschijnlijkheidsklasse bij elkaar opgeteld, voor het totaal van de drie modaliteiten. Doordat de drie modaliteiten ieder aan een veelvoud van klimaatdreigingen wordt blootgesteld, zijn de totale risico's hoger dan wanneer de klimaatdreigingen afzonderlijk worden beschouwd.

Intensiverende maatregelen gaan uit van het doorgaan binnen de huidige systeemgrenzen. Onder intensiverende maatregelen vallen klimaatrobuust onderhoud, renovatie en nieuwbouw, en het versterken van operationele processen. Deze maatregelen verlagen risico's maar lossen ze niet structureel op. Transformerende maatregelen kijken breder naar het transportsysteem. Hieronder vallen het vergroten van netwerkredundantie (bijvoorbeeld door de aanleg, opwaardering of prioritering van andere routes) en maatregelen waarbij gebruikers zich aanpassen, zoals thuiswerken, of varen met een aangepaste vloot. Dit type maatregelen is ingrijpender, maar kan risico's effectiever verminderen.

Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op het achtergrondrapport van Deltares 'Klimaatrisico's en mogelijkheden adaptatie infrastructuur' (Deltares 2026e).

Tekstkader 17.1 Analyse in het kort
De studie is beperkt tot spoorwegen, hoofdwegen en hoofdvaarwegen. Het regionaal en stedelijk wegennet zijn niet in de analyse meegenomen.
Voor deze infrastructuuranalyse is gebruikgemaakt van de KNMI'23-klimaatscenario's, waarbij twee hoofdvarianten worden gehanteerd: een beperkt risico verhogend scenario (Ld en Ln) en een sterk risico verhogend scenario (Hd en Hn). De sociaal-economische ontwikkelingen bijvoorbeeld met betrekking tot de trend goederenvervoer zijn in de contextscenario's toegepast zoals in bijlage 3.

De risico's zijn uitgedrukt in kans- en impactklassen, met een nadruk op technische en ruimtelijke aspecten van infrastructuur, zoals wegen, spoor en tunnels. De kansen en gevolgen van de klimaatdreigingen zijn ingeschat met expert judgement en waar beschikbaar gestaafd met bestaande data en modellen. Om schijnnauwkeurigheid te vermijden worden de risico's geplaatst in de klasse-indeling 'waarschijnlijkheid' en 'impact' (een vak volgens de classificering van de PBL-risicomatrix, zie figuren 17.1 tot 17.3), en daarbinnen niet nader gespecificeerd.
Kansen zijn ingeschat als de kans dat de klimaatdreiging zich ergens in Nederland op het betreffende infrastructuurnetwerk voordoet met een intensiteit die kan leiden tot de gevolgen in een bepaalde gevolgklasse. Opgemerkt wordt dat de kans dat een klimaatdreiging zich ergens in Nederland voordoet groter is dan dat deze klimaatdreiging zich op een bepaalde plek voordoet. Per risico zijn alleen die met de grootste gevolgen weergegeven. In de matrices (figuur 17.1 tot 17.3 en ook Bles et al. 2026) wordt de verschuiving van een risico in de huidige situatie naar de toekomst weergeven. Zo zal bijvoorbeeld een hevige bui in de toekomst vaker gaan voorkomen en zullen de gevolgen groter zijn. Voor het identificeren van de belangrijkste risico's per modaliteit hebben we ons gebaseerd op eerder gedefinieerde klimaatdreigingen en uitgevoerde risicoanalyses per modaliteit (Moghtaderi Asr & van der Mark 2025; Bles et al. 2025; ProRail 2022).
Bij de inschatting van de klimaatrisico's bij huidig beleid is al het beleid voor het hoofdwegen, hoofdvaarwegennet en hoofdspoorwegennet meegenomen dat was vastgesteld, gefinancierd en geïnstrumenteerd.
In de studie ligt de focus vooral op operationele maatregelen en beheer, waarbij de socio-economische context minder uitgebreid is meegenomen. Complexe risico's worden erkend, maar minder diepgaand uitgewerkt. De beleidscontext en maatschappelijke aspecten, zoals de verdeling en beleving van risico's en de maatschappelijke weerbaarheid, zijn minder prominent aanwezig. De tijdshorizon is 2050 en 2100.
Er is geen inschatting gemaakt van de klimaatrisico's na uitvoering van de maatregelen in de verschillende adaptatierichtingen.

17.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Het huidige Nederlandse klimaatadaptatiebeleid voor infrastructuur en mobiliteit is gericht op het toekomstbestendig maken van vitale netwerken zoals wegen, spoorwegen en waterwegen.

Om in 2050 klimaatbestendig en waterrobuust te zijn, stelt het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie een methodiek voor met stresstesten, risicodialogen en het opstellen van een uitvoeringsagenda. Hierin zijn overheden, infrabeheerders en private partijen gezamenlijk verantwoordelijk voor het klimaatbestendig en waterrobuust inrichten van infrastructuur.
Dit gebeurt onder meer door het uitvoeren van stresstesten, monitoren van klimaateffecten op infrastructuur, verkeersmanagement, integreren van adaptatie in assetmanagement zoals in beheer- en onderhoudsplannen, het ontwikkelen van innovatieve materialen en technieken (zoals hittebestendig asfalt), en het anticiperen op extremere weersomstandigheden in ontwerp en planning van mobiliteitsnetwerken. Volgend op de stresstesten die zesjaarlijks worden uitgevoerd (update in 2026) stellen Rijkswaterstaat en ProRail uitvoeringsagenda's voor klimaatadaptatie op. Rijkswaterstaat doet dit hoofdzakelijk in het programma Klimaatbestendige Netwerken (KBN), waar het hoofdvaarwegennet en het hoofdwegennet onder vallen. Prorail doet dit voor het hoofdspoorwegennet.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft hierin een coördinerende rol, onder

meer via het Nationaal Kennis- en Innovatieprogramma Water en Klimaat (NKWK) en de Klimaatadaptatieagenda Mobiliteit. Spoor, weg en vaarwegen maken onderdeel uit van de Nationale Adaptatie Strategie (NAS) en diens uitvoeringsagenda, het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUPKA).

Binnen Rijkswaterstaat is een Topkader Klimaatadaptatie ontwikkeld (Boomsma et al. 2024). Hierin wordt beschreven dat de nieuwe klimaatscenario's moeten worden toegepast in de ontwerpnormen als er een nieuwe infrastructuur wordt aangelegd of infrastructuur wordt vervangen. Ook is er in de Bestuursraad van het ministerie van IenW (IenW 2024a) ingestemd met de beleidsrichting om in 2050 dezelfde mate van beschikbaarheid van het hoofdwegennet te hebben, en er geen groter veiligheidsrisico is dan in 2020.

Voor enkele specifieke processen zijn ontwerpnormen al aangepast om ook bij een veranderend klimaat gelijkblijvende prestaties te verwachten. Zo is bijvoorbeeld bij Rijkswaterstaat in RTD 1008:2016, Eisen hemelwaterafvoer van wegen en kunstwerken van Rijkswaterstaat, uitgegaan van een worst case klimaatverandering tot 2050. De voorgeschreven regenduurlijnen zijn daarop aangepast. Ook bij het ontwerp en onderhoud van bruggen wordt rekening gehouden met meer extreme (warme) temperaturen. Deze aanpassingen zullen langzaam hun weg vinden naar de praktijk, via de asset management cyclus. Als infrastructuur wordt onderhouden of aangelegd worden deze nieuwe klimaatdata gebruikt voor het ontwerp.

Nederland dient zich qua vaarwegafmetingen te houden aan internationale afspraken, vastgelegd in de TEN-T-verordening en de protocollen van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR). In de nieuwe TEN-T-verordening staat dat lidstaten moeten voorkomen dat de bevaarbaarheid verslechtert. Ook voor alle TEN-T-corridors via weg en spoor is klimaatadaptatie verplicht gesteld. Wat dit voor Nederlandse (vaar)wegen en spoor betekent, is nog niet definitief vastgesteld.

Overstroming door doorbraak primaire dijken

Een van de meest ingrijpende risico's voor infrastructuur is een overstroming door een dijkdoorbraak, zowel van primaire als regionale dijken. Hoewel de kans op een primaire dijkdoorbraak klein is, zijn de gevolgen extreem: grote delen van Nederland kunnen onder water komen te staan, wat leidt tot grootschalige schade aan infrastructuur, slachtoffers en langdurige herstelwerkzaamheden.

Deze klimaatrisico's worden beschreven bij het hoofdstuk waterveiligheid, alle andere klimaatrisico's komen in dit hoofdstuk aan de orde.

17.1.1 Goederenvervoer over vaarwegen

Nederland, als handelsland, is kwetsbaar voor verstoringen in vervoer van goederen over de weg, het spoor en de vaarwegen.

Economische schade voor goederentransport over vaarwegen door laag- en hoogwater

Zowel periodes met laagwater als hoogwater op de hoofdwateren kunnen economische schade toebrengen aan de binnenvaart. Wanneer er bijvoorbeeld een langere periode van droogte is (weinig neerslag of waterbeschikbaarheid in het stroomgebied van Rijn of Maas al dan niet in combinatie met hoge verdamping) kan dit leiden tot langdurige periodes van lage rivierafvoer. Dergelijke droogte beïnvloedt de bevaarbaarheid van nagenoeg alle vaarwegen. Een droge periode houdt vaak lang aan (weken tot zelfs maanden). Dit in tegenstelling tot hoogwater, wat ook de

bevaarbaarheid beïnvloedt, maar een kleiner gebied betreft en vaak van kortere duur is.

De grootste impacts op de scheepvaart zijn een toename in transportkosten, toename in wachttijden en vertragingen, verminderde nautische veiligheid, vracht die achterblijft, toename van brandstofverbruik en emissies. Vaarkosten en brandstofverbruik nemen toe doordat meer er schepen en reizen nodig zijn. Langere wachttijden bij sluizen, stremmingen en vertragingen onderweg of bij overslag zorgen voor langere transporttijden. Dit wordt bij droogte versterkt door maatregelen om zoutindringing tegen te gaan, zoals het sluiten van sluizen, die de vaarkosten verder verhogen. De capaciteit van de beschikbare vloot is ook gelimiteerd. Transportkosten en/of opslagkosten nemen toe als vracht achterblijft en getransporteerd wordt via een andere modaliteit (spoor en weg). Tijdelijke overslag op spoor of weg tijdens droogte is echter beperkt mogelijk vanwege een lage capaciteit op deze netwerken en inflexibel spoorvervoer (Van Meijeren & Harmsen 2020). Daarnaast zijn grote hoeveelheden bulkgoederen moeilijk per container te vervoeren. De verminderde bevaarbaarheid bij droogte en hoogwater en daarmee de gevolgen voor en reactie van de scheepvaart zorgen voor cascade-effecten bij de ontvangers van de te vervoeren vracht. Er zit enige redundantie bij de gebruikers van de lading (industrie, bouw, bedrijven), die tijdens een periode van droogte voorraden heeft, en wat voldoende kan zijn voor kortstondig hoogwater. Maar als de droogte te lang duurt en de voorraden opraken, raakt dit de industrie. Uiteindelijk raakt dit ook de burger doordat prijzen toenemen en producten niet meer beschikbaar zijn. De maatschappelijke impact is dus vaak pas na enige tijd merkbaar, maar kan bij lang aanhoudende droogte ontwrichtend worden.
Na afloop van een droogteperiode zijn inspectie- en mogelijk herstelwerkzaamheden aan de vaarweg-gebonden infrastructuur noodzakelijk. Denk hierbij aan scheuren in dijken, onderhoud aan oevers of kribben of verzakkingen langs de vaarweg.

Bij hoogwater minder toename kosten voor verladers en ontvangers, hogere herstelkosten

Hoogwater zorgt voor vergelijkbare gevolgen en reacties als bij droogte: verminderde bevaarbaarheid tijdens en na hoogwater en daarmee de gevolgen voor en reactie van de scheepvaart. Hoogwater zorgt net als bij droogte voor cascade effecten bij de ontvangers van de te vervoeren vracht. De cascade-impact van vertraagde goederen bij hoogwater zal in het algemeen kleiner zijn vanwege de kortere duur van de gebeurtenis. Industrie, winkels en bouwplaatsen zullen enige voorraad hebben en nog een tijdje kunnen doorwerken voordat de verminderde aanvoer druk op de productie gaat uitoefenen.

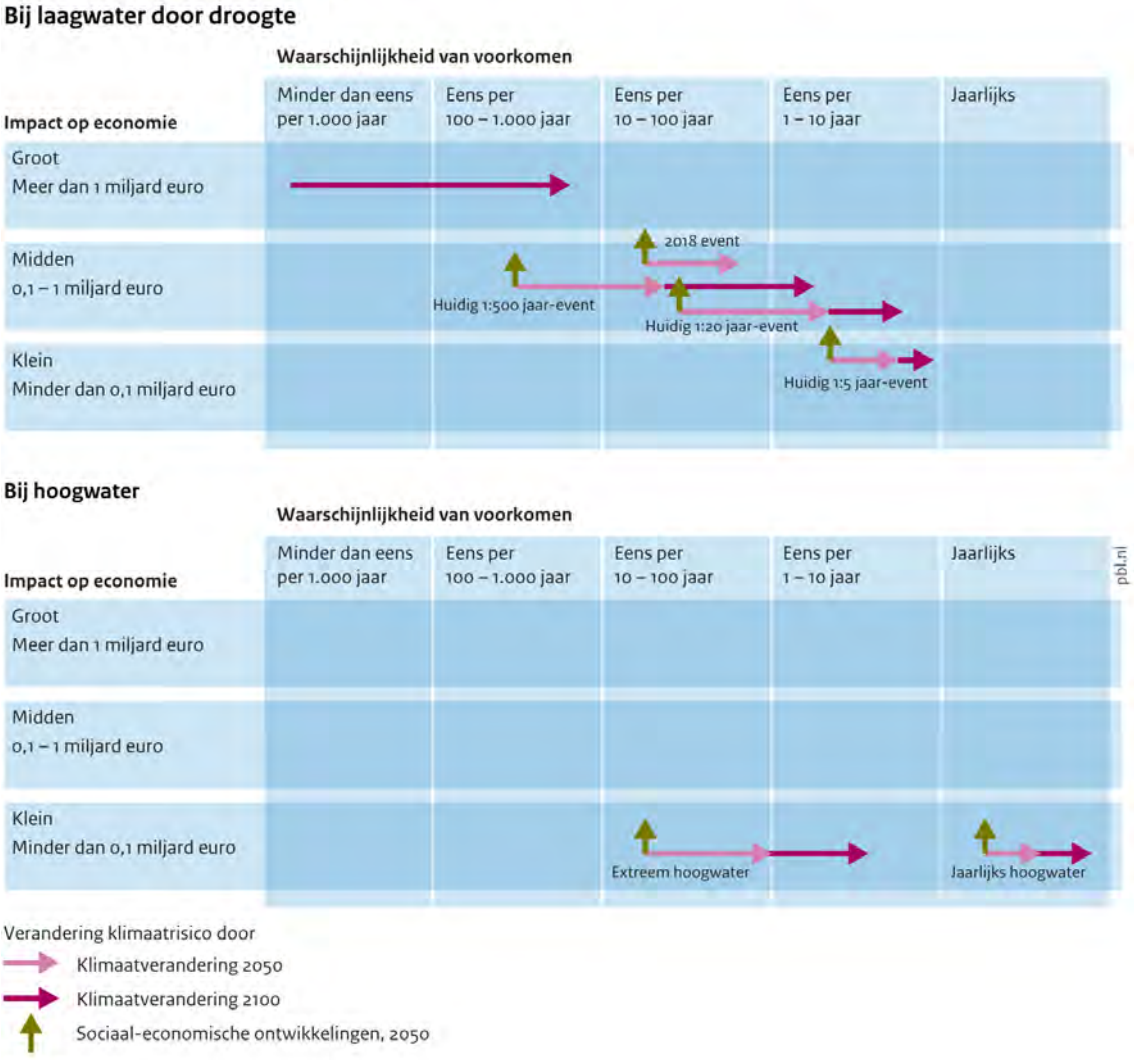
De eventuele infrastructurele fysieke schade, veroorzaakt door hoogwater en drijfvuil aan de vaarweginfrastructuur, zoals oevers, kades en kunstwerken wordt echter groter ingeschat dan bij droogte. Dit leidt tot mogelijke herstelwerkzaamheden, en potentiële stremmingen of andere hinder voor scheepvaart na afloop. Het herstel ervan kan lang duren en daardoor ook economische en maatschappelijke gevolgen hebben. Als één sluis door extreem hoogwater beschadigd raakt en langdurig wordt gestremd, kan dit lang doorwerken in het vaarwegennetwerk en de logistieke keten, en enorme economische gevolgen hebben vanwege de vaak beperkte omvaarmogelijkheden.

Zowel de kans op extreem hoogwater en jaarlijks hoogwater zal toenemen. De kans op hoogwater (debiet > 5580 m^3/s bij Lobith) neemt in het scenario met sterke klimaatverandering toe richting 2050 met een factor 1.6 (11 dagen) en een factor 3 in 2100 (21 dagen) voor een gemiddeld jaar. Bij beperkte klimaatverandering ligt de toename tussen factor 1 en 2 (Van der Wijk en de Jong 2021). Omdat de gevolgen van een hoogwater event beperkt zijn (schade door beperkingen in doorvaarthoogte bij bruggen 100 miljoen euro), wordt verwacht dat deze in de categorie ‘kleiner’ blijven. De

economische schade door extra varen vanwege hoogwater onder bruggen wordt momenteel en in de toekomst ingeschat als kleiner dan 100 miljoen euro voor een hoogwater-event.

Figuur 17.1

Verschuiving klimaatrisco's hoofdvaarwegen van 2025 tot 2050, en 2100 (contextscenario sterk)



Bron: Bles et al. 2026

Bij frequente beperkingen scheepvaart, heroverweging transportsector shift naar spoor, weg of pijpleiding

De verminderde bevaarbaarheid tijdens en na hoogwater en droogte en de gevolgen voor en reactie van de scheepvaart, zorgen zoals gezegd voor cascade-effecten bij de ontvangers van de te vervoeren vracht. Vertragingen in de aanvoer en doorvoer van goederen kunnen leiden tot verstoring van productieprocessen van de industrie. Gebeurt dit te vaak (verstoring door hoogwater én droogte), dan zal de industrie het transport over water gaan heroverwegen.

Een omkeerpunt voor het transport over water kan plaatsvinden wanneer de logistieke sector of industrie de vaarwegen als te onbetrouwbaar gaat zien, en andere keuzes gaat maken. Er kan gekozen worden voor permanent een andere modaliteit (weg, spoor, pijpleiding), aanvoer via een andere zeehaven of route, en verplaatsen van de industrie naar een beter bereikbare locatie. Dit heeft

economische en maatschappelijke gevolgen. De maatschappelijke kosten per tonkilometer van de binnenvaart liggen ruim twee keer lager dan van het wegtransport (CE Delft). In Europa en Nederland is er daarom de ambitie om transport juist van weg naar water te verplaatsen.

Laag- en hoogwater leidt in de binnenvaart dus tot meerdere schadeposten, en die kosten liggen bij verschillende partijen. In feite dienen alle verschillende posten gesommeerd te worden. Eerder genoemde kosten voor extra vaarwegonderhoud, schade voor de scheepvaart door toekomstige adaptatie ten behoeve van zoetwaterbeschikbaarheid (aanleg sluizen, afwikkeling in haven) en door toekomstige ingrepen voor Ruimte voor de Rivier 2.0, zijn niet meegenomen bij de inschatting van de schade, maar kunnen in de miljoenen of zelfs miljarden lopen.

Samenhang, keuzes zoetwaterverdeling en waterveiligheid

Tijdens droogte neemt de zoutindringing toe. Het zoet houden van Noord- en West-Nederland is nu al moeilijk en wordt in de toekomst met zeespiegelstijging, met een grotere watervraag en met lagere rivierafvoeren een steeds grotere opgave. Dit kan de scheepvaart meer en meer raken.
Om de zoetwaterbeschikbaarheid in de Rijn-Maasmonding in een toekomstig klimaat op de lange termijn te garanderen, worden verschillende bouwstenen en strategieën verkend (Vuik et al. 2025). Sommige daarvan hebben grote negatieve effecten op de zeevaart en/of binnenvaart, zoals het verondiepen of tijdelijk afsluiten van riviertakken, de bouw van schutsluizen voor zeevaart of binnenvaart (in combinatie met zoutkeringen) of een geheel gesloten strategie waarbij zeeschepen niet het afgesloten binnenland kunnen bevaren en overslag van zeevaart naar binnenvaart in de haven rigoureus anders zou moeten.
Als er bijvoorbeeld voor waterbeschikbaarheid en voor de veiligheid van west-Nederland, voor gekozen wordt om de Nieuwe Waterweg af te sluiten, zou dat betekenen dat de open verbinding van zee naar de haven van Rotterdam verdwijnt. Scheepvaart moet zich dan anders gaan organiseren met overslag naar binnenschepen op de Maasvlakte. Er vindt dan een verschuiving plaats van havens in het binnenland naar de Maasvlakte, zodat zeeschepen niet meer zo ver hoeven en de diepgang ook minder kan. Het vervoer van lading naar het achterland zal hierdoor dus complexer worden, meer tijd vragen en duurder worden. Een dergelijke keuze zal moeten worden beoordeeld in samenhang met de logistiek en operationele aspecten om de Rotterdamse haven te kunnen doen functioneren (KPZS 2024).

Bij de integrale opgave van de inrichting van het rivierengebied, opgepakt in Ruimte voor de Rivier 2.0, moeten keuzes worden gemaakt om in de toekomst om te kunnen gaan met zowel extremere hoogwaters als extremere laagwaters, inclusief de opgave van zoetwaterbeschikbaarheid. Ook deze keuzes gaan de scheepvaart zeker raken. De economische en maatschappelijke impact van toekomstige ontwikkelingen op de scheepvaart (en gevolgen van een negatieve *modal shift*) dient in alle opgaven meegewogen te worden. Onzekerheid over de toekomstige keuzes die de bevaarbaarheid raken, leidt tot zorgen in de binnenvaartsector en de industrie die afhankelijk zijn van transport over water.

17.1.2 Spoorwegen

Verzadiging en wateroverlast zorgen voor baanvakinstabiliteit en ondergelopen tunnels

Voor het spoor is het een groot risico dat wateroverlast en langdurige verzadiging van het spoorweglichaam leiden tot ernstige verstoringen en schade. Dit risico heeft verschillende aan klimaat gerelateerde oorzaken, zoals hevige regenval, grootschalige overstromingen als gevolg van die regenval, en langdurige natte periodes. Wanneer het spoor langdurig nat blijft, raakt de ondergrond

verzadigd met water, waardoor de stabiliteit van het spoor in gevaar komt. Dit kan leiden tot verzakkingen, scheuren en instabiliteit van het baanlichaam, waardoor het spoor onveilig wordt en treinen niet meer veilig kunnen rijden. De gevolgen hiervan zijn groot: vertragingen, uitval van treindiensten, verhoogde onderhouds- en herstelkosten en een verminderde betrouwbaarheid van het spoorwegnet.

Met name kritieke onderdelen van het spoor, zoals tunnels, emplacementen en spoorbruggen, zijn extra kwetsbaar voor wateroverlast. Tunnels kunnen onder water lopen en water kan in technische ruimtes binnendringen, wat leidt tot uitval van signalerings- en beveiligingssystemen. Emplacementen, waar veel wissels en seinen samenkomen, zijn gevoelig voor wateroverlast die de werking van deze systemen kan verstoren. Spoorbruggen kunnen door verzadiging van de ondergrond en waterdruk beschadigd raken, wat de veiligheid en het treinverkeer ernstig bedreigt. Deze kwetsbare onderdelen zijn vaak knooppunten in het netwerk, waardoor uitval of schade hier grote regionale of zelfs landelijke gevolgen kan hebben.

Op het spoor zullen zowel de gevolgen van overstroming door hevige regenval als vernatting van de ondergrond toenemen richting 2050. De schade kan in 2050 bij voortzetting van het huidig beleid oplopen van 100 miljoen tot meer dan 1 miljard euro (zie figuur 17.2). De grootte van de schade hangt samen met de toename van gebruik van het spoor (78 procent stijging van het personenvervoer volgens contextscenario sterk, en 27 procent bij contextscenario beperkt (zie bijlage 3)) en een toename van het aantal verdiepte liggingen en tunnels, vanwege meer druk op de ruimte. De kansen op deze schade veranderen tot 2050 niet significant, richting 2100 wel (zie figuur 17.2). Tot 2050 is de kans eens per 10-100 jaar en rond 2100 eens per 10 jaar.

Droogte kan leiden tot instabiliteit van baanlichaam en daarmee tot schade en langdurige verstoring treinverkeer

Langdurige droogte kan leiden tot ongelijke bodemdaling, waarbij de grond onder het spoor wegzakt of scheurt. Dit vermindert de stabiliteit van het spoor en kan leiden tot gevaarlijke situaties en noodzakelijke stilleggingen voor reparaties. Daarnaast verhoogt droogte het risico op bermbranden langs het spoor. Droge vegetatie kan gemakkelijk vlamvatten, wat niet alleen gevaarlijk is voor de omgeving, maar ook kan leiden tot stremmingen en vertragingen in het treinverkeer.
Een instabiel en/of verzakt baanlichaam leidt tot significante schade en langdurige verstoring van het treinverkeer. Bij voortzetting van het huidig beleid varieert de schade rond 2050 tussen de 100 miljoen en 1 miljard. De kans dat die schade zich voordoet is vanaf 2050 ongeveer eens per 50 jaar. De kans op een dergelijke droogte neemt toe, en zal in 2100 mogelijk opschuiven naar eens in de 10 jaar (zie ook figuur 17.2).

Hitte en stormen

Andere risico's voor het spoor komen voort uit hitte en stormen. Bij hoge temperaturen tijdens hittegolven zetten spoorbruggen en bovenleidingen uit, wat kan leiden tot mechanische problemen zoals het niet goed sluiten van beweegbare bruggen of het falen van bovenleidingen. Deze problemen veroorzaken lokale verstoringen en kunnen de doorstroming van het treinverkeer belemmeren. Daarnaast kunnen hittegolven leiden tot gezondheidsproblemen bij personeel, wat indirect de operationele capaciteit van het spoor beïnvloedt.
Stormwinden tijdens extreme neerslag/ zijn ook een terugkerend risico. Ze kunnen bomen omverwerpen of voorwerpen op het spoor doen belanden, wat gevaarlijke situaties oplevert en het treinverkeer kan stilleggen. Hoewel deze gebeurtenissen vaak lokaal zijn, kunnen ze door de dichtheid van het spoorwegnet en de afhankelijkheid van kritieke verbindingen toch grote impact hebben.

