

Klimaatrisico's infrastructuur

Mogelijkheden klimaatadaptatie



Klimatrisico's infrastructuur

Mogelijkheden klimaatadaptatie

Auteur(s)

Thomas Bles

Lieke Meijer

Rolien van der Mark

Anoek de Jonge

Margreet van Marle

Klimaatrisico's infrastructuur

Mogelijkheden klimaatadaptatie

Opdrachtgever	Planbureau voor de Leefomgeving
Contactpersoon	Marijke Vonk
Trefwoorden	Klimaatadaptatie, klimaatverandering, transportinfrastructuur, klimaatrisico's

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	20-03-2026
Projectnummer	11212760-010
Document ID	11212760-010-ZWS-0001
Pagina's	71
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)

	Thomas Bles Lieke Meijer Rolien van der Mark Anoek de Jonge Margreet van Marle	

Hoofdboodschap

Transportinfrastructuur vormt de ruggengraat van de Nederlandse samenleving. Zonder deze infrastructuur immers geen mobiliteit. De Nederlandse transportinfrastructuur behoort tot de top drie van de wereld. Welvaart en welzijn hangen af van veilige en betrouwbare beschikbaarheid van het hoofdvaarwegennet, hoofdwegennet en spoorwegennetwerk. Tegelijkertijd staat de service van de infrastructuur onder druk door toenemende eisen aan het gebruik, door veroudering van de infrastructuur en door klimaatverandering. In deze studie voor het Planbureau van de Leefomgeving is in beeld gebracht wat de risico's door klimaatdreigingen zijn voor deze typen infrastructuur, hoe de risico's door klimaatdreigingen voor infrastructuur veranderen naar de toekomst en wat de potentie van klimaatadaptatie is.

Wat zijn de grootste klimaatrisico's?

Wegen, spoor- en vaarwegen kunnen door veel verschillende klimaatdreigingen, zoals bijvoorbeeld droogte, hitte of wateroverlast, verstoord worden. De aard en de schaal van deze klimaatrisico's verschillen tussen de modaliteiten en ook tussen de verschillende klimaatdreigingen. De Nederlandse transportinfrastructuur is over het algemeen robuust ontworpen; er zijn normen voor het blijven functioneren bij klimaatdreigingen als regenval of hitte. Pas bij norm-overstijgende weersextremen ontstaan schade en/of verstoringen.

Klimaatrisico's kunnen in verschillende vormen optreden. Hoe voorspelbaar een dreiging is, hoe lang deze aanhoudt, op welke schaal deze optreedt en of er tegelijk andere dreigingen of incidenten plaatsvinden, bepaalt sterk hoe groot de gevolgen zijn. Die gevolgen, in combinatie met de kans dat een klimaatdreiging zich voordoet, bepalen samen het klimaatrisico (risico = kans x gevolg). De aard van de verschillende klimaatrisico's verschilt sterk. Sommige klimaatdreigingen hebben een kleine kans, maar de gevolgen kunnen ontwrichtend zijn. Er zijn ook klimaatdreigingen met een grote(re) kans die tot kleinere (maar nog steeds substantiële) gevolgen kunnen leiden. Droogte, grootschalige neerslag en overstromingen vormen de klimaatdreigingen met de grootste gevolgen, maar met een kleinere kans. Kleinschalige piekneerslag, natuurbranden en hitte komen vaker voor, maar daarvan zijn de gevolgen kleiner.

Transportnetwerken zijn verweven systemen met onderlinge afhankelijkheden. Een verstoring of schade op één locatie, kan daardoor gevolgen hebben in het eigen netwerk, maar kan ook tot verstoringen leiden in andere netwerken of de bredere maatschappij. Daarom moet rekening gehouden met deze systeemwerking van transportnetwerken door cascade-gevolgen en maatschappelijke impact in te schatten. Verstoringen van transportinfrastructuur leiden met name tot gevolgen voor de economie, maar kunnen ook leiden tot onveilige situaties (en daarmee impact op de categorie 'mens'). Ook de categorie 'natuur en milieu' ondervindt gevolgen van verstoringen van de infrastructuur (bijv. door meer brandstofverbruik en emissies door de binnenvaart bij droogte).

Het grootste klimaatrisico voor transportinfrastructuur wordt gevormd door langdurige droogte. Droogte leidt tot grote economische gevolgen als de scheepvaart hinder ondervindt. Maar ook de weg en het spoor zijn gevoelig voor droogte vanwege mogelijke bodemdaling en bermbranden. Ook regenoverstromingen veroorzaken risico's bij weg en spoor. Vooral tunnels en laaggelegen of verdiepte delen van de infrastructuur zijn kwetsbaar. Regenoverstromingen kunnen zich op verschillende manieren voordoen. Langdurige en grootschalige regenval, zoals in Limburg in 2021, kan over een groot gebied tot wateroverlast leiden. De kans op deze regenval is klein, maar de gevolgen voor infrastructuur zijn middelgroot-groot.

Lokale piekbuien treden veel vaker op, maar hun impact blijft meestal beperkt tot een kleiner gebied. Met name voor het spoor zijn langdurige natte periodes een belangrijk klimaatrisico door de gevoeligheid voor instabiliteit. Van alle beschouwde klimaatdreigingen veroorzaken overstromingen door dijkdoorbraken de grootste potentiële gevolgen, maar de kans is klein dat deze overstromingen optreden.

Voor de vaarwegen zijn de risico's situatie ingeschat op basis van directe schade, te weten hogere vaarkosten door verminderde vaardiepte (droogte) of beperkte doorvaarthoogte (hoogwater). Deze risico's betreffen echter maar een klein deel van de totale schade die optreedt als transport over water langdurig verstoord wordt, bijvoorbeeld als gevolg van extreme droogte. Brede maatschappelijke effecten, zoals productievermindering van de industrie, afname in toelieferingen/doorvoeringen richting bouwplaatsen en winkels, kosten voor extra vaarwegonderhoud of kosten door schade aan infrastructuur zijn niet meegenomen in deze analyse. Hiervoor ontbreken gedetailleerde kwantitatieve gegevens. Deze bredere effecten zijn echter wel relevant, omdat deze naar schatting tot miljarden euro's aan schade kunnen leiden. Doordat de onzekerheden in de vaarwegen in de toekomst toenemen, bestaat er een risico dat een ongewenste permanente modal shift ontstaat van watertransport naar wegtransport. Dit is tegengesteld aan de ambitie; wegtransport legt als modaliteit namelijk de zwaarste last op de samenleving, bijvoorbeeld door geluidsoverlast, fijnstof, files en slijtage van de weg.

Belangrijk om te beseffen is dat klimaatdreigingen zich gelijktijdig of vlak na elkaar kunnen voordoen waardoor de gevolgen groter zijn. Ook is er ketenafhankelijkheid van andere vitale functies en zijn er cascade-effecten voor functies die afhankelijk zijn van transport. Daarnaast zijn er black swan gebeurtenissen zoals security risico's tijdens klimaatdreigingen. Deze aspecten zijn in het rapport wel benoemd maar niet verder uitgewerkt.

Hoe veranderen de klimaatrisico's naar de toekomst?






In de toekomst veranderen zowel de kansen op klimaatdreigingen als de gevolgen ervan. Door klimaatverandering kunnen bepaalde gebeurtenissen, zoals hevige regen of hittegolven, vaker voorkomen (toename in kans). Tegelijkertijd kunnen socio-economische ontwikkelingen, zoals bevolkingsgroei, een kwetsbaardere omgeving of een toenemende transportvraag, ervoor zorgen dat de gevolgen van dezelfde gebeurtenis groter worden, ook als de kans gelijk blijft.

In de hoge klimaatscenario's (hoog droog/hoog nat) verschuiven de kansen op het optreden van klimaatdreigingen aanzienlijk. Met name vanaf 2050 richting 2100 nemen de kansen in veel gevallen sterk toe. Voor alle typen infrastructuur is een duidelijke verschuiving zichtbaar naar hogere kansklassen, vooral in de scenario's "hoog droog" en "hoog nat" richting 2100. Daarnaast zorgen verwachte socio-economische ontwikkelingen tot 2050 voor een forse toename van de gevolgen, met name in het "sterke" contextscenario. Doordat zowel de kansen als gevolgen toenemen, nemen de risico's voor alle drie de typen infrastructuur significant toe in deze scenario's.

Voor vaarwegen neemt het droogterisico's sterk toe in de toekomst. In het "hoog droog" scenario (deltascenario Stoom) wordt in 2100 bijvoorbeeld een toename van een factor 10 verwacht in het aantal dagen met een extreem lage afvoer bij Lobith, ten opzichte van de huidige situatie. Voor spoor nemen de risico's door vernatting, klein- en grootschalige regenoverstroming en hitte potentieel sterk toe. Dit komt zowel door klimaatverandering als door socio-economisch ontwikkelingen die meer druk op de ruimte leggen en door de toename van tunnels en verdiepte liggingen. Voor wegen verschuiven onder andere de risico's door klein- en grootschalige regenoverstroming, hitte en droogte potentieel naar hogere risicoklassen.

De risico's die ontstaan door alle verschillende klimaatdreigingen staan hieronder samengevat in een risicomatrix. In deze matrix zijn de klimaatrisico's voor de drie modaliteiten (weg, scheepvaart en spoor) samengenomen. Om tot deze classificering te komen zijn de gevolgen van de klimaatdreigingen uit dezelfde kansklasse bij elkaar opgeteld, voor het totaal van de drie modaliteiten.

Doordat de drie modaliteiten ieder aan een veelvoud van klimaatdreigingen wordt blootgesteld, zijn de totale risico's hoger dan wanneer de klimaatdreigingen afzonderlijk worden beschouwd. Dat maakt klimaatrisico's voor infrastructuur zo relevant. De afzonderlijke klimaatdreigingen mogen dan wellicht tot middelmatige gevolgen leiden, wanneer we deze integraal bekijken zien we dat er grote gevolgen zijn.

klimaatrisico's transportinfra		Kans				
		<1/1000	1/100-1000	1/10-100	1/1-10	jaarlijks
Gevolg	groter					
	midden					
	kleiner					

 huidig
 2050

Figuur 1.1 Risicoprofiel klimaatdreigingen voor de drie transportmodaliteiten weg, spoor en binnenvaart.

Is er iets aan te doen?

Adaptatie aan klimaatverandering is mogelijk, maar vergt strategische keuzes. Onderhoud en renovatie helpen, maar zonder structurele aanpassingen en bredere systeemtransities blijven restrisico's bestaan. Restrisico's zijn niet per definitie problematisch: klimaatadaptatie is altijd een afweging. Het doel van klimaatadaptatie zou niet moeten zijn om alle risico's te willen voorkomen, omdat dit kan leiden tot overinvesteringen en over-dimensionering. Daarom moeten klimaatrisico's worden beoordeeld in relatie tot een acceptabel serviceniveau van de infrastructuur. Dit is nodig om handelingsperspectief voor adaptatie te bieden.

In deze studie onderscheiden we adaptatiemaatregelen in twee hoofdcategorieën: intensiveren en transformeren. Intensiverende maatregelen gaan uit van het doorgaan binnen de huidige systeemgrenzen. Onder intensiverende maatregelen vallen klimaatrobuust onderhoud, renovatie en nieuwbouw, en het versterken van operationele processen. Deze maatregelen verlagen risico's maar lossen ze niet structureel op. Transformerende maatregelen kijken breder naar het transportsysteem. Hieronder vallen het vergroten van netwerkredundantie (bijvoorbeeld door de aanleg, opwaardering of prioritering van andere routes) en maatregelen waarbij gebruikers zich aanpassen, zoals thuiswerken, of varen met een aangepaste vloot. Dit type maatregelen is ingrijpender, maar kan risico's effectiever verminderen.

Integraal gezien zijn de gevolgen van droogte op de vaarwegen het grootst. De benodigde adaptatiemaatregelen zijn ook het meest kostbaar en niet volledig in staat al het restrisico op te lossen. Ook hebben grootschalige maatregelen ten gunste van de scheepvaart vaak negatieve gevolgen op andere domeinen. Daarnaast zal klimaatverandering, naast de directe impact op de bevaarbaarheid, ook *indirect* doorwerken op het transport over water.

Zo hebben klimaatadaptatiemaatregelen voor zeespiegelstijging en zoetwaterbeschikbaarheid negatieve gevolgen voor de bevaarbaarheid. De impact van deze indirecte doorwerking is waarschijnlijk groter dan de directe. Adaptatiemaatregelen die onderzocht worden ten behoeve van bijvoorbeeld de zoetwatervoorziening (aanleg sluizen, afsluiting Nieuwe Waterweg, afwikkeling in haven), hebben grote gevolgen voor de havens, zee- en binnenvaart. Momenteel ontbreekt het nog aan een geschikt afwegingskader waarmee het maatschappelijk belang van transport over water wordt afgewogen tegen het maatschappelijk belang van bijvoorbeeld zoetwaterbeschikbaarheid.

Voor weg en spoor geldt dat, afhankelijk van de middelen (geld en ruimte) klimaatadaptatie redelijk tot goede potentie biedt om de gevolgen van klimaatverandering te beheersen.

Inhoud

	Hoofdboodschap	4
	Inhoud	8
1	Inleiding	11
1.1	Context en doel analyse	11
1.2	Gehanteerde definities	11
1.3	Leeswijzer	12
2	Aanpak	13
2.1	Algemene aanpak	13
2.2	Aanpak keuze klimaatdreigingen	13
2.3	Aanpak opstellen risicomatrices	14
2.3.1	Intensiteit van klimaatdreigingen en robuustheid van infrastructuur bepalen gevolgen	15
2.3.2	Plotten op de huidige risicomatrix	16
2.3.3	Veranderende klimaatrisico's in de toekomst	17
3	Huidig beleid klimaatadaptatie infrastructuur	20
4	Beschrijving risico's hoofdwegennet	21
4.1	Inleiding	21
4.2	Keuzes grootste klimaatrisico's huidig	22
4.3	Inschatten risico's huidig klimaat	23
4.4	Veranderingen naar de toekomst	25
5	Beschrijving risico's hoofdvaarwegennet	26
5.1	Inleiding	26
5.2	Keuze grootste risico's	27
5.3	Klimaatdreiging 'droogte'	27
5.3.1	Klimaatdreiging	27
5.3.2	Blootstelling	27
5.3.3	Kwetsbaarheid	28
5.3.4	Impact	28
5.3.5	Veranderingen naar de toekomst	29
5.3.6	Risicomatrix	30
5.4	Klimaatdreiging 'hoogwater/overstromingen'	33
5.4.1	Klimaatdreiging	33
5.4.2	Blootstelling en kwetsbaarheid	33
5.4.3	Impact	36
5.4.4	Risicomatrix	36
6	Beschrijving risico's spoor	40

6.1	Inleiding	40
6.2	Keuzes grootste klimaatrisico's huidig	41
6.3	Inschatting risico's huidig klimaat	41
6.4	Verandering naar de toekomst	43
7	Extreme gebeurtenissen en keteneffecten	44
7.1.1	Combi-gebeurtenissen	44
7.1.2	Keteneffecten	45
7.1.3	Black swans	46
7.1.4	Mogelijke nieuwe dreigingen	46
8	Klimaatadaptatie	47
8.1	Intensiveren: klimaatrobuust onderhoud	47
8.1.1	Voorbeelden spoor en weg	47
8.1.2	Voorbeelden vaarweg	48
8.2	Intensiveren: klimaatrobuuste renovatie en nieuwbouw	48
8.2.1	Voorbeelden spoor en weg	48
8.2.2	Voorbeelden vaarweg	49
8.3	Intensiveren: versterken van operationele processen	49
8.3.1	Voorbeelden spoor en weg	49
8.3.2	Voorbeelden vaarweg	49
8.4	Transformeren: Versterken van netwerkredundantie	50
8.4.1	Voorbeelden spoor en weg	50
8.4.2	Voorbeelden vaarweg	50
8.4.3	Voorbeelden transportsysteem	50
8.5	Transformeren: adaptatie van gebruikers infrastructuur	50
8.6	Maladaptatie en het voorkomen van desinvesteringen	51
8.7	Integrale afwegingen	52
8.8	Duiding	53
9	Referenties	55
A	Toelichting verandering klimaatrisico's hoofdwegennet	58
A.1	Grootschalige regenoverstroming	58
A.2	Overstroming primair (dijkdoorbraak)	59
A.3	Opdrijven tunnels & lichtgewicht constructies	59
A.4	Kleinschalige regenoverstroming, gevolgen van piekbuien (slecht zicht, plasvorming) en valwinden	60
A.5	Hitte	61
A.6	Droogte leidt tot ongelijke zakking door bodemdaling en droogte leidt tot bermbranden	62
A.7	Hevige sneeuw leidt tot slecht zicht, slipgevaar	62
B	Toelichting verandering klimaatrisico's spoor	64
B.1	Overstroming (dijkdoorbraak)	64

B.2	Grootschalige regenoverstroming leidt tot onderwater staan spoor, tunnels, overwegen	65
B.3	Vernatting	66
B.4	Kleinschalige regenoverstroming: gevolgen van piekbuien voor het spoor	66
B.5	Hitte	67
B.6	Droogte	68
B.7	Storm & onweer	69

1 Inleiding

1.1 Context en doel analyse

De transportinfrastructuur vormt de ruggengraat van de Nederlandse samenleving; zonder goed functionerende infrastructuur komt mobiliteit tot stilstand. Nederland beschikt over een van de best presterende transportnetwerken ter wereld en staat internationaal bekend om zijn efficiënte hoofdvaarwegen, hoofdwegen en spoorverbindingen. Deze netwerken zijn essentieel voor onze economie, het dagelijks verkeer van miljoenen reizigers en de logistieke ketens die Nederland verbinden met Europa en de rest van de wereld. De welvaart en het welzijn in ons land hangen dan ook direct samen met de veilige, betrouwbare en continue beschikbaarheid van deze infrastructuur.

Tegelijkertijd staat de kwaliteit en het functioneren van deze infrastructuur steeds meer onder druk door de gevolgen van klimaatverandering. Extremer weer, zoals hevige neerslag, langere periodes van droogte, hittegolven en overstromingen, beïnvloedt de prestaties, veiligheid en levensduur van infrastructuursystemen. Daarnaast spelen ook veroudering van bestaande assets en de toenemende gebruiksintensiteit een grote rol. Veel onderdelen van de infrastructuur zijn aangelegd in een tijd met andere ontwerpuitgangspunten en worden inmiddels intensiever belast dan oorspronkelijk bedoeld. Hierdoor ontstaat een steeds complexer speelveld waarin continuïteit, veiligheid en duurzaamheid met elkaar in balans moeten worden gebracht.

Het Planbureau voor de Leefomgeving voert een langjarig programma uit voor verkenning en evaluatie van klimaatrisico's en klimaatadaptatiebeleid. Dit programma bestaat uit: 1) analyse van de huidige klimaatrisico's, waarvan de resultaten in 2024 zijn gepubliceerd (van Gaalen et al. 2024); 2) verkenning van toekomstige klimaatrisico's, en 3) evalueren van het klimaatadaptatiebeleid, en het opleveren van een lange-termijnontwerp voor een effectief monitoring- en evaluatiesysteem voor de periode na 2026. Dit programma levert (nieuwe) informatie voor de herijking van de Nationale Klimaatadaptatiestrategie (NAS) en een beoogde herziening van het Deltaprogramma Zoet Water – beide voorzien in 2026.

Deze verkenning wordt voor verschillende sectoren uitgevoerd. In deze rapportage worden de resultaten gepresenteerd van de sector (transport)infrastructuur. Binnen deze sector vallen hoofdvaarwegennet en het hoofdwegennet die worden beheerd door Rijkswaterstaat, en het hoofdspoorwegennet dat wordt beheerd door ProRail.

Voor deze drie modaliteiten worden in deze rapportage de volgende elementen beschreven:

- De huidige risico's door klimaatdreigingen.
- De toekomstige risico's bij gelijkblijvend beleid. De risico's veranderen door een veranderend klimaat en door socio-economische ontwikkelingen.
- De mogelijkheden van adaptatie.

1.2 Gehanteerde definities

In deze rapportage worden de volgende definities gehanteerd.

- **Klimaatdreiging:** (potentieel) schadelijke gebeurtenissen die voortkomen uit extreem weer dat zich gedurende een korte of langdurige periode openbaart. Klimaatverandering kan de kans en intensiteit van een klimaatdreiging veranderen. Klimaatdreigingen kunnen leiden tot maatschappelijke gevolgen of schade aan vitale infrastructuur.
- **Klimaatrisico:** combinatie van kans op gevolgen van een klimaatdreiging vermenigvuldigd met die gevolgen (kans x gevolg).

- **Secundaire dreiging:** Specifieke effecten van klimaatdreigingen. Een secundair effect van de klimaatdreiging droogte is bijvoorbeeld schade aan infrastructuur door bodemdaling. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat een klimaatdreiging op veel verschillende manieren tot effecten met bijbehorende gevolgen kan leiden.
- **Object / asset:** Een infrastructuur-element zoals een brug, een stuk weg, een sluis, etc.
- **Kritiek object:** infrastructuur-objecten die een kritieke rol vervullen in het infrastructuurnetwerk (bijvoorbeeld tunnels, bruggen of sluizen). Bij falen van deze objecten zijn gevolgen aanzienlijk, doordat de netwerkfunctie significant wordt aangetast.
- **Connectie:** Bijvoorbeeld een verbinding van de hoofdvaarweg, een snelweg, of spoorlijn, tussen twee punten. Verschillende objecten / assets vormen met elkaar een connectie.
- **Netwerk:** Een geheel infrastructuurnetwerk zoals het hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet of spoorwegennet. Het netwerk is een combinatie van verschillende connecties.
- **Kwetsbaarheid infrastructuur:** Het onvermogen van infrastructuur(objecten) om een klimaatdreiging te weerstaan. De term **robuustheid** wordt in dit rapport gebruikt als het omgekeerde van kwetsbaarheid. Een kwetsbare asset is niet robuust (en andersom).
- **Klimaatadaptatie:** Het met maatregelen aanpassen aan de feitelijke of verwachte klimaatverandering en de effecten daarvan. Het doel is om schade te beperken, risico's te verminderen, of gunstige kansen te benutten.
- **Intensiteit van de klimaatdreiging:** We gebruiken de term intensiteit om aan te geven wat de grootte is van de klimaatdreiging. Bijvoorbeeld neerslag wordt uitgedrukt in mm/uur en hitte in graden Celsius. Een hogere intensiteit leidt tot hier tot meer neerslag in dezelfde tijdsperiode of een hogere temperatuur.

1.3 Leeswijzer

In dit rapport geven wij eerst, in Hoofdstuk 2, een overzicht van de aanpak hoe we de klimaatrisico's voor de netwerken hebben gedefinieerd. Hierna volgt een hoofdstuk over het huidige klimaatadaptatiebeleid in Nederland. Hoofdstuk 4 tot en met 6 beschrijft de klimaatrisico's voor respectievelijk het hoofdwegennet, het hoofdvaarwegennet, en het spoor. Hierbij wordt telkens eerst gekeken naar de grootste klimaatrisico's per netwerk, waarna deze worden ingeschaald voor huidig en toekomstig klimaat. Hoofdstuk 7 gaat in op de complexiteit van klimaatrisico's, bijvoorbeeld wanneer deze tegelijk gebeuren, ze onvoorspelbaar of zeer extreem zijn, of meerdere sectoren raakt. Tot slot geeft Hoofdstuk 8 duiding aan de maatregelen die genomen kunnen worden om de risico's te mitigeren.

2 Aanpak

2.1 Algemene aanpak

Voor dit onderzoek is een gestructureerde aanpak gevolgd waarin bestaande kennis, expertinzichten en integratie over de drie modaliteiten centraal staan. De resultaten uit eerder onderzoek naar de klimaatbestendigheid van de drie modaliteiten vormen het uitgangspunt. Deze bestaande kennisbasis is vervolgens aangevuld en verdiept op basis van expert judgement van betrokken specialisten uit de verschillende domeinen van de vitale infrastructuur.

De verkregen inzichten zijn geïntegreerd over de drie modaliteiten heen, zodat een samenhangend en modaliteit-overstijgend beeld kon worden gevormd. De resultaten zijn geabstraheerd tot een niveau waarop risico's en potentiële adaptaties op landelijke schaal kunnen worden geëvalueerd. Hierdoor ontstaat een consistent en toepasbaar kader dat zowel op strategisch niveau richting geeft als bruikbaar is voor beleidsontwikkeling. De gehanteerde aanpak sluit daarbij aan bij de Nationale Adaptatiestrategie (NAS). Hiermee worden consistentie en aansluiting geborgd met bestaande nationale kaders voor klimaatadaptatie, en wordt verzekerd dat de analyses bijdragen aan een breed gedragen, toekomstbestendige benadering van klimaatrisico's in de vitale infrastructuur.

2.2 Aanpak keuze klimaatdreigingen

Voor het identificeren van de belangrijkste risico's per modaliteit is gestart vanuit eerder gedefinieerde klimaatdreigingen en uitgevoerde risicoanalyses per modaliteit (Moghtaderi Asr & van der Mark, 2025; Bles et al., 2019; ProRail, 2022&2025; Rijkswaterstaat, 2025). Uit deze studies kwamen gedetailleerde lijsten van specifieke effecten van klimaatrisico's per modaliteit, ook wel **secundaire dreigingen** genoemd, zoals bijvoorbeeld: *'Wateroverlast in de omgeving van de weg door te grote afvoer uit hemelwaterafvoersysteem'*.

Om de klimaatrisico's van de verschillende modaliteiten binnen deze studie goed in te kunnen schatten, zijn aan de secundaire dreigingen inschattingen toegevoegd van een aantal cruciale aanvullende parameters die eerder nog niet expliciet aan bod zijn gekomen (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Aanvullende parameters voor het prioriteren van (secundaire) klimaatdreigingen op transportinfrastructuur.

Parameter	Toelichting
Schaal van de klimaatdreiging	De geografische omvang van de dreiging (lokaal, regionaal, nationaal) bepaalt hoeveel infrastructuurobjecten kunnen worden blootgesteld. De schaal betreft de klimaatdreiging zelf, niet direct de impact. Aanvullende inschattingen van welke infrastructuur wordt blootgesteld (aangrijpingspunt van de dreiging) is nodig om uitval van infrastructuur te bepalen.
Plotseling vs. geleidelijk	Plotselinge dreigingen, zoals extreme buien, laten weinig tijd voor voorbereiding en veroorzaken vaak acute verstoringen. Geleidelijke dreigingen, zoals droogte, bieden meer ruimte voor maatregelen die de impact kunnen beperken.
Aangrijpingspunt van de dreiging	Klimaatdreigingen doen zich op specifieke (kwetsbare) plekken voor op het netwerk. De impact van een klimaatdreiging wordt mede bepaald door de plek binnen het netwerk waar de verstoring optreedt. Hierbij is onderscheid te maken tussen verschillende niveaus van infrastructuur:

Parameter	Toelichting
	<ul style="list-style-type: none"> • Kritieke objecten zoals tunnels, sluisen of bruggen kunnen bij uitval al aanzienlijke gevolgen hebben, zeker wanneer er lang moet worden omgerekend. • Verbindingen of knooppunten, bijvoorbeeld een tak van de hoofdvaarweg, een snelweg (e.g. A4) of specifieke spoorlijn, vormen essentiële schakels in het netwerk. Verstoringen kunnen leiden tot grootschalige omleidingen, vertragingen en logistieke knelpunten. • Netwerkbrede verstoringen ontstaan wanneer meerdere onderdelen tegelijk worden geraakt of wanneer de verstoring zich verspreidt over een groter gebied. Dit heeft de grootste impact op bereikbaarheid en transport.
Significante netwerkverstoring door: verstoring van kritiek objecten of gelijktijdigheid van klimaatdreiging	<ul style="list-style-type: none"> • Netwerkverstoringen kunnen ook op relatief kleine schaal grote gevolgen hebben, vooral wanneer een klimaatdreiging een kritiek object raakt, zoals een brug, tunnel of sluis. Deze objecten vervullen vaak een centrale functie binnen het netwerk en kennen beperkte alternatieven. Uitval leidt dan tot langdurige omreisroutes of vertraging. • Daarnaast kan een significante netwerkverstoring ontstaan wanneer dezelfde klimaatdreiging gelijktijdig op meerdere locaties tot verstoring leidt. Dit kan een cumulatief effect veroorzaken, waarbij het netwerk als geheel ernstig wordt belast. De combinatie van meerdere lokale verstoringen kan zo leiden tot grootschalige ontwrichting van mobiliteit en transport.
Duur onbeschikbaarheid	De duur van de uitval beïnvloedt de ernst van de verstoring. Korte uitval heeft doorgaans beperkte gevolgen, terwijl langdurige uitval kan leiden tot economische schade. De schaal van de verstoring speelt hierin een versterkende rol.

Door bovenstaande aanvullende parameters expliciet te maken, kon per secundaire dreiging een inschatting worden gemaakt van de potentiële impact op de verschillende modaliteiten. Op basis van deze beoordeling zijn de meest relevante secundaire dreigingen geselecteerd en vervolgens gegroepeerd tot bredere categorieën: de **klimaatdreigingen** die worden gehanteerd in deze studie. Klimaatdreigingen zijn (potentieel) schadelijke gebeurtenissen die voortkomen uit het veranderende klimaat of extreem weer, die kunnen leiden tot maatschappelijke gevolgen of schade aan vitale infrastructuur. Denk hierbij aan de gevolgen van extreme neerslag, droogte, hitte of wateroverlast. Door deze aggregatie wordt het mogelijk om op een hoger abstractieniveau uitspraken te doen over verstoringen en risico's voor verschillende modaliteiten, en om consistentie aan te brengen in de beoordeling over de verschillende modaliteiten heen.

De uitwerking per modaliteit vindt plaats in de betreffende hoofdstukken van deze studie. Voor het hoofdwegennet en hoofdspoorwegennet zijn vooral klimaatdreigingen geselecteerd die, afhankelijk van hun schaal en locatie, kunnen leiden tot acute of langdurige verstoringen van bereikbaarheid, met name bij uitval van kritieke objecten of connecties (denk bijvoorbeeld aan overstromingen door primaire of regionale dijkdoorbraken).

Voor het hoofdvaarwegennet zijn met name droogte en hoogwater relevant. Vooral droogte vormt een groot risico omdat het een langzame regionale/nationale dreiging is met een langdurige impact op verbindingen of het netwerk.

2.3 Aanpak opstellen risicomatrices

Nadat de klimaatdreigingen zijn ingeschat, worden deze geplotted op de risicomatrix die door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) wordt gehanteerd in de herijking van klimaatrisico's. Per kans- en gevolgcategorie is ingeschat hoe de klimaatdreigingen zich in de toekomst kunnen ontwikkelen onder een beperkt en sterk risico-verhogend scenario, bij

gelijkblijvend beleid. Daarbij is specifiek gekeken naar mogelijke verschuivingen naar hogere kans- en/of gevolklassen.

Een **klimaatrisico** is altijd een combinatie van kans en gevolg. In een risicomatrix worden risico's weergegeven op basis van de kans van voorkomen en de gevolgen die daarbij optreden. Op die manier kunnen verschillende risico's in één matrix op een objectieve manier met elkaar worden vergeleken. De combinatie van kans en gevolg bepaalt hoe groot het risico is (risico = kans x gevolg).

In deze rapportage worden vijf risicomatrices gepresenteerd voor de huidige klimaatrisico's: één voor het hoofdwegennet (4.3), twee voor het hoofdvaarwegennet (5.3.6) en één voor het hoofdspoorwegennet (6.3). In elke matrix zijn de risico's weergegeven op basis van onderscheiden klimaatdreigingen en de gevolgen voor de transportmodaliteit. De risico's worden benoemd onder de naam van de klimaatdreiging, maar hiervan zijn kans en gevolg ingeschat om het als risico weer te kunnen geven in de matrix. Er is ook een risicomatrix gemaakt die een totaalbeeld geeft van de risico's voor de drie transportmodaliteiten door alle klimaatdreigingen. Hieronder volgt een uitleg van de gehanteerde aanpak voor deze studie.

2.3.1

Intensiteit van klimaatdreigingen en robuustheid van infrastructuur bepalen gevolgen

Klimaatdreigingen kunnen in verschillende vormen en intensiteiten voorkomen, waardoor de impact van een klimaatdreiging kan verschillen. Zo is bijvoorbeeld de impact van neerslag niet altijd hetzelfde: bij een hevige, zeldzame bui kunnen de gevolgen veel groter zijn dan bij een lichte, vaker voorkomende bui. De **ernst van de gevolgen** hangt dus samen met **de intensiteit van de klimaatdreiging** en is daarmee onlosmakelijk verbonden met hoe vaak (of hoe waarschijnlijk) zo'n neerslaggebeurtenis voorkomt (de herhalingsperiode). Toch gaat het in beide gevallen om dezelfde soort klimaatdreiging: neerslag.

Dit heeft ook consequenties voor de gevolgen door het optreden van de klimaatdreiging. De **gevolgen** van een klimaatdreiging hangen namelijk sterk af van twee factoren:

- De **intensiteit van de klimaatdreiging** (bijvoorbeeld hoeveel regen er valt).
- De **robuust- of kwetsbaarheid van de infrastructuur** (hoe goed de infrastructuur bestand is tegen de omstandigheden van de klimaatdreiging).

Als de klimaatdreiging minder intens is, blijven de gevolgen meestal beperkt, zeker als de infrastructuur daarop is ontworpen en goed wordt onderhouden. Bijvoorbeeld: bij een regenbui die gemiddeld eens in de tien jaar op een locatie voorkomt, is het hemelwatersysteem vaak voldoende om het water goed af te voeren. In zo'n geval ontstaan er doorgaans weinig verstoringen. Maar als de dreiging extremer is dan waar de infrastructuur op is ontworpen voor die locatie, zoals bij een bui die maar eens in de tweehonderd jaar voorkomt, kunnen er wel verstoringen optreden. Dit kan dan leiden tot gevolgen zoals water op de weg of uitval van een tunnel.

De gevolgen van een klimaatdreiging zoals neerslag kunnen dus op meerdere manieren in een risicomatrix worden weergegeven, omdat deze een combinatie zijn van de **intensiteit van de klimaatdreiging** enerzijds en de **robuustheid van de infrastructuur** anderzijds. In theorie kan dus voor elke klimaatdreiging een soort 'lijn' worden getekend in de risicomatrix, die laat zien hoe de gevolgen veranderen bij verschillende kansen.

In Figuur 2.1 is dit principe schematisch en illustratief weergegeven voor het hoofdwegennet voor de klimaatdreiging 'kleinschalige regenoverstromingen'. Het oranje vlak laat zien dat de gevolgen van dit type overstroming meestal in de categorie 'kleiner' vallen. Wel is te zien dat de gevolgen iets groter worden naarmate de kans kleiner wordt (wat samengaat met meer intense neerslag).

hoofdwegennet		Kans				
		<1/1000	1/100-1000	1/10-100	1/1-10	jaarlijks
Gevolg	groter					
	midden	kleinschalige regenoverstroming - toekomst				
	kleiner	kleinschalige regenoverstroming - huidig				

Figuur 2.1 Illustratieve risicomatrix hoofdwegennet; theoretisch beeld van weergave klimaatdreigingen in de matrix.

Toch zijn er belangrijke kanttekeningen te plaatsen bij deze weergave in de risicomatrix: (1) De data zijn niet beschikbaar om alle mogelijke combinaties van gevolgen en kansen in te schatten en te onderbouwen. (2) Er ontstaat een schijnnaauwkeurigheid door klimaatdreigingen hoger of lager in klassen in te delen als deze informatie niet goed is vast te stellen. (3) Weergave van alle klimaatdreigingen leidt tot een onoverzichtelijke matrix met overlappende lijnen/vlakken.

2.3.2 Plotten op de huidige risicomatrix

Door de hierboven beschreven afwegingen en beperkingen is er in deze studie voor gekozen om de weergave van de klimaatdreigingen op de PBL risicomatrices te vereenvoudigen op basis van de volgende aanpak (zie Figuur 2.2).

- De kansen en gevolgen van de klimaatdreigingen zijn ingeschat met expert judgement en waar beschikbaar gestaafd met bestaande data en modellen.
- Om schijnnaauwkeurigheid te vermijden worden de klimaatdreigingen geplaatst in een vak van de PBL risicomatrix, maar binnen dit vak wordt niet nader gepositioneerd (bijvoorbeeld: wel in het vak 1 / 1-10 jaar maar niet gespecificeerd: 1/3 jaar). De visuele positionering van de klimaatdreiging op de risicomatrix zegt dus niets over een meer gedetailleerde inschatting van kans of gevolg binnen het vak.
- Kansen zijn ingeschat als de kans dat de klimaatdreiging zich ergens in Nederland op het betreffende infrastructuurnetwerk voordoet met een intensiteit die kan leiden tot de gevolgen in een bepaalde gevolgklasse. Opgemerkt wordt dat de kans dat een klimaatdreiging zich ergens in Nederland voordoet groter is dan dat deze klimaatdreiging zich op een bepaalde plek voordoet.
- Per klimaatdreiging is eerst de hoogst mogelijke gevolgklasse vastgesteld. De klimaatdreiging wordt vervolgens geplott in de desbetreffende gevolgklasse in combinatie met de grootste kans op die gevolgklasse. Het toevoegen van kleinere kansen bij dezelfde gevolgklasse voegt geen waarde toe, omdat dit leidt tot lagere risico's: *risico wordt immers bepaald als het product van kans × gevolg*. Ook zou dat ertoe leiden dat de risicomatrixen onoverzichtelijk worden met teveel weergegeven risico's. We plotten op deze manier het grootste risico.

De gehanteerde klasse-indeling van kansen en gevolgen/impacts is voorgeschreven door PBL en staat weergegeven in de onderstaande twee tabellen.

Tabel 2.2 Kansklassen zoals gehanteerd door PBL.

Score	Kans
5	Jaarlijks
4	Eens per 1-10 jaar
3	Eens per 10-100 jaar
2	Eens per 100-1000 jaar
1	Minder dan eens per 1000 jaar

Tabel 2.3 Impactklassen zoals gehanteerd door PBL.

Score	Impact klassen	Impact criteria			
		Economie	Mens	Natuur en milieu	Cultuur
3	Groter	Meer dan 1 miljard euro	Meer dan 100.000 getroffen mensen, 100 ernstig gewonden/doden	Nationale en/of onomkeerbare schade	Nationale en/of onomkeerbare cultuurschade
2	Midden	0,1 – 1 miljard euro	10.000 – 100.000 getroffen mensen, 10 – 100 ernstig gewonden/doden	Regionale en/of moeilijk omkeerbare schade	Regionale en/of moeilijk omkeerbare cultuurschade
1	Kleiner	Minder dan 0,1 miljard euro	<10.000 getroffen mensen, 0 – 10 ernstig gewonden/doden	Lokale en/of omkeerbare schade	Lokale en/of omkeerbare cultuurschade

2.3.3 Veranderende klimaatrisico's in de toekomst

Naar de toekomst toe zullen de kansen en gevolgen van de klimaatdreigingen veranderen. In dit onderzoek maken we onderscheid tussen twee soorten veranderingen in de toekomst.

- **Veranderingen in de kans** op klimaatdreigingen als gevolg van klimaatverandering: Klimaatdreigingen zoals extreme regenval, hittegolven of droogte komen niet altijd even vaak voor. Sommige komen bijvoorbeeld eens in de tien jaar voor terwijl andere vaker optreden. Door klimaatverandering kunnen deze frequenties verschuiven.
- **Veranderingen in de gevolgen** van die gebeurtenissen kunnen optreden door ontwikkelingen in de socio-economische context, zoals bevolkingsgroei, ruimtelijke inrichting of kwetsbaarheid van systemen.

Dit onderscheid is belangrijk om dubbeltelling te voorkomen:

Veranderingen in de kans: Stel dat een zware regenbui nu gemiddeld eens in de tien jaar voorkomt en beperkte schade veroorzaakt. In de toekomst kan zo'n bui met dezelfde gevolgen vaker voorkomen, bijvoorbeeld eens in de vijf jaar. De kans neemt dan toe, maar de impact van die specifieke gebeurtenis blijft gelijk. Het risico van de gebeurtenis (kans x gevolg) neemt daarmee wel toe. Een klimaatgebeurtenis kan dus in de toekomst vaker voorkomen, zonder dat de schade per keer verandert. Maar omdat die schade vaker optreedt, neemt het totaalrisico over een langere periode wel toe. Met andere woorden: als iets vaker gebeurt met dezelfde gevolgen, dan is de kans op schade over een langere periode groter. Toch blijft de impact per gebeurtenis hetzelfde.



Opgemerkt wordt dat in hetzelfde voorbeeld de intensiteit van de neerslag zal toenemen bij een gelijkblijvende kans. Bij een kans van eens in de tien jaar zal het in de toekomst waarschijnlijk harder regenen dan in de huidige situatie. Deze veranderingen zijn in de risicomatrices niet te zien. In de risicomatrix wordt namelijk bepaald hoe het risicoprofiel van een bepaalde klimaatdreiging naar de toekomst toe verandert. De klimaatdreiging is in dit voorbeeld daarbij gedefinieerd als een neerslagevent met een bepaalde intensiteit bij een kans van eens in de tien jaar. Ditzelfde neerslagevent zal in de toekomst vaker gaan voorkomen en dat is wat er staat weergegeven in de matrix.

Veranderingen in de gevolgen door socio-economische context: Een andere mogelijkheid is dat de herhalingstijd van de gebeurtenis niet verandert, maar de gevolgen wel, bijvoorbeeld omdat de mobiliteit naar de toekomst verandert of omdat de omgeving kwetsbaarder is geworden. Deze verwachte socio-economische veranderingen staan beschreven in de contextscenario's die door het PBL zijn opgesteld (2025). Wanneer de gevolgen groter worden bij een gelijkblijvende kans wordt het risico ook groter.

Figuur 2.2 laat als voorbeeld - schematisch en illustratief - zien hoe de gevolgen voor kleinschalige regenoverstromingen er in de toekomst uit kunnen zien. Te zien is dat zowel de kans als gevolgen toe kunnen nemen, maar dat de gevolgen nooit in de gevolgklasse 'groter' terechtkomen. Alleen bij het hoofdvaarwegennet is informatie beschikbaar waarbij zowel de kans als gevolgen veranderen richting de toekomst. Bij het hoofdwegennet en spoor is deze informatie niet beschikbaar, waardoor het in deze studie niet mogelijk is om combinaties van veranderingen van de kans en gevolgen vast te stellen. De risicomatrices in deze studie laten daarom alleen onafhankelijk van elkaar de veranderingen van kans en gevolgen zien. In de praktijk kunnen zowel de kans als gevolg veranderen, waardoor de risico's diagonaal verplaatsen.

In de risicomatrices die in deze studie worden getoond staan de veranderingen naar de toekomst weergegeven met twee kleuren pijlen:

- **Blaue pijlen** representeren veranderingen in de kans van het optreden van een klimaatdreiging ontstaan door klimaatverandering: lichtblauw voor verandering richting 2050 en donkerblauw voor verandering richting 2100.
- **Groene pijlen** representeren veranderingen van de gevolgen van een klimaatdreiging, door veranderingen in de socio-economische context. De pijlen laten de mogelijke verandering tot 2050 zien (*niet voor 2100, omdat de WLO scenario's voor infrastructuur niet verder kijken dan 2060*).

hoofdwegennet		Kans				
		<1/1000	1/100-1000	1/10-100	1/1-10	jaarlijks
Gevolg	groter					
	midden					
	kleiner				 Kleinschalige regenoverstroming 	

Figuur 2.2 Gehanteerde weergave klimaatdreigingen met versimpeling ten opzichte van de completere maar veelal onbekende weergave uit Figuur 2.1.

3 Huidig beleid klimaatadaptatie infrastructuur

Klimaatadaptatiebeleid in Nederland ligt verankerd in verschillende programma's. Het Deltaprogramma bereidt Nederland voor op de gevolgen van klimaatverandering in drie thema's: waterveiligheid, zoetwatervoorziening en ruimtelijke adaptatie. Onder die laatste valt het [Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie \(DPRA\)](#). Hierin staat opgenomen dat Nederland in 2050 klimaatbestendig en waterrobuust moet zijn, en stelt hiervoor een methodiek voor met stresstesten, risicodialogen en het opstellen van een uitvoeringsagenda. Rijkswaterstaat en ProRail volgen dit beleid en werken in cycli aan stresstesten en uitvoeringsagenda's. Rijkswaterstaat doet dit hoofdzakelijk in het programma Klimaatbestendige Netwerken (KBN), waar het hoofdvaarwegennet en het hoofdwegennet onder vallen. ProRail doet dit voor het hoofdspoorwegennet.

Een tweede programma is de Nationale Adaptatie Strategie (NAS) en diens uitvoeringsagenda, het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUPKA). In 2026 komt de herziene NAS uit, waarin per sector wordt beschreven wat de doelen en strategieën zijn om Nederland klimaatadaptief in te richten. In de NAS 2026 worden spoor, weg en vaarwegen besproken, en worden verschillende strategieën voorgesteld middels adaptatiepaden.

Ook de [Nota Ruimte](#) is een nationaal beleidsdocument wat een nationale omgevingsvisie presenteert, onder ander op de opgave klimaatadaptatie. Een van de uitgangspunten in de Nota Ruimte is dat water en bodem als ordenend principe moet worden gezien bij het maken van een ruimtelijk ontwerp.

Beleid dat concreet maakt wat klimaatadaptatie betekent voor het hoofdwegen, hoofdvaarwegennet en hoofdspoorwegennet, wat is vastgesteld, gefinancierd en geïnstrumenteerd is er niet. Binnen Rijkswaterstaat is wel een Topkader Klimaatadaptatie ontwikkeld (Boomsma et al., 2024). Hierin wordt beschreven dat de nieuwe klimaatscenario's moeten worden toegepast in de ontwerpnormen als er een nieuwe infrastructuur wordt aangelegd of infrastructuur wordt vervangen. Ook is er in de Bestuursraad van het ministerie van I&W (IenW, 2024) ingestemd met de beleidsrichting om in 2050 dezelfde mate van beschikbaarheid van het hoofdwegennet net hebben, en er geen groter veiligheidsrisico is dan in 2020.

Voor enkele specifieke processen zijn ontwerpnormen al aangepast om ook bij een veranderend klimaat gelijkblijvende prestaties te verwachten. Zo is bijvoorbeeld bij Rijkswaterstaat in RTD 1008:2016, Eisen hemelwaterafvoer van wegen en kunstwerken van Rijkswaterstaat, uitgegaan van een worst case klimaatverandering tot 2050. De voorgeschreven regenduurlijnen zijn daarop aangepast. Ook bij het ontwerp en onderhoud van bruggen wordt rekening gehouden met meer extreme (warme) temperaturen. Deze aanpassingen zullen langzaam hun weg vinden naar de praktijk, via de asset management cyclus. Als infrastructuur wordt onderhouden of aangelegd worden deze nieuwe klimaatdata gebruikt voor het ontwerp.

Nederland dient zich qua vaarwegafmetingen te houden aan internationale afspraken, vastgelegd in de TEN-T verordening en de protocollen van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR). In de nieuwe TEN-T verordening staat dat lidstaten moeten voorkomen dat de bevaarbaarheid verslechtert. Ook voor alle TEN-T corridors via weg en spoor is klimaatadaptatie verplicht gesteld. Wat dit voor Nederlandse (vaar)wegen en spoor betekent, is nog niet definitief vastgesteld en dus geen vastgesteld beleid.

4 Beschrijving risico's hoofdwegennet

4.1 Inleiding

In 2021 is de klimaatgevoeligheid van het hoofdwegennet onderzocht en gevisualiseerd door Bles et al. (2021). Daarbij zijn beweegbare bruggen potentieel gevoelig voor hitte, tunnels potentieel gevoelig voor opdrijven, bodemdaling, instabiliteit wegtalud, plasvorming, bos- en bermbranden en overstromingen weergegeven op een geaggregeerd niveau (Figuur 4.1). Voor het inschatten van de huidige klimaatrisico's is de aanpak gevolgd uit Hoofdstuk 2, voortbouwend op de Herijking klimaatrisico's (Moghtaderi Asr & van der Mark, 2025) en de resultaten van de stresstest en vervolgstudies die door Rijkswaterstaat zijn uitgevoerd (Rijkswaterstaat, 2025) en de samenvatting die in 2021 is gemaakt voor het KIM (Bles et al., 2021). Bij het hoofdwegennet zijn er verschillende effecten voor wegbeheerder Rijkswaterstaat (RWS) en de bredere maatschappij. Verstoring of schade op kritieke locaties kan leiden tot stremmingen, lange omrijdtijden en belemmering van hulpdiensten, met negatieve gevolgen voor bereikbaarheid en verkeersveiligheid. Ook zonder fysieke schade kunnen klimaatdreigingen zoals hevige neerslag leiden tot hinder en ongevallen, wat direct impact heeft op de veiligheid en het comfort van de weggebruiker.



Figuur 4.1 Landelijke gevoeligheidskaart klimaatdreigingen hoofdwegennet (Bles et al., 2021).

4.2 Keuzes grootste klimaatrisico's huidig

In deze studie hanteren we het concept **klimaatdreigingen**, waarin meerdere gerelateerde secundaire dreigingen zijn samengebracht. De belangrijkste klimaatdreigingen voor het hoofdwegennet zijn:

- **Overstroming door primaire dijkdoorbraak**
De kans op een doorbraak van een primaire waterkering is zeer klein, maar de gevolgen zijn extreem. Grote delen van Nederland kunnen onder water komen te staan, wat leidt tot grootschalige schade aan infrastructuur, veel slachtoffers en langdurige herstelwerkzaamheden. Dit is een van de meest ingrijpende scenario's.
- **Overstroming door regionale dijkdoorbraak**
Deze dreiging komt vaker voor dan bij primaire dijken. Regionale dijken beschermen kleinere gebieden, en een doorbraak kan lokaal leiden tot ernstige gevolgen, schade aan wegen en voertuigen, en mogelijk slachtoffers. Ook is er risico op milieuschade, vooral bij verzorgingsplaatsen langs snelwegen.
- **Grootschalige regenoverstroming**
Met grootschalige regenoverstromingen wordt bedoeld op regen-events zoals gevallen zijn in Limburg in 2021: ongeveer 200mm neerslag in 48 uur. Dit is anders dan lokale piekbuien waarbij de neerslagintensiteit in korte tijd heel hoog is. Bij grootschalige extreme neerslag kunnen zowel hoofdwegen als onderliggende netwerken tegelijk onderlopen. Vooral tunnels en verdiepte wegen zijn kwetsbaar. Dit veroorzaakt grote verkeersproblemen, onbereikbaarheid van hulpdiensten en schade aan technische installaties. De impact is vaak regionaal, maar ernstig.
- **Opdrijven van tunnels en lichte constructies**
Door stijgende grondwaterstanden kunnen tunnels of lichtgewicht constructies omhoog worden gedrukt. Hoewel dit zelden voorkomt, zijn de gevolgen groot: langdurige afsluitingen van wegen, hoge herstelkosten en langdurige verkeershinder. Daarnaast zijn tunnels vaak kritieke objecten waardoor omreistijden doorgaans langer zijn als gevolg van minder redundantie.
- **Kleinschalige regenoverstroming door piekbuien**
Hevige, kortdurende buien komen steeds vaker voor. Ze veroorzaken plasvorming, slecht zicht en gevaarlijke verkeerssituaties. Vooral tunnels, lager gelegen wegen en relatief vlakke wegen met een hemelwaterafvoersysteem zijn kwetsbaar. De impact is meestal lokaal, maar kan leiden tot stremmingen, ongelukken en milieuschade.
- **Hittegolven en slecht sluitende bruggen**
Bij extreme hitte kunnen beweegbare bruggen uitzetten en daardoor niet goed meer sluiten. Dit leidt tot lokale verkeershinder, vooral op drukke routes. De gevolgen zijn meestal van korte duur, maar kunnen hinderlijk zijn voor het verkeer. Daarnaast zijn beweegbare bruggen vaak kritieke objecten waardoor omreistijden doorgaans langer zijn als gevolg van minder redundantie.
- **Droogte, bodemdaling en bermbranden**
Langdurige droogte kan leiden tot ongelijke bodemdaling, wat schade aan wegen veroorzaakt. Hoewel de meeste wegen hiertegen bestand zijn, zijn er lokaal kwetsbare plekken. Ook kan droge vegetatie in bermen langs wegen vlam vatten, wat gevaarlijk is voor verkeer en omgeving.
- **Hevige sneeuwval en ijzel**
Sneeuwval komt in Nederland niet vaak voor, maar als het gebeurt, kan het grote delen van het land ontregelen. Gladheid, slecht zicht en slipgevaar leiden tot ongevallen en vertragingen. De impact is grootschalig en kan lang aanhouden. We gaan in dit rapport uit van hevige sneeuwval die grootschalig optreedt. Dit is een grootschalig event dat over een grote regio en potentieel het gehele land gedurende lange tijd tot grote verstoringen en onveiligheid kan leiden. In de prestatie-monitoring is sneeuwval duidelijk te herkennen.

4.3 Inschatten risico's huidig klimaat

Voor de inschattingen voor de positionering in de risicomatrix, conform de aanpak beschreven in Paragraaf 2.3, is een combinatie van bestaande studies en aanvullende expertinschattingen gedaan:

1. Herijking klimaatrisico's (Moghtaderi Asr & Van der Mark, 2025).
2. Stresstest hoofdwegennet uitgevoerd door Deltares voor Rijkswaterstaat (Bles et al, 2019 en 2020).
3. Klimaatgevoeligheid hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en spoor ten behoeve van de NMCA (Bles et al., 2021).
4. Aanvullende expertinschattingen.

De kansinschatting in de PBL-risicomatrix is gebaseerd op de kans op significante gevolgen voor het wegennet als gevolg van een klimaatdreiging. Het gaat hierbij dus niet alleen om de kans op het optreden van een klimaatverschijnsel zoals hitte of droogte zelf, maar om de kans dat dit vervolgens leidt tot substantiële schade of verstoring van de infrastructuur. Een voorbeeld hiervan is plasmvorming door intense neerslag, wat jaarlijks op meerdere locaties voorkomt maar lang niet altijd tot significante schade leidt. Onder 'significante gevolgen' worden effecten verstaan met een economische schadeorde van tientallen miljoenen euro's. Op basis van expertinschattingen is bepaald dat plasmvorming pas bij een frequentie tussen jaarlijks en tienjaarlijks leidt tot gevolgen van deze omvang.

De onderbouwing voor de inschatting van de huidige klimaatrisico's is weergegeven in Figuur 4.2. De huidige klimaatrisico's zijn op de risicomatrix geplot in Figuur 4.3.

Dreiging	Kans ergens in Nederland	Economie	Mens	Natuur en milieu	Cultuur	Nadere beschrijving
Overstromen door primaire dijkdoorbraak	Heel kleine kans, minder dan eens per 1000 jaar, HWBP, basis IR	Grootschalige gelijktijdige uitval met grote impact door grote fysieke schade en daardoor ook veel verstoringen wegverkeer. Door grootschaligheid grote druk op hersteloperatie. De schade is veel omvangrijker dan bij een regionale overstroming. Er zijn geen studies bekend naar gevolgen primaire overstromingen voor wegen.	Overstroomde wegen en voertuigen die niet meer verder kunnen rijden als gevolg van water op de weg kunnen tot gewonden en doden leiden. Er ontstaat langdurige uitval met langdurige gevolgen voor bereikbaarheid kritieke entiteiten zoals ziekenhuizen.	Overstromen van weg en met name verzorgingsplaatsen (benzinstations, afval, veel verhard opp.) kunnen milieuschade veroorzaken		Overstromen grote impact door veel getroffen personen, fysieke schade en milieuschade
Overstromen door regionale dijkdoorbraak	Kans is groter. Afhankelijk per gebied. 1/100-1/1000	Lokale gelijktijdige uitval met grote impact door grote fysieke schade en daardoor ook veel verstoringen wegverkeer. Er ontstaat orde 20 miljoen euro schade door uitval van hoofdwegen bij een regionale overstroming (Grave et al., 2020).	Overstroomde wegen en voertuigen die niet meer verder kunnen rijden als gevolg van water op de weg kunnen tot gewonden en doden leiden. Er ontstaat langdurige uitval met langdurige gevolgen voor bereikbaarheid kritieke entiteiten zoals ziekenhuizen.	Overstromen van weg en met name verzorgingsplaatsen (benzinstations, afval, veel verhard opp.) kunnen milieuschade veroorzaken		Overstromen grote impact door veel getroffen personen, fysieke schade en milieuschade
Grootschalige regenoverstroming leidt tot inundatie wegen en tunnels op het hoofd- en onderliggend wegennet tegelijk	De neerslag in Limburg van 2021 had een geschatte herhalingsijd van 300 jaar. De kans dat zich dit ergens voor doet op het hoofdwegennet is iets groter.	Met name tunnels en verdiepte liggingen zijn kwetsbaar voor deze bedreiging. Deze liggen voornamelijk op kritieke verbindingen of in drukke gebieden en onbeschikbaarheid zal tot grote verstoringen leiden. De aansluitingen met het onderliggende wegennet zijn ook zeer kwetsbaar, waardoor bereikbaarheid van een grote regio onder druk komt te staan.	Met name onbereikbaarheid kan tot veiligheidsproblemen leiden (doordat hulpdiensten niet op plek bestemming kunnen komen of ziekenhuizen onbereikbaar zijn). Voertuigen kunnen ook in het water vast komen te zitten.	Overstromen van weg en met name verzorgingsplaatsen kunnen milieuschade veroorzaken		Grootschalige gebeurtenis die regionaal op meerdere plaatsen grote gevolgen voor het HWN kan hebben
Opdrijven tunnels en lichtgewicht constructies door hogere grondwaterstanden	Tunneltoeritten en lichtgewicht constructies zijn gevoelig. Kans van 1/10000 per object. Kans van optreden ergens in NL 1/100-1/1000 omdat er meerdere gevoelige objecten zijn	Bij opdrijven ontstaat er voor een lange tijd (maanden tot meer dan een jaar) een groot effect. Dit kan variëren tussen volledige en partiële afsluiting van de weg. Ook herstelkosten zijn hoog.	De gevolgen voor mens zijn klein; veiligheid kan in het geding zijn als opdrijven niet tijdig wordt opgemerkt			langdurige stremming met grote herstelkosten
Kleinschalige regenoverstroming; gevolgen van piekbuien (slecht zicht, plasvorming) en valwinden	Neerslag met een korte duur van een half uur tot anderhalf uur, kan tot problemen leiden op de weg bij een herhalingsijd vanaf ongeveer 50 jaar op een plek in Nederland (puntstatistiek). Dit betekent dat het over het gehele wegennet (veel) vaker kan voorkomen. Ingeschat is dat het jaarlijks tot eens per 10 jaar tot significante gevolgen leidt voor het wegennet	Kortdurende lokale, vaak gedeeltelijke, uitval van wegen. Tunnels en verdiepte liggingen extra kwetsbaar en bij veel water potentieel ook hogere herstelkosten van tunneltechnische installaties. Hoge afvoer naar omgeving kan tot wateroverlast en dus schade in de omgeving leiden.	Plassen op de weg kunnen tot gevaarlijke situaties en ongelukken leiden.	Wateroverlast kan leiden tot milieuschade in de omgeving door grote runoff van de weg. Bij verzorgingsplaatsen kan dit mogelijk tot onomkeerbare schade leiden		Kortdurende uitval, verkeersveiligheid in het geding, potentieel (milieu)schade in omgeving
Hitte leidt tot moeilijker sluiten van beweegbare bruggen	Gemiddeld zijn er 5 dagen per jaar met een tropische temperatuur van meer dan 30 graden (in de Bilt). Dit leidt echter niet gelijk tot significante gevolgen. Ingeschat is dat echt significante gevolgen pas optreden bij een kleinere kans dan eens in de 10 jaar. Dus 1/10-1/100	Klemmende bruggen hebben gevolgen voor veel gebruikers omdat een beweegbare brug vaak op kritieke plekken in het hoofdwegennet ligt. De gevolgen zijn lokaal en van relatief korte duur. Pas bij extreme hittegolven leidt dit naar verwachting tot significante gevolgen.				
Droogte leidt tot ongelijke zakking door bodemdaling en droogte leidt tot bermbranden	De kans op een droogte met gevolgen voor het wegennet is ongeveer 1/1-1/10 dat ergens in Nederland droogtegevolgen optreden zoals een berm-/ natuurbrand met significante gevolgen voor weggebruikers of bodemdaling	Meeeste delen van het wegennet ongevoelig voor bodemdaling maar lokale gevoeligheid niet uit te sluiten. Het is een slow-onset bedreiging. Maar als het optreedt kan het tot veel herstelkosten leiden. Toch is de gevoeligheid over het algemeen laag en zijn er vooral een aantal lokale plekken waar dit mogelijk kan optreden. Gevolgen voor weggebruikers zijn relatief klein, want het is lokaal en herstelwerkzaamheden zijn in te plannen met omrijroutes	Bermbranden kunnen overstaan naar de omgeving			
Hevige sneeuw leidt tot slecht zicht, slipgevaar	Eens per jaar tot 10-100 jaar leidt het tot significante gevolgen	Dit is een grootschalig event dat over een grote regio en potentieel het gehele land gedurende lange tijd tot grote verstoringen kan leiden.	Door de grootschaligheid kan gladheidsbestrijding niet overal op tijd zijn met mogelijk gevaarlijke situaties als gevolg			Grootschalige gebeurtenis

Figuur 4.2 Samenvatting classificatie van de hoofdbedreigingen van het hoofdwegennet.

Hoofdwegennet		Kans				
		<1/1000	1/100-1000	1/10-100	1/1-10	jaarlijks
Gevolg	groter	Overstromen primair				
	midden		Overstromen regionaal Opdrijven	Grootschalige regenoverstroming		
	kleiner			Hitte Hevige sneeuw	Kleinschalige regenoverstroming en valwinden Droogterisico	

Figuur 4.3 Inschatting risico's voor het hoofdwegennet in de categorieën van de PBL risicomatrix.

4.4 Veranderingen naar de toekomst

Vervolgens is per bedreiging geanalyseerd hoe de kansen en gevolgen naar de toekomst kunnen veranderen bij gelijkblijvend beleid. Daarbij is gebruik gemaakt van de informatie die beschikbaar is vanuit de context scenario's die door het PBL worden gehanteerd. De resulterende risicomatrix staat hieronder weergegeven. In Bijlage A staat per bedreiging aangegeven hoe de inschatting van risico's in de toekomst is gemaakt.

Hoofdwegennet		Kans				
		<1/1000	1/100-1000	1/10-100	1/1-10	jaarlijks
Gevolg	groter	↑ Overstromen primair				
	midden		↑ Overstromen regionaal ↑ Opdrijven	↑ Grootschalige regenoverstroming	→	
	kleiner			↑ Hitte ← Hevige sneeuw	→ Kleinschalige regenoverstroming en valwinden ↑ Droogterisico	→

→ Verandering in kans bij maatgevend scenario. lichtblauw in 2050 en donkerblauw in 2100

↑ Verandering in gevolgen in 2050 bij scenario 'sterk'

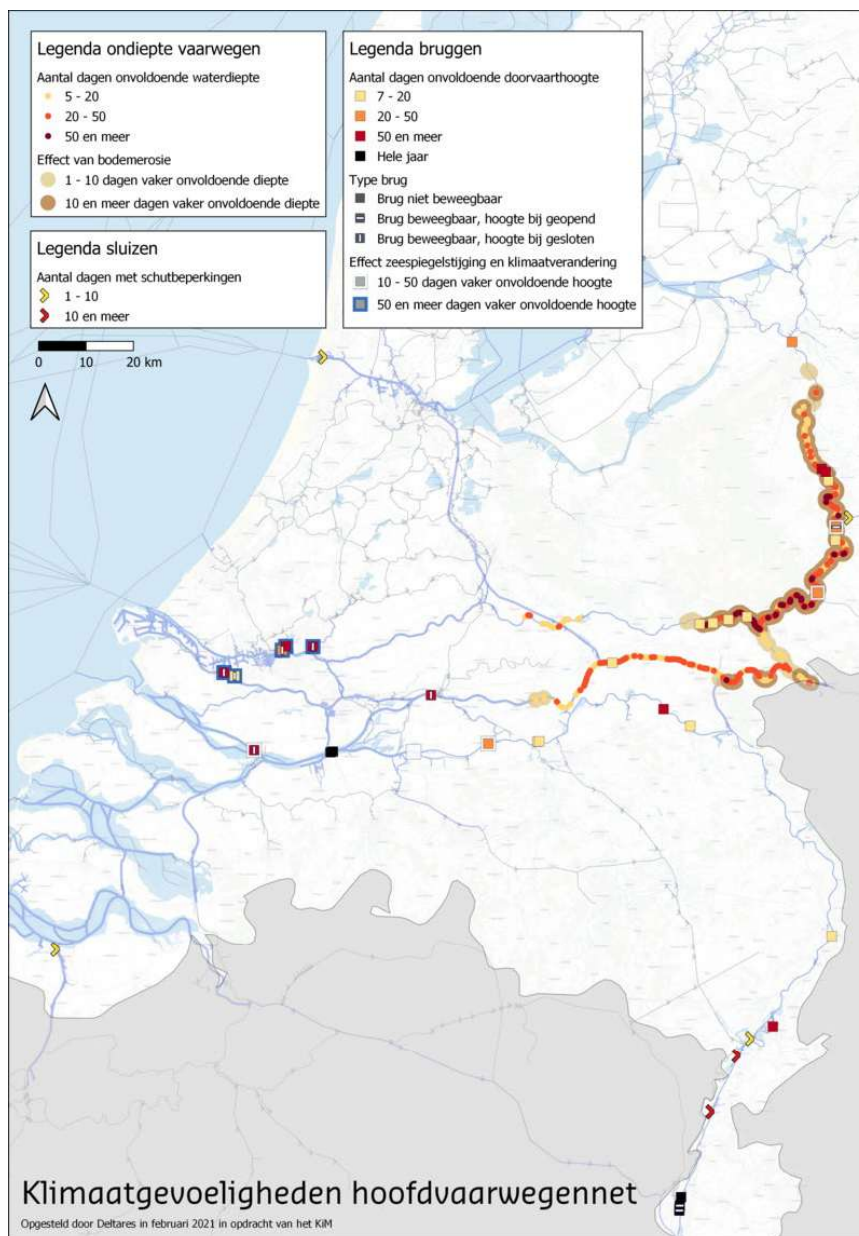
Figuur 4.4 Veranderingen in risico's door klimaatdreigingen voor het hoofdwegennet. Met de lengte van de pijlen wordt alleen weergegeven of een klimaatdreiging in een andere risicoklasse terecht komt. De lengte van de pijlen moet niet onderling worden vergeleken en zegt niets over de grote van de verandering.

Uitgangspunt voor de weergave in de matrix is dat de verandering van kans is weergegeven bij Hd en Hn (afhankelijk of het een 'droge' of 'natte' klimaatdreiging is), omdat met name in die scenario's grote verschillen optreden en klimaatdreigingen ook van 'klassegrens' wisselen. Bij de Ld en Ln scenario's zijn er weliswaar verschillen met het huidige klimaat, maar deze veranderen het risicoprofiel niet significant. In Bijlage A staat toegelicht hoe de risico's veranderen naar de toekomst.

5 Beschrijving risico's hoofdvaarwegennet

5.1 Inleiding

Voor het inschatten van de huidige klimaatrisico's is de aanpak gevolgd uit Hoofdstuk 2, voortbouwend op de Herijking klimaatrisico's (Moghtaderi Asr & van der Mark, 2025). Bles et al. (2021) hebben daarnaast in 2021 ook een inschatting gemaakt van de belangrijke risico's voor het hoofdvaarwegennet (Figuur 5.1). Bij het analyseren van de klimaatrisico's van het hoofdvaarwegennet is enkel gekeken naar de invloed van de risico's op de beroepsvaart die gebruik maakt van het hoofdvaarwegennet voor het vervoer van goederen. Pleziervaart en personenvervoer zijn buiten beschouwing gelaten.



Figuur 5.1 Klimaatgevoeligheden hoofdvaarwegennet (Bles et al., 2021).

5.2 Keuze grootste risico's

In het geval van het hoofdvaarwegennet zijn vooral dreigingen relevant, die kunnen leiden tot problemen met lange duur en die kunnen doorwerken op grotere schaal. Oftewel: (langzame) regionale of nationale dreigingen met een duur van weken en impact op connecties of het netwerk, die mogelijk gelijktijdig optreden. Op basis van de aanpak beschreven in Paragraaf 2, zijn de geïdentificeerde grootste klimaatdreigingen voor het hoofdvaarwegennet 'droogte' en 'hoogwater'.

5.3 Klimaatdreiging 'droogte'

5.3.1 Klimaatdreiging

Wanneer er een langere periode van droogte is (weinig neerslag of waterbeschikbaarheid in het stroomgebied van Rijn of Maas al dan niet in combinatie met hoge verdamping) kan dit leiden tot langdurige periodes van lage rivierafvoer. Dit zorgt er op de Rijntakken (Waal en Geldersche IJssel) voor dat het waterpeil daalt en er kleinere vaardieptes ontstaan (zie ook De Jong en Van der Mark, 2021; Fujisaki, Van der Mark, Van den Hoek, 2025). Om het streefpeil in kanalen (zoals de Twentekanalen) te kunnen handhaven, wordt via gemalen naast de sluizen water omhoog gepompt. Dit water is voor het Twentekanaal afkomstig uit de Geldersche IJssel. Tijdens droogte moet de pompcapaciteit bij Eefde uitgebreid worden met tijdelijke pompinstallaties.

De Maas is gestuwd, zodat de vaardiepte hier kan worden gehandhaafd; echter om te handhaven kan er minder geschut worden, met langere wachttijden als gevolg (De Jong en Boschetti, 2021). Als droogte optreedt, beïnvloedt dit de bevaarbaarheid in nagenoeg alle vaarwegen. Een droge periode houdt vaak lang aan (weken tot zelfs maanden). Dit in tegenstelling tot hoogwater, waar de blootstelling een kleiner gebied betreft en de duur van een hoogwater vaak korter is.

Daarnaast bedreigt droogte de bevaarbaarheid indirect behoorlijk: tijdens droogte neemt de zoutindringing toe. Om zoutindringing zo veel mogelijk te beperken ten behoeve van de zoetwatervoorziening (o.a. drinkwater en landbouw), worden momenteel al maatregelen getroffen die nadelig zijn voor de scheepvaart, zoals minder schutten bij sluizen (zowel zeesluizen als sluizen in het binnenland) en het sturen van water richting het noorden (Van der Wijk, Van den Hoek, Van der Mark, 2024).

Voor nadere informatie zie ook de PBL Factsheet klimaatrisico 'Lage rivierafvoeren en scheepvaart' kopje klimaatdreiging. Een update van de statistiek is te vinden in het rapport Kwalitatieve duiding van het effect van de Deltascenario's 2024 op de zoetwateropgave, Mens et al 2025.

5.3.2 Blootstelling

De belangrijkste onderdelen in het vaarwegennetwerk die worden blootgesteld aan droogte zijn:

- Door lage waterstanden is de vaarweg minder diep en kunnen de schepen minder vracht meenemen. Hierdoor zijn meer scheepsbewegingen nodig om de lading te vervoeren. Dit kan zowel in de vaarweg als bij havens voor vertraging zorgen. Door lage waterstanden is de vaarweg (Rijntakken) ook minder breed, zodat in combinatie met meer scheepsbewegingen de nautische veiligheid afneemt.
- Bij de sluizen wordt beperkt geschut, wat zorgt voor wachttijden, verminderde bereikbaarheid en vertraging. Dit wordt gedaan om:
 - Water te besparen (bijvoorbeeld de Maas, Twentekanaal, Merwedekanaal).

- Zoutindringing tegen te gaan (bijvoorbeeld bij het Amsterdam-Rijnkanaal en zeesluizen).
- De afhandeling in zee- en binnenhavens vertraagt, doordat de kadehoogte ten opzichte van het waterniveau hoger is, er te weinig kadelengte of wachtruimte is voor het toegenomen aantal schepen of te weinig opslagruimte in de terminal.
- Tijdens lage rivierafvoer kan het nodig zijn om vaker of meer vaargeulonderhoud te plegen. Deze werkzaamheden vinden plaats in de vaargeul en hinderen de doorgaande vaart.

Na afloop van een droogte-gebeurtenis zijn inspectie- en mogelijk herstelwerkzaamheden aan de vaarweg-gebonden infrastructuur noodzakelijk. Denk hierbij aan scheuren in dijken, onderhoud aan oevers of kribben of verzakkingen langs de vaarweg. Zie ook genoemde referenties en Factsheet klimaatrisico 'Lage rivierafvoeren en scheepvaart' kopje blootstelling.

5.3.3 Kwetsbaarheid

De scheepvaart is kwetsbaar voor droogte, omdat er weinig redundantie in de vaarwegen zit. Droogte grijpt overal aan. Tijdelijke overslag op spoor of weg tijdens droogte is beperkt mogelijk vanwege lage capaciteit op deze netwerken en inflexibel spoorvervoer (Van Meijeren & Harmsen, 2020). Daarnaast zijn grote hoeveelheden bulkgoederen (bijvoorbeeld kolen) moeilijk per container te vervoeren. De capaciteit van de beschikbare vloot is ook gelimiteerd.

De belangrijkste gevolgen van droogte op de vaarwegen en scheepvaart, uitgedrukt in kosten zijn (zie ook bijv. Pouwels et al., 2025):

- Vaarkosten en brandstofverbruik nemen toe doordat meer schepen en reizen nodig zijn.
- Langere wachttijden bij sluizen, stremmingen en vertragingen onderweg of bij overslag zorgen voor langere transporttijden, wat uitgedrukt kan worden in hogere vaarkosten.
- Transportkosten en/of opslagkosten nemen toe als vracht achterblijft en getransporteerd wordt via een andere modaliteit.
- Met het uitvoeren van meer reizen of andere modaliteiten nemen ook de emissies toe, wat te vertalen is naar hogere transportkosten.
- Door meer energieverbruik voor waterbesparend schutten worden extra pompkosten gemaakt.
- Maatregelen om zoutindringing tegen te gaan verhogen de vaarkosten verder, doordat de waterdiepte benedenstrooms van Tiel op de Waal afneemt, de wachttijden toenemen (Irenesluizen) of stremmingen nodig zijn (Bernhardsluizen).

Voor nadere informatie zie ook PBL Factsheet klimaatrisico 'Lage rivierafvoeren en scheepvaart' kopje gevoeligheid.

5.3.4 Impact

In 2018 en in 2022 zijn er extreme perioden van droogte geweest op de Nederlandse vaarwegen, waardoor de impact inzichtelijk is geworden. De droogte van 2018 en de impact van droogte *op scheepvaart* in het algemeen is uitvoerig gerapporteerd in De Jong (2020). De droogte van 2022 is uitgebreid besproken in Hendriks & Mens (2024). De grootste impacts op scheepvaart zijn zoals genoemd toename in transportkosten, toename in wachttijden en vertragingen, verminderde nautische veiligheid, vracht die achterblijft, toename in emissies en brandstofverbruik.

De verminderde bevaarbaarheid bij droogte en daarmee de gevolgen voor en reactie van de scheepvaart zorgt voor cascade effecten bij de ontvangers van de te vervoeren vracht. Er zit enige redundantie bij de gebruikers van de lading (industrie, bouw, bedrijven), die tijdens een

periode van droogte voorraden heeft. Ook kan er enigszins geanticipeerd worden op een droge periode door transport al eerder uit te voeren. Echter als de droogte te lang duurt en de voorraden opraken, raakt dit de industrie. De economische schade van de droogte van 2018 is gekwantificeerd door Streng et al. (2020). Uiteindelijk raakt dit ook de burger doordat prijzen toenemen en producten niet meer beschikbaar zijn. De maatschappelijke impact is dus vaak pas na enige tijd merkbaar, maar kan bij lang aanhoudende droogte ontwrichtend worden.

Een omkeerpunt voor het transport over water kan plaatsvinden wanneer de logistieke sector of industrie de vaarwegen als te onbetrouwbaar gaat zien, en andere keuzes gaat maken. Er kan gekozen worden voor permanent een andere modaliteit (weg, spoor, pijpleiding), aanvoer via een andere zeehaven of route, verplaatsen van de industrie naar een beter bereikbare locatie. Dit heeft enorme economische en maatschappelijke gevolgen en is onwenselijk, gezien de waarde van de sector voor de maatschappij. De maatschappelijke kosten per tonkilometer van binnenvaart liggen ruim 2x lager dan van het wegtransport (CE Delft). Europees is er daarom de ambitie om transport van weg naar water te verplaatsen (en Nederland volgt dit).

5.3.5 Veranderingen naar de toekomst

Fujisaki, Van der Mark, Van den Hoek (2025) gaan in op de huidige en toekomstige toestand van het Rijntakken riviersysteem in relatie tot de gebruiksfunctie 'scheepvaart', waarbij de KNMI'23 klimaatscenario's als uitgangspunt genomen worden.

De impact van klimaatverandering op de bevaarbaarheid van het hoofdvaarwegennetwerk is inzichtelijk gemaakt door de volgende karakteristieke parameters voor de bevaarbaarheid te bepalen:

- Aantal dagen per jaar dat de afvoer bij Lobith lager is dan bepaalde lage waarden.
- Aantal dagen per jaar dat de waterdiepte in de vaargeul kleiner is dan streefwaarden.
- Aantal dagen per jaar dat de waterdiepte/diepgang boven de sluisdrempels Weurt (oost- en westkolk) kleiner is dan de benodigde waarden om het Maas-Waalkanaal te kunnen invaren met zekere diepgang.

Voor deze drie situaties en klimaatscenario's geldt dat er een verslechtering optreedt (aantal dagen van overschrijding voor getoetste waarden neemt toe) als gevolg van klimaatverandering, al dan niet in combinatie met doorgaande bodemerosie. De impact is het grootst bij het meest extreme scenario, en naarmate we verder in de toekomst kijken. De verandering van 2050 naar 2100 lijkt in het algemeen groter te zijn dan die van 2100 naar 2150. Een belangrijk verschil tussen de KNMI'14 en KNMI'23 projecties is dat het nu droger wordt in alle scenario's. We kunnen met meer zekerheid zeggen dat lage afvoeren nog lager worden in de toekomst (ook geconcludeerd door Buitink et al., 2023), en dat de bevaarbaarheid naar de toekomst afneemt.

Het zoet houden van Noord- en West-Nederland is nu al moeilijk, en wordt in de toekomst met zeespiegelstijging, met een grotere watervraag en met lagere rivierafvoeren een steeds grotere opgave. Dit gaat de scheepvaart meer en meer raken. Het sturen van water vanaf de Waal in de richting van het noorden (Amsterdam-Rijnkanaal en Markermeer), zoals onderzocht in Deltaprogramma Zoetwater, zorgt ervoor dat de waterdiepte benedenstrooms van de onttrekking op de Waal verder afneemt. Om de zoetwaterbeschikbaarheid in de Rijn-Maasmonding in een toekomstig klimaat op de lange termijn te garanderen, worden verschillende bouwstenen en strategieën verkend (Vuik et al, 2025). De bouwstenen en strategieën hebben negatieve effecten op de zeevaart en/of binnenvaart, sommigen heel grote. Denk hierbij aan bouwstenen als het verondiepen of tijdelijk afsluiten van riviertakken, de bouw van schutsluizen voor zeevaart of binnenvaart (in combinatie met zoutkeringen) of

een geheel gesloten strategie waarbij zeeschepen niet het afgesloten binnenland kunnen bevaren en overslag van zeevaart naar binnenvaart in de haven rigoureuus anders zou moeten.

Naast de opgave van zoet houden van gebieden vanuit zee, ligt er de integrale opgave van inrichting van het rivierengebied, dat ook opgepakt wordt in Ruimte voor de Rivier 2.0 (voorheen Integraal Riviermanagement). Hierin moeten keuzes gemaakt worden om in de toekomst om te kunnen gaan met zowel extremere hoogwaters als extremere laagwaters, inclusief de opgave van zoetwaterbeschikbaarheid (afvoerverdeling) en bodemligging. De keuzes die in dit programma worden gemaakt, helpen ook de bevaarbaarheid. Het aanpassen van het vaarwegennetwerk kan daarom niet los worden gezien van de maatregelen die worden voorgesteld in Ruimte voor de Rivier 2.0.

De economische en maatschappelijke impact van toekomstige ontwikkelingen op de scheepvaart (en gevolgen van een negatieve modal shift) dient in alle opgaven meegewogen te worden. Onzekerheid over de toekomstige keuzes die de bevaarbaarheid raken, brengen zorgen binnen de binnenvaartsector en de industrie die afhankelijk is van transport over water.

5.3.6 Risicomatrix

Hieronder is de inschatting voor het droogterisico voor het hoofdvaarwegennet weergegeven en de verandering richting de toekomst, op basis van de kans en gevolg indeling van PBL. Voor de scheepvaart is met name het economisch gevolg relevant. Voor natuur en milieu zijn er kleine extra gevolgen, denk aan meer brandstofverbruik en emissies doordat meer reizen gemaakt moeten worden bij een lagere waterdiepte.

Om een risico inschatting van droogte op de vaarwegen te maken hebben we eerst gekeken naar de kans van voorkomen van een droogte periode. We zien (Fujisaki, Van der Mark, Van den Hoek, 2025):

- Een afvoer van $850\text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith is een zeer lage afvoer.
- In het huidige klimaat komt dat in een gemiddeld jaar 3 dagen per jaar voor.
- Dit kan in het Hoog Droog (deltascenario Stoom) in 2100 oplopen tot 32 dagen, een factor 10 verschil, dus een significante verschuiving.

Voor de economische gevolgen maken we gebruik van (a) de kengetallen die voor verschillende herhalingstijden en Deltascenario's zijn opgesteld door Pouwels et al (2025) en (b) van de door Erasmus UPT berekende economische impact van het laagwater van 2018 (Streng et al., 2020).

Figuur 5.2 toont de toename in vaarkosten door droogte (door toename in aantal vaarbewegingen) bij verschillende herhalingstijden en scenario's. Deze gegevens zijn gebruikt om de risicomatrix op te stellen. We zien:

- In een huidig klimaat is de schade van een droogte event met een herhalingstijd van 20 jaar ongeveer 288 miljoen euro.
- In de meeste scenario's voor 2050 kan dit oplopen tot zo'n 450 miljoen euro. En in het Hoog Droog scenario (deltascenario Stoom) kan dit in 2100 oplopen tot bijna 1 miljard euro.
- Zo'n droogte-event met een schade van 288 miljoen door lagere afvoeren komt in een toekomstig klimaat eens in de 5 jaar (2050) of eens in de 2 jaar (2100) voor (blauwe pijlen). Op dezelfde wijze kan dit worden gedaan voor events met andere herhalingstijden.

Deze kosten betreffen de vaarkosten voor prijspeil 2014, omdat de vaarkosten afgeleid zijn van BIVAS data uit dat jaar. Een conversie naar prijspeil 2024 is uit te voeren door kosten te vermenigvuldigen met 1,262 (Janse et al., 2024). Kosten voor opslag (als lading niet kan worden vervoerd) en extra emissies zijn in deze vaarkosten niet meegenomen. Toename in vaarkosten als gevolg van potentiële maatregelen in het Betuwepand om zoutindringing tegen te gaan zijn eveneens niet meegenomen. Dit ligt in de orde van tienduizenden euro's per dag.

De schade door vaarkosten is enkel het effect van klimaat (droogte), economische groei is niet meegenomen. In Pouwels et al. (2025) wordt voorgesteld dat het effect van economische groei kan worden meegenomen door de kengetallen te vergroten conform de percentages voor Laag en Hoog (27% en 33%). Deze percentages volgen uit vaarkostenberekeningen waarbij economische groei is meegenomen. De economische groei die is aangenomen komt uit de Integrale Mobiliteitsanalyse 2021 (en Deltascenario's 2024), waarin een toename in vervoerd gewicht van 18% onder het lage economische dynamiek scenario en 34% toename onder het hoge economische dynamiek scenario werd verwacht. In de nieuwste WLO scenario's uit 2025 is het economische effect echter minder groot:

- In het WLO Laag Snel scenario zal het vervoerd gewicht (ton) en de vervoersprestatie in de binnenvaart (in tonkm) krimpen met respectievelijk 4% en 13% tot 2060 ten opzichte van nu.
- In het WLO Hoog Vertraagd scenario zal het vervoerd gewicht (ton) en de vervoersprestatie in de binnenvaart (in tonkm) groeien met respectievelijk 15% en 10% tot 2060 ten opzichte van nu.

In een situatie zonder klimaatverandering en met economische krimp/groei, neemt het gevolg (schade) van een droogte-event af/toe, maar de kans blijft gelijk (verticale pijlen in de risicomatrix).

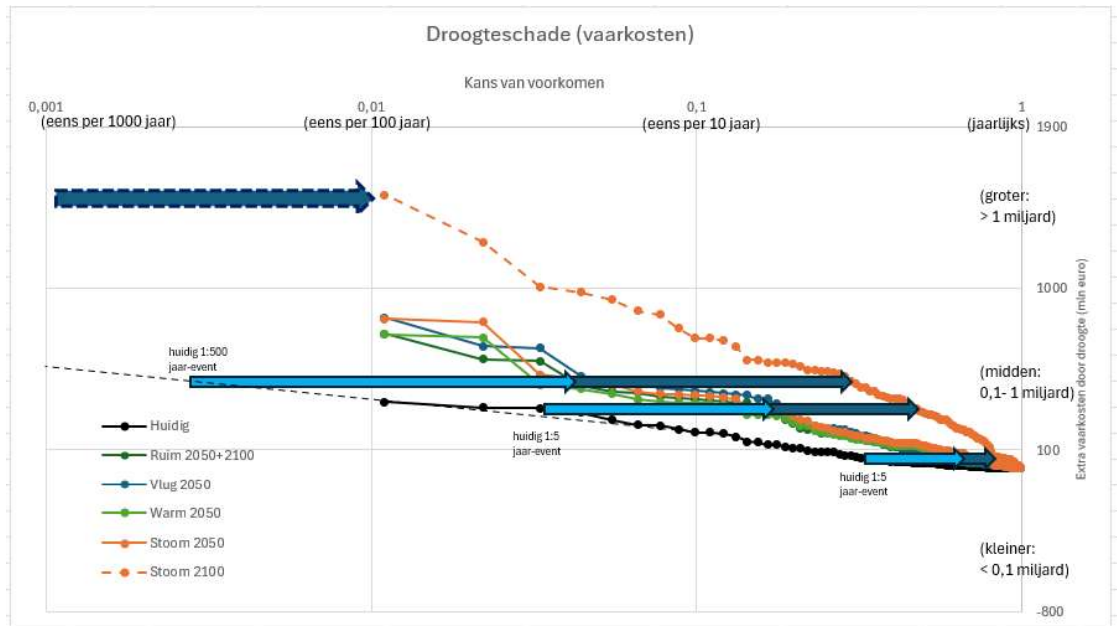
In de risicomatrix is tevens het droogte event uit 2018 opgenomen. Dit event had een herhalingsstijd van ongeveer 1:60 jaar en kostte de industrie (verladers) 371 miljoen euro. Voor Duitsland werd die schade becijferd op 2,4 miljard euro. Kramer et al. (2021) schat dat dit event in een KNMI'14 WH-scenario voor 2050 een herhalingsstijd van 20 jaar heeft.

Hoewel de schadekosten van Pouwels et al. (2025) en Streng et al. (2020) in dezelfde orde grootte liggen (honderden miljoenen euro's), is het belangrijk te realiseren dat dit andere schadekosten betreft. De toegenomen vaarkosten (of reiskosten) hebben puur betrekking op de toegenomen aantal benodigde vaarbewegingen door afname in vaardiepte op de Rijntakken. De schade bij verladers (industrie) is het cascade-effect doordat lading niet (op tijd) aankomt. Dit betreft vooral kosten van productievermindering of geheel stilvallen van productie doordat grondstoffen niet konden worden geleverd en kosten van voorraadaanvulling. Ook laagwatertoeslagen en kosten voor de inzet van andere modaliteiten horen hierbij.

Klimaatschade als gevolg van toename in kosten door het energiegebruik van pompen en toegenomen passeertijden bij de sluizen Born, Maasbracht en Heel ten gevolge van lagere rivierafvoeren in de Maas, is berekend in De Jong en Boschetti (2021). De toename in kosten (huidig klimaat versus toekomstig WH 2050 scenario) bedraagt 994.000 euro voor een droog jaar met een terugkeertijd van eens in de 10 jaar.

Het is dus van belang om te realiseren dat er meerdere schadeposten zijn, en dat de kosten hiervoor bij andere partijen liggen. In feite dienen alle verschillende posten gesommeerd te worden. De risicomatrix is nu gevuld met enkele schadeposten waarvan de kosten ruwweg bekend zijn. Eerder genoemde kosten voor extra vaarwegonderhoud of schade voor de scheepvaart door toekomstige adaptatie ten behoeve van zoetwaterbeschikbaarheid (aanleg

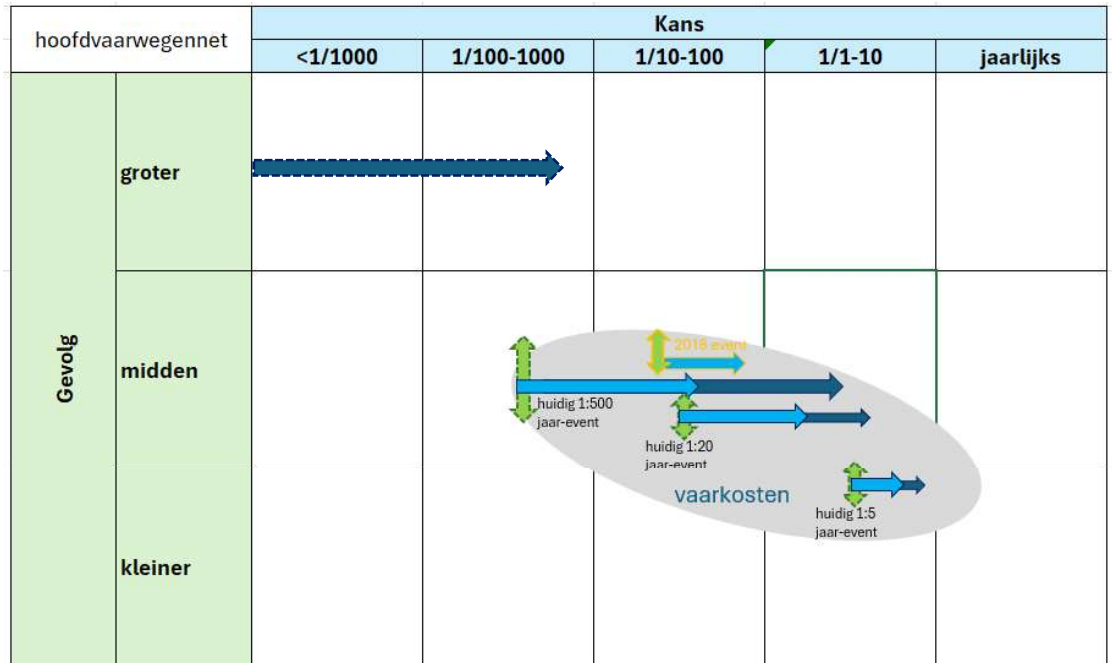
sluizen, afwikkeling in haven) ontbreken in de matrix, maar kunnen in de miljoenen of zelfs miljarden lopen. De maatschappelijke schade van een potentiële negatieve modal shift van water naar weg doordat de industrie de vaarweg in de toekomst niet meer als betrouwbare modaliteit zou kunnen gaan zien, kan becijferd worden als $4,2 \text{ minus } 1,9 = 2,3$ cent per tonkilometer.



Figuur 5.2 Droogteschade uitgedrukt als vaarkosten voor verschillende scenario's.

Dreiging huidige	Kans in Nederland	Economie	Mens	Natuur en milieu	Cultuur	Nadere beschrijving
historische droogte in 2018	1/60 jaar	Extra vaarkosten: 350 mln Schade bij industrie: 371 mln		Meer brandstofverbruik en emissies door lagere waterstanden en meer vaarbewegingen		
T-20 droogte	1/20 jaar	Extra vaarkosten: 288 mln Schade bij industrie: niet bekend		Meer brandstofverbruik en emissies door lagere waterstanden en meer vaarbewegingen		

¹ [Maatschappelijke transportkosten: waarom modal shift meer is dan een milieukwestie | evofenedex](#)



Figuur 5.3 Risicomatrix hoofdvaarwegennet droogte.

5.4 Klimaatdreiging 'hoogwater/overstromingen'

5.4.1 Klimaatdreiging

Klimaatverandering zorgt niet alleen voor meer droogte, maar ook voor een stijging van de zeespiegel, hogere rivierafvoeren en extremere (lokale) regenval. De waterstanden in het hoofdvaarwegennet worden beïnvloed door zowel de zeespiegel als de rivierafvoer vanuit bovenstroomse gebieden. Dichtbij zee domineert de invloed van zee en getij en speelt zeespiegelstijging een rol. Verder van zee bepaalt de rivierafvoer de waterstand, en speelt een verhoogde rivierafvoer als gevolg van klimaatverandering een grotere rol. Bovendien kan lokale extreme regenval de waterstand aanzienlijk verhogen, vooral op locaties waar het water niet of niet snel kan worden afgevoerd. In kanalen en meren wordt de waterstand voornamelijk bepaald door de werking van kunstwerken en regelinstallaties, zoals sluizen en stuwen.

Een relevant verschil tussen de klimaatdreiging droogte en hoogwater is de duur van de gebeurtenis. Over het algemeen duurt een droogte langer dan een hoogwatergolf of regenbui. Een ander verschil is dat de schade en hersteltijd aanzienlijk groter kunnen zijn in het geval van hoogwater vanwege de verwoestende kracht die water kan hebben op de infrastructuur. Men kan meer schade aan de infrastructuur verwachten na hoge waterstanden dan na lage waterstanden. Afhankelijk van de omvang van de overstromingsschade kan de beschikbaarheid van vaarwegen gedurende enige tijd na de overstroming beperkt zijn of kunnen delen van het vaarwegennetwerk zelfs geheel gestremd zijn.

5.4.2 Blootstelling en kwetsbaarheid

Hoogwater, veroorzaakt door een hoge zeewaterstand of verhoogde rivierafvoer, kan diverse gevolgen hebben voor de binnenvaart. Hieronder worden de belangrijkste effecten toegelicht.

Vaarsnelheidsbeperkingen of volledige stremming

Om schade aan oevers te voorkomen, kunnen bij hoogwater vaarsnelheidsbeperkingen worden ingesteld. Dit voorkomt negatieve effecten van hoge stroomsnelheden, schroefstralen

en scheepsgolven, die de oeverstructuur kunnen aantasten. In extreme situaties kan het vaarverkeer op bepaalde trajecten volledig worden gestremd.

Redenen hiervoor zijn:

- Nautische veiligheid.
- Bescherming van infrastructuur, zoals dijken.
- Aanwezigheid van drijfhout of puin dat schade kan veroorzaken aan schepen of vaarweginfrastructuur.

Hevige regenval kan ook de oeverstabiliteit aantasten, met gevolgen voor de beschikbaarheid en veiligheid van de vaarweg.

Overstroming van kades

In zee- en binnenhavens kunnen kades overstromen, waardoor de kade-infrastructuur tijdelijk niet functioneert. Dit belemmert de afhandeling van goederen en het gebruik van havenfaciliteiten.

Bemoeilijkt navigatie en manoeuvreerproblemen

Hoogwater kan leiden tot hoge (dwars)stroomsnelheden, wat het manoeuvreren bemoeilijkt. Daarnaast kan het voor schippers lastig zijn om de vaargeul te herkennen. Dit heeft gevolgen voor de veiligheid.

Beperkte doorvaarthoogte onder bruggen

Een verhoogde waterspiegel verkleint de doorvaarthoogte — de verticale afstand tussen het wateroppervlak en de onderkant van bruggen. Dit is vooral problematisch voor containerschepen, die hoger boven het water liggen dan bijvoorbeeld zand- of bulkschepen. Zelfs bij matige hoogwaterstanden moeten schippers nagaan of ze met 4, 3 of slechts 2 lagen containers kunnen varen. In sommige gevallen is omvaren via routes zonder vaste bruggen een alternatief.

Buitenwerkingstelling van kunstwerken

Sluizen en andere kunstwerken kunnen bij hoogwater buiten werking worden gesteld. Dit gebeurt bijvoorbeeld wanneer:

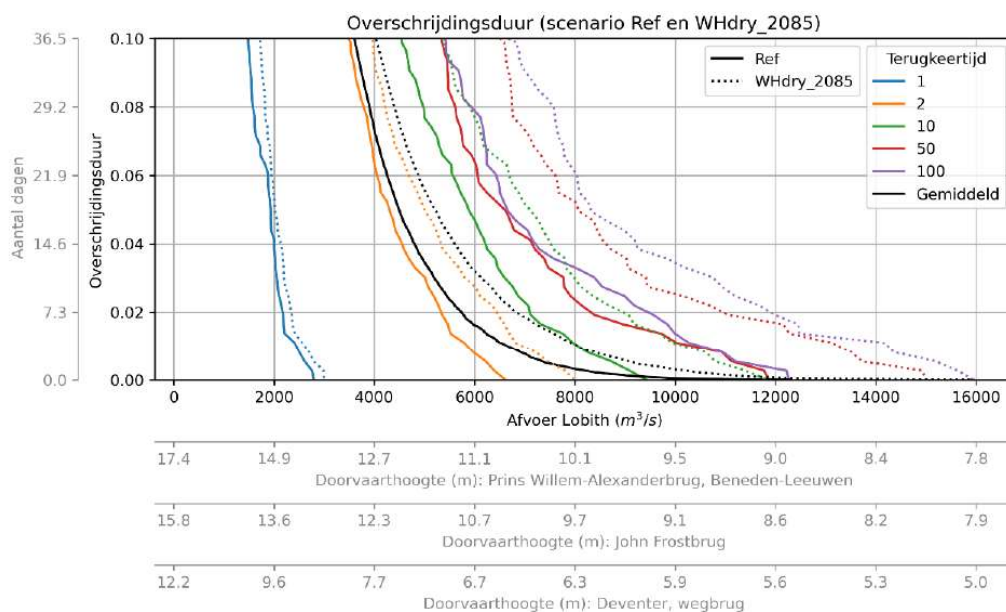
- De veiligheid van de scheepvaart in het geding is.
- De condities buiten de ontwerprandvoorwaarden vallen.
- Sluizen worden ingezet voor het spuien van overtollig water.

Ook kan het voorkomen dat er na een hoogwater veel aanzanding is wat eerst moet worden opgeruimd voordat de sluis weer in werking gesteld kan worden.

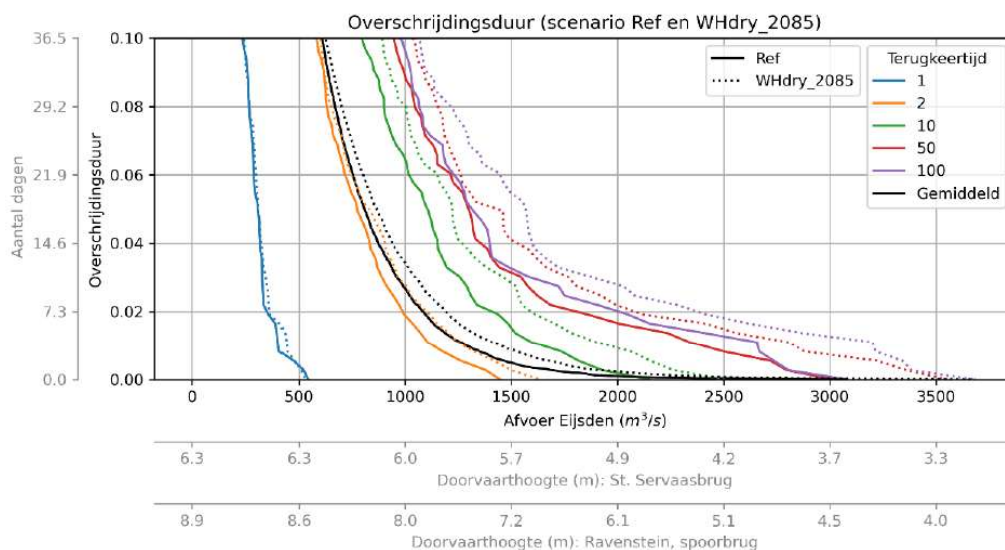
De stresstest 'doorvaarthoogte hoofdvaarwegennet' brengt de blootstelling en kwetsbaarheid bij bruggen in beeld (Van der Wijk & De Jong, 2021; Figuur 5.4):

- Niet elk hoogwater veroorzaakt hinder. Bij een afvoer van ca. 5.580 m³/s bij Lobith ondervindt de containervaart op de Waal beperkingen; vaak moet dan worden overgeschakeld van vier- naar drielaags varen (gemiddeld 7 dagen/jaar).
- Op de IJssel ontstaat hinder vanaf ca. 3.000 m³/s bij Lobith, waarbij van drielaags naar tweelaags moet worden overgeschakeld (nu gemiddeld 59 dagen/jaar, dat is eigenlijk 'business as usual').
- De Waal kent meer vaarbewegingen dan de IJssel, wat de potentiële impact daar vergroot. Indien de route via de IJssel loopt: is de doorvaarthoogte op de IJssel maatgevend; deze is lager dan op de Waal. Voor bestemmingen aan de IJssel vormt deze rivier de beperkende factor.

- De Moerdijkbrug is een knelpunt in de Rijn-Maasmonding: vierlaags vaart met hoge, lege containers is nu al het hele jaar onmogelijk. Door zeespiegelstijging en getij zal dit in de toekomst verergeren.
- Ook bruggen over het Amsterdam-Rijnkanaal en Schelde-Rijnkanaal zijn kwetsbaar, vooral bij hevige regenval. Door kleine marges wordt het steeds lastiger om het waterpeil goed te regelen.



Figuur 5.4: Overschrijdingsduur (en aantal dagen) voor de Rijn-afvoer voor verschillende herhalingsstijden, ook gerelateerd aan de doorvaarhoogte bij de Pr. Willem-Alexanderbrug (Waal), John Frostbrug (Nederrijn), Deventer wegbrug (IJssel). Bron: Van der Wijk & De Jong (2021).



Figuur 5.5: Overschrijdingsduur (en aantal dagen) voor de Maas-afvoer voor verschillende herhalingsstijden, ook gerelateerd aan de doorvaarhoogte bij de St. Servaasbrug (Maastricht) en spoorbrug bij Ravenstein (bij Grave) (Stresstest doorvaarhoogte hoofdvaarwegennet).

In de stresstest 'doorvaarhoogte hoofdvaarwegennet' is onderzocht wat de overschrijdingsduur en frequentie is voor verschillende herhalingsstijden in relatie tot waterstand. Figuur 5.4 en Figuur 5.5 tonen de overschrijdingsduur van verschillende

afvoeren per jaar voor de Rijn en de Maas, in relatie tot de doorvaarthoogte bij enkele bekende knelpunten. Elke afvoerwaarde heeft een bijbehorende herhalingsstijd: in deze studie zijn dat 1, 2, 10, 50 en 100 jaar. Over het algemeen zien we dat de afvoer van 5580 m³/s bij Lobith ongeveer 7 dagen per jaar voorkomt in een gemiddeld jaar, en tussen de 15 en 20 dagen bij een 1/10 herhalingsstijd.

5.4.3 Impact

Zoals hierboven geschetst kan hoogwater en drijfvuil leiden tot fysieke schade aan de vaarweginfrastructuur, zoals oevers, kades en kunstwerken. Dit leidt tot mogelijke herstelwerkzaamheden, en potentiële stremmingen of andere hinder voor scheepvaart na afloop. Hoogwater kan leiden tot beperkte doorvaarthoogtes, stremmingen, overstromde kades. Dit zorgt voor vergelijkbare gevolgen en reacties als bij droogte: omvaren, meer reizen benodigd om de afname van het aantal containers op een schip te compenseren, wachttijden / langere reistijd, hogere vaarkosten, vertraagde aankomst van goederen. Omvaren en meer varen heeft extra brandstofverbruik en uitstoot tot gevolg. Beweegbare bruggen moeten mogelijk vaker of langer open, wat de doorstroming op de weg beïnvloedt. De stremming van de Oranjesluizen in januari 2024 duurde een week, waarbij de wachtrij opliep tot 80 schepen.

De verminderde bevaarbaarheid tijdens en na hoogwater en daarmee de gevolgen voor en reactie van de scheepvaart zorgt net als bij droogte voor cascade effecten bij de ontvangers van de te vervoeren vracht. Vertragingen in de aanvoer van goederen kunnen leiden tot verstoring van productieprocessen van de industrie. Gebeurt dit te vaak (verstoring door hoogwater én droogte), dan zal de industrie het transport over water heroverwegen.

De cascade-impact van vertraagde goederen bij hoogwater zal in het algemeen kleiner zijn vanwege de kortere duur van de gebeurtenis. Industrie, winkels en bouwplaatsen zullen enige voorraad hebben en nog een tijdje kunnen doorwerken voordat de verminderde aanvoer druk op de productie gaat uitoefenen. Daartegenover, de kans op infrastructurele schade, veroorzaakt door hoogwater of extreme regenval, wordt groter ingeschat dan bij droogte. Het herstel ervan kan lang duren en daardoor ook economische en maatschappelijke gevolgen hebben. Als één sluis door een extreem hoogwater beschadigd raakt en langdurig wordt gestremd, kan dit lang doorwerken in het vaarwegennetwerk en de logistieke keten, en desalniettemin enorme economische gevolgen hebben vanwege de vaak beperkte omvaarmogelijkheden.

5.4.4 Risicomatrix

Risico-inschatting huidig

Dreiging	Kans ergens in Nederland	Economie	Mens	Natuur en milieu	Cultuur
Jaarlijks hoogwater	Jaarlijks	Kleiner dan 100 miljoen euro	Kleine gevolgen	Meer vaarbewegingen door beperkte doorvaarthoogte bruggen. Maar impact blijft beperkt.	Mogelijk invloed op pleziervaart. Niet nader onderzocht.
Extreem hoogwater	1/100	Kleiner dan 100 miljoen euro	Mogelijk meer ongevallen, nog steeds kleine gevolgen	Meer vaarbewegingen door beperkte doorvaarthoogte bruggen. Maar impact blijft beperkt.	Mogelijk invloed op pleziervaart. Niet nader onderzocht.

Om een risico-inschatting te maken wordt er gekeken naar kans en gevolgen. Enkel het aspect doorvaarthoogte wordt beschouwd: wat is de schade (kosten) als de doorvaarthoogte beperkt is, en schepen vaker moeten varen om het benodigde aantal containers te

vervoeren. Voor herstelkosten door potentiële schade aan de vaarweginfrastructuur of kosten door stremmingen tijdens of na afloop van een hoogwater zijn geen kwantitatieve gegevens bekend.

Frequentie en duur van jaarlijks hoogwater

Het jaarlijks voorkomende hoogwater en daarmee beperking in doorvaarthoogte heeft beperkte gevolgen. Dit is eigenlijk gewoon business as usual. In een gemiddeld jaar:

- Op de Waal: circa 7 dagen zo hoog water, dat schepen met 3 lagen containers varen in plaats van 4.
- Op de IJssel: circa 59 dagen zo hoog water, dat met 2 lagen wordt gevaren in plaats van 3.

Deze schatting is mogelijk conservatief, omdat uitgegaan wordt van hoge containers (zogenaamde high-cube). Wel geldt: hoe langer het hoogwater (achtereenvolgens) aanhoudt, hoe groter de potentiële gevolgen. Met name omdat er dan een hoger risico is dat de industriële voorraden op raken.

Extreem hoogwater:

De kans op een extreem hoogwater waarbij de drempelwaarde bij Lobith langer dan 36 dagen wordt overschreden, wordt geschat op 1 op 100 jaar (Figuur 5.4). Ook in dat scenario blijft de economische schade naar verwachting onder de 100 miljoen euro. NB: Deze inschatting betreft uitsluitend goederentransport; sectoren zoals cruisevaart en pleziervaart zijn hierin niet meegenomen.

De **economische schade** door hoogwater wordt momenteel ingeschat als kleiner dan 100 miljoen euro. Dit komt vooral doordat:

- Hoogwater doorgaans kortdurend is.
- Industriële voorraden vaak voldoende zijn om korte verstoringen op te vangen.
- Schepen nog wel kunnen varen, alleen met minder lagen containers.

De **menselijke impact** is niet gekwantificeerd. In extremere situaties kunnen er meer ongevallen aan boord plaatsvinden (zoals mensen die overboord vallen). De huidige inschatting van de impact op mensen is klein, maar vervolgonderzoek is nodig.

Wat betreft **natuur en milieu** zijn er meer vaarbewegingen (meer brandstofverbruik, uitstoot) doordat de doorvaarthoogte bij bruggen beperkt is. Impact wordt 'kleiner' geschat.

Risico-inschatting toekomst

Gebruikte scenario's voor risico-inschatting

Voor de inschatting van toekomstige risico's zijn twee klimaatscenario's gehanteerd:

- Hoog-nat scenario:
 - Toegepast omdat het betrekking heeft op hoogwater.
 - Dit scenario biedt het meest extreme uitgangspunt voor hoogwater-ontwikkelingen richting 2100.
- Midden-droog scenario:
 - Gekozen op basis van de stresstest doorvaarthoogte voor het hoofdvaarwegennet.
 - Het laag-nat scenario wordt als niet realistisch beschouwd, waardoor er geen cijfers voor beschikbaar zijn in relatie tot scheepvaart en hoogwater (Bron: [Hoe verandert het afvoerregime van de Rijn in de toekomst, en welke impact heeft dit op zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en bevaarbaarheid?](#)).
 - Het droge scenario is gekozen als tegenhanger van het natte scenario binnen het hoge uitgangspunt.

Economische impact van hoogwater in de toekomst

De economische schade door extra varen vanwege hoogwater wordt momenteel en in de toekomst ingeschat als kleiner dan 100 miljoen euro voor een hoogwater-event.

Belangrijke factoren hierbij zijn:

- De korte duur van hoogwater, in tegenstelling tot langdurige droogte.
- De verwachting dat industriële ketens korte verstoringen kunnen opvangen.
- Zelfs in scenario's met een sterk verhoogd risico en toenemende vraag naar scheepvaart, blijft de impact naar verwachting beperkt.

Dit hangt ook samen met de beperkte toename van de scheepvaart in het sterk risico verhogende scenario (op basis van de WLO-cijfers, REF) en de afname in het beperkte scenario.

Toename kans op hoogwater

De kans op hoogwater (debiet > 5580 m³/s bij Lobith) neemt toe richting 2100:

- In het hoog-nat scenario met een factor 3.
- In andere scenario's ligt de toename tussen factor 1 en 2.[bron stresstest doorvaarhoogte hoofdvaarwegennet]

Overige risico's bij hoogwater (niet gekwantificeerd)

Menselijke veiligheid:

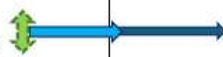

- Verhoogd risico op incidenten, zoals personen die overboord raken.

Infrastructuurschade:

- Kans op schade door ronddrijvend vuil of objecten.
- Risico dat schepen op drift raken en bruggen of sluisen raken, wat kan leiden tot:
 - Stremmingen in de vaarweg.
 - Structurele schade aan infrastructuur.

Hoogwater op vaarwegen. Aantal dagen waarbij de drempelwaarde van 5580m ³ /s bij Lobith wordt overschreden					
Droogte op vaarwegen		Klimaatscenario Matig droog*			
	Huidig	Verandering	2050 interpretatie	Verandering	2100 interpretatie
Kans	7 dagen in een gemiddeld jaar	x 1.3	Het aantal dagen hoog water met impact voor de scheepvaart neemt niet significant toe in dit scenario	x 1.3	Het aantal dagen hoog water met impact voor de scheepvaart neemt niet significant toe in dit scenario
Mens	Bij hoog water is er verminderde nautische veiligheid en kunnen er bijvoorbeeld ongelukken gebeuren		Bij hoog water is er verminderde nautische veiligheid en kunnen er bijvoorbeeld ongelukken gebeuren. Omdat hoogwater in dit klimaatscenario niet veel toeneemt, zal dit gevolg ook niet veel toenemen.		Bij hoog water is er verminderde nautische veiligheid en kunnen er bijvoorbeeld ongelukken gebeuren. Omdat hoogwater in dit klimaatscenario niet veel toeneemt, zal dit gevolg ook niet veel toenemen.
Economisch	< 100 miljoen per hoogwater-event	-12% scheepvaart ontwikkeling van vervoersprestatie in miljard tonkm tov referentie in 2040	De scheepvaart neemt af in de toekomst. Ook de kans op hoogwater neemt niet significant toe. De economische gevolgen blijven nagenoeg hetzelfde of nemen af	-14% scheepvaart ontwikkeling van vervoersprestatie in miljard tonkm tov referentie (getal is voor 2060)	De scheepvaart neemt af in de toekomst. Ook de kans op hoogwater neemt niet significant toe. De economische gevolgen blijven nagenoeg hetzelfde of nemen af
Natuur en Milieu		nvt			
Cultuur		nvt			
* getallen genomen conform stresstest doorvaarhoogte hoofdvaarwegennet. Daarin wordt het laag-nat scenario als niet realistisch beschouwd. Omdat het hier om hoogwater gaat nemen we de hoekpunten van de extremen: matig droog en hoog-nat.					

Hoogwater op vaarwegen. Aantal dagen waarbij de drempelwaarde van 5580m3/s bij Lobith wordt overschreden					
Droogte op vaarwegen		Klimaatscenario Hoog nat (hd)*			
	Huidig	2050		2100	
		Verandering	interpretatie	Verandering	interpretatie
Kans	7 dagen in een gemiddeld jaar	x 1.6	Het aantal dagen hoog water met impact voor de scheepvaart neemt niet significant toe in dit scenario	x 3.0	De kans op langere periodes hoog water en vaker hoog water per jaar neemt toe richting 2100 naar 93 dagen per jaar ten opzichte van 59 dagen in de huidige situatie
Mens	Bij hoog water is er verminderde nautische veiligheid en kunnen er bijvoorbeeld ongelukken gebeuren		Bij hoog water is er verminderde nautische veiligheid en kunnen er bijvoorbeeld ongelukken gebeuren. Omdat hoogwater in dit klimaatscenario niet veel toeneemt, zal dit gevolg ook niet veel toenemen.		Bij hoog water is er verminderde nautische veiligheid en kunnen er bijvoorbeeld ongelukken gebeuren. Omdat hoogwater toeneemt, kunnen er meer ongelukken gebeuren.
Economisch	< 100 miljoen per hoogwater-event	+3% scheepvaart ontwikkeling van vervoersprestatie in miljard tonkm tov referentie in (2040) tov referentie	Een iets vaker voorkomend hoogwater in combinatie met toenemende vraag van de scheepvaart kan leiden tot hogere economische gevolgen van hoogwater. Toch wordt deze nog steeds ingeschat als kleiner (<100 miljoen)	+5% scheepvaart ontwikkeling van vervoersprestatie in miljard tonkm tov referentie (in 2060)	Vaker voorkomend hoogwater in combinatie met een iets toenemende vraag van de scheepvaart kan leiden tot hogere economische gevolgen van hoogwater. Toch wordt deze nog steeds ingeschat als kleiner (<100 miljoen) en
Natuur en Milieu		nvt			
Cultuur		nvt			
* getallen genomen conform stresstest doorvaarhoogte hoofdvaarwegennet. Daarin wordt het laag-nat scenario als niet realistisch beschouwd. Omdat het hier om hoogwater gaat nemen we de hoekpunten van de extremen: matig droog en hoog-nat.					

Hoogwater op het hoofdvaarwegennet		Kans				
		<1/1000	1/100-1000	1/10-100	1/1-10	jaarlijks
Gevolg	groter					
	midden					
	kleiner			Extreem hoogwater 		jaarlijks hoogwater 

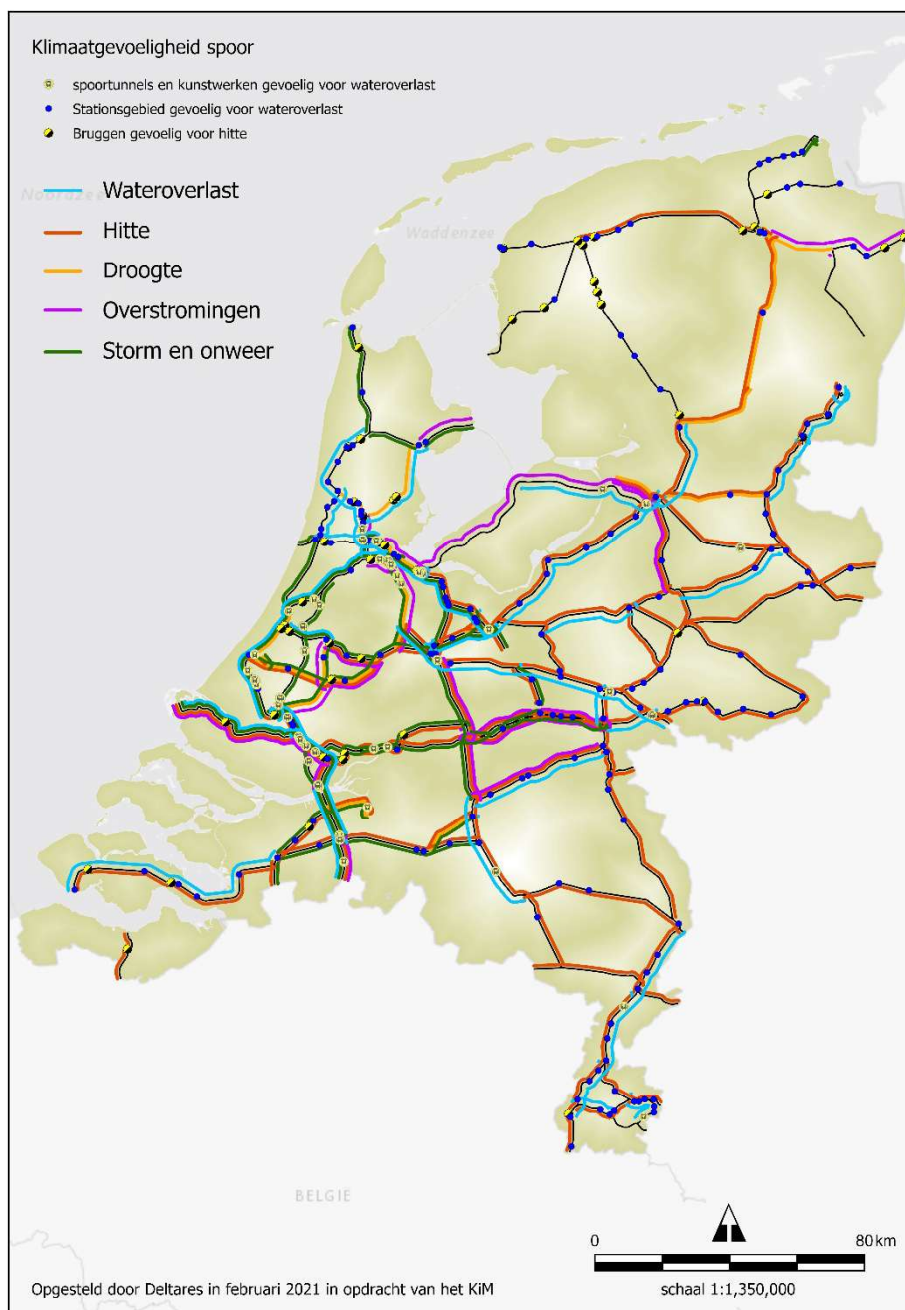
Figuur 5.6 Risicomatrix hoofdvaarwegennet hoogwater.

Met name de categorie economie is relevant voor de scheepvaart. Hierbij maken we onderscheid tussen een situatie met extreem hoogwater en jaarlijks hoogwater. In beide gevallen wordt verwacht dat de kans op dit soort events (iets) toeneemt in de toekomst. Omdat de gevolgen van een hoogwater event beperkt zijn, wordt verwacht dat deze in de categorie ‘kleiner’ blijven. Wel kan het zo zijn dat als hoogwater-events lange aaneengesloten periodes beslaan, dat de gevolgen toenemen. Afhankelijk van het socio-economische scenario kan de scheepvaart afnemen of toenemen in de toekomst, waardoor er ook een mogelijkheid bestaat dat de gevolgen afnemen; vandaar de pijl naar beneden.

6 Beschrijving risico's spoor

6.1 Inleiding

De inschattingen voor de huidige risico's voor het spoorwegennet zijn met eenzelfde aanpak bepaald als voor het hoofdwegennet en hoofdvaarwegennet (Paragraaf 2). Daarvoor is gebruikgemaakt van expert judgement, gecombineerd met de inschatting van ProRail zoals gerapporteerd in de KIM studie (Figuur 6.1) (Bles et al., 2021), de ProRail uitvoeringsagenda (2022) en op de ProRail klimaateffectatlas (ProRail, 2025).



Figuur 6.1 Klimaatgevoeligheid spoor (Bles et al., 2021).

6.2 Keuzes grootste klimaatrisico's huidig

De belangrijkste klimaatdreigingen voor het spoor zijn:

- **Overstromingen:** Hoewel de kans op grootschalige overstromingen klein is, kunnen de gevolgen zeer ernstig zijn. Grote delen van het spoor kunnen onbruikbaar raken, met langdurige verstoringen en complexe hersteloperaties tot gevolg. De impact is breed: van fysieke schade tot risico's voor mens en milieu.
- **Grootschalige regenoverstroming:** Zware regenval, zoals in Limburg in 2021, kan regionaal tot uitval leiden. Vooral tunnels en emplacementen zijn kwetsbaar. De combinatie van water en instabiliteit maakt herstel lastig en vergroot de afhankelijkheid van andere systemen zoals energie en communicatie.
- **Langdurige natte periodes:** Wanneer het langdurig nat blijft, kan het spoor verzakken of instabiel worden. Dit leidt tot risico's voor de veiligheid en langdurige uitval door baaninstabiliteit. Ook verdiept aangelegde delen van het spoor zijn gevoelig voor deze vorm van vernatting.
- **Piekbuien (lokale regenoverlast):** Korte, hevige buien komen steeds vaker voor en kunnen lokaal voor overlast zorgen. Vooral stations, tunnels en elektronische systemen zijn kwetsbaar. De gevolgen zijn meestal tijdelijk, maar kunnen zich frequenter voordoen.
- **Hitte:** Hittegolven veroorzaken zelden directe schade, maar kunnen wel leiden tot uitval van apparatuur en gezondheidsproblemen, bijvoorbeeld door falende airco's in treinen. De gezondheidsproblemen spelen voor treinpersoneel, hen die de treinen onderhouden, reizigers op en nabij stations, verladings/vervoerders en hen die langs het spoor werken voor beheer, onderhoud en vernieuwing. De impact is vaak indirect, maar niet te onderschatten en leidt ook tot lastige planning van werkzaamheden.
- **Droogte:** Langdurige droogte kan leiden tot verzakkingen van het spoor en kabels naast het spoor, en verhoogt daarnaast het risico op bermbranden. De aantallen knaagdieren nemen in droge omstandigheden toe en kunnen tot schade aan kabels leiden. De gevolgen zijn vaak verspreid, maar kunnen lokaal ernstig zijn en leiden tot langdurige verstoringen.
- **Storm(winden) en onweer:** Deze komen jaarlijks voor en veroorzaken meestal beperkte, lokale schade. Toch kunnen ze gevaarlijke situaties opleveren, bijvoorbeeld door omgevallen bomen of voorwerpen op het spoor.
- **Sneeuw en winterweer:** Sneeuwval komt in Nederland niet vaak voor, maar als het gebeurt, kan het grote delen van het land ontregelen. Dit kan leiden tot grootschalige verstoring van het treinverkeer door bevroren wissels en gladheid op stations. De impact is grootschalig en kan lang aanhouden. We gaan in dit rapport uit van hevige sneeuwval die grootschalig optreedt. Dit is een grootschalig event dat over een grote regio en potentieel het gehele land gedurende lange tijd tot grote verstoringen kan leiden.

6.3 Inschatting risico's huidig klimaat

Opgemerkt wordt dat de inschattingen die ProRail heeft gemaakt van de gevolgen van bepaalde klimaatdreigingen in hun uitvoeringsagenda (ProRail, 2022) lastig te vergelijken zijn met de gevolgen-categorieën die door het PBL gehanteerd worden. ProRail heeft een inschatting gemaakt van de gevolgen voor hun eigen bedrijfswaarden en bedrijfsvoering (waarin overigens ook gevolgen voor maatschappij in benoemd staan), terwijl de PBL matrix expliciet is gemaakt voor landelijke gevolgen voor de maatschappij. Ook wordt opgemerkt dat ProRail op dit moment een nieuwe stresstest aan het uitvoeren is, waardoor nieuwe inzichten kunnen ontstaan. Daarom hebben we in dit rapport inschattingen gemaakt uitgaande van de meest relevante klimaatdreigingen op basis van de aanpak beschreven in Paragraaf 2 en expert judgment.

De kansinschatting binnen de PBL-risicomatrix is gebaseerd op de kans op significante gevolgen voor het spoor als gevolg van een klimaatdreiging. Het gaat hierbij dus niet om de kans dat een klimaatverschijnsel zoals hitte of droogte optreedt, maar om de kans dat dit leidt tot significante gevolgen voor het spoor. Denk bijvoorbeeld aan verzakkingen door bodemdaling als gevolg van droogte. Met 'significante gevolgen' worden effecten bedoeld met een economische schadeorde van tientallen miljoenen euro's. Een voorbeeld is plasvorming op het spoor door hevige neerslag. Hoewel dit jaarlijks op meerdere locaties voorkomt, is op basis van expert judgement ingeschat dat dit pas bij een frequentie tussen eens per jaar en eens per tien jaar leidt tot zulke grote verstoringen dat ze als significant worden beschouwd.

In onderstaande Figuur 6.2 staat een uitgebreide uitleg per categorie voor kans en gevolg van de PBL risicomatrix. Figuur 6.3 laat de hoofdbedreigingen zien op de risicomatrix.

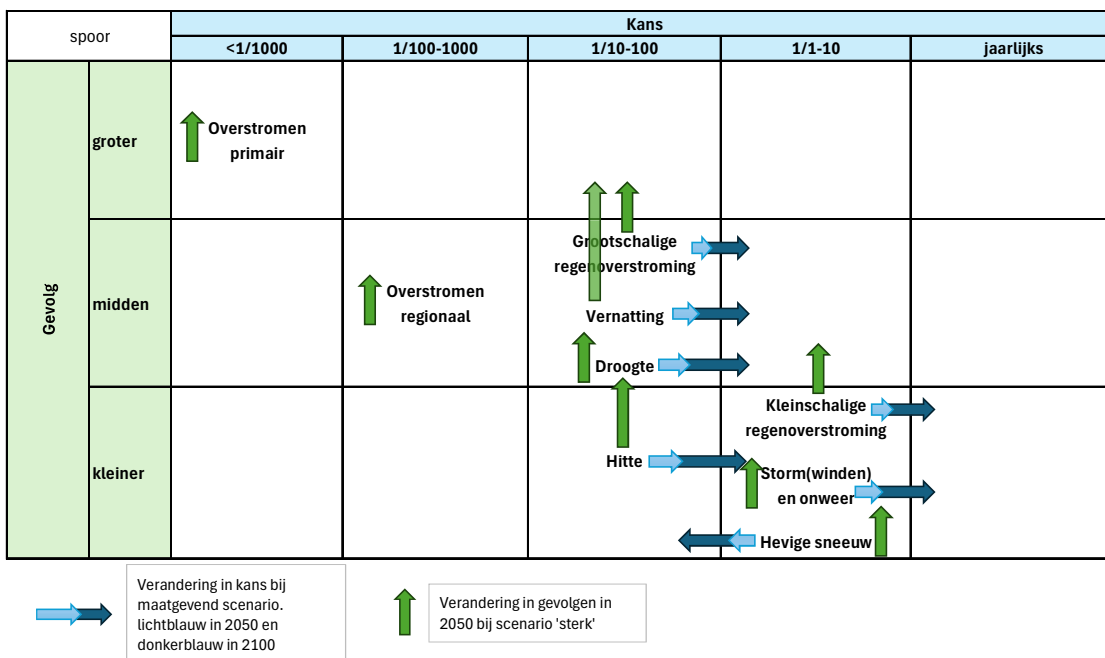
Dreiging	Kans ergens in Nederland	Economie	Mens	Natuur en milieu	Cultuur	Nadere beschrijving
Overstromen	Heel klein	Grootschalige gelijktijdige uitval van het spoor met grote impact door grote fysieke schade en daardoor ook veel verstoringen treinverkeer. Door grootschaligheid grote druk op hersteloperatie	Overstroomde treinen en ontsparingen door instabiliteit als gevolg van water langs spoorwegen kunnen tot gewonden en doden leiden	Overstromen van spoor en met name emplacementen kunnen milieuschade veroorzaken		Overstromen grote impact door veel getroffen personen, fysieke schade en milieuschade. Ook afhankelijk van energie en communicatie die uit kunnen vallen.
Grootschalige regenoverstroming leidt tot onderwater staan spoor, tunnels, overwegen	De neerslag in Limburg van 2021 had een geschatte herhalingsstijd van 300 jaar. De kans dat zich dit ergens voor doet op het hoofdspoorwegennet is iets groter.	Regionale verspreide gelijktijdige uitval. Indien verweking: langdurige uitval die lastig te repareren is. Kritieke objecten zoals tunnels en opstelterreinen zijn kwetsbaar. Ook afhankelijk van energie en communicatie die uit kunnen vallen.	Overstroomde treinen en ontsparingen door instabiliteit als gevolg van water langs treinbanen kunnen tot gewonden en doden leiden	Wateroverlast kan leiden tot vervuiling in specifieke situaties en mogelijk bij emplacementen of andere specifieke locaties ook tot onomkeerbare schade leiden		Indien verweking langdurige uitval die lastig te repareren is. Kritieke objecten zoals tunnels en opstelterreinen zijn kwetsbaar. Ook afhankelijk van energie en communicatie die uit kunnen vallen.
Vernatting door langdurige natte periode leidend tot verweking/instabiliteit baanlichaam en hoge grondwaterstanden die tot opdrijven kunnen leiden	1/10-1/100. Dit deed zich voor in Zeeland tijdens de natte periode van herfst 2023 tot en met 2024. Kans is wellicht nog iets groter, maar lastig in te schatten.	Regionale verspreide gelijktijdige uitval. Indien verweking langdurige uitval die lastig te repareren is. Kritieke objecten zoals tunnels en verdiepteliggingsen zijn kwetsbaar voor opdrijven.	Ontsporingen door instabiliteit als gevolg van hoge grondwaterstanden kunnen tot gewonden en doden leiden			
Kleinschalige regenoverstroming; gevolgen van piekbuien	Neerslag met een korte duur van een half uur tot anderhalf uur, kan tot problemen leiden op het spoor bij een herhalingsstijd vanaf ongeveer 100 jaar op een plek in Nederland (puntstatistiek). Dit betekent dat het over het gehele spoorwegennetwerk (veel) vaker kan voorkomen. Ingeschat is dat het jaarlijks tot eens per 10 jaar tot significante gevolgen leidt voor het spoorwegennet	Kortdurende lokale uitval van treinen. Stations kunnen getroffen worden met onbereikbaarheid van spoortransport als gevolg. Tunnels en verdiepte liggingen extra kwetsbaar	stations kunnen getroffen worden	Wateroverlast kan leiden tot vervuiling in specifieke situaties en mogelijk bij emplacementen of andere specifieke locaties ook tot onomkeerbare schade leiden		Effecten op opstelterreinen kunnen leiden tot natuur en milieuschade. Electronica gevoelig en daardoor uitval
Hitte	Gemiddeld zijn er 5 dagen per jaar met een tropische temperatuur van meer dan 30 graden (in de Bilt). Dit leidt echter niet gelijk tot significante gevolgen (binnen de PBL gevolgklasse 'kleiner'). Ingeschat is dat echt significante gevolgen pas optreden bij een kleinere kans dan eens in de 10 jaar.	effect op economie (via uitval treinen door uitval bruggen en/of elektronica); slecht planbaar onderhoud met mogelijke gevolgen voor betrouwbaarheid spoor.	Uitval van airco's treinen en hitte op stations kunnen tot gezondheidsproblemen leiden voor reizigers en personeel. Idem voor personeel dat rond het spoor werkt.	hitte heeft effect op aantel en beheer van bermen/spoorterreinen en wenselijke biodiversiteit		
Droogte leidt tot verlies van baanvakstabiliteit, bodemdaling en bermbranden	Droogte kan tot significante schade aan het spoor en de omgeving van het spoor leiden (dit ook in samenhang met (afwisseling met) natte periodes). Ingeschat (expert judgement) is dat droogte die tot gevolgklasse 'midden' leidt zich ongeveer eens per 10-100 jaar voordoet.	Als droogte leidt tot instabiliteit en/of zakking van het baanlichaam dan leidt dat tot significante schade en langdurige verstoring van het treinverkeer. Berm- en natuurbranden leiden tot uitval van treinen en schade aan spoor assets.	Bermbranden kunnen overslaan naar de omgeving		verdroging kan leiden tot paaltrot/inklinking en zo cultuur-historische gebouwen beschadigen.	
Storm(winden) en onweer	Stormwind en onweer komen elk jaar wel voor in Nederland. Ingeschat is dat significante schade niet ieder jaar ontstaat, maar pas bij een kans tussen jaartijks en 10-jaartijks	Door (storm)winden ontstaat schade aan spoorassets en ontstaan stremmingen en uitval van treinen.	kans op gevaarlijke situaties door voorwerpen op het spoor			Heel lokale effecten

Figuur 6.2 Interpretatie van de verschillende risico's voor het spoor in relatie tot de PBL risicomatrix.

spoor		Kans				
		<1/1000	1/100-1000	1/10-100	1/1-10	jaarliks
Gevolg	groter	Overstromen primair				
	midden		Overstromen regionaal	Grootschalige regenoverstroming Vernatting Droogte		
	kleiner			Hitte	Kleinschalige regenoverstroming Storm en onweer	

Figuur 6.3 Inschatting risico's voor spoor in de categorieën van de PBL risicomatrix.

6.4 Verandering naar de toekomst



Figuur 6.4 Veranderingen in klimaatdreigingen voor het spoor. Met de lengte van de pijlen wordt alleen weergegeven of een klimaatdreiging in een andere risicoklasse terecht komt. De lengte van de pijlen moet niet onderling worden vergeleken en zegt niets over de grote van de verandering.

Uitgangspunt voor de weergave in de matrix is dat de verandering van kans is weergegeven bij Hd en Hn (afhankelijk of het een 'droge' of 'natte' klimaatdreiging is), omdat met name in die scenario's grote verschillen optreden en klimaatdreigingen ook van 'klassegrens' wisselen. Bij de Ld en Ln scenario's zijn er weliswaar verschillen met het huidige klimaat, maar deze veranderen het risicoprofiel niet significant. In Bijlage B staat toegelicht hoe de risico's veranderen naar de toekomst.

7 Extreme gebeurtenissen en keteneffecten

Klimaatverandering brengt steeds complexere risico's met zich mee voor vitale infrastructuur in Nederland, waaronder het hoofdwegennet, hoofdspoorwegennet en vaarwegennet. Naast directe schade aan fysieke objecten zoals wegen, tunnels, sluizen, bruggen, spoorbanen en technische installaties, kunnen klimaatdreigingen leiden tot verstoringen met bredere maatschappelijke impact. De ernst van deze verstoringen wordt mede bepaald door de locatie, de beschikbaarheid van alternatieve routes en de mate van redundantie in het netwerk. Klimaatdreigingen kunnen ook leiden tot complexere verstoringen, zoals keteneffecten en samenloop met andere gebeurtenissen.

De locatie waarop verstoringen plaatsvinden is bepalend voor de gevolgen. Bijvoorbeeld:

- **Wegverkeer:** Uitval van kritieke locaties zoals tunnels of bruggen leidt tot lange omrijdtijden op locaties met weinig redundantie.
- **Spoorvervoer:** Incidenten op knooppunten of in tunnels zijn lastig om te leiden, wat leidt tot vertragingen, uitval van dienstregelingen en problemen bij incidentbestrijding.
- **Binnenvaart:** Bij droogte daalt het waterpeil, waardoor schepen minder of niet kunnen varen. Dit verstoort industriële aanvoer.

7.1.1 Combi-gebeurtenissen

Naast dat een enkele klimaatdreiging tot verstoring kan leiden, kan een stapeling of gelijktijdigheid van gebeurtenissen de impact aanzienlijk vergroten. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren bij combinaties van gebeurtenissen. Afhankelijk van waar deze gebeurtenissen optreden en hoe kwetsbaar de infrastructuur op die plek is kunnen de gevolgen groter of kleiner zijn. Hieronder volgt een aantal voorbeelden van combi-gebeurtenissen.

Gelijktijdigheid van verschillende klimaatdreigingen

- **Droogte + hitte:** langdurige droogte kan leiden tot verzakkingen van wegen door bodemdaling, terwijl extreme hitte tegelijkertijd kan zorgen voor uitzetting van funderingsmaterialen en storingen aan beweegbare bruggen (Bles et al., 2021).
- **Langdurige natte periode + piekbuien** kan leiden tot instabiele treinsporen en verzakkingen. Dit is een kostbaar risico wat tot lange hersteltijden en veel schade kan leiden. Daarnaast kan een dergelijke combinatie van events leiden tot waterinstroom in tunnels en technische ruimtes, wat kan resulteren in uitval van signaleringssystemen en vertragingen (Juch et al., 2025).
- **Langdurige droge periode + piekbuien** kan leiden tot extra kwetsbaarheid van weg- en spoortaluds. Door droogte is de vegetatie verdort, waardoor deze minder erosiebestendigheid biedt bij opeenvolgende neerslaggebeurtenissen.
- **Droogte + bermbranden:** langdurige droogte verhoogt het risico op bermbranden, wat kan leiden tot stremmingen en gevaarlijke situaties. Bij uitbreiding naar de omgeving kunnen ook nabijgelegen infrastructuur en bebouwing worden getroffen (van Marle et al., 2025).
- **Valwinden + hoogwater:** tijdens een zware bui kunnen valwinden bomen doen omwaaien, terwijl hoogwater tegelijkertijd kan zorgen voor nautisch onveilige situaties en slecht zicht.

Meerdere verstoringen op verschillende plekken door dezelfde klimaatdreiging

De gelijktijdigheid van klimaatdreigingen kan de omvang van verstoringen aanzienlijk vergroten.

- **Hitte:** is een landsbrede dreiging die gelijktijdig meerdere technische installaties voor transport kan beïnvloeden. Het kan leiden tot uitzetting van constructies, waardoor de

beschikbaarheid van infrastructuur afneemt. Vooral beweegbare bruggen zijn kwetsbaar: wanneer meerdere bruggen tegelijk uitvallen, ontstaat aanzienlijke hinder die veel groter is dan bij de uitval van een enkele brug (Bles et al., 2021).

- **Overstroming:** kan leiden tot grootschalige uitval van allerlei infrastructuur, waaronder hoofdwegen, spoorwegen, vaarwegen. De herstelfase is hierbij cruciaal. Naast gevolgen voor transport, zullen er veel andere grote gevolgen zijn (Meijer et al., 2025).
- **Wateroverlast:** kan meerdere verstoringen tegelijk veroorzaken, zoals uitval van tunnels, verkeerslichten en rijstroken, en leiden tot keteneffecten in andere sectoren (Meijer et al., 2025). Ook voor het spoor vormt dit een dreiging omdat wateroverlast op meerdere locaties tegelijk zorgen voor uitval van sein- en wisselinstallaties. Omdat deze systemen gevoelig zijn voor water, ontstaan vertragingen en veiligheidsrisico's (Juch et al., 2025).
- **Gelijktijdige uitval modaliteiten:** De genoemde klimaatdreigingen die voor gelijktijdige verstoringen in een modaliteit kunnen zorgen, kunnen er meestal ook voor zorgen dat gelijktijdig weg en spoor uit kunnen vallen. De redundantie van het transportsysteem staat dan onder druk.

Klimaatdreiging tegelijk met andersoortige verstoringen

Een klimaatdreiging in combinatie met een andersoortige verstoring, zoals bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden, stroomuitval of ongelukken kunnen de gevolgen versterken. Zo kan bijvoorbeeld extreme hitte tijdens het onderhoudsseizoen leiden tot gelijktijdige storingen aan tunnels en bruggen, terwijl de capaciteit van het netwerk al beperkt is door geplande werkzaamheden. Dit vergroot de kans op stremmingen en maakt het netwerk tijdelijk minder veerkrachtig.

7.1.2 Keteneffecten

Daarnaast kunnen keteneffecten ook tot verstoringen leiden. Zo kan bijvoorbeeld de dreiging van grootschalige wateroverlast niet alleen effecten voor transport veroorzaken, maar ook allerlei andere gelijktijdige effecten die elkaar kunnen versterken (Meijer et al., 2025). In dergelijke situaties kan het risico niet in isolatie worden gezien. Door ketenafhankelijkheden kunnen de risico's van klimaatdreigingen groter zijn dan wanneer alleen naar de directe fysieke impact wordt gekeken.

Uitval van bereikbaarheid, bijvoorbeeld door verstoring van wegen, bruggen of tunnels, kan leiden tot brede keteneffecten. Hulpdiensten, zorginstellingen en openbaar vervoer raken vertraagd of onbereikbaar, wat directe gevolgen heeft voor veiligheid en gezondheid. Ook vitale infrastructuur zoals energie, water, telecom en afvalsystemen is afhankelijk van fysieke toegang voor onderhoud en herstel. Zonder bereikbare routes kunnen storingen niet worden opgelost, met risico op langdurige uitval. Een illustratief voorbeeld is de noodzaak tot fysieke toegang bij het sluiten van sluizen tijdens hoogwater. Als wegen op dat moment niet beschikbaar zijn, kunnen cruciale handelingen uitblijven, met risico's voor waterveiligheid en verdere schade (Meijer et al., 2025).

Ook de binnenvaart is kwetsbaar. Bij langdurige droogte daalt het waterpeil, waardoor schepen minder of niet kunnen varen. Dit belemmert de aan- en afvoer van grondstoffen en producten voor de industrie, vergroot de druk op alternatieve modaliteiten zoals wegvervoer, en verhoogt het risico op logistieke verstoringen.

Spooruitval heeft ook brede maatschappelijke impact: gevaarlijke stoffen moeten via andere modaliteiten worden vervoerd, industriële processen raken verstoord door vertraagde aanvoer, bij grote evenementen ontstaat druk op metro, tram en bus en andere vitale sectoren ondervinden hinder wanneer personeel niet op locatie kan komen (Meijer et al., 2025).

Daarnaast zijn spoor, weg en binnenvaart zelf ook afhankelijk van andere vitale functies zoals elektriciteit, telecommunicatie en het functioneren van het watersysteem. Zo kan een verstoring in de elektriciteitsvoorziening bijvoorbeeld leiden tot uitval van seinen, bovenleidingen en communicatiesystemen, met gevolgen voor het spoorvervoer (Meijer et al., 2025). Omdat het spoor afhankelijk is van wegvervoer voor vervangend vervoer, werkt deze oplossing alleen als het wegennet bereikbaar is (Juch et al., 2025). Ook verkeerslichten en tunnels op het wegennet en pompen gemalen van het watersysteem zijn grotendeels afhankelijk van elektriciteit (Meijer et al., 2025).

7.1.3 Black swans

Naast bekende risico's moeten ook onwaarschijnlijke maar impactvolle gebeurtenissen: zogenaamde *black swans*, worden overwogen. Denk aan een combinatie van een cyberaanval tijdens een klimaatdreiging, of een onverwachte systeemuitval van meerdere tunnels en bruggen tegelijk tijdens een extreme weersituatie. Zulke scenario's vereisen wendbare crisisvoorbereiding en robuuste infrastructuurplanning.

Daarnaast kunnen mondiale veranderingen grote gevolgen hebben. Zo kan een vertraging of stilstand van de AMOC bijvoorbeeld leