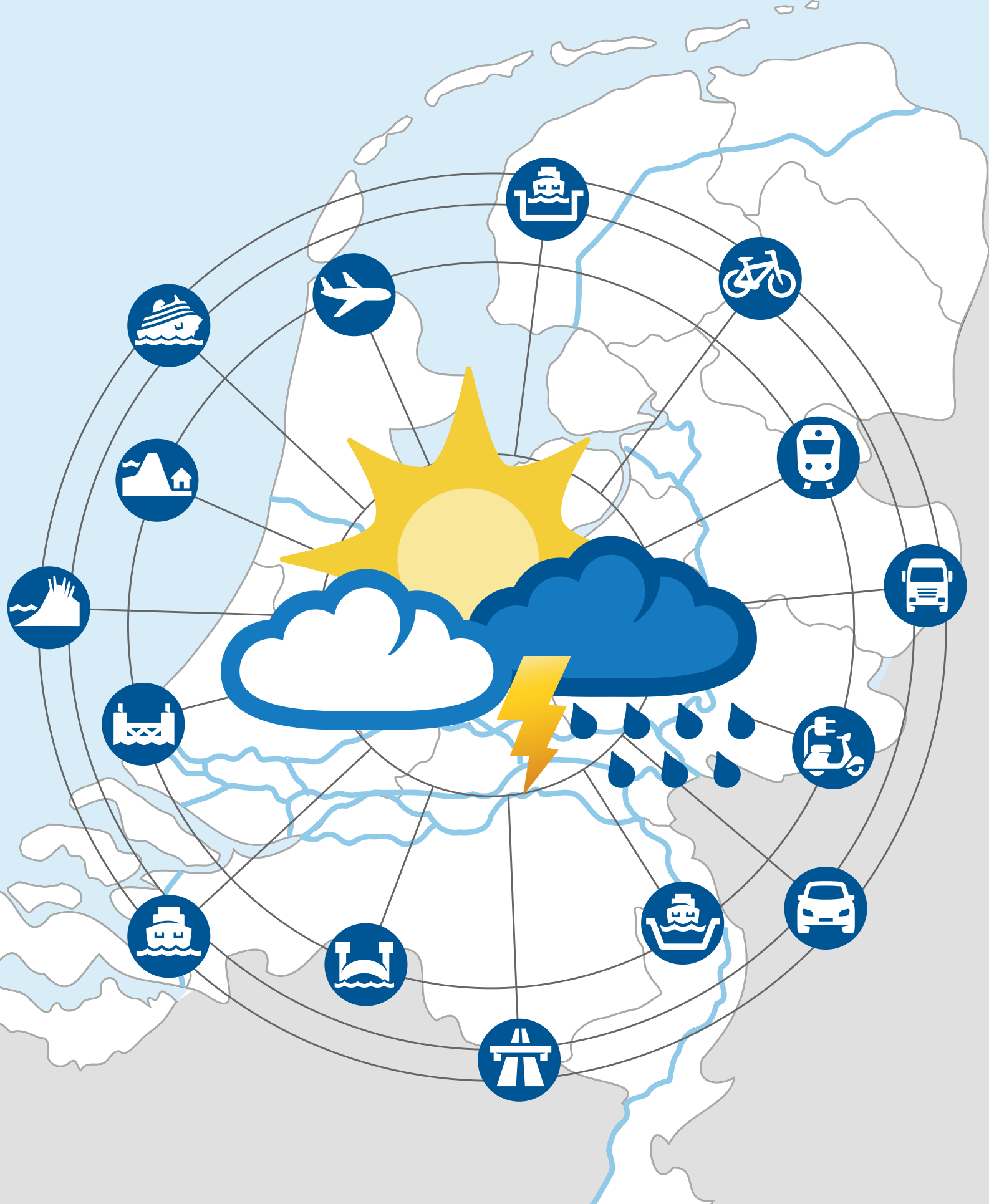
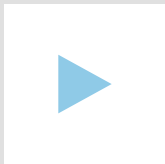




Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat



Klimaat- verandering en het mobiliteits- systeem

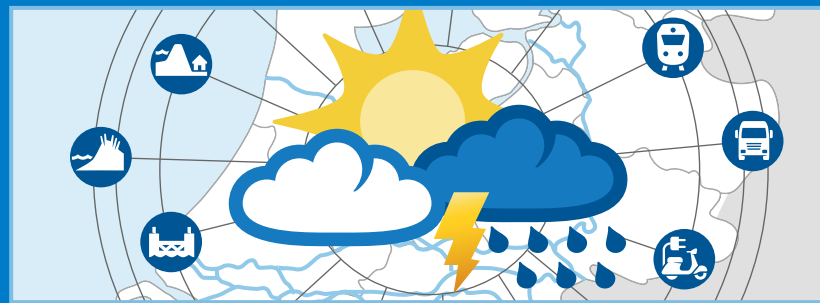


Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid | KiM

Taede Tillema, Saeda Moorman, Martijn van der Horst, Hidde Boonstra en Maarten Kansen