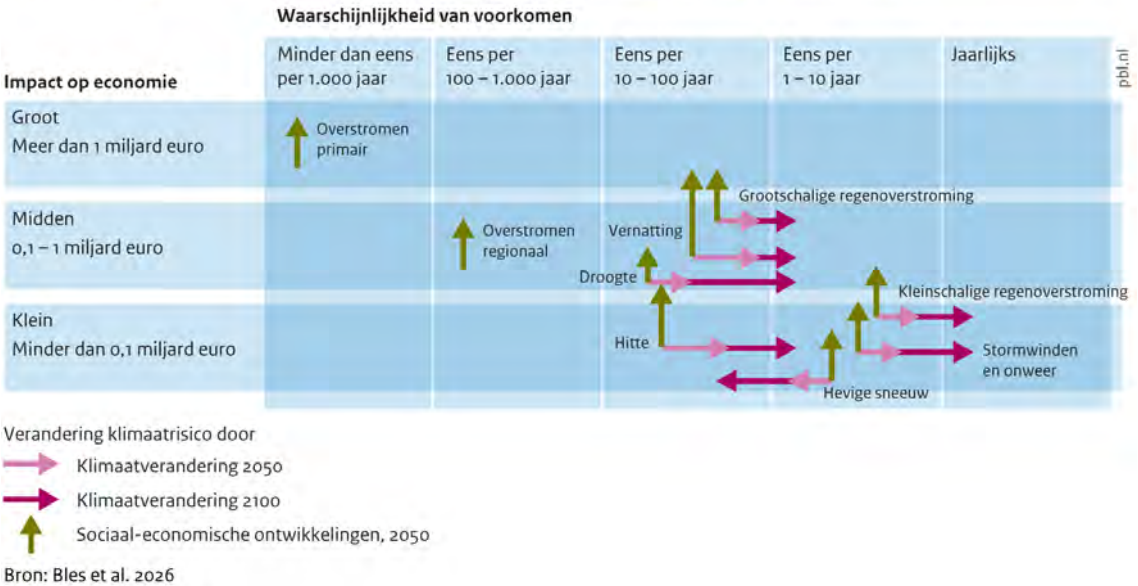
Toekomstige risico's bij alleen huidig beleid: maatregelen en gevolgen

Bij voorzetting van het huidig beleid ligt de focus op onderhoud en herstel van de spoorinfrastructuur, met maatregelen zoals drainageverbeteringen en technische versterkingen om uitval door extreme weersomstandigheden te beperken. Ondanks deze inspanningen blijven de gevolgen aanzienlijk. De klimaatdreigingen kunnen leiden tot grote verstoringen, veiligheidsproblemen en economische schade. Gezien de verwachte toename van extreme weersomstandigheden is het essentieel om hierop te anticiperen met gerichte adaptatiemaatregelen om de betrouwbaarheid en veiligheid van het spoor in de toekomst te waarborgen.
Voor de verzakkingen van het spoor zullen langdurige herstelwerkzaamheden nodig zijn, met overeenkomstige hogere kosten. Die verzakkingen kunnen zoals hierboven uitgelegd veroorzaakt worden door verzadiging door wateroverlast (te langdurig water) maar ook door droogte. De combinatie van klimaatdreigingen kan leiden tot aanvullende risico's en verstoringen. Daarnaast vergroot uitval van stroom- en telecomvoorzieningen de kans op cascade-risico's waarbij meerdere systemen tegelijk falen. De combinatie van klimaatrisico's wordt versterkt door de toenemende frequentie en intensiteit van extreme weersomstandigheden als gevolg van klimaatverandering. Zo kunnen bijvoorbeeld langdurige natte periodes gevolgd worden door hevige piekbuien, wat de kans op verzadiging en wateroverlast vergroot. Ook kunnen droogte en hitte elkaar versterken, waardoor de kwetsbaarheid van het spoor toeneemt.

De impact van deze risico's is niet alleen fysiek en technisch, maar ook maatschappelijk. Vertragingen en uitval van treindiensten hebben gevolgen voor forenzen, bedrijven en logistieke ketens. Goederenvervoer raakt verstoord, wat leidt tot economische schade en mogelijke verschuivingen naar minder duurzame vervoerswijzen. Daarnaast kunnen veiligheidsrisico's toenemen door falende systemen en infrastructuur.

Figuur 17.2

Verschuiving klimaatrisco's spoorwegennet van 2025, tot 2050, en tot 2100



Bron: Bles et al. 2026

17.1.3 Hoofdwegennet

Bij voortzetting van het huidig beleid bestaat het pakket aan maatregelen uit regulier onderhoud, renovatie en verbeteringen aan afwateringssystemen om schade door hitte, droogte en wateroverlast te beperken.

Klimaatrisico's voor het hoofdwegennet zijn een complexe bedreiging

De risico's voor het hoofdwegennet door klimaatverandering zijn talrijk en complex, en vormen een aanzienlijke bedreiging voor de continuïteit en veiligheid van de infrastructuur. Het hoofdwegennet is kwetsbaar voor diverse klimaatdreigingen, waaronder overstromingen, hittegolven, droogte en extreme neerslag. Deze dreigingen kunnen zowel directe schade veroorzaken als leiden tot bredere maatschappelijke verstoringen door keteneffecten. Verstoring of schade op kritieke locaties kan leiden tot stremmingen, lange omrijdtijden en belemmering van hulpdiensten, met negatieve gevolgen voor bereikbaarheid en verkeersveiligheid. Ook zonder fysieke schade kunnen klimaatdreigingen zoals hevige neerslag leiden tot hinder en ongevallen, wat direct impact heeft op de veiligheid en het comfort van de weggebruiker.

Extreme neerslag heeft grote impact op wegen en tunnels

Extreme neerslag kan leiden tot grootschalige overstromingen en vormt daardoor een directe bedreiging voor het wegennet. Bij dergelijke overstromingen, zoals die in Limburg in 2021, kunnen zowel hoofdwegen als onderliggende netwerken tegelijk onderlopen. Tunnels en verdiepte wegen zijn hierbij kwetsbaar, wat kan leiden tot grote verkeersproblemen, onbereikbaarheid van hulpdiensten en schade aan technische installaties. Lokale piekbuien kunnen leiden tot kleinschalige overstromingen en komen steeds vaker voor. Ze veroorzaken lokale plasvorming, slecht zicht en gevaarlijke verkeerssituaties, vooral in tunnels en lagergelegen wegen.

Hitte, droogte en sneeuw zijn risico voor de infrastructuur en het hoofdwegennet

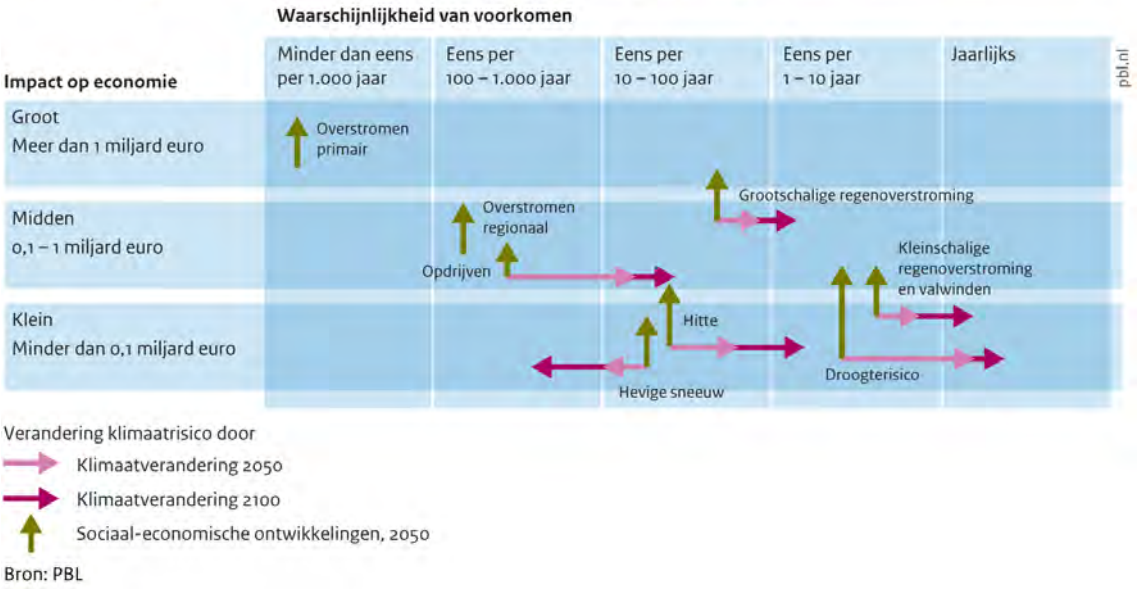
Hittegolven vormen, zoals al toegelicht bij de paragraaf over vaarwegen, een risico voor beweegbare bruggen, die kunnen uitzetten en daardoor niet goed meer sluiten. Hierdoor ontstaat lokale verkeershinder, vooral op drukke routes. Hittegolven veroorzaken ook verzachting en vervorming van asfalt, wat leidt tot spoorvorming en verminderde verkeersveiligheid.
Droogte veroorzaakt inklinking en scheurvorming in klei- en veengebieden, wat de stabiliteit van de wegen aantast. Langdurige droogte versterkt bodemdaling, wat schade aan wegen kan veroorzaken, en verhoogt het risico op bos- en bermbranden.
Sneeuwval kan grote delen van het land ontregelen met gladheid, slecht zicht en slipgevaar, wat leidt tot ongevallen en vertragingen. Daarnaast vergroten vorst- en dooiwisselingen in overgangsseizoenen de onderhoudsbehoefte. Dit zal in de toekomst steeds minder voorkomen.

De economische en maatschappelijke gevolgen van deze risico's zijn aanzienlijk. Verstoringen kunnen leiden tot lange omrijdtijden, belemmering van hulpdiensten, verlies van productiviteit en hogere onderhoudskosten. De kwetsbaarheid van het netwerk wordt verder vergroot door de afhankelijkheid van elektriciteit voor verkeerslichten, tunnels en pompen, wat betekent dat een stroomuitval leidt tot uitval van kritieke infrastructuur.

De combinatie van klimaatdreigingen, de gelijktijdigheid en de schaal waarop deze kunnen optreden, beïnvloeden de gevolgen. Afhankelijk van welke objecten of verbindingen geraakt worden, hoelang dit duurt en of er goede omreisroutes zijn, bepaalt of gevolgen groter of kleiner zijn.

Figuur 17.3

Verschuiving klimaatrisco's hoofdwegennet van 2025, tot 2050, en tot 2100



Bron: PBL

17.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren

Er zijn veel maatregelen mogelijk om de risico's van klimaatverandering voor spoor, weg en vaarwegen te verkleinen. Deze maatregelen kunnen worden geclusterd in vijf groepen, die weer grofweg zijn te verdelen in de adaptatierichtingen 'intensiveren' en 'transformeren' (zie tabel 17.4). Onder intensiveren wordt intensiveren van de huidige strategie verstaan, waarin het netwerk en huidig gebruik steeds verder opgerekt worden om meer gebruikers te kunnen accommoderen. De andere strategie is transformeren, waarin het huidige transportnetwerk en ook het gebruik ervan anders worden ingericht.

In de adaptatierichting intensiveren wordt de bestaande infrastructuur technisch versterkt om vergroting van het risico door klimaatverandering te beperken, zonder fundamentele wijzigingen in het netwerkontwerp of de ruimtelijke inrichting. Deze aanpak is gericht op het behoud van de huidige functionaliteit en kwaliteitsnormen via verbeteringen in materialen, constructies en beheersystemen die aan die normen moeten voldoen.
Dit betekent bijvoorbeeld 'klimaatrobuust onderhoud'; de infrastructuur wordt regelmatig aan kwalitatief goed onderhoud onderworpen, zodat ze infrastructuur functioneert waarvoor ze is ontworpen. Het gaat bijvoorbeeld om bermonderhoud (maaien helpt tegen branden, plasvorming, instabiliteit en verhoogt bovendien veiligheid en biodiversiteit), schoonhouden van afvoeren van regenwater, en optimaliseren van baggeren bij vaarwegen. Goede onderhoud is daarmee als preventieve adaptatie de basis van klimaatbestendige infrastructuur.
Ook klimaatrobuuste renovatie en nieuwbouw is preventieve adaptatie: structurele aanpassingen van de fysieke infrastructuur zelf om specifieke onderdelen weerbaarder te maken tegen

klimaatrisico's. Deze aanpassingen worden idealiter gedaan bij aanleg en bij groot onderhoud of rehabilitatie. Het gaat bijvoorbeeld om het vergroten van drainagesystemen om grotere volumes water te kunnen afvoeren, en aanpassen van de kade-infrastructuur van binnenhavens om de lading bij langdurige periodes van droogte beter te kunnen afwikkelen. Ook de aanpassing van schepen tot laagwaterschepen, die ook bij ondieper water kunnen varen, kan de economische risico beperken. Een meer reactieve vorm van adaptatie is het versterken van operationele processen om de gevolgen van bijvoorbeeld extreem weer te beperken, zoals tijdelijke omleidingen of verminderde service; deze hebben lage kosten en toch baten. Klimaatrobuust onderhoud verlaagt het risico effectief naar het doelniveau waarvoor deze infrastructuur is ontworpen, maar niet meer dan dat. Daardoor is er in de toekomst mogelijk een hoger risico door klimaatverandering. Klimaatrobuuste renovatie en nieuwbouw is de enige maatregel die de fysieke kwetsbaarheid van de infrastructuur echt verlaagt. Afhankelijk van richtlijnen waaronder gebouwd wordt, en de hoeveelheid van maatregelen die wordt ingezet blijft er ook hierbij een restrisico. Keuze voor klimaatrobuuste aanleg en onderhoud betekent dat er een langjarig beslag op de ruimte wordt gelegd, met mogelijk ook invloed op andere ruimtelijke keuzes. Denk aan aanleg van hoge bruggen in plaats van tunnels. Versterken van operationele processen kan effectief zijn om de gevolgen te verkleinen en veerkracht van het transportsysteem te vergroten. Maar dit verkleint niet de kwetsbaarheid van het systeem.

Bij de transformeren-aanpak gaat het om het versterken van netwerkredundantie en adaptatie door gebruikers (tabel 17.2). Gebruikers kunnen bijvoorbeeld kiezen voor een alternatieve route, maar deze vorm van adaptatie is niet effectief bij een klimaatdreiging die meerdere verbindingen, meerdere modaliteiten, of het hele netwerk betreft. Bestaande kritieke plekken kunnen minder kritiek gemaakt worden, bijvoorbeeld wanneer er een alternatieve route langs een tunnel wordt aangelegd (die kwetsbaar is tijdens extreme buien). Adaptatie door gebruikers kan zeer effectief zijn, zeker voor korte gebeurtenissen (minder dan een dag). De impact van extreem weer kan dan sterk verminderd worden, maar deze aanpassing is geen fysieke maatregel. Voor vaarwegen geldt dat als de *supply chain* en vloot zich goed aanpassen, én de infrastructuur wordt aangepast aan een nieuwe vloot en logistieke afhandeling, laagwater op de rivier niet tot onacceptabele gevolgen hoeft te leiden.

Tabel 17.2
Maatregelen intensiveren en transformeren met voorbeelden

Intensiveren	**Transformeren**
Klimaatrobuust onderhoud	*Versterken van netwerkredundantie*
Voorbeelden:	Voorbeelden:
Spoor en weg: onderhoud aan regenwaterafvoersysteem of berm	Spoor en weg: toevoegen van permanente alternatieve routes
Vaarwegen: vaargeulonderhoud/baggeren	Vaarwegen: vergemakkelijken *modal shift*
Klimaatrobuuste renovatie en nieuwbouw	*Adaptatie door gebruikers*
Voorbeelden:	Voorbeelden:
Spoor en weg: verhogen van kwetsbare installaties om schade door wateroverlast te beperken, vergroten van drainagesystemen	Spoor en weg: thuiswerken of gebruik maken van permante omleiding
Vaarwegen: verlagen sluisdrempels, aanpassen kades	Vaarwegen: aanpassen voorraadbeheer
Versterken van operationele processen	
Voorbeelden:	
Spoor en weg: tijdelijke omleidingen	

Vaarwegen: verkeersmanagement bijvoorbeeld systemen om wachttijden bij sluizen te minimaliseren

17.3 Conclusies

Combinatie intensiveren met transformeren levert grootste risicoreductie op

Een goede onderhoudsstatus is de basis van klimaatbestendige infrastructuur, maar onderhoud is bij sterke klimaatverandering nooit voldoende. Dan zullen er ook andere maatregelen toegepast moeten worden om de klimaatbestendigheid te behouden. De maatregelen uit de intensiveren- en transformeren-aanpak vullen elkaar aan.

Vanwege lange levensduur van infrastructuur nu beginnen

Infrastructuur gaat lang mee. Nadenken over de juiste klimaatadaptatie is daardoor juist bij infrastructuur erg belangrijk, ruim voordat er in wordt geïnvesteerd. Daarbij speelt ook dat infrastructuur natuurlijk niet op zichzelf staat, maar samenhangt met andere ruimtelijke ontwikkelingen. Net als bij de planning van andere ruimtelijke projecten zou bij infrastructuur de toestand van het water en de bodem als sturend principe gehanteerd moeten worden. Gegeven de lange levensduur van infrastructuur zal de klimaatbestendigheid van het gehele infrastructuurnetwerk heel geleidelijk verbeteren. Dit is een proces van decennia. Om klimaatadaptatie efficiënt te verankeren in het ontwerp, de bouw en het beheer infrastructuur, is het nodig de ontwerpnormen daarop aan te passen. Bij die aanpassingen moet, gezien de lange levensduur van de infrastructuur, klimaatverandering worden meegewogen met een lange tijdshorizon. De onzekerheden zijn daarbij echter groot: hoeveel verandert het klimaat?

18 Energiesysteem

- *'De klimaatrisico's voor het energiesysteem die zich in de toekomst ontwikkelen bij huidig beleid zijn beperkt door redundantie in het elektriciteitsnet, wettelijke normen voor waterveiligheid, en de aanwezigheid van baseload en regelbaar vermogen. Hierdoor blijven door klimaat veroorzaakte storingen vaak lokaal, zoals bij wateroverlast. Lokale impacts kunnen echter wel tot nationale prijsstijgingen leiden, vooral als gevolg van langdurige droogte.*
- *Een combinatie van technische (intensiveren) en ruimtelijke interventies (transformeren) kan toekomstige klimaatrisico's beperken. Technische maatregelen zoals het risicogestuurd ophogen van onderstations en het versneld ondergronds brengen van hoogspanningslijnen kunnen veel van de risico's verkleinen. En ook met ruimtelijke keuzes en ingrepen kunnen risico's worden beperkt, zoals het vermijden van riviergebonden locaties voor nieuwe waterstofcentrales en het gefaseerd verplaatsen van kwetsbare onderdelen van de energie-infrastructuur naar kustgebieden.*
- *Stroomuitval, bijvoorbeeld veroorzaakt door regionale overstromingen vanwege piekbuien, kan leiden tot keteneffecten zoals uitval van vele diensten die continu stroom vergen, zoals telecom, ziekenhuizen, thuiszorg, drinkwaterlevering en rioleringssystemen, en delen van het openbaar vervoer. Ook uitval van koeling in de stallen van de veehouderij kan grote gevolgen hebben. Hoewel er veel noodvoorzieningen getroffen zijn blijven stroomafhankelijke sectoren kwetsbaar.*
- *Klimaatrisico's hebben sterke interacties met de toekomstige ontwikkeling van het nationale energiesysteem zelf. De combinatie van klimaatverandering en een veranderende energiemix kan zorgen voor een afname van de risico's bij droogte bij een groeiend aandeel hernieuwbare energie, en voor nieuwe risico's, zoals een toegenomen gevoeligheid voor langdurige perioden zonder zon en wind (dunkelflautes), en de waterafhankelijkheid van toekomstige waterstofelektrolysers die kwetsbaar zijn voor droogte.*

Tabel 18.1
Ingeschatte directe klimaatrisico's voor energie (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Economische schade uitval energievoorziening door droogte	Kans 1/10-1/100 jaar Impact midden	Kans 1/10-1/100 jaar Impact midden	Kans 1/10-1/100 jaar Impact klein	Kans 1/10-1/100 jaar Impact klein

NB: overstroming ingeschat bij waterveiligheid

Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op het rapport van de TU Delft: 'Huidige en toekomstige klimaatrisico's voor het Nederlandse energiesysteem' (Verschuur et al. 2026).

Tekstkader 18.1 Analyse in het kort
Dit TU Delft-onderzoek is voornamelijk gebaseerd op literatuurstudie en modellering met externe datasets. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van de Klimaateffectatlas (KEA), die nationale blootstellingskaarten publiceert voor verschillende overstromingsniveaus en tijdsperioden, waaruit kaartlagen worden onttrokken over waterdiepte bij extreme regenval, rivieroverstromingen en zeespiegelstijging.

Voor klimaatprojecties is gebruik gemaakt van de KNMI'23-klimaatscenario's. De analyses worden ondersteund met data uit de Klimaateffectatlas (KEA), waaruit kaartlagen zijn onttrokken over waterdiepte bij piekbuien van 1:100 jaar en 1:1000 jaar, rivier-overstromingskansen en ontwerpnormen voor rivierdijken.
Het onderzoek hanteert twee contextscenario's voor 2050: een 'beperkt risicoverhogend' scenario met beperkte klimaatverandering, lage economische en demografische groei en meer elektrificatie, en een 'sterk risicoverhogend scenario met sterkere klimaatverandering, hoge economische en demografische groei en minder elektrificatie (zie hoofdstuk 2). Deze scenario's zijn gebruikt om de verschillende toekomstperspectieven van het energiesysteem onder klimaatdreigingen te analyseren.

Voor het in kaart brengen van de blootstelling van het energiesysteem worden locatiegegevens van elektriciteitscentrales gebruikt uit de Global Energy Monitor-database. Deze data omvatten alle energiecentrales in Nederland, ingedeeld naar primaire energiebron (bio-energie, steenkool, kernenergie, olie en gas, wind- en zonne-energie). Voor de analyse van distributienetwerken wordt gebruik gemaakt van openbaar beschikbare locatiegegevens van distributienetbeheerders zoals Stedin, Enexis en Liander, waaruit de posities van laag-, midden- en hoogspanningsstations worden onttrokken.

In de blootstellingsanalyse zijn deze infrastructuurdata gecombineerd met de overstromingskaarten en waterdieptekaarten uit de KEA om te bepalen welke onderdelen van het energiesysteem worden blootgesteld aan klimaatdreigingen. Voor rivieroverstromingen wordt gebruik gemaakt van ontwerpnormen voor rivierdijken van Rijkswaterstaat, waarin overstromingskansen zijn weergeven van 1:300 jaar tot 1:10.000.000 jaar. Voor de kwetsbaarheid van onderstations worden kritieke uitvalhoogten gehanteerd zoals beschreven in het werkpakket wateroverlast en overstroming 2023-2024 NKWK.

Het onderzoek is aangevuld met literatuur van Deltares, het International Energy Agency (IEA), het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) en andere onderzoeksorganisaties voor risi-co-kaarten, kwetsbaarheidsanalyses en adaptatiemaatregelen. Voor specifieke klimaatdreigingen zoals droogte is gebruik gemaakt van historische data van Rijkswaterstaat over rivierwaterstanden, en voor windstormen worden windsnelheidsdata en terugkeertijden geanalyseerd.

18.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Huidig beleid is gericht op waarborgen van vitale diensten, verantwoordelijkheid ligt bij private sector

Netbeheerders zijn verantwoordelijk voor een continue beschikbaarheid van energie, en energieleveranciers zorgen voor de levering van energie aan eindgebruikers. Energie valt onder het beleid voor vitale infrastructuur, waarbij de focus ligt op het garanderen van de continuïteit van vitale functies. De energiesector volgt voor het waarborgen van de continuïteit landelijke richtlijnen, zoals het Nationaal Veiligheidsbeleid en het Deltaprogramma.
De meeste maatregelen vloeien voort uit algemene regels voor ruimtelijke ordening, waterveiligheid en bedrijfscontinuïteit. In het beleid is er een toenemende aandacht voor fysieke energie-infrastructuur als vitale functie, onder meer via Europese richtlijnen en nationale wetgeving voor het fysieke en digitale domein, zoals de CER- en NIS2-richtlijnen.

Sinds 2024 is de CER-richtlijn (ook bekend als Critical Entities Resilience (CER) Directive) van de Europese Unie van kracht. Deze richtlijn is van belang voor de bescherming van vitale sectoren tegen overstromingen en andere klimaatextremen. De naleving hiervan is een wettelijke verplichting (NCTV 2022).
Door het groeiende inzicht in het belang van energie-infrastructuur als vitale functie en aanvullende wetgeving (NIS, Vitaal) is er meer aandacht voor de continuïteit van de energie-infrastructuur bij organisaties en bedrijven.

Tabel 18.2
Huidige adaptatiemaatregelen

Klimaatdreiging	Huidige adaptatiemaatregelen
Rivieroverstroming	• Redundantie in hoogspanningsnet (verdubbeling kritieke onderdelen, ringstructuur tussen naburige onderstations) • Hoogwaterstations: sommige onderstations verhoogd tot ca. +200 cm (TenneT) • Regionale stations: kritieke onderdelen naar verhoogd 50–100 cm (niet verplicht, vaak om Arbo-redenen) • Geen wettelijke richtlijnen of afstemming met lokale overstromingsprofielen • Maatregelen vooral sectoraal initiatief (niet wettelijk verplicht)
Extreme regenval	• Zelfde redundantieprincipe als bij rivieroverstromingen • Zelfde adaptatierichtlijnen als bij rivieroverstromingen
Zeespiegelstijging	• Sectorale bescherming van kritieke infrastructuur (geen landelijke norm) • Bescherming via havenautoriteiten (bijv. Maasvlakte, Sloegebied, Eemshaven) • Nieuwe infrastructuurprojecten: mogelijkheid tot terreinverhoging en integratie van waterveiligheidsmaatregelen • Beleid vooral gebaseerd op vrijwillige samenwerking (geen wettelijke verplichting)
Droogte	• Europese regelgeving: lozingsbeperking bij >28°C rivierwater (met als doel 25°C) • Handhaving beperkt; centrales kunnen soms blijven lozen • Alternatieve lozing op grotere diepte bij estuaria (minder opwarming oppervlak) • Gebruik van koeltorens om minder water te verbruiken (duurder, maar effectiever) • 'Verdringingsreeks' bepaalt prioriteit watergebruik
Windstormen	• Investeringen in ondergronds brengen van leidingen (<150 kV standaard, 380 kV in proefstadium sinds 2018) • Structuurschema Elektriciteitsvoorziening III: elke nieuwe bovengrondse verbinding vereist dat één bestaande vervangen wordt door ondergrondse • Redundantie: dubbele circuits en transformatoren, ringstructuur ('N-1'-ontwerp)
Duisterluwte	• Balancering via internationale interconnecties voor leveringszekerheid (Duitsland, België, Verenigd Koninkrijk, Noorwegen, Denemarken) • Gebruik van gascentrales, reserves en beperkte batterijopslag • Bezig met uitbreiding interconnectiecapaciteit tot 2050 • Ontwikkeling waterstofopslag (Gasunie, eerste zoutcaverne gepland voor 2031) • Langetermijnopslag (waterstof/ammoniak) als aanvullende adaptatie

Klimaatrisico's in het energiesysteem

Verschillende klimaatdreigingen zoals droogte, hitte, zeespiegelstijging, extreme neerslag en rivieroverstromingen kunnen gevolgen hebben voor het Nederlandse energiesysteem (zie ook tabel 18.2). Hieronder worden deze dreigingen en hun impacts toegelicht.

Droogte en hittegolven: schaarste aan koelwater en prijspieken

Droogte en hittegolven bedreigen vooral de beschikbaarheid van koelwater voor thermische energiecentrales (zoals gas- en kerncentrales). Bij onvoldoende koelwater moeten deze centrales mogelijk afschakelen of hun productie beperken, terwijl de energievraag (voor koeling) dan juist hoog is. Dat hierdoor grootschalige stroomuitval optreedt, is onwaarschijnlijk. Nederland heeft een diverse energiemix met bronnen zoals wind-op-zee, zonne-energie en kustcentrales die niet afhankelijk zijn van rivierwater. Wel kunnen inneembeperkingen van koelwater leiden tot hogere elektriciteitsprijzen en economische schade, vooral bij langdurige droogte. De omvang, de kosten van de prijspiek en de misgelopen omzet van gepauzeerde centrales zijn lastig in euro's uit te drukken, maar worden voor 2050 ingeschat op rond de 100 miljoen euro in een beperkt risicoverhogend scenario tot meer dan 100 miljoen in een sterk risicoverhogend scenario. Ook kunnen veel huishoudens die weinig financiële middelen hebben, geraakt worden (zie tabel 18.3).

Een systeem met een groot aandeel zonne- en windenergie, zoals verwacht in Nederland in 2050, is minder kwetsbaar voor dit risico. Maar er zullen nog steeds onderdelen van het Nederlandse energiesysteem zijn (zoals waterstof) die afhankelijk blijven van rivierwater en daardoor kwetsbaar zijn.

Rivieroverstromingen: onderstations en stroomuitval

Omdat Nederland goed is beschermd tegen overstromingen van rivieren is de kans hierop zeer klein (zie tabel 18.3). Echter wanneer een rivierdijk doorbreekt bij hoogwater, heeft dit impact op diverse infrastructuur, maar vooral op onderstations. Dit zijn de cruciale knooppunten in het elektriciteitsnetwerk. Terwijl een overstroming bij een centrale mogelijk alleen de opwekking vermindert, zorgt een overstroomd onderstation ervoor dat een deel van het netwerk wegvalt, wat direct leidt tot stroomuitval bij huishoudens.

Een stroomstoring die wordt veroorzaakt door een rivieroverstroming treft bij een beperkt risicoverhogend scenario duizenden huishoudens.

Bij een sterk risicoverhogend scenario is de uiteindelijke impact in 2050 veel groter (zie ook tabel 18.3). Door bevolkingsgroei en verstedelijking kan een vergelijkbare overstroming meer onderstations raken. In dat geval wordt het mogelijk geacht dat meer dan 50.000 huishoudens (ruim 100.000 mensen) zonder stroom komen te zitten. Dit vertaalt zich ook naar een hogere geschatte impact op de economie.

Extreme neerslag: wateroverlast en tijdelijke verstoringen

Extreme neerslag en de daaropvolgende wateroverlast vormt vooral een risico voor de elektriciteitsinfrastructuur, zoals onderstations en distributienetten. Door bevolkingsgroei en verdere elektrificatie worden deze risico's in de toekomst groter, omdat meer mensen en diensten afhankelijk zijn van een betrouwbare elektriciteitsvoorziening. Hoewel er aanpassingsmaatregelen worden gedaan, zoals het verhogen van onderstations, zijn deze niet altijd voldoende of uniform toegepast. Door extreme neerslag kunnen stroomonderbrekingen ontstaan. Deze verstoringen kunnen wel makkelijker hersteld worden: omdat piekbuien vaak ruimtelijk beperkt zijn, kan na het wegtrekken van het water relatief snel worden geschakeld. Het incident in Nijverdal in december 2023 illustreert dit: een door hevige regenval overstroomd station legde meer dan 11.000 huishoudens tijdelijk stil; binnen circa zes uur was iedereen weer aangesloten (NL Times 2023). De TU Delft schat in dat een

dergelijke verstoring 2 miljoen euro aan schade veroorzaakt. De klimaatdreiging is vergeleken met rivieroverstromingen minder ernstig qua inundatie, en resulteert ook in een kleinschaliger impact.

Kustoverstromingen en zeespiegelstijging: buitendijkse infrastructuur

Kustoverstromingen (door versnelde zeespiegelstijging) worden alleen verwacht bij infrastructuur buiten de primaire keringen waaronder enkele energiecentrales, gasopslag en geplande waterstoffabrieken. Zeespiegelstijging brengt ook een toename van verzilting met zich mee, wat een probleem kan vormen voor waterstofproductie.

Extreme windstormen: beschadiging transmissie-infrastructuur

Een extreme windstorm waarbij meerdere stroomstoringen tegelijk optreden zal met hoge waarschijnlijkheid een stroomuitval veroorzaken. Een dergelijke stroomuitval kan gevolgen hebben voor een groot deel van de bevolking. Hevige wind kan de infrastructuur voor elektriciteitstransport op verschillende manieren bedreigen: het kan transmissiemasten omverblazen, ervoor zorgen dat bomen op kabels vallen of ervoor zorgen dat kabels met elkaar in contact komen en kortsluiting veroorzaken. In vergelijking met andere landen is Nederland relatief goed beschermd tegen deze klimaatdreiging, omdat veel kabels ondergronds worden aangelegd, met name lagere spanningskabels van het nationale transmissienetwerk.

Dunkelflaute (duisterluwte): energiedroogte bij hernieuwbare bronnen

Dunkelflaute (duisterluwte) is een term die verwijst naar een periode van 'energiedroogte' waarin er nauwelijks energie wordt geproduceerd uit wind- en zonne-energie: een periode waarin het dus bewolkt is en het nauwelijks waait. De vraag is of het voorkomen en de intensiteit van deze periodes worden beïnvloed door klimaatverandering en het hier een klimaatrisico betreft (zie hoofdstuk 2). Aangezien hernieuwbare energie in 2023 goed was voor 40 procent van de Nederlandse elektriciteitsopwekking, kan een dergelijke duisterluwte-gebeurtenis leiden tot een impactvol productietekort. In de toekomst zal de Nederlandse energiemix naar verwachting nog meer hernieuwbare energie bevatten, waardoor deze dreiging ernstiger wordt.

Tabel 18.3
Klimaatrisico's in 2050 bij voortzetting van het huidig beleid

Dreiging	Waarschijnlijkheid 2050	Mens en cultuur: Beperkt	Mens en cultuur: Sterk	Natuur en milieu: Beperkt	Natuur en milieu: Sterk	Economie: Beperkt	Economie: Sterk
Rivieroverstroming	1:300 tot 1:3.000 jaar	Middel	Hoog	N/A	N/A	Laag-Middel	Middel
Regenval	1:70 tot 1:78 jaar	Middel	Middel	N/A	N/A	Laag	Laag
Zeespiegelstijging	1:1000 jaar	Laag	Laag	Laag	Laag	Middel	Middel

Droogte	1:25 tot 1:50 jaar	Laag	Laag	Laag-Middel	Laag-Middel	Laag-Middel	Middel
Windstormen	1:100 jaar	Hoog	Hoog	Laag	Laag	Laag-Middel	Laag-Middel
Duisterluwte	1:10 tot 1:100 jaar	Laag	Laag	N/A	N/A	Laag-Middel	Laag-Middel

Gevolgen van klimaatverandering voor energiesysteem zijn vooral lokaal

Bij voortzetting van het huidige beleid zijn de toekomstige klimaatrisico's voor het energiesysteem in de meeste gevallen beperkt, lokaal en grotendeels beheersbaar Bij die huidige adaptatiemaatregelen (zie tabel 18.2) gaat het bijvoorbeeld om redundantie in het elektriciteitsnet, wettelijke normen voor waterveiligheid, en aanwezigheid van baseload en regelbaar vermogen op het elektriciteitsnet. Alleen in het geval van zeer zeldzame, zware overstromingen) kunnen die maatregelen niet toereikend zijn, waardoor de gevolgen groot kunnen zijn. Nederland is goed beschermd tegen overstromingen van rivieren en zee. De kans dat die bescherming faalt is en blijft zeer klein (zie hoofdstuk waterveiligheid).

Uitval van energie kan een keten van effecten tot gevolg hebben die lastig is in te schatten, en kan leiden tot lokale maatschappelijke ontwrichting, bijvoorbeeld wanneer vitale communicatievoorzieningen uitvallen. Klimaatrisico's kunnen ook de elektriciteitsprijzen opdrijven: langdurige droogte beperkt de productie door elektriciteitscentrales door te warme rivieren, en perioden van dunkelflaute (nauwelijks wind- en zonne-energie) leiden tot schaarste. Beide kunnen resulteren in hogere energieprijzen die veel mensen raken.

Bij stroomuitval zijn er aanzienlijke keteneffecten op vitale voorzieningen

De onderzochte klimaatdreigingen voor de energiesector kunnen doorwerken naar andere sectoren. Cascade-effecten zijn mogelijk, waarbij bijvoorbeeld stroomuitval in de ICT-sector kan leiden tot internetstoringen, stroomuitval in het (openbaar) vervoer, verkeerslichten en tunnelbewaking, wat kan leiden tot transportverstoringen.. In de landbouwsector bijvoorbeeld is de situatie bij hitte acuut kritiek. Onder extreme hittecondities raken dieren bij ventilatie-uitval al binnen 15 minuten in levensgevaar. Tijdens de hittegolf van juli 2019 in Maarheeze bezweken enkele duizenden varkens (circa 2.100) doordat de stalventilatie uitviel.
Bij stroomuitval van meer dan twee uur valt vrijwel de gehele reguliere mobiele communicatie van een regio uit. Het robuustere C2000-netwerk voor hulpdiensten houdt het met noodstroom circa 3 tot 4 uur vol, maar valt daarna ook uit, waardoor ook NL-alerts onbruikbaar worden (Inspectie Veiligheid en Justitie & Agentschap Telecom 2015). Naast telecommunicatie treft de doorwerking van stroomuitval op de ICT ook internet- en datacenters. Datacenters beschikken ook vaak over noodaggregaten, zodat de hoofdstructuur van het internet overeind blijft tijdens kortdurende storingen. Tot slot functioneren veel digitale diensten en besturingssystemen niet meer zonder stroom en telecommunicatie en datacenters. Denk aan PIN- en online betalingsverkeer: tijdens de Iberische stroomuitval van april 2025 was dit het geval (Stratix 2025).

Stroomuitval kan ook grote mobiliteitsproblemen veroorzaken, wat cruciaal is voor hulpverlening, bevoorrading en evacuaties. In crisisplannen wordt niet altijd rekening gehouden met beperkte

bereikbaarheid. Fysieke toegang tot vitale objecten is nodig voor herstel van storingen, maar het is vaak onduidelijk welke functie als eerste hersteld moet worden (Deltares 2026a).

In de veehouderij zijn veel processen geautomatiseerd en afhankelijk van stroom. Een direct risico bij stroomuitval is het wegvallen van ventilatie in stallen. Bij warm weer kan de temperatuur en CO_2-concentratie in een afgesloten stal zonder ventilatie razendsnel oplopen: onder extreme hittecondities raken dieren bij ventilatie-uitval al binnen 15 minuten in levensgevaar. Nederlandse veehouders zijn verplicht maatregelen te treffen: alle stallen met kunstmatige ventilatie moeten een alarm hebben dat waarschuwt bij ventilatie-uitval. Sinds juli 2024 is het ook verplicht om een noodstroomaggregaat te hebben voor een minimum van 6 uur (RVO 2024).

Ook essentiële voorzieningen als drinkwaterlevering en rioleringssystemen vergen continu stroom voor pompen en zuiveringsinstallaties. De drinkwatervoorziening is zo ontworpen dat korte stroomstoringen niet meteen tot verstoringen leiden: waterbedrijven beschikken over reservoirs die bij uitval nog uren druk op het netwerk kunnen houden (Veilig Vooruit Nederland 2025). Overheidsbeleid schrijft daarnaast voor dat drinkwaterbedrijven een noodplan paraat moeten hebben zodat er bij stroomuitval minimaal tien dagen aan drinkwater geleverd kan worden (Veiligheidsregio IJsselland n.d.). In flatgebouwen vormt waterdruk echter wel een zwak punt: het pompsysteem dat water naar de bovenste verdiepingen verscheept werkt niet bij stroomuitval, waardoor flatbewoners geen water kunnen drinken en hun toilet niet kunnen doorspoelen.

Alle ziekenhuizen in Nederland beschikken over uitgebreide noodstroomvoorzieningen, dieselgeneratoren die bij stroomuitval vrijwel direct aanslaan, zodat kritieke afdelingen door kunnen werken (TNO 2012), maar blijven kwetsbaar voor langdurige verstoringen. Ook in de thuiszorg kan stroomuitval levensbedreigend zijn. Een groeiende groep mensen in Nederland gebruikt thuis medische apparatuur die continu stroom vergt: in Nederland zijn bijvoorbeeld circa 4.500 patiënten aangewezen op chronische thuisbeademing (FMED 2025).

18.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren

Stroomuitval beperken door weerbare bestaande infra en/of slim ruimtelijk prioriteren
Maatregelen om stroomuitval te beperken kunnen technisch zijn, en vooral gericht op behouden en technisch versterken van de bestaande locaties, de intensiveren-aanpak. Hiertoe worden onderstations en distributiehuizen opgehoogd, afgedicht en gecompartimenteerd en er is meer generiek onderhoud (zie ook tabel 18.3).

Bij de intensiveren-aanpak worden nieuwe middenspannings- en laagspanningsstations (MS/LS) in overstromingsgebieden met 50 centimeter boven het maaiveld verhoogd, zonder specifiek naar het lokale overstromingsrisicoprofiel te kijken. Hoogspanningsstations worden naar 200 centimeter boven het maaiveld verhoogd. Distributiehuisjes in overstromingsgebieden worden eveneens 50 centimeter hoger aangelegd, om wateroverlast bij extreme regenval en rivieroverstromingen te voorkomen.
In de planning van de locatie van nieuwe centrales wordt niet expliciet met klimaatverandering rekening gehouden. Dit geldt bijvoorbeeld voor eventuele nieuwe elektrolyse- en kerncentrales. Al snel zal de wetgeving, waarin staat dat het oppervlaktewater niet meer dan 28°C (met ambitie om

bij te stellen naar 25°C) mag zijn (KRW), voor frictie zorgen en zullen er koeltorens gebouwd moeten worden zodat de centrales niet stilvallen tijdens droge en hete zomers. Voor sommige centrales zijn koeltoren niet mogelijk (omdat ze te duur zijn, er geen ruimte is of er grote weerstand van bewoners is). Als beheerders van centrales in extreme gevallen van droogte en hitte toch koelwater (mogen) blijven lozen boven de 28°C-grens, heeft dat grote gevolgen voor de rivierecosystemen die al onder druk staan vanwege klimaatverandering.
De nieuwe buitendijkse infrastructuur in de haven van Rotterdam, voor de import, opslag en opwekking van groene brandstoffen, wordt aangelegd met nieuwe normen die voor kritieke buitendijkse infrastructuur zijn ontwikkeld vanwege zeespiegelstijging. Om de netcapaciteitsproblemen tegen te gaan worden in deze oplossingsrichting veel nieuwe hoogspanning-transmissielijnen gebouwd, waarvan een groter deel van het hoogspanningsnet (vooral 110 kV en 150 kV) ondergronds zal worden aangelegd, om met de hoge temperaturen en windsnelheden om te gaan. Deze oplossing is kostbaar, maar verminderd het risico wel aanzienlijk.

Deze maatregelen verlagen de kans dat veel locaties onderlopen bij reguliere extreme gebeurtenissen (die eens in de 100 jaar voorkomen) en verminderen de impact op het netwerk. De onderliggende klimaatdreiging verandert echter niet: uitzonderlijke gebeurtenissen boven het ontwerpniveau (die eens in de 1000 jaar kunnen voorkomen) blijven mogelijk leiden tot schade. Daarnaast blijven specifieke zwakke plekken bestaan; straatverdeelkasten, laagspanningshuisjes met slechte afwatering, diepgelegen hotspots en buitendijkse installaties kunnen nog steeds storingen veroorzaken. Bovendien vragen generieke ophogingen veel onderhoud en investeringen, waardoor er kans is op inefficiënte bestedingen. Ook neemt het risico op verzilting in kustgebieden niet af door ophoging alleen; dat blijft een operationele kostenpost voor koelwater en elektrolyseprocessen. Ook kan er meer ruimtelijk gestuurd worden om de kans op grootschalige systeemstoringen sneller en efficiënter te verkleinen (transformeren). Dit kan door nieuwe assets buiten hoog risicogebieden te plaatsen en ophogingen en bescherming gericht uit te voeren op hotspots en knooppunten waar wateroverlast naar verwachting de grootste impact heeft.

Tabel 18.3

Risico	Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Rivieroverstroming	Redundantie in hoogspanningsnet	Uniforme ophoving van 50 cm voor alle MS/LS binnen niveau 1-5	Risicogestuurde ophoging van 50cm of 200cm voor alle HS/MS/LS binnen niveau 3-5
Rivieroverstroming	Hoogwaterstations: sommige onderstations verhoogd tot ca. 200 cm		Voor niveaus 1-2 (<1:3000 jaar) wordt er met ad-hoc bescherming gewerkt
Rivieroverstroming	Regionale stations: kritieke onderdelen verhoogd 50-100 cm		
Extreme regenval	Zelfde redundatieprincipe als bij rivieroverstromingen	Uniforme ophoving van 30 cm voor alle MS/LS	Risicogestuurde ophoging van tot boven de 30 cm voor alle MS/LS
Extreme regenval	Zelfde adaptatierichtlijnen als bij rivieroverstromingen		Alleen voor rivieroverstromingen 1:100 jaar

Zeespiegelstijging	Sectorale bescherming van kritieke infrastructuur	Verantwoordelijkheid adaptatie bij industrie m.b.v. subsidies van de overheid	Verantwoordelijkheid adaptatie bij overheid d.m.v. strakkere uniforme normen
Zeespiegelstijging	Bescherming via havenautoriteiten	Locaties behouden, maar adapteren	Verplaatsen infrastructuur naar binnendijkse locaties
Zeespiegelstijging	Nieuwe infrastructuurprojecten: mogelijkheid tot terreinverhoging en integratie van waterveiligheidsmaatregelen	Ophoging terreinen	Gefaseerde uitrol vanaf hotspots met hogere blootstelling aan zeespiegelstijging
Zeespiegelstijging	Beleid vooral gebaseerd op vrijwillige samenwerking	Ontwikkeling van de compartimentering kritieke assets	
Droogte	Europese regelgeving: lozingsbeperking bij >28 °C rivierwater	Huidige centrales ontwikkelen	Huidige centrales verplaatsen
Droogte	Handhaving beperkt: centrales kunnen soms blijven lozen	Inzet (hybride) closed-loop koeling	Lozingskader, zonder uitzonderingen naar 25 °C
Droogte	Alternatieve lozing op grotere diepte bij estuaria	Open-loop met strikte monitoring en tijdelijke ontheffingen	Nieuwe centrales naar kust/estuaria
Droogte	Gebruik van koeltorens om minder water te verbruiken	Koeltorens waar haalbaar	Gefaseerde uitrol vanaf hotspots met hogere blootstelling aan rivierdroogte
Droogte	'Verdringingsreeks' bepaalt prioriteit watergebruik	Optimalisatie in-/uitlaten	
Windstormen	Redundantie: dubbele circuits en transformatoren, ringstructuur		Redundatie richting n-2
Windstormen	Investeringen in ondergronds brengen van leidingen	Ondergronds brengen van lijnen <150 kV – 220 kV, waar mogelijk 380 kV	d.m.v. extra circuits & transformatoren
Windstormen	Structuurschema Elektriciteitsvoorziening IIIL elke nieuwe bovengrondse verbinding vereist dat één bestaande vervangen wordt door ondergrondse		d.m.v. interconnecties tussen deelnetten

Windstormen		Prioriteit stedelijke regio's en hoge-wind-corridors	Prioriteit bij knooppunten en hoge-wind-corridors
Dunkelflaute	Balancering via internationale interconnecties voor leveringszekerheid		
Dunkelflaute	Gebruik van gascentrales, reserves en beperkte batterijopslag	Ontwikkeling centrale energie reserves	Ontwikkeling decentrale opslag
Dunkelflaute	Bezig met uitbreiding interconnectiecapaciteit tot 2050		Vraag- & prijssturing via HEMS
Dunkelflaute	Ontwikkeling waterstofopslag	Waterstofopslag in zoutcavernes	Strategische import via internationale verbindingen
Dunkelflaute	Langetermijnopslag (waterstof/ammoniak) als aanvullende adaptatie		

Transformeren

In de adaptatierichting transformeren wordt bij het plannen van nieuwe infrastructuur rekening gehouden met de water- en bodemomstandigheden. Bij de aanleg van nieuwe onderstations worden locaties met hoge risicoprofielen vermeden en afhankelijk van het risico verhoogd aangelegd. Nieuwe distributiestations worden aangepast aan het overstromingsrisico zodat een nationale veiligheidsnorm wordt gehaald. Op sommige plekken liggen ze dus hoger dan met de intensiveren-maatregelen, en op andere plekken lager.
Klimaatverandering wordt expliciet meegenomen in de ruimtelijke planning van nieuwe kerncentrales en waterstofcentrales. Deze worden om koelwatertekorten te voorkomen langs de kust en estuaria geplaatst. Hier kan koelwater makkelijker geloosd worden en ontziltingsinstallaties zorgen voor proceswater. Hierdoor worden de risico's die worden veroorzaakt door droogte en hitte significant gereduceerd. Deze adaptatiestrategie gaat wel gepaard met hogere aanlegkosten, en dus hogere prijzen voor consumenten. En deze ruimtelijke planning zorgt voor meer energie-infrastructuur dicht bij de kust, ook in het buitendijkse gebied. Om de netcapaciteitsproblemen tegen te gaan worden er veel nieuwe hoogspanning-transmissielijnen gebouwd. Wanneer ook gelijk de redundantie van het hoogspanningsnet wordt verhoogd, kan de gevoeligheid voor weersextremen verminderen. Het uitvallen van één lijn, door bijvoorbeeld een extreme storm of falen tijdens hoge temperaturen, wordt grotendeels opgevangen door deze redundantie.

De blootstelling aan rivieroverstromingen en wateroverlast door extreme neerslag wordt onder transformeren selectief verminderd: bestaande stations in risicogebieden krijgen onderhoud en verhoging, terwijl nieuwe stations op veiligere locaties komen. Zo sluit de bescherming aan bij de daadwerkelijke dreiging. De gevoeligheid van het systeem daalt verder dan bij de generieke uitrol van intensiveren, omdat kwetsbare locaties geprioriteerd worden. Zo neemt de kans dat een storing maatschappelijk doorwerkt gerichter af per verhoging. De lokale ernst per incident blijft gelijk: valt een locatie toch uit, dan zijn oorzaak en herstelpad vergelijkbaar met het huidige beleid.

Het klimaatrisico van droogte neemt af, omdat bij de transformeren aanpak de blootstelling structureel verlegt via strakkere normen (lozingskader 25 °C, zonder uitzonderingen) en actieve ruimtelijke sturing: nieuwe kern-, gas- en waterstofcentrales worden niet langer langs de grote rivieren gepositioneerd, maar aan kust en estuaria met ontzilting voor proces- en koelwater. Daarnaast worden bestaande rivierlocaties worden gefaseerd verplaatst; vergunningen worden expliciet gekoppeld aan regionale droogterisicoprofielen en de prioritering uit de verdringingsreeks. Ten opzichte van intensiveren, pakt transformeren de blootstelling aan via het vermijden van nieuwe investeringen langs “warme rivieren”. Dit heeft een directe impact op de gevolgen van de klimaatdreiging, maar vergt ook veel hogere investeringen.

18.3 Conclusies

Klimaatbestendigheid energiesysteem gebaat bij combinatie van adaptatierichtingen

Beide adaptatierichtingen verlagen de risico’s in het energiesysteem vergeleken met alleen voortzetting van het huidige beleid (zie ook tabel 18.4): er zullen minder vaak locaties uitvallen en veel objecten die nu bij ondiepe inundaties geraakt worden, blijven door ophoging buiten bereik. Toch neemt geen van beide adaptatierichtingen alle risico’s weg: er blijft altijd een restrisico voor zeer zeldzame of extreem zware gebeurtenissen, voor secundaire effecten zoals verzilting en voor uitvoerings- en operationele onzekerheden. Praktisch gezien verdient een gecombineerde aanpak de voorkeur: snel uitvoerbare technische ophogingen waar dat effectief is, gecombineerd met risicogestuurde prioritering en ruimtelijke sturing voor kritieke knooppunten. Op korte termijn kunnen hoge investeringen en herlocatie uit de transformeren-aanpak leiden tot economische en operationele lasten voor betrokken bedrijven; op middellange termijn profiteert de samenleving echter van minder systeemimpact en een robuustere inrichting. Met name bij de plaatsing van nieuwe assets kan transformeren de risico’s beperken.

Tabel 18.4
Samenvatting van de risico’s voor de energiesector in 2050, bij huidig beleid, intensiveren en transformeren

Dreiging	Adaptatierichting	Mens en cultuur, beperkt	Mens en cultuur, sterk	Natuur en milieu, beperkt	Natuur en milieu, sterk	Economie, beperkt	Economie, sterk
Rivier overstroming	Huidig	Middel	Hoog	N/A	N/A	Laag-Middel	Middel
Rivier overstroming	Intensiveren	Laag (↓↓)	Middel (↓↓)	N/A	N/A	Laag (↓)	Laag(↓↓)
Rivier overstroming	Transformeren	Laag (↓↓)	Middel (↓↓)	N/A	N/A	Laag (↓)	Laag (↓↓)
Regenval	Huidig	Middel	Middel	N/A	N/A	Laag	Laag
Regenval	Intensiveren	Laag (↓↓)	Laag (↓↓)	N/A	N/A	Laag	Laag
Regenval	Transformeren	Laag (↓↓)	Laag (↓↓)	N/A	N/A	Laag	Laag

Zeespiegel stijging	Huidig	Laag	Laag	Laag	Laag	Middel	Middel
Zeespiegel stijging	Intensive-ren	Laag	Laag	Laag	Laag	Laag-Middel (↓)	Laag-Middel (↓)
Zeespiegel stijging	Transfor-meren	Laag	Laag	Laag	Laag	Laag-Middel (↓)	Laag-Middel (↓)
Droogte	Huidig	Laag	Laag	Laag-Middel	Laag-Middel	Laag-Middel	Middel
Droogte	Intensive-ren	Laag	Laag	Laag-Middel	Laag (↓)	Laag (↓)	Laag (↓↓)
Droogte	Transfor-meren	Laag	Laag	Laag-Middel	Laag (↓)	Laag-Middel	Laag (↓↓)
Wind stormen	Huidig	Hoog	Hoog	Laag	Laag	Laag-Middel	Laag-Middel
Wind stormen	Intensive-ren	Laag-Middel (↓↓↓)	Middel (↓↓)	Laag	Laag	Laag (↓)	Laag (↓)
Wind stormen	Transfor-meren	Laag-Middel (↓↓↓)	Middel (↓↓)	Laag	Laag	Laag (↓)	Laag (↓)
Duister-luwte	Huidig	Laag	Laag	N/A	N/A	Laag-Middel	Laag-Middel
Duister-luwte	Intensive-ren	Laag	Laag	N/A	N/A	Laag (↓)	Laag (↓)
Duister-luwte	Transfor-meren	Laag	Laag	N/A	N/A	Laag (↓)	Laag (↓)

Keuzes voor een klimaatbestendige energietransitie en voldoen aan de toenemende vraag

Het Nederlandse energiesysteem zal drastisch worden aangepast als gevolg van de energietransitie en de toenemende energievraag (zie hoofdstuk 2). Zowel de energieproductie als netwerkinfrastructuur zal veranderen. Een hoog aandeel energieproductie door zonnepanelen en windmolens kan het risico op koelwaterproblemen bij hitte en droogte beperken. Er kunnen echter ook perioden van weinig hernieuwbare energieproductie zgn. 'duisterluwte', wanneer er gelijktijdig weinig zon en wind is.

Ook de klimaatrisico's van nieuwe elementen in het systeem, en De manier waarop deze nieuwe elementen in het nationale energiesysteem klimaatbestendig gemaakt kunnen worden is echter verschillend in de twee adaptatierichtingen.

Klimaatbestendige vitale ketens

Keteneffecten kunnen worden beperkt door intensiever beleid, bijvoorbeeld door prioriteit te geven aan het herstel van de stroomvoorziening in crisissituaties, en rekening te houden met de keteneffecten bij de uitbreiding van nieuwe infrastructuur. De modernisering van noodstroomvoorzieningen, bijvoorbeeld door dieselaggregaten te vervangen door waterstof, en het verbeteren van brandstoflogistiek voor langdurige storingen zijn cruciaal. Redundantie moet worden ingebouwd om ketenafhankelijkheden (energie, telecom, cloud) te beperken en *single points of failure* te voorkomen.

Door klimaatrisico's expliciet op te nemen in de (uitvoering van) wetgeving voor vitale of kritieke entiteiten kan de weerbaarheid van kritieke infrastructuur van vitale entiteiten sterk worden

vergroot. De Wet weerbaarheid kritieke entiteiten (Wwke) kan nieuwe mogelijkheden bieden om beter met keteneffecten van klimaatrisico's om te gaan wanneer die wordt gekoppeld aan het klimaatadaptatiebeleid. Op die manier kunnen bijvoorbeeld alle vitale aanbieders/kritieke entiteiten worden verplicht om maatregelen te nemen op basis van een risicoanalyse van hun infrastructuur, om zo een hoge mate van beschikbaarheid te garanderen. Het is belangrijk hieronder ook klimaatrisico's te verstaan zoals (lokale) overstroming door extreme lokale regenval, overstroming van rivieren, langdurige hitte, en regionale stroomuitval, omdat zij een steeds groter risico op verstoringen vormen in de vitale infrastructuur. Deze aanpak zal uitval vanwege keteneffecten sterk beperken.

19 Digitale infrastructuur

- *Het belangrijkste directe klimaatrisico is uitval van internet en digitale diensten door afschakeling van datacenters bij een combinatie van droogte en hitte. Bij hitte ontstaat extra koelingsbehoefte in datacenters, droogte kan in de toekomst leiden tot beperkingen in het gebruik van drinkwater of oppervlaktewater voor koeling. De gevolgen van uitval van enkele datacenters blijven naar verwachting beperkt dankzij redundantie in het netwerk en 'datacenter twinning', waarbij een back-up in een tweede datacenter wordt aangehouden.*
- *Bij voortzetting van het huidig beleid zijn de gevolgen voor de fysieke digitale infrastructuur in de meeste gevallen laag, ook bij afschakeling datacenters in geval van droogte en hitte.*
- *Mogelijke uitzonderingen met een grotere impact zijn:*

  Directe effecten:
  - *Overstroming waarbij schade ontstaat aan gebouwen en apparatuur in een groter gebied. Herstel zal meerdere dagen tot weken duren, waardoor ICT-voorzieningen (masten, straatkasten, datacenters) een langere periode niet operationeel zijn*

  Indirecte effecten
  - *Grootschalig en langdurig uitvallen van de elektriciteitsvoorziening: een grote regionale of landelijke stroomstoring die meerdere uren duurt, heeft een grote impact op de digitale infrastructuur. De omvang van die impact heeft vooral te maken met de keteneffecten die optreden en de grote afhankelijkheid van de maatschappij van digitale infrastructuur en internet.*
  - *Keteneffecten bij uitval van individuele datacenters of kritieke ICT-voorzieningen binnen vitale sectoren (zoals zorginstellingen). Deze indirecte effecten zijn moeilijk in te schatten door de complexiteit binnen ketens en continue veranderingen binnen ketens van ICT-diensten en -voorzieningen. Keteneffecten kunnen uiteindelijk wel voor grote maatschappelijke ontwrichting zorgen als ze bijvoorbeeld leiden tot uitval van vitale processen.*

- *Het is mogelijk om de toekomstige klimaatrisico's aanzienlijk te beperken met een combinatie van maatregelen, met name van de intensiveren-aanpak, maar niet volledig te elimineren. Er blijft een restrisico bestaan voor extreme gebeurtenissen, nieuwe onvoorziene klimaatrisico's, en systeemeffecten die nu nog niet volledig begrepen worden.*

- *Effectieve maatregelen kunnen zijn:*
- *En volledig verbod op laagwaardig drinkwatergebruik voor koeling door datacenters en andere grootverbruikers in 2030-2040, en stimulering van alternatieve waterbronnen, zoals regenwater en oppervlaktewater.*
- *Klimaatrisico's expliciet meenemen in ruimtelijk beleid en in de Wet weerbaarheid kritieke entiteiten (Wwke). Hiermee is het mogelijk om sectorbrede maatregelen te nemen voor de digitale infrastructuur (vitale telecomaanbieders en datacenters) om meerdere klimaatrisico's in 2050 te beperken, zoals lokale wateroverlast, regionale droogte/hitte en regionale stroomuitval. Ook is een verbetering van de geografische spreiding binnen Nederland van (clusters of hubs van) datacenters wenselijk om de systeemkwetsbaarheid voor regionale klimaatincidenten te verkleinen, met een tweede nationaal datacluster naast de Metropoolregio Amsterdam*

Tabel 19.1
Ingeschatte directe klimaatrisico's voor de digitale infrastructuur (zie ook figuur 4.7 en 5.10)

Risico	2024	2050 bij huidig beleid	2050 bij intensiveren	2050 bij transformeren
Uitval datacenters bij extreme hitte in combinatie	Kans 1-10 jaar Impact klein	Kans 1-10 jaar Impact klein	Kans 10-100 jaar Impact klein	Kans 10-100 jaar Impact klein

met langdurige droogte

NB: Het risico van overstroming is ingeschat bij waterveiligheid

Tekstkader 19.1 Analyse in het kort

In dit onderzoek heeft TNO zich gericht op klimaatrisico's binnen de digitale infrastructuur binnen Nederland en de positie hiervan binnen Europa. Onderzocht is de fysieke digitale infrastructuur voor internet, telefonie en TV van telecomproviders zoals KPN, Odido en VodafoneZiggo, en van datacenters en internet exchanges. Ook is gekeken naar sectorspecifieke digitale infrastructuur in de sector openbare orde en veiligheid, de energiesector, de zorgsector (ziekenhuizen) en de transportsector (spoor, wegen, vliegvelden).

In de analyse is gebruik gemaakt van de klimaatscenario's volgens de twee contextscenario's (Ln en Hd, en voor risico's wateroverlast Hn). Voor de blootstelling aan overstromingen is gebruik gemaakt van de klimaateffectenatlas (CAS 2025) met kaarten gebaseerd op data van Landelijk Informatiesysteem Water en Overstromingen (LIWO), KNMI-scenario's 2014 (KNMI 2015).

De groei van de digitale infrastructuur in Nederland wordt sterk ingeschat, met name door toename van glasvezelaansluitingen, meer opstelpunten voor mobiele netwerken en een toename in colocatie en hyperscale datacenters, voor nieuwe toepassingen. Daarom is in beide contextscenario's sprake van een (zeer) sterke toename van digitalisering en de bijbehorende vraag naar ICT, en een (zeer) sterke toename van de verwevenheid van de ICT-sector met andere sectoren (zie bijlage 2).
Voor de analyse van klimaatrisico's van alleen huidig beleid, is beleid als wetgeving ten aanzien van klimaatrisico's meegenomen. Hierbij is gekeken naar verschillende beleidsthema's zoals economisch beleid, ruimtelijk beleid, duurzaamheid en vitale infrastructuur. Voor de wetgeving is gekeken naar huidige wetgeving (zoals de telecommunicatiewet en specifieke wetgeving voor datacenters) en naar wetgeving die op korte termijn verwacht wordt aangezien hiervoor al concepteksten beschikbaar zijn op basis van Europese richtlijnen, zoal de Cyberbeveiligingswet (Cbw) en de Wet weerbaarheid kritieke entiteiten (Wwke). Ook is in de Datacenterstrategie 2025-2027 van Noord-Holland een aantal overwegingen opgenomen met betrekking tot waterveiligheid en wateroverlast voor datacenters.
De adaptatierichting transformeren is beperkt ingevuld; de richting intensiveren bevat echter ook een intensivering van huidige ruimtelijke maatregelen en beleid. Vanwege de grote dynamiek en onzekerheid over toekomstige ontwikkelingen in de vraag naar digitale infrastructuur en technologische innovatie binnen de sector, zijn alleen inschattingen gedaan voor 2050 en niet voor 2100.

Dit hoofdstuk is voornamelijk gebaseerd op het TNO-rapport 'Toekomstverkenning klimaatrisico's voor de digitale infrastructuur' (TNO 2026b).

19.1 Toekomstige klimaatrisico's bij huidig beleid

Huidig beleid

Voor we ingaan op de klimaatrisico's waar Nederland rekening mee moet houden als het huidig beleid wordt voortgezet, beschrijven we hier eerst wat dat huidig beleid zoal inhoudt.

Het ministerie van EZ is verantwoordelijk voor beleid en wetgeving rondom openbare telecommunicatie en digitale infrastructuur. De verantwoordelijkheid voor de continuïteit van ICT-diensten via de onderliggende netwerken ligt bij de commerciële aanbieders van ICT-diensten. De digitale infrastructuur is onderdeel van het beleid en wetgeving rond vitale infrastructuur.

Voor de digitale infrastructuur (zoals datacenters en masten) is het beleid vooral gericht op het waarborgen van continuïteit van vitale functies. Zo zijn de masten volgens de bouwnorm bestand tegen windkracht 12. De sector volgt landelijke kaders zoals het Nationaal Veiligheidsbeleid, het Deltaprogramma en sectorale richtlijnen van de Rijksoverheid zoals de Rijksdienst Digitale Infrastructuur (RDI). Specifiek beleid voor klimaatadaptatie is beperkt; de meeste maatregelen zijn afgeleid van algemene wet- en regelgeving voor ruimtelijke ordening, waterveiligheid en bedrijfscontinuïteit.

Het huidig beleid omvat vooral technische en organisatorische maatregelen, zoals locatiekeuze, technische aanpassingen aan gebouwen en installaties, en noodprocedures. De verantwoordelijkheid ligt bij een mix van bedrijven (voor technische en organisatorische maatregelen) en overheden (voor ruimtelijke ordening en vergunningen), met een faciliterende en toezichthoudende rol voor het Rijk en RDI. Gedragsmaatregelen en bewustwording zijn vooral intern bij bedrijven belegd.
Er is een toenemende aandacht voor digitale infrastructuur als vitale functie via Europese richtlijnen en nationale wetgeving voor het fysieke en digitale domein, via de Wet weerbaarheid kritieke entiteiten (Wwke) en de Cyberbeveiligingswet (Cbw) (NCTV 2022). Door het inzicht van het toenemende belang van digitale infrastructuur als vitale functie en aanvullende wetgeving in Wwke en Cbw komt er meer aandacht voor continuïteit van de digitale infrastructuur bij organisaties/bedrijven.

Sinds 2024 is de CER-richtlijn (Critical Entities Resilience (CER) Directive) van de Europese Unie van kracht, die van belang is voor de bescherming van datacenters voor natuurrampen zoals overstromingen. De naleving hiervan is een wettelijke verplichting. De CER-richtlijn biedt richtlijnen voor het ontwerpen en bouwen van datacenters met inachtneming van mogelijke natuurrisico's. Zo bestaan er richtlijnen voor risicobeoordeling, ontwerp en beveiliging van datacenters met betrekking tot natuurrampen en andere bedreigingen. Door het inzicht van het toenemende belang van digitale infrastructuur als vitale functie en aanvullende wetgeving in Wwke en Cbw komt er meer aandacht voor continuïteit van de digitale infrastructuur bij organisaties en bedrijven.
Keteneffecten bij uitval van individuele datacenters zijn moeilijk in te schatten, maar kunnen wel voor grote maatschappelijke ontwrichting zorgen als die bijvoorbeeld leiden tot uitval van vitale communicatievoorzieningen.

Het beleid en de wetgeving voor duurzame digitalisering en de transitie naar klimaatneutraal binnen de digitale sector en (*hyperscale*) datacenters (zie Rijksoverheid 2024a, Actieplan Duurzame Digitalisering met acties om de digitale sector te verduurzamen, juni 2024) draagt indirect bij aan een verlaging van klimaatrisico's. De wetgeving stuurt vooral op efficiënter en duurzamer stroomgebruik in datacenters, maar ook op vermindering van watergebruik. Hierdoor worden nieuwe

innovatieve koeltechnieken gebruikt (gesloten systemen, of zonder water) en kunnen datacenters bij een hogere temperatuur (29 in plaats van 25°C) werken zonder waterkoeling. Daarnaast zijn de nieuwe *hyperscale* datacenters van Microsoft en Google al overgestapt naar andere waterbronnen voor koeling door opvang van regenwater, of gebruik van oppervlaktewater uit het Eemskanaal. Een positief bijeffect van deze aanpassingen is dat de klimaatrisico's voor datacenters kleiner worden: datacenters kunnen bij hogere buitentemperaturen werken, en worden niet geraakt door mogelijke restricties op laagwaardig gebruik van drinkwater voor koeling.

De belangrijkste klimaatdreigingen met risico op verstoringen in de fysieke infrastructuur zijn:

1 Grootschalig en langdurig uitvallen van de elektriciteitsvoorziening heeft grote impact
Het grootste klimaatrisico voor de digitale infrastructuur is een secundair effect door grootschalige uitval van stroomvoorziening door het optreden van klimaatrisico's. Vitale processen zijn steeds meer afhankelijk van elektriciteitsvoorziening en de digitale infrastructuur, bijvoorbeeld door automatisering van pompen en sluizen voor waterbeheer. De groeiende onderlinge afhankelijkheid van vitale infrastructuren vergroot de kwetsbaarheid van Nederland. Als de stroom uitvalt door een natuurbrand of overstroming, dan is het belangrijk dat digitale diensten (zo lang mogelijk) blijven functioneren.

Voor (hyperscale) datacenters en centrale netwerklocaties worden noodstroomvoorzieningen gebruikt die tot meerdere dagen kunnen blijven werken. Echter, richting de 'randen' van de netwerken en voor de internet- en netwerkaansluitingen bij bedrijven en consumenten thuis is er geen back-up of zeer beperkte back-up, bijvoorbeeld accu's voor 2 tot 3 uur voor mobiele masten. Hierdoor zal een groot deel van de bedrijven geen gebruik meer kunnen maken van ICT en internet, tenzij ze lokale noodstroomvoorzieningen hebben.

2 Afschakeling datacenters bij combinatie van droogte en hitte
Het belangrijkste directe klimaatrisico is uitval van internet en digitale diensten door storingen in datacenters. Dit directe risico neemt vooral toe wanneer extreme hitte samenvalt met droogte. Bij hitte ontstaat extra koelingsbehoefte in datacenters, middels koeling via water in plaat van lucht. Droogte kan in de toekomst leiden tot beperkingen in het gebruik van drinkwater of oppervlaktewater voor koeling. De kans op koelingsproblemen kunnen toenemen bij een deel van de datacenters op dagen boven 25°C indien er restricties worden opgelegd in het gebruik van drinkwater of oppervlaktewater voor koeling. Daarnaast is er een risico dat bij langdurige hitte lozing van te warm koelwater op oppervlaktewater niet is toegestaan.

In de verdringingsreeks bij watertekort (Besluit kwaliteit leefomgeving Artikel 3.14) (Rijksoverheid 2024b) valt de aanvoer van water voor datacenterkoeling in de laatste categorie. Een tekort aan water voor koeling op warme dagen boven 25°C kan leiden tot uitschakeling van (een deel van) de servers in het datacenter. Dit heeft gevolgen voor datacenters die gebruik maken van drinkwater voor koeling (circa 80 procent van de datacenters in 2024, DDCA 2024) en geen noodplan hebben om dit tekort zelf aan te vullen. Veel datacenters beschikken wel over een back-up watervoorraad die is bedoeld voor kortdurende verstoringen, maar het is onduidelijk of deze voldoende is bij langdurige waterbeperkingen.

De gevolgen van uitval van enkele datacenters blijven naar verwachting beperkt dankzij redundantie in het netwerk en 'datacenter *twinning*', waarbij een back-up in een tweede datacenter wordt aangehouden.

Bodemdaling door klimaatverandering vormt momenteel geen risico voor bijvoorbeeld glasvezelkabels; deze zijn aangelegd in beschermende buizen, om kabelbreuk bij (lokale) verzakkingen te voorkomen.

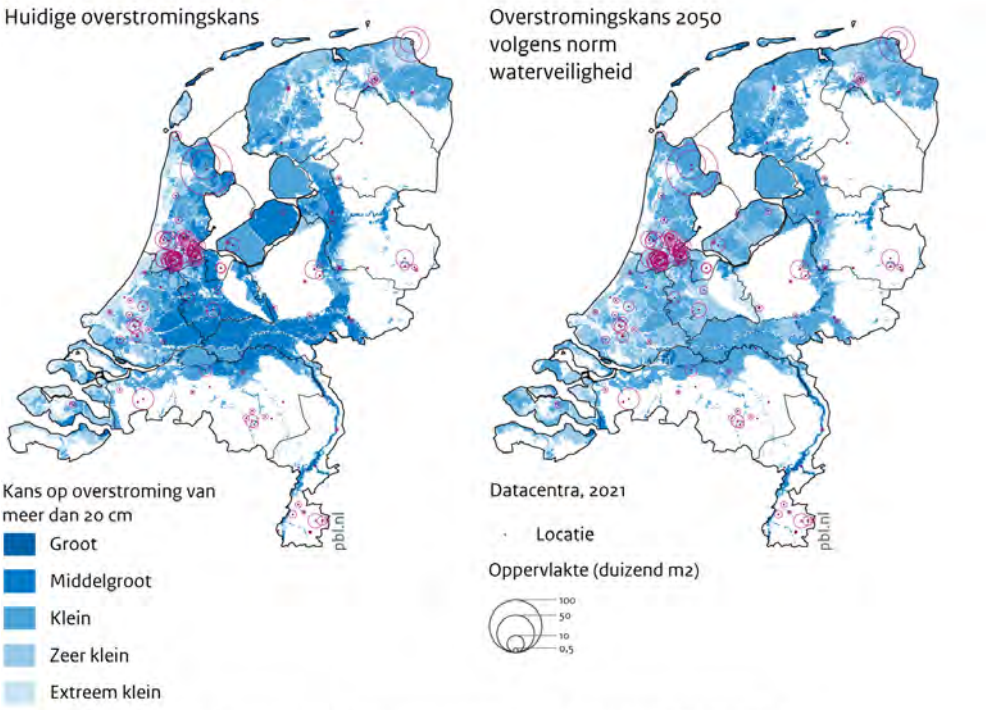
3 Risico bij wateroverlast extreme bui en lokale overstroming

Extreme neerslag brengt twee afzonderlijke risico's met zich mee. Ten eerste kan hardware in technische ruimtes (zoals straatkasten en gebouwen met netwerkapparatuur) beschadigd raken als deze onderlopen bij lokale neerslag van 20 tot 50 centimeter. Ten tweede kan condens ontstaan in ruimtes of apparatuur wanneer de temperatuur in een technische ruimte onder de 10 graden daalt, bijvoorbeeld in onverwarmde straatkasten in koude periodes; dit leidt tot meer storingen en een kortere levensduur. Tegen beide risico's bestaan beschermende maatregelen: apparatuur die in de buitenlucht staat, zoals antennes op masten, is veelal goed beschermd tegen water. Apparatuur in straatkasten wordt beschermd door deze op hoogte te plaatsen (tussen 0,5 en 2 meter in de kast), waardoor deze bij lokale overstromingen droog blijft**.**

Overstromingen van rivieren zijn een risico voor de digitale infrastructuur omdat in dat geval de stroomvoorziening preventief wordt afgeschakeld om risico op ongevallen door kortsluiting (en beschadiging van apparatuur) te voorkomen. Dit heeft een impact op ICT-apparatuur in bijvoorbeeld masten en straatkasten; die hebben weliswaar een noodstroomvoorziening, maar die is maar een beperkte periode van 2 tot 4 uur werkzaam.

Figuur 19.1

Overstromingskans datacentra



Bron: Landelijk Informatiesysteem Water en Overstromingen (LIWO), Vereniging Deltametropool

Ruim 40 procent van de huidige datacenters ligt in gebieden met een significant overstromingsrisico van meer dan 20 centimeter. Met name in het westen en noorden van Nederland zijn er lokale

verschillen in blootstelling. Ongeveer 45 procent ligt in gebieden zonder overstromingskans, en bij zo'n 11 procent is er een kleine kans (eens per 30 tot 300 jaar) op wateroverlast. Bij een overstroming is de gevoeligheid hoog: stroomvoorziening wordt uitgeschakeld en herstel kan dagen tot weken duren. In 2050 en 2100 neemt het risico naar verwachting af door hogere normen voor de primaire en secundaire waterkeringen (zie hoofdstuk waterveiligheid). Daarnaast kan de impact worden verlaagd door maatregelen bij datacenters zelf, zoals het plaatsen van ICT-apparatuur boven de begane grond of bouwen op palen.

Klimaatrisico's met impact voor datakabels, masten en netwerkapparatuur

De klimaatrisico's voor datakabels zijn bij voortzetting van het huidig beleid ingeschat op laag. De belangrijkste reden is dat de kabels ondergronds zijn, of op of net onder de zeebodem liggen in de Noordzee. Extreem weer, met name zware storm en windstoten, kan incidenteel leiden tot schade aan hardware dat buiten staat, bijvoorbeeld aan antennes in masten of straatkasten. Risico's van blikseminslag zijn relatief klein; apparatuur kan goed worden beschermd door bliksemafleiders en goede aarding. Netwerkapparatuur in masten en straatkasten werkt in het algemeen ook bij extreme temperaturen (-20°C tot +50°C), maar de kans op verstoringen neemt wel toe als apparatuur té warm wordt. In dat geval moet de apparatuur soms ook worden uitgeschakeld.

Impacts bij voortzetting alleen huidig beleid in de meeste gevallen laag

Uitval van ICT heeft in 2050 geen grote directe impact op mensen. De impact van klimaatdreigingen op de digitale infrastructuur is daardoor laag: er zijn minder dan 10.000 'getroffen' mensen. Wel zijn er keteneffecten ten gevolge van uitval van ICT-voorzieningen, met name als deze impact hebben op kritieke communicatiediensten voor hulpverleners, zoals de bereikbaarheid van 112, het C2000-netwerk en het mobiele netwerk. Echter, ook bij grootschalige (regionale of landelijke) verstoring gedurende meerdere uren zal het aantal getroffen mensen door onbereikbaarheid van 112 naar verwachting minder dan 10 blijven, is de inschatting op basis van eerdere verstoringen met bijvoorbeeld 112.

Ook de impact op natuur en milieu is laag. Er zijn restricties voor datacenters voor het lozen van koelwater bij hogere temperaturen. Dit kan mogelijk betekenen dat datacenters moeten afschakelen als deze geen koelwater mogen lozen. Als er tijdelijke uitzonderingen komen bij extreme omstandigheden, dan kan dit mogelijk lokaal impact hebben op natuur en milieu. Tot slot is ook de impact op economie voor de verschillende klimaatrisico's bepaald op 'laag', dat wil zeggen minder dan 100 miljoen euro, dankzij de hoge redundantie binnen netwerken en datacenters.

19.2 Toekomstige klimaatrisico's bij intensiveren en transformeren

Om de risico's van koelwatergebrek en wateroverlast te beperken, kunnen technische en regulerende maatregelen ('intensiveren'-aanpak) worden versterkt (zie tabel 19.1). Het wettelijk verplichten tot gebruik van alternatieve waterbronnen (geen drinkwater) voor koeling, ook voor kleinere datacenters, is daarbij een optie om het risico op restricties bij toekomstige tekorten van drinkwater te verminderen. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat huishoudens ongeveer 75 procent van het drinkwater gebruiken voor bijvoorbeeld douchen, toiletspoeling en wassen. Laagwaardig drinkwatergebruik voor koeling van datacenters kan door de overheid verder worden ontmoedigd of op termijn volledig worden verboden. Daarnaast wordt er vanuit de Europese Commissie ook gestuurd op efficiënter watergebruik door datacenters, naast efficiënter energiegebruik.

Tabel 19.1
Maatregelen van de intensiveren- en transformeren-aanpak, voor beperken van diverse risico's

Risico	Intensiveren	Transformeren
Overstroming	Nieuwe datacenters in gebied laag risico (hyperscalers, colocatie)	
Overstroming	Maatregelen lokale wateroverlast nieuwe datacenters bij bouw (hyperscalers, colocatie, single tenant)	
Overstroming	Maatregelen lokale wateroverlast bestaande datacenters vanuit Wwke (hyperscalers, colocatie)	
Watertekort	Verbod laagwaardig drinkwatergebruik (colocatie, single tenant)	
Watertekort	Stimuleren alternatieven (colocatie, single tenant)	
Watertekort	Efficiënter watergebruik (colocatie, single tenant)	
Stroomuitval	Maatregelen elektriciteitsnetwerk (hyperscalers, clusters colocatie)	
Stroomuitval	Gevolgen beperken (hyperscalers, colocatie)	
Keteneffecten vitale infrastructuur	Verminderen kwetsbaarheid van keteneffecten via Wwke (vitale aanbieders: hyperscalers, deel van colocatie en beperkt deel single tenant)	
Keteneffecten vitale infrastructuur	Informeren klimaatrisico's (Single tenant, deel van colocatie)	
Alle bovengenoemde risico's		Ruimtelijke spreiding: Verbod hyperscalers in Nederland (hyperscalers enkel voor Nederland, niet voor EU)
Alle bovengenoemde risico's		Ruimtelijke spreiding: 2e datacentercluster, naast MRA (colocatie)

Ruimtelijk beleid (transformeren) kan een belangrijke rol spelen bij het beperken van de risico's van datacenters (tabel 19.1). Dit is met name het geval bij de zoektocht naar nieuwe locaties voor klimaatbestendige datacenters om aan de sterke groei van de vraag naar datacenters te voldoen. Als nieuwe locaties geselecteerd worden op basis van een expliciete weging van klimaatrisico's, waaronder het risico op overstromingen, wateroverlast en de impact op (drink)watergebruik kan dit de

klimaatbestendigheid vergroten. Bij de bouw kunnen aanvullende eisen worden gesteld die rekening houden met wateroverlast en het gebruik van drinkwater. Deze benadering is relevant bij de selectie van nieuwe locaties voor hyperscalers (grote datacenters als Microsoft, Google) en bij de ontwikkeling van clusters van datacenters. Daarnaast kan de geografische spreiding van datacenters binnen Nederland worden verbeterd. Doordat momenteel meer dan 70 procent van de colocatie-datacenters is geconcentreerd in de Metropoolregio Amsterdam (MRA), zal het ontwikkelen van een tweede nationaal cluster in een ander gebied bijdragen aan een hogere weerbaarheid van de digitale infrastructuur voor Nederland als geheel. Een tweede cluster of sterkere groei in de bestaande kleine clusters (Zuid-Holland, Groningen, Brabant) vermindert het risico op uitval van vitale processen voor Nederland als geheel bij regionale verstoringen in meerdere datacenters in de MRA, zoals uitval van elektriciteit, een overstroming/wateroverlast of watertekorten in de MRA.

Ten aanzien van hyperscalers zijn er strategische overwegingen. Enerzijds kan worden overwogen om hyperscalers te stimuleren zich te vestigen in (koelere) buitenlandse locaties om de koelwater- en energievraag in Nederland te verminderen. Anderzijds kunnen hyperscalers, mede dankzij hun schaalgrootte en het huidig beleid, juist zelf investeren in duurzame energie en alternatieve waterbronnen, zoals regenwater en gezuiverd oppervlaktewater. Waterbedrijven leveren bijvoorbeeld al geen drinkwater meer voor koeling van nieuwe hyperscale-datacenters. Deze investeringen gaan verloren als hyperscalers zich buiten Nederland of buiten Europa vestigen. Bovendien streeft Europa naar minder afhankelijkheid van Amerikaanse cloudproviders, wat impliceert dat er ruimte moet worden geboden aan nieuwe Europese partijen. Hoe de Europese Unie en Nederland dit precies willen vormgeven, bijvoorbeeld bij de aanwijzing en selectie van nieuwe locaties voor duurzame Europese hyperscale-datacenters, is nog niet duidelijk.

Klimaatbestendige vitale ketens

Keteneffecten kunnen worden beperkt door aanvullend en intensiever beleid, bijvoorbeeld door prioriteit te geven aan het herstel van de stroomvoorziening in crisissituaties om de impact op de digitale sector te verminderen. Ook zouden hyperscale-datacenters kunnen worden aangesloten op ‘eigen’ onderstations, direct gekoppeld met het transportnetwerk en dicht bij locaties waar duurzame elektriciteit wordt opgewekt (zon-, wind- of kernenergie). Daarnaast is het voor datacenters belangrijk om stroom van meerdere aanbieders te betrekken en noodstroomvoorzieningen (tot 72 uur, bij voorkeur op waterstof), te implementeren op (hubs van) datacenterlocaties.

De modernisering van noodstroomvoorzieningen, bijvoorbeeld door in aggregaten diesel te vervangen door waterstof, en het verbeteren van brandstoflogistiek bij langdurige storingen zijn cruciaal. Redundantie moet worden ingebouwd om ketenafhankelijkheden (energie, telecom, cloud) te beperken en *single points of failure* te voorkomen, bijvoorbeeld door colocatie van datacenters met een tweede, fysiek gescheiden uitwijklocatie.

Door klimaatrisico’s expliciet op te nemen in de (uitvoering van) wetgeving voor vitale of kritieke entiteiten kan de weerbaarheid van kritieke infrastructuur van vitale entiteiten sterk worden vergroot. Het gaat met name om de Wet weerbaarheid kritieke entiteiten (Wwke, de invulling van de Europese richtlijn (CER), en de Cyberbeveiligingswet (Cbw, invulling Europese richtlijn NIS2). Het doel van de Wwke is om de vitale infrastructuur en economische activiteiten in Europa zo goed mogelijk te beschermen tegen allerlei soorten dreigingen, zoals de gevolgen van (terroristische) misdrijven, sabotage en natuurrampen. De klimaatrisico's zijn breder dan enkel natuurrampen. Ook (lokale) overstroming door extreme regenval, overstroming van rivieren, langdurige hitte, en regionale stroomuitval vormen een steeds groter risico op verstoringen in de vitale, digitale

infrastructuur. In de Wwke worden alle vitale aanbieders/kritieke entiteiten verplicht om maatregelen te nemen op basis van een risicoanalyse van hun infrastructuur, om zo een hoge mate van beschikbaarheid te garanderen. Dit zal risico's op keteneffecten bij uitval sterk beperken.

Via de Wwke én de Cbw kan de overheid sturen op hoge beschikbaarheid van de digitale infrastructuur van kritieke entiteiten, bijvoorbeeld door gebruik van meerdere datacenters die niet in hetzelfde overstromingsgebied liggen. Ruimtelijke maatregelen kunnen de technische en institutionele oplossingen versterken. Mogelijk kan de Wwke ervoor zorgen dat vitale dienstverleners hun diensten ook vanuit andere Europese landen, of zelfs buiten Europa, aanbieden.

19.3 Conclusies

Beperking toekomstige klimaatrisico's mogelijk door combinatie maatregelen

Door de combinatie van ruimtelijke maatregelen en technische/organisatorische maatregelen (tabel 19.2), is een beperking mogelijk van toekomstige klimaatrisico's voor de ICT-sector. De maatregelen zorgen voor een grotere beschikbaarheid van de digitale infrastructuur en maken Nederland als geheel weerbaarder tegen klimaatrisico's.
Veel wetgeving (Wwke en de Cbw) geldt alleen voor vitale infrastructuur (infrastructuur, aangewezen als kritieke entiteiten). Er blijven klimaatrisico's over voor andere sectoren met een eigen digitale infrastructuur, zoals bijvoorbeeld scholen.

Tabel 19.2
Overzicht van effect van maatregelen voor transformeren en intensiveren voor contextscenario's beperkt en sterk risicoverhogend

Transformeren – Ruimtelijke spreiding

Maatregel	Effect van maatregel 2050 beperkt	Effect van maatregel 2050 sterk	Type datacenters
Verbod hyperscalers in Nederland	Volledig weg	Volledig weg	Hyperscalers, enkel voor Nederland, niet voor EU
2e datacenter cluster, naast MRA	Beperkt	Sterk	Colocatie

Intensiveren - Overstroming

Maatregel	Effect van maatregel 2050 beperkt	Effect van maatregel 2050 sterk	Type datacenters
Nieuwe datacenters in gebied laag risico	Beperkt	Beperkt	Hyperscalers, colocatie
Maatregelen lokale wateroverlast datacenters bij nieuwbouw	Beperkt	Beperkt	Hyperscalers, colocatie, single tenant

Maatregelen lokale wateroverlast **datacenters vanuit Wwke**	Beperkt tot sterk	Sterk	Hyperscalers, colocatie

Intensiveren - Watertekort

Maatregel	Effect van maatregel 2050 beperkt	Effect van maatregel 2050 sterk	Type datacenters
Verbod laagwaardig drinkwatergebruik	Volledig weg	Volledig weg	Colocatie, single tenant
Stimuleren alternatieven	Beperkt	Beperkt tot sterk	Colocatie, single tenant
Efficiënter watergebruik	Beperkt	Beperkt	Colocatie, single tenant

Intensiveren - Stroomuitval

Maatregel	Effect van maatregel 2050 beperkt	Effect van maatregel 2050 sterk	Type datacenters
Maatregelen elektriciteitsnetwerk	Beperkt	Beperkt tot sterk	Hyperscalers, clusters colocatie
Gevolgen beperken	Beperkt	Beperkt	Hyperscalers, colocatie

Intensiveren – Algemeen (vitale infrastructuur)

Maatregel	Effect van maatregel 2050 beperkt	Effect van maatregel 2050 sterk	Type datacenters
Verminderen kwetsbaarheid van keteneffecten via Wwke	Beperkt	Beperkt tot sterk	Vitale aanbieders: hyperscalers, deel van colocatie en beperkt deel single tenant
Informeren klimaatrisico's	Beperkt	Beperkt	Single tenant, deel van colocatie

Literatuur

Ahlbom, A., Day, N., Feychting, M., Roman, E., Skinner, J., Dockerty, J., ... & Verkasalo, P. K. (2000), *A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia*. British Journal of Cancer, 83(5), 692-698

Algemene Rekenkamer (2025), *Drinkwater onder druk*. Den Haag: Algemene Rekenkamer.

Atlas Natuurlijk Kapitaal (2020), *Stedelijk hitte-eiland effect (UHI) in Nederland*.

Arcadis (2025), *Amsterdam Klimaatbestendig 2050; Onderzoek naar de ruimtelijke en financiële impact van klimaatadaptatie voor de gemeente Amsterdam*. Amersfoort: Arcadis.

Baggelaar, P., Kuin, P., & Geudens, P. (2022), *Prognoses drinkwatergebruik in Nederland t/m 2040*.

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

Bani, M., Barendregt, E., Blom, M. et al. (2024), *Klimaatverandering en de Nederlandse woningmarkt. Kosten klimaatbestendige woningmarkt voorlopig beheersbaar, maar tweedeling ligt op de loer*. *Water Governance* 01/2024, 63-70.

Biesbroek, R., Haasnoot, M., Mach, K.J. *et al.* (2025), *Adaptation planning in the context of a weakening and possibly collapsing Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC)*. Regional Environmental Change (25):93.

Binnenlands Bestuur (2022), *Vewin waarschuwt: drinkwater voor 900.000 nieuwe woningen niet zeker*, Binnenlands Bestuur 18 maart 2022.

Bles, T., de Jong, J., van Marle, M., van Buren, R. (2021), *Klimaatgevoeligheid hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en spoor ten behoeve van de NMCA.* Utrecht: Deltares.

Boardman, A.E., D.H. Greenberg, A.R. Vining en D.L. Weimer (2018), *Cost-benefit analysis – Concepts and Practice*. Fifth edition, Cambridge University Press, Cambridge.

Boomsma, A., Vaan, K. de, Heuvel, D van den, Eulderink, J. (2024), *Topkader toepassing klimaatscenario's*. RWS, documentnummer 6411, 17 december 2024, versie 1.1.

Bostrom, A. (1997), *Risk Perceptions: "Experts" vs."Lay People"*. Duke Environmental Law and Policy Forum (8): 101-113.

CAS (2023a), *Piramide om doelen voor klimaatadaptatie te monitoren.* Bussum: Stichting Climate Adaptation Services.

CAS (2023b), *Doorontwikkeling van de adaptatiepiramide.* Bussum: Stichting Climate Adaptation Services.

CAS (2023c), Adaptatiepiramide: Visuele methode om gerichter toe te werken naar een klimaatrobuust systeem. Bussum: Stichting Climate Adaptation Services.

CAS (2025), *Klimaateffectatlas Nederland*. Bussum: Stichting Climate Adaptation Services.

Claassens, J., Koomen, E. & Rijken, B. (2023), *Actualisering landgebruik Deltascenario's 2023.* Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam.

CLO (2023), *Neerslagextremen in Nederland*. Compendium voor de Leefomgeving: CBS; PBL; RIVM en Wageningen University and Research.

CLO (2024), *Verloop van de eilegdatum van vogels, 1986-2022*. Compendium voor de Leefomgeving: CBS; PBL; RIVM en Wageningen University and Research.

CLO (2025a), *Veiligheid primaire waterkeringen, 2017 - 2024*. Compendium voor de Leefomgeving: CBS; PBL; RIVM en Wageningen University and Research.

CLO (2025b), *Watergebruik in de land- en tuinbouw, 2001-2023*. Compendium voor de Leefomgeving: CBS; PBL; RIVM en Wageningen University and Research.

CLO (2026a), *Temperatuur in Nederland en mondiaal, 1907 - 2024*. Compendium voor de Leefomgeving: CBS; PBL; RIVM en Wageningen University and Research.

CLO (2026b), *Jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland, 1910-2025*. Compendium voor de Leefomgeving: CBS; PBL; RIVM en Wageningen University and Research.

Castellnou, M., E. Nebot, L. Estivill, M. Miralles, M. Rosell, T. Valor, P. Casals, A. Duane, M. Piqué, E. Górriz-Mifsud, L. Coll, M. Serra, E. Plana, C. Colaço, C. Sequeira, I. Skulska, and P. Moran. (2022), *FIRE-RES Transfer of Lessons Learned on Extreme wildfire Events to key stakeholders.* Deliverable D1.1 FIRE-RES project.119.

Copernicus (2023), *European state of the climate 2022*.

Copernicus (2026), *2025 was the third hottest year on record*.

CPB (2023), *Klimaatverandering en intergenerationele verdeling van financiële lasten*. Den Haag: Centraal Planbureau.

DDCA (2024), *State of the Dutch Data Centers 2024 - Dutch Data Center Association*, Amsterdam: Stichting Dutch Data Center Association.

De Louw, P., J-P. Witte, G. van den Eertwegh, R. Bartholomeus, J. Pouwels, J. Hunink (2022), *Beter bestand tegen droogte: oplossingsrichtingen voor een hydrologisch goed functionerend grondwatersysteem in de zandgebieden van Nederland*. Stromingen (28): 1.

De Woonplaats (2025), *Toekomst 28 door wateroverlast getroffen woningen bekend*. Enschede: De Woonplaats.

Deltaprogramma (2024a), *Signaal 1a Kantelpunten AMOC*. Signaalgroep Deltaprogramma.

Deltaprogramma (2024b), *Signaal 1b Kantelpunten maximale zeespiegelstijging*. Signaalgroep Deltaprogramma.

Deltaprogramma (2025a), *Wat is het Deltaprogramma?*. Signaalgroep Deltaprogramma.

Deltaprogramma (2025b), *Signaal 1b. Grip op grilligheid: omgaan met grote overstromingen primaire keringen*. Signaalgroep Deltaprogramma.

Deltares (2019), *Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging: Een verkenning*. Delft: Deltares.

Deltares (2021), *Wat als 'de waterbom' elders in Nederland was gevallen?* Delft: Deltares.

Deltares (2024), *Deltascenario's 2024. Zich op water in Nederland.* Delft: Deltares; https://www.delta-res.nl/nieuws/deltascenarios-2024

Deltares (2025), *Landelijk waterbeeld grootschalige extreme regen*. Delft: Deltares.

Deltares (2026a), *Klimaatdreigingen, bijbehorende cascade-effecten en gevolgen voor crisisrespons*, Delft: Deltares.

Deltares (2026b), *Herijking klimaatrisico's - Overstromingsrisico's nu en in de toekomst*. Delft: Deltares.

Deltares (2026c), *Verkenning van de effecten van twee adaptatiescenario's op zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland*. Delft: Deltares.

Deltares (2026d), *Herijking klimaatrisico's - Herijking klimaatrisico's waterkwaliteit*. Delft: Deltares.

Deltares (2026e), *Rapport infrastructuur*. Delft: Deltares.

Deltares (2026f), *Rapport Integrale ruimtelijke uitwerking transformatieve verstedelijking*. Delft: Deltares.

Deltares, BoschSlabbers & Sweco (2021), *Op Waterbasis; grenzen aan de maakbaarheid van ons water- en bodemsysteem*. Delft: Deltares.

DPRA (2024), *Nationale aanpak concrete doelen ruimtelijke adaptatie*. Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie.

Driessen, de Gier, Meijerink, Pot, Reudink, van Rijswijk, Schueler, Tennekes en Termeer (2011), *Beleids- en rechtswetenschappelijke aspecten van klimaatadaptatie*. Utrecht: Programmabureau Kennis voor Klimaat.

EC (2021), *Verordening (EU) 2021/1119 van het Europees Parlement en De Raad van 30 juni 2021 tot vaststelling van een kader voor de verwezenlijking van klimaatneutraliteit, en tot wijziging van Verordening (EG) nr. 401/2009 en Verordening (EU) 2018/1999*. Brussel: Europese Commissie.

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,

EEA (2022a), *Conservation status of habitat types and species: datasets from Article 17, Habitats Directive 92/43/EEC reporting (2013-2018).* Copenhagen: European Environmental Agency.

EEA (2022b), *Population trend of bird species: datasets from Article 12, Birds Directive 2009/147/EC reporting (2013-2018)*. Copenhagen: European Environmental Agency.

EEA (2024), European Climate Risk Assessment. Copenhagen: European Environmental Agency.

EEA (2025), *Global and European temperatures*, Copenhagen: European Environmental Agency.

Eertwegh, G. van den, Louw, P. de, J-P Witte, M. van Huijgevoort, R. Bartolomeus, D. van Deijl, J. van Dam, J. Hunink, I. America, J. Pouwels, P. Hoefsloot en J. de Wit (2021), *Droogte Zandgronden Nederland (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden en Oost-Nederland: het verhaal van droogte 2018 en 2019 en bevindingen.* Projectteam Droogte Zandgronden Nederland.

Enexis (2021), *Gevolgen wateroverlast in Limburg*. 's Hertogenbosch: Enexis.

ENW (2021), *Hoogwater 2021 Feiten en Duiding* . Expertise Netwerk Waterveiligheid.

ESABCC (2026), *Strengthening Resilience to Climate Change; Recommendations for an effective EU adaptation policy framework*. Copenhagen: European Scientific Advisory Board on Climate Change.

EZK (2024), *Actieplan Duurzame Digitalisering*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Feychting, M., Ahlbom, A., & Kheifets, L. (2005), *EMF and health*. Annual Review Public Health 26(1): 165-189.

FMED (2025), *Voorbereiding op langdurige stroomuitval: overleg over continuïteit zuurstoftherapie en thuisbeademing*. Amersfoort: Federatie van Medische Technologiebedrijven.

Gemeente Amsterdam (2025), *Knelpuntenaanpak klimaatadaptatie Amsterdam*. Amsterdam: Gemeente Amsterdam.

H2O (2023), *Industrie mikt op flinke vermindering van watergebruik*, H2O 14 juni 2023.

Hamlington, B.D., A.. Bellas-Manley, J.K. Willis et al (2024), *The rate of global sea level rise doubled during the past three decades*. *Commun Earth Environ* (5): 601.

Hansen, J. E., Kharecha, P., Sato, M., Tselioudis, G., Kelly, J., Bauer, S. E., ... Pokela, A. (2025), *Global Warming Has Accelerated: Are the United Nations and the Public Well-Informed?* *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, *67*(1): 6–44.

Hellegers, M., Van Hinsberg, A., Lenoir, J., Dengler, J., Huijbregts, M. A. J., & Schipper, A. M. (2025), *Multiple Threshold-Selection Methods Aae Needed to Binarise Species Distribution Model Predictions*. *Diversity and Distributions*, 31(4).

Horváth, K. (2020), *Quick Water Allocation Scan Tool: Gebruikersdocumentatie*. Delft: Deltares.

Horváth, K., M. Mens, S. Muurman (2025), *QWAST validatie 2025: svn459.* Delft: Deltares.

IenW (2016), *Nationale klimaatadaptatiestrategie 2016*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

IenW (2022a), *Kamerbrief over rol Water en Bodem bij ruimtelijke ordening*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

IenW (2023a), *Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

IenW en BZK (2023), *Ruimtelijk afwegingskader klimaatadaptieve gebouwde omgeving.* Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

IenW (2024a), *BSR nota beleidsontwikkeling klimaatadaptatie IenW netwerken*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

IenW (2024b), *Nationaal Plan van Aanpak Drinkwaterbesparing*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Inspectie Veiligheid en Justitie & Agentschap Telecom. (2015), *Stroomstoring Noord-Holland 27 maart 2015 - Lessen uit de crisisbeheersing en telecommunicatie*. Den Haag: Inspectie Veiligheid en Justitie.

Investico (2024), *2 miljoen ouderen in woning met risico op over oververhitting*. Platform Investico.

IPCC (2019), *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*.

IPO, Vewin en IenW (2025), *Actieprogramma beschikbaarheid drinkwaterbronnen 2023-2030*.

Ipsos (2022), *Wat maakt mensen het gelukkigst: gezondheid, familie of 'purpose'?*, Amsterdam: Ipsos I&O.

ISO (2021), *ISO 14091:2021. Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment*. International Organization for Standardization.

Ivanova, O., M. Roelands en T. Filatova (2026), *Veranderend klimaat stelt gemeenten voor grote financiële uitdagingen*, ESB 11 maart 2026.

JWS, *Gezondheidszorg & mensenrechten*. Amsterdam: Johannes Wier Stichting.

Kahlenborn, W., Porst, L., Voß, M., Hölscher, L., Undorf, S., Wolf, M., et al (2021c), *Teilbericht 6: Integrierte Auswertung – Klimarisiken, Handlungserfordernisse und Forschungsbedarfe,* Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt

Kasperson, R. E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H. S., Emel, J., Goble, R., ... & Ratick, S. (1988), *The social amplification of risk: A conceptual framework*. Risk analysis, 8(2): 177-187.

Kasperson, R. E., Webler, T., Ram, B., & Sutton, J. (2022), *The social amplification of risk framework: New perspectives.* Risk Analysis 42(7): 1367-1380.

Kennisportaal Klimaatadaptatie (2024), *Wat betekent het voor Nederland als de Golfstroom stilvalt?*.

Kennisportaal Klimaatadaptatie (z.d.), *Hoeveel warmt de aarde op?*.

Kennisprogramma Zeespiegelstijging (2023), *Tussenbalans: Hoe kan Nederland de stijging van de zeespiegel aan?* Den Haag: IenW en Deltacommissaris.

KGG (2025a), *Klimaat- en Energienota 2025*. Den Haag: Ministerie van Klimaat en Groene Groei.

KGG (2025b), *Klimaatplan 2025-2035: Op weg naar een klimaatneutraal Nederland*. Den Haag: Ministerie van Klimaat en Groene Groei.

Kloosterboer, de Yvonne, Gijs ten Berge en Jurjen Iedema (2025), *Klimaat en Samenleving Burgerperspectieven*, Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau.

KNMI (2007), *Smeltklimaat van Groenland en Antarctica*. De Bilt: KNMI.

KNMI (2015), *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: KNMI.

KNMI (2017), *Extreme zeespiegelstijging in de 21e eeuw.* De Bilt: KNMI.

KNMI (2019), *De Groenlandse ijskap smelt steeds sneller*. De Bilt: KNMI.

KNMI (2022), *Hoeveel dragen gletsjers bij aan zeespiegelstijging*. De Bilt: KNMI.

KNMI (2023a), *KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland*. De Bilt: KNMI.

KNMI (2023b), *Valt de West-Antarctische IJskap nog te redden?* De Bilt: KNMI.

KNMI (2024a), *Kantelend ijs op Groenland en Antarctica*. De Bilt: KNMI.

KNMI (2024b),*Het weer van vandaag in de toekomst*. De Bilt: KNMI.

KNMI (2026a), *2025: opwarming gaat steeds sneller*. De Bilt: KNMI.

KNMI (2026b), *KNMI - Wereldwijde recordwarmte 2023, 2024 en 2025: versnelde opwarming, zon, El Niño en schonere scheepvaart* De Bilt: KNMI.

Knutzen, F., Averbeck, P., Barrasso, C., Bouwer, L. M., et al (2025), *Impacts on and damage to European forests from the 2018–2022 heat and drought events*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. (25): 77–117.

Koomen, E., Rijken, B., & Claassens, J. (2024), *RuimteScanner 2.0: Systeembeschrijving van een exploratief ruimtelijk allocatiemodel voor actoren, objecten en grondgebruik.* Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam.

KPZS (2024), *Technisch-fysische uitwerking oplossingsrichting Zeewaarts.* Kennisprogramma Zeespiegelstijging, 16 februari 2024

Lambrechts, H.A., R.D.H. Sooijs, S. Paparrizos, F. Ludwig, and C.R. Stoof (2024), *Increasing fire danger in the Netherlands due to climate change*. International Journal of Wildland Fire (33) 12.

Hickman, C., E. Marks, P. Pihkala, S. Clayton, R.E. Lewandowski, E. E. Mayall, (2021), *Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: a global survey. Lancet* (5): 12e863-e873.

Lankford, B., C. Pringle, J. McCosh, M. Shabalala, T. Hess, & J.W. Knox (2023), I*rrigation area, efficiency and water storage mediate the drought resilience of irrigated agriculture in a semi-arid catchment. Science of the Total Environment*, 859, 160263.

Louw, P. de, J-P. Witte, G. van den Eertwegh, R. Bartholomeus, J. Pouwels, J. Hunink (2022), *Beter bestand tegen droogte: oplossingsrichtingen voor een hydrologisch goed functionerend grondwatersysteem in de zandgebieden van Nederland.* Stromingen 1(28).

Martens, A., K. Vringer, J. Porsius & J. Tennekes (2023), *Legitimiteit van beleid in beleidsevaluaties. Een analysekader en een empirische toepassing op evaluatie van de Regionale Energie Strategieën (RES).* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Martens, A., J.T. Porsius, C. Herbstritt, & K. Vringer (2025), *Citizen's perceived legitimacy of the Dutch natural gas-free heating policy.* Environmental Research Communications, 7(11), 115018.

McDaniels, T. L., L.J. Axelrod, N.S. Cavanagh, & P. Slovic (1997), *Perception of ecological risk to water environments*. *Risk analysis*, 17(3): 341-352

Mens, M., J. Hunink, J. Delsman, J. Pouwels, F. Schasfoort (2020), *Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II*. Delft: Deltares.

Mens, M., E. Mes, J. Pouwels, G.E.H. Nogueira, J. Reusen (2025), *Kwalitatieve duiding van het effect van de Deltascenario's 2024 op de zoetwateropgave*. Delft: Deltares.

Migliavacca, M., Grassi, G., Bastos, A. et al. (2025), Securing the forest carbon sink for the European Union's climate ambition. Nature (643): 1203–1213.

Movares (2026), *PlanMER Nationale Adaptatie Strategie 2026*. Amsterdam: Movares.

NASA (2025), *NASA Analysis Shows Unexpected Amount of Sea Level Rise in 2024*. NASA Sea Level Change Portal.

NCTV (2022), *NIS2- en CER-richtlijnen*. Den Haag: Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid.

Nibbelink & van Toor (2023), *Klimaatverandering en intergenerationele verdeling van financiële lasten*, Den Haag: Centraal Planbureau.

NIQ (2017), *Gezondheid belangrijkste voorwaarde voor een goed leven*. Amstelveen: NIQ.

NL2120 (2025), *De natuur als bondgenoot*. Amersfoort: Nl2110.

NL Times (2023), *Flooding in many parts of the Netherlands; situation closely monitored, says Rutte*.

NOS (2019), *Varkens hebben het moeilijk met hitte, zonder ventilatie gaan ze snel dood*.

ORG-ID (2022a), *Resultaten nulmeting NAS 2021*. Utrecht: ORG-ID.

ORG-ID (2022b), *Evaluatie NAS, hoofdrapport*. Utrecht: ORG-ID.

ORG-ID (2026), *Beleidsanalyse Klimaatadaptatie*, ORG-ID 2026

Otten, H., Kuiper, J. & Van der Spek, T. (2000), *Weer een eeuw. Het weer in Nederland van 1900 tot 2000.* Vbk Media, 241 blzOVV (2026), *Onveiligheid door extreme regen.* Den Haag: Onderzoeksraad voor de Veiligheid.

PBL (2010), *Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur*. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2013a), *Adaptatierichtingen maken voor milieu, natuur en ruimte: een handreiking*. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2013b), *Adaptatierichtingen maken voor milieu, natuur en ruimte: een checklist*. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2015), *Wereldwijde klimaateffecten: risico's en kansen voor Nederland*, Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2017), *Adaptatierichtingen voor milieu, natuur en ruimte gebruiken: een handreiking*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2023a), *Vier adaptatierichtingen voor de inrichting van Nederland in 2050: Ruimtelijke Verkenning 2023*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2023b), *Nationale klimaatrisicoanalyse 2022-2026: Uitwerking analysemethodiek*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2023c), *Vier adaptatierichtingen voor de inrichting van Nederland in 2050: Ruimtelijke verkenning 2023, Achtergrondrapport*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2024a), *Klimaatrisico's In Nederland. De huidige stand van zaken*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2024b), *Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving,.

PBL (2024c), *Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050. Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050.* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2025a), *Toekomstverkenning WLO: Vier adaptatierichtingen voor Nederland in 2040, 2050 en 2060*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2025b), *Landbouw- en Natuurverkenning: Op zoek naar een nieuwe balans tussen landbouw en natuur in 2050*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

PBL (2026), *Naar een duurzame ruimtelijke inrichting van Nederland. Reflectie op de Ontwerp-Nota Ruimte: aanbevelingen en analyse*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Perko, T. (2014), *Radiation risk perception: a discrepancy between the experts and the general population. Journal of environmental radioactivit (133): 86-91*

Pescaroli, G., L. McMillan, M. Gordon, N.Y. Aydin, T. Comes, M. Maraschini, ... & I. Linkov, (2025), *Definitions and taxonomy for High Impact Low Probability (HILP) and outlier events.* International Journal of Disaster Risk Reduction (127)10550: 4.

Polman, N., J. Peerlings en M. van der Vat (2019), *Economische effecten van droogte voor landbouw in Nederland; Samenvatting*. Wageningen: Wageningen Economic Research.

Porsius, J. T., L. Claassen, P.E. Weijland, & D.R. Timmermans, (2016), *"They give you lots of information, but ignore what it's really about": residents' experiences with the planned introduction of a new high-voltage power line.* Journal of Environmental Planning and Management 59(8): 1495-1512

ProRail (2022), *Uitvoeringsagenda Klimaatadaptatie Hoofdspoorweginfrastructuur*. Utrecht: ProRail.

Rathenau Instituut (2025), *Vertrouwen in de wetenschap 2025*, Den Haag: Rathenau Instituut.

RCE (2024), *Huidige klimaatrisico's voor cultureel erfgoed*, Amersfoort: Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed.

RCE (2026), *Klimaatrisico's voor Cultureel Erfgoed*, Amersfoort: Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed.

Ribeiro Neto, G. G., L.A. Melsen, A.C. Costa, D.W. Walker, L. Cavalcante, S. Kchouk, ... & P.R. van Oel (2024). *Clash of drought narratives: A study on the role of small reservoirs in the emergence of drought impacts. Earth's Future* 12(7).

RIVM (2013). *Naar een brede zorgplicht voor drinkwaterbronnen: doorwerking Drinkwaternet bij de bescherming van drinkwaterbronnen*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

RIVM (2023), *Risico's van Vibrio-besmetting in zwemwater, schelpdierproductiewater en schelpdieren*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

RIVM (2024a), *Kiezen voor een gezonde toekomst, Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2024*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

RIVM (2024b), *Naar een gezonde leefomgeving in een veranderend klimaat, Themaverkenning bij de Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2024*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

RIVM (2026), *Gezondheidseffecten van klimaatverandering Verkenning van toekomstige klimaatrisico's voor gezondheid in 2050*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid.

Rijswick, M. van, B. Monique, A. van den Bosch, & W. Oosterberg (2014), *Legitimiteit in het adaptatiebeleid. Governance van klimaatadaptatie: handelingsperspectieven*. Kennis voor Klimaat: 46-54

RLI (2024), *Ruimtelijke ordening in een veranderend klimaat*, Den Haag: Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur.

Roeser, S. (2006), *The role of emotions in judging the moral acceptability of risks.* Safety science 44(8): 689-700.

Savadori, L., Savio, S., Nicotra, E., Rumiati, R., Finucane, M. and Slovic, P. (2004), *Expert and Public Perception of Risk from Biotechnology.* Risk Analysis (24): 1289-1299.

Schasfoort, F., T. Woerkom, R. Melman, B. Knaake, M. Korff, et al. (2024). *Maatschappelijke effecten van veranderende zoetwaterbeschikbaarheid en watervraag – Methode-ontwikkeling en proeftoepassing voor het Deltaprogramma Zoetwater.*

SCP (2025a), *Kwesties voor het kiezen*. Den Haag: Sociaal Cultureel Planbureau.

SCP (2025b), *Sociale en Culturele Ontwikkelingen 2025.* Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau.

SCP (2025c), *Klimaat en samenleving, burgerperspectieven*. Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau.

Siegrist, M., & Árvai, J. (2020). *Risk perception: Reflections on 40 years of research*. Risk analysis, 40(S1): 2191-2206.

Signaalgroep Deltaprogamma (2022), *Advies Signaalgroep Deltaprogramma 2022*. Delft: Deltares.

Siegrist, M., & Árvai, J. (2020), *Risk perception: Reflections on 40 years of research. Risk analysis*, *40*(S1): 2191-2206

Simpson et al. (2021), *A framework for complex climate change risk assessment*. One Earth 4(4), pp. 489-501.

Slovic, P. (2016), *Perception of risk*. The perception of risk (pp. 220-231).

Slovic, P., B. Fischhoff, & S. Lichtenstein (1986), *The psychometric study of risk perception*, *Risk evaluation and management* (pp. 3-24). Boston, MA: Springer US

Stowa (2025), *Droogtestatistiek van de KNMI'23-klimaatscenario's.* Amersfoort: STOWA .

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.

Stoof, C.R., M.J.E. Van Marle, B. Noyons, & A., Cormont (2026). *Klimaatrisico's Natuurbranden. Een analyse in de context van de herziening van de Nationale Klimaatadaptatie Strategie.* Wageningen: WOT Natuur & Milieu.

Stratix (2025), *Mobiele netwerken beter beschermen tegen stroomuitval*. Hilversum: Stratix.

Staatsblad (2024), *Besluit erfgoed archeologie*. Den Haag: Rijksoverheid.

SER (2025), *Naar een toekomstbestendige omgang met water: Signalering 25/01*. Den Haag: Sociaal Economische Raad

TNO (2012), *Noodstroom in de zorg*. Inspectie voor de Gezondheidszorg, Behavioural and Societal Sciences. Zeist: TNO.

TNO (2020), *Rail as contingency mode for barge in situations with low water levels on the Rhine*. Den Haag: TNO.

TNO (2026a), *Klimaatrisico's voor de gebouwde omgeving; Hittestress, Funderingsschade en schade door acute wateroverlast door piekbuien*. Den Haag: TNO.

TNO (2026b), *Toekomstverkenning klimaatrisico's voor de digitale infrastructuur*. Den Haag: TNO.

UNEP (2025), *Emissions Gap Report 2025: Off target – Continued collective inaction puts global temperature goal at risk* [Olhoff, A., chief editor). Nairobi: UN Environmental Programme.

Van Asseldonk, M., R. Stokkers, J. Jager, & R. van der Meer (2020), *Economische effecten van droogte in 2018 en 2019: een regionale analyse akkerbouw en melkveehouderij.* Wageningen: Wageningen Economic Research.

Van den Eertwegh, G., P. de Louw, J-P Witte, M. van Huijgevoort, R. Bartholomeus, D. van Deijl, J. van Dam, J. Hunink, I. America, J. Pouwels, P. Hoefsloot & J. de Wit (2021). *Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden en Oost-Nederland: het verhaal van droogte 2018 en 2019 en bevindingen.* Delft: Deltares.

Van der Werf, G.R., J.T. Randerson, D. van Wees *et al.* (2025) *Landscape fire emissions from the 5th version of the Global Fire Emissions Database (GFED5)*. Science Data (12): 1870.

Van der Wijk, R. & J. de Jong (2021), *Stresstest Doorvaarthoogte Hoofdvaarwegennet; zeespiegelstijging en rivierafvoeren*. Delft: Deltares.

Van Klaveren S., E. Knol, R. Dankers, E. Parand, A. Dekking & A.L Mary (2026), *Vooruitblik op klimaatrisico's voor de Nederlandse landbouw & veehouderij in 2050 en 2100*. Wageningen: Wageningen University and Research.

Van Marle, M., N. Brouwer, H. Hazebroek & R. van Buren (2021), *Verdieping natuurbrandrisico Nederland: Gevoeligheid voor langdurige natuurbranden en vertaling naar het hoofdwegennet (HWN)*. Delft: Deltares.

Van Westen, R.M. et al. (2024), *Physics-based early warning signal shows that AMOC is on tipping course*. Science Advances (10): 1189.

Van Westen, R.M. & M.L.J. Baatsen (2025), *European Temperature Extremes Under Different AMOC Scenarios in the Community Earth System Model*. Geophysical Research Letters (52)12: e2025GL114611.

Veilig Vooruit Nederland (2025), Komt er nog water uit de kraan tijdens een blackout? Veilig Vooruit Nederland.

Veiligheidsregio IJsselland (z.d.), *Wat te doen bij uitval van drinkwater?* Zwolle: Veiligheidsregio IJsselland.

Verschuur, J., I. Hall, G, Sher & B. Taebi (2025), *Huidige en toekomstige klimaatrisico's voor het Nederlandse energiesysteem.* Delft: Technische Universiteit Delft.

Vicedo-Cabrera, A.M., F. Sera & A. Gasparrini (2019), *Hands-on tutorial on a modeling framework for projections of climate change impacts on health*. Epidemiology 30(3): 321–329.

VRO (2025), *Ontwerp Nota Ruimte*. Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening.

Vuik et al (2025), *Zoetwaterbeschikbaarheid in de Rijn-Maasmonding in een warmer klimaat*, Delft: Deltares.

VWS (2024), *Kamerbrief over arbeidsmarktprognose zorg en welzijn 2024*. Den Haag: Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport.

Werkgroep discontovoet (2025), *Advies Werkgroep discontovoet 2025 - Advies over de hoogte van de discontovoet in maatschappelijke kosten batenanalyses (MKBA's).* Den Haag: Ministerie van Financiën.

Witmond, B., J. Schreurs, H. Schütte, E. Meurs, M.A.P.M. van Asseldonk, H.A.B. van der Meulen, & R.W. van der Meer (2024), *Evaluatie van de Subsidieregeling Brede Weersverzekering*. Den Haag: Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Witteveen+Bos (2024), *Verkenning beprijzing watergebruik*, Deventer: Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.

WKR (2025), *Meeveranderen met het klimaat: ruimtelijke en maatschappelijke keuzes voor klimaatadaptatie*, Den Haag: Wetenschappelijke Klimaatraad.

WMO (2025), *Global mean temperature 1850-2024*. World Meteorological Organisation.

WRR (2025), *Mens en klimaat: De kracht van sociale infrastructuur bij adaptatie*, Den Haag: Wetenschappelijke Raad voor Regeringsbeleid.

WUR (2024), *Risico's en kansen van klimaatverandering voor de Nederlandse natuur*. Wageningen: WOT Natuur & Milieu.

WUR (2026a), *Toekomstige risico's en kansen van klimaatverandering voor de Nederlandse natuur.* Wageningen: WOT Natuur & Milieu.

WUR (2026b), *Vooruitblik op klimaatrisico's voor de Nederlandse landbouw & veehouderij in 2050 en 2100; Drie lineaire risicoanalyses van de gevolgen van droogte, vochtschade en hittestress a.d.h.v. de KNMI'23-klimaatscenario's*, Wageningen: Wageningen Environmental Research.

Bijlage 1: Meewerkende kennisinstituten

De volgende instituten hebben meegewerkt mee aan de verkenning naar toekomstige klimaatrisico's, met per instituut de onderwerpen die zij voor hun rekening hebben genomen en de gepubliceerde achtergrondrapporten:

- Deltares: infrastructuur, waterveiligheid, waterbeschikbaarheid, waterkwaliteit, natuurbranden
    - Klimaatrisico's en mogelijkheden adaptatie infrastructuur
    - Herijking klimaatrisico's – Overstromingsrisico's nu en in de toekomst
    - Verkenning van de effecten van twee adaptatiescenario's op zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland
    - Herijking klimaatrisico's – Herijking klimaatrisico's waterkwaliteit
    - Klimaatrisico's Natuurbranden – Een analyse in de context van de herziening van de Nationale Klimaatadaptatiestrategie
- KNMI: klimaatverandering
- ORG-ID (2026). Beleidsanalyse klimaatadaptatie
- RCE (Rijksdienst voor Cultureel Erfgoed): cultureel erfgoed
    - Klimaatrisico's voor Cultureel Erfgoed
- RIVM: gezondheid, drinkwater
    - Scenariostudie naar toekomstige klimaatrisico's voor de drinkwatervoorziening
    - Gezondheidseffecten van klimaatverandering
- TNO: gebouwde omgeving, digitale infrastructuur
    - Klimaatrisico's voor de gebouwde omgeving: Hittestress, Funderingsschade en schade door acute wateroverlast door piekbuien
    - Toekomstverkenning klimaatrisico's voor de digitale infrastructuur
- TU Delft: energie
    - Huidige en toekomstige klimaatrisico's voor het Nederlandse energiesysteem
- WUR (Wageningen University & Research): natuurbranden, Landbouw en veehouderij, en natuur
    - Klimaatrisico's Natuurbranden – Een analyse in de context van de herziening van de Nationale Klimaatadaptatiestrategie
    - Vooruitblik op klimaatrisico's voor de Nederlandse landbouw en veehouderij in 2050 en 2100
    - Toekomstige risico's en kansen van klimaatverandering voor de Nederlandse natuur

Bijlage 2: Tabellen contextscenario's

Tabel Bijlag 2.1
Overzicht klimatologische ontwikkelingen 2050 en 2100

		Referentie[1]	Context 2050	Context 2050	Context 2100	Context 2100
Klimaat	**Onderwerp**	**(1991-2020)**	**beperkt**	**sterk**	**beperkt**	**sterk**
Temperatuur	Gemiddelde tempetuur (°C)	10.5	+0.9°C	+1.6°C	+0.9°C	+4.4°C
	Wintertemperatuur	3.9	+0.7°C	+1.2°C	+0.7°C	+3.7°C
	Zomertemperatuur	17.3	+1.1°C	+2.1°C	+1.1°C	+5.1°C
Maximum temperatuur	Max. dag temp. in zomer	21.7	+1.2°C	+2.2°C	+1.2°C	+5.4°C
	Aantal tropische dagen (max temp. >30°C) de Bilt	5	9	13	9	35
	Aantal tropische nachten (min. temp. > 20°C) de Bilt	0.3	1	3	1	19
	Seizoenvariatie (verschil Zomer winter)	13.4	+0.4°C	+0.9°C	+0.4°C	+1.4°C
Neerslag	Jaarneerslag (mm) (tussen hakjes natte scenario voor waterveiligheid)	851	3%	-2% (+3%)	3%	-3% (+8%)
	Zomerneerslag (mm)	235	-2%	-13%	-2%	-29%
	Winterneerslag (mm)	218	+5%	+4% (+7%)	+5%	+14% (+24%)
Extreme neerslag	Jaarlijkse 10 daagse neerslagsom die eens in 10 jaar valt (mm) (intensiteit)	127	+3%	+0% (+2%)	+3%	-8% (+15%)
	Zomerse uur neerslag die eens per jaar wordt overschreden (mm) (intensiteit)	16	+6%	+6% (+11%)	+5%	+15% (+31%)
	Zomers 1 daagse bui die eens in 10 jaar valt (mm) (intensiteit)	63	+5%	+6% (+9%)	+5%	+15% (+26%)
	Winterse 10 daagse neerslagsom die eens in 10 jaar valt (mm) (intensiteit)	109	+2%	+0% (+2%)	+2%	+8% (+15%)
	aantal dagen met zware neerslag (25mm) (frequentie)	2	2	3	2	3
Droogte	Maximaal Neerslagtekort groeiseizoen (t.o.v. 1991-2020 gemiddelde)	160	+13%	+35%	+13%	+79%

	Maximaal Neerslagtekort groeiseizoen dat eens in 10 jaar wordt overschreden	265	+9%	+30%	+9%	+63%
vocht	luchtvochtigheid (jaar)	82%	-1%	-1%	-1%	-1%
	luchtvochtigheid (lente)	78%	-1%	0%	-1%	+1%
	luchtvochtigheid (zomer)	77%	-1%	-2%	-1%	-4%
Straling	Zonnestraling jaar (W/m2)	120	+4.8	+5.4	+4.8	+7.1
Wind	wind winter (m/s)	5.6	-0.1	+0.0	-0.1	+0.1
	wind lente (m/s)	4.7	-0.1	+0.0	-0.1	+0.1
	wind zomer (m/s)	4.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2
	wind herfst (m/s)	4.7	-0.1	+0.0	-0.1	-0.2
Zeespiegel stijging	zeespiegel Nederlandse kust (cm)	0	+24 (16-34)	+27 (19-38)	+44 (26-73)	+82 (59–124)
	Snelheid zss (mm/jr)	+3 (1-6)	+3 (1-6)	+5 (4-8)	-1 (-4-4)	+11 (6-23)
Riverafvoeren (uit Deltascenarios)	7 daags minimum afvoer in zomer Rijn (m3/s)	1181	-9 tot -13%	-8 tot -18%	-9 tot -13%	-20 tot -31%
	Max. afvoer Rijn (m3/s) (mediaan)	6137	-1 tot +1%	+7 tot +10%	-1 tot +1%	+11 tot +30%
	7 daags minimum afvoer in zomer Maas (m3/s)	51	-6 tot -13%	-7 tot -17%	-6 tot -13%	-18 tot -27%
	Max. afvoer Maas (m3/s) (mediaan)	1577	-5 tot +4%	0 tot +4%	-5 tot +4%	0 tot +22%

1 *Referentieperiode is voor alle gegeven grootheden 1991-2020, behalve voor de zeespiegelstijging, 1995-2014.*

Tabel Bijlage 2.2
Overzicht Sociaal-economische ontwikkeling voor 2050

Sector/onderwerp	Aspecten	Referentie (2021)	Beperkt risico verhogend 2050	Sterk risico verhogend 2050	Refe-rentie
Bevolking	Omvang Bevolkings-groei	17.5	18.2	21	WLO 25
Bevolking	Leeftijdsopbouw (%65+)	19.8%	24%	26%	WLO 25
Bevolking	Leeftijdsopbouw (%80+)				
Bevolking	% Mensen in steden	32.7%	36.0%	36.0%	WLO 25
Economie	BNP	100	+16%	+87%	WLO 25
Energie	Energievraag		huidig	Toename: Huidig *20/18	
Energie	Energiemix		Kwalitatief zie tekst	Kwalitatief zie tekst	
Energie	Elektrificatie, toename elekticiteitsvraag		toename	Sterke toename	
Energie	Energie-infrastructuur, Bijv. masten, ook op zee		toename	Sterke toename	
Energie	Verwevenheid andere sectoren		toename	Sterke toename	
ICT	Digitalisering, ICT vraag		Sterke Toename	Zeer sterke toe-name	
ICT	ICTmix,		Glasvezel etc.		
ICT	ICT infrastructuur		toename	Sterke toename	
ICT	Verwevenheid andere sectoren		Sterke toename	Zeer sterke toe-name	
Landbouw	mix landbouwtypen		Kwalitatief zie tekst	Kwalitatief zie tekst	
Gebouwde omgeving	Aantal huishoudens (miljoen)	8	8.4	10.4	WLO 25
Gebouwde omgeving	Aantal eenpersoons-huishoudens (miljoen)	3.1	3.4	4.8	WLO 25
Gebouwde omgeving	Woningbouwopgave		Vooral in be-staand gebied	Door grote vraag ook uitleg	WLO 25
Gezondheid	Zie bevolking en econo-mie: kwetsbaren		toename	Sterke toename	
Transport Infrastructuur	Omvang vraag mobili-teit/ spoor en wegen	huidig	Lichte toename	Sterke toename	WLO25
Transport Infrastructuur	Verweven elektrici-teit/ICT Wegen/spoor mobiliteit		Sterke toename	Zeer sterke toe-name	
Transport Infrastructuur	Volume binnenvaart		+23%	+42%	WLO25

Bijlage 3: Tabellen met maatregelen per adaptatierichting en per sector

Tabel Bijlage 3.1
Maatregelentabel Gezondheid

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Nationale en regionale hitte-plannen	Installeren van zonneschermen of airconditioning om hitte te-gen te gaan	Meer groen (bomen en planten) en meer blauw (water) aanleg-gen in onze leefomgeving, waardoor er tijdens hitte meer schaduw beschikbaar is en de temperatuur lager uitpakt
Wettelijke eis voor hittestress in nieuwe gebouwen	Buiten houden van muggen en pollen door horren	Dagritme van de samenleving kan worden aangepast aan het verloop van de temperatuur en de kracht van de zon, bijvoor-beeld door meer flexibele werk-tijden, vooral voor buitenwerkers
Voorlichtingsmaatregel ozon-pieken	Gebruik van bestrijdingsmidde-len tegen plaagdieren	Vergroten van de 'maatschap-pelijke weerbaarheid'. Dat kan bijvoorbeeld betekenen dat koele openbare gebouwen tij-dens hitte worden gebruikt als plekken om samen te komen en elkaar te steunen, en dat in straten of buurten afspraken zijn gemaakt om extra hulp te bieden aan kwetsbare bewo-ners.
Huidkankerpreventiecampagne	Sturen op aanpassingen van ge-drag, bijvoorbeeld via waar-schuwingssystemen. Bedrijven en inwoners worden dan ge-waarschuwd voor te verwach-ten risicovolle omstandigheden, zoals hitte, slechte luchtkwali-teit, meer kans op infectieziek-ten en allergieën, en (te) sterke UV-straling	Ervoor zorgen dat de gezond-heid van mensen wordt verbe-terd, door bijvoorbeeld gezonde voeding en meer be-wegen en door mee te kunnen doen in de samenleving.
Actief uitroeiingsbeleid tijger-mug	Versterken van de zorgverle-ning	Kinderen meer buiten laten spelen in de natuur, waardoor

		hun weerstand tegen infecties en allergieën wordt vergroot.
Monitoring van zwemwater-kwaliteit	Bijscholing van zorgpersoneel over de effecten van klimaat-verandering op gezondheid	
Preventieve maatregelen tegen voedselbederf	Snellere methoden om ziektes vast te stellen en verbeterde medicijnen en behandelingen	
(Beperkte) actuele polleninfor-matie		

Tabel bijlage 3.2
Maatregelentabel Cultureel Erfgoed

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
De huidige adaptatierespons voor cultureel erfgoed is ondergebracht bij verschillende andere beleidstrajecten. Daarnaast moet het erfgoed worden geïntegreerd in de bredere ruimtelijke en beleidsmatige overwegingen, zoals overwegingen ten aanzien van stedenbouwkundige en landschappelijke kwaliteiten en een gezonde leefomgeving.	Expliciet opnemen van archeologie (of breder: erfgoed) in de verdringingsreeks	Expliciet opnemen van archeologie (of breder: erfgoed) in de verdringingsreeks
	Aanleg brandvrije kelders, sprinklerinstallaties, evacuatieplannen voor musea en archieven. Onderhoud vegetatie rondom het erfgoed.	Aanleg brandwerende omgeving: open gebieden, buffers rond gevoelige culturele objecten. Vergroten van de heterogeniteit van landschappen.
	Vervangen of versterken van fundering van monumenten.	Aanleg hydrologische zones, peilopzet om archeologisch erfgoed en (houten) funderingen van monumenten die droog kunnen komen te staan te beschermen.
	Grondwaterpompen en grondconstructies om water vast te houden. Innovatieve vormen van irrigatie, zoals druppelirrigatie opvangen van regenwater voor watervoorziening ten behoeve van historische tuinen, parken en groen aanleggen.	Herstel de waterhuishouding van historische tuinen, parken en groenaanleggen van vóór 1850. Herstel van oude waterlopen op en om landgoederen; water, bodem en cultureel erfgoed sturend.
	Aanleg damwanden, retentiebekkens om erfgoed te beschermen tegen wateroverlast. Gebruik van schotten of waterdichte deuren voor monumenten.	Erfgoed beschermen door gebruik te maken van historische referentiebeelden van een natter Nederland (waterberging, hermeandering) door water en bodem sturend te maken.

		Gebruik van historische kunstwerken als overlaten, inlaatsluizen en inundatiegebieden om water beter te verdelen.
	Aanleg waterdichte kelders en stedelijke keringssystemen nabij monumenten, musea en archieven. Waterdicht maken van de buitenschil en vloeren van het gebouw, het installeren van dorpels en drempels, het gereedmaken van tijdelijke barrières en het beschermen van collectiestukken met een waterdichte verpakking.	Verplaatsen van collecties naar een locatie buiten overstromingsrisicogebied, echter veel locaties hebben zelf ook een belangrijke historische waarde of de gebouwen zijn speciaal ingericht voor een specifieke collectie.
	Op grote schaal terugbrengen van historische zonwering.	Grootschalige inzet historisch groen tegen hittestress.
Immaterieel erfgoed kent geen formele bescherming, een bijschrijving in de 'Inventaris Immaterieel Erfgoed Nederland' heeft geen juridische consequenties. Voor het immaterieel erfgoed komen adaptatiemaatregelen vooralsnog alleen uit de gemeenschappen zelf. De diversiteit aan vormen van immaterieel erfgoed is te groot om algemene uitspraken te doen over het aanpassen aan klimaatverandering.	De mogelijkheden voor het technisch aanpassen hangt vooral af van het type immaterieel erfgoed. IJsverenigingen bijvoorbeeld kijken naar technische oplossingen om ijsvorming te versnellen.	Bepaalde vormen van immaterieel erfgoed liften mee met ruimtelijke maatregelen. Zo profiteren bijvoorbeeld de vele jaarfeesten van het vergroenen van de steden en dorpen in geval van warm weer.

Tabel bijlage 3.3
Maatregelentabel natuur

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Robuustere natuur door uitbreiden natuurgebieden. Mogelijk vertraagd door afschaffen NPLG	Afmaken van huidige natuurnetwerk, incl. aanleg extra bossen (voor CO_2 vastlegging)	Realiseren van een robuust natuurnetwerk (+150 000 ha extra natuur) inclusief groen-blauwe dooradering in het landelijk gebied, met ruimte voor een grotere variatie aan microklimaten en waarin soorten noord-zuid of oost-west kunnen migreren, incl. tijdelijke 'vluchtplaatsen'
Herstelvermogen van natuur vergroten door verminderen andere drukfactoren, bijvoorbeeld via Natuurherstel-verordening.	Natuurnetwerk wordt beperkt uitgebreid.	grootschalige en structurele aanpassingen in landgebruik, inrichting en beheer. Landbouw wordt extensief en natuurinclusief. B.v. Stopzetten van wateraanvoer voor de landbouw ter voorkoming van verdroging van natuurgebieden, minder gebruik gewasbeschermingsmiddelen,...
	Landbouw blijft dominant. Alleen rond Natura2000 gebieden komen overgangszones met natuurinclusieve landbouw en gereduceerde wateronttrekking	Vergroten watervasthoudend en waterbergend vermogen. Zie bijv. Ruimte voor de Rivier, maar ook Ruimte voor Beken
	Verbetering grondwaterstand alleen in nieuwe natuur. Daar technische maatregelen zoals waterpeilbeheer en zoetwaterberging,	Ook inrichting en beheer van natuurgebieden wordt aangepast. Grootschalig herstel van natuurlijke systemen (o.a. meer hermeandering, meer beschaduwing van beken, dempen van sloten, organisch stof gehalte van bodem verhogen e.d.)
	Technische maatregelen om zoetwaterbeschikbaarheid natuur te verhogen: drinkwater uit oppervlaktewater i.p.v. grondwater, en uit reverse osmosis (van zout water zoet water maken)	Ook inrichting: Meer groene vooroevers zoals rietoevers, kwelders, zeegrasvelden en schelpenbanken die kunnen meegroeien met de zee
	Zandsuppletie en zandmotor	Rond natuurgebieden verhoging van grondwaterpeil om

		instandhouding van kwelstromen (in zandgronden) en tegendruk tegen zoute kwel/ zoutindringing (in kustwateren).
	Dijkverhoging/verzwaring, en nieuwe technieken voor sterke, smalle en hoge dijken en retentiegebieden	Beheersmaatregelen om verdamping te beperkten: bijvoorbeeld omvorming van naaldbos naar loofbos
		Creëren van betere milieu- en watercondities (minder stikstof, minder gewasbeschermingsmiddelen in omliggende landbouw), … Gezonde ecosystemen kunnen de effecten van klimaatverandering beter opvangen
		Stimuleren van gezonde landbouwbodems waardoor tot minder waterafstroming naar natuurgebieden

Tabel bijlage 3.4
Maatregelentabel Waterkwaliteit

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Tegen temperatuurstijging	***Tegen temperatuurstijging***	***Tegen temperatuurstijging***
Herstellen van de verbinding met aangrenzende gebieden	Handhaving toxische normen	Beschaduwing via aquatische vegetatie ter vermindering van instraling
Menging via getijdewerking vermindert de effecten van stratificatie temperatuur		Beschaduwing via multifunctionele bufferstroken
Doorspoeling vermindert de effecten van stratificatie en opwarming		Handhaving toxische normen
Vermindering van warmtevervuiling beperkt een van de bronnen van de opwarming van de wateren		
Tegengaan weghalen bomen		
Tegen verdroging	***Tegen verdroging***	***Tegen verdroging***
Verhogen grondwaterpeilen met bijvoorbeeld Onderwaterdrainage	Hergebruik RWZI-effluent	Verminderen instraling door water-, oever- of terrestrische vegetatie
Ontwikkeling bodemstructuur voor verhoging waterberging capaciteit		
Verbreden en verondiepen watergang		
Aanleg/ontwikkeling waterberging gebied		
Voorkomen afgraven sliblaag waardoor verhoogde terugstroom naar kwel is		
Voorkomen verstoring dis-connectiviteit met grondwater door verandering vorm waterlichaam		
Tegen grotere verblijftijden		
Gebruik (rivier)water voor het verhogen van de doorstroom		
Herstellen van de verbinding met aangrenzende gebieden		
Menging via getijdewerking vermindert de effecten van zuurstof stratificatie		
Tegen verzilting	***Tegen verzilting***	***Tegen verzilting***

Controleren van debieten van-uit zoetwater	Hergebruik RWZI-effluent	Verondiepen bodem
Aanpakken eb-lekkende sluizen	Zuiveren kwelwater via reverse-osmose	Ruimtelijke herindeling van type natuurgebied passend bij nieuwe ecologische status.†
Aanleg van trapjeslijn (Nieuwe waterweg) als bodem rivierlijn	Zuiveren oppervlaktewater	Natuurlijke filtering van zouten uit oppervlaktewater
Injecteren geperste lucht of water voor sluizen (Terneuzen, krammersluis, IJmuiden)	Dichten zoute wellen	
Vervanging van water in de sluiskolk	Injecteren geperste lucht in onderlaag (bellenpluim)	
Selectieve onttrekking zoute onderlaag bij spuien		
Opslag van water voor het zoetspoelen van verzilte wateren.		

Tabel bijlage 3.5
Maatregelentabel Waterbeschikbaarheid

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Oppervlaktewatertekort laag-Nederland	***Oppervlaktewatertekort laag-Nederland***	***Oppervlaktewatertekort laag-Nederland***
Slim Watermanagement: verbetering informatievoorziening en infrastructuur	Landbouw: innovatieve drainage, aquifer storage and recovery in kreekruggen	Minder drinkwateronttrekkingen, want minder vraag
Vergroting aanvoercapaciteit vanuit hoofdwatersysteem	Landbouw: aanvoer vergroten en inlaatpunten verplaatsen	Teelten aanpassen; geen verdere groei van fruitteelt
Pilots nieuwe vormen landbouw	Toename drinkwater opvangen door nieuwe locaties of meer rivierwinningen	Verzilting deels accepteren, minder zoutgevoelige gewassen (regenwaterlens en aanvullen met iets brakker water)
	Nieuwe zuiveringstechnieken drinkwater	Drinkwaterwinningen verplaatsen naar minder gevoelige gebieden
	Drinkwater: meer reservecapaciteit of overstap op ontzilting	Veengebieden: flexibeler peilbeheer en gebieden sterk vernatten; meer natte teelten
	Op grote schaal onderwaterdrainage en hogere slootpeilen in veengebieden	Vraag doorspoeling sterk reduceren door slimmer doorspoelen, en hogere concentraties accepteren
	Meer aanvoercapaciteit van HWS naar regio's, zoals ARK-route instellen, KWA vergroten en pompcapaciteit Eefde vergroten (Twentekanalen)	Alleen vergroten buffer IJsselmeer / Markermeer als het nodig is in de toekomst
	Grotere bufferschijf IJsselmeer / Markermeer	Op termijn afsluiten Nieuwe Waterweg, tot die tijd vergroten surplusdebiet om Hollandsche IJssel en Lek zoet te houden
	Verondiepen NWW, en vergroten surplusdebiet om Hollandsche IJssel en Lek zoet te houden	
	Zoutindringing bij sluizen beperken met technische maatregelen zoals zoutvang	
	Lokale vernatting d.m.v. onderwaterdrainage of drukdrainage	
Grondwatertekort hoog-Nederland	***Grondwatertekort hoog-Nederland***	***Grondwatertekort hoog-Nederland***

Vasthouden water	Meer beregend areaal landbouw, wel druppelirrigatie, peilgestuurde drainage, maaiveldafvoer beperken, afkoppelen bebouwd gebied	Beregend areaal landbouw neemt af in bufferzones, de rest gelijk
Doelmatige waterverdeling	Toename drinkwatervraag opvangen door nieuwe locaties of meer rivierwinningen	Vraagreductie drinkwater, daardoor minder grondwateronttrekkingen en deels verplaatsen naar rivieren
Gebruik alternatieve bronnen	Actieve infiltratie i.s.m. drinkwaterbedrijven en nieuwe onttrekkingslocaties om in drinkwatervraag te voorzien	Bufferzones rondom natte natuur en beekdalen. Verhoging van grondwaterstanden door extensiveren van ontwateringssysteem in bufferzones en in beekdalen
(Klimaat)robuuste inrichting en beheer watersysteem	Meer grondwaterbronnen aanboren, o.a. nieuwe onttrekkingslocaties benutten in Aanvullende Strategische Voorraden (ASV)	Omvorming van naaldbos naar heide of loofbos
Innovaties in de landbouw		

Tabel bijlage 3.6
Maatregelentabel natuurbranden

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Natuurbranden zijn beleidsarm dossier. Er is op dit moment geen directe wet- en regelgeving is over bijvoorbeeld natuurbrandbeheersing, statistieken en educatie en voorlichting. Maar het dossier zich op dit moment in een stroomversnelling, met ministerie van LVVN in de lead.	Stimuleer natuurbrand-adaptief bouwen en het gebruik van soortgelijke bouwmaterialen (b.v. via normering, voorlichting)	RO: Natuurbrand onderdeel van ruimtelijke afwegingen
Focus ligt op (technische) bestrijding van natuurbranden, bijvoorbeeld via aanpassingen in Omgevingswet.	Natuurbrand onderdeel van vergunningverlening	RO: Ontmoedig het (her)bouwen van kwetsbare objecten in risicogebied
Er zijn ook allerlei initiatieven bij de sector zelf, m.n. gericht op risicocommunicatie, preventie (b.v. via beheer) en bestrijding.	Het stellen van normen aan bebouwing en vitale infrastructuur m.b.t. materiaal eigenschappen en constructie	RO: verplaatsen vitale functies of kwetsbare objecten uit risicogebied
Adaptatiemaatregelen en langere termijn visie zijn nog niet in beleidspakketten vastgelegd	Innovatieve en Slimme brandbestrijding & opleiden brandweer en terreinbeheerders	Aanpassing Beheer om de kans op natuurbrand te beperken,
	Zorg voor fysiek en mentaal welzijn van hulpverleners, omwonenden, en andere getroffenen	Aanpassing Beheer om hoeveelheid brandstof te beperken, het potentiële brandgedrag beheersbaar te houden en overslag van natuurbranden te verminderen.
	Betere verzekeringen voor gevolgbeperking	Verbeter landschapskwaliteit om zo beter bestand te zijn tegen verschillende klimaatdreigingen, en minder gevoelig te zijn voor natuurbranden. Veel synergiën mogelijk (b.v. verbeter hydrologisch systeem in landschap).
	Opzetten systematische monitoring van natuurbrand	Aanpassing beheer en onderhoud direct rond kwetsbaren gebieden/vitale infra
	Vergroten bewustwording, voorlichting (incl. Wat te doen)	Stimuleren zelf- en samenredzaamheid burgers

	Kennis & innovatie (incl. in onderwijs)	Ontwikkel herstelplannen, incl. vangnetten voor getroffenen
		Zorg voor fysiek en mentaal welzijn van hulpverleners, omwonenden, en andere getroffenen
		Ontwikkelen integraal natuurbrandbeheer, gericht op meerlaagsveiligheid (bewustzijn, preventie, gevolgbeperking, bestrijding, herstel)
		Opzetten systematische monitoring van natuurbrand
		Vergroten bewustwording, voorlichting (incl. Wat te doen)
		Kennis & innovatie (incl. in onderwijs)

Tabel bijlage 3.7
Matregelentabel Waterveiligheid

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
In 2050 voldoen aan de overstromingsnormen voor primaire keringen	(Innovatieve) dijkversterkingen en aanpassen van stormvloedkeringen, stuwen, en andere kunstwerken	Ruimtelijk beleid en aanpassing aan klimaat- bodem- en waterkarakteristieken
Voldoen aan de veiligheidsnormen voor regionale keringen	Vergroten van de regenafvoercapaciteit met pompen, gemalen, en andere ingrepen in het watersysteem	Verbeteren gevolgbeperking, crisismanagement, herstel worden verbeterd en waterbewustzijn
Aandacht voor meerlaagsveiligheid	Beperken van de gevolgen van een doorbraak met technische noodmaatregelen	Stresstesten in cycli herhaald
	Beperken van de slachtofferrisico's door betere waarschuwingssystemen en evacuatiemaatregelen en vluchtplaatsen	Zandsuppletie om de duinen en het kustfundament te behouden, ruimte voor rivieren, en ook het aanpassen van watersystemen en onderhouden van keringen blijven nodig
	Versnellen van herstel en beperken van de impact van overstromingen door middel van verzekeringen en herstelfondsen	Vasthouden van water in bodems, het bergen in bergingsgebieden en het vergroten van de afvoercapaciteit bij hoogwater met nevengeulen of groene rivieren, zoveel mogelijk aansluitend op natuurlijke processen
		Anders inrichten van nieuw te ontwikkelen locaties, rekening houdend met mogelijkheid van wateroverlast en overstromingen
		Anders bouwen van objecten (vitale infrastructuur, publieke voorzieningen), aanpassen bouwvoorschriften
		Meer redundant en flexibel maken van netwerken en functies

Tabel bijlage 3.8
Maatregelentabel Gebouwde Omgeving

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Belangenafweging grondwater	Monitoring en inspectie van funderingen	Voorkomen van schade door het aanpassen van het waterbeheer en het verbeteren van de bodemcondities
Peilvakken aanpassen	Herstellen van schade en het verbeteren van de infrastructuur om verdere verzakkingen te voorkomen	Verhogen van de grondwaterstand in veengebieden
Natte teelten (paludicultuur)	Ondersteunen van bewoners die te maken krijgen met funderingsproblemen	Gebruik van duurzame materialen en flexibele constructies.
DIT-riool	Organiseren van voorlichting en het betrekken van bewoners bij besluitvorming	Nieuwe bouwprojecten worden gepland op locaties met minder risico op de gevolgen van bodemdaling
Scheuren herstellen (ondiepe funderingen)	Toepassen van zonwerende oplossingen, zoals buiten- en binnenzonwering en zonwerend glas	Creëren van een groenblauwe infrastructuur die water vasthoudt en infiltreert in plaats van het snel af te voeren (Voorbeelden hiervan zijn groene daken, wadi's (verlaagde groenstroken die water kunnen bergen), waterpleinen en het ontharden van straten)
Grondinjecties (ondiepe funderingen)	Verbeteren van ventilatiemogelijkheden met bijvoorbeeld zomernachtventilatieluiken en horren	Vergroten van het groene stedelijk oppervlak door meer bomen, parken en groene gevels, het verlagen van de stedelijke dichtheid en het verhogen van het terugkaatsingsvermogen van stedelijke oppervlakken door het toepassen van witte daken en lichte bestrating
Op palen funderen (ondiepe fundering)	Aanleggen van groene gevels en daken	
Op palen funderen (ondiepe fundering)		
Paalkopverlaging (diepe fundering)		
Fundering compleet vervangen		
Sloop en nieuwbouw van de woning		

Fonds Duurzaam Funderings-herstel
Participatiemogelijkheden cre-eren voor bewustwording

Tabel bijlage 3.9
Maatregelentabel Drinkwater

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Beperking drinkwatervraag burgers, middels campagnes, proefprojecten en uitwisselen van kennis	Vrijwillige vermindering drinkwatervraag	Water-en-bodem-sturend zoveel mogelijk als leidend principe
Beperking drinkwatervraag industrie, o.a. door overzetten op andere waterbronnen, zoals gezuiverd afvalwater	Operationaliseren van de bestaande winvergunning waar dat mogelijk is, en het in gebruik nemen van de ASV-gebieden	Verplichtende maatregelen voor grootschalige waterbesparing van drinkwater door huishoudens
Acties om bestaande winvergunningen daadwerkelijk te operationaliseren en nieuwe bronnen te ontwikkelen (Actieprogramma Beschikbaarheid Drinkwaterbronnen)	Toename drinkwatervraag voorzien door het uitbreiden van conventionele bronnen en zeer beperkt onconventionele bronnen	Bestaande winningen zoveel mogelijk behouden door (natuurlijke) infiltratie van regen- en oppervlaktewater
Multibronnenstrategie drinkwaterbedrijven, waarbij afhankelijk van kwantiteit en kwaliteit geschakeld kan worden tussen grondwater-, oppervlakte- of andere bronnen	Uitbreiden bekkens en duinreserves	Verminderen grondwaterwinningen in de buurt van kwetsbare natuur
Uitbreiden reserves en bekkens uit om langduriger innamestops te overbruggen	Investeringen in supraregionaal drinkwaternet	Oppervlaktewaterbedrijven breiden bekkens uit, zoveel mogelijk natuur inclusief ontworpen
Bouw geavanceerdere drinkwaterzuiveringsinstallaties	Inzet op geavanceerdere zuiveringstechnologieën	Maatregelen in gebouwde omgeving en landbouw om water te besparen en vast te houden
Waterbesparende maatregelen (uitvoeringsprogramma Deltaprogramma Zoetwater)	Waterbesparing in de landbouw door grootschalige inzet op (druppel)beregening en het opslaan van water	In het waterbeheer meer aandacht voor waterberging en het laten infiltreren in plaats van afvoeren
Opzetten peil IJsselmeer	Leidingen worden zoveel mogelijk verlegd naar de schaduwkant van straten, om opwarming van het distributienet tegen te gaan	Leidingtracés zoveel mogelijk met groene stroken combineren

Tabel bijlage 3.10
Maatregelentabel Landbouw

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Huidige praktijken: sproeien, doorspoelen; huidige teelten, op huidige locatie	Grootschalige toepassing druppelirrigatie	Geen wateraanvoer meer voor de landbouw. Blauw-groene dooradering (water en natuur) van landelijk gebied
	Klimaatadaptatie op gebiedsschaal (met als doel landbouw – dus ook doorspoelen)	Veel ruimte voor water, door het aanleggen van overstromingsvlaktes en buffers
	Verantwoordelijkheid voor droogte niet bij bedrijf	Klimaatadaptatie landbouw afdwingen met wetgeving
	Agro/Technologische innovaties, GMO. Mogelijkheid om gewassen genetisch te modificeren om ze daarmee klimaatrobuuster te maken.	Ruimtelijke ordening aanpassen
	Eco-systeemdiensten belonen en produceren voor EU en mondiale markt	Klimaatslim op gebiedsschaal. Gezamenlijke verantwoordelijkheid (overheid, landbouw, drinkwaterbedrijf) voor verzilting en droogte
		Eco-systeemdiensten belonen, produceren voor EU en Nederlandse markt
		Produceren biogrondstoffen en aquacultuur: eiwitproductie in zeewier, oesters en mosselen
		Beleid op EU-regioniveau
		Land sharing met andere functies zoals natuur
		Transitie naar kringlooplandbouw: melkveehouderij, akkerbouw & fruitteelt tussen de rivieren. Benutten beste gronden (met zoetwaterlenzen) voor kringlooplandbouw
		Nieuwe zilte teelten en aquacultuur (zeewier en scherpdier) o.a. tussen dubbele dijken & Westerschelde: 150.000 ha zilte teelten zoals zilte aardappel, lamsoor, zeekraal, oesterblad

Tabel bijlage 3.11
Maatregelentabel Infrastructuur

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Zie hoofdstuk 17	Klimaatrobuust onderhoud Voorbeelden: Spoor en weg: onderhoud aan regenwaterafvoersysteem of berm voor spoor en weg Vaarwegen: vaargeulonderhoud/baggeren	Versterken van netwerkredundantie Voorbeelden: Spoor en weg: toevoegen van alternatieve routes Vaarwegen: grotere schepen toestaan op meer vaarwegen
	Klimaatrobuuste renovatie en nieuwbouw Voorbeelden: Spoor en weg: verhogen van kwetsbare componenten, vergroten van drainagesystemen Vaarwegen: verlagen sluisdrempels, aanpassen kades	Adaptatie door gebruikers Voorbeelden: Spoor en weg: thuiswerken Vaarwegen: aanpassen voorraadbeheer
	Versterken van operationele processen Voorbeelden: Spoor en weg: tijdelijke omleidingen Vaarwegen: verkeersmanagement	

Tabel bijlage 3.12
Maatregelentabel Energie

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Rivieroverstroming		
Redundantie in hoogspanningsnet	Uniforme ophoging van 50 cm voor alle MS/LS binnen niveau 1-5	Risicogestuurde ophoging van 50cm of 200cm voor alle HS/MS/LS binnen niveau 3-5
Hoogwaterstations: sommige onderstations verhoogd tot ca. 200 cm		Voor niveaus 1-2 (<1:3000 jaar) wordt er met ad-hoc bescherming gewerkt
Regionale stations: kritieke onderdelen verhoogd 50-100 cm		
Extreme regenval		
Zelfde redundatieprincipe als bij rivieroverstromingen	Uniforme ophoging van 30 cm voor alle MS/LS	Risicogestuurde ophoging van tot boven de 30 cm voor alle MS/LS
Zelfde adaptatierichtlijnen als bij rivieroverstromingen		Alleen voor rivieroverstromingen 1:100 jaar
Zeespiegelstijging		
Sectorale bescherming van kritieke infrastructuur	Verantwoordelijkheid adaptatie bij industrie m.b.v. subsidies van de overheid	Verantwoordelijkheid adaptatie bij overheid d.m.v. strakkere uniforme normen
Bescherming via havenautoriteiten	Locaties behouden, maar adapteren	Verplaatsen infrastructuur naar binnendijkse locaties
Nieuwe infrastructuurprojecten: mogelijkheid tot terreinverhoging en integratie van waterveiligheidsmaatregelen	Ophoging terreinen	Gefaseerde uitrol vanaf hotspots met hogere blootstelling aan zeespiegelstijging
Beleid vooral gebaseerd op vrijwillige samenwerking	Ontwikkeling van de compartimentering kritieke assets	
Droogte		
Europese regelgeving: lozingsbeperking bij >28 °C rivierwater	Huidige centrales ontwikkelen	Huidige centrales verplaatsen
Handhaving beperkt: centrales kunnen soms blijven lozen	Inzet (hybride) closed-loop koeling	Lozingskader, zonder uitzonderingen naar 25 °C
Alternatieve lozing op grotere diepte bij estuaria	Open-loop met strikte monitoring en tijdelijke ontheffingen	Nieuwe centrales naar kust/estuaria
Gebruik van koeltorens om minder water te verbruiken	Koeltorens waar haalbaar	Gefaseerde uitrol vanaf hotspots met hogere blootstelling aan rivierdroogte
'Verdringingsreeks' bepaalt prioriteit watergebruik	Optimalisatie in-/uitlaten	
Windstormen		

Redundantie: dubbele circuits en transformatoren, ringstructuur		Redundatie richting n-2
Investeringen in ondergronds brengen van leidingen	Ondergronds brengen van lijnen <150 kV – 220 kV, waar mogelijk 380 kV	d.m.v. extra circuits & transformatoren
Structuurschema Elektriciteitsvoorziening IIIL elke nieuwe bovengrondse verbinding vereist dat één bestaande vervangen wordt door ondergrondse		d.m.v. interconnecties tussen deelnetten
	Prioriteit stedelijke regio's en hoge-wind-corridors	Prioriteit bij knooppunten en hoge-wind-corridors
Dunkelflaute		
Balancering via internationale interconnecties voor leveringszekerheid		
Gebruik van gascentrales, reserves en beperkte batterijopslag	Ontwikkeling centrale energie reserves	Ontwikkeling decentrale opslag
Bezig met uitbreiding interconnectiecapaciteit tot 2050		Vraag- & prijssturing via HEMS
Ontwikkeling waterstofopslag	Waterstofopslag in zoutcavernes	Strategische import via internationale verbindingen
Langetermijnopslag (waterstof/ammoniak) als aanvullende adaptatie		

Tabel bijlage 3.13
Maatregelentabel Digitale infrastructuur

Huidige situatie	Intensiveren	Transformeren
Ruimtelijke spreiding		
		Verbod hyperscalers in Nederland (hyperscalers enkel voor Nederland, niet voor EU)
		2e datacenter cluster, naast MRA (colocatie)
Overstroming		
	Nieuwe datacenters in gebied laag risico (hyperscalers, colocatie)	
	Maatregelen lokale waterover-last nieuwe datacenters bij bouw (hyperscalers, colocatie, single tenant)	
	Maatregelen lokale waterover-last bestaande datacenters vanuit Wwke (hyperscalers, colocatie)	
Watertekort		
	Verbod laagwaardig drinkwatergebruik (colocatie, single tenant)	
	Stimuleren alternatieven (colocatie, single tenant)	
	Efficiënter watergebruik (colocatie, single tenant)	
Stroomuitval		
	Maatregelen elektriciteitsnetwerk (hyperscalers, clusters colocatie)	
	Gevolgen beperken (hyperscalers, colocatie)	
Vitale infrastructuur		
	Verminderen kwetsbaarheid van keteneffecten via Wwke (vitale aanbieders: hyperscalers, deel van colocatie en beperkt deel single tenant)	
	Informeren klimaatrisico's (Single tenant, deel van colocatie)	

Bijlage 4: Aanpak onderzoek naar beleving van klimaatrisico's in Nederland

Bijlage 4.1 Toelichting methodologie

Het doel van dit onderzoek is om naast het expert perspectief op toekomstige klimaatrisico's en beleid het perspectief van inwoners in Nederland te plaatsen. De nadruk ligt daarbij op het in kaart brengen van risicopercepties, maar ook op hoe de overheid in algemene zin met deze risico's zou moeten omgaan. De algemene onderzoeksvraag is:
Hoe kijken inwoners van Nederland aan tegen klimaatrisico's in Nederland en het beleid om hiermee om te gaan?
Specifieke onderzoeksvragen zijn:

1. Waar denken inwoners aan als het gaat om klimaatrisico's in Nederland en welke afwegingen spelen een rol bij de perceptie van klimaatrisico's?
2. Hoe kijken inwoners in Nederland in het algemeen aan tegen risico's van klimaatverandering?
3. Hoe hoog schatten inwoners de risico's in van een selectie van klimaatdreigingen en gevolgen voor Nederland in 2050?
4. In hoeverre komt de inschatting van inwoners overeen met die van experts?
5. In welke mate vinden inwoners verschillende beleidsscenario's voor klimaatadaptatie in Nederland legitiem en hoe kijkt men aan tegen de concrete invulling hiervan?
6. Welke overwegingen spelen een rol bij ideeën van inwoners over hoe de overheid zou moeten omgaan met klimaatrisico's in Nederland?

Vragen 2 t/m 5 worden beantwoord door een vragenlijst af te nemen onder een representatieve steekproef uit het LISS panel. In bijlage 4.5 is de complete vragenlijst opgenomen en in de volgende paragraaf is meer informatie te vinden over de totstandkoming van deze vragenlijst. In bijlage 4.4 zijn ter achtergrond aanvullende resultaten te vinden bij de cijfers die genoemd zijn in het hoofdstuk zelf. De complete dataset is op te vragen via het LISS panel. Vragen 1 en 6 worden beantwoord aan de hand van een viertal focusgroep interviews gehouden met inwoners van Nederland (zie bijlage 6.5 voor de gespreksleidraad). In paragraaf 6.3 van deze bijlage wordt meer informatie gegeven over de totstandkoming van de focusgroep interviews.

Bijlage 4.2 Achtergrond vragenlijst

In de tabel hieronder staan sociodemografische achtergrondkenmerken van de 2028 respondenten die de vragenlijst hebben ingevuld in vergelijking met CBS gegevens van de Nederlandse bevolking van 16 jaar of ouder.

Tabel bijlage 4.1

Sekse	Respondenten (n = 2028) in %	Nederlandse populatie 16+ op 1 oktober 2024 in %
Man	48,4	49,5
Vrouw	51,6	50,5

Leeftijd	Respondenten (n = 2028) in %	Nederlandse populatie 16+ op 1 oktober 2024 in %
16-34 jaar	24,8	29,2
35-49 jaar	20,5	21,8
50-64 jaar	27,1	24,6
65+ jaar	27,6	24,3
Opleiding		
Basisonderwijs, vmbo	25,5	26,8
mbo 2/3/4, havo/vwo bovenbouw	37,0	40,5
hbo	21,0	20,1
wo	16,5	12,7

In het algemeen komen de kenmerken van de respondenten redelijk overeen met de verdeling van deze kenmerken in de gehele populatie. Jongvolwassen en mensen met een mbo opleiding zijn echter wel ondervertegenwoordigd (respectievelijk 4,4 en 3,5 procentpunt verschil). Gezien de beperkte afwijking t.o.v. de gehele populatie is niet te verwachten dat dit een groot effect heeft op de gepresenteerde resultaten. Als de ondervertegenwoordigde groepen die niet reageerden op de uitnodiging voor de enquête echter een substantieel andere mening erop nahouden dan mensen die wel reageerden zouden onze resultaten sterker kunnen afwijken van het populatiegemiddelde. Recent onderzoek laat zien dat er onder jongeren op het moment sprake is van 'klimaatverlamming' (Ipsos I&O 2025), terwijl klimaatverandering juist deze groep het meest zal raken. De ondervertegenwoordiging van jongeren kan dus als een signaal opgevat worden om te proberen om deze groep meer actief bij onderzoek en beleidsvorming te betrekken.

Op basis van de onderzoeksvragen is een vragenlijst samengesteld welke globaal opgedeeld kan worden in 3 thema's. Allereerst algemene percepties van de risico's van klimaatverandering (vraag 1 t/m 17) om onderzoeksvraag 2 te beantwoorden. Vervolgens volgt het deel over risicoperceptie van klimaatdreigingen en mogelijke gevolgen (vraag 18 t/m 21) om onderzoeksvraag 3 te beantwoorden. Het laatste deel richt zich op percepties van beleid (vraag 22 t/m extra 6) om vraag 5 te beantwoorden. De vragenlijst is getest op leesbaarheid en begrijpelijkheid door 10 cognitieve interviews te houden met inwoners van Nederland (zie bijlage 4.5). Aan de hand van de uitkomsten van die interviews zijn er kleine aanpassingen aan de vragenlijst doorgevoerd.

De vragenlijst zoals afgenomen onder een representatieve steekproef uit het LISS panel (zie bijlage 4.5) is op de volgende wijze samengesteld.

V1-V12

Deze vragen zijn bedoeld om vijf verschillende soorten van percepties van klimaatverandering te meten en zijn afkomstig uit een gevalideerde schaal (Valkengoed, Steg & Perlaviciute 2021). Er is gekozen om voor elke soort van perceptie 1 vraag te selecteren op basis van het advies van de vragenlijst ontwikkelaars (zie paragraaf 5, Valkengoed, Steg & Perlaviciute 2021).

- v1 is een indicator van de mate waarin mensen denken dat klimaatverandering bestaat ('reality')
- v5 is een indicator van de mate waarin mensen de oorzaak van klimaatverandering toeschrijven aan mensen ('causes')

- v7 is een indicator van de mate waarin mensen de gevolgen van klimaatverandering als negatief percipiëren ('valence of consequences')
- v9 is een indicator van de mate waarin mensen denken de gevolgen van klimaatverandering dichtbij zijn ('spatial distance of consequences')
- v12 is een indicator van de mate waarin mensen denken dat de gevolgen van klimaatverandering pas in de toekomst zullen plaatsvinden ('temporal distance of consequences).

v14a-v14c

Deze vragen zijn gebaseerd op vragen uit de ResilRISK vragenlijst (vraag 8, Steentjes et al. 2020) en geven een indicatie van risicoperceptie van klimaatverandering op verschillende schaalniveaus (persoonlijk, nationaal, ontwikkelingslanden).

v15b

Deze vraag is een indicator van persoonlijke zorgen over klimaatverandering.

v17

Deze vraag is afkomstig uit de psychologische afstand tot klimaatverandering schaal (Spence, Poortinga & Pidgeon 2012) en is net als v12 een indicator van de afstand die mensen ervaren ten op zichte van klimaatverandering als het gaat om de tijdsdimensie. In dit geval is dat nader uitgewerkt voor de gevolgen voor Nederland met concrete tijdsspecificaties.

v18-v19

Deze vragen zijn indicatoren van risicopercepties van klimaatdreigingen. De keuze van de dreigingen zijn gebaseerd op het PBL rapport klimaatrisico's in Nederland (PBL 2024). Experts hebben in dat en het huidige rapport risico's beoordeeld op basis van de waarschijnlijkheid dat deze zich voordoen en de impact wanneer dat gebeurt. Op vergelijkbare wijze hebben wij respondenten gevraagd naar de waarschijnlijkheid (v18a t/m v18d) en impact (v19a t/m v19d). Een brede algemene maat van de perceptie van een risico bestaat dan uit de vermenigvuldiging van de waarschijnlijkheid met de impact (Wilson, Zwickle & Walpole 2019).
Waarschijnlijkheid is gemeten met een 5-punts schaal met verbale beschrijvingen in lijn met advies van Hashim (2024) als het gaat om het communiceren van risico's. Voor impact was geen standaardschaal beschikbaar en hebben we voor de vergelijkbaarheid ook voor een 5-puntsschaal gekozen die in dit geval varieert van helemaal niet erg dat bepaalde dreigingen vaker zouden voorkomen tot verschrikkelijk erg.

v20-v21

Deze vragen zijn net als v18-v19 bedoeld om risicopercepties te meten. In dit geval ligt de focus niet op de perceptie van algemene klimaatdreigingen, maar risicoperceptie van meer specifieke gebeurtenissen die zouden kunnen voorkomen als gevolg van klimaatverandering. De keuze van deze gebeurtenissen is gebaseerd op de risico's die experts hebben beoordeeld in het vorige rapport (PBL 2024) aangevuld met mogelijke consequenties van klimaatverandering die respondenten zelf benoemden in de focusgroepen (zie bijlage 6.3 voor de leidraad focusgroepen). Voor de onderlinge vergelijkbaarheid is steeds zowel de gebeurtenis als de klimaatdreiging benoemd.
Er is geprobeerd om tot een behapbare lijst te komen die begrijpelijk is voor het brede publiek. Daarom zijn soms noodgedwongen meerdere gebeurtenissen en/of dreigingen samengenomen wat heeft geleid tot een lijst van 23 gebeurtenissen.

v22
Deze vraag is een indicator van de perceptie van het belang van mitigatie vs. adaptatiebeleid. De vraag is gebaseerd op vraag 30 uit de ResilRISK vragenlijst (Steentjes et al. 2020).

v23-v24
In het huidige rapport beoordelen experts adaptatiebeleid langs de lijnen van 2 scenario's. Een transformatief scenario versus een intensiverings scenario. Om een indruk te krijgen van de ervaren legitimiteit van deze scenario's wordt gevraagd om de aanvaardbaarheid te beoordelen op een 11-punts schaal. Daarbij wordt gevraagd om te denken aan wat het beste is voor iedereen. Eerder onderzoek heeft laten zien dat een score op deze schaal wordt beïnvloed door legitimiteitsaspecten van beleid en samenhangt met de intentie tot protest (zie Martens et al. 2025; Martens et al. 2025). Een hogere score reflecteert dus een hogere mate van ervaren legitimiteit. In samenspraak met experts binnen het PBL zijn de twee scenario's uitgewerkt in korte begrijpelijke verhaaltjes. Beide verhaaltjes geven kenmerkende voorbeelden van maatregelen die passen bij de verschillende scenario's met daarbij de belangrijkste voor- en nadelen. De lengte en opbouw van de tekst is zo vergelijkbaar als mogelijk gehouden zodat eventuele verschillen in ervaren legitimiteit voortkomen uit de beschreven verschillen tussen de scenario's.

extra1-extra6
Dit zijn extra stellingen met betrekking tot adaptatiebeleid om meer duiding te kunnen geven aan v23-v24. Een standaard 7-punts Likert schaal wordt gebruikt om de houding te meten t.o.v. verschillende beleidskeuzes. De stellingen zijn gedeeltelijk ontleend aan een enquête die uitgezet is door het ministerie van I&W onder jongeren (IenW en Market Response 2025).
Om de onderzoeksvragen te beantwoorden zijn beschrijvende statistieken toegepast op de data met hulp van SPSS. Onderzoeksvraag 4 is op kwalitatieve wijze beantwoord door de resultaten uit de vragenlijst te leggen naast de concluderende tabel uit het rapport.

Bijlage 4.3 Achtergrond focusgroepen

De focusgroepen zijn opgezet om onderzoeksvragen 1 en 6 te beantwoorden. In eerste instantie was het doel van het beantwoorden van deze vragen vooral om de vragenlijst beter te laten aansluiten bij percepties van inwoners van Nederland. In tweede instantie zijn de focusgroepen gebruikt om nadere illustraties te geven bij de kwantitatieve uitkomsten van het vragenlijstonderzoek. Bij voorbeeld als het gaat om dieper begrip van verschillen in ervaren legitimiteit tussen beleidsscenario's.

Er zijn 3 face-to-face focusgroepen gehouden in Amsterdam op 5 november 2024 en 1 online focusgroep op 14 november. De online focusgroep is achteraf extra ingepland omdat bij 1 focusgroep maar 4 mensen kwamen opdagen. In totaal namen 22 mensen deel en het aantal deelnemers per focusgroep varieerde van 4 tot 8. De groepen waren samengesteld op basis van leeftijd (groep 1: 55+, groep 2: 18-30 jaar, groep 3: 31-55 jaar en de online groep 4: 18-30 jaar) omdat we verwachten dat het soort gevoelens en ideeën ten opzichte van klimaatrisico's kan variëren met levensfase. Verder werd er bij de selectie van deelnemers gestreefd naar spreiding op sekse, opleiding en politieke voorkeur. De focusgroepen werden opgenomen en uitgewerkt tot transcripten. Onderzoeksbureau MARE was verantwoordelijk voor de uitvoering en opleveren waarbij de gesprekslei-draad door het PBL is aangeleverd en verder verfijnd op basis van feedback van MARE.
Twee onderzoekers hebben video-opnames van alle focusgroepen gezien en de transcripten gelezen. Er is door beide onderzoekers gericht gezocht in de transcripten naar risico's die nog niet door

experts waren benoemd om de vragenlijst mee aan te vullen. Op basis van de uitkomsten van het vragenlijstonderzoek is er vervolgens gericht gezocht naar illustraties ter verrijking van de kwantitatieve gegevens. Een volledige kwalitatieve analyse (zie bijv. Braun & Clarke 2006) viel buiten de reikwijdte van dit onderzoek.

Literatuurlijst

Braun, V., & V. Clarke (2006), *Using thematic analysis in psychology.* Qualitative research in psychology, 3(2): 77-101.

Hashim, M.J. (2024), *Verbal probability terms for communicating clinical risk. A systematic review.* The Ulster Medical Journal 93(1): 18.

IenW en Market Response (2025), *Opinieonderzoek klimaatadaptatie jongeren.*

Ipsos I&O (2025), *Klimaatverlamming: de barrieres tussen denken en doen*.

Martens, A., J.T. Porsius, C. Herbstritt & K. Vringer (2025), *Citizen's perceived legitimacy of the Dutch natural gas-free heating policy*. Environmental Research Communications 7(11): 115018.

Martens, A.L., J.T. Porsius & K. Vringer (2025), *What makes policy for wind-and solar energy on land acceptable? An assessment of perceived policy legitimacy.* Humanities and Social Sciences Communications, 12(1): 1873.

Steentjes, K., C. Demski, A. Seabrook, A. Corner & N. Pidgeon (2020), *British public perceptions of climate risk, adaptation options and resilience (RESiL RISK): topline findings of a GB survey conducted in October 2019.*

Spence, A., W. Poortinga & N. Pidgeon (2012), *The psychological distance of climate change.* Risk Analysis: 32(6): 957-972.

Van Valkengoed, A.M., L. Steg & G. Perlaviciute (2021), *Development and validation of a climate change perceptions scale*. Journal of Environmental Psychology (76): 101652.

Wilson, R.S., A. Zwickle & H. Walpole (2019), *Developing a broadly applicable measure of risk perception*. Risk Analysis 39(4): 777-791.

Bijlage 4.4 Tabellen met extra resultaten beleving klimaatrisico's in Nederland

Tabel bijlage 4.2
v1-v12: De volgende uitspraken gaan over uw mening over klimaatverandering in het algemeen.

	Helemaal mee oneens	Mee oneens	Een beetje mee oneens	Neutraal	Een beetje mee eens	Mee eens	Helemaal mee eens	n (rij-taal)
Ik geloof dat klimaatverandering bestaat.	1,10%	1,60%	2,40%	10,90%	12,40%	37,50%	34,10%	2028
De voornaamste oorzaak van klimaatverandering is menselijk handelen.	1,90%	4,20%	4,50%	13,80%	19,10%	36,00%	20,60%	2028

Klimaatverandering zal serieuze negatieve gevolgen hebben.	1,70%	2,50%	3,10%	15,90%	15,80%	37,20%	23,80%	2028
Mijn lokale omgeving zal beïnvloed worden door klimaatverande-ring.	1,60%	3,70%	4,80%	21,70%	21,30%	33,50%	13,30%	2028
Het zal nog lang duren voordat de gevolgen van klimaatverande-ring voelbaar worden.	13,80%	27,60%	15,20%	19,20%	12,90%	8,80%	2,50%	2028

Tabel bijlage 4.3
v17: Wanneer denkt u dat Nederland de gevolgen van klimaatverandering gaat voelen?

We voelen de eerste gevolgen nu al	51,40%
Binnen nu en 10 jaar	14,90%
Binnen 10 en 25 jaar	14,00%
Binnen 25 en 50 jaar	7,80%
Binnen 50 en 100 jaar	5,10%
Pas over meer dan 100 jaar	3,00%
Nooit	3,80%
n (kolom-totaal)	2024

De volgende vragen gaan over wat u denkt dat er in de toekomst in Nederland zou kunnen gebeuren.

Tabel bijlage 4.4
v18a-v18d: Hoe waarschijnlijk of onwaarschijnlijk denkt u dat het is dat het volgende in 2050 vaker zal voorkomen in Nederland? Ook als u het niet zeker weet zijn we geïnteresseerd in uw mening.

	Zeer onwaar-schijnlijk	Onwaar-schijnlijk	Mogelijk	Waarschijnlijk	Zeer waar-schijnlijk	n (rij-totaal)
Hete zomers	0,60%	1,50%	27,00%	40,90%	30,00%	2023
Droge zomers	0,50%	2,50%	28,90%	39,80%	28,30%	2023
Zware regen- of hagelbuien	0,40%	2,20%	29,10%	38,70%	29,60%	2023
Stijging van de zeespiegel	0,70%	3,90%	29,50%	35,80%	30,10%	2023

Tabel bijlage 4.5
v19a-v19d: Hoe erg zou u het vinden als het volgende in 2050 in Nederland vaker zal voorkomen?

	Helemaal niet erg	Beetje erg	Erg	Heel erg	Verschrikke-lijk erg	n (rij-to-taal)
Hete zomers	12,00%	30,50%	28,80%	19,90%	8,70%	2023

Droge zomers	6,60%	23,70%	33,80%	26,90%	9,00%	2023
Zware regen- of hagelbuien	4,20%	22,70%	37,10%	27,30%	8,70%	2023
Stijging van de zeespiegel	4,20%	17,10%	29,20%	30,40%	19,20%	2023

Tabel bijlage 4.6

v20a-v20k: Verschillende mensen en organisaties hebben voorspellingen gedaan over wat er wel of niet zou kunnen gebeuren als gevolg van veranderingen in ons klimaat. Hoe erg zou u het vinden als de volgende dingen vaker zouden gebeuren in Nederland?

	Helemaal niet erg	Beetje erg	Erg	Heel erg	Verschrikkelijk erg	n (rij-totaal)
Als drinkwater duurder wordt als gevolg van warmte en droogte.	2,50%	17,70%	32,80%	29,60%	17,40%	2013
Als mensen, gebouwen of natuur getroffen worden door overstromingen van de zee of van rivieren.	1,30%	5,50%	23,50%	36,20%	33,50%	2013
Als huizenprijzen omlaag gaan door een toenemende kans op overstromingen.	16,10%	32,00%	33,40%	13,50%	5,00%	2013
Als er minder plekken zijn om woningen te bouwen door een stijgende zeespiegel.	5,80%	20,00%	38,00%	25,90%	10,30%	2013
Als mensen, gebouwen of natuur getroffen worden door wateroverlast na extreme regenbuien.	0,90%	7,70%	29,50%	39,40%	22,50%	2013
Als we te maken krijgen met langere reistijden op de weg en het spoor als gevolg van extreem weer (hittegolven, extreme buien)	5,60%	31,30%	38,70%	17,60%	6,80%	2013
Als voedsel duurder wordt door mislukte oogsten als gevolg van extreem weer (droogte, extreme buien).	1,10%	9,30%	32,80%	37,30%	19,40%	2013
Als er schade aan funderingen van gebouwen komt door droogte.	1,50%	10,70%	37,50%	35,70%	14,70%	2013
Als schepen minder lading kunnen vervoeren en locaties niet kunnen bereiken door droogte.	4,10%	26,40%	40,50%	22,30%	6,80%	2013

Als planten en dieren moeilijk kunnen overleven door droogte en overstromingen.	1,30%	7,00%	26,00%	33,70%	32,00%	2013
Als mensen, gebouwen of natuur getroffen worden door natuurbranden tijdens hitte en droogte.	1,00%	5,00%	23,30%	35,70%	35,00%	2013
Als archeologische vondsten verloren gaan door droogte.	13,70%	38,90%	30,00%	12,80%	4,60%	2013
Als historische gebouwen en landschappen verloren gaan door droogte of een stijgende zeespiegel.	3,60%	20,90%	39,40%	25,40%	10,60%	2010
Als mensen getroffen worden door ziekten en allergieën door toenemende temperaturen.	1,80%	10,20%	34,20%	34,80%	19,00%	2010
Als mensen overlijden door hittegolven.	2,10%	10,20%	27,90%	31,60%	28,20%	2010
Als mensen psychische problemen krijgen door natuurrampen als gevolg van klimaatverandering.	3,60%	16,80%	38,90%	26,30%	14,50%	2010
Als mensen last hebben van zorgen over de gevolgen van klimaatverandering.	7,20%	26,30%	41,30%	19,40%	5,90%	2010
Als mensen slechter slapen en oncomfortabel zijn vanwege extreme hitte.	5,30%	26,00%	40,80%	20,30%	7,70%	2010
Als traditionele vakantiebestemmingen minder aantrekkelijk worden door extreem weer (hoge temperaturen, extreme buien).	28,30%	38,20%	22,20%	8,30%	3,00%	2010
Als meer mensen naar Nederland emigreren vanwege de gevolgen van klimaatverandering in hun eigen land.	6,90%	20,90%	31,80%	25,50%	14,80%	2010
Als er spanning ontstaat tussen groepen mensen in de samenleving door verschillende meningen over klimaatverandering en maatregelen.	3,30%	15,60%	37,20%	29,10%	14,90%	2010
Als er overlast van dieren (bijv. ratten) en planten komt door	1,80%	11,50%	36,00%	32,20%	18,50%	2010

toenemende temperaturen of wateroverlast.						
Als er chaos in het land ontstaat door de gevolgen van klimaat-verandering.	1,30%	7,50%	29,10%	36,70%	25,40%	2010

Tabel bijlage 4.7

V21a-v21k: Nu zijn we geïnteresseerd in uw eigen mening over de waarschijnlijkheid dat deze dingen wel of niet zullen gebeuren in Nederland als gevolg van klimaatverandering. Hoe waarschijnlijk of onwaarschijnlijk vindt u het dat de volgende dingen in 2050 vaker zullen gebeuren in Nederland? Zelfs als u het niet zeker weet, antwoord dan zo goed mogelijk en geef uw algemene indruk.

	Zeer on-waarschijn-lijk	Onwaar-schijnlijk	Mogelijk	Waarschijn-lijk	Zeer waar-schijnlijk	n (rij-totaal)
Dat drinkwater duurder wordt als gevolg van warmte en droogte.	1,30%	3,60%	33,70%	39,40%	22,00%	2009
Dat mensen, gebouwen of natuur getroffen worden door overstro-mingen van de zee of van rivieren.	1,40%	6,60%	43,80%	32,50%	15,70%	2009
Dat huizenprijzen om-laag gaan door een toe-nemende kans op overstromingen.	5,60%	22,20%	51,00%	16,00%	5,20%	2009
Dat er minder plekken zijn om woningen te bouwen door een stij-gende zeespiegel.	2,30%	11,70%	45,60%	28,70%	11,60%	2009
Dat mensen, gebouwen of natuur getroffen worden door water-overlast na extreme re-genbuien.	1,30%	3,80%	36,70%	38,50%	19,60%	2009
Dat we te maken krijgen met langere reistijden op de weg en het spoor als gevolg van extreem weer (hittegolven, ex-treme buien).	2,00%	11,30%	52,30%	26,10%	8,20%	2009
Dat voedsel duurder wordt door mislukte oogsten als gevolg van	1,10%	2,90%	28,00%	40,60%	27,40%	2009

extreem weer (droogte, extreme buien).						
Dat er schade aan funderingen van gebouwen komt door droogte.	1,60%	7,00%	47,10%	32,40%	11,90%	2009
Dat schepen minder lading kunnen vervoeren en locaties niet kunnen bereiken door droogte.	1,90%	10,60%	51,10%	27,00%	9,40%	2009
Dat planten en dieren moeilijk kunnen overleven door droogte en overstromingen.	1,70%	5,40%	37,60%	36,60%	18,70%	2009
Dat mensen, gebouwen of natuur getroffen worden door natuurbranden tijdens hitte en droogte.	1,50%	5,30%	38,40%	36,20%	18,50%	2009
Dat archeologische vondsten verloren gaan door droogte.	3,00%	14,40%	57,30%	19,60%	5,70%	2009
Dat historische gebouwen en landschappen verloren gaan door droogte of een stijgende zeespiegel.	2,50%	10,30%	56,40%	23,50%	7,30%	2007
Dat mensen getroffen worden door ziekten en allergieën door toenemende temperaturen.	1,60%	9,10%	48,90%	30,70%	9,70%	2007
Dat mensen overlijden door hittegolven.	1,30%	3,80%	34,50%	38,30%	22,10%	2007
Dat mensen psychische problemen krijgen door natuurrampen als gevolg van klimaatverandering.	2,20%	11,70%	54,80%	22,60%	8,80%	2007
Dat mensen last hebben van zorgen over de gevolgen van klimaatverandering.	1,80%	5,10%	46,90%	33,20%	13,00%	2007
Dat mensen slechter slapen en oncomfortabel zijn vanwege extreme hitte.	1,20%	5,10%	44,30%	33,10%	16,10%	2007

Dat traditionele vakantiebestemmingen minder aantrekkelijk worden door extreem weer (hoge temperaturen, extreme buien).	1,90%	7,50%	46,20%	30,90%	13,50%	2007
Dat meer mensen naar Nederland emigreren vanwege de gevolgen van klimaatverandering in hun eigen land.	2,40%	14,30%	48,70%	24,10%	10,40%	2007
Dat er spanning ontstaat tussen groepen mensen in de samenleving door verschillende meningen over klimaatverandering en maatregelen.	1,60%	6,70%	44,80%	31,80%	14,90%	2007
Dat er overlast van dieren (bijv. ratten) en planten komt door toenemende temperaturen of wateroverlast.	1,50%	6,60%	47,10%	32,60%	12,20%	2007
Dat er chaos in het land ontstaat door de gevolgen van klimaatverandering.	3,30%	15,60%	52,20%	20,60%	8,20%	2007

Tabel bijlage 4.8

V22: Sommige mensen vinden dat de Nederlandse overheid zich alleen moet richten op het aanpakken van de oorzaken van klimaatverandering. Anderen vinden dat de Nederlandse overheid zich juist alleen moet richten op het voorbereiden op de gevolgen van klimaatverandering. Ook zijn er mensen die vinden dat de Nederlandse overheid zich op beiden moet richten (in meer of mindere mate). Wat vindt u dat de Nederlandse overheid moet doen als het gaat om klimaatverandering en de mogelijke gevolgen voor Nederland? De Nederlandse overheid moet gericht zijn op...

...alleen de aanpak van oorzaken	2,40%
...vooral de aanpak van oorzaken, en ook een beetje op voorbereiden op gevolgen	12,40%
...zowel de aanpak van oorzaken als het voorbereiden op gevolgen	70,90%
...vooral het voorbereiden op gevolgen, en ook een beetje op de aanpak van oorzaken	9,40%
...alleen het voorbereiden op gevolgen	4,80%
n (kolom-totaal)	2003

Tabel bijlage 4.9
extra1-extra6: De volgende uitspraken gaan over uw mening over wat Nederland moet doen als het gaat om de gevolgen van klimaatverandering.

	Helemaal mee oneens	Mee oneens	Een beetje mee oneens	Neutraal	Een beetje mee eens	Mee eens	Helemaal mee eens	n (rij-taal)
De overheid moet meer geld uitgeven om zo goed mogelijk voorbereid te zijn op het veranderende klimaat.	1,80%	2,90%	5,30%	23,20%	23,70%	32,30%	10,80%	1996
We moeten schade door klimaatverandering soms gewoon accepteren.	5,10%	11,90%	12,90%	25,00%	27,40%	14,70%	3,00%	1996
Ik vind dat maatregelen tegen de gevolgen van klimaatverandering niet te ingrijpend mogen zijn.	6,70%	21,40%	15,70%	25,60%	17,20%	10,10%	3,30%	1996
Als het nodig is, vind ik dat de overheid Nederlanders mag verplichten om op andere plekken te gaan wonen om beter beschermd te zijn tegen de gevolgen van klimaatverandering.	7,80%	17,80%	12,70%	30,30%	17,80%	11,50%	2,20%	1996
Ik vind het aanvaardbaar als het risico op schade in Nederland door klimaatverandering in de toekomst stijgt.	7,30%	22,20%	16,30%	29,10%	16,70%	7,00%	1,40%	1996
Ik vind dat Nederland ervoor moet zorgen dat toekomstige generaties niet meer risico's lopen dan nu.	1,00%	1,40%	3,80%	20,60%	20,10%	40,60%	12,50%	1996

Bijlage 4.5 Codeboek, cognitieve interviews en gespreksleidraad focusgroepen

Deze bijlage staat in een apart bestand.

Bijlage 5: Voorbeeld uitwerking timing van investeringen in klimaatadaptatie

In tekstkader 5.1 'Economische afwegingen bij investeringen in klimaatadaptatie' staat de vraag centraal wanneer een investering (maar zoiets kan ook spelen bij 'groot onderhoud') moet worden uitgevoerd. In deze bijlage wordt dieper ingegaan op welke discontovoet moet worden gebruikt en wordt het voorbeeld uit het tekstkader uitgewerkt.

Discontovoet

De keuze van de discontovoet is een gevoelig én bepalend onderdeel van de berekening. De Werkgroep discontovoet (2025) actualiseert periodiek de onderbouwing en hoogte van de discontovoet. In algemene zin geldt: een hoge discontovoet maakt toekomstige kosten relatief klein, waardoor uitstel aantrekkelijker lijkt. Een lage discontovoet doet het omgekeerde en vergroot het gewicht van toekomstige risico's, waardoor tijdige investering economisch aantrekkelijker wordt. Voor projecten met geringe marktrisico's adviseert de Werkgroep Discontovoet (2025) de volgende percentages:

- 2,8 procent voor kosten en baten tot en met 35 jaar in de toekomst.
- 1,8 procent voor kosten en baten die ná 35 jaar optreden.

Van theorie naar een eenvoudige illustratie

Met deze discontovoeten kunnen verschillende 'investeringspaden' (wanneer en hoeveel investeren) met elkaar worden vergeleken. In deze illustratie gebruiken we voor de eenvoud één discontovoet (2,8%) en veronderstellen geen onderhoudskosten.

Uitgangspunten

Case 1: in een keer investeren (1 meter dijkverhoging)

- Investering 'nu': 1.000 miljoen euro
- Contante waarde totaal: 1.000 miljoen euro

Case 2: in twee keer investeren (twee keer 50 cm dijkverhoging, nu en over dertig jaar)

- Investering 'nu': 500 miljoen euro
- Investering in jaar 30: 500 miljoen euro

Contante waarde (= waarde van investering over dertig jaar 'teruggehaald' naar het nu):
500 / $(1{,}028^{30})$ = 500 / 2,36 = 211,9 miljoen euro
Totaal verdisconteerde investeringsbedrag: 500 + 211,9 miljoen = 711,9 miljoen euro

Reflectie

Op basis van deze vereenvoudigde berekening lijkt de gefaseerde aanpak economisch gunstiger. In de praktijk is de vergelijking echter complexer. Een uitvoering in twee fasen gaat waarschijnlijk gepaard met hogere uitvoerings-, voorbereidings- en organisatiekosten. Het simpelweg halveren van het investeringsbedrag geeft daarom geen realistisch beeld van de werkelijke kosten bij gefaseerde uitvoering. Gemiste schaalvoordelen, extra aanbestedingskosten en tijdelijke veiligheidsmaatregelen maken dat de tweede ingreep relatief duurder kan uitvallen dan hier verondersteld.

Daarnaast is de keuze tussen slechts twee varianten, een eenmalige investering of een twee-fasen aanpak, waarschijnlijk te beperkt. Daarmee blijven ook de mogelijke opportuniteitskosten van bespaarde investeringskosten bij de twee-fasen aanpak buiten beeld. Een bredere variantenstudie ligt daarom meer voor de hand. Denk bijvoorbeeld aan combinaties met mitigerende maatregelen, zoals verlaging van de uiterwaarden en de aanleg van nevengeulen, vergelijkbaar met ingrepen binnen Ruimte voor de Rivier. Dergelijke maatregelen kunnen de waterstand verlagen, waardoor een minder grote dijkverhoging volstaat. Dat kan de toekomstige kosten van dijkverhoging reduceren en tegelijkertijd bijdragen aan ruimtelijke kwaliteit en ecologische doelen.

Een realistische economische afweging vraagt daarom om een integrale benadering, waarin naast investeringskosten ook uitvoeringsrisico's, adaptiviteit onder klimaatonzekerheid en mogelijke nevenbaten expliciet worden meegenomen.