

TNO Rapport TNO 2024 R10424

# Herijking klimaatrisico's Huidige impacts en risico's

Auteurs	Pieter Verstraten, Corine Bonte, Albert Nieuwenhuijs, Kevin Vedder, Willem Verdaasdonk, Gitte Mulder, Jana Domrose
Rubricering verslag	TNO Publiek
Titel	Herijking klimaatrisico's Huidige impacts en risico's
Aantal pagina's	99
Aantal bijlagen	0
Opdrachtgever	Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)

## Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2024 TNO

# Inhoudsopgave

## Contents

Inhoudsopgave .....	2
1 Inleiding.....	3
2 Klimaatdreigingen.....	4
2.1 Het wordt warmer.....	4
2.2 Het wordt natter.....	4
2.3 Het wordt droger.....	5
2.4 Overig extreem weer.....	5
2.5 De zeespiegel stijgt.....	5
2.6 De zee verzuurt, als gevolg van een toename van het CO2-gehalte in de lucht.....	5
3 Sectorale analyse .....	7
3.1 Gebouwde omgeving.....	7
3.1.1 Sectorbeschrijving.....	7
3.1.2 Blootstelling.....	8
3.1.3 Gevoeligheden.....	8
3.1.4 Selectie van klimaatrisico's.....	8
3.2 Infrastructuur en mobiliteit.....	12
3.2.1 Sectorbeschrijving.....	12
3.2.2 Blootstelling.....	13
3.2.3 Gevoeligheden.....	14
3.2.4 Selectie van klimaatrisico's.....	17
3.3 Energie, ICT en industrie.....	19
3.3.1 Sectorbeschrijving.....	19
3.3.2 Blootstelling.....	19
3.3.3 Gevoeligheden.....	21
4 Gebouwde omgeving.....	24
4.1 Funderingsschade aan gebouwen door droogte.....	25
4.2 Schade op de gebouwde omgeving door acute wateroverlast.....	40
5 Infrastructuur en Mobiliteit.....	56
5.1 Hitte & Spoor.....	57
5.2 Wateroverlast & Weg.....	70
5.3 Droogte & Binnenvaart.....	83
6 Bibliografie .....	97

# 1 Inleiding

Het Directeuren Overleg Nationale Klimaatadaptatiestrategie (DO-NAS) heeft in juni 2020 besloten om een beleidsondersteunend kennisprogramma in het leven te roepen voor het nationale klimaatadaptatiebeleid. Het ministerie van IenW heeft daartoe het PBL gevraagd om, in overleg met de betrokken departementen en relevante kennisinstututen, een scoping-studie uit te voeren naar mogelijke varianten voor een dergelijk kennisprogramma: Navigeren naar een klimaatbestendig Nederland (PBL 2021). Dit zal de basis (nulmeting) worden voor een structurele, meerjarige monitor. De doelstelling die centraal staat is:

*Het opstellen van een eenmalige analyse van de huidige klimaatrisico's, toekomstige risico's op basis van verschillende scenario's, en verkennen van adaptatiestrategieën.*

De eerste fase van dit kennisprogramma (die loopt in 2022 en 2023) richt zich op het in kaart brengen van de huidige klimaatrisico's voor verschillende sectoren. TNO is gevraagd om voor deze fase een werkplan op te stellen en uit te voeren, met daarin de aanpak en activiteiten die nodig zijn voor de uitwerking en invulling van de huidige klimaatrisico's en eventueel kansen voor de volgende sectoren: Gebouwde omgeving; Mobiliteit en Infrastructuur; Energie; ICT; en Industrie. Er wordt voortgebouwd op de resultaten uit de kwartiersmakersfase (2021). Het uitgangspunt voor het werkplan is dat zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van kennis en informatie die al beschikbaar is, dan wel beschikbaar komt in lopende of te verwachten trajecten. Aan het eind van 2023 zal er per sector een factsheet en een openbaar achtergrondrapport met onderbouwing en verantwoording van de activiteiten en geleverde informatie worden opgeleverd. In de tweede fase (2024-2026) worden de toekomstige impacts en risico's in kaart gebracht gevolgd door een publicatie van de verkenning in 2025/26. Deze fase valt niet onder dit project.

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de klimaatdreigingen. In Hoofdstuk 3 volgt een beschrijving van alle sectoren, de blootstelling van deze sectoren aan de klimaatdreigingen zoals beschreven in Hoofdstuk 2 en de gevoeligheden. Ook is er een selectie van klimaatrisico's voor de sectoren Gebouwde omgeving en Mobiliteit en Infrastructuur. De factsheets voor de Gebouwde omgeving staan in Hoofdstuk 4 en de factsheets voor Mobiliteit en Infrastructuur staan in Hoofdstuk 5.

## 2 Klimaatdreigingen

In dit project gaan we uit van de zes type klimaatdreigingen zoals beschreven door PBL (PBL, 2023):

- Het wordt warmer;
- Het wordt natter;
- Het wordt droger;
- Overig extreem weer;
- De zeespiegel stijgt;
- Toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de lucht.

In de volgende secties wordt per klimaatdreiging aangegeven wat deze klimaatdreiging karakteriseert. Verder worden de secundaire effecten van deze klimaatdreigingen beschreven.

### 2.1 Het wordt warmer

De klimaatdreiging “het wordt warmer” wordt als volgt onderscheiden:

- de gemiddelde temperatuur stijgt;
- vaker warm weer;
- Hitte-eiland effecten in steden;
- frequentere, langdurigere en heviger hitteperiodes.

Door de klimaatdreiging “het wordt warmer” ontstaan de volgende secundaire effecten:

- opwarming van bodem, lucht, oppervlaktewater, zeewater; gebouwen
- slechtere kwaliteit van bodem, lucht, oppervlaktewater, zeewater;
- toename verdamping met grotere kans op droogte;
- versnelling bodemdaling;
- toename blootstelling aan UV straling.

De klimaatdreiging “het wordt warmer” kan ook wel worden aangeduid met “hitte”.

### 2.2 Het wordt natter

De klimaatdreiging “het wordt natter” wordt als volgt onderscheiden:

- de gemiddelde jaarneerslag neemt toe, met uitzondering van de zomer;
- frequentere, langdurigere en heviger piekbuien, ook in een drogere zomer.

Door de klimaatdreiging “het wordt natter” ontstaan de volgende secundaire effecten:

- grotere kans op hoogwater in rivieren in winter en voorjaar (ook afhankelijk wat in buitenland gebeurt);
- Stijging grondwaterpeil en toename (grond)- water afvoer vanaf hogere gronden;
- Verandering kwaliteit oppervlaktewater;
- Hogere waterstanden;
- frequentere en heviger piekafvoeren in grote en regionale rivieren;
- frequenter hoge waterpeilen in meren;
- grotere luchtvochtigheid;
- frequenter en heviger wateroverlast in steden en landelijk gebied;

- frequenter en heviger grondwateroverlast;
- toenemende erosie en verslemping van de bodem.

De klimaatdreiging “het wordt natter” kan ook wel worden aangeduid met “neerslag”.

## 2.3 Het wordt droger

De klimaatdreiging “het wordt droger” wordt als volgt onderscheiden:

- toename droge lentes en zomers (ondanks soms heftige buien);
- gemiddelde neerslagtekort neemt toe;
- frequentere, langdurigere en intensere droogteperioden.

Door de klimaatdreiging “het wordt droger” ontstaan de volgende secundaire effecten:

- toename verzilting grondwater;
- grotere kans op natuurbranden
- grotere kans laagwater en droogvallen rivieren, beken, plassen, vennen, poelen in zomer;
- verslechtering oppervlaktewaterkwaliteit;
- lagere grondwaterstanden;
- versnelling bodemdaling.

De klimaatdreiging “het wordt droger” kan ook wel worden aangeduid met “droogte”.

## 2.4 Overig extreem weer

De klimaatdreiging “overig extreem weer” wordt als volgt onderscheiden:

- toename in frequentie en hevigheid van stormen, valwinden, tornado’s, hagelbuien, onweer, bliksem, koudegolven, sneeuw en ijzel.

De klimaatdreiging “overig extreem weer” kan ook wel worden aangeduid met “extreem weer”.

## 2.5 De zeespiegel stijgt

De klimaatdreiging “de zeespiegel stijgt” wordt als volgt onderscheiden:

- hogere waterstanden aan de kust

Door de klimaatdreiging “de zeespiegel stijgt” ontstaan de volgende secundaire effecten:

- toenemende kweldruk landinwaarts;
- toenemende verzilting van grond- en oppervlaktewater;
- opstuwing en beperking afwatering.

De klimaatdreiging “de zeespiegel stijgt” kan ook wel worden aangeduid met “zeespiegelstijging”.

## 2.6 De zee verzuurt, als gevolg van een toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de lucht

De klimaatdreiging “de zee verzuurt, als gevolg van een toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de lucht” wordt als volgt onderscheiden:

- de zuurgraad stijgt.

Door de klimaatdreiging “de zee verzuurt, als gevolg van een toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de lucht” ontstaan de volgende secundaire effecten:

- gevolgen voor de chemische en ecologische waterkwaliteit;
- op den duur afname van de absorptiecapaciteit voor CO<sub>2</sub> door de oceanen.

De klimaatdreiging “de zee verzuurt, als gevolg van een toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de lucht” kan ook wel worden aangeduid met “verzuurde zee”.

## 3 Sectorale analyse

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van alle geïnventariseerde huidige klimaatrisico's voor alle drie de in dit rapport behandelde sectoren. Deze sectoren worden opgedeeld in subsectoren om de risico's concreter te kunnen maken.

Hierbij geven we aandacht aan de blootstelling en de gevoeligheden van elke (sub)sector. Aan het eind van elk hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de voornaamste risico's en wordt een keuze gemaakt welke risico's in historisch perspectief behandeld zullen worden in de hieropvolgende hoofdstukken.

### 3.1 Gebouwde omgeving

#### 3.1.1 Sectorbeschrijving

De sector 'gebouwde omgeving' wordt in nationale en internationale klimaatrisicoanalyses op uiteenlopende manieren gedefinieerd. Volgens de 'Nationale Aanpak Klimaatadaptie gebouwde omgeving' omvat de gebouwde omgeving "zowel het fysieke gebouw als de omgeving waarin dit gebouw staat. Die omgeving omvat ook (delen van) de openbare ruimte en infrastructuur en netwerken." (Rijksoverheid, 2022). In de UK CCRA3 worden risico's voor gezondheid, communities en de gebouwde omgeving samengenomen (UK Climate Risk, 2021). Het Nationaal Kennis- en Innovatieprogramma Water en Klimaat heeft de gevolgen van klimaatrisico's voor de stad ondergebracht in vijf categorieën: gezondheid, stedelijke netwerken, drink- en oppervlaktewater, stedelijke buitenruimte en leefbaarheid van de stad (NKWK, sd).

De huidige verkenning richt zich op klimaatrisico's voor de volgende sectoren binnen de gebouwde omgeving:

1. Gebouwen: fysieke gebouwen, waaronder woningen, bedrijven en openbare gebouwen.
2. Buitenruimte: publieke buitenruimte in steden, zoals parken en groen, straten en pleinen.
3. Leefbaarheid: comfort en welbevinden van inwoners in relatie tot hun leefomgeving en klimaatrisico's.

Aangezien de sectoren infrastructuur en stedelijke netwerken (oftewel mobiliteit) in dit rapport apart worden uitgewerkt (zie hoofdstukken 3.2. en 3.3), worden deze niet meegenomen in de analyse van de gebouwde omgeving. Eventuele samenhangen tussen deze sectoren worden beschouwd in de overkoepelende analyse (hoofdstuk 4). Ook wordt er in deze verkenning niet nader ingegaan op de aan de gebouwde omgeving gerelateerde sectoren waterhuishouding, natuur, landbouw, gezondheid en veiligheid, aangezien deze deel uitmaken van de lopende verkenningen binnen respectievelijk Deltares, PBL, WUR, RIVM en NIPV.

## 3.1.2 Blootstelling

De sector 'Gebouwde omgeving' staat bloot aan alle in hoofdstuk 2 genoemde klimaatdreigingen, behalve de verzuurde zee.

## 3.1.3 Gevoeligheden

Per klimaatdreiging worden de gevoeligheden beschreven voor gebouwen, buitenruimte en leefbaarheid.

### *Hitte*

- Gebouwen
  - Toename behoefte aan hittepreventie en koeling gebouwen
    - Wegens toenemende warmte in steden zal er meer behoefte zijn aan hittepreventie en koeling in gebouwen. Denk hierbij aan een toename van AC, rolluiken en schutters.
- Buitenruimte
  - Toename overlevingskans insecten en exoten in de winter
    - Doordat verschillende insecten door het warme weer niet uitsterven tijdens de winter zullen meer van deze insecten zich in Nederland vestigen. Denk hierbij aan teken, tijgermuggen etc., die ook verschillende nieuwe ziektes met zich meebrengt zoals lyme, knokkelkoorts of chikungunya.
  - Schade door bomen
    - Bomen kunnen door hitte en droogte omvallen, waardoor bijv. leidingen (van zowel afvalwater als drinkwater) worden beschadigd.
  - Toename behoefte aan koele plekken in de buitenruimte.
    - Meer gebruik van (en daardoor meer afval in) natuur, openbaar groen en stedelijke recreatieruimte. Dit kan weer leiden tot additionele lasten voor gemeentes m.b.t. opruiming, en openbare orde.
  - Mogelijk verslechtering (zwem)waterkwaliteit
    - Wegens de hitte is er een mogelijke toename van ziekteverwekkers in water (zoals blauwalg en botulisme).
  - Verlies diersoorten en habitats (padden, vissen, insecten) door droogvallen poelen
  -
- Leefbaarheid
  - Mogelijk verslechtering (zwem)waterkwaliteit door toename van ziekteverwekkers in water (zoals blauwalg en botulisme).
  - Afname kwaliteit nachtrust
    - Wegens de warme nachten zal men mogelijk een afname van de nachtrust ervaren. Dit kan leiden tot verschillende gezondheidsproblemen, stress, vermoeidheid en irritatie/agressie.
  - Meer gezondheidsproblemen zoals hittestress en zomersmog met daaropvolgend meer ziekenhuisopnames en doden.
    - Door de toename in ziekenhuisopnames zal er ook een toenemende druk ontstaan op medewerkers in de gezondheidszorg en hulpdiensten.
  - Meer geluidsoverlast, agressief gedrag en stankoverlast
    - Dit door bijvoorbeeld frequentere barbecues door mensen in de (publieke) buitenruimte, en/of harde muziek.



- Buitenruimte wordt onaangenaam om er te verblijven, winkelen of recreëren.
  - Dit gaat om meerdere aspecten in de buitenruimte. Zoals de luchttemperatuur, verwarmen van bestrating, etc.
- Kwetsbare levensmiddelen kunnen door de hitte sneller hun houdbaarheid verliezen, waardoor er omzetverlies kan plaatsvinden in detailhandel.
- Verlies in arbeidsproductiviteit
  - Vooral bij mensen die buiten werken (bijv. straat- en dakwerkers, verkeersregelaars, politiemensen, spoorweg- en wegwerkers, bouwvakkers en mensen die in de groensector werken).
- Hittestress in kantoorgebouwen
  - Dit kan leiden tot toename van gezondheidsproblemen en een verlies aan arbeidsproductiviteit.
- Hittestress in scholen en de kinderopvang (incl. bijhorende buitenruimte) leidt tot toename van gezondheidsproblemen.

### Neerslag

- Gebouwen
  - Mogelijke toename corrosie
    - Door een toename van warmte, natter weer en droogte zal er een toename in corrosie ontstaan.
  - Toename schimmel, huisstofmijtallergie en houtrot in gebouwonderdelen
    - Wegens hogere luchtvochtigheid door natter weer.
  - Toename kans op onderlopende of vochtige kelders en op schimmel
    - Wegens meerdaagse natte periodes zal er een toenemende kans ontstaan op vochtige kelders en op schimmel.
  - Toenemende schade aan woningen en gebouwen
    - Wegens frequentere en intensievere vormen van wateroverlast zal er een toenemende schade aan gebouwen ontstaan.
- Buitenruimte
  - Conditie openbare ruimte gaat versneld achteruit wegens extreme piek neerlagen.
    -
  - Verandering van kwaliteit van het oppervlaktewater door afspoeling en overstort van rioolwater
- Leefbaarheid
  - Verandering van de kwaliteit van het oppervlaktewater door afspoeling en overstort van rioolwater
    - Dit kan ook weer leiden tot gezondheidsrisico's door vervuild water op straat.
    -
  - Gewonden en dodelijke slachtoffers door overstroming
  - Maatschappelijke ontwrichting
    - Wegens de overstromingen bestaat de kans dat deze maatschappelijk ontwrichtend kunnen zijn. Dit is wel afhankelijk van de omvang.
  - Toename schimmel en huisstofmijtallergie
    - Wegens toenemende vocht bestaat de kans dat schimmel en huisstofmijtallergieën vaker voorkomen.

### *Droogte*

- Gebouwen
  - Mogelijke toename corrosie en betonrot
    - Door een toename van warmte, natter weer en droogte zal er een toename in corrosie en betonrot van de fundering ontstaan.
  - Toename schade en hogere kosten instandhouding infrastructuur en bebouwde omgeving
    - Zie hoofdstuk 3.2
  - Toename paalrot
    - Wanneer het grondwaterniveau zakt (bedoeld of onbedoeld), kan er bij de bovenkant van de paal zuurstof komen en begint de paal weg te rotten. Zeker met toenemende droogte is de kans groter dat dit zal ontstaan.
  - Daling woningwaarde
    - Mede door de bovengenoemde risico's bestaat de kans dat woningwaarden zullen dalen van huizen die te maken hebben met de benoemde risico's.
- Buitenruimte
  - Watertekort stedelijke groen
  - Giftige rookwolk die over streken trekken
    - Wanneer bosbranden ontstaan kan de rookwolk effect hebben op de stedelijk omgeving. Dit zoals was geconstateerd met de Canadese bosbranden van 2023.
  - Verlies diersoorten en habitats
  - Verlies diersoorten en habitats (padden, vissen, insecten) door droogvallen poelen
- Leefbaarheid
  - Tekort aan drinkwater
    - Wegens zowel de bevolkingsgroei als de droogte ontstaan er nu al regionaal tekorten. In de toekomst verwacht het RIVM dat dit allen maar groter zal worden met een water tekort van ongeveer 1000 miljoen kubieke meter.

### *Extreem weer*

- Gebouwen
  - Toenemende schade aan woningen en gebouwen
    - Doordat overige extremen toenemen (frequentie en intensiteit van windstoten, bliksem hagel etc. zal er een toenemende schade aan woningen en gebouwen ontstaan.
- Buitenruimte
  - Toenemende schade aan de buitenruimte
    - Doordat overige extremen toenemen (frequentie en intensiteit van windstoten, bliksem hagel etc. zal er een toenemende schade aan de buitenruimte ontstaan.

### *Zeespiegelstijging*

- Gebouwen
  - Hogere overstromingskans (schade)
- Buitenruimte
  - Hogere overstromingskans (schade)
- Leefbaarheid
  - Maatschappelijk ontwricht, psychologische schade indien grootschalig overstromingen gebeurt

### 3.1.4 Selectie van klimaatrisico's

In overleg met PBL is ervoor gekozen om drie combinaties van klimaatrisico's te onderzoeken voor de gebouwde omgeving. Hierbij wordt ook per klimaatrisico naar een van de subcategorieën van de gebouwde omgeving keken. Er is de keuze gemaakt voor

1. Corrosie, betonrot en paalrot aan de fundering van gebouwen door warmer en natter weer;
2. Zware schade aan gebouwen door acute wateroverlast;
3. De afname in leefbaarheid van stedelijke gebieden door toename van het hitte eilandeffect.

De drie klimaatrisico's die hierboven zijn genoemd, zijn vastgesteld op basis van literatuuronderzoek dat aangeeft dat ze een grote potentiële impact hebben, evenals de meerdere potentiële primaire en secundaire effecten die ze kunnen veroorzaken. Deze effecten zijn ook vastgesteld op basis van literatuuronderzoek. Desalniettemin is dit geen indicatie dat dit de top drie klimaatrisico's zijn voor de gebouwde omgeving, maar ze kunnen wel een aanzienlijke impact hebben.

Daarbij kijken we in dit onderzoek naar zowel ontwikkelingen binnen de desbetreffende gebouwde omgeving van de jaren '90 uit de vorige eeuw, tot nu, alsook naar de meest opvallende effecten in de geschiedenis van deze klimaatgebeurtenissen.

#### **Corrosie, betonrot en paalrot aan de fundering van gebouwen.**

Volgens het rapport 'Impact van droogte op funderingen' van Deltares zijn er naar schatting in Nederland tussen de 750.000 en 1.000.000 gebouwen met houten palen of funderingen op staal. Deze gebouwen zijn gevoelig voor bodemdaling en lage grondwaterstanden, en daardoor ook voor droogte (Kok en Angelova, 2020). Vanwege de toenemende klimaatdreiging, gekenmerkt door drogere, warmere en nattere klimaatomstandigheden, zullen Nederlandse huishoudens vaker te maken krijgen met dergelijke schade. Nederlandse huishoudens zullen steeds vaker geconfronteerd worden met dergelijke schade, wat zal leiden tot aanzienlijke kosten. Hierbij worden diverse primaire en secundaire effecten in overweging genomen, waaronder maar niet beperkt tot een toenemende verzilting van het grondwater. Het verwachte uiteindelijke risico richt zich voornamelijk op economische schade, met aanzienlijke reparatiekosten en een mogelijke daling van de woningwaarde.

#### **Zware schade aan gebouwen door acute wateroverlast**

Net zoals Limburg in 2021 heeft ervaren, zal Nederland steeds frequenter te maken krijgen met grootschalige schade aan gebouwen als gevolg van acute wateroverlast. Vanwege de groeiende klimaatdreiging, die wordt gekenmerkt door zowel drogere als nattere klimaatomstandigheden, zal waterschade vaker optreden. Dit komt door diverse primaire en secundaire effecten, waaronder maar niet beperkt tot hevige regenval, stijgende waterstanden, lagere grondwaterstanden, en toename van droge lentes en zomers.

Terwijl de focus van dit klimaatrisico voornamelijk gericht is op gebouwen, zal het ook invloed hebben op andere sectoren zoals buitenruimte, leefbaarheid, infrastructuur en mobiliteit. Het verwachte uiteindelijke risico zal zich voornamelijk manifesteren in economische verliezen, en zal zowel de menselijke als de culturele aspecten raken. Dit omvat aanzienlijke reparatiekosten, waardevermindering van woningen, psychologische schade en een verergering van de woningnood."

### **Afname leefbaarheid van stedelijke gebieden door toename hitte-eilandeffect.**

Als gevolg van de toenemende klimaatdreigingen, zoals drogere en warmere omstandigheden, zullen Nederlandse steden steeds vaker te maken krijgen met hittegolven, waarbij het hitte-eilandeffect zich in stedelijke gebieden kan manifesteren. Dit effect zorgt ervoor dat steden warmte vasthouden, wat resulteert in temperaturen die 3 tot 4 graden Celsius hoger liggen dan op het platteland. Deze hitte in stedelijke gebieden zal diverse sectoren beïnvloeden, waaronder buitenruimtes, gebouwen en mobiliteit.

Het verwachte uiteindelijke risico zal vooral invloed hebben op zowel de menselijke als de culturele aspecten. Dit omvat hittestress en zomersmog, wat kan leiden tot meer gezondheidsproblemen, ziekenhuisopnames en sterfgevallen. Daarnaast ontstaat er een grotere druk op gezondheidswerkers en hulpdiensten, meer geluidsoverlast, toegenomen agressief gedrag en hinderlijke geuren (door BBQs) in de openbare ruimte. De buitenruimtes worden minder aangenaam om te verblijven, winkelen of recreëren. Kwetsbare levensmiddelen kunnen door de hitte sneller bederven, wat kan leiden tot omzetverlies in de detailhandel.

Bovendien zal er verlies van arbeidsproductiviteit optreden bij mensen die buiten werken, zoals straat- en dakwerkers, verkeersregelaars, politieagenten, spoorweg- en wegwerkers, bouwvakkers en medewerkers in de groensector. Hittestress in kantoorgebouwen zal leiden tot een toename van gezondheidsproblemen en een afname van de arbeidsproductiviteit. Ook scholen en kinderopvangfaciliteiten (inclusief de bijbehorende buitenruimtes) zullen te maken krijgen met hittestress, wat zal leiden tot een toename van gezondheidsproblemen.

## 3.2 Infrastructuur en mobiliteit

### 3.2.1 Sectorbeschrijving

Onder de verzamelnaam ‘Infrastructuur en mobiliteit’ worden de objecten verstaan die noodzakelijk zijn voor het faciliteren van veilig en efficiënt vervoer over alle verschillende modaliteiten. De vervoersmiddelen zelf en het organiseren en uitvoeren van de vervoersbewegingen vallen hier dus niet onder.

We kunnen deze groep indelen in vier soorten modaliteiten: Wegvervoer, Vervoer over rails, Vervoer over water en Vervoer door de lucht. Voor ieder van deze categorieën is bepaald welke scope in het kader van dit onderzoek opportuun is. Voor elk van de categorieën is dit hieronder toegelicht.

#### **Wegvervoer**

Uit praktische overwegingen is deze categorie beperkt tot wegvervoer over het hoofdwegennet. Het omvat alle infrastructuren die noodzakelijk zijn dit wegvervoer veilig en efficiënt af te handelen, waaronder:

- De wegen zelf, inclusief talud, belijning, signalering, bebording, (dynamische) informatiepanelen, waterafvoer en -berging en veiligheidsmaatregelen, zoals vangrail en vluchtstroken;
- Sensoren die noodzakelijk zijn voor het veilig en operationeel houden van de wegen (maar niet de infrastructuur voor het interpreteren en reageren op deze signalen);
- Kunstwerken (zoals tunnels of tunnelbakken, bruggen en via- of aquaducten) die voorwaardelijk zijn voor de wegen.

### Vervoer over rails

Deze groep omvat alle spoorinfrastructuur die noodzakelijk is voor het veilig en efficiënt uitvoeren van (goederen of personen) transportbewegingen over rails.

Dit omvat:

- De spoorwegen zelf, waaronder de baan, talud, elektriciteitsvoorziening, technische installaties, bebording, signalering, waterafvoer en -berging en veiligheidsmaatregelen;
- Sensoren die noodzakelijk zijn voor het veilig en operationeel houden van de sporen (maar niet de infrastructuur voor het interpreteren en reageren op deze signalen);
- Kunstwerken (zoals tunnels of tunnelbakken, overgangen, bruggen en via- of aquaducten) die voorwaardelijk zijn voor de sporen.

### Vervoer over water

Deze groep is onder te verdelen in twee subgroepen: Zeescheepvaart en Binnenvaart.

#### **Zeescheepvaart**

Hieronder valt de infrastructuur in en voor de zeehavens, waaronder:

- De vaarwegen in en naar de zeehaven inclusief bebording en signalering;
- De haven infrastructuur, waaronder de ankerplaatsen, kades en steigers, signalering en laad- en los terminals;
- Sensoren die noodzakelijk zijn voor het veilig en operationeel houden van het scheepvaartverkeer in en rond de zeehaven (waaronder radar, radiocommunicatiesystemen, AIS);
- Kunstwerken (zoals sluizen, bruggen, aquaducten, waterhoofden, stuwen en keringen).

#### **Binnenvaart**

Hieronder valt de infrastructuur in en om de binnenwateren teneinde deze veilig bevaarbaar te houden, waaronder:

- De binnenvaarwegen zelf, met de beschoeiing, kribben, bebording, signalering;
- De infrastructuur in inlandige havens, waaronder ankerplaatsen, kades en steigers, signalering en laad- en los terminals;
- Sensoren die noodzakelijk zijn voor het veilig en operationeel houden van het scheepvaartverkeer in de binnenwateren (waaronder radar, radiocommunicatiesystemen, AIS);
- Kunstwerken (zoals sluizen, bruggen, aquaducten, gemalen, stuwen en keringen).

### Vervoer door de lucht

Deze groep omvat alle spoorinfrastructuur die noodzakelijk is voor het veilig en efficiënt uitvoeren van (goederen of personen) transportbewegingen door de lucht.

Dit omvat:

- De luchthaveninfrastructuur, waaronder start- en landingsbanen, lokale verkeerbegeleiding bij starten en landen (zoals ILS), laad- en los terminals, vliegtuig;
- Sensoren die noodzakelijk zijn voor het veilig en operationeel houden van het luchtvaartverkeer boven Nederland (waaronder radar, radiocommunicatiesystemen, Nationale verkeerbegeleiding).

## 3.2.2 Blootstelling

De sector 'Infrastructuur en mobiliteit' staat bloot aan alle in hoofdstuk 2 genoemde primaire klimaatdreigingen, uitgezonderd verzuring van de zee.

Ook staat deze sector bloot aan de volgende secundaire effecten:

t.g.v. hitte:

- Versnelling bodemdaling.

t.g.v. neerslag:

- Grotere kans op hoogwater in rivieren in de winter;
- Stijging grondwaterpeil en toename (grond)- water afvoer vanaf hogere gronden;
- Hogere waterstanden;
- frequentere en heviger piekafvoeren in grote en regionale rivieren;
- frequentere en heviger wateroverlast in steden en landelijk gebied;
- frequentere en heviger grondwateroverlast;
- toenemende erosie en verslamping van de bodem;
- Versnelling bodemdaling.

t.g.v. droogte:

- grotere kans op natuurbranden (incl. bermbranden);
- grotere kans laagwater en droogvallen rivieren, beken, plassen, vennen, poelen in zomer.

t.g.v. zeespiegelstijging:

- opstuwing en beperking afwatering.

### 3.2.3 Gevoeligheden

Per klimaatdreiging worden de gevoeligheden beschreven voor wegvervoer, vervoer over rails, vervoer over water en vervoer door de lucht

*Hitte*

- Wegvervoer
  - Het niet kunnen sluiten of openen van beweegbare bruggen
    - Door extreme hitte zetten de brugdelen uit waardoor ze gaan klemmen of vast kunnen komen te zitten. Preventief worden dan vaak de bruggen helemaal niet meer geopend, waardoor ze tenminste voor één verkeersstroom functioneel blijven. Soms is het mogelijk de brugdelen te koelen met water waardoor ze functioneel blijven.
    - Onder extreme hitte kan de bovenlaag van het wegdek smelten, hetgeen leidt tot versnelde slijtage en mogelijk gevaarstelling die ertoe kan leiden dat wegdelen geheel moeten worden afgesloten.
  - Natuur- en bermbranden
    - Deze belemmeren het zicht, wat kan leiden tot gevaarlijke situaties en daardoor sluiting van weg.
- Vervoer over rails
  - Storingen technische installaties (o.a. in relaïskasten)
  - Het niet kunnen sluiten of openen van beweegbare spoorbruggen
    - Door extreme hitte zetten de brugdelen uit waardoor ze gaan klemmen of vast kunnen komen te zitten. Preventief worden vaak de bruggen helemaal niet meer geopend, waardoor ze tenminste voor één verkeersstroom functioneel blijven.
  - Extreem gebruik stroom voor airco's in treinen
  - Spoorspatting
    - Als treinrails warmer worden dan zo'n 55 °C, neemt het risico op spoorspatting toe. Dat wil zeggen dat een of beide rails op een baanvak een knik maken. Spoorspatting ontstaat doordat metaal uitzet bij hitte, en op warme dagen kunnen de rails 20-25 °C heter worden dan de lucht. Daardoor worden de rails langer, en doordat moderne spoorrails in kilometerslange secties aan elkaar gelast worden, ontstaat er veel druk in het metaal. Als de bielzen en het

ballastbed (steenslag) de rails niet op hun plek kunnen houden, ontstaat er spoorspatting. Vaak komen de rails eerst los van de ondergrond, en als er een 3000 ton zware trein passeert, worden ze omlaag en opzij geduwd. (WIBnet, 2022)

### Neerslag

- Wegvervoer
  - Plasvorming
    - Dit betreft zowel hinder door relatief ondiepe plassen die door aquaplaning gevaarlijke situaties kunnen opleveren, alsook plasvorming in tunneldelen. Deze laatste plassen kunnen meerdere decimeters diep worden en de doorstroom geheel tot een halt brengen. Ook teveel water in een tunnel kan tot bouwkundige stabiliteitsproblemen leiden.
  - Instabiliteit tunnels en wegtalud
    - Dit betreft het verweken van het wegtalud, waardoor deze kunnen verzakken.
    - Opdrijven tunnels door stijgende grondwaterstanden.
    - Bij stijgende grondwaterstand kunnen tunneldelen (die waterdicht en hol zijn) gaan drijven. Hierdoor kan de bouwtechnische stabiliteit in het geding komen en dit kan leiden tot gevaarlijke wegsituaties (hobbels in de weg).
- Vervoer over rails
  - Spoor, Stationstunnels, spoortunnels en/of overwegen onder water.
  - Extreme regenval leidt tot verweking van de spoorbaan, of modder op/erosie van de spoorbaan.
    - Extreme neerslag kan zorgen dat de spoorbaan minder stabiel wordt, of vervuild. In beide gevallen kan dit de veiligheid van het transport per trein in gevaar brengen.
  - Wateroverlast technische installaties (o.a. kasten) wat leidt tot uitval
    - Als elektrische installaties onder water komen te staan, is de kans dat deze uitvallen heel groot.
  - Wateroverlast stationsgebied
  - Opdrijving onderdoorgangen door stijgende grondwaterstanden
    - Bij stijgende grondwaterstand kunnen tunneldelen (die waterdicht en hol zijn) gaan drijven. Hierdoor kan de bouwtechnische stabiliteit in het geding komen en dit kan leiden tot gevaarlijke situaties (compromittering van integriteit spoor).
- Vervoer over water
  - Stijging waterstanden rivieren
    - Bij hoge waterstanden in de rivieren zal de doorvaarthoogte afnemen, waardoor hogere binnenvaartschepen sommige bruggen niet meer kunnen passeren.
- Vervoer door de lucht
  - Plasvorming op start- en landingsbanen
    - Hierdoor kunnen vliegtuigen van de getroffen start- en landingsbanen tijdelijk (tot de plasvorming is opgelost) geen gebruik meer maken.

### *Droogte*

- Wegvervoer
  - Ongelijke zakking als gevolg van bodemdaling
    - Dit kan leiden tot bouwtechnische instabiliteit en gevaarlijke wegsituaties (analoog aan hierboven).
- Vervoer over rails
  - Verminderde baanstabieleit
    - Door uitdroging van de grond kan het baanlichaam verzwakken, verzakken of afbrokkelen.
  - Verzakking spoorbaan door bodemdaling
    - Dit kan leiden tot bouwtechnische instabiliteit en gevaarlijke situaties door compromittering van de integriteit van het spoor.
  - Natuur- en bermbranden
    - Deze belemmeren het zicht, wat kan leiden tot gevaarlijke situaties en daardoor het preventief uit de dienst nemen van een spoortraject.
- Vervoer over water
  - Onvoldoende diepte vaarwegen (binnenvaart)
    - Bij een beperkte vaardiepte zal de binnenvaart over het algemeen wel blijven varen, maar wordt de diepgang en daarmee de maximale lading beperkt.
  - Onvoldoende waterbeschikbaarheid sluizen (binnenvaart)
    - Bij extreme droogte wordt als preventieve maatregel het aantal sluisbewegingen beperkt om waterverlies naar de zee te beperken. Hierdoor wordt wel de capaciteit en doorvoer van de betreffende sluizen voor de binnenvaart beperkt.
  - Verzilting water zeehavens
    - Industrie in de havens nemen zoet water in uit de haven voor koeling en andere doeleinden. Op de inname van zout water zijn deze niet ingericht.

### *Zeespiegelstijging*

- Vervoer over rails
  - Kwetsbaarheid spoortunnels (als onderdeel van een dijkkring)
  - Overstromingen
    - Spoorinfra buitendijks krijgt hier vaker last van. Dit kan extreme schade aan spoorinfra tot gevolg hebben (kans tot orde 1:1000) .
  - Uitvallen energievoorziening treinen bij overstromingen
    - Ook als de spoorinfra niet direct geraakt wordt door een overstroming, kan het uitvallen van de elektriciteitsvoorziening als gevolg van de overstroming het treinverkeer op trajecten hinderen of praktisch onmogelijk maken.
- Vervoer over water
  - Aanpassen infrastructuur op nieuwe waterniveaus (zeehavens)
    - De infrastructuur in zeehavens is gebouwd op een beperkte range van zeewaterstanden. Boven de ontwerpstanden functioneert een haven maar beperkt.
  - Hogere waterstanden rivieren
    - Door hogere zeewaterspiegel kan de situatie ontstaan dat er onvoldoende afvoercapaciteit naar zee is bij hoge aanvoersnelheden van water uit het achterland. Hierdoor zullen de rivierwaterstanden in deze situatie meer stijgen dan nu het geval is.



*Extreem weer*

- Vervoer over rails
  - Bliksem
    - Sporelektronica is gevoelig voor bliksem.

### 3.2.4 Selectie van klimaatrisico's

Het opbouwen van een meer concreet beeld van de wijze waarop de verschillende klimaatrisico's geeft een beter beeld van de wijze waarop en de mate waarin deze de betreffende infrastructuur treffen. Het opbouwen van dit beeld kost echter voor elke geselecteerde combinatie een aanzienlijke inspanning, daar niet alleen een evidence-base moet worden opgebouwd, maar daarvan ook de gevolgen in kaart moet worden gebracht. Daarom is besloten het onderzoek voor nu te beperken tot het selectie van de mogelijke subsector / klimaatdreiging combinaties. Deze selectie is tot stand gekomen door een slimme combinatie te kiezen die zowel de belangrijkste klimaatdreigingen omvat als een breed overzicht van de effecten op de verschillende subsectoren. Hierbij is uitgegaan van de hierboven geconstateerde gevoeligheid voor klimaatdreigingen over de drie subsectoren:

Tabel 3.1: overzicht gevoeligheden subsectoren voor type klimaatdreiging. X voor aanzienlijk, x voor beperkt. De geselecteerde casussen zijn weergegeven in **vette rode** tekst.

Klimaatdreiging Subsector	hitte	neerslag	droogte	zeespiegelstijging	extreem weer
Wegvervoer	X	<b>X</b>	x		x
Vervoer over rails	<b>X</b>	X	x	X	x
Vervoer over water		X	<b>X</b>	x	x
Vervoer door de lucht		x			

Naar inschatting van TNO en opdrachtgever zou het budget van dit jaar mogelijk volstaan voor het uitwerken van drie casussen. Op basis van dit overzicht van gevoeligheden is, gebaseerd op deze inschatting, gekozen voor de combinatie

1. Hitte op het spoor;
2. Wateroverlast op de weg;
3. Droogte op de binnenvaart.

De keuze voor wateroverlast op de weg en hitte bij het spoor zou ook andersom gekozen kunnen worden, echter de gekozen combinatie leek *nét* iets relevanter op basis van de genoemde gevoeligheden. Met deze combinatie zijn zo goed mogelijk zowel de voornaamste subsectoren als de voornaamste dreigingen afgedekt.

**Huidige impactrisico's van hitte op het spoor (Klimaatadaptatie Nederland, sd)**

Verschillende componenten van het spoorwegsysteem zijn gevoelig voor warmte, waaronder het railtraject zelf, de treinstellen, de beweegbare spoorbruggen en de installaties langs het spoor. Wanneer beweegbare spoorbruggen uitzetten door hoge temperaturen, kunnen ze hun normale bewegingen niet meer uitvoeren. Bij de spoorrails neemt de kans op 'spoorspatting' toe bij verhoogde temperaturen, wat resulteert in buigingen in de rails. Technologische systemen kunnen oververhitting ervaren, met name in schakelhuisjes en behuizingen. Dit kan resulteren in een toename van storingen voor het treinverkeer.

### Huidige impactrisico's van wateroverlast op de weg (Klimaatadaptatie Nederland, sd)

Door de veranderingen in het klimaat zullen regenbuien frequenter voorkomen en in toenemende mate extreme vormen aannemen. Dit heeft diverse gevolgen voor wegen, zowel direct als indirect:

- Weggebruikers zullen vaker te maken krijgen met verminderd zicht.
- Er zal vaker sprake zijn van wateraccumulatie, wat kan leiden tot ontoegankelijke wegen.
- Taluds zullen sneller eroderen door verhoogde slijtage. Een talud is een hellend vlak langs een weg, spoorlijn, waterweg of dijk. Deze erosie kan gevaar opleveren, waarbij delen van het talud kunnen afschuiven of zelfs wegverzakkingen (sinkholes) in de weg kunnen ontstaan.
- Verhoogde grondwaterstanden kunnen lichtere constructies, zoals EPS in de wegfundering, omhoogdrukken, wat schade aan de constructie kan veroorzaken.
- Onderdoorgangen, zoals aquaducten of tunnels onder spoorlijnen, lopen vaker het risico van overstroming.

De mate van gevoeligheid voor deze bedreigingen en de bijbehorende impact variëren per wegsegment. Gevoeligheid en impact zijn afhankelijk van de specifieke weg- en omgevingsomstandigheden, evenals de gebruiksintensiteit van de weg.

### Huidige impactrisico's van droogte op de binnenvaart (Klimaatadaptatie Nederland, sd)

Droogte vormt de grootste klimaatdreiging voor het vaarwegennet. Door klimaatverandering neemt de rivierafvoer in droge periodes steeds verder af. Ook duren de droge perioden vaak langer. Dit heeft verschillende gevolgen voor vrij stromende rivieren, kanalen en gestuwde rivieren.

#### **Gevolgen voor vrij stromende rivieren**

- Bij vrij stromende rivieren zoals de Waal en de IJssel neemt bij droogte de vaardiepte af. Hierdoor kunnen schepen minder goederen meenemen en moeten ze meer varen of omvaren om dezelfde hoeveelheid goederen te leveren.
- Bodemerosie verergert de situatie bij droogte: de rivieren worden smaller en snijden zich steeds dieper in de rivierbodem. Kabels, leidingen en harde lagen (stenen bestortingen) slijten niet mee en komen steeds hoger in de rivier te liggen. Dit creëert drempels op rivierbodems waar schepen tegenaan kunnen komen, waardoor rivieren nog minder diep worden.
- Omdat de rivierbodem niet overal even snel zakt, verandert de waterverdeling op de plaatsen waar de rivier zich splitst. Dit leidt ertoe dat er steeds minder water naar de Nederrijn en de IJssel stroomt.
- Bodemerosie leidt ook tot problemen bij de aansluitingen tussen rivieren en aangrenzende sluizen, kanalen en havens. Dit komt omdat bodemerosie ervoor zorgt dat er minder water in de voorhavens van de sluizen komt. Deze havens slibben bovendien dicht met sediment.

#### **Gevolgen voor kanalen en gestuwde rivieren**

- Bij kanalen en gestuwde rivieren zoals de Maas kan er tijdens droge perioden een wattertekort ontstaan bij schutsluizen. Dit kan leiden tot schutbeperkingen en/of de inzet

van extra maatregelen zoals pompen, met als gevolg langere wachttijden voor schepen en hogere kosten voor de sluisbeheerder.

## 3.3 Energie, ICT en industrie

### 3.3.1 Sectorbeschrijving

Energie, ICT en Industrie is een groepering van drie (beleids)sectoren, die op het gebied van klimaatrisico's nauw samenhangen (PBL, 2023). De drie sectoren komen voor uit het programma Vitaal & Kwetsbaar, en worden daarin aangemerkt als vitale sectoren (Twynstra Gudde, 2021).

De sector Energie bestaat uit alles wat gaat om de productie, transport en levering van energie. Het gaat hierbij om elektriciteit, gas, en olie. Het verantwoordelijke ministerie hierbij is Economische Zaken en Klimaat, en onder de betrokken partijen vallen onder andere energieproducenten, netbeheerders, energiehandelaren en energieleveranciers. De toezichthouder hierbij is het ACM (Twynstra Gudde, 2021).

De sector ICT beschrijft zowel telecom als ICT, en hieronder vallen alle bedrijven en middelen die het proces rondom elektronische informatieverwerking en communicatie ondersteunen, zoals bijvoorbeeld internet en datadiensten. Het verantwoordelijke ministerie hierbij is Economische zaken en Klimaat, en betrokken partijen zijn telecombedrijven en het NCO-T (Twynstra Gudde, 2021).

Onder de sector Industrie vallen chemie, nucleair, infectueuze stoffen en GGO's (Twynstra Gudde, 2021). Het gaat hierbij met name om grootschalig vervoer, opslag, productie en verwerking van chemische stoffen of nucleair materiaal. Er zijn hierbij meerdere ministeries verantwoordelijk. Voor Chemie, betreft dit Infrastructuur en Waterstaat, met chemische bedrijven als betrokken partijen en het BRZO-OD als bevoegd gezag. Voor Nucleair is het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat verantwoordelijk, met nucleaire installaties/vergunninghouders als voornaamste betrokken partijen. Het gaat hierbij om zes nucleaire installaties: Kerncentrale Borssele, Kerncentrale Dodewaard (in veilige insluiting), URENCO Almelo, COVRA, Hoge Flux Reactor Petten en onderzoeksreactor Delft (Twynstra Gudde, 2021). De toezichthouder hierbij is het ANVS. Voor infectueuze stoffen is het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport verantwoordelijk, en voor genetisch gemodificeerde organismen het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Bevoegd gezag hierbij is de gemeente.

### 3.3.2 Blootstelling

De sector 'Energie, ICT en Industrie' staat bloot aan alle in hoofdstuk 2 genoemde primaire klimaatdreigingen, uitgezonderd verzuring van de zee.

*Hitte*

- Energie
  - Energie-infrastructureur en centrales worden blootgesteld aan toenemende hitte. De koelwatervoorziening van energiecentrales is aan het afnemen door verdamping als gevolg van toenemende hitte, terwijl de vraag naar koelwater toeneemt.

- Frequentere, langdurige en hevigere hitteperioden vragen daarnaast om meer koeling, en leidt derhalve tot een hogere energievraag onder zowel inwoners als industrie.
  - Met name energie-infrastructuur en levering in dichtbevolkte, stedelijke gebieden zijn blootgesteld aan toenemende hitte door het Hitte-eiland effect.
- ICT
  - ICT-infrastructuur wordt blootgesteld aan toenemende hitte.
- Industrie
  - Industrie wordt blootgesteld aan toenemende hitte. De koelwatervoorziening van energiecentrales is aan het afnemen door verdamping als gevolg van toenemende hitte, terwijl de vraag naar koelwater vanuit de industrie toeneemt.

#### *Neerslag*

- Energie
  - Transport- en distributienetwerken van energie worden blootgesteld aan hevigere regenval, frequentere en hevigere piekbuien, frequentere en hevigere piekafvoeren in grote en regionale rivieren, frequenter en heviger wateroverlast in steden en landelijk gebied, frequenter en heviger grondwateroverlast en toenemende erosie en verslamping van de bodem.
- ICT
  - Telecomnetwerken en ICT-infrastructuur worden blootgesteld aan hevigere regenval, frequentere en hevigere piekbuien, frequentere en hevigere piekafvoeren in grote en regionale rivieren, frequenter en heviger wateroverlast in steden en landelijk gebied, frequenter en heviger grondwateroverlast en toenemende erosie en verslamping van de bodem.
- Industrie
  - Industrie wordt blootgesteld aan hevigere regenval, frequentere en hevigere piekbuien, frequentere en hevigere piekafvoeren in grote en regionale rivieren, frequenter en heviger wateroverlast in steden en landelijk gebied, frequenter en heviger grondwateroverlast en toenemende erosie en verslamping van de bodem.

#### *Droogte*

- Energie
  - Energie-infrastructuur en centrales worden blootgesteld aan toenemende droogte.
  - De koelwatervoorziening van energiecentrales is sterk aan het afnemen door frequentere, langdurigere en intensere droogteperioden, met name in de lente en zomer.
  - Ondergrondse energie-infrastructuur is daarnaast blootgesteld aan (de versnelling van) bodemdaling.
- ICT
  - ICT infrastructuur wordt blootgesteld aan toenemende droogte. Met name vitale ICT-bedrijfsmiddelen die koeling behoeven zijn blootgesteld, wanneer een gebrek aan neerslag en frequentere droogteperioden kan leiden tot een gebrek aan koelwater.
  - Met name ondergrondse ICT-infrastructuur is blootgesteld aan de versnelling van bodemdaling.

- Industrie
  - Industrie wordt blootgesteld aan toenemende droogte. Met name industrie die koeling behoeft is blootgesteld, wanneer een gebrek aan neerslag en frequentere droogteperioden kan leiden tot een gebrek aan koelwater.

#### *Extreem weer*

- Energie
  - Energie-infrastructuur en centrales worden blootgesteld aan extremere weersomstandigheden zoals stormen, valwinden, onweer, hagelbuien, sneeuw en ijzel.
  - Met name bovengrondse infrastructuur is blootgesteld aan extremere weersomstandigheden.
  - Structuren ten behoeve van windenergie (bijv. windmolens) zijn blootgesteld aan hevigere stormen, onweer en valwinden.
- ICT
  - Telecomnetwerken en ICT-infrastructuur worden blootgesteld aan extremere weersomstandigheden zoals stormen, valwinden, onweer, hagelbuien, sneeuw en ijzel.
  - Met name bovengrondse Telecom- en ICT-infrastructuur is blootgesteld aan extremere weersomstandigheden.
- Industrie
  - Industrie wordt blootgesteld aan extremere weersomstandigheden zoals stormen, valwinden, onweer, hagelbuien, sneeuw en ijzel.

#### *Zeespiegelstijging*

- Energie
  - Transport- en distributienetwerken van energie gelegen aan de kust of aan rivieren landinwaarts worden blootgesteld aan onder andere hogere waterstanden aan de kust en opstuwing en beperking afwatering aan rivieren landinwaarts.
- ICT
  - Telecomnetwerken, ICT-infrastructuur of ICT bedrijfsmiddelen gelegen aan de kust of aan rivieren landinwaarts worden blootgesteld aan onder andere hogere waterstanden aan de kust en opstuwing en beperking afwatering aan rivieren landinwaarts.
- Industrie
  - Met name industrie en laboratoria gelegen aan de kust of aan rivieren landinwaarts worden blootgesteld aan onder andere hogere waterstanden aan de kust en opstuwing en beperking afwatering aan rivieren landinwaarts.

### 3.3.3 Gevoeligheden

Per klimaatdreiging worden de gevoeligheden beschreven voor energie, ICT en industrie.

#### *Hitte*

- Energie
  - Productieproblemen door gebrek aan koelwater
    - Koelwatervoorzieningen nemen af door toenemende hitte en droogte en watertemperatuur.
  - Hogere vraag naar koelingsinstallaties

- Toenemende hitte zorgt voor een toenemende vraag naar verkoeling, resulterend in een additionele energievraag.
- Toename van energieblackouts
  - Blootstelling van energie-infrastructuur aan toenemende temperaturen kan leiden tot een toename van energieblackouts.
- Industrie
  - Productieproblemen koelwatervoorzieningen
    - Koelwatervoorzieningen in gebieden met toenemende hitte en droogte kunnen productieproblemen kennen door een gebrek aan koelwater.

#### *Neerslag*

- Energie
  - Toename verstoring van elektriciteitsvoorziening
  - Blootstelling van transport- en distributienetwerken van energie aan kust-, rivier- of wateroverstromingen zorgt voor vaker schade aan deze netwerken.
- ICT
  - Potentiële overstromingen van centrales en/of infrastructuur
    - Onderdelen van het telecomnetwerk die aanwezig zijn in gebieden waar overstromingen plaats (kunnen) vinden, kunnen onder invloed raken van overstromingen vanuit zee én rivier.
- Industrie
  - Kans op uitbraak pathogenen uit laboratoria
    - Laboratoria in gebieden die onderhevig kunnen zijn aan overstromingen, hebben een kans op uitbraak van hoog risico pathogenen door de overstroming van deze laboratoria.

#### *Droogte*

- Energie
  - Productieproblemen door gebrek aan koelwater
    - Koelwatervoorzieningen nemen af door toenemende hitte en droogte.
- ICT
  - Toename kans op beschadiging ondergrondse infrastructuur
    - Ondergrondse ICT-infrastructuur in gebieden waar sprake is van toenemende droogte kunnen vaker onderhevig raken aan druk op deze infrastructuur.
- Industrie
  - Productieproblemen koelwatervoorzieningen
    - Koelwatervoorzieningen in gebieden met toenemende hitte en droogte kunnen productieproblemen kennen door een gebrek aan koelwater.

#### *Extreem weer*

- Energie
  - Potentiële schade aan structuren ten behoeve van windenergie
    - Kwetsbare structuren (bijv. windmolens) die onderhevig zijn aan (harde/extreme) winden vragen om versterking van deze structuren.
  - Toename verstoring van elektriciteitsvoorziening
    - Blootstelling van transport- en distributienetwerken van energie aan extremere weersomstandigheden (bijvoorbeeld stormen) en bosbranden zorgt voor vaker schade aan deze netwerken.

- ICT
  - Toename kans op beschadiging van vaste ICT-netwerken
    - Vaste ICT-netwerken die zich over grote gebieden uitstrekken hebben een grotere kans om blootgesteld te worden aan stormen, valwinden, tornado's, hagelbuien, onweer, bliksem, koudegolven, sneeuw en ijzel.

#### *Zeespiegelstijging*

- Energie
  - Toename verstoring van elektriciteitsvoorziening
    - Blootstelling van transport- en distributienetwerken van energie aan kust-, rivier- of wateroverstromingen zorgt voor vaker schade aan deze netwerken.
- ICT
  - Potentiële overstromingen van centrales en/of infrastructuur
    - Onderdelen van het telecomnetwerk die aanwezig zijn in gebieden waar overstromingen plaats (kunnen) vinden, kunnen onder invloed raken van overstromingen vanuit zee én rivier.
  - Toename kans op beschadiging van ICT-bedrijfsmiddelen en infrastructuur
    - ICT-bedrijfsmiddelen en infrastructuur die aanwezig zijn in gebieden waar overstromingen plaats (kunnen) vinden, kunnen beschadigd raken door kust-, rivier- of wateroverstromingen.

## 4 Gebouwde omgeving

In dit hoofdstuk zijn de factsheets opgenomen voor de klimaatrisico's 'Funderingsschade aan gebouwen door droogte' en 'Schade op de gebouwde omgeving door acute wateroverlast'. Voor het klimaatrisico 'Afname leefbaarheid van stedelijke gebieden door toename hitte-eilandeffect' heeft TNO input geleverd aan RIVM. Voor dit klimaatrisico is geen factsheet opgenomen in dit rapport.



# 4.1 Funderingsschade aan gebouwen door droogte



Planbureau voor de Leefomgeving

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving, 2023

## Factsheet klimaatrisico

Funderingsschade aan gebouwen door droogte.

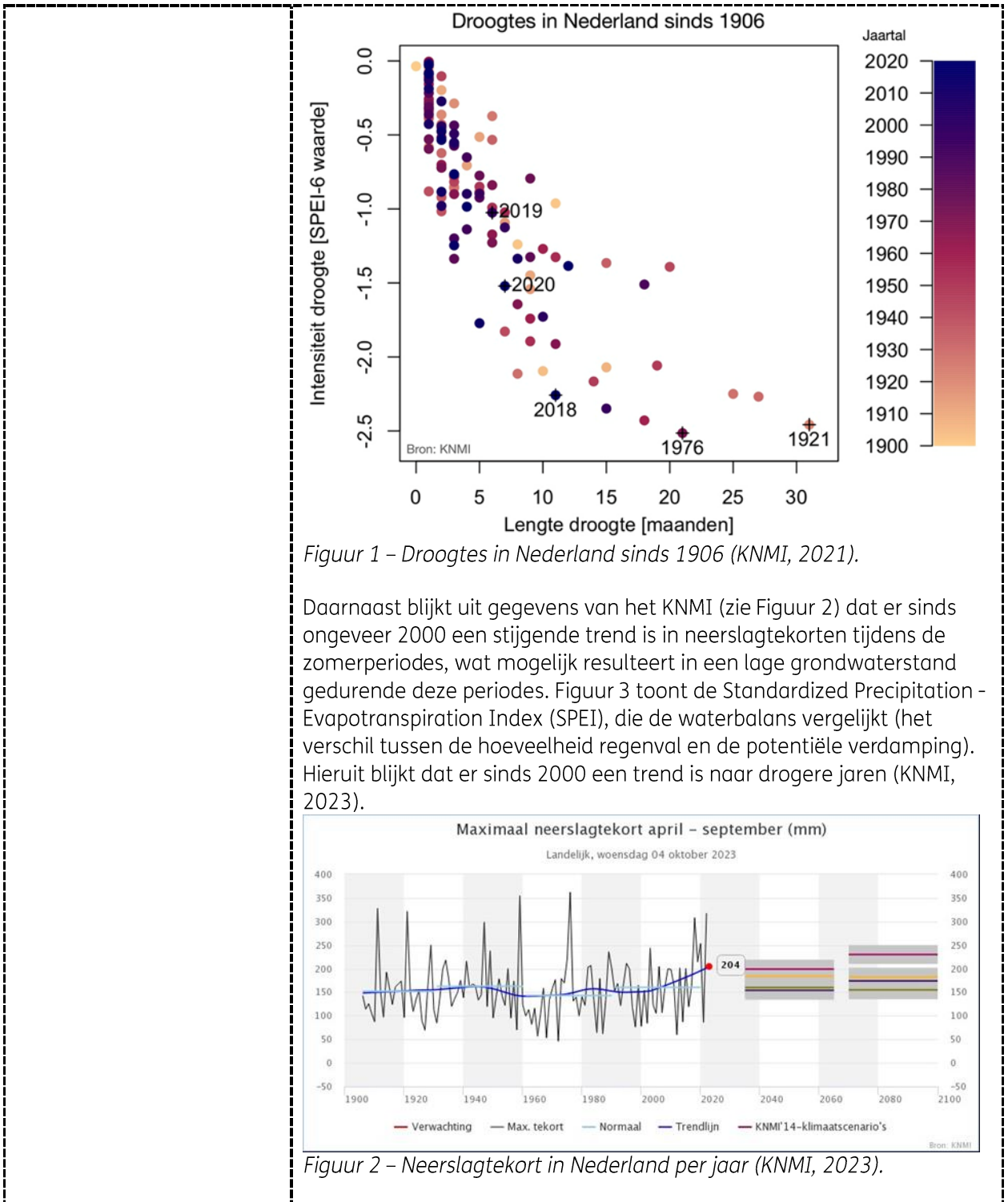
### Inleiding

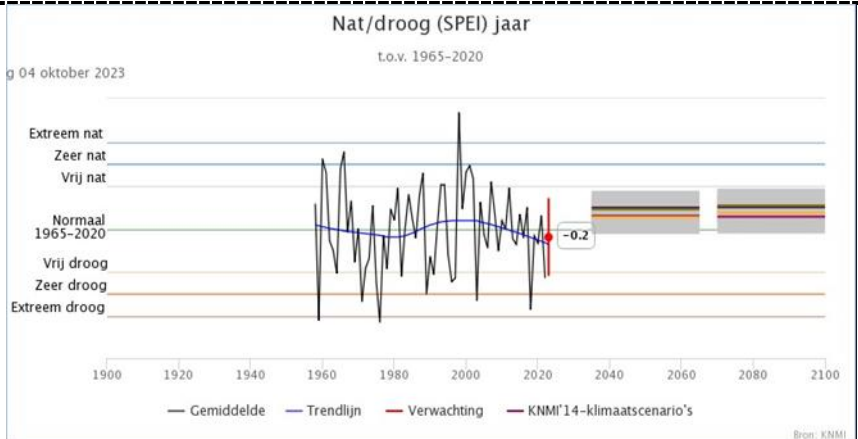
Voor 1975 werden gebouwen vaak op houten palen of ondiepe funderingen gebouwd. Deze constructies waren kwetsbaar voor schade, vooral als er veen of klei in de ondergrond aanwezig was, of als de houten palen droog kwamen te staan. Problemen zoals paalrot bij houten funderingen en scheefzakken door grondverschuivingen bij ondiepe funderingen waren niet nieuw. Echter, met de opkomende klimaatverandering worden deze problemen verergerd. Nederland zou in de toekomst steeds vaker te maken krijgen met droogte, vooral in de warme zomers. Hierdoor voorspelde het Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek (KCAF) dat tegen 2050 de totale schade zou oplopen tot wel 60 miljard euro. De impact van deze veranderingen was al zichtbaar. Tijdens de uitzonderlijk droge zomers van 2018, 2019, 2020 en 2022 nam het aantal meldingen van funderingsschade sterk toe. De dreigende schade aan de oude gebouwen weerspiegelde de zorgen voor de toekomst, en de noodzaak voor passende maatregelen was urgenter dan ooit.

### Klimaatrisicoanalyse

#### Klimaatdreiging

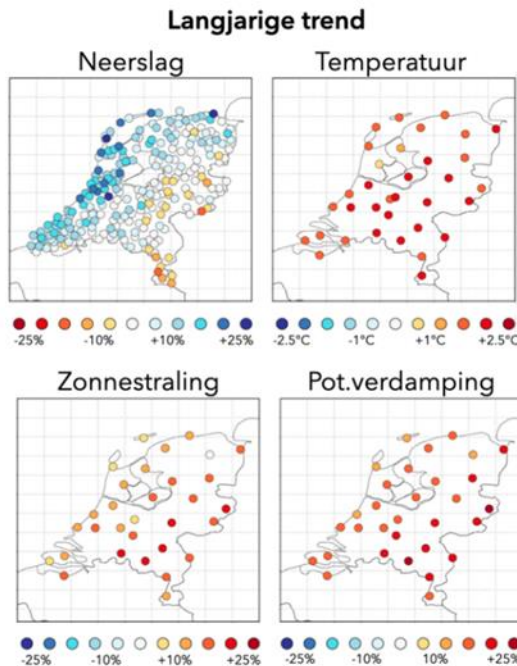
De belangrijkste klimaatdreiging die hierbij in Nederland een rol speelt is 'het wordt droger'. Hoewel het tot nu toe goed is gegaan en er een aanzienlijke loyaliteit bestaat ten opzichte van het democratische proces, bestonden er wel zorgen over de mogelijkheid van kwaadwillende intenties vanwege een gebrek aan vertrouwen. Bij het bestuderen van historische gegevens valt op dat Nederland sinds 1990 steeds vaker te maken krijgt met droogteperiodes, ook al zijn deze meestal van korte duur (meestal niet langer dan een aantal maanden – zie Figuur 1). De frequentie van deze droogteperiodes neemt echter toe, wat de problemen met betrekking tot funderingen verder versterkt (KNMI, 2021). De meeste recente droge zomers die in Nederland hebben plaatsgevonden waren in 2018, 2019, 2020 en 2022.