De infrastructuurnetwerken zijn gevoelig voor fysieke schade aan de infrastructuur en verminderde functionaliteit als gevolg van droogte, hitte, hevige neerslag en andere gebeurtenissen vanuit het klimaat. De kans op negatieve effecten neemt in een toekomstig klimaat toe. Soms kan intensief en gepland beheer en onderhoud (B&O) grote en dure herstelmaatregelen aan de infrastructuur voorkomen. Vaak gaat het echter om grootschaliger maatregelen in het domein van vervanging en renovatie (V&R). Het veranderend klimaat beïnvloedt ook het gebruik van infrastructuur en de activiteiten. De meest voor de hand liggende aanpassingen zijn hier: een andere routekeuze ('omrijden') indien mogelijk, vaker reizen of vervoeren (als voer- of vaartuigen door de beperkingen aan de infrastructuur minder zwaar beladen mogen zijn); de reis uitstellen of niet meer reizen (en dan bijvoorbeeld thuiswerken). Ook aanpassingen aan voer- en vaartuigen en modal shift tussen modaliteiten is een optie. De gebruikers van de verschillende typen infrastructuur zullen in de praktijk verschillende afwegingen maken tussen deze opties.

Inhoud



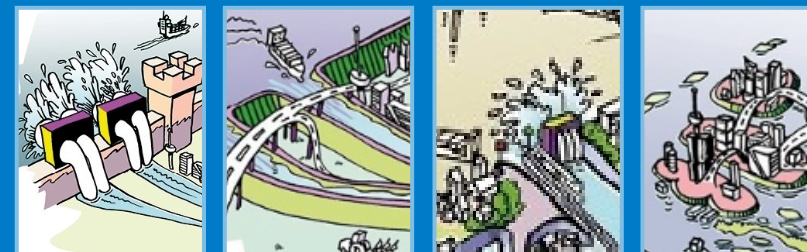
1 Onderzoeksvraag



2 Hoofdinfra- structuurnetwerken



3 Gebruik van infrastructuur



4 Effecten van zeespiegelstijging

1 Onderzoeksvraag

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) heeft op verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) verkend wat een veranderend klimaat betekent voor het mobiliteitssysteem. Het mobiliteitssysteem zien we als de combinatie van de infrastructuur (netwerken), het gebruik daarvan ('mobiliteit'), activiteiten, zoals wonen, werken en recreëren, en de locaties waar infrastructuurgebruikers die activiteiten ondernemen.

Het klimaat is het weer over een langere periode, bijvoorbeeld 30 jaar. Het is niet in één variabele te vangen, maar valt uit te drukken in een reeks indicatoren, zoals neerslag, zonnestraling, windrichting, temperatuur en verdamping en dat per jaar, per seizoen, per maand, per dag enzovoort. Tot het klimaat behoren zowel gemiddelde weerspatronen als extreme weersituaties.

Het klimaat is aan het veranderen. Het klimaat van nu is anders dan dat van 1950-1980 of van 1980-2010, en ook anders dan het klimaat dat bijvoorbeeld in 2030 en later deze eeuw wordt verwacht. Zowel de gemiddelden als de extremen in het klimaat veranderen, doordat de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer sinds de industrialisatie van de samenleving stijgt. Dit is vooral het gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen die met deze industrialisatie gepaard gaat. Deze ontwikkelingen zijn deels al onomkeerbaar. Ook als we snel stoppen met de emissie van broeikasgassen, moeten we ons voorbereiden op klimaatverandering.

De volgende hoofdonderzoeksvraag staat centraal in deze studie:

Hoe beïnvloedt het veranderend klimaat het integrale mobiliteitssysteem en welke mogelijke adaptatiemaatregelen zijn er om de negatieve gevolgen van het veranderend klimaat te beperken?

De hoofdvraag valt uiteen in drie deelvragen:

- 1 *Hoe gevoelig zijn de hoofdnetwerken van wegen, spoorwegen en vaarwegen, met de havens en luchthavens als knooppunten hierin, voor het veranderend klimaat? En wat zijn mogelijke adaptatiemaatregelen?*
- 2 *Welke invloed heeft het veranderend klimaat op het gebruik van de infrastructuur, op de activiteiten en de locaties waar infrastructuurgebruikers die activiteiten ondernemen? En wat zijn mogelijke adaptatiemaatregelen?*
- 3 *Wat betekenen een mogelijke zeespiegelstijging van op termijn 2-4 m en adaptatiestrategieën die Nederland dan kan volgen om niet te overstromen, voor het mobiliteitssysteem?*

We vatten het veranderend klimaat samen in 5 thema's: droogte, wateroverlast, hitte, overstromen, storm & onweer. De eerste 4 zijn de centrale thema's in het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA), het vijfde hebben we toegevoegd vanwege zijn mogelijk grote impact op de spoorinfrastructuur.

De inzichten over de infrastructuur (deelvraag 1) heeft IenW onder meer gebruikt voor de Integrale Mobiliteitsanalyse (IMA-2021). Deze opvolger van de Nationale Markt- en Capaciteitsanalyse (NMCA) heeft een bredere reikwijdte dan de 'traditionele' mobiliteitsknelpuntenanalyse van de NMCA. De IMA bevat bijvoorbeeld ook analyses van opgaven op het gebied van klimaatadaptatie, verkeersveiligheid en emissies van broeikasgassen, fijnstof en stikstofverbindingen.

2 Hoofdinfrastructuurnetwerken

Gevoeligheid hoofdinfrastructuurnetwerken en adaptatiemaatregelen

Lijninfrastructuur, zoals hoofdwegen, hoofdvaarwegen en spoorwegen, is gevoelig voor negatieve effecten die samenhangen met de 5 onderscheiden klimaatthema's: droogte, wateroverlast, hitte, overstromen en storm & onweer. Het gaat bij negatieve effecten bijvoorbeeld om de ongelijke zakking van weg of spoor door bodemdaling en laagwater in de rivieren – beide veroorzaakt door droogte –, of instabiliteit van weg- en spoortaluds – veroorzaakt door extreme neerslag. Hierdoor ontstaat fysieke schade aan de infrastructuur of de functionaliteit van de infrastructuur wordt beperkt. De kans dat de infrastructuur dergelijke negatieve effecten ondervindt, neemt in een toekomstig klimaat toe. Enkele belangrijke bevindingen voor de 3 netwerken, gebaseerd op stresstesten die zijn uitgevoerd door de beheerders (met name Rijkswaterstaat en ProRail), zijn:



Wegen: Ongelijke zakking door droogte

Wegen

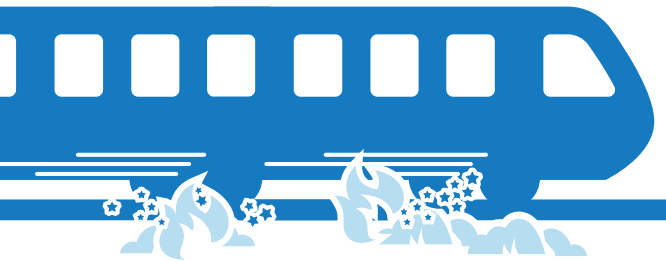
Op het hoofdwegenet vormt ongelijke zakking door bodemdaling als gevolg van droogte een relatief groot risico. Hiermee bedoelen we dat de kans dat ongelijke zakking optreedt maal het gevolg ervan (in termen van herstelkosten voor de beheerder en kosten voor de gebruikers als het netwerk gestremd raakt of minder goed functioneert) groot is. De gevoeligheid voor ongelijke zakking door droogte komt het meest voor in het westen en in het noorden van het land.

Vaarwegen

Het grootste risico voor het hoofdvaarwegennet is droogte, ofwel lage rivierafvoeren. Laagwater door droogte in combinatie met bodemerosie in de rivieren heeft invloed op de bevaarbaarheid van de rivieren (onder andere minder vaardiepte). De Waal heeft, vooral rond Nijmegen, een grote gevoeligheid voor onvoldoende diepte en bodemerosie. Ook voor de gehele IJssel en het meest bovenstroomse traject van de Nederrijn zijn locaties te vinden die gevoelig zijn voor onvoldoende diepte en bodemerosie.



Rivieren: Laagwater door droogte



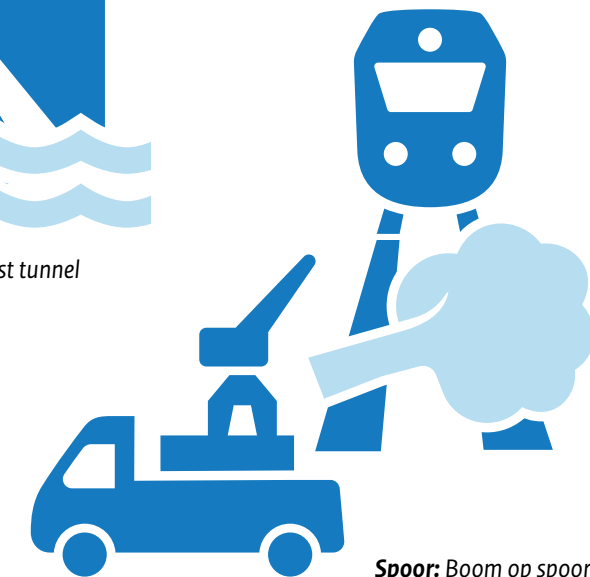
Spoor: Bermbrand

Spoorwegen

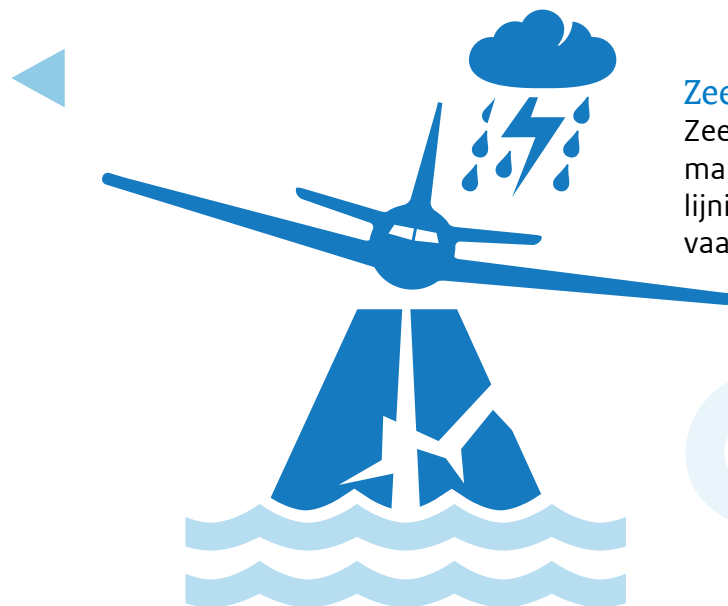
Voor spoorwegen is er niet één type negatief effect op de infrastructuur aan te wijzen dat een duidelijk groter risico heeft dan andere negatieve effecten. Grote delen van het spoornetwerk zijn gevoelig voor negatieve effecten die samenhangen met wateroverlast of hitte, zoals het onderwaterlopen van spoortunnels of het niet meer kunnen sluiten van bruggen die zijn uitgezet door hitte. De gevoeligheid van de spoorinfrastructuur voor negatieve effecten die samenhangen met droogte, zoals verzakkingen, is in de kustgebieden minder groot dan in de rest van het land.



Spoor: Wateroverlast tunnel



Spoor: Boom op spoor



Luchthaven: Wateroverlast en droogte

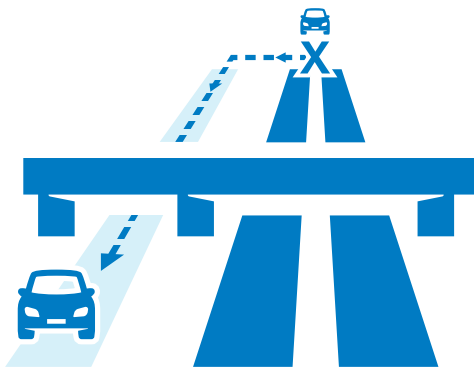
Zee- en luchthavens

Zee- en luchthavens hebben als knooppuntinfrastructuur te maken met dezelfde klimaatgevoeligheden en risico's als de lijninfrastructuur, te meer omdat op deze knooppunten wegen, vaarwegen en spoorwegen bij elkaar komen.

De mogelijke adaptatiemaatregelen zijn divers en verschillen per type negatief effect en per type infrastructuur. Soms kan intensief en vooraf gepland beheer en onderhoud (B&O) grote en dure herstelmaatregelen aan de infrastructuur voorkomen. Een concreet voorbeeld hiervan is het goed onderhouden van het asfalt van wegen om schade te voorkomen. Vaak gaat het echter om grootschaliger maatregelen in het domein van vervanging en renovatie (V&R).

3 Gebruik van infrastructuur en activiteiten

Veel van de negatieve effecten die het klimaat heeft op het gebruik van infrastructuur en op activiteiten, zijn van tijdelijke aard. Veranderingen in het gebruik van infrastructuur zijn daarbij waarschijnlijker dan veranderingen in de activiteiten en activiteitenlocaties. Over het algemeen is een gedragsaanpassing gemakkelijker wanneer het incident tijdig bekend is. Logisch redenerend zijn de meest voor de hand liggende aanpassingen: een andere routekeuze ('omrijden') of een andere vervoerwijze kiezen, vaker reizen of vervoeren (als de beperkingen betekenen dat een voer- of vaartuig minder zwaar beladen mag zijn); de reis uitstellen of niet meer reizen. De gebruikers van de verschillende typen infrastructuur zullen in de praktijk verschillende afwegingen maken tussen deze opties.



Gebruik van de weg

Omrijden is, zeker als de schade aan en verminderde functionaliteit van de infrastructuur vooral lokaal is (bijvoorbeeld 1 weg of 1 brug), een voor de hand liggende adaptatiemaatregel. In veel andere gevallen ligt uitstellen of afstellen van een reis voor de hand; denk aan de situatie dat er hevige regen of storm wordt voorspeld of wanneer bekend is dat een weg tijdelijk is gestremd door een bermbrand of omgewaaide boom op de weg. In plaats van te reizen kunnen mensen dan kiezen voor thuiswerken als dat mogelijk is. Als er beperkingen gelden aan het vervoerd gewicht, bijvoorbeeld bij een weg die verzakt, is het minder zwaar beladen van vrachtwagens ook een optie.

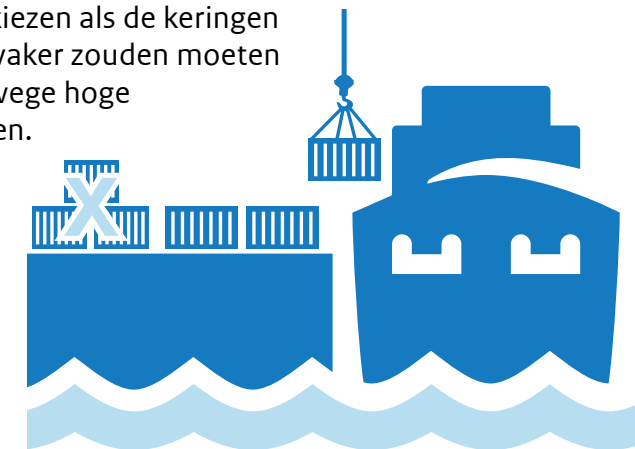


Gebruik van het spoor

Bij het spoor is routekeuze ('omrijden') bij lokale schade of functiebeperking een optie, maar dan vooral voor reizigers en niet voor het spoorgoederenvervoer. Treinreizigers zullen vaak eerder kiezen voor een ander vervoermiddel (bijvoorbeeld bus, fiets, auto/taxi) dan voor een omrijroute per spoor. Omdat er via het spoor minder alternatieve routes zijn dan via de weg, zullen omrijroutes over het algemeen lang zijn. Vanuit de vervoerskant (bijvoorbeeld de NS) is het inzetten van vervangend busvervoer een mogelijke adaptatiemaatregel, maar dit werkt minder goed als een spoortraject onverwacht uitvalt. Het kost namelijk tijd en capaciteit om vervangend busvervoer te regelen.

Gebruik van vaarwegen

Voor de binnenvaart is een verminderde bevaarbaarheid van rivieren door droogte (laagwater) het grootste negatieve effect dat de infrastructuur kan raken. Het kiezen van een andere vaarroute klinkt als een theoretisch interessante optie, maar voor vaarroutes over rivieren bestaat vaak geen goed alternatief. Het minder zwaar beladen van schepen is op de korte termijn de meest voor de hand liggende, en in de praktijk ook meest toegepaste, optie bij droogte. Als periodes met droogte frequenter gaan optreden, zouden ook structurelere wijzigingen kunnen optreden, zoals een modal shift naar het wegtransport. Voor de zeevaart kunnen rederijen (vaker) voor andere zeehavens kiezen als de keringen structureel vaker zouden moeten sluiten vanwege hoge waterstanden.



Gebruik van luchthavens

Als een landingsbaan wordt getroffen door een negatief effect, zoals een verzakking door droogte of een overstroming, is de meest voor de hand liggende adaptatiemaatregel om, als dat mogelijk is, een andere baan te gebruiken voor het opstijgen en landen van vliegtuigen.

Als de capaciteit hierdoor afneemt, kan dit leiden tot langere reistijden. Bij extreme weerscondities, zoals storm of mist, kunnen inkomende vliegtuigen uitwijken naar een andere luchthaven.

Voor vertrekkende vliegtuigen is uitstel van de reis de meest geëigende optie vanuit het perspectief van de vervoerder (wat leidt tot bijvoorbeeld extra vertraging of uitval van een vlucht). Dit is voor de reiziger geen adaptatiemaatregel, omdat deze weinig keuzevrijheid heeft. Het overkomt de reiziger en leidt tot extra reistijd en ongemak. Als de vertraging lang gaat duren, kan een reiziger voor korte vliegafstanden (tot ongeveer 800 km) wel proberen de reis met de trein te maken.



Luchthaven: Uitmijden naar andere luchthaven

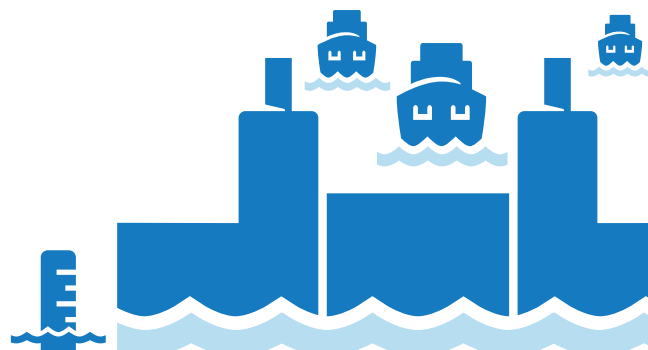
4 Effecten van zeespiegelstijging

De effecten van zeespiegelstijging op het mobiliteitssysteem

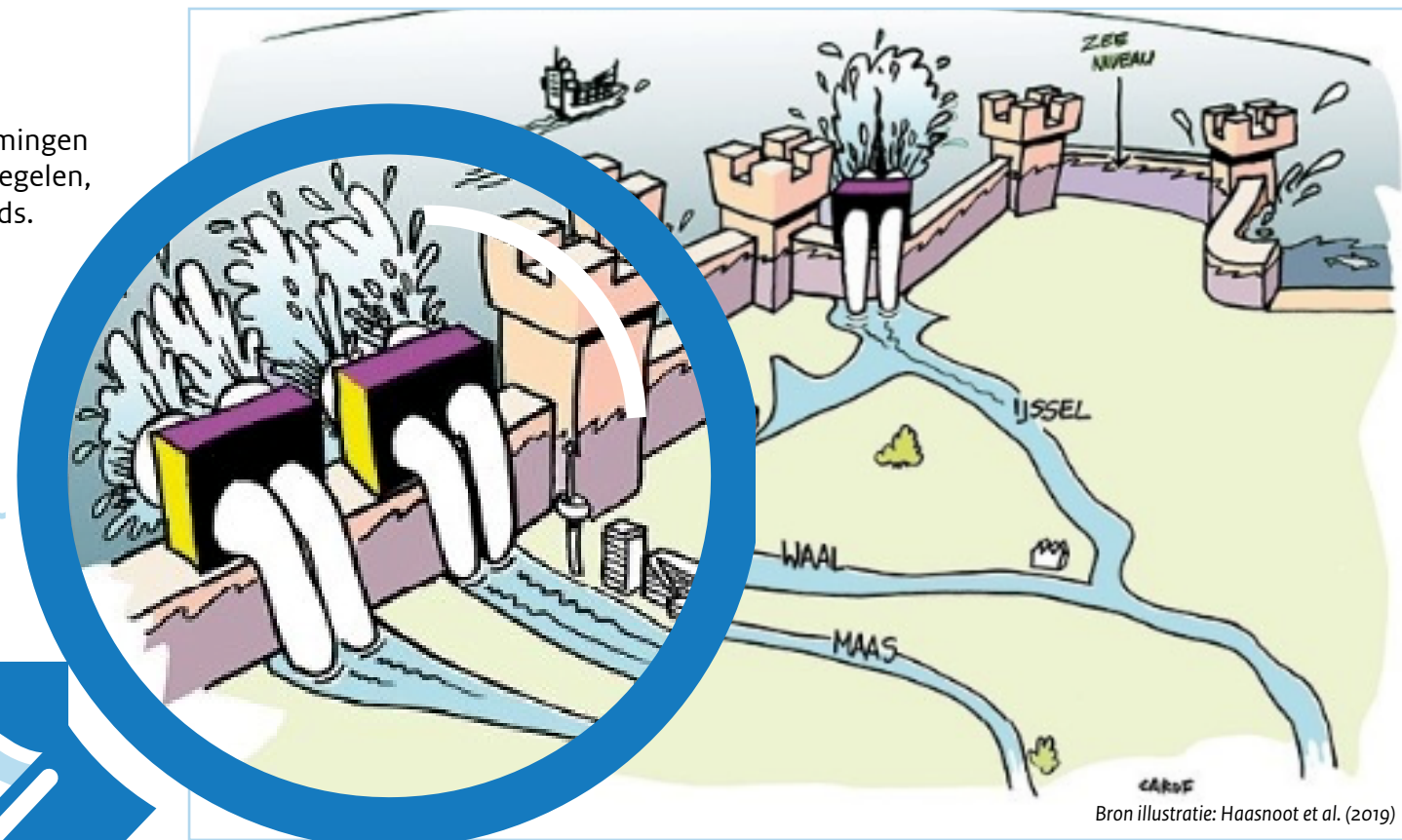
Na 2050 nemen overstromingsrisico's door de zeespiegelstijging naar verwachting versneld toe. In deze studie hebben we verkend welke effecten een sterke zeespiegelstijging heeft op het mobiliteitssysteem. Daarbij nemen we als uitgangspunt een mogelijk grote zeespiegelstijging van +2 tot +4 m in de komende 100 tot 200 jaar en de 4 adaptatiestrategieën die Deltares hiervoor heeft uitgewerkt (Haasnoot et al., 2019). Samen beschrijven deze strategieën de oplossingsruimte voor de Nederlandse delta. Het gaat om:

Beschermen-gesloten

Beschermen van de kust tegen overstromingen en erosie middels harde of zachte maatregelen, zoals keringen, zandsuppletie of wetlands. Rivierarmen worden bij zee afgesloten (met dammen of stormvloedkeringen). Rivierafvoeren worden door pompen en spuisluizen in zee geloosd.



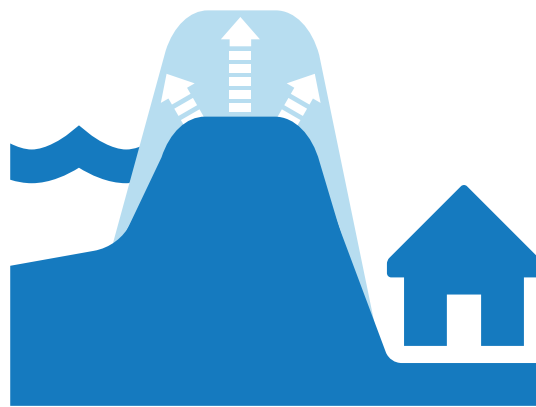
Sluis: Beperkte bereikbaarheid zeehaven



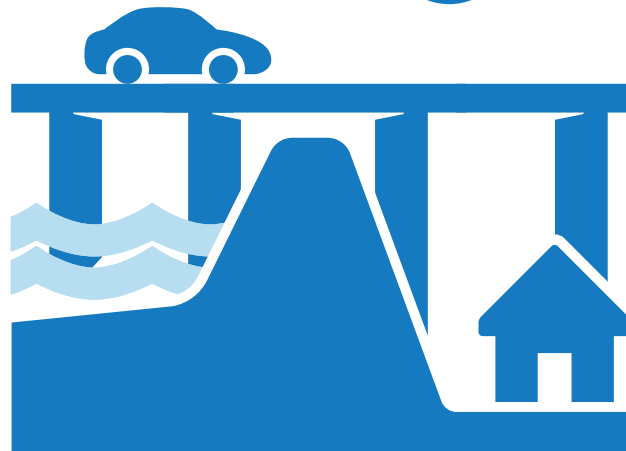
Bron illustratie: Haasnoot et al. (2019)

Beschermen-open

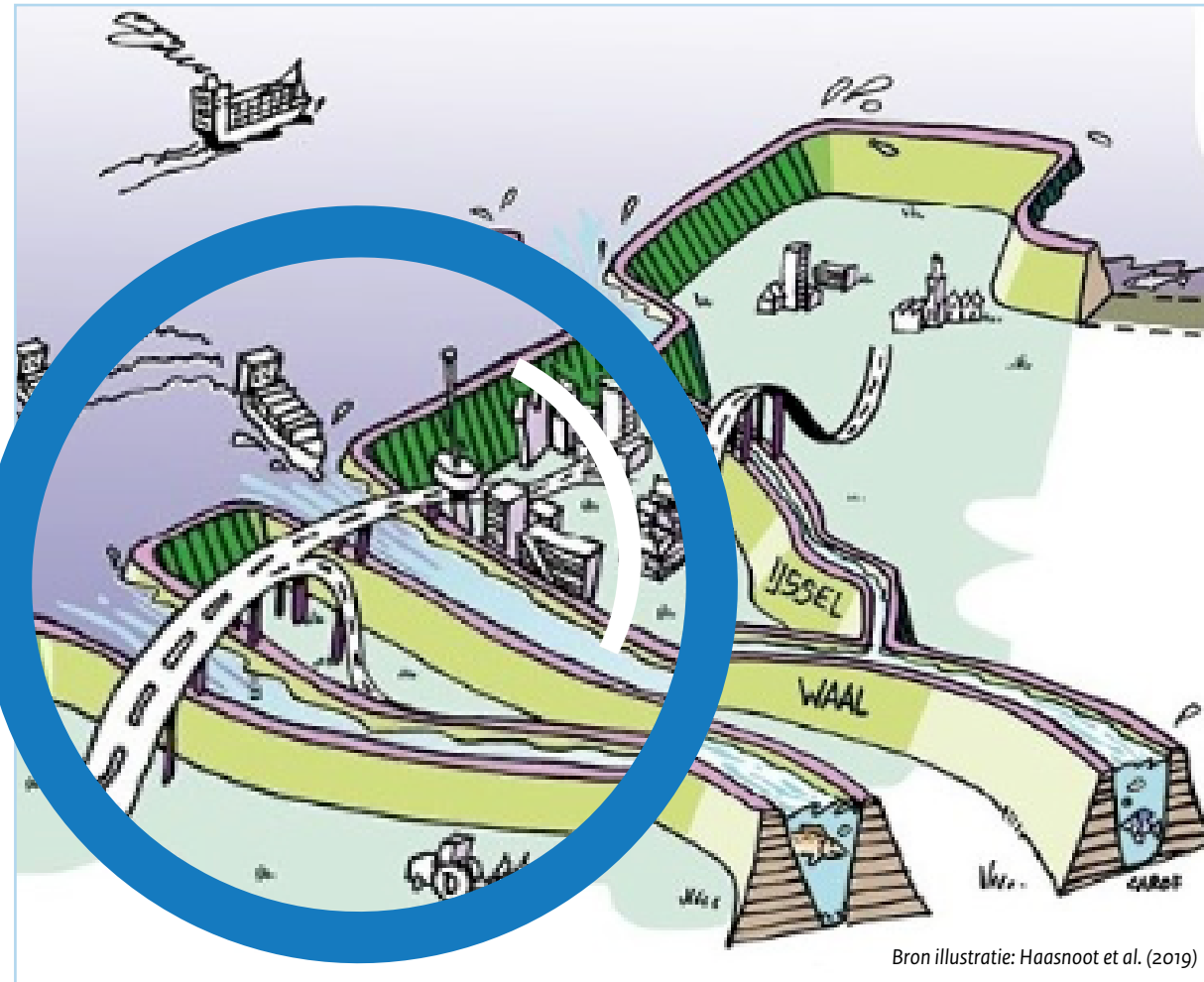
Idem als beschermen-gesloten, maar de rivieren blijven in open verbinding met de zee. Rivierdijken moeten daarom worden opgehoogd.



Dijken: Verhoging tegen wateroverlast



Dijken: Verhoging wegen



Bron illustratie: Haasnoot et al. (2019)

Zeewaarts

Creëren van nieuw, hoger en zeewaarts gelegen eilanden om de delta te beschermen tegen gevolgen van overstroming.



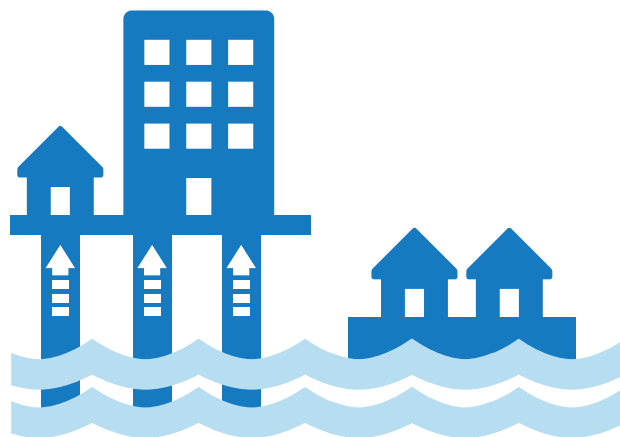
Bron illustratie: Haasnoot et al. (2019)

Meebewegen

Verkleinen van de kwetsbaarheid voor de gevolgen van een hogere zeespiegelstijging door water- of zouttolerant landgebruik (bijvoorbeeld gebouwen op palen), ophogen van land, ruimtelijke planning en migratie van de bevolking.



Wegen: Op palen



Gebouwen en huizen: Op palen en drijvend

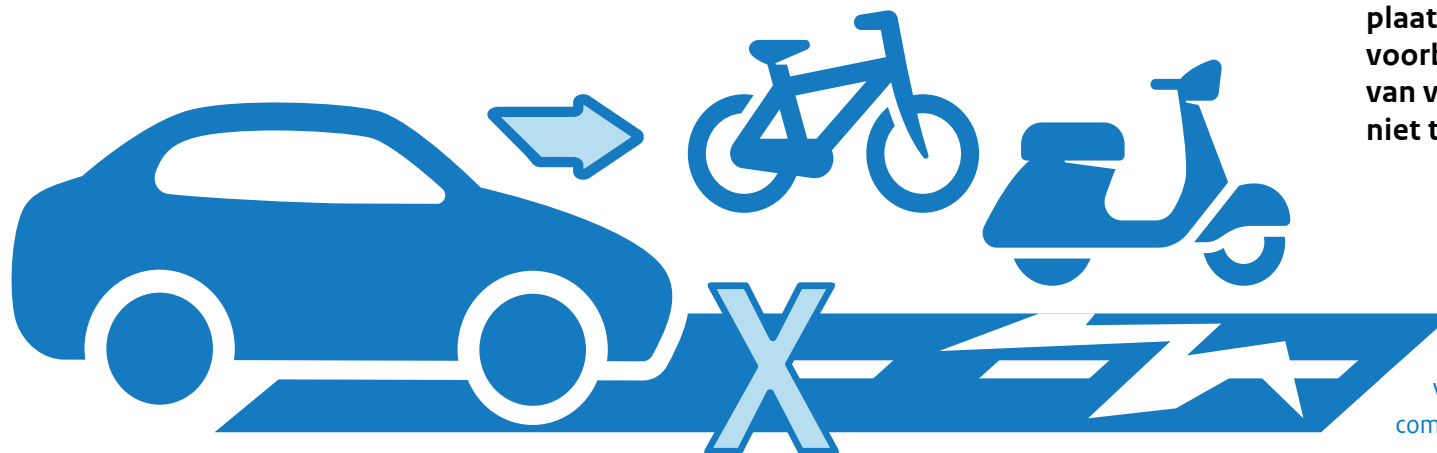


Bron illustratie: Haasnoot et al. (2019)

De strategieën hebben elk hun specifieke effect op activiteiten(locaties) van mensen en bedrijven, op de infrastructuur en op het gebruik daarvan. Daarbij verandert er bij de beide paden van ‘beschermen’ minder aan de ruimtelijke inrichting van Nederland dan bij de strategieën ‘zeewaarts’ en ‘meebewegen’.

De scheepvaart ondervindt bij ‘beschermen’ grote veranderingen omdat hoogwaterkeringen (veel) vaker moeten sluiten naarmate de zeespiegel stijgt. Ook zullen, zeker bij ‘beschermen-open’, de hogere, en dus ook bredere, dijken veel ruimte kosten, maar deze bieden tegelijkertijd nieuwe mogelijkheden voor multifunctioneel ruimtegebruik, bijvoorbeeld voor nieuwe activiteiten of de aanleg van nieuwe infrastructuur.

Bij een keuze voor ‘zeewaarts’ is nieuwe infrastructuur (bruggen, dijken) nodig tussen de nieuwe eilanden onderling en tussen de eilanden en de kust. Ook kunnen eilanden nieuwe ruimte bieden voor de aanleg van zee- of luchthavens. Maar ook op zee is de ruimte schaars. Zo maken andere activiteiten, zoals visserij, scheepvaart en windparken, aanspraak op dezelfde ruimte. De aanleg van de eilanden vergt bovendien extreem veel zand, wat de praktische haalbaarheid van deze optie sterk bemoeilijkt.



De strategie ‘meebewegen’ vereist veel innovatie en hoge investeringskosten, bijvoorbeeld rondom de ontwikkeling van drijvende bebouwing (huizen, steden) en het aanleggen van en bouwen op megaterpen (opgehoogde stukken land). Onduidelijk is wat dit meebewegen betekent voor de infrastructuur: beweegt die ook mee of wordt vaste infrastructuur (weg, spoor) ingeruild voor vervoer over water? ‘Meebewegen’ leidt mogelijk tot meer verplaatsingen over water en tot de aanleg van bruggen tussen (delen van) steden die op terpen zijn gebouwd. Ook de migratie naar de hogere delen van Nederland (het oosten) is een zeer ingrijpende ontwikkeling. Als veel meer Nederlanders verhuizen naar de hoger gelegen delen van het land, leidt dat daar tot een grote dichtheid van bebouwing en meer vraag naar infrastructuur en mobiliteit.

Discussievragen

Tot slot hebben we in deze studie discussievragen voor beleidsmakers geformuleerd. Dit zijn vragen die in de (beleids)praktijk kunnen spelen rondom de relatie tussen klimaatverandering en zeespiegelstijging voor de infrastructuur, het gebruik van de infrastructuur, de activiteiten en de ruimtelijke inrichting.

Een voorbeeld van zo’n discussievraag is: in hoeverre is het effectief en efficiënt om een corridor in één keer klimaatbestendig te maken in plaats van losse, op zichzelf staande locaties aan te pakken? Andere voorbeelden zijn vragen rond afwegingen tussen direct aanpakken van verstoringen of het uitstellen daarvan en afwegingen om al dan niet te differentiëren naar het belang van netwerken.

Referentie: Haasnoot, M., Diermanse, F., Kwadijk, J., Winter, R. de & Winter, G. (2019). Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging – Een verkenning. Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat – staf Delta-commissaris en Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. Delft: Deltares.

Colofon

Dit is een uitgave van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, juli 2021

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)

ISBN/EAN: 978-90-8902-247-9
KiM-21-A007

Auteurs

Taede Tillema, Saeda Moorman, Martijn van der Horst,
Hidde Boonstra en Maarten Kansen

Vormgeving

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
Postbus 20901
2500 EX Den Haag
Telefoon: 070 456 19 65

Website: www.kimnet.nl
E-mail: info@kimnet.nl

Publicaties van het KiM zijn als PDF te downloaden van onze website www.kimnet.nl
U kunt natuurlijk ook altijd contact opnemen met één van onze medewerkers.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen onder vermelding van het KiM als bron.