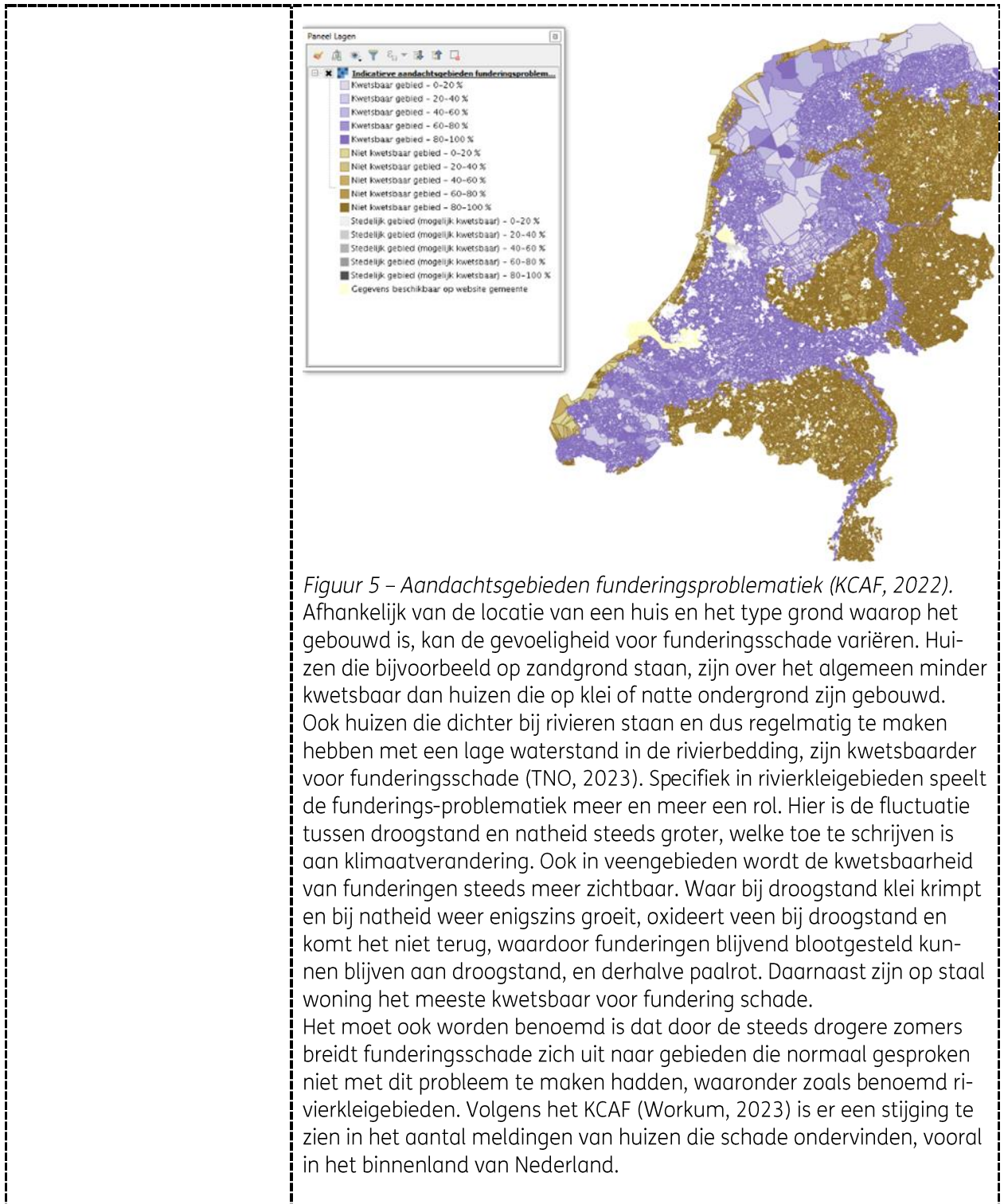
Figuur 3 – Standardized Precipitation Evapotranspiration Index per jaar (KNMI, 2023).

Bovendien is geconcludeerd dat het binnenland vaker met droogteproblemen zal worden geconfronteerd dan de kustgebieden (Figuur 4). Volgens het KNMI neemt de zomerneerslag toe in de kustgebieden, terwijl er in het binnenland weinig of geen verandering waarneembaar is. Niettemin neemt met de stijgende temperaturen de potentiële verdamping toe. Deze neemt sterker toe in het binnenland dan in de kustgebieden (KNMI, 2020).



Figuur 4 – Langjarige trend in neerslag, temperatuur, zonnestraling en potentiële verdamping in Nederland (KNMI, 2020).

<p><b>Secundaire effecten</b></p>	<p>Als gevolg van droogte kunnen verschillende secundaire effecten optreden:</p> <p><b>Daling van Grondwaterstanden en Schade aan Ondiepe Funderingen</b>  Het droger worden van de bodem leidt tot een daling van de grondwaterstanden, vooral in de zomerperiode. Dit fenomeen veroorzaakt paalrot en vershilzetting bij ondiepe funderingen, wat resulteert in schade aan de gebouwen.</p> <p><b>Toename inklinking bodem</b>  Het droger worden van de bodem leidt tot een daling van de grondwaterstanden met als gevolg dat voor kleigronden de grond inklinkt bij periodes van droogte. Hier staat tegenover dat deze kleigronden gedurende natte periodes ook weer uitzetten. Echter, cumulatief gezien resulteert dit in inklinking van de bodem.</p> <p><b>Toename CO2 in de lucht</b>  Het droger worden van de bodem leidt tot een daling van de grondwaterstanden met als gevolg dat voor veengronden een oxidatieproces plaatsvindt. De CO2 die hierbij vrijkomt, speelt een additionele rol in de luchtvervuiling.</p>
<p><b>Blootstelling</b></p>	<p>Alle provincies kunnen worden blootgesteld aan de droogte in de gebouwde omgeving, met funderingsschade als een aanhoudend probleem. De mate van kwetsbaarheid varieert per gebied, regio en gemeente (zie Gevoeligheid sectie). Dit is afhankelijk van het type grond waarop een huis is gebouwd. Desalniettemin zullen alle gemeenten met problemen op dit gebied te maken krijgen.</p> <p>Tevens varieert de blootstelling per gebouw. Niet alleen de type ondergrond, en het gebied waarin dit gebouw zich bevindt spelen hierbij een rol. Ook de leeftijd van een gebouw laat zien welk gebouw mogelijk het meest kwetsbaar is. Immers, pas na een cumulatieve droogstand van ongeveer tien jaar begint funderingsschade evident te worden. Belangrijk hierbij is om het termijn van blootstelling te benoemen. Het ene gebouw kan dan wel ouder zijn dan het andere, maar als het door lokale omstandigheden minder lang aan droogstand onderhevig is geweest, dan is het niet per se het geval dat leeftijd van het gebouw correleert met kans op funderingsschade.</p>
<p><b>Gevoeligheid</b></p>	<p>Zoals eerder besproken in de voorgaande sectie over “blootstelling”, zal funderingsschade een probleem zijn dat alle provincies raakt. De mate van kwetsbaarheid varieert afhankelijk van het type grond waarop een huis is gebouwd en verschilt per gebied, regio en gemeente. Het KCAF heeft in hun kaart aangegeven welke gebieden kwetsbaar zijn (zie Figuur 5). Daarnaast hebben sommige gemeenten zoals Rotterdam (duikinjefundering.nl, 2023 ) en Zaanstad (funderingen.zaanstad.nl, 2023) elk een eigen interactieve kaart ontwikkeld waarop de kwetsbaarheden van verschillende delen van hun gemeenten in kaart zijn gebracht. Een aantal andere gemeentes zoals Schiedam en Gouda hebben dezelfde stappen ondernomen.</p>

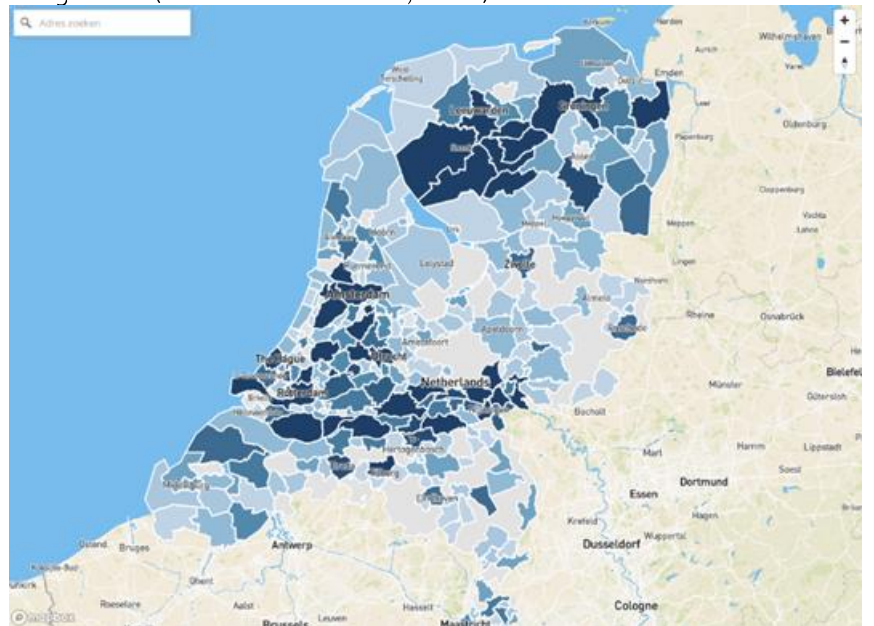


**Adaptatiecapaciteit**

**Adaptatie**

Voor de huidige klimaatrisico's zijn er al diverse initiatieven genomen om zowel het probleem in kaart te brengen als op te lossen. Zoals eerder geconstateerd door ABN AMRO, beschikt slechts een op de veertig panden die vóór 1970 zijn gebouwd over gedocumenteerde informatie betreffende hun fundering (Hommes et al., 2023). Enkele gemeenten hebben actie ondernomen in reactie hierop, waaronder de gemeenten Rotterdam en Zaanstad. Beide gemeenten hebben interactieve kaarten beschikbaar gesteld waarop verschillende funderingsproblematieken zijn gemarkeerd (funderings.zaanstad.nl, 2023) (duikinjefundering.nl, 2023). Hierop kan vrijwel elk pand worden gecontroleerd om te zien of er sprake is van een herstelde fundering, gedeeltelijk herstelde fundering, een fundering van vóór 1950 die is onderzocht (allen Zaanstad), een fundering van vóór 1950 die niet is onderzocht (allen Zaanstad), of een fundering van na 1950 (allen Zaanstad) (Funderingen Zaanstad, 2022).

Er zijn ook algemene kaarten ontwikkeld om meer transparantie te bieden. Het KCAF heeft een interactieve kaart ontwikkeld, waarop de kwetsbaarheid van de funderingen per gebied wordt ingeschat (KCAF, 2022). Deze kaart is beschikbaar voor alle gemeentes waar mogelijk funderingsproblemen kunnen voorkomen (zie Figuur 5). Daarnaast houdt het KCAF op vrijwillige basis bij welke gemeenten de meeste meldingen hebben gemaakt bij het funderingsloket in de afgelopen vijf jaar (Figuur 6). Op hun website is een interactieve kaart beschikbaar waarop de gemeenten zijn gemarkeerd. Hoe donkerder de kleur van de gemeente op de kaart, hoe meer meldingen het KCAF heeft ontvangen (KCAF, 2022). Als laatst heeft de Stichting Climate Adaptation Services (CAS) in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat met hun klimateffectatlas, een iets specifiekere kaart ontwikkeld waarin de type funderingsschade van paalrot en vershilzetting worden aangekaart (klimateffectatlas.nl, 2023).



*Figuur 6 – Meldingen per gemeente van funderingsschade over de afgelopen vijf jaar (KCAF, 2022).*

Met betrekking tot adaptie capaciteit van dit probleem zijn er verschillende opties beschikbaar om gebouwen ervoor te beschermen. Desalniettemin komen de kosten van restauratie vaak op de eigenaren van woning terecht. Momenteel omvat het grootste probleem zich dan ook bij woningen die voor 1970 zijn gebouwd. Nieuwere woningen ondervinden de problemen minder of zijn er met ander materie al op voorbereid. Niettemin, verschillende organisaties waaronder Manifest van Vereniging Eigen Huis (VEH), Verbond van Verzekeraars (VvV), Nederlandse Vereniging van Banken (NVB), Aedes en KCAF hebben op 5 Maart 2021 gepleit voor het ontwikkelen van het Deltaplan Aanpak Funderingsschade (Deltaplan Aanpak Funderingsschade, 2021). om de toekomstige funderingsschade aan te pakken. Hierin wordt gepleit voor het voorkomen van de schade, onderzoek naar en toepassing van nieuwe technologie zowel als een hoofdrol voor het Rijk. Momenteel ligt de verantwoordelijkheid om met de funderingsproblematiek aan de slag te gaan bij de gemeenten. Om ook gemeenten te ondersteunen die zelf nog niet diep in de problematiek zijn gedoken, is RVO met de Nationale Aanpak Funderingsproblematiek gekomen (NAF). Middels de NAF kan de reeds vergaarde kennis en expertise breder verspreid worden om hiermee de funderingsproblematiek beter het hoofd te kunnen bieden. (Nationale Aanpak Funderingsproblematiek, 2019)

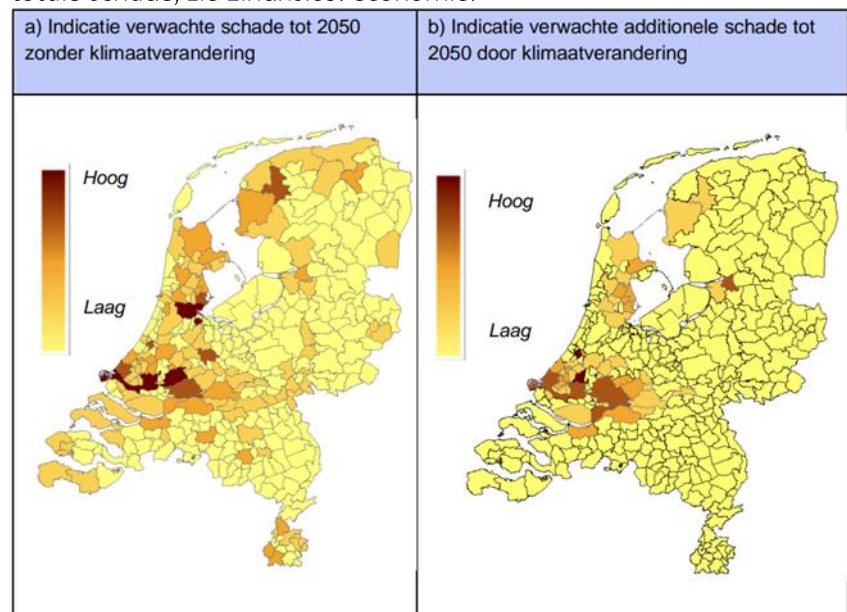
Het ministerie van I&W onder nu de-commissionair Minister Harbers (2022) heeft in een brief naar de Tweede Kamer gepleit voor het terugdringen van de voortdurende bodemdaling in de veengebieden om zo toekomstige funderingsschade te beperken. Daarbij wil hij de verantwoordelijkheid hiervoor bij de provincies en waterschappen laten liggen in samenspraak met de agrarische sectoren en andere betrokken partijen.

#### ***Sociaal-maatschappelijke onrust***

De aanpassingsmogelijkheden met betrekking tot funderingsschade in het kader van klimaatverandering worden beperkt in situaties van maatschappelijke onrust. Klimaatverandering brengt inherent risico's met zich mee, maar het risico evolueert pas naar schade wanneer het waarneembaar wordt. Op het moment dat deze schade, in dit geval funderingsschade, zichtbaar wordt, denkt een bewoner niet meteen aan klimaatverandering, maar gaat eerder op zoek naar de oorzaak. Werkzaamheden aan een kanaal, dijkonderhoud of de problematiek rond aardbevingen zijn situaties waarin deze zoektocht naar de oorzaak naar voren kan komen. Daarom is het voor bewoners niet altijd helder.

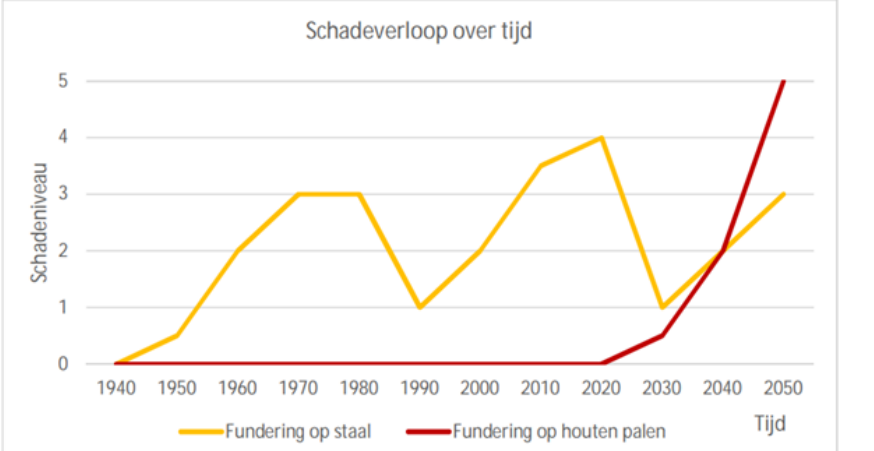
Impact

De impact van funderingsschade zal naar verwachting de komende jaren aanzienlijk toenemen. Volgens gegevens van het KCAF heeft de extreme droogte tijdens de zomerperiodes van 2018, 2019, 2020 en 2022 geleid tot een sterke stijging van het aantal meldingen van funderingsschade bij hun funderingsloket. Het aantal serieuze meldingen steeg van één tot drie per week in de periode 2012-2017 naar vijf meldingen per dag in 2018. Na media-aandacht in 2019 nam dit aantal zelfs toe tot tientallen meldingen per dag in 2022 (KCAF, 2023). Vereniging Eigen Huis (VEH) schatte in 2021 dat ongeveer 250.000 huizen momenteel met urgente funderingsschade kampen, en voorspelde dat dit aantal tegen 2050 zou oplopen tot ongeveer een miljoen huizen (Eenvandaag.avrotros.nl, 2021). Het onderzoeksrapport van Deltares bevestigt dit aantal en suggereert dat tussen de 750.000 en 1.000.000 huizen gevoelig zijn voor bodemdaling en lage grondwaterstanden, en daarmee ook voor droogte (Angelova en Kok, 2020). Zoals eerder vermeld in deze factsheet, wordt verwacht dat een groot deel van de voorspelde funderingsschade zal ontstaan. De genoemde klimaatdreiging versterkt echter deze problemen, waardoor de situatie nog ernstiger wordt. Deltares heeft een overzicht gemaakt van de verwachte impact zonder klimaatverandering en de verzwarende effecten die kunnen optreden door klimaatverandering, per gemeente (Figuur 7). Ze hebben ook een algemene inschatting gemaakt van het verwachte schadeverloop in de tijd met betrekking tot verzilting en paalrotschade (Figuur 8) (Angelova en Kok, 2020). Voor een volledige financiële schatting van de totale schade, zie Eindrisico: economie.



Figuur 7 – Verwachte schade zonder klimaatverandering en verwachte additionele schade door klimaatverandering (Angelova en Kok, 2020).



	 <p><i>Figuur 8 – Schadeverloop over tijd uitgesplitst voor funderingen op staal en funderingen op houten palen (Angelova en Kok, 2020).</i></p> <p><b>Additionele effecten</b> Overige effecten die kunnen ontstaan die een impact kunnen hebben op de fundering is een toename van Corrosie en Betonrot: De combinatie van hogere temperaturen, natter weer en droogte leidt tot een toename van corrosie en betonrot in funderingen. Deze omstandigheden versnellen corrosieprocessen en veroorzaken betonrot, wat op zijn beurt leidt tot aantasting van de fundering. Impact op Infrastructuur en Bebouwde Omgeving: Deze schade heeft directe gevolgen voor de instandhouding van infrastructuur en de bebouwde omgeving. De kosten voor reparaties en onderhoud zullen stijgen, wat de economische last voor gemeenschappen vergroot.</p>
<p><b>Cascade-effecten</b></p>	<p><b>Waardedaling van Woningen</b> Vanwege de genoemde risico's bestaat de kans dat woningen die kwetsbaar zijn voor funderingsschade in waarde zullen dalen. Potentiële kopers zullen terughoudend zijn vanwege de extra kosten en risico's die gepaard gaan met het bezitten van een huis dat gevoelig is voor deze problemen.</p> <p><b>Waterpeil</b> Watermanagement speelt een cruciale rol m.b.t. impact op funderingen. Een van de directe effecten van waterbeheer op huizen is de invloed op de grondwaterstand. Wanneer waterbeheermaatregelen worden toegepast, zoals meer water geven aan boeren tijdens droge zomers, of water verdelen door de verdringingsreeks, etc. Kunnen deze verstoring leiden tot veranderingen in de grondwaterstand in de omgeving van gebouwen. Als de grondwaterstand te laag wordt door bijvoorbeeld intensief watergebruik in de omgeving, kan dit de fundering van huizen aantasten. Een te lage grondwaterstand kan leiden tot bodemverzakking, wat op zijn beurt schade kan veroorzaken aan de stabiliteit en stevigheid van de funderingen van gebouwen, wat aandacht en zorg vereist bij watermanagementbeslissingen.</p>

<p><b>Eindimpact: mens en cultuur</b></p>	<p>Met een momentopname van de huidige situatie zou het eindimpact laag-middel zijn. De reden hiervoor is dat er geen gewonden en geen doden zullen vallen dankzij deze funderingsproblematiek maar dat er 250,000 huizen zijn die nu al funderingsproblemen ondervinden.</p> <p>Daarnaast is een van de voornaamste conclusies van deze factsheet dat dit probleem zich verder gaat uitbreiden en uiteindelijk zal leiden tot ongeveer een miljoen huishoudens wiens funderingen moeten worden verbeterd (Eenvandaag.avrotros.nl, 2021).</p>										
<p><b>Eindimpact: natuur en milieu</b></p>	<p>Niet meegenomen in onderzoek.</p>										
<p><b>Eindrisico: economie</b></p>	<p>De voornaamste schade die dit risico met zich meebrengt, richt zich op de economie. Hoewel er tegenstrijdige kostenberekeningen zijn, wordt aangenomen dat de economische schade aanzienlijk zal zijn, met een geschatte kostprijs in de miljarden in 2050. In 2016 berekende het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) dat de kosten konden oplopen tot 22 miljard euro (Eenvandaag.avrotros.nl, 2018). Het Manifest van VEH, VvV, NVB, Aedes en het KCAF gingen in hun Deltaplan aanpak Funderingsschade uit van een bedrag van 60 miljard euro (aedes.nl, 2021). Tot slot gaat het KCAF in hun koersdocument van 2021 uit van een schade van 80 miljard euro (KCAF, 2021).</p> <p>Desalniettemin, zoals eerder vermeld, was een deel van deze schade al te verwachten. De vraag rijst hoeveel schade direct gerelateerd is aan de klimaatdreiging. Deltares heeft hier deels antwoord op gegeven in hun rapport "Impact droogte op funderingen", waarin een inschatting werd gemaakt van schade door paalrot en verschilzetting bij woningen met een ondiepe fundering (op staal). Hun conclusie is dat door de klimaatdreiging de schade met 3 tot 15 miljard euro toeneemt. Zij gaan hierbij uit van een schadebedrag zonder klimaatverandering van tussen de 5 en 39 miljard euro (Angelova en Kok, 2020) (Figuur 9). Doordat schade zich over meerdere jaren uitspreidt en deze over de jaren heen toeneemt wordt de eindimpact op de economie momenteel ingeschat op laag tot middel. Over de jaren heen is er de kans en verwachting dat dit toe zal nemen naar middel tot hoog.</p> <div data-bbox="614 1467 1460 1937"> <p style="text-align: center;"><b>Ordegrootte risico funderingsschade met en zonder klimaatverandering</b></p> <table border="1"> <caption>Data from Figure 9: Order of magnitude of foundation damage risk</caption> <thead> <tr> <th>Categorie</th> <th>Verwachtrisico tot 2050 (nominaal) in miljard €</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Verschilzetting zonder CC</td> <td>~15</td> </tr> <tr> <td>Verschilzetting met CC</td> <td>~42</td> </tr> <tr> <td>Paalrot zonder cc</td> <td>~5</td> </tr> <tr> <td>paalrot met cc</td> <td>~8</td> </tr> </tbody> </table> </div>	Categorie	Verwachtrisico tot 2050 (nominaal) in miljard €	Verschilzetting zonder CC	~15	Verschilzetting met CC	~42	Paalrot zonder cc	~5	paalrot met cc	~8
Categorie	Verwachtrisico tot 2050 (nominaal) in miljard €										
Verschilzetting zonder CC	~15										
Verschilzetting met CC	~42										
Paalrot zonder cc	~5										
paalrot met cc	~8										

	<i>Figuur 9 – Ordegrootte risico funderingsschade met en zonder klimaatverandering (Angelova en Kok, 2020).</i>
<b>Waarschijnlijkheid</b>	Funderingsschade is een probleem dat hedendaags al plaatsvindt. Het is een problematiek welke geleidelijk toeneemt. Derhalve classificeren we de waarschijnlijkheid als ‘eens per jaar of vaker’. De problematiek zal alleen nog maar in schaal toenemen, al moet hierbij de kanttekening geplaatst worden dat dit waarschijnlijk niet in volledigheid aan klimaatverandering toegekend kan worden. Wel dient vermeld te worden dat het aantal meldingen van funderingsschade in elke droge zomer omhoog schiet. Het is echter onzeker wat de toename van schademeldingen is ten opzichte van 1990. Het probleem werd destijds nog niet (volledig) onderkend. Pas sinds 2010 wordt er actief gekeken naar funderingsschade en bijbehorende meldingen.
<b>Wildcards &amp; kantelpunten</b>	Funderingsschade ontstaat na een cumulatieve droogstand van ongeveer 10 jaar. Na het bereiken van dit punt is er dus sprake van onomkeerbare schade aan de funderingen. Dit betekent dat er een kritieke drempel overschreden is en aanpak van de schade aan de fundering genoodzaakt is.

Context	
<b>Bestuurlijke situatie</b>	-
<b>Samenhang met andere transitie en beleid</b>	-
<b>Internationale aspecten</b>	-
<b>Maladaptatie en/of ‘lock-ins’</b>	-
<b>Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid</b>	-
<b>Rechtvaardigheid</b>	Er kunnen verschillen ontstaan in uiteindelijke impact van funderingsschade door verschillen in financiële mogelijkheden. Zo kan het ene huishouden wel schade opvangen dat in de tienduizenden euro’s loopt, terwijl dit voor een ander huishouden niet mogelijk is. Doordat er nog onduidelijkheid is over wie verantwoordelijk is voor funderingsschade (zie kennishiaten), is onduidelijkheid in welke mate deze verschillen zullen optreden.

<b>Kwaliteitsborging</b>	
<b>Transparantie, aggregatie en afbakening</b>	<p>De analyse is uitgevoerd op basis van een combinatie van literatuuronderzoek en interviews. De interviews hebben plaatsgevonden met experts van onderzoeksinstituten en uitvoerende organisaties. Deze interviews dienden met name als validatie van de resultaten van het literatuuronderzoek.</p> <p>De eindimpacts en waarschijnlijkheid zijn in samenspraak met PBL bepaald tijdens een werksessie op basis van de informatie zoals te vinden in deze factsheet.</p>
<b>Kennishiaten</b>	<p>Tijdens het onderzoek zijn enkele kennishiaten geïdentificeerd welke hieronder opgesomd en kort toegelicht worden.</p> <p><b>Funderingsschade bij bedrijven</b>                      In dit onderzoek heeft de focus met name gelegen op woningen (en in mindere mate monumentale panden). De reden hiervoor is de beschikbaarheid aan data. De data over bedrijfspanden was afwezig of niet toereikend.</p> <p><b>Verantwoordelijkheid</b>                      Tot op heden lijkt er veel onzekerheid te bestaan wie er verantwoordelijk is voor funderingsschade. Zijn het de eigenaren van de woning, is het de gemeente, of is het een andere partij? Gezien de omvang van de kosten van schadeafhandeling lijkt niemand hier – zonder strikte voorwaarden – verantwoordelijkheid voor te willen nemen. Hoe dit zich verhoudt tot de benodigde schadeafhandeling vergt nader onderzoek.</p>
<b>Onzekerheid en betrouwbaarheid</b>	<p>Er heerst een brede consensus ('gemiddeld – hoog') dat klimaatverandering een bijdrage levert aan funderingsschade. Echter, het is één van meerdere factoren die cumulatief bijdragen aan de funderingsproblematiek.</p> <p>Funderingsschade is relatief laat onder de aandacht gekomen, waardoor het aanwezige bewijs voor de bijdrage van klimaatverandering aan funderingsschade niet enorm is ('gemiddeld').</p> <p>Consensus en bewijs samengevoegd betekent dat het met gemiddeld tot hoge betrouwbaarheid kan worden gezegd dat funderingsschade versterkt wordt door klimaatverandering.</p>

### Expertbeoordeling

Als aanvulling op, en ter validatie van de vergaarde data ten behoeve van deze factsheet zijn twee experts geïnterviewd. Hieronder kort het werkveld en de organisatie van de gesproken experts:

- Civiel Planoloog, KCAF
- Geotechnicus, TNO

Beide experts hebben een aanzienlijke kennis- en ervaringsbasis waaruit zij konden putten in de interviews. Ondanks dat de ervaringen varieerden tussen onderzoek (i.e. onderzoeken naar funderingsproblematiek) en praktijk (i.e. specifieke casussen en funderingsloket) was er wel consensus tussen beide experts (en de resultaten van dit onderzoek).

## Referentielijst

Atlas Leefomgeving (2023). Gebieden met kwetsbare fundering door droogte. (<https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten>).

Boef, J. & van den Bor, J. (2018). Op deze kaart zie je hoeveel de bodem in jouw buurt gaat dalen. (<https://eenvandaag.avrotros.nl/item/kaart-bodemdaling-nederland/>).

Bouwformatie (2022). Hoger grondwaterpeil eerste stap naar beperken funderingsschade. (<https://www.bouwformatie.nl/bouwnieuws/hoger-grondwaterpeil-eerste-stap-naar-beperken-funderingsschade>).

CLO (2021). Meteorologische gegevens, 1990-2020. (<https://www.clo.nl/indicatoren/nl000423-meteorologische-gegevens-in--nederland>).

De Jong, G. & Hoenders, J. (2021). Dreigende funderingsschade aan miljoen woningen is te voorkomen, organisaties komen met Deltaplan. (<https://eenvandaag.avrotros.nl/item/dreigende-funderingsschade-aan-miljoen-woningen-is-te-voorkomen-organisaties-komen-met-deltaplan>).

Gemeente Rotterdam (2023). Funderingskaart. (<https://www.duikinjefundering.nl/funderingskaart>).

Gemeente Zaanstad (2023). Funderingskaart. (<https://funderingen.zaanstad.nl/funderingskaart>).

Harbers, M. (2022). Water en Bodem sturend.

Hendriks, D., Passier, H., Marsman, A., Levelt, O., Lamers, N., Valstar, J., Hoogvliet, M., de Louw, P., Rozemeijer, J., van de Ven, F., van Linge, J.M. & Hu, X. (2023). Integrale Grondwaterstudie Nederland.

Hommès, S., Phlippen, S., Van Reeken-Van Wee, J., Schreuder, C. & Ypma, F. (2023). Gemelde funderingsschade leidt tot forse prijskorting bij woningverkoop.

KCAF (2021). Bouwen aan een stevig fundament. Koersdocument 2021-2025.

- KCAF (2022). Aandachtsgebieden funderingsproblemen op de kaart. (<https://www.kcaf.nl/funderingsviewer/>).
- KCAF (2022). Funderingsschade door droogte. (<https://www.kcaf.nl/een-zeer-grote-kostenpost-door-de-droogte-is-funderingsschade-een-sterk-onderschat-probleem/>)
- KCAF (2023). Landelijk loket funderingsproblematiek. (<https://www.kcaf.nl/landelijk-loket-funderingsproblematiek/>).
- Kennisportaal Klimaatadaptatie (2023). Wat is de invloed van klimaatverandering op de gebruikskwaliteit? (<https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/stedelijke-waterkwaliteit/invloed-klimaatverandering-ecologische-kwaliteit/>).
- Klimaat-effectatlas (2023). Risicokaarten funderingen. (<https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/risicokaarten-funderingen>).
- KNMI (2020). Vaker droogte in het binnenland. (<https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/vaker-droogte-in-het-binnenland>).
- KNMI (2021). Recente droogtes in historisch perspectief. (<https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/recente-droogtes-in-historisch-perspectief>).
- KNMI (2023). Droogte. (<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte>).
- KNMI (2023). Klimaatdashboard. (<https://www.knmi.nl/klimaatdashboard>).
- KNMI (2023). Neerslagtekort / Droogte. ([https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort\\_droogte](https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort_droogte)).
- Kok, S., & Angelova, L. (2020). Impact droogte op funderingen. In Deltares. Deltares. Retrieved December 7, 2023, from <https://www.deltares.nl/expertise/onze-expertises/toekomstbestendige-infrastructuur/laag-grondwaterpeil-bedreigt-funderingen>
- NAS (2021). Klimaatrends effecten in beeld – Waterhuishouding. “Nationale Aanpak Funderingsproblematiek.” RVO.NL, Rijksdienst voor ondernemend Nederland, 2 Apr. 2019, [www.rvo.nl/onderwerpen/funderingsproblematiek/nationale-aanpak](http://www.rvo.nl/onderwerpen/funderingsproblematiek/nationale-aanpak).
- NKWK (2020). Klimaatschadeschatter. (<https://www.klimaatschadeschatter.nl/>).
- NKWK (2020). Klimaatschadeschatter – Rapportage 2020.
- Oude Essink, G. & Van Baaren, E. (2009). Verzilting van het Nederlandse grondwatersysteem.
- Phlippen, S. & Van Reeken-Van Wee, J. (2023). Huizen met gemelde funderingsproblemen leveren minder op. (<https://www.abnamro.com/research/nl/onze-research/huizen-met-gemelde-funderingsproblemen-leveren-minder-op>).
- RVO (2019). Nationale Aanpak Funderingsproblematiek. (<https://www.rvo.nl/onderwerpen/funderingsproblematiek/nationale-aanpak>).

VEH, VvV, NVB, Aedes & KCAF (2021). Deltaplan Aanpak Funderingsschade.

Verstegen, G.-J. (2022). Klimaatverandering funest voor fundering: miljoen huizen dreigen te verzakken.

(<https://www.rtlnieuws.nl/economie/artikel/5345636/klimaatverandering-fundering-verzakken-droogte-zomer-klei-veen>).

Voermans, T. (2023). Huizenkoper heeft geen flauw benul van funderingsproblemen: 'Zorgwekkend'. (<https://www.ad.nl/wonen/huizenkoper-heeft-geen-flauw-benul-van-funderingsproblemen-zorgwekkend-br~a9e380a6/>).

Vreeken, B. (2018). Nederlandse droogteperiodes vanaf 1906 in beeld.

## 4.2 Schade op de gebouwde omgeving door acute wateroverlast



Planbureau voor de Leefomgeving

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving, 2023

### Factsheet klimaatrisico

Schade op de gebouwde omgeving door acute wateroverlast.

### Inleiding

Net zoals Limburg in 2021 heeft ervaren, zal Nederland steeds frequenter te maken krijgen met (grootschalige) schade aan gebouwen als gevolg van acute wateroverlast. Vanwege de groeiende klimaatdreiging, die wordt gekenmerkt door zowel drogere als nattere klimaatomstandigheden, zal waterschade vaker optreden. Dit komt door diverse primaire en secundaire effecten, waaronder - maar niet beperkt tot - hevige regenval, stijgende waterstanden, lagere grondwaterstanden, en toename van droge lenten en zomers. In deze factsheet worden primair alleen scenario's van acute wateroverlast meegenomen die te maken hebben met water dat van boven komt. Horizontale stroming (i.e. rivieroverstromingen) worden hierbij als secundair effect meegenomen. Verder vallen overstromingen door een stijgende zeepeil en het doorbreken van dijken aan zee buiten scope. Terwijl de focus van dit klimaatrisico voornamelijk gericht is op de impact van wateroverlast op gebouwen/gebouwde omgeving, zal het ook invloed hebben op andere sectoren zoals buitenruimte, leefbaarheid, infrastructuur en mobiliteit. Het verwachte uiteindelijke risico zal zich voornamelijk manifesteren in economische/financiële verliezen, en zal zowel de menselijke als de culturele aspecten raken. Dit omvat aanzienlijke reparatiekosten, waardevermindering van woningen, psychologische schade en een verergering van de woningnood.

### Klimaatrisicoanalyse

#### Klimaatdreiging

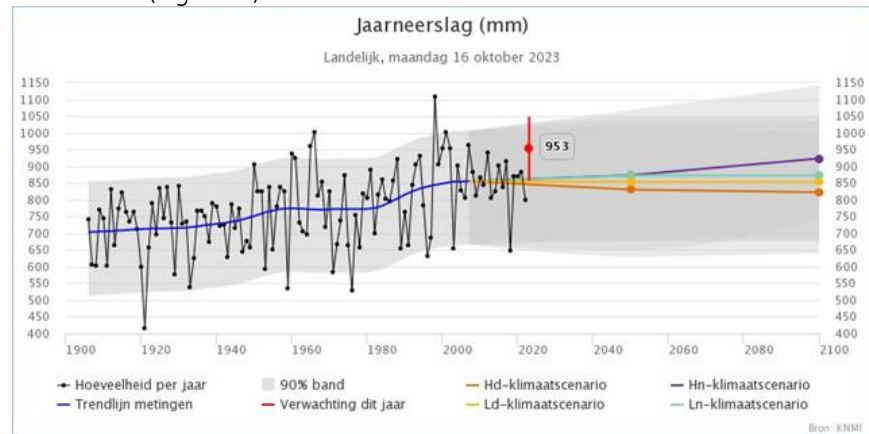
De voornaamste klimaatdreiging die hierbij een rol speelt is het wordt natter. Desalniettemin, acute wateroverlast kan ook ontstaan doordat droogte vaker voor zal komen. Dit vooral wanneer de bodem is uitgedroogd en het water ook minder goed kan infiltreren in de grond. Dit vindt voornamelijk in zomers plaats. Wanneer hoosbuien gebeuren kan dit leiden tot wateroverlast zowel als overstromingen.

Voor trends omtrent droogte en historische analyse verwijzen we naar de Factsheet "Funderingsschade en klimaatverandering"

Bij het onderzoeken van historische gegevens over de klimaatdreiging "het wordt natter", valt op dat Nederland sinds 1910 een stijging van 26% in jaarlijkse neerslag heeft ervaren (klimaatadaptatienederland.nl, 2023). Het Compendium voor de Leefomgeving (CLO) van de Rijksoverheid geeft een iets hoger percentage aan, namelijk 29%, over dezelfde periode (CLO, 2023). Het



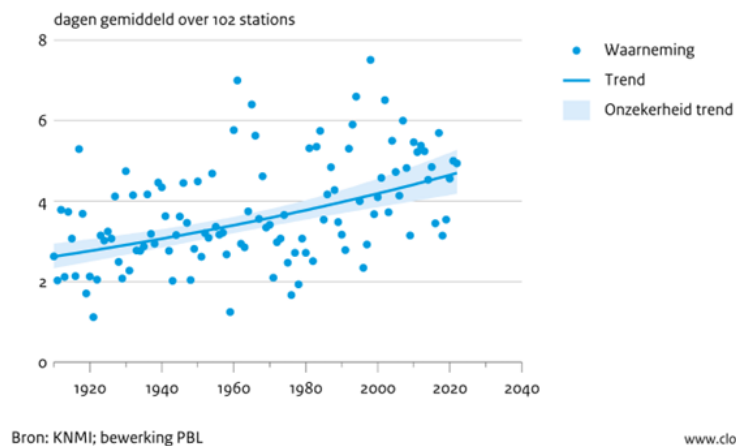
KNMI heeft deze stijgende trend van neerslag gevisualiseerd in hun klimaatdashboard (Figuur 1).



Figuur 1 – Klimaatdashboard Jaarneerslag (KNMI, 2023).

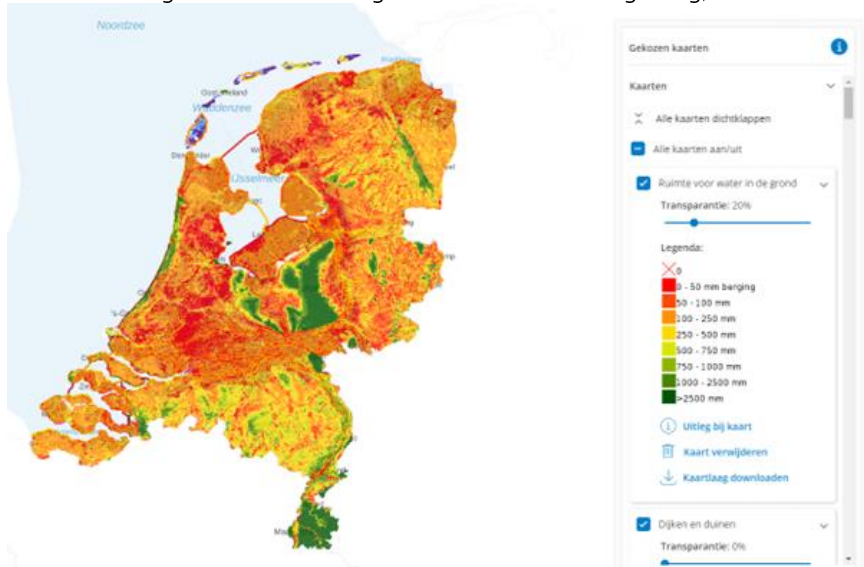
Daarnaast wordt ook een toenemende trend van extreme neerslag waargenomen, wat de kans op de klimaatdreiging verder vergroot. Het KNMI definieert extreme neerslag “...op grond van de hoeveelheid (neerslag boven een bepaalde drempelwaarde) als in termen van herhalingstijd (de neerslaghoeveelheid die eens per zoveel jaar overschreden wordt). Omdat neerslag vele karakteristieken heeft - grootte, intensiteit en duur - is er geen eenduidige definitie van een extreem. Plaatselijke neerslag van meer dan 25 millimeter in een uur noemen we een hoosbui, terwijl meer dan 50 millimeter in één dag wordt aangeduid met 'een dag met zware neerslag'” (KNMI, 2023). Het CLO heeft vastgesteld dat het aantal dagen met 20 mm neerslag per dag is toegenomen met 80% van 1910 tot 2022, van 2,6 dagen naar 4,7 dagen (CLO, 2023) (Figuur 2). Met betrekking tot zware neerslag (50 mm) wordt ook een stijgende trend waargenomen. Het aantal dagen met 50 mm neerslag per jaar is met 85% gestegen, van een gemiddelde van 5,3 dagen per jaar in 1951 naar 9,8 dagen in 2022 (CLO, 2023) (Figuur 3). Het CLO benadrukt hierbij dat het per jaar enorm kan verschillen en dat hun data is gebaseerd op een gemiddelde.

**Aantal dagen met meer dan 20 mm neerslag**

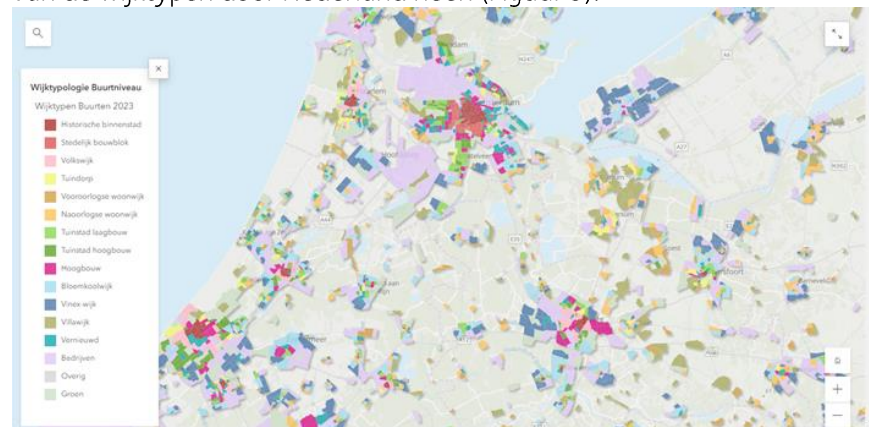


Figuur 2 – Aantal dagen met meer dan 20mm neerslag (CLO, 2023).

	<p><b>Aantal dagen met zware neerslag</b></p> <p>dagen met meer dan 50 mm neerslag</p> <p>● Waarneming — Trend ■ Onzekerheid trend</p> <p>Bron: KNMI; bewerking PBL <span style="float: right;">PBL/aug23 www.clo.nl/nl059003</span></p> <p><i>Figuur 3 – Aantal dagen met meer dan 50mm neerslag (CLO, 2023).</i></p> <p>Er zijn verschillende klimaatgebeurtenissen geconstateerd die aanzienlijke schade hebben veroorzaakt. Het Verbond van Verzekeraars zowel als I&amp;W hebben in verschillende rapportages meerdere incidenten gedocumenteerd, waaronder die in 1993 en 1995. In 1993 veroorzaakte aanhoudende zware regenval overstromingen van de Maas, met een schade van 120 miljoen euro tot gevolg. In 1995 leidden vergelijkbare omstandigheden tot groot-schalige evacuatie en een schade van ronde de 150 miljoen gulden (68 miljoen euro). In 1998 en 2016 waren er opnieuw gevallen van wateroverlast door zware neerslag. Met in 1998 een schade van rond de 574 miljoen gulden (260 miljoen euro) aan schade vergoeding dat werd uitgegeven (VvV, 2018; I&amp;W, 2018).</p> <p>Natuurlijk herinneren we ons ook de recente watersnoodramp in Limburg in 2021, die een totale schade van 1,8 miljard euro veroorzaakte (NOS Nieuws, 2021).</p> <p>Deze lijst van incidenten is niet uitputtend; er hebben zich zowel kleinschalige als grootschalige lokale incidenten voorgedaan in de afgelopen jaren. Zo waren er overstromingen van de Maas in 2003 en 2011, evenals een dijk-doorbraak als gevolg van een hittegolf in de zomer (Bunt, 2016).</p>
<p><b>Secundaire effecten</b></p>	<p>In de inleiding is gedefinieerd dat acute wateroverlast twee aspecten bevat, namelijk extreme regenval en een hoge rivierafvoer. Hierbij delen we hoge rivierafvoer onder bij secundaire effecten wegens de volgende twee redenen. Ten eerste is extreme regenval een oorzaak van een hoge rivierafvoer, en ten tweede zijn er meerdere effecten oorzaken voor een stijgend rivierpijl, waardoor het niet in zijn geheel toe te schrijven is aan extreme regenval.</p> <p>Overstroming als gevolg van extreme neerslag vinden ongeveer eens per 10-100 jaar plaats, en vindt vanzelfsprekend plaats in de nabijheid van rivieren.</p>

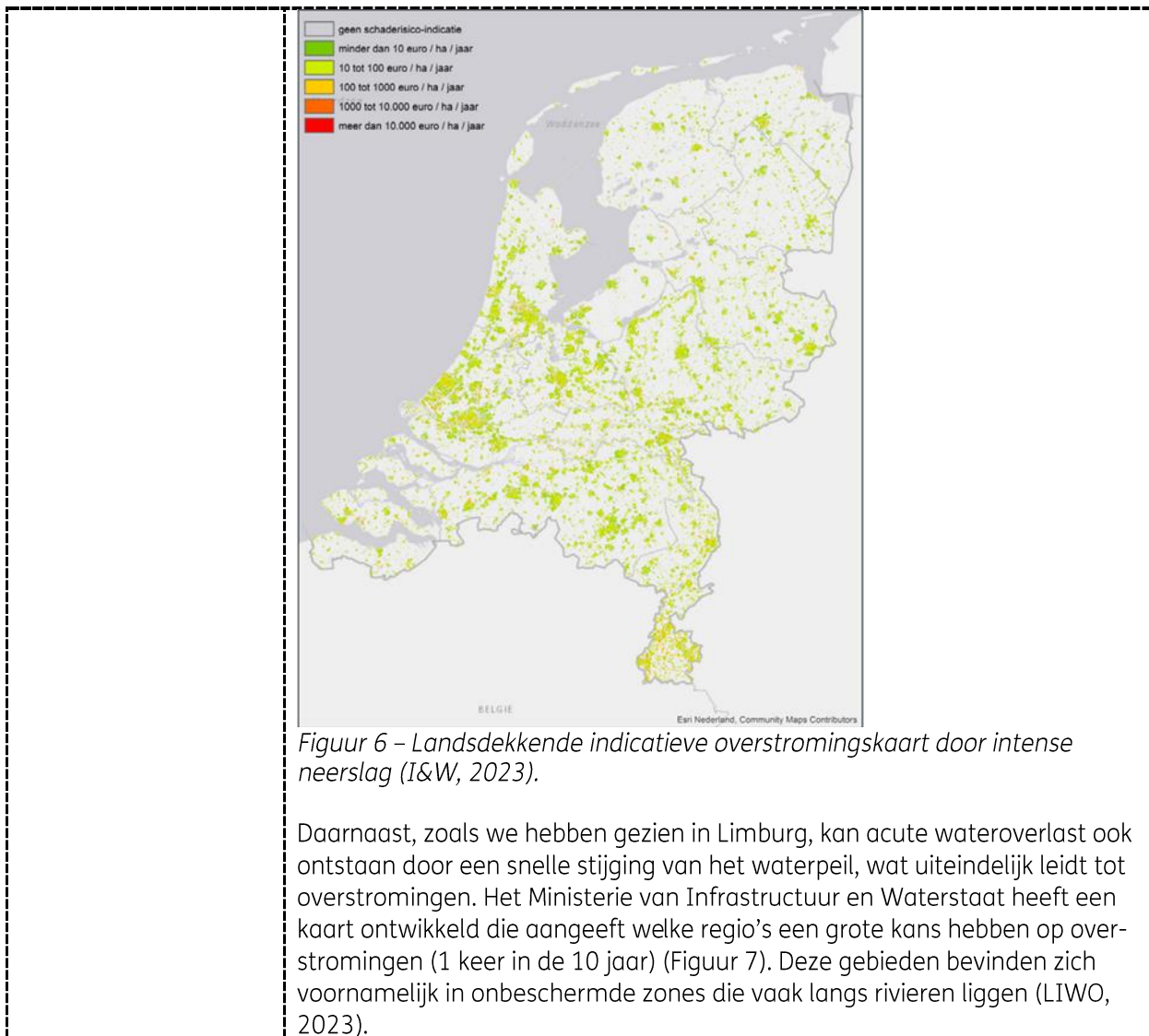
<p><b>Blootstelling</b></p>	<p>Voor de specifieke blootstelling van de klimaatdreiging aan de gebouwde omgeving, met acute wateroverlast, is dit een kwestie die alle provincies in Nederland treft. De mate van kwetsbaarheid varieert per gebied, regio en gemeente (zie sectie ‘Gevoeligheid’) en is afhankelijk van de vorm die de wateroverlast aanneemt. Desalniettemin zullen alle gemeenten met problemen op dit gebied te maken krijgen.</p> <p>Wel zijn er enkele variabelen die de blootstelling aan acute waterlast doen laten variëren.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoogteligging: Gebouwen in lager gelegen gebieden zijn doorgaans meer blootgesteld aan acute wateroverlast.</li> <li>- Verstedelijking: Gebouwen binnen stedelijke gebieden zijn meer blootgesteld aan acute wateroverlast.</li> <li>- Ondergrond: Gebouwen op zandgronden zijn meer blootgesteld aan acute wateroverlast, vanwege de slechte opneembaarheid van water door zandgronden.</li> </ul>
<p><b>Gevoeligheid</b></p>	<p>Zoals eerder besproken in de voorgaande sectie over “blootstelling”, zal acute wateroverlast een probleem zijn dat alle provincies treft. Dat gezegd hebbende, zijn er verschillende vormen van acute wateroverlast die kunnen ontstaan, afhankelijk van hoe de klimaatdreiging zich ontwikkelt. Lokale hoosbuien kunnen bijvoorbeeld acute wateroverlast veroorzaken in steden of kunnen ervoor zorgen dat rivieren hoger komen te staan, waardoor het risico op overstroming toeneemt.</p> <p>De Atlas Leefomgeving heeft verschillende kaarten verzameld waarop de kwetsbaarheid met betrekking tot acute wateroverlast te zien is. In de onderstaande kaart (Figuur 4) is te zien hoeveel waterberging er mogelijk is over heel Nederland. Voornamelijk het stedelijke gebied in het westen van het land blijkt vatbaar te zijn voor acute wateroverlast in het geval van meerdere dagen met zware regenval (Atlas Leefomgeving, 2023).</p>  <p><i>Figuur 4 – Ruimte voor water in de grond (Atlas Leefomgeving, 2023).</i></p> <p>De klimaat effect atlas gaat hier nog dieper op in met hun wijktypekaart. Hierin omschrijft de kaart 14 verschillende wijktypen en met deze indeling biedt de website een overzicht van de specifieke kenmerken van elk wijktype</p>

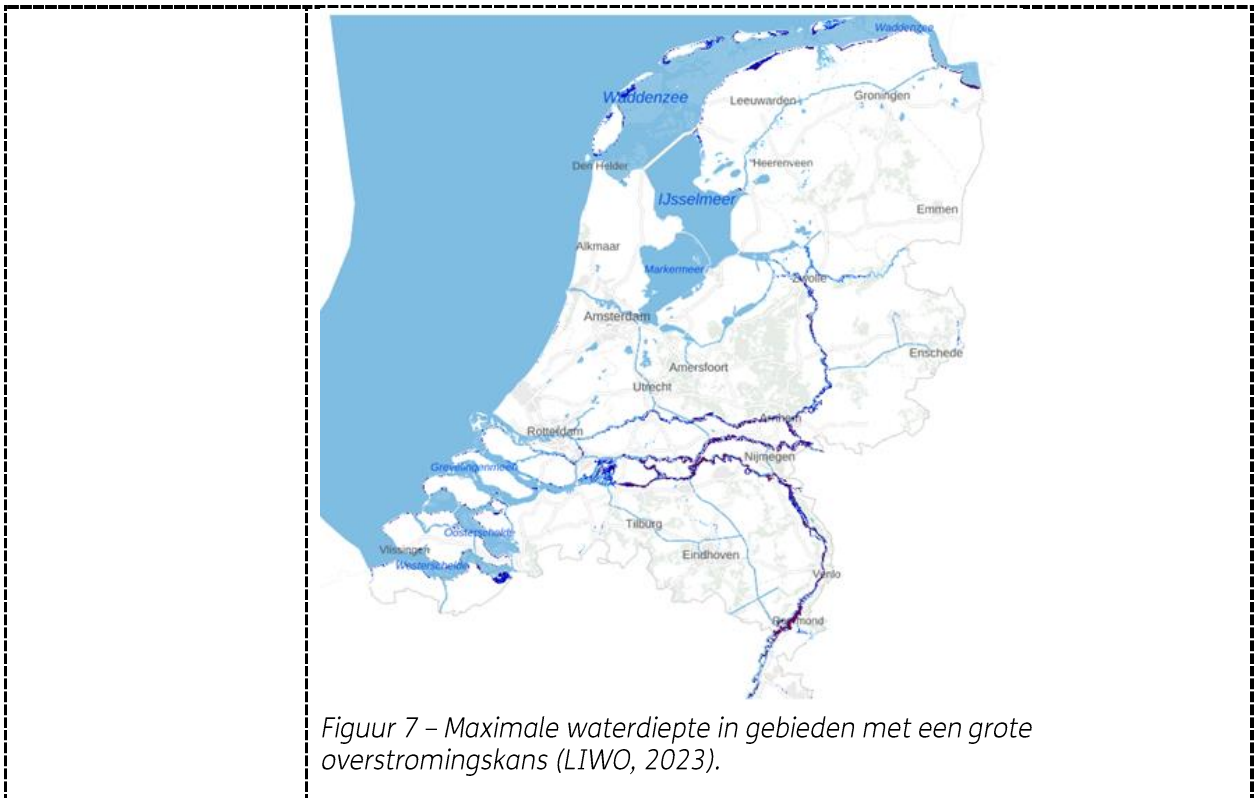
en geeft een algemene inschatting van hoe kwetsbaar wijken zijn voor hitte en wateroverlast. Zo is te zien dat Tuinstad hoogbouwen beter bestandig zijn tegen hevige neerslag dan naoorlogse woonwijken en bloemkoolwijken. De verschillen tussen wijken heeft onder meer te maken met aanwezigheid van groen en blauw (groen en blauw zorgen voor meer retentiemogelijkheden), en aantal bouwlagen (vanaf een bepaalde verdieping zal er minder tot geen sprake zijn van waterschade door acute wateroverlast – terwijl het gebouw zelf wel onderhevig blijft aan waterschade). Niettemin, er wordt wel vaak geconstateerd dat het erg context afhankelijk is en dat iedere woonwijk verschilt (Klimaat-effectatlas, 2023). Het figuur hieronder geeft een overzicht van de wijktypen door Nederland heen (Figuur 5).



Figuur 5 – Wijktypologie Buurtniveau (Klimaat-effectatlas, 2023).

Daarnaast is door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, met ondersteuning van Deltares, een inschatting gemaakt van het verwachte jaarlijkse schaderisico m.b.t. overstrooming als gevolg van intense neerslag. Ze constateerden dat "de grootste bijdragen aan het schaderisico worden veroorzaakt door overstromingen van bedrijfs- en openbare gebouwen. In tegenstelling tot andere typen overstromingen is het risico van overstrooming door intense neerslag gelijkmatig verdeeld over heel Nederland, namelijk over alle bebouwde gebieden" (I&W, p.25, 2018). Op basis van dit onderzoek is een kaart ontwikkeld die een overzicht geeft van de verwachte schade (Figuur 6).





*Figuur 7 – Maximale waterdiepte in gebieden met een grote overstromingskans (LIWO, 2023).*

**Adaptatiecapaciteit**

Voor de huidige klimaatrisico's zijn diverse initiatieven genomen om de schade als gevolg van deze risico's te minimaliseren. Nederland heeft altijd al gestreden tegen het water. Risico's als gevolg van wateroverlast zijn dus niet nieuw, maar kunnen wel vaker voorkomen en intenser worden. Er zijn verschillende projecten met een specifieke focus op klimaatdreigingen die momenteel in uitvoering zijn.

**Nationaal**

Op nationaal niveau is het bekendste initiatief het Deltaprogramma. Jaarlijks analyseert dit programma toekomstige behoeften om Nederland weerbaarder te maken tegen overstromingen. Het doel van het Deltaprogramma is om Nederland veerkrachtig te maken tegen de gevolgen van klimaatverandering, met specifieke aandacht voor waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en ruimtelijke adaptatie. Het programma wordt regelmatig herzien en geüpdatet om aan te sluiten bij de nieuwste wetenschappelijke inzichten en veranderende omstandigheden (Deltaprogramma, 2023). Daarnaast heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat meerdere programma's afgerond de afgelopen paar jaar zoals het programma "Ruimte voor de Rivier" en programma "Maaswerken" ter aanpak van hoogwater in rivieren (Rijks-waterstaat, 2023).

Daarnaast heeft de Rijksoverheid een overzicht van verschillende initiatieven en genomen maatregelen, naast het Deltaprogramma. Na de overstromingen in Limburg werd bijvoorbeeld de "Beleidsstafel Wateroverlast en Hoogwater" opgericht door de overheid. Deze beleidsstafel geeft advies over hoe Nederland beter beschermd kan worden tegen de gevolgen van extreme

	<p>neerslag. Bovendien reserveert de overheid ruimte in Nederland om overtollig water vast te houden (Rijksoverheid, 2023).</p> <p>Sinds 2007 zijn er ook verschillende wettelijke initiatieven genomen. De Europese Richtlijn Overstromingsrisico's (ROR) verplicht lidstaten om elke zes jaar een overstromingsrisicobeoordeling uit te voeren, evenals het opstellen van overstromingsgevaar- en risicokaarten, evenals het maken van overstromingsrisicobeheerplannen. Deze vereisten zijn opgenomen in de Waterwet (nu de Omgevingswet sinds 1 januari 2021). Deze wet is in de loop der jaren bijgewerkt met meerdere wettelijke veiligheidsnormen waar de overheid, provincies en gemeenten aan moeten voldoen (IPLO, 2023).</p> <p><b>Provinciaal</b></p> <p>Ook op provinciaal niveau zijn er voorbereidingen getroffen. De meanderende Maas werkt sinds 2017 aan aanpassingen om de steden rondom de Maas robuuster en weerbaarder te maken tegen toekomstige overstromingen (Meanderende Maas, 2023).</p> <p><b>Gemeentelijk</b></p> <p>Gemeenten zijn steeds actiever betrokken. Een voorbeeld hiervan is "Amsterdam Rainproof", een initiatief dat tot doel heeft de effecten van hoosbuien te verminderen door het aanleggen van waterdoorlatende bestrating, het aanmoedigen van groene daken en geveltuinjes, evenals andere passende oplossingen (Amsterdam Rainproof, 2023). Tegelwippen, dat ook jaarlijks als wedstrijd georganiseerd wordt, is een andere manier om de effecten van hoosbuien te verminderen door de hoeveelheid bestrating te verminderen. Kortom, het actief stimuleren of aanleggen van stedelijk groen en blauw heeft een wezenlijke bijdrage aan de adaptatiecapaciteit van een stad/gemeente. Toch moet er opgepast worden met de aanleg van groen; herbebossing lijkt namelijk tot meer neerslag te leiden, al verplaatst de neerslag dan richting het bosgebied (Kennispoortaal Klimaatadaptatie, 2023). Het is lastig om een nagenoeg volledig beeld te krijgen van de adaptatiecapaciteit per gemeente. Dit zal mogelijk later nog eens bekeken kunnen worden.</p>
<p><b>Impact</b></p>	<p>De impact van acute waterschade op individuele gebouwen is erg afhankelijk van de locatie en is moeilijk in te schatten. Het is echter cruciaal om te focussen op de impact die kan ontstaan als gevolg van klimaatverandering.</p> <p>Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft, met ondersteuning van Deltares, het rapport "Overstromingsrisico's in Nederland" opgesteld waarin gekeken wordt naar de mogelijke impact van klimaatverandering op de gebouwde omgeving. Dit rapport omvat vier verschillende klimaatscenario's die zowel de mate van klimaatverandering als sociaaleconomische ontwikkelingen onderzoeken.</p> <p>Volgens het rapport zal klimaatverandering naar verwachting leiden tot de Rijn meer het karakter krijgt van een regenrivier en meer op de Maas gaan lijken. De kans op extreem hoge waterafvoeren zal naar verwachting sterk toenemen; in 2050 zal de kans op extreme hoge waterafvoer naar schatting 3 keer vaker voorkomen dan nu.</p>


	<p>Het rapport geeft ook aan dat de toenemende hoogwaterstanden als gevolg van klimaatverandering het risico op overstromingen vergroten, voornamelijk wat betreft de kans op overstromingen. De omvang van een overstroming zal echter in veel mindere mate worden beïnvloed.</p> <p>In beschermde gebieden zullen hogere buitenwaterstanden leiden tot een iets grotere overstromingsdiepte. Onderzoek, met name binnen het kader van VNK, heeft echter aangetoond dat het effect op de omvang van de overstroming zeer beperkt zal zijn.</p> <p>Voor onbeschermde gebieden langs zowel het hoofd- als het regionale watersysteem zal de invloed van klimaatverandering iets groter zijn, maar nog steeds relatief beperkt. De omvang van overstromingen zal minimaal toenemen, zo niet gelijk blijven. Daarom heeft klimaatverandering geen significante invloed op de locatie van gebieden met een potentieel hoog overstromingsrisico (I&amp;W, 2018).</p> <p>Desalniettemin is vastgesteld dat hoewel de omvang mogelijk gelijk blijft, de waarschijnlijkheid van zware regenval, vergelijkbaar met wat er in Limburg heeft plaatsgevonden, verder zal toenemen als gevolg van klimaatverandering. Dit betekent dat de frequentie van overstromingen vaker zal voorkomen (WorldWeatherAttribution, 2021).</p> <p><i>Overige impact</i></p> <p>Als gevolg van het wordt natter kunnen er verschillende additionele effecten optreden in de gebouwde omgeving die de impact van de klimaatdreiging (significant) vergroten:</p> <p>Zo zal de frequente en intensievere wateroverlast leiden tot toenemende schade aan gebouwen, bijv. ondergelopen of vochtige kelders en schimmelvorming. De toename van de kans op ondergelopen of vochtige kelders en schimmelvorming kan worden toegeschreven aan langdurige natte periodes. De hogere luchtvochtigheid als gevolg van dit nattere weer kan leiden tot meer schimmel en allergieën veroorzaakt door huisstofmijt.</p> <p>Verder zal de frequente en intensievere wateroverlast leiden tot toenemende schade aan gebouwen. Daarnaast verslechtert de staat van de openbare ruimte versneld door deze ontwikkelingen. Ook kan de kwaliteit van oppervlaktewater veranderen als gevolg van afspoeling en het overstorten van rioolwater, wat gezondheidsrisico's met zich mee kan brengen.</p> <p>Bovendien kunnen overstromingen leiden tot gewonden en zelfs dodelijke slachtoffers. Afhankelijk van de omvang van de overstromingen bestaat het risico dat deze situaties maatschappelijke ontwrichting veroorzaken.</p>
<p>Cascade-effecten</p>	<p>Alle sectoren kunnen hinder ondervinden van acute wateroverlast. De omvang van de schade en de locatie waar dit plaatsvindt, bepalen de impact op verschillende sectoren, waaronder infrastructuur en industrie. De exacte gevolgen van deze effecten op het geheel vallen buiten de scope van deze factsheet en worden niet behandeld.</p>



	<p>De eindimpact voor mens en cultuur kan worden vastgesteld als 'laag', met slechts enkele gewonden op regionale schaal. Dit geldt voor acute wateroverlast, en niet voor overlast veroorzaakt door (rivier)overstromingen. Hier zal de eindimpact hoger liggen. Voor nadere toelichting zie 'Eindrisico: economie'.</p>
Eindimpact: natuur en milieu	<p>De eindimpact voor natuur en milieu kan worden vastgesteld als ; laag'. Dit geldt voor acute wateroverlast, en niet voor overlast veroorzaakt door (rivier)overstromingen. Hier zal de eindimpact hoger liggen. Voor nadere toelichting zie 'Eindrisico: economie'.</p>
Eindrisico: economie	<p>De uiteindelijke impact zal variëren wanneer men kijkt naar óf waterschade door water van boven, of naar waterschade door horizontale overstroming (i.e. rivieroverstromingen). Voor het eerste zal het eindrisico voor de economie vastgesteld worden als 'laag'.</p> <p>Echter, wat betreft rivieroverstroming kan het eindrisico 'middel' tot 'hoog' zijn voor mens en cultuur, natuur en milieu, evenals de economie. Zoals eerder vermeld in deze factsheet, is de eindimpact sterk afhankelijk van de frequentie van de wateroverlast, de locatie van het gebouw en het type acute wateroverlast. Bijvoorbeeld, een scenario vergelijkbaar met dat in Limburg in 2021 wordt door het ANV ingeschat als eens in de honderd jaar voorkomend. Hierbij wordt een geschat dodental van 1500 mensen verwacht, de economische schade ligt rond de 11 miljard Euro, en de schade aan natuur en milieu is laag tot middelmatige (ANV, 2022).</p> <p>Niettemin, zoals eerder benoemd, is de eindimpact altijd afhankelijk van verschillende factoren. Om die reden heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een overzicht opgesteld van de mogelijke schade die kan worden ondervonden, afhankelijk van waar de overstroming plaatsvindt, met de waarschijnlijkheid dat deze schade zich voordoet per 1/10, 1/100, 1/1000 jaar, enzovoort (Tabel 1 &amp; Figuur 8). Het is desalniettemin erg moeilijk om een inschatting te maken van de uiteindelijke impact van deze klimaatdreiging, evenals de waarschijnlijkheid ervan.</p> <p><i>Tabel 1 – Overzicht van enkele relevante effecten voor verschillende typen overstromingen (I&amp;W, 2018).</i></p>

Criteria	Hoofdwatersysteem Onbeschermd gebied (type A)			Hoofdwatersysteem Beschermd gebied (type B)		
	1/10	1/100	1/1000	1/10	1/100	1/1000
Overstromingskans (1/jaar)	1/10	1/100	1/1000	1/10	1/100	1/1000
Economische schade (in M€)	50 - 100	100 - 250	500 - 1000	n.v.t.	100 - 250	5000 - 10000
Dodelijke slachtoffers (aantal)	geen	geen	< 10	n.v.t.	< 10	100 - 250
Getroffen inwoners (aantal)	ca. 1000	1000 - 2500	5000 - 10000	n.v.t.	1000 - 2500	> 50000
Natuur en ecologie (* 1000ha)	50 - 75	50 - 75	50 - 75	n.v.t.	< 1	50 - 75
Rijksmonumenten (aantal)	250 - 500	250 - 500	500 - 1000	n.v.t.	100 - 250	1000 - 2500
Maatschappelijke oriëntatie	middel	middel	middel	n.v.t.	groot	groot
Criteria	Regionaal watersysteem Beschermd gebied (type C)			Regionaal watersysteem Onbeschermd gebied (type D)		
	1/10	1/100	1/1000	1/10	1/100	1/1000
Overstromingskans (1/jaar)	1/10	1/100	1/1000	1/10	1/100	1/1000
Economische schade (in M€)	10 - 40	40 - 400	400 - 750	ca. 5	ca. 10	ca. 50
Dodelijke slachtoffers (aantal)	geen	< 10	50 - 100	geen	geen	geen
Getroffen inwoners (aantal)	n/b	ca. 2500	2500 - 5000	ca. 250	250 - 500	1000 - 2500
Natuur en ecologie (* 1000ha)	n/b	25 - 50	25 - 50	< 10	< 10	< 10
Rijksmonumenten (aantal)	n.v.t.	1000 - 2500	1000 - 2500	25 - 50	50 - 100	100 - 200
Maatschappelijke oriëntatie	laag	middel	groot	middel	middel	middel

**Tabel 6.1** Overzicht van enkele relevante effecten voor verschillende typen overstromingen

	 <p><b>Figuur 6.1</b> Gebieden met een potentieel significant overstromingsrisico</p> <p><i>Figuur 8 – Gebieden met een potentieel significant overstromingsrisico (I&amp;W, 2018).</i></p>
<p><b>Waarschijnlijkheid</b></p>	<p>Waterschade door acute regenval heeft een waarschijnlijkheid van eens per jaar of vaker. Afhankelijk van de locatie van extreme regenval zal de impact variëren, maar redelijk laag blijven.</p>
<p><b>Wildcards &amp; kantelpunten</b></p>	<p>-</p>

Context	
Bestuurlijke situatie	-
Samenhang met andere transitie en beleid	-
Internationale aspecten	-
Maladaptatie en/of 'lock-ins'	-
Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid	-
Rechtvaardigheid	Waterschade kan overal in Nederland voorkomen. Wel is het overstromingsrisico logischerwijs hoger in gebieden rondom de rivieren. Er is in Nederland aandacht voor de adaptatiecapaciteit op verschillende bestuursniveaus (gemeenten / waterschappen / provincies / rijk). Dit risico en bijbehorende adaptatiemaatregelen lijken niet tot een onrechtvaardige uitkomst te leiden.

<b>Kwaliteitsborging</b>	
<b>Transparantie, aggregatie en afbakening</b>	<p>De analyse is uitgevoerd op basis van een literatuuronderzoek.</p> <p>De eindimpacts en waarschijnlijkheid zijn in samenspraak met PBL bepaald tijdens een werksessie op basis van de informatie zoals te vinden in deze factsheet.</p>
<b>Kennishiaten</b>	<p><b><i>Opsplitsing tussen schade door acute wateroverlast door water dat van boven komt, en water door 'horizontale' overstromingen.</i></b>                      In deze factsheet is voor lange tijd deze distinctie niet gemaakt. Enkel in latere revisies is gebleken dat dit onderscheid wél van belang is, waardoor de opsplitsing op hoofdlijnen toch is gemaakt. Wat dit specifiek voor elk onderdeel betekent is niet onderzocht maar verdient wel nader onderzoek.</p> <p><b><i>Effect op gebouwniveau</i></b>                      Dit onderzoek heeft niet gekeken wat de schade door acute wateroverlast betekent op gebouwniveau. Voor meerdere onderdelen van deze factsheet (o.a. adaptatiecapaciteit) zou het interessant kunnen zijn om dit nader uit te werken.</p> <p><b><i>Adaptatiecapaciteit op gemeenteniveau</i></b>                      Er is in dit onderzoek wel aandacht besteed aan adaptatiecapaciteit in algemene zin. Echter, hoe dit zijn uitwerking heeft per gemeente is niet bekeken. Dit zou immers een flinke tijdsinvestering zijn. Het kan wel interessant zijn om enkele gemeenten als casussen te nemen, om een eerste inzicht hierin te verkrijgen.</p>
<b>Onzekerheid en betrouwbaarheid</b>	<p><b><i>Onzekerheid</i></b>                      Niet behandeld.</p> <p><b><i>Betrouwbaarheid</i></b>                      Over de problematiek van waterschade is grote consensus. Rapporten en experts lijken het nagenoeg eens te zijn over de het probleem van schade op de gebouwde omgeving door acute wateroverlast. Tevens is het aanwezig bewijs gemiddeld tot robuust. Dit leidt er toe dat er met hoge betrouwbaarheid over de problematiek van schade op de gebouwde omgeving door acute wateroverlast kan worden gesproken en de impact van klimaatverandering hierop.</p>
<b>Expertbeoordeling</b>	-

## Referentielijst

- Amsterdam Rainproof (2023). Wat is Rainproof? <https://www.rainproof.nl/wat-is-rainproof>.
- ANV (2022). Themarapportage klimaat- en natuurrampen.
- Atlas Leefomgeving (2023). Kaarten. <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten>.
- Bunt, J.E. van de (2016). Het rampenfonds.
- CLO (2023). Jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland, 1910-2022. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0508-jaarlijkse-hoeveelheid-neerslag-in-nederland>.
- CLO (2023). Neerslagextremen in Nederland, 1910-2022. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0590-neerslag-extremen>.
- Deltaprogramma (2023). Deltaprogramma 2024. <https://dp2024.deltaprogramma.nl/>.
- IPLO (2023). EU Richtlijn Overstromingsrisico's. <https://iplo.nl/thema/water/beleid-regelgeving-water/europese-richtlijnen-relevant-water/europese-richtlijn-overstromingsrisico/eu-richtlijn-overstromingsrisico/>.
- I&W (2018). Overstromingsrisico's in Nederland.
- Kennisportaal Klimaatadaptatie (2023). Hoe neemt de kans op een overstroming toe? <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/overstroming/neemt-kans-overstroming-toe/>.
- Kennisportaal Klimaatadaptatie (2023). Kun je met een ander landgebruik het weer beïnvloeden? (<https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/nieuws/2023/interview-jesscia-ruijsch/>).
- Klimaat-effectatlas (2023). Wijktypekaart. <https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/wijktypologie>.
- KNMI (2023). Extreme neerslag. <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/extreme-neerslag>.
- KNMI (2023). Klimaatdashboard. <https://www.knmi.nl/klimaatdashboard>.
- LIWO (2023). Maximale overstromingsdiepte Nederland. <https://basisinformatie-overstromingen.nl/#/viewer/1>.
- Meanderende Maas (2023). Meanderende Maas: Veilig, mooi en economisch sterker. <https://www.meanderendemaas.nl/over-het-project/>.
- NOS Nieuws (2021). Overstromingen in Limburg en buurlanden op één na duurste natuurramp van 2021. <https://nos.nl/artikel/2411052-overstromingen-in-limburg-en-buurlanden-op-een-na-duurste-natuurramp-van-2021>.

Rijksoverheid (2023). Maatregelen tegen overstromingen.

<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/water/maatregelen-tegen-overstromingen>.

Rijkswaterstaat (2023). Ruimte voor de rivieren.

<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/maatregelen-om-overstromingen-te-voorkomen/ruimte-voor-de-rivieren>.

VvV (2018). Adviesrapport Overstromingen 2018.

WorldWeatherAttribution (2021). Heavy rainfall which led to severe flooding in Western Europe made more likely by climate change.

<https://www.worldweatherattribution.org/heavy-rainfall-which-led-to-severe-flooding-in-western-europe-made-more-likely-by-climate-change/>.

## 5 Infrastructuur en Mobiliteit

In dit hoofdstuk zijn de factsheets opgenomen voor de klimaatrisico's 'De gevolgen voor het spoorvervoer door extreme hitte', 'De gevolgen voor het hoofdwegennet door wateroverlast', en 'De gevolgen voor de binnenvaart door extreme droogte'.



# 5.1 Hitte & Spoor



Planbureau voor de Leefomgeving

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving, 2023

## Factsheet klimaatrisico

De gevolgen voor het spoorvervoer door extreme hitte.

### Inleiding

Extreme hitte kan een groot verstrend effect hebben op het vervoer over spoor. Dit geldt zowel voor personenvervoer als goederenvervoer.

Hierin wordt alle spoorinfrastructuur gevat die noodzakelijk is voor het veilig en efficiënt uitvoeren van (goederen of personen) transportbewegingen over rails:

- De spoorwegen zelf, waaronder de baan, talud, elektriciteitsvoorziening, technische installaties, bebording, signalering, waterafvoer en -berging en veiligheidsmaatregelen;
- Sensoren die noodzakelijk zijn voor het veilig en operationeel houden van de sporen (maar niet de infrastructuur voor het interpreteren en reageren op deze signalen);
- Kunstwerken (zoals tunnels of tunnelbakken, overgangen, bruggen en via- of aquaducten) die voorwaardelijk zijn voor de sporen.

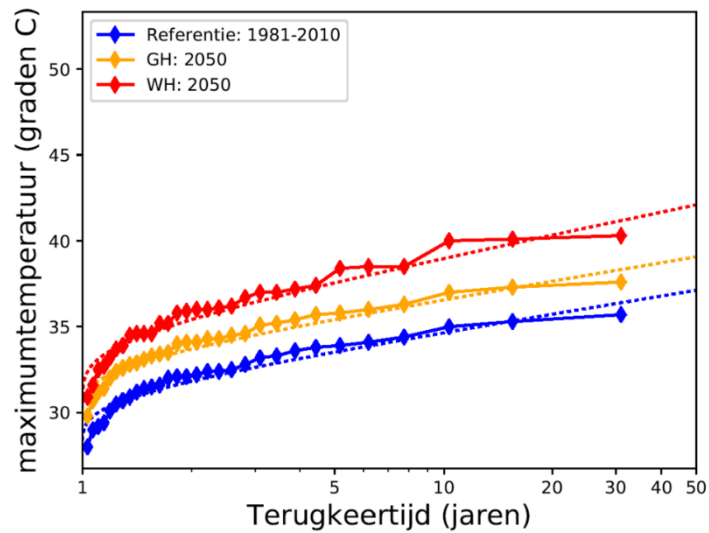


Figuur 5-1: spoornetwerk Nederland (NS, 2023)

## Klimaatrisicoanalyse

### Klimaatdreiging

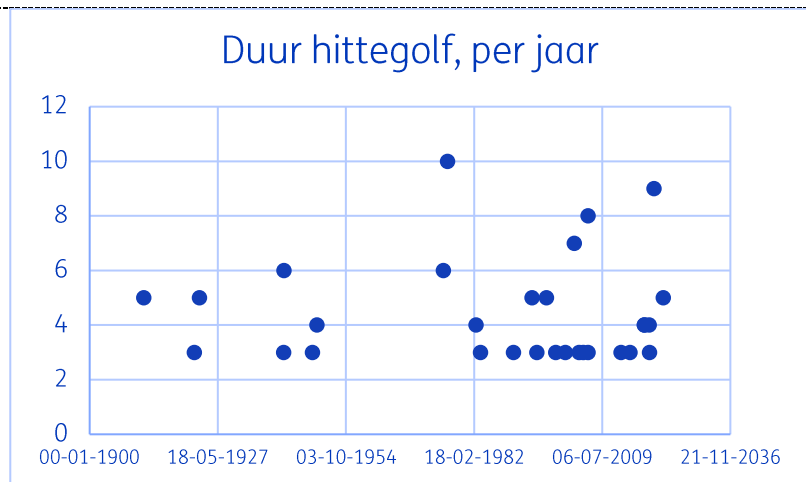
De klimaatdreiging die ten grondslag ligt aan deze risico's, is het optreden van extreme hitte. Ervaringen uit het verleden leren ons dat deze problemen al kunnen spelen vanaf temperaturen van 25°C, maar dan meestal gelokaliseerd blijven. Bij hogere temperaturen nemen het aantal en de ernst, en daarmee het verstorend effect van deze effecten snel toe (zie hiervoor ook Figuur 5-5).



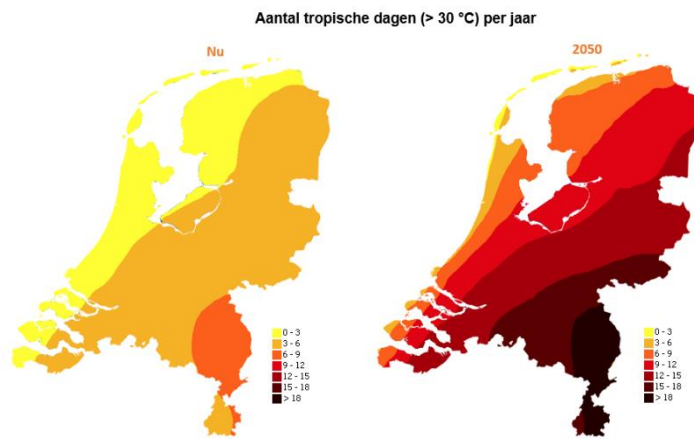
Figuur 5-2: Terugkeertijden van de jaarmaximum temperatuur in De Bilt in het huidige klimaat (1981-2010) en rond 2050 volgens de KNMI'14 GH en WH scenario's. (KNMI, 2018)

In Figuur 5-2 zien we dat temperaturen boven de 35°C in de periode 1981-2010 minder vaak voorkwamen dan 1 keer in de dertig jaar. We zien dat deze temperaturen in de toekomst veel normaler worden: bij het (gematigde) GH klimaatscenario komt zo'n temperatuur gemiddeld eens per 3 tot 4 jaar voor, en bij het (extreme) WH klimaatscenario eens per 1 tot 2 jaar.

Ook komen tegenwoordig langdurige hittegolven vaker voor dan vroeger. In Figuur 5-3 is te zien dat hittegolven van een week of langer vóór 1976 nooit zijn voorgekomen, maar in de afgelopen twintig jaar al drie keer zijn geregistreerd. Uiteraard leidt langduriger hitte tot langduriger verstoringen.



Figuur 5-3: duur van hittegolven (in dagen), per jaar (KNMI, 2023)



Figuur 5-4: aantal tropische dagen per jaar, nu en verwacht in 2050 (Prorail, 2022)

Tabel 2: geregistreerde hittegolven in Nederland (KNMI, 2023)

Van	Tot en met	Duur (dagen)	Aantal tropische dagen	Hoogste temperatuur °C	Datum hoogste temperatuur	Hittegolf getal <sup>1</sup>
8/8/1911	14/8/1911	7	5	33.0	10/8/1911	36.8
21/5/1922	25/5/1922	5	3	32.8	24/5/1922	27.1
5/7/1923	14/7/1923	10	5	33.1	11/7/1923	48.3
20/6/1941	26/6/1941	7	3	32.0	23/6/1941	24.4
6/7/1941	13/7/1941	8	6	32.2	12/7/1941	44.8
14/8/1947	21/8/1947	8	3	32.2	16/8/1947	29.1
26/7/1948	30/7/1948	5	4	31.3	28/7/1948	26.1
29/7/1975	15/8/1975	18	6	32.9	8/8/1975	76.1
23/6/1976	9/7/1976	17	10	34.9	3/7/1976	96.3

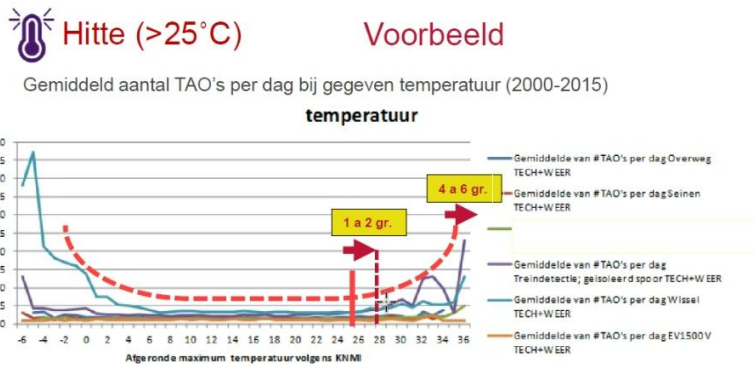
	29/7/1982	4/8/1982	7	4	31.9	2/8/1982	32.8
	4/7/1983	12/7/1983	9	3	33.0	11/7/1983	37.1
	26/7/1990	4/8/1990	10	3	35.3	4/8/1990	40.5
	19/7/1994	31/7/1994	13	5	34.1	24/7/1994	57.7
	29/7/1995	3/8/1995	6	3	32.3	31/7/1995	31.5
	5/8/1997	13/8/1997	9	5	32.1	13/8/1997	42.2
	28/7/1999	4/8/1999	8	3	31.4	1/8/1999	34.0
	22/8/2001	26/8/2001	5	3	31.1	25/8/2001	24.0
	31/7/2003	13/8/2003	14	7	35.0	7/8/2003	67.4
	2/8/2004	11/8/2004	10	3	32.5	9/8/2004	35.1
	18/6/2005	24/6/2005	7	3	32.8	20/6/2005	28.5
	30/6/2006	6/7/2006	7	3	32.0	4/7/2006	31.7
	15/7/2006	30/8/2006	16	8	35.7	19/7/2006	85.8
	21/7/2013	27/7/2013	7	3	32.6	22/7/2013	27.8
	30/6/2015	5/7/2015	6	3	33.1	1/7/2015	33.5
	15/7/2018	27/7/2018	13	4	35.7	26/7/2018	52.7
	29/7/2018	7/8/2018	10	4	33.9	7/8/2018	40.9
	22/7/2019	27/7/2019	6	4	37.5	25/7/2019	48.2
	23/8/2019	28/8/2019	6	3	32.8	27/8/2019	28.3
	5/8/2020	17/8/2020	13	9	34.6	8/8/2020	79.6
	9/8/2022	16/8/2022	8	5	32.3	12/8/2022	36.4
<b>Secundaire effecten</b>	Secundaire effecten van het toenemen van periodes van extreme hitte voor vervoer over het spoor worden voornamelijk veroorzaakt door de grotere kans op droogte (door snellere verdamping). Voor de effecten die dit kan hebben op het spoorvervoer, zie 3.2.3.						
<b>Blootstelling</b>	De gehele railinfrastructuur en materieel, alsmede een groot deel van het personeel en de passagiers, worden blootgesteld aan extreme hitte als deze optreedt.						

<sup>1</sup> Het hittegolfgetal wordt berekend door van de reeks van dagen met een maximumtemperatuur boven de 25 graden alle waarden boven de 25 graden bij elkaar op te tellen. Een temperatuur van 25,6 °C draagt 0,6 bij aan het hittegolfgetal, een temperatuur van 31,2 °C draagt 6,2 bij.

<p><b>Gevoeligheid</b></p>	<p>Wanneer we kijken naar het overzicht van geregistreerde hittegolven in Nederland (zie Tabel 2), valt op dat van alle hittegolven in de afgelopen 100 jaar sinds 2022 (28) er 18 (64%) hebben plaatsgevonden na 1 januari 1990 (de laatste 33% van de beschouwde tijdsperiode).</p> <p>We zien bovendien dat bovenstaande hittegolven vaak een verstorend effect hebben op het treinverkeer, en dat deze maatschappelijk voldoende relevant bevonden worden om in de kranten gemeld te worden:</p> <p><b><u>Verstoringen in Nederland:</u></b>  1996: Hitte speelt trein parten (Algemeen Dagblad, 08-06-1996)<sup>2</sup></p> <p>2000: Chaos door hitte niet te voorkomen (Algemeen Dagblad, 21-06-2000)<sup>2</sup></p> <p>2005: <a href="#">Spoorwegen hebben last van hitte</a>  Door het uitzetten van de spoorrails lijkt het voor de systemen alsof er een trein op het spoor staat, legde een woordvoerder van ProRail maandagavond uit. "De besturing van seinen en wissels wordt hierdoor bemoeilijkt."</p> <p>2006: <a href="#">Extra maatregelen op het spoor wegens hitte, Spoor kampt met hitte</a>  Bruggen en wissels zetten uit, waardoor ze niet goed sluiten. Preventief is hierop de dienstregeling aangepast. Ook was er sprake van spoorspatting, waardoor de snelheid op diverse trajecten moest worden beperkt en liep er een trein hierdoor uit de rails.</p> <p>2015: <a href="#">Meer storingen door de hitte, Treinverkeer ondervindt hinder door storingen en warme weer</a>  Ook in dit jaar trad 'spoorspattingen' op. Ook is de kans hoger op sein- en wisselstoringen tijdens de extreme hitte. De dienstregeling is hierdoor preventief beperkt en aangepast.</p> <p>2018: <a href="#">Nederland zucht onder hitte: treinverkeer 'piept en kraakt' en waterkwaliteit achteruit (nos.nl)</a>, <a href="#">Vertragingen op het spoor door hitte</a>  De hitte zorgde zowel voor storingen in de technische systemen als spoorspatting, waardoor rails gerepareerd moest worden, hetgeen zorgde voor beperkingen van de dienstregeling.</p> <p>2019: <a href="#">NS kampt nog steeds met kapotte treinen door hitte   Binnenland   AD.nl</a>  Ook in dit jaar trad 'spoorspattingen' op.</p>
----------------------------	---

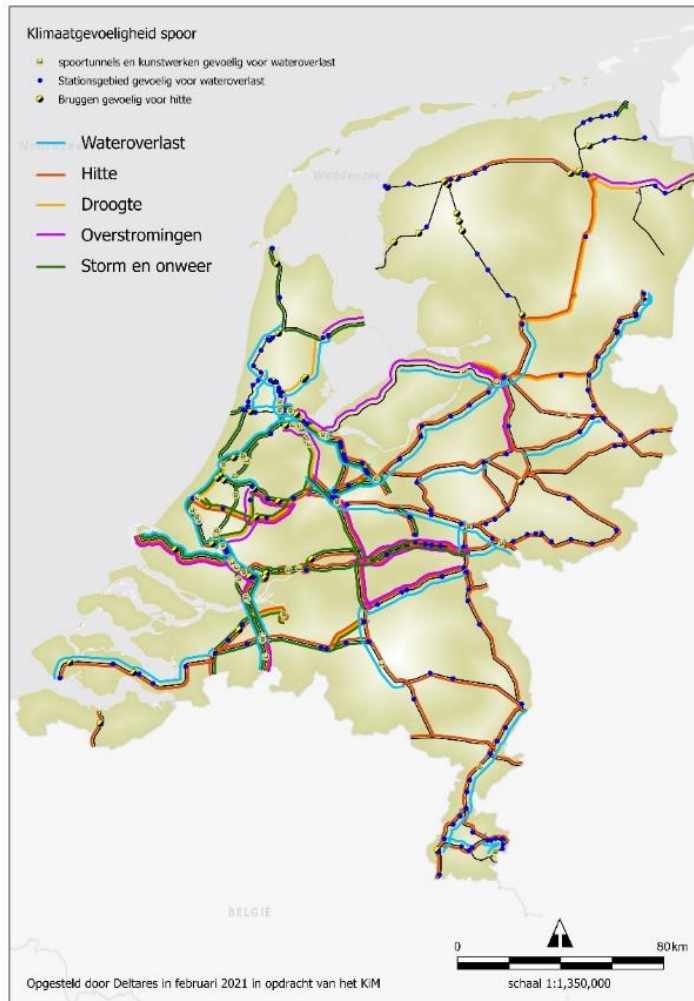
<sup>2</sup>In de titel wordt, waar mogelijk, direct verwezen naar het betreffende artikel. Voor de periode vóór 2005 zijn geen online openbare bronnen gevonden die de gevolgen van hitte op het treinverkeer beschrijven.

	<p><b>2020:</b> <a href="#">Dit doet de hitte met de treinen van de NS</a>, <a href="#">Weer heet weer</a> Er waren veel storingen door oververhitting van de technische systemen en het materieel. Vooral de dubbeldekkertreinstellen bleken gevoelig voor oververhitting. Ook in dit jaar is spoorspatting opgetreden.</p> <p><b>2022:</b> <a href="#">Extreme hittedag zorgde voor defecten en storingen op het spoor   SpoorPro.nl</a>, <a href="#">Hete dagen op het spoor</a> Ook in 2022 werden de spoorwegen geconfronteerd met oververhitte systemen, materieel, spoorspatting en uitgezette brugdelen.</p> <p>Deze versturende effecten van extreme hitte op vervoer over spoor zijn niet specifiek voor het Nederlandse spoornet, maar een wereldwijd probleem:</p> <p><b><u>Verstoringen in Frankrijk:</u></b> 2022: <a href="#">How the heat wave is damaging French rail infrastructure and forcing trains to run at low speed</a> <a href="#">Na een aantal incidenten nemen de spoormaatschappijen in Frankrijk het besluit om uit veiligheidsoverwegingen op gevoelige trajecten de snelheid drastisch te beperken.</a></p> <p><b><u>Verstoringen in Engeland:</u></b> 2015: <a href="#">Langworth freight train derailment: ‘heat could be factor’</a></p> <p><b><u>Verstoringen in de Verenigde Staten:</u></b> 2012: <a href="#">D.C. metro derailment: excessive heat to blame</a> 2022: <a href="#">San Francisco train derailment was caused by severe heatwave, say experts</a></p> <p><b><u>Verstoringen in Canada:</u></b> 2020: <a href="#">High temperatures caused Saint John derailment, preliminary findings indicate</a></p> <p>Hitte heeft impact op vervoer per spoor, en de luchttemperatuur is direct van invloed op het aantal verstoringen (zie Figuur 5-5).</p>
--	--



Figuur 5-5: Invloed van de luchttemperatuur op het aantal verstoringen op het spoor (afkomstig uit presentatie ProRail n.a.v. interview Stefan Jak)

Ook heeft Prorail middels een stresstest onderzoek gedaan naar de gevoeligheid van de Spoorinfrastructuur voor klimaatverandering en komt tot het volgende overzicht:



Figuur 5-6: Klimaatgevoeligheid Nederlands spoornet. (Deltares, 2021)

<p><b>Adaptatiecapaciteit</b></p>	<p>Bij grote hitte worden preventieve maatregelen genomen om de impact te beperken:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gevoelige trajecten worden geïnspecteerd op hete dagen om vast te stellen of en waar spoorspatting optreedt</li> <li>• Op gevoelige trajecten kan de maximale snelheid worden beperkt</li> </ul> <p>Hieronder zijn een aantal ontwikkelingen genoemd die naar verwachting invloed hebben (of hebben gehad) op de blootstelling, kwetsbaarheid of impact van extreme hitte op de spoorinfrastructuur. Onderzoeken die deze invloed aantonen zijn niet gevonden, zodat we ons hier moeten beperken tot vooronderstellingen. Hierbij zijn de voornaamste veranderingen in de inrichting van de spoorinfrastructuur aangegeven en de wijze waarop dit de gevoeligheid van deze infrastructuur voor extreme hitte beïnvloed of, indien dit niet hard is aan te tonen, de verwachte invloed hiervan. De beschreven wijzigingen in de spoorinfrastructuur hieronder zijn gebaseerd op een Wikipedia artikel hierover (wikipedia, 2023), die op zijn beurt weer gebaseerd is op een groot aantal jaarverslagen van ProRail. De hieronder opgenomen wijzigingen zijn beperkt tot de wijzigingen waarvan verwacht wordt dat deze een mogelijk effect hebben op het risico ten gevolge van extreme hitte.</p> <p><b><u>Meer hoge snelheidstrajecten</u></b></p> <p>Een groot project in de jaren '90 was de aanleg van HSL Zuid. Ook de spoorlijn Amsterdam Bijlmer ArenA - Utrecht werd bij het viersporig maken in 2007 als een semi-hogesnelheidslijn voorbereid op een maximumsnelheid van 200 km/h (aansluitend op een mogelijke HSL Oost tussen Utrecht en Arnhem).</p> <p>Ook in 2012 in gebruik genomen Hanzelijn is voor een (voor Nederlandse begrippen) hoge snelheid van 200 km/h aangelegd.</p> <p>De moderne wijze waarop deze trajecten zijn aangelegd (betonnen bielzen bijvoorbeeld) maakt ze waarschijnlijk minder gevoelig voor extreme temperaturen.</p> <p><b><u>Aanleg Betuweroute</u></b></p> <p>De aanleg van de Betuweroute in de jaren '00 heeft geleid tot een toename van het belang van spoorvervoer, met name voor de industrie in Duitsland.</p> <p>De (economische) impact van het uitvallen van deze verbinding is daarmee toegenomen.</p> <p>De moderne wijze waarop dit traject is aangelegd (betonnen bielzen bijvoorbeeld) maakt het waarschijnlijk minder gevoelig voor extreme temperaturen.</p>
-----------------------------------	---



	<p><b><u>Voornemen 'Beter benutten'</u></b></p> <p>Vanaf de jaren '00 kwamen er steeds meer voornemens vanuit de overheid en ProRail om het spoor niet alleen maar (kwantitatief) uit te breiden maar ook om het beter te benutten. Onder meer door het toepassen van nieuwe beveiliging zoals ETCS en/of ERTMS zodat meer treinen op hetzelfde stuk spoor kunnen gaan rijden. Vanaf 2014 is het accent daarbij verder verschoven naar het Programma Hoogfrequent Spoor. Er wordt hierbij gestreefd naar hoge frequenties op een aantal corridors net zoals dat bij metro's is georganiseerd. De gedachte is hierbij, in tegenstelling tot in de jaren '00, dat overstappen niet zo bezwaarlijk is, mits dat, net zoals bij een metro, maar snel genoeg kan plaatsvinden dankzij hoge frequenties. Er wordt bij dit programma zoveel mogelijk teruggevallen op reeds gerealiseerde spoorverdubbelingen en vrije kruisingen. Anderzijds worden hiervoor langs de corridors waar noodzakelijk ingrijpende maatregelen genomen om een 10-minutendienst van Intercity's en zelfs van Sprinters mogelijk te maken. Zo is er een vrije kruising gebouwd in Den Bosch (en in 2013 al, los van het Programma, ook in Amersfoort). Met name op grote stations wordt ook het aantal wissels verminderd zoals in Utrecht in 2016 zodat treinen de grote stations sneller kunnen binnenrijden en weer verlaten. In de jaren 2020 zijn de vrije doorrijsporen voor Intercity's en goederentreinen bij station Driebergen-Zeist gereedgekomen en zijn in Geldermalsen de nieuwe perrons gereedgekomen, vooral om de treinen naar Gorinchem en Dordrecht te 'ontweven' van de Intercity-sporen zodat er, dat aangaande, geen 'conflictpunten' in de dienstregeling meer zijn.</p> <p>Naar verwachting leidt de hierdoor mogelijk gemaakte hogere benutting van het spoor tot een hogere afhankelijkheid tussen ritten, waardoor een verstoring op het spoor een groter verstoring effect heeft op het overige treinverkeer. Ook wordt verwacht dat de adaptatiecapaciteit door deze hogere benutting is afgenomen.</p>
<p><b>Impact</b></p>	<p>Bij hoge temperaturen neemt het aantal storingen in technische installaties (o.a. in relaiskasten) sterk toe, beweegbare spoorbruggen kunnen dermate uitzetten dat ze niet meer kunnen sluiten of openen, overmatig gebruik van airco's van rijdend materieel kan tot storing leiden en hoge temperaturen kunnen leiden tot spoorspatting, waardoor gevaarlijke situaties kunnen ontstaan (Bles, Marle, Jong, &amp; Buren, 10 maart 2021), (ProRail, 2022). Om de risico's te beperken in deze situatie dient de dienstregeling en/of de snelheden op het spoor sterk beperkt te worden.</p> <p>Als treinrails warmer worden dan zo'n 55 °C, neemt het risico op spoorspatting toe. Dat wil zeggen dat een of beide rails op een baanvak een knik maken. Spoorspatting ontstaat doordat metaal uitzet bij hitte, en op warme dagen kunnen de rails 20-25 °C heter worden dan de lucht. Daardoor worden de rails langer, en doordat moderne spoorrails in kilometerslange secties aan elkaar gelast</p>

	<p>worden, ontstaat er veel druk in het metaal. Als de bielzen en het ballastbed (steenslag) de rails niet op hun plek kunnen houden, ontstaat er spoorspatting. Vaak komen de rails eerst los van de ondergrond, en als er een 3000 ton zware trein passeert, worden ze omlaag en opzij geduwd (Hansen, 2022), wat kan leiden tot het ontsporen van een trein.</p> <p>Nog onbekend is of goederenvervoer hiervan meer of minder last heeft dan personenvervoer en wat de impact is in termen van geld en veiligheid.</p>
<b>Cascade-effecten</b>	<p>Hier is nog geen harde informatie voor gevonden, maar zal naar verwachting de volgende cascade effecten omvatten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cascade effecten tussen personenvervoer en vrachtvervoer over rails;</li> <li>• Cascade effecten tussen railvervoer en andere vormen van openbaar vervoer (bus, tram, ...);</li> <li>• Cascade effecten tussen railvervoer en de industrie;</li> <li>• Overloopeffecten tussen railvervoer en de vervangende modaliteiten.</li> </ul>
<b>Eindimpact: mens en cultuur</b>	<p>Waarschijnlijk laag, al is er weinig harde onderbouwing. Zie ook kennishiaten.</p>
<b>Eindimpact: natuur en milieu</b>	<p>Geen</p>
<b>Eindrisico: economie</b>	<p>Hiervoor is nog geen informatie gevonden. Zie ook kennishiaten.</p>
<b>Waarschijnlijkheid</b>	<p>Eens per 10 jaar tot eens per jaar, zoals blijkt uit (KNMI, 2018) en historisch overzicht verstoringen in Nederland.</p>
<b>Wildcards &amp; kantelpunten</b>	<p>Hiervoor zijn geen aanknopingspunten gevonden.</p>

Context	
<b>Bestuurlijke situatie</b>	<p>Bij de aanleg van nieuwe infrastructuur in de spoorsector bestaan nog geen formele normen die direct klimaatadaptatie betreffen. Wel is er sinds enige jaren (4 a 5) een “handreiking klimaatadaptatie projecten” beschikbaar die handvatten geeft voor de betrokken partijen om de klimaataspecten van nieuwe projecten te toetsen, zodat deze meegenomen kunnen worden in de ontwikkeling van de infrastructuur.</p> <p>Inmiddels worden ook (door ProRail) voorzichtige stappen gezet om de klimaatweerbaarheid van bestaande infrastructuur te bestuderen en te verbeteren.</p>
<b>Samenhang met andere transitie en beleid</b>	<p>In het kader van de Energietransitie die is ingezet, neemt de rol van het openbaar vervoer in de mobiliteit van Nederlanders en daarmee de impact bij verstoring naar verwachting toe.</p>

<p><b>Internationale aspecten</b></p>	<p>De spoorwegen zijn internationaal vervlochten. Verstoring in één land kan daarmee effect hebben op het (internationaal) treinverkeer in een ander land. De trend om in het kader van de energietransitie ook voor middellange internationale reizen (600 km) de trein een aantrekkelijker alternatief te maken t.o.v. luchtvervoer, betekent dat de maatschappelijke en economische impact bij verstoring naar verwachting zal toenemen.</p>
<p><b>Maladaptatie en/of 'lock-ins'</b></p>	<p>Hiervoor zijn geen aanknopingspunten gevonden.</p>
<p><b>Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid</b></p>	<p>Hiervoor is nog onvoldoende informatie gevonden.</p>
<p><b>Rechtvaardigheid</b></p>	<p>Er zijn groepen mensen die in hoge mate afhankelijk zijn van het openbaar vervoer, omdat ze geen andere vervoersmiddelen tot hun beschikking hebben (CBS, 2023) (KRO-NCRV, 2023).</p> <p>De kwetsbaarheid is tevens regionaal; waar in stedelijke gebieden alle voorzieningen vaak nog wel met de fiets te bereiken zijn, ligt dit in rurale gebieden vaak een stuk lastiger.</p> <p>Deze groepen zijn daarmee meer kwetsbaar voor het uitvallen van treinen ten gevolge van hitte.</p>

## Kwaliteitsborging

<p><b>Transparantie, aggregatie en afbakening</b></p>	<p>Het onderzoek is uitgevoerd door middels desk-top research alle relevante beschikbare wetenschappelijke of inhoudelijk aantoonbaar onderbouwde documenten te zoeken. Waar deze onvoldoende aangrijpingspunten boden voor het komen tot een oordeel, is de kennis aangevuld met niet wetenschappelijk, maar wel betrouwbare bronnen (zoals kranten artikelen of Wikipedia). Tenslotte is de verzamelde informatie verder aangevuld en gevalideerd door een aantal interviews met inhoudelijk deskundigen.</p>
---	---

<p><b>Kennishiaten</b></p>	<p>Voor dit onderzoek zijn de volgende kennishiaten geïdentificeerd:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• We hebben geen kennis van de impact die hitte in het verleden heeft gehad op het functioneren van het spoor. ProRail houdt sinds 2006 wel statistieken bij over weer-gerelateerde verstoringen. Van voor deze tijd zijn geen betrouwbare cijfers beschikbaar en van de cijfers na 2006 is (nog) niet bekend welke en hoeveel verstoringen toegeschreven kunnen worden aan hoge temperaturen.</li> <li>• De maatschappelijke, financiële en economische gevolgen van uitval en/of vertraging van het spoorvervoer (zowel personen als vracht) zijn niet gevonden. Niet bekend is, of deze wellicht met meer onderzoek wel gevonden kan worden is niet bekend.</li> <li>• We hebben geen meer betrouwbare bron over de geschiedenis van de ontwikkeling van het Nederlands spoor gevonden dan Wikipedia</li> <li>• We hebben geen meer betrouwbare bron over de historische gevoeligheid van het Nederlandse spoor voor hitte gevonden, dan een reeks van krantenartikelen</li> <li>• We hebben geen harde gegevens gevonden over de gevoeligheid van goederenvervoer voor hitte ten opzichte van personenvervoer; in interviews is wel al geduid op het feit dat een mindere gevoeligheid meer veroorzaakt zou worden door een grotere flexibiliteit dan door technische inherente verschillen van het spoor of materieel.</li> <li>• We hebben nog onvoldoende informatie om zinnig aanknopingspunten voor adaptatiebeleid te kunnen formuleren.</li> </ul>
<p><b>Onzekerheid en betrouwbaarheid</b></p>	<p>Dat extreme hitte in de toekomst zal toenemen wordt door verschillende klimaatmodellen onderschreven en is inmiddels niet meer omstreden. De mate waarin is afhankelijke van een groot aantal omstandigheden, waaronder de mate en snelheid waarin wel erin slagen de CO<sub>2</sub> uitstoot te reduceren. Hierin zit een onzekerheid, waarvan de bandbreedte redelijk bekend is.</p> <p>De gevoeligheid van het spoor en de effecten van extreme hitte op het spoor zijn bekend en in de praktijk aangetoond. Hardere feiten dan expert ervaringen en openbaar beschikbare informatie is hierover niet gevonden.</p> <p>Of er in het verleden doden of gewonden zijn gevallen die te relateren zijn aan extreme hitte, is niet bekend.</p> <p>De adaptatiecapaciteit is onbekend; hoewel er al initiatieven zijn die de ontwikkeling van het spoor klimaatbestendiger moeten maken, is er nog geen hard beleid geformuleerd en ingesteld die afdwingt welke normen hiervoor gehanteerd moeten worden.</p>

**Expertbeoordeling**

In dit onderzoek is zeer beperkt gebruik gemaakt van expertbeoordeling; wel is gebruikgemaakt van de input en kennis van onderstaande geïnterviewde personen om nieuwe kennis te ontsluiten en reeds gevonden kennis te valideren.

Gesprekslijst Spoor

- Hendrik van Meerveld, senior consultant structural reliability bij TNO, 13 oktober 2023
- Stefan Jak, Programmaleider implementatie omgevingswet ProRail, 29 november 2023.

## 5.2 Wateroverlast & Weg



Planbureau voor de Leefomgeving

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving, 2023

### Factsheet klimaatrisico

De gevolgen voor het hoofdwegennet door wateroverlast.

## Inleiding

Wateroverlast is een van de meest impactvolle klimaatrisico's voor wegen. In dit onderzoek beperken we ons tot wegvervoer over het hoofdwegennet: De A- en N-wegen. (1-2 cijferige N-wegen). Deze zijn allen in beheer van Rijkswaterstaat. Zie afbeelding hieronder. (Rijksoverheid, 2022)

### NIS: Hoofdwegennet (HWN)

Hoofdwegennet in beheer van Rijkswaterstaat (januari 2022)



Kaart 1: Hoofdwegennet

Figuur 5-7: Hoofdwegennet in beheer van Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2022)

We onderzoeken alle infrastructuren die noodzakelijk zijn om dit wegvervoer veilig en efficiënt af te handelen, waaronder:

- De wegen zelf, inclusief talud, belijning, signalering, bebording, (dynamische) informatiepanelen, waterafvoer en -berging en veiligheidsmaatregelen, zoals vangrail en vluchtstroken;
- Sensoren die noodzakelijk zijn voor het veilig en operationeel houden van de wegen (maar niet de infrastructuur en organisatie voor het interpreteren en reageren op deze signalen);
- Kunstwerken (zoals tunnels of tunnelbakken, bruggen en via- of aquaducten) die voorwaardelijk zijn voor de wegen.

Wateroverlast heeft verschillende impact op de werking van het weggennet, namelijk:

- Plasvorming  
Dit betreft zowel hinder door relatief ondiepe plassen die door aquaplaning gevaarlijke situaties kunnen opleveren, alsook diepere plasvorming in bijvoorbeeld tunnel-delen. Deze laatste plassen kunnen meerdere decimeters diep worden en de verkeersstroom geheel tot een halt brengen.
- Instabiliteit wegtalud  
Dit betreft het verweken van het wegtalud, waardoor deze kunnen verzakken.
- Stijgende grondwaterstanden  
Bij stijgende grondwaterstand kunnen tunneldelen (die waterdicht en hol zijn) gaan drijven. Hierdoor kan de bouwtechnische stabiliteit in het geding komen en dit kan leiden tot gevaarlijke wegsituaties.

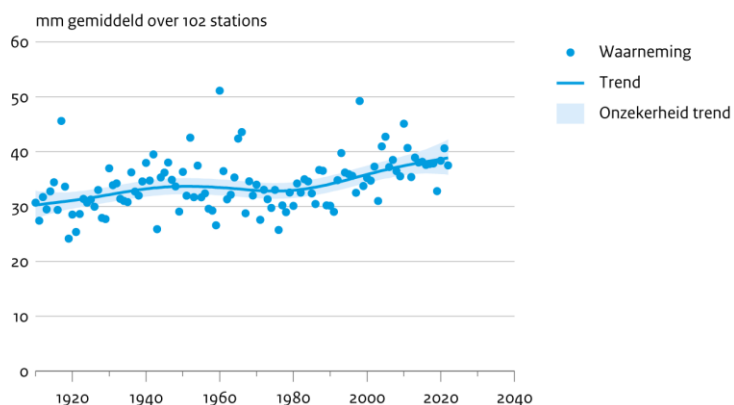
## Klimaatrisicoanalyse

### Klimaatdreiging

Neerslagextremen zijn erg toegenomen. Het meest opvallende is de toename in het aantal dagen met zware neerslag, dat zijn dagen met meer dan 50 mm neerslag ergens in Nederland. Dit aantal is sinds 1951 toegenomen met 85%. Ook is het aantal dagen per jaar met meer dan 20 mm neerslag in een etmaal sterk toegenomen. (Rijksoverheid, 2023)

In de volgende grafiek is de maximale neerslag (ergens in Nederland) te zien, dat in een etmaal in een jaar is gevallen. Hierin zie je een duidelijke toename.

#### Maximale neerslag



Bron: KNMI; bewerking PBL

PBL/aug23  
www.clo.nl/nl059003

Figuur 5-8: Maximale neerslag (ergens in Nederland) (PBL, 2023)

Extreme neerslag kan leiden tot wateroverlast. Hierdoor ontstaan er mogelijk plassen op de weg en kan er erosie en afschuiving plaatsvinden van wegtaluds. Verder kunnen verdiepte liggingen en tunnels onderlopen bij extreme neerslag. Voorbeelden hiervan zijn de Botlektunnel, de Heinenoordtunnel, de tunnelbak Prinsenbeek A16 bij Breda, de Prinses Margriettunnel in de A7 bij Sneek en het aquaduct in de A4.



	<p>Naast extreme neerslag met piekbuien is er ook in toenemende mate sprake van meer neerslag in Nederland. Dit leidt tot hogere grondwaterstanden. Ook dat verhoogt het risico op het opdrijven van tunnels en toeritten. Dit kan leiden tot grote schade en langdurige stremmingen. (Rijkswaterstaat, 2022)</p>
<p><b>Secundaire effecten</b></p>	<p>Secundaire effecten van extreme regenval voor wegen die we hebben vastgesteld:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stijgende grondwaterstanden; Hierdoor kunnen tunneldelen (die waterdicht en hol zijn) gaan drijven. Hierdoor kan de bouwtechnische stabiliteit in het geding komen en dit kan leiden tot gevaarlijke wegsituaties. Hoewel dit al een aantal maal is opgetreden in Nederland (Vlaketunnel, of Prinses Margrietunnel in Friesland), moet dit beschouwd worden als vermijdbare manco's in de constructie.</li> <li>• Plasvorming; Extreme neerslag leidt ertoe dat water niet snel genoeg kan worden afgevoerd waardoor plasvorming ontstaat.</li> <li>• Grotere kans op ongelukken; Plassen water op de weg (met name hoofdwegen waar de rijnsnelheden hoger liggen) hebben een direct negatief op de veiligheid van de weg; aquaplaning ten gevolge van plasvorming kan hele onverwachte en gevaarlijke situaties veroorzaken. Op natte wegdekken is de kans per miljoen gereden kilometers om bij een ongeval gedood te worden voor een automobilist twee- à driemaal zo groot als op droge wegdekken. (SWOV, sd) Ook ontstaat een grotere kans op ongelukken bij filevorming omdat bij files gemakkelijker gevaarlijke situaties ontstaan.</li> <li>• Afnemen levensduur wegen; De levensduur van asfalt kan negatief beïnvloedt worden wanneer water te lang blijft staan. Water is een katalysator voor degradatiemechanismen.</li> <li>• Toename voertuigverliesuren. Doordat wegen afgesloten worden tijdens wateroverlastmomenten, zal dat ook impact hebben op het wegverkeer, en meer voertuigverliesuren veroorzaken. Ofwel omdat wegen zijn afgesloten of omdat er file gevormd is. Bij file(vorming) neemt de kans op ongevallen toe.</li> </ul>
<p><b>Blootstelling</b></p>	<p>De kans op extreme neerslag is (nagenoeg) gelijk voor alle hoofdwegen in Nederland. Wel zal het verschillende effecten hebben, bv. qua hoelang het water blijft liggen.</p>
<p><b>Gevoeligheid</b></p>	<p>Wateroverlast is veruit het belangrijkste risico voor wegen. Het grootste effect is dan het tijdelijk niet beschikbaar zijn van de weg. Dit zal eerder bij lager gelegen gebieden gebeuren en daar waar waterafvoer minder goed mogelijk is. De beschadiging van de infrastructuur op zichzelf vallen relatief mee, al is water wel een katalysator voor sneller</p>

verval van materialen. Er is een risico voor het talud als het te lang regent. Verder kan de ondergrond wegslaan of minder stabiel worden.

In figuur 5-9 staat de gevoeligheid weergegeven van het hoofdwegennet voor erosie en afschuiving van het wegtalud door afstromend regenwater. Hierbij is een locatie gevoelig als twee van de drie volgende kenmerken aanwezig zijn: een steil talud, een viaduct en gevoeligheid voor plasvorming.



Figuur 5-9: Gevoeligheid hoofdwegennet voor erosie en afschuiving van het wegtalud door afstromend regenwater (Deltares, 2020)

Om een wat concreter beeld te krijgen van wateroverlast op Rijkswegen, zijn we onderzoek gegaan naar een aantal historische incidenten.

Er zijn weinig bronnen te vinden aangaande registratie van klimaatgerelateerde incidenten op wegen. Bij Rijkswaterstaat bestaat er het UDLS (uniforme droge logging systeem). Dat is gecreëerd om calamiteiten te registreren. Ook incidenten rondom wateroverlast staan daarin geregistreerd, al was dat tot 2020 nog niet een directe registratie. Vanaf 2020 is er makkelijker te zoeken op 'wateroverlast', om alle wateroverlast gerelateerde incidenten eruit te kunnen pakken. Bij de registratie wordt dan alsnog meer alleen iets gezegd over omstandigheden in plaats van de diepere oorzaak. Verdere moet erbij worden opgemerkt dat incidenten met name worden gemeld tijdens drukke verkeersmomenten. Wateroverlastincidenten die in de nacht hebben plaatsgevonden staan (meestal) niet geregistreerd.

Door TNO is er tussen februari 2013 en augustus 2017 een studie voor RWS gedaan naar watergerelateerde incidenten op het hoofdwegennet. Wat opviel uit deze studie was dat er veel accumulatieproblemen ontstaan in niet-vlakke gebieden. In Nederland zie je dat vooral in de provincie Limburg; daar zijn een aantal dal-plekken, waar het risico

bestaat dat het relatief gemakkelijk volloopt bij langdurig aanhoudende regen.

Verder viel op dat er wat zwakke plekken zitten in het ontwerp en/of onderhoud van weginfrastructuur. De meest voorkomende zaken die we daarin zien vanuit de UDLS registratie zijn:

1. De ontwerpcapaciteit van het systeem kan onvoldoende zijn, waardoor er niet snel genoeg water afgevoerd kan worden bij extremere neerslag;
2. De kolken worden niet goed onderhouden;
3. Pompen kunnen uitvallen. Deze pompen staan in de pompkelder, en het gebeurt wel eens dat zo'n pomp het niet doet.

Verder hebben we open bronnen geraadpleegd aangaande wateroverlast incidenten uit het verleden. Deze zijn hieronder opgenomen.

#### **November 1998: Watersnood in Limburg en Noord-Brabant**

November 1998 behoort met 140,0 mm tot de vier natste maanden van de vorige eeuw. Hevige regenval leidde tot overstromingen in delen van Limburg en Noord-Brabant, waardoor wegen werden beschadigd en afgesloten. Verschillende wegen, waaronder snelwegen zoals de A2 en lokale wegen, werden afgesloten vanwege overstromingen en wateroverlast. De Maas trad buiten zijn oevers en veroorzaakte aanzienlijke schade aan de infrastructuur.

[jaarverslag 1998 def \(knmi.nl\)](#)

#### **Augustus 2004: Zware regenval in Zuid-Nederland.**

Langdurige en intense regenval veroorzaakte wateroverlast en overstromingen in verschillende delen van Zuid-Nederland, wat leidde tot wegafsluitingen omdat ze onder water stonden, onder andere in Venlo en Roermond.

<https://www.nu.nl/algemeen/361397/-opnieuw-overlast-weer-noord--en-midden-limburg.html>

#### **Juli 2011: Wateroverlast in Noord-Nederland**

Extreme regenval leidde tot overstromingen en wegafsluitingen in delen van Noord-Nederland, zoals Groningen. Ook waren er problemen met het treinverkeer vanwege ondergelopen sporen.

<https://www.oogtv.nl/2011/07/regenbui-zorgt-voor-wateroverlast-in-groningen-zuid/>

<https://www.rtvnoord.nl/nieuws/102081/wolkbreuken-zorgen-voor-wateroverlast-in-stad>

#### **Juni 2016: Overstromingen in Zuid-Limburg**

Hevige regenval veroorzaakte overstromingen en wegafsluitingen in Zuid-Limburg, waarbij enkele wegen ernstig werden beschadigd. Het leidde tot overstromingen in steden zoals Valkenburg. Wegen en straten overstromden en sommige wegen liepen schade op. Ook op de snelweg A73 waren er problemen. Tussen de knooppunten Het Vonderen en Lindenholt liepen modderstromen over de weg, door weggespoelde aarde vanaf de hoger gelegen bermdelen.

<https://nos.nl/artikel/2109682-de-regen-kwam-vandaag-weer-met-bakken-uit-de-lucht-in-limburg>  
<https://www.meteolimburg.nl/sombere-en-recordnatte-juni>

#### **Januari 2018: Stormvloed in Nederland**

Er vonden overstromingen plaats langs de kust, maar het veroorzaakte ook wateroverlast op sommige wegen in de kustgebieden.

<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/code-rood-voor-zeer-zware-windstoten-op-18-januari-2018>

#### **14 juli 2021: Hevige overstromingen door noodweer in Limburg**

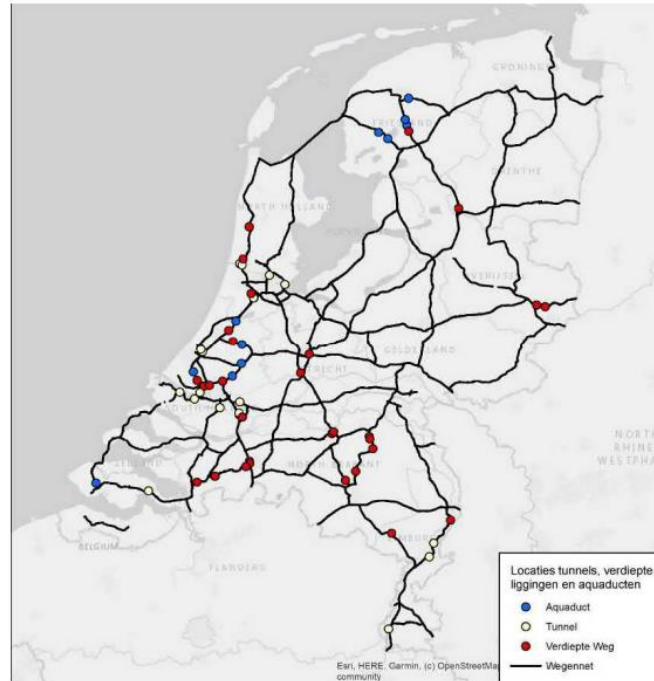
In korte tijd steeg het waterpeil tot recordhoogte. Dit leidde op verschillende plekken tot overstromingen en schade, ook aan wegen en bruggen.

[https://www.limburger.nl/cnt/dmf20211015\\_94348899\\_analyse\\_overstroming\\_valkenburg.pdf](https://www.limburger.nl/cnt/dmf20211015_94348899_analyse_overstroming_valkenburg.pdf) (waterschaplimburg.nl)

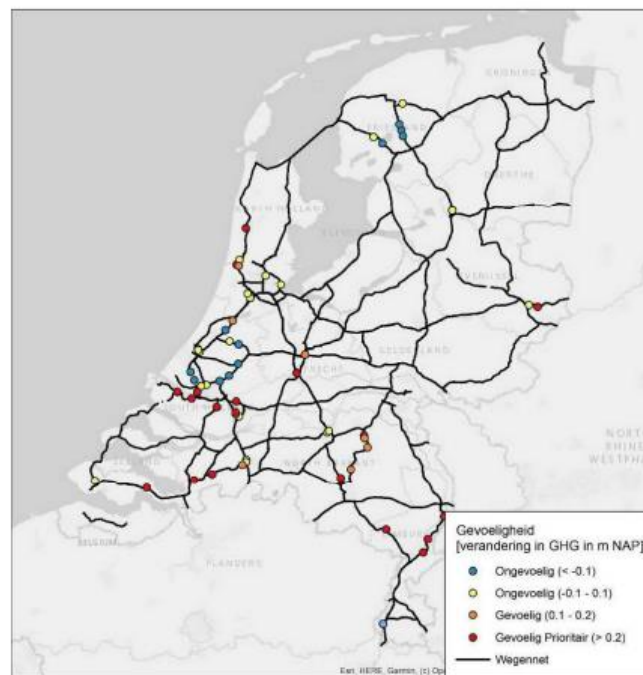
#### **Geografische verschillen**

Er zijn een aantal geografische verschillen te noemen. Soms heeft dat te maken met het grondsoort, met hoogteliggingen, en soms ook met het (type) bouw, wat op verschillende plekken anders is uitgevoerd. Hieronder een aantal voorbeelden van deze verschillen.

- De ondergrond bepaalt in welke mate een gebied gevoelig is voor verzakking of zetting. Bij zetting drukt de bodem samen door belasting van de bovengrond. Dit speelt vooral (maar niet uitsluitend) bij de lager gelegen gebieden en polders, die voornamelijk in het Westen van Nederland te vinden zijn. Een voorbeeld hiervan is te vinden in de A12 tussen Gouda en Den Haag, waar de onderdoorgangen (fietstunnels bijvoorbeeld) bij aanleg gelijk lagen met het wegdek, maar nu duidelijk merkbare hobbels in de weg vormen, doordat de omringende weg is gedaald en de tunnels niet.
- Een ander voorbeeld is de rondweg van de A5 bij Amsterdam. Daar zijn de hemelwaterafvoersystemen te klein gebouwd, waardoor het sneller volloopt. Dat is dus een manco in het ontwerp.
- Ook bestaan er verschillen tussen het aantal kunstwerken: in het westen zijn veel meer tunnels, aquaducten en verdiepte wegen. Zie figuur 5-10. Deze hebben ieder hun eigen kwetsbaarheden bij wateroverlast: onderdoorgangen en tunnels kunnen vollopen en daar kan water (tijdelijk) blijven staan. De kans dat dit bij onderdoorgangen gebeurt is groter dan bij tunnels, omdat de minimale voorzieningen voor tunnels strenger gereguleerd zijn. In het 5-11 eronder is te zien hoe gevoelig de desbetreffende kunstwerken zijn voor het opdrijven. Hierbij wordt getoond hoeveel de grondwaterstand ten opzichte van NAP stijgt of daalt. De grens van 0,1m verandering in gemiddeld hoogste stijghoogte is gebruikt om alle locaties te identificeren die gevoelig kunnen zijn voor opdrijving door een toename van de stijghoogte van het grondwater. De waarde 0,2 is gehanteerd om locaties te identificeren die extra prioriteit verlangen.



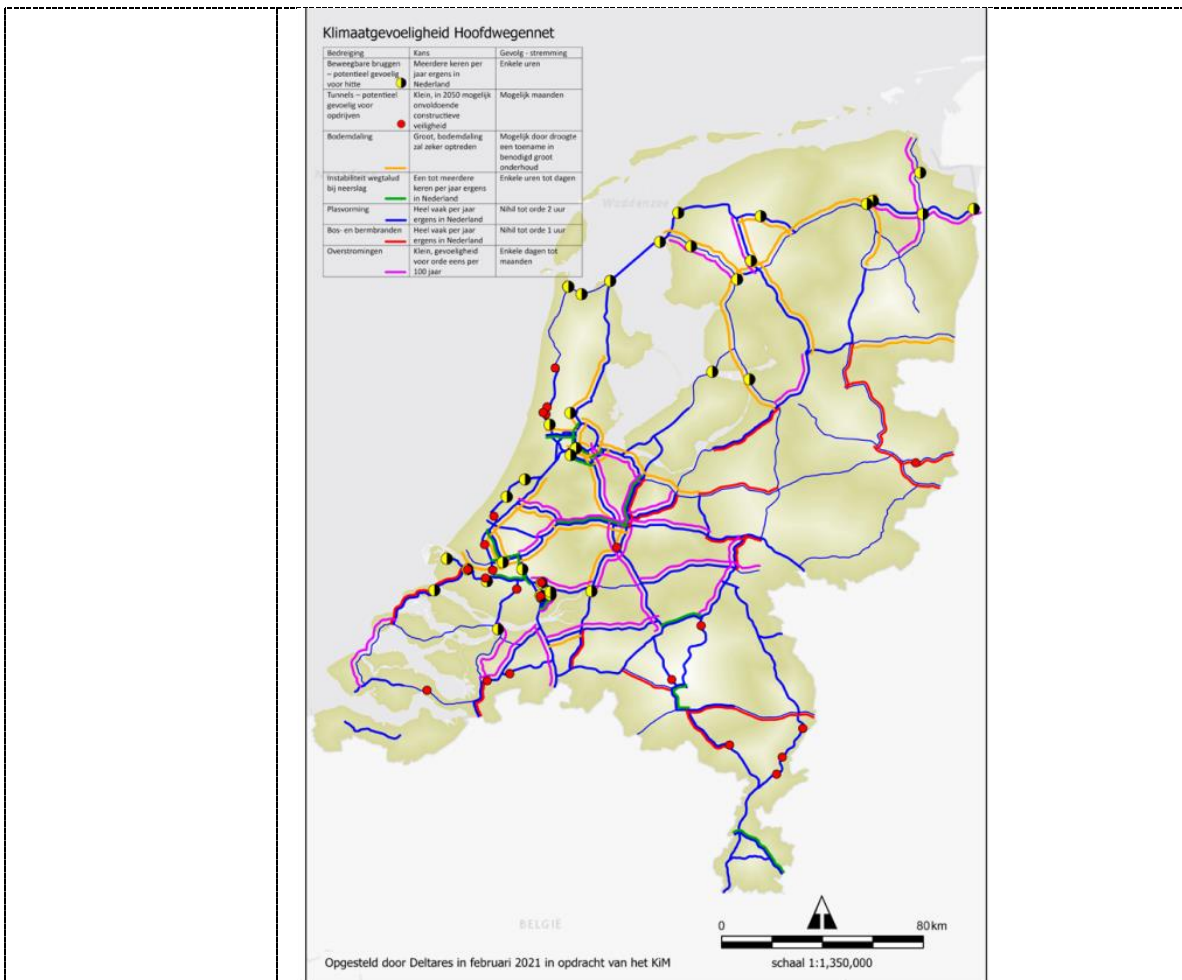
Figuur 5-10: Locaties van tunnels, verdiepte wegen en aquaducten in het rijkswegennet (Deltares, 2020)



Figuur 5-11: Potentiele gevoeligheid van tunnels, verdiepte wegen en aquaducten voor opdrijven door een geschatte verandering in GHG ten opzichte van NAP van het freatisch grondwater in 2050. Eveneens is voor deze klassen de bijbehorende verandering in GHG gegeven (positief is hier een stijging van de grondwaterstand). (Deltares, 2020)

- In Zeeland is de onderlaag van de hoofdwegen vanuit historisch perspectief van mindere kwaliteit dan gemiddeld in Nederland. Het vergt

	<p>hierdoor veel aandacht en inspanning voor onderhoud en vernieuwing van de bovenlaag om deze wegen van voldoende kwaliteit te houden.</p> <p>Er zijn situaties waarin de gevoeligheid groter is dan op andere plekken:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Zoals eerder benoemd zijn de wegen in niet-vlakke gebieden zoals Limburg gevoelig voor accumulatieproblemen. De dalplekken, hebben een verhoogd risico op vollopen bij wateroverlast.</li><li>• Daarnaast zitten er ook zwakke plekken in het ontwerp en wordt het onderhoud niet altijd even goed uitgevoerd, waardoor water slechter kan worden afgevoerd. Ook kunnen pompen uitvallen.</li></ul> <p>Anderzijds is de gevoeligheid van wegen voor extreme neerslag door nieuwere technologie afgenomen: Sinds 1980 is op veel Rijkswegen zeer open asfaltbeton gebruikt als bovenlaag. Het is een asfaltverharding met geluid reducerende eigenschappen, comfort, en voor het klimaat effect van wateroverlast relevant: superieure afwateringscapaciteit (Wegenwiki, 2023) Door het gebruik van ZOAB zijn er aanzienlijk minder problemen met wateroverlast.</p> <p>In 2021 heeft Deltares in opdracht van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) de gevoeligheid van het hoofdwegennet bepaald voor zeven negatieve effecten van klimaatverandering, waaronder relevant voor wateroverlast:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tunnels – potentieel gevoelig voor opdrijven;</li><li>• Instabiliteit wegtalud bij neerslag;</li><li>• Plasvorming;</li><li>• Overstromingen.</li></ul> <p>De resultaten hiervan staan in figuur 5-12.</p>
--	---



Figuur 5-12: Gevoeligheid van het Hoofdwegennet voor zeven negatieve effecten die door het klimaat beïnvloed worden. (Klimaatverandering en het mobiliteitssysteem, KiM, juli 2021.)

**Adaptatiecapaciteit**

Het klimaatbestendig beheren van het wegennet is nog vrij onontgonnen terrein. Wel gebeuren er al een aantal dingen. Zo zijn er een aantal praktische maatregelen bedacht die hiervoor worden ingezet. Voorbeelden hiervan zijn het aanleggen van een weg met een verkanting van 2,5%, het aanleggen met ZOAB, de capaciteit van de afvoerbuizen vergroten door buizen met een grotere diameter te plaatsen, het goed onderhouden van het hele weglichaam: bermen ophogen, inspectie op waterafvoersystemen en onderhouden.

Op dit moment worden maatregelen ook veelal risicogestuurd ingezet; bv. als er zware regen voorspelt is, dan worden putten alvast schoongezogen waarvan men weet dat er problemen kunnen zijn met verstoppingen.

Daarnaast vindt er gemiddeld ongeveer eens in de 17 jaar onderhoud plaats op het gehele asfalt. Het is aan te bevelen om dan ook allerlei andere zaken te checken die de wateroverlastbestendigheid vergroten.

	<p>Dit is overigens wel waar Rijkswaterstaat steeds meer heen gaat. Zo wordt er locatieafhankelijk advies gegeven, bv. om op een specifieke plek bij een volgend onderhoud de dwarshelling met zoveel procent te doen toenemen. Nieuwe wegen worden al met een dwarshelling van 2,5% aangelegd. De kosten hiervan kunnen wel groot zijn. Een voorbeeld hiervan is dat het lastig is leidingen aan te passen (leidingen plaatsen met een grotere diameter), omdat leidingen zijn ingestort in heet beton. Kostentechnisch is het dus belangrijk te kiezen welke locaties het meest urgent zijn.</p> <p>De komende jaren is veel onderhoud voorzien ook aan overig weginfrastructuur, dat biedt de mogelijkheid om te anticiperen op klimaatbestendig onderhoud.</p> <p>In 2019 is er een stresstest uitgevoerd door RWS op het hoofdwegennet, waarbij onder andere is gekeken naar het effect van wateroverlast. (Toename gemiddelde hoeveelheid neerslag en meer extreme buien.) Hieruit zijn reeds getroffen voorbereidende maatregelen gekomen, evenals generieke maatregelen die effect hebben op alle onderzochte netwerken (Het hoofdvaarwegennet, hoofdwatersysteem en het hoofdwegennet). (Rijkswaterstaat, 2022)</p> <p>De al getroffen maatregelen liggen op het gebied van:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vergroten bewustwording en kennis;</li> <li>• Actualiseren handreikingen voor Aanleg en voor Vervanging en Renovatie (VenR);</li> <li>• Uitwerken beleidstrajecten. (Rijkswaterstaat, 2022)</li> </ul> <p>Generieke maatregelen liggen op het gebied van:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aanpassing van kaders en richtlijnen;</li> <li>• Aanpassing van werkprocessen;</li> <li>• Monitoring;</li> <li>• Verankering in crisismangement. (Rijkswaterstaat, 2022)</li> </ul>
<p><b>Impact</b></p>	<p>De impact van wateroverlast op het wegennet bestaat uit: verlies van veiligheid (voor de mens), hinder voor de mens en het bedrijfsleven (afgenomen mobiliteit), toenemen van aanleg- en onderhoudskosten.</p> <p>Plasvorming bij tunnels en verdiepte liggingen leidt tot stremmingen die extra lang duren. De impact daarvan is daarom naar verwachting groter. De Heinenoordtunnel is bijvoorbeeld al regelmatig een knelpunt vanwege plasvorming. De vertragingen worden met name verwacht op de ringwegen in de Randstad en rond grote steden. (Rijkswaterstaat, 2022)</p>
<p><b>Cascade-effecten</b></p>	<p>Een effect van de afname van mobiliteit op de wegen heeft directe gevolgen voor de transportsector.</p>
<p><b>Eindimpact: mens en cultuur</b></p>	<p>Indien wegen gestremd zijn, heeft dit direct invloed op de mobiliteit van burgers. Daarnaast kunnen wegen door wateroverlast gevaarlijker zijn waardoor de kans op ongelukken toeneemt. Extreme neerslag zorgt ook voor slecht zicht, hetgeen de veiligheid op de weg ook nadelig beïnvloedt.</p>



<b>Eindimpact: natuur en milieu</b>	De impact op natuur en milieu is door de files en omleidingen vooral verhoogde CO <sub>2</sub> uitstoot. Dit heeft een lage impact, maar er is een gebrek aan onderbouwing.
<b>Eindrisico: economie</b>	Voor de economie betekenen voertuigverliesuren extra kosten: verlate aankomst van goederen en diensten.
<b>Waarschijnlijkheid</b>	Neerslagextremen zijn erg toegenomen. Het meest opvallende is de toename in het aantal dagen met zware neerslag, dat zijn dagen met meer dan 50 mm neerslag ergens in Nederland. Dit aantal is sinds 1951 toegenomen met 85%. Ook is het aantal dagen per jaar met meer dan 20 mm neerslag in een etmaal sterk toegenomen. (Rijksoverheid, 2023)  De kans op extreme neerslag is eens per jaar of vaker ergens in Nederland. (Klimaatadaptatie, sd)
<b>Kantelpunten</b>	Er zitten geen heftige kantelpunten bij het effect van wateroverlast op wegen. Er zal niet ineens een grens worden gepasseerd. Wel zullen er bij het doorbreken van dijken grote delen onder water komen te staan. Dat zal dan ook de wegen raken en wellicht leiden tot lange herstelwerkzaamheden.

## Context

<b>Bestuurlijke situatie</b>	-
<b>Samenhang met andere transitie en beleid</b>	-
<b>Internationale aspecten</b>	Nee, in dit domein zijn we relatief vroeg t.o.v. andere landen.
<b>Maladaptatie en/of 'lock-ins'</b>	-
<b>Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid</b>	-
<b>Rechtvaardigheid</b>	Er zijn groepen mensen die in hoge mate afhankelijk zijn van het (specifieke) wegen. Dit kan ertoe leiden dat zij in meerdere mate hinder ondervinden van uitval van of filevorming op wegen. Daar waar de wegen kwetsbaarder zijn voor wateroverlast, bijvoorbeeld bij specifieke tunnels, zullen mensen die er gebruik van willen maken meer hinder ondervinden. Ook kan het voor oudere mensen 'spannender' worden om te rijden door extreme regen of wateroverlast, waardoor zij misschien de autowegen sneller zullen vermijden.

## Kwaliteitsborging

<b>Transparantie, aggregatie en afbakening</b>	Het onderzoek is uitgevoerd door middels desk-top research alle relevante beschikbare wetenschappelijke of inhoudelijk aantoonbaar onderbouwde documenten te zoeken. Waar deze onvoldoende aangrijpingspunten boden voor het komen tot een oordeel, is de kennis aangevuld met niet wetenschappelijk, maar
--	--

	wel betrouwbare bronnen (zoals kranten artikelen of Wikipedia). Tenslotte is de verzamelde informatie verder aangevuld en gevalideerd door een aantal interviews met inhoudelijk deskundigen.
<b>Kennishiaten</b>	Voor dit onderzoek zijn de volgende kennishiaten geïdentificeerd: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voor de inschatting van de kosten voor klimaatadaptatie zijn weinig cijfers te vinden. Dit is ook lastig in te schatten. Er zijn wel cijfers bekend over de begroting voor het onderhoud van het hoofdwegennet, maar dat is niet direct bruikbaar ten behoeve van klimaatadaptatie.</li> <li>• Ook is niet bekend hoeveel vertraging wateroverlast veroorzaakt in het verkeer. Dit maakt het onmogelijk hieraan een economische getal te koppelen.</li> <li>• Er zijn geen cijfers bekend van het aantal verkeersdoden/verkeersgewonden ten gevolge van de klimaatverandering wateroverlast. Wel zijn er cijfers bekend van het aantal verkeersdoden, maar deze zijn niet compleet en betrouwbaar genoeg om daaruit conclusies te kunnen trekken m.b.t tot het effect van wateroverlast.</li> <li>• Er is consensus dat rijden bij extreme neerslag gevaarlijker is dan bij droog weer. De mate waarin deze gevaarzetting toeneemt is echter niet bekend, wat het onmogelijk maakt hieruit conclusies te trekken voor het verwachte aantal doden en gewonden.</li> </ul>
<b>Onzekerheid en betrouwbaarheid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Er is consensus over het feit dat het aantal momenten met extreme neerslag zal toenemen. Dit is historisch, maar middels modellen ook voor de toekomst onderbouwd. De mate waarin dit gebeurt, is afhankelijk van het gevolgde klimaatscenario.</li> <li>• Er zijn betrouwbare en onderbouwde cijfers die de huidige gevoeligheid van wegen en kunstwerken voor de diverse effecten van wateroverlast weergeven.</li> </ul>
<b>Expertbeoordeling</b>	In dit onderzoek is zeer beperkt gebruik gemaakt van expertbeoordeling; wel is gebruikgemaakt van de input en kennis van onderstaande geïnterviewde personen om nieuwe kennis te ontsluiten en reeds gevonden kennis te valideren.

## Gesprekslijst

- Greet Leegwater, senior researcher road materials bij TNO, 3 oktober 2023
- Hendrik van Meerveld, senior consultant structural reliability bij TNO, 13 oktober 2023

## 5.3 Droogte & Binnenvaart



Planbureau voor de Leefomgeving

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving, 2023

### Factsheet klimaatrisico

De gevolgen voor de binnenvaart door extreme droogte.

### Inleiding

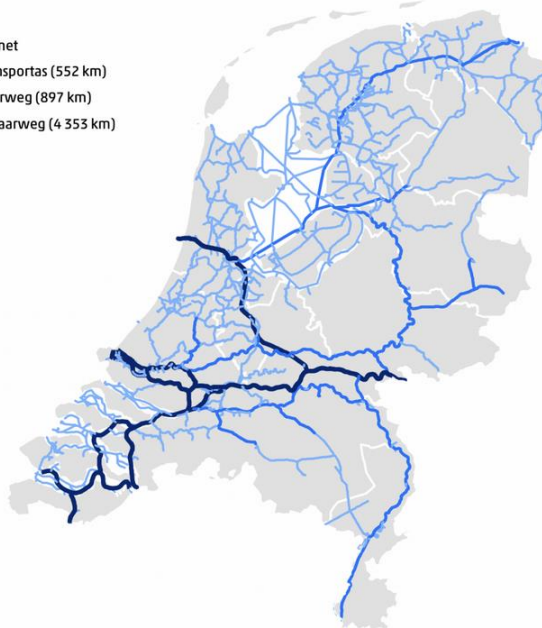
Extreme droogte kan aanzienlijke effecten hebben op de capaciteit van het vervoer over de binnenwateren. Effecten die optreden omvatten:

- Bij een beperkte vaardiepte zal de binnenvaart over het algemeen wel blijven varen, maar wordt de diepgang en daarmee de maximale lading beperkt.
- Onvoldoende waterbeschikbaarheid sluisen  
Bij extreme droogte wordt als preventieve maatregel het aantal sluisbewegingen beperkt om waterverlies naar de zee te beperken. Hierdoor wordt de doorvoercapaciteit van de betreffende sluisen, en daarmee de verkeersstroom voor de binnenvaart, beperkt.
- Beperkingen voor het laden en lossen van schepen

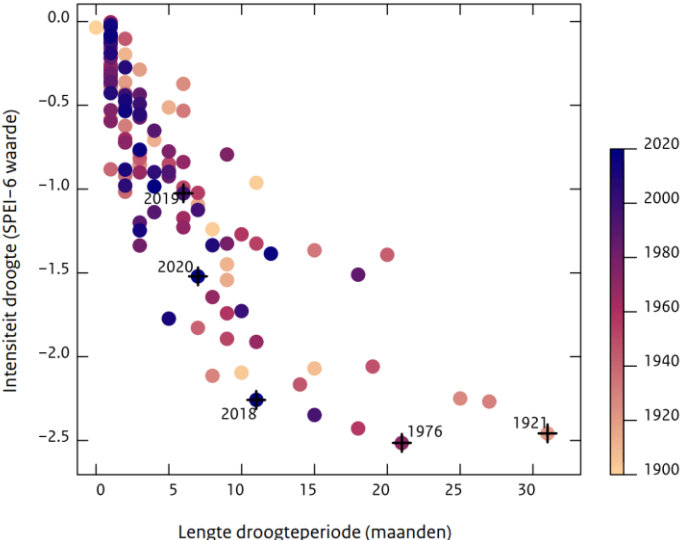
Lengte hoofdvaarwegennet

Hoofdvaarwegennet

- Hoofdtransportas (552 km)
- Hoofdvaarweg (897 km)
- Overige vaarweg (4 353 km)



Figuur 5-13: binnenvaart netwerk Nederland (Binnenvaartkennis.nl, 2023)

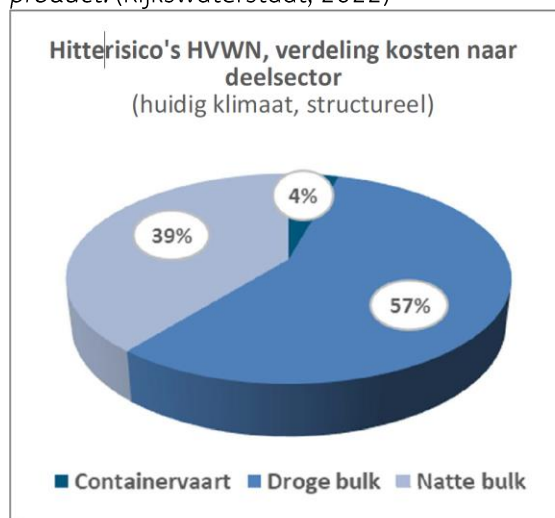
Klimaatrisicoanalyse	
<b>Klimaatdreiging</b>	<p>Dit betreft de klimaatdreiging van extreme droogte. Van belang hierbij is dat deze niet beperkt is tot de situatie in Nederland; de aanvoer van water wordt bepaald door de situaties in de bovenstroomse landen.</p> <p>De intensiteit en lengte van droogteperiodes in Nederland (specifiek in de zomermaanden) wordt verwacht toe te nemen. De droogteperiodes worden gekarakteriseerd door de lengte van de droogte (aantal maanden met de SPEI-6 <sup>3</sup>aaneengesloten onder 0, ofwel lager dan gemiddeld) en de intensiteit (minimale waarde van de SPEI-6 gedurende de droogte, waarbij 0 gemiddeld is en -2,5 extreem droog). De SPEI-6 waarde 0 correspondeert met het gemiddelde over de periode 1906-2020. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 5-14. De kleurcodering hierin relateert aan het jaar waarin de droogte plaatsvond. (KNMI, 2021). We zien hierin dat het aantal donkerblauwe (recente) stipjes relatief prominent aanwezig is, met name in de linkerhelft van de grafiek.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Figuur 5-14: Overzicht intensiteit en lengte droogte periodes vanaf 1900 tot 2020</p> <p>In Figuur 5-18 wordt dit verder onderbouwd met de stroomsnelheid voor de Rijn, huidig en zoals deze verwacht wordt in een ‘hoog’ klimaatscenario voor 2050.</p>
<b>Secundaire effecten</b>	<p>Meer droogte leidt tot lagere waterstanden, wat leidt tot meer bezinksel en daarmee een verhoogde behoefte aan baggeren. (Mark, Dorst, Boer, &amp; Slob, 2022)</p>
<b>Blootstelling</b>	<p>Vervoer over de binnenwateren is direct afhankelijk van het handhaven van acceptabele waterstanden in de rivieren en kanalen. De normale vaardiepte varieert over de verschillende vaarwegen en met de plaats in een vaarweg. Een zekere variatie in de vaardiepte gedurende de dag of het</p>

<sup>3</sup> De SPEI-6 representeert het netto (verschil neerslag en verdamping) neerslagtekort over een periode van zes maanden

	<p>jaar is normaal en de schepen die gebruik maken van een vaarroute zijn hier over het algemeen op ingericht. Deze vaardiepten worden middels enkele tientallen meetpunten in Nederland voortdurend gemonitord en ook worden hiervoor voorspellingen gemaakt (analoog aan weersvoorspellingen) gemaakt (Rijkswaterstaat, 2023).</p> <p>Schade ontstaat wanneer de vaardiepte buiten de bandbreedte valt waarvoor de binnenvaartschepen geschikt zijn. Afhankelijk van zowel de mate waarin de vaardiepte is gereduceerd door de lage waterstanden als het ontwerp van het binnenvaartschip (sommige schepen vereisen een grotere vaardiepte dan andere), zullen binnenvaartschepen genoodzaakt zijn hun vaardiepte (en dus hun laadgewicht) te beperken. Dit betekent dat minder vracht vervoert kan worden per vervoersbeweging, terwijl de kosten nagenoeg gelijk blijven (of bij zeer geringe bodemvrijheid zelfs kunnen stijgen).</p> <p>Bovendien zal bij lage waterstanden, ten behoeve van het handhaven van zowel waterkwantiteit als waterkwaliteit, maatregelen moeten worden getroffen om de afvloeiing van water naar de zee te beperken. Deze waterbesparende maatregelen hinderen echter ook de doorstroom van het binnenvaartverkeer en verhogen de vervoerskosten. (Jong, 2020)</p> <p>De droogteproblematiek wordt erger in combinatie met bodemerrosie, waarbij de bodem niet overal in gelijke mate mee daalt vanwege plaatselijk voorkomende harde(re) bodemlagen, steenbestortingen, kabels en leidingen. Er ontstaan – als het ware – drempels in de vaarweg en bij aansluitingen van sluizen en kanalen op de rivier. (Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving, 2021)</p>																												
<p><b>Gevoeligheid</b></p>	<p>De binnenvaartsector is zeer afhankelijk van bevaarbare binnenwateren en heeft maar zeer beperkt uitwijkmogelijkheden. Soms zijn alternatieve (langere) routes over de binnenwateren beschikbaar die nog wel de vereiste diepte hebben, of is vervoer langs de kust een optie, maar deze alternatieven zijn zeker niet altijd voorhanden of commercieel rendabel. Ook de klanten van de binnenvaartsector hebben slechts beperkt alternatieve modaliteiten ter beschikking, omdat de binnenvaartsector een specifieke behoefte van het vervoer afhandelt. Dit betreft bijvoorbeeld vrachten met een grote omvang, waarvoor tientallen vrachtwagens of treinstellen nodig zijn om de vracht van één binnenvaartschip te vervoeren. Met name als deze vraag bij meerdere klanten tegelijk speelt (en dit is het geval bij extreme droogte), overstijgt de vraag snel de capaciteit van de alternatieve modaliteiten.</p> <p>Niet alle scheepstypen zijn even gevoelig voor afgenomen waterdiepten. Hieronder is een overzicht van de verdeling van de Nederlandse binnenvaartvloot door de jaren heen (CBS, 2023).</p> <table border="1" data-bbox="507 1845 1404 1991"> <thead> <tr> <th>Onderwerp</th> <th>1997</th> <th>1998</th> <th>1999</th> <th>2000</th> <th>2001</th> <th>2002</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aantal schepen   Diepgangklasse in decimeter   Tot 10 dm</td> <td>146</td> <td>175</td> <td>155</td> <td>141</td> <td>122</td> <td>119</td> </tr> <tr> <td>Aantal schepen   Diepgangklasse in decimeter   10 tot 15 dm</td> <td>122</td> <td>120</td> <td>115</td> <td>125</td> <td>118</td> <td>106</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>9</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Onderwerp	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Aantal schepen   Diepgangklasse in decimeter   Tot 10 dm	146	175	155	141	122	119	Aantal schepen   Diepgangklasse in decimeter   10 tot 15 dm	122	120	115	125	118	106		1	9	3	8	1	3
Onderwerp	1997	1998	1999	2000	2001	2002																							
Aantal schepen   Diepgangklasse in decimeter   Tot 10 dm	146	175	155	141	122	119																							
Aantal schepen   Diepgangklasse in decimeter   10 tot 15 dm	122	120	115	125	118	106																							
	1	9	3	8	1	3																							

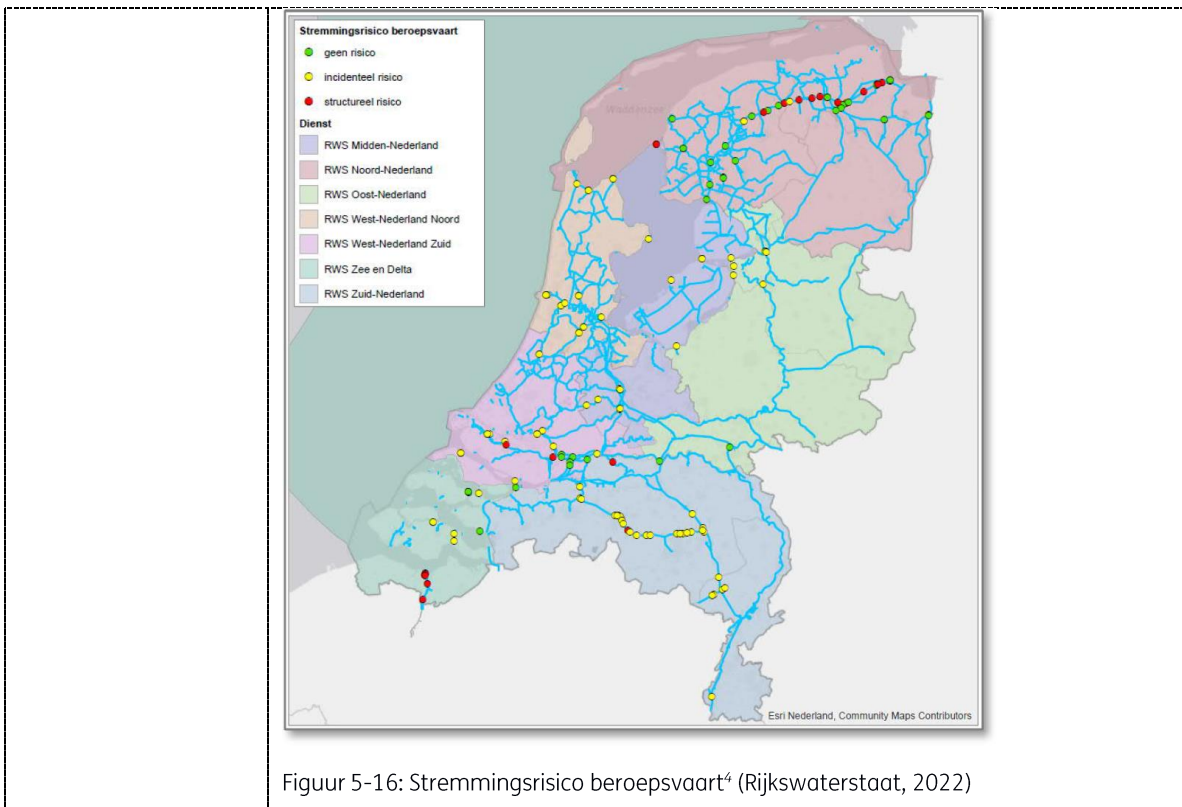
Aantal schepen Diepgangklasse in decimeter 15 tot 20 dm	666	659	658	727	807	694
Aantal schepen Diepgangklasse in decimeter 20 tot 25 dm	239	167	167	159	141	136
Aantal schepen Diepgangklasse in decimeter 25 tot 30 dm	2	0	3	2	0	7
Aantal schepen Diepgangklasse in decimeter 30 tot 35 dm	277	259	254	245	247	243
Aantal schepen Diepgangklasse in decimeter 35 dm en meer	3	5	0	2	3	8
Aantal schepen Diepgangklasse in decimeter 30 tot 35 dm	642	644	700	733	821	864
Aantal schepen Diepgangklasse in decimeter 35 dm en meer	437	438	447	439	527	566

Ook bestaat er een onderscheid in gevoeligheid in type getransporteerd product. (Rijkswaterstaat, 2022)



Figuur 5-15: hitterisico's per deelsector

Ook de gevoeligheid van de vaarwegen onderling varieert. (Rijkswaterstaat, 2022), (Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving, 2021). Hieronder is op een kaart respectievelijk weergegeven wat de kans op het optreden van stremmingen is en op welke plekken in het hoofdvaarwegennet wordt verwacht dat knelpunten zullen ontstaan bij een klimaatscenario met hoge gevolgen.



Figuur 5-16: Stremmingsrisico beroepsvaart<sup>4</sup> (Rijkswaterstaat, 2022)

<sup>4</sup> De rode, gele en groene bolletjes geven de gevoeligheid aan van individuele bruggen voor uitzettingsproblemen bij hitte met stremming van de binnenvaart tot gevolg.





<p><b>Adaptatiecapaciteit</b></p>	<p>Het programma ‘ruimte voor de rivier’<sup>5</sup>, alsmede gelieerde programma’s als het programma Maaswerken, zijn primair gericht op bescherming tegen te hoge waterstanden. Dit programma richt zich onder meer op het vergroten van de waterafvoerende en -bergende capaciteit van de Nederlandse rivieren. Hoewel deze effecten niet in de focus staan van dit programma, bieden met name de waterbergende maatregelen wellicht kansen om zowel risico’s voor extreem hoge als extreem lage waterstanden te verminderen.</p> <p>Ook worden experimenten gedaan met nieuwe maatregelen voor waterbeheersing, zoals het aanleggen van langsdammen, die gunstige effecten lieten zien zowel bij hoog als bij laag water en zowel voor de scheepvaart als de natuur. (Deltares, 2021)</p> <p>Verder wordt er onderzoek gedaan in het kader van de topsectoren naar de mogelijkheden van multi-modal resilience (topsector logistiek, 2023)<sup>6</sup></p> <p>Er is al beleid actief en verder beleid in ontwikkeling die het klimaatbestendig maken van het hoofdvaarwegennet betreft. Reeds genomen maatregelen omvatten onder andere:</p> <p>Vergroten bewustwording en kennis:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Publicatie van de stresstesten RWS in de Klimateffectatlas.</li> <li>• Meer aandacht voor klimaatadaptatie in de update van de MIRT-Spelregels.</li> <li>• Klimaatadaptatie opgenomen bij de afwegingen in het kader van Integrale MobiliteitsAnalyse (IMA), de opvolger van de Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (NMCA).</li> <li>• Internationaal kenniscentrum ‘Global Center on Adaptation’ opgezet, in samenwerking met de Verenigde Naties.</li> </ul> <p>Actualiseren handreikingen voor Aanleg en voor Vervanging en Renovatie (VenR):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spelregels Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT).</li> <li>• Handreiking verduurzaming MIRT.</li> <li>• Handreiking Energie en Klimaat MIRT.</li> <li>• Handreiking verduurzaming VenR</li> </ul> <p>(Ministerie van IenW, 2022)</p>
-----------------------------------	---

<sup>5</sup> Voor meer informatie, zie bijvoorbeeld [Ruimte voor de rivieren | Rijkswaterstaat](#)

<sup>6</sup> Dit betreft onderzoek naar de mogelijkheden om het vervoer zo in te richten dat vervoersstromen eenvoudig naar een andere wijze van vervoer kunnen uitwijken, waardoor de gehele vervoersstroom meer weerbaar wordt.

<p><b>Impact</b></p>	<p>In 2018 en 2022 was er sprake van beperking in de vervoerscapaciteit van de binnenvaartsector door droogte. Over de impact van 2018 is een economische analyse gedaan die als uitkomst had dat de binnenvaartsector, ondanks gestegen kosten en gedaalde tonkilometers, een nettowinst van 95 miljoen euro te danken had aan de droogte door een stijging van de vervoersprijzen. De verladers daarentegen zagen een nettoverlies van 2,8 miljard ten gevolge van de droogte. De totale financiële impact werd daarmee geschat (voor zowel Nederland en Duitsland gezamenlijk) op een verlies van 2,7 miljard. (Streng, Saase, &amp; Kuipers, 2020)</p> <p>Reders houden verder bij het bouwen en aanschaffen overigens wel degelijk rekening met de eigenschappen van de vaarwegen waar deze voor bedoeld zijn. Er kan daarom verwacht worden dat als er vaker stremming optreedt doordat de vaardiepte beperkt is, de reders over zullen gaan op scheepstypen die daarmee beter om kunnen gaan.</p>
<p><b>Cascade-effecten</b></p>	<p>Indien de aanvoerstromen stikken door een vermindering in vervoerscapaciteit over het water, kan dit directe gevolgen hebben voor de bouwsector, brandstofvoorziening, industrie in het oosten van Nederland en in het achterland. Zo werden in 2018 de grote Duitse bedrijven in de chemie- en staalindustrie gemiddeld 72 dagen geconfronteerd met een productieverlies door gebrek aan binnenvaarttransportcapaciteit.</p>
<p><b>Eindimpact: mens en cultuur</b></p>	<p>Geen significante impact. De kans op ongelukken bij het passeren of inhalen van binnenvaartschepen bij laag water zijn wel groter dan bij normale waterstanden.</p> <p>Bij de droogte van 2018 is de binnenvaartsector ingezet om drinkwater te vervoeren voor menselijk en agrarisch gebruik in droge gebieden.</p>
<p><b>Eindimpact: natuur en milieu</b></p>	<p>Droogte in de binnenwateren kan aanzienlijke consequenties hebben voor de natuur; door verminderde doorstroming zullen vervuilingseffecten sterker zijn, de temperatuur van de binnenwateren zelf kan schadelijk zijn voor het waterleven, het zuurstofgehalte van het water kan te laag worden bij hoge temperaturen.</p> <p>Er wordt in het waterbeheer op gestuurd om deze situaties te voorkomen, maar helemaal uitsluiten kun je ze niet, vooral bij zeer extreme en langdurige droogte.</p> <p>De effecten hiervan zijn over het algemeen laag; de natuur herstelt zich weer.</p>

<p><b>Eindriscico: economie</b></p>	<p>Hoog (2.7 miljard in 2018), (Streng, Saase, &amp; Kuipers, 2020)</p> <p>Het effect van droogte in het huidige klimaat en de huidige economie op de vaarkosten is gemiddeld ongeveer 40 mln euro per jaar. Dit is een toename van 2% ten opzichte van de jaarlijkse vaarkosten in een jaar zonder lage rivierafvoeren. Deze kosten zijn een gemiddelde van jaren met grote droogte en jaren waarin geen toename in de vaarkosten door droogte ontstaat. Bij grote droogte is de schade gemiddeld elke 10 jaar ongeveer 100 mln euro, maar dit kan oplopen tot ruim 300 mln euro bij een terugkeertijd van 100 jaar. (Jong, 2020)</p> <p>Bij matige klimaatverandering blijven de afvoeren ongeveer gelijk aan het huidige klimaat, waardoor ook de vaarkosten weinig veranderen. Snelle klimaatverandering kan echter een toename in de gemiddelde vaarkosten geven tot gemiddeld 90 mln euro per jaar. Dit bedraagt dan 4% van de totale berekende vaarkosten. Voor een droog jaar met een terugkeertijd van 10 of 100 jaar nemen de vaarkosten toe tot respectievelijk 230 mln euro en 560 mln euro. (Jong, 2020)</p> <p>Bij hoge economische groei zien we de gemiddelde vaarkosten per jaar toenemen met 20 tot 30% (afhankelijk van welk klimaatscenario bekeken wordt). Doordat de totale groei in de sector veel groter is (56%) ligt het relatieve aandeel van de vaarkosten door droogte op de totale vaarkosten lager. Bij lage economische groei is de toename in vaarkosten door droogte naar verwachting 10% tot 20% (Jong, 2020)</p>																																																																																										
<p><b>Waarschijnlijkheid</b></p>	<p>Afhankelijk van de mate waarin de scheepvaart wordt belemmerd, varieert de waarschijnlijkheid tussen de eens per tien jaar of vaker. Hieronder twee grafieken die de kans aangeven op extreme droogte in Nederland voor de Rijn bij het huidige klimaat (links) en het klimaat WHdry_2050 (rechts). De kleuren geven hierbij de ernst aan van de droogte, de horizontale as de terugkeertijd en de verticale as het gemiddeld aantal dagen per jaar. (Jong, 2020)</p> <table border="1"> <caption>Data for Figure 5-18: debietverwachting Rijn</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">Terugkeertijd</th> <th colspan="6">Karakteristieke jaren - Ref</th> <th colspan="6">Karakteristieke jaren - WHdry_2050</th> </tr> <tr> <th>Tot 700 m³/s</th> <th>700 tot 850 m³/s</th> <th>850 tot 1020 m³/s</th> <th>1020 tot 1400 m³/s</th> <th>1400 tot 1800 m³/s</th> <th>Groter dan 1800 m³/s</th> <th>Tot 700 m³/s</th> <th>700 tot 850 m³/s</th> <th>850 tot 1020 m³/s</th> <th>1020 tot 1400 m³/s</th> <th>1400 tot 1800 m³/s</th> <th>Groter dan 1800 m³/s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>350</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>62</td> <td>141</td> <td>187</td> <td>0</td> <td>34</td> <td>114</td> <td>183</td> <td>185</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>0</td> <td>15</td> <td>69</td> <td>179</td> <td>281</td> <td>341</td> <td>0</td> <td>70</td> <td>120</td> <td>212</td> <td>250</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0</td> <td>32</td> <td>112</td> <td>208</td> <td>319</td> <td>341</td> <td>0</td> <td>120</td> <td>190</td> <td>316</td> <td>337</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>Gemiddeld</td> <td>0</td> <td>20</td> <td>78</td> <td>151</td> <td>208</td> <td>341</td> <td>0</td> <td>47</td> <td>117</td> <td>185</td> <td>222</td> <td>350</td> </tr> </tbody> </table>	Terugkeertijd	Karakteristieke jaren - Ref						Karakteristieke jaren - WHdry_2050						Tot 700 m³/s	700 tot 850 m³/s	850 tot 1020 m³/s	1020 tot 1400 m³/s	1400 tot 1800 m³/s	Groter dan 1800 m³/s	Tot 700 m³/s	700 tot 850 m³/s	850 tot 1020 m³/s	1020 tot 1400 m³/s	1400 tot 1800 m³/s	Groter dan 1800 m³/s	1	0	0	0	0	0	350	0	0	0	0	0	350	2	0	0	0	62	141	187	0	34	114	183	185	350	10	0	15	69	179	281	341	0	70	120	212	250	350	100	0	32	112	208	319	341	0	120	190	316	337	350	Gemiddeld	0	20	78	151	208	341	0	47	117	185	222	350
Terugkeertijd	Karakteristieke jaren - Ref						Karakteristieke jaren - WHdry_2050																																																																																				
	Tot 700 m³/s	700 tot 850 m³/s	850 tot 1020 m³/s	1020 tot 1400 m³/s	1400 tot 1800 m³/s	Groter dan 1800 m³/s	Tot 700 m³/s	700 tot 850 m³/s	850 tot 1020 m³/s	1020 tot 1400 m³/s	1400 tot 1800 m³/s	Groter dan 1800 m³/s																																																																															
1	0	0	0	0	0	350	0	0	0	0	0	350																																																																															
2	0	0	0	62	141	187	0	34	114	183	185	350																																																																															
10	0	15	69	179	281	341	0	70	120	212	250	350																																																																															
100	0	32	112	208	319	341	0	120	190	316	337	350																																																																															
Gemiddeld	0	20	78	151	208	341	0	47	117	185	222	350																																																																															

Figuur 5-18: debietverwachting Rijn huidig en bij klimaatscenario 'droog' in 2050

<b>Kantelpunten</b>	Verwacht mag worden dat, indien regelmatig(er) terugkerende droogte tot gevolg heeft dat vervoer per binnenvaart onbetrouwbaar wordt geacht, de afnemers in het achterland zullen overschakelen naar andere modaliteiten, of, indien dit niet mogelijk of economisch haalbaar blijkt, hun activiteiten zullen stopzetten of verplaatsen. Dit kan belangrijke economische consequenties hebben voor de Rotterdamse haven en de Nederlandse economie. Van afnemers die zijn gestopt, verplaatst of overgeschakeld op een andere modaliteit wordt verwacht dat deze niet snel weer terug zullen schakelen op vervoer per binnenvaart.
---------------------	--

<b>Context</b>	
<b>Bestuurlijke situatie</b>	<p>In Nederland wordt bij (dreigend) watertekort een landelijk samenwerkingsverband van partijen actief, waaronder de landelijke coördinatiecommissie waterverdeling (LCW) (rijkswaterstaat, 2022). Focus van deze commissie is de verdeling van beschikbaar zoet water over de partijen die hieraan behoefte hebben, niet de regulering van de waterstanden in de rivieren, maar de besluiten die hier genomen worden hebben wel effect op deze waterstanden.</p> <p>Recentelijk is een initiatief gestart om de plannen op het gebied van o.a. toekomstbestendige vaarwegen om te zetten in actie met de oprichting van de zogenaamde ‘binnenvaarttafel’ (binnenvaartkrant, 2023).</p>
<b>Samenhang met andere transities en beleid</b>	<p>De druk op het gebruik van de ruimte in Nederland neemt toe en wordt verwacht nog verder toe te nemen (Mobiliteitsplatform, 2023). Dit zal leiden tot situaties waarin keuzes gemaakt moeten worden tussen maatregelen die noodzakelijk zijn voor het klimaatbestendig maken van de binnenvaarwegen en andere belangen.</p>
<b>Internationale aspecten</b>	<p>Onze binnenvaart is van groot belang voor de Duitse industrie (Streng, Saase, &amp; Kuipers, 2020).</p> <p>De toevoer van water naar Nederland is mede afhankelijk van het handelen (of gebrek hieraan) van bovenstroomse landen. Er bestaan formele overlegorganen waarin de internationale aspecten van rivierbeheer worden besproken (Informatiepunt leefomgeving, 2024). Concrete maatregelen voor internationaal waterbeheer ten behoeve van klimaatadaptatie zijn hierin echter nog niet gerealiseerd. Wel zijn er door de jaren heen initiatieven om internationaal kennis te delen op het gebied van waterbeheer (Ministerie van IenW, 2022).</p>

<p><b>Maladaptatie en/of 'lock-ins'</b></p>	<p>Afhankelijk van de implementatie van het type maatregelen ten behoeve van het voorkomen van negatieve effecten van hoogwater in programma's als 'ruimte voor de rivier' zullen deze een positieve of negatieve bijdrage gaan hebben aan de kans en/of gevolgen van het optreden van lage waterstanden.</p> <p>Het transport van goederen naar Duitsland via Rotterdam stelt hoge eisen aan de capaciteit en betrouwbaarheid van de Nederlandse rivieren voor het gebruik door de binnenvaart. Dit vergt hoge investeringen die zich terug moeten verdienen, wat het overwegen van alternatieve mogelijkheden (andere modaliteiten, vervoer via buitenlandse havens, ...) lastig maakt.</p>
<p><b>Aanknopingspunten voor adaptatiebeleid</b></p>	<p>Mogelijkheden voor adaptatie aan vaker optredende droogte staan beschreven in (Jurjen de Jong, 2021)</p>

<b>Kwaliteitsborging</b>	
<b>Transparantie, aggregatie en afbakening</b>	<p>Voor de afbakening van de infrastructuur die is meegenomen binnen de subsector 'binnenvaart' is de volgende afbakening gehanteerd:</p> <p>Hieronder valt de infrastructuur in en om de binnenwateren teneinde deze veilig bevaarbaar te houden, waaronder:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De binnenvaarwegen zelf, met de beschoeiing, kribben, bebording, signalering;</li> <li>• De infrastructuur in inlandige havens, waaronder ankerplaatsen, kades en steigers, signalering en laad- en losterminals;</li> <li>• Sensoren die noodzakelijk zijn voor het veilig en operationeel houden van het scheepvaartverkeer in de binnenwateren (waaronder radar, radiocommunicatiesystemen, AIS);</li> <li>• Kunstwerken (zoals sluizen, bruggen, aquaducten, gemalen, stuwen en keringen).</li> </ul> <p>Het onderzoek is uitgevoerd door middels desk-top research alle relevante beschikbare wetenschappelijke of inhoudelijk aantoonbaar onderbouwde documenten te zoeken. Waar deze onvoldoende aangrijpingspunten boden voor het komen tot een oordeel, is de kennis aangevuld met niet wetenschappelijk, maar wel betrouwbare bronnen (zoals krantenartikelen of Wikipedia). Tenslotte is de verzamelde informatie verder aangevuld en gevalideerd door een aantal interviews met inhoudelijk deskundigen.</p>
<b>Kennishiaten</b>	<p>Voor dit onderzoek zijn de volgende kennishiaten geïdentificeerd:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De huidige klimaatadaptatie maatregelen van de binnenvaarwegen zijn met name gericht op het voorkomen van overstromingen. Tot in hoeverre voorkomen van droogte hierin meegenomen wordt en meegenomen kan worden, is niet bekend.</li> <li>• Voor de maatschappelijke en cascade-effecten van verstoring of stremming van de binnenvaart zijn geen bronnen gevonden.</li> </ul>

<p><b>Onzekerheid en betrouwbaarheid</b></p>	<p>Voor de voorspelling hoe het risico op droogte zich zal ontwikkelen in de toekomst, bestaan meerdere betrouwbare modellen die allen een stijging laten zien. De mate van voorspelde stijging varieert, daar deze o.a. afhankelijk is van een aantal factoren die zich nog moeten realiseren (zoals de mate van stijging van het CO<sub>2</sub> gehalte van de lucht).</p> <p>De effecten van het toenemen van droogte op de binnenvaart zijn nu al in toenemende mate merkbaar, en deze zijn onder de huidige omstandigheden dus zeker en betrouwbaar. Hieronder begrepen is ook de impact van het verminderen of wegvallen van vervoer per binnenvaart voor de afnemers (met name in Duitsland). De economische effecten van langdurige droogte zijn uitvoerig en betrouwbaar geanalyseerd en beschreven. Onbekend is of en wanneer er een kantelpunt bereikt zal worden waarbij transport per binnenvaart als te onbetrouwbaar bevonden wordt. Dit kan potentieel zeer grote gevolgen hebben voor de economie in Nederland zowel als Duitsland.</p> <p>De mate waarin er in internationaal verband aandacht wordt besteed aan maatregelen om droogte te voorkomen is niet gebaseerd op harde feiten, maar op indrukken van experts en slecht voorspelbare ontwikkelingen in de internationale verhoudingen in de waterhuishouding.</p> <p>De effecten op natuur en milieu zijn gebaseerd op ervaringen en daarmee, hoewel betrouwbaar, niet heel degelijk onderbouwd.</p>
<p><b>Expertbeoordeling</b></p>	<p>In dit onderzoek is zeer beperkt gebruik gemaakt van expertbeoordeling; wel is gebruikgemaakt van de input en kennis van onderstaande geïnterviewde personen om nieuwe kennis te ontsluiten en reeds gevonden kennis te valideren.</p>

## Gesprekslijst binnenvaart

- Hendrik van Meerveld, senior consultant structural reliability bij TNO, 13 oktober 2023
- Rolien ven der Mark, senior adviseur-onderzoeker op het gebied van bevaarbaarheid van vaarwegen bij Deltares, 27 oktober 2023



## 6 Bibliografie

- Binnenvaartkennis.nl. (2023, december 6). *Vaarwegenoverzicht*. Opgehaald van Binnenvaartkennis.nl: <https://www.binnenvaartkennis.nl/2021/02/vaarwegenoverzicht-nederland/>
- binnenvaartkrant. (2023, oktober 27). *Binnenvaarttafel moet plannen in actie omzetten*. Opgehaald van Binnenvaartkrant: <https://binnenvaartkrant.nl/binnenvaarttafel-moet-plannen-in-actie-omzetten>
- Bles, T., Marle, M. v., Jong, J. d., & Buren, R. v. (10 maart 2021). *Klimaatgevoeligheid hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en spoor*. Delft: Deltares.
- CBS. (2023, november 10). *Geregistreerde en actieve binnenvloot; 1997 - 2002*. Opgehaald van CBS: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/37761/table?searchKeywords=binnenvaartscheper%20met%20nederlandse%20vlag>
- CBS. (2023, december 6). *Hoeveel wordt er met het openbaar vervoer gereisd?* Opgehaald van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/personen/openbaar-vervoer>
- Deltares. (2021). *Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal - functie vaarweg*. Delft: Deltares.
- Deltares. (2021, 3). *kimnet.nl*. Opgehaald van <https://www.kimnet.nl/publicaties/publicaties/2021/07/01/bijlage-rapport-klimaatverandering-en-het-mobiliteitssysteem>
- Hansen, N. H. (2022, juni 26). *Klopt het dat ... spoorrails verbuigen door de zomerhitte?* Opgehaald van Wetenschap in beeld: <https://wibnet.nl/transport/treinen/klopt-het-dat-spoorrails-verbuigen-door-de-zomerhitte>
- Informatiepunt leefomgeving. (2024, januari). *Internationaal wateroverleg*. Opgehaald van Informatiepunt leefomgeving: <https://iplo.nl/thema/water/beleid-regelgeving-water/internationaal-wateroverleg/>
- Jong, J. d. (2020). *Stresstest Droogte Rijntakken - Impact*. Delft: Deltares.
- Jurjen de Jong, R. v. (2021). *KBN - Stresstest droogte - Mogelijke maatregelen*. Delft: Deltares. Opgehaald van <https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/4563/11205274-004-bgs-0015-v1-0-kbn-stresstest-droogte-mogelijke-maatregelen-def.pdf>
- Klimaatadaptatie Nederland*. (sd). (Kennisportaal Klimaatadaptatie) Opgeroepen op 8 10, 2023, van <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/infrastructuur/spoorwegen/>
- Klimaatadaptatie Nederland*. (sd). (Kennisportaal Klimaatadaptatie) Opgeroepen op 8 10, 2023, van <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/infrastructuur/wegen/>
- Klimaatadaptatie Nederland*. (sd). (Kennisportaal Klimaatadaptatie) Opgeroepen op 8 10, 2023, van <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/infrastructuur/binnenvaart/>
- Klimaatadaptatie, N. (sd). Opgehaald van <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/wateroverlast/verandert-neerslag/#:~:text=Meer%20dan%2050%20millimeter%20neerslag%20in%20een%20uur%20en%20100,eens%20per%20100%20jaar%20voor.>
- KNMI. (2018, juli 13). *Extreme hitte in Nederland*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/extreme-hitte-in-nederland>
- KNMI. (2021). *KLimaatsignaal '21*. De Bilt: KNMI.
- KNMI. (2023, september 30). *Hittegolven*. Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/lijsten/hittegolven>
- KRO-NCRV. (2023, maart 11). *Een op de vier huishoudens volledig aangewezen op openbaar vervoer? Dat ligt wel wat genuanceerder*. Opgehaald van Pointer: <https://pointer.kro-ncrv.nl/een-op-de-vier-huishoudens-volledig-aangewezen-op-openbaar-vervoer-dat-ligt-wel-wat-genuanceerder>

- Mark, R. v., Dorst, H., Boer, W. d., & Slob, A. (2022). *Robust hinterland connections in times of drought and heat*. Den Haag: NWO-project “Extreme droughts and the Dutch water sector: impacts and adaptation”.
- Ministerie van IenW. (2022). *Aanpassen aan klimaatverandering - duurzaamheidsverslag 2022*. IenW. Opgehaald van <https://magazines.rijksoverheid.nl/ienw/duurzaamheidsverslag/2023/01/klimaatadaptatie>
- Ministerie van IenW. (2022). *Uitvoeringsagenda Klimaatbestendige Netwerken*. IenW.
- Mobiliteitsplatform. (2023, februari 6). *De druk op openbare ruimte vraagt om structurele oplossingen*. Opgehaald van Mobiliteitsplatform: <https://www.mobiliteitsplatform.nl/artikel/de-druk-op-openbare-ruimte-vraagt-om-structurele-oplossingen>
- NKWK. (sd). Opgehaald van <https://www.waterenklimaat.nl/>
- NS. (2023, december 6). *Spoorkaart 2023: hier te downloaden*. Opgehaald van NS: <https://nieuws.ns.nl/spoorkaart-2023-hier-te-downloaden/>
- PBL. (2023). *NATIONALE KLIMAATRISICOANALYSE 2022 -2026: Uitwerking analysemethodiek*.
- Prorail. (2022). *Hitte*. Opgehaald van Prorail.nl: <https://maps.prorail.nl/portal/apps/sites/#/klimaat/pages/hitte>
- ProRail. (2022). *Hitte*. Opgehaald van Prorail: <https://maps.prorail.nl/portal/apps/sites/#/klimaat/pages/hitte>
- ProRail. (2022). *Klimaatstresstest*. Opgehaald van Prorail Klimaat-effectatlas: <https://maps.prorail.nl/portal/apps/sites/#/klimaat>
- Rijksoverheid. (2022). *Nationale Aanpak Klimaatadaptie gebouwde omgeving*.
- Rijksoverheid. (2023). *Neerslagextremen in NEderland, 1910-2022*. Opgehaald van Compendium voor de Leefomgeving: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0590-neerslag-extremen#:~:text=Maximale%20neerslag%20per%20etmaal%20is,waarde%20van%20alle%20365%20dagen>.
- rijkswaterstaat. (2022, augustus 10). *Bart Vonk: ‘We zorgen dat we het beschikbare water zo goed mogelijk verdelen’*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2022/08/bart-vonk-we-zorgen-dat-we-het-beschikbare-water-zo-goed-mogelijk-verdelen>
- Rijkswaterstaat. (2022). *Klimaatbestendige Netwerken: Stresstest Hoofdvaarwegennet - Deelrapport Hitte*. Den Haag: RWS.
- Rijkswaterstaat. (2023, december 6). *Lobith: waterstanden en afvoeren*. Opgehaald van RWS: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata-en-waterberichtgeving/waterdata/lobith-waterstanden-en-afvoeren>
- Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving. (2021). *Achtergrondrapportage Vaarwegen Integrale Mobiliteitsanalyse 2021*. RWS.
- Rijkswaterstaat. (2022, 03 29). *Uitvoeringsagenda Klimaatbestendige Netwerken*. Opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/03/29/202242087-1-bijlage-bij-kamerbrief-rws-uitvoeringsagenda-klimaatbestendige-netwerken>
- Streng, M., Saase, N. v., & Kuipers, B. (2020). *Economische impact laagwater*. Rotterdam: Erasmus Universiteit.
- SWOV. (sd). Opgehaald van <https://swov.nl/system/files/publication-downloads/r-80-06.pdf>
- topsector logistiek. (2023, november 07). *toepassingsgebied multimodale corridors*. Opgehaald van topsector logistiek: <https://topsectorlogistiek.nl/toepassingsgebieden/multimodale-corridors/>
- Twynstra Gudde. (2021). *Voortgangsrapportage nationale aanpak Vitaal en Kwetsbaar 2020-2021*.
- UK Climate Risk. (2021). *UK Climate Change Risk Assessment (CCRA3)*.
- Wegenwiki. (2023). *Zeer open asfaltbeton*. Opgehaald van Wegenwiki: [https://www.wegenwiki.nl/Zeer\\_open\\_asfaltbeton](https://www.wegenwiki.nl/Zeer_open_asfaltbeton)

WIBnet. (2022, juni 26). *klopt het dat spoorrails verbuigen door de zomerhitte*. Opgeroepen op 08 29, 2023, van Wetenschap in Beeld: <https://wibnet.nl/transport/treinen/klopt-het-dat-spoorrails-verbuigen-door-de-zomerhitte>

wikipedia. (2023, oktober 15). *Geschiedenis van de spoorwegen in Nederland*. Opgeroepen op augustus 29, 2023, van Wikipedia: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Geschiedenis\\_van\\_de\\_spoorwegen\\_in\\_Nederland#Uitbreiding\\_en\\_vernieuwing:\\_infrastructuur\\_en\\_flankerend\\_beleid](https://nl.wikipedia.org/wiki/Geschiedenis_van_de_spoorwegen_in_Nederland#Uitbreiding_en_vernieuwing:_infrastructuur_en_flankerend_beleid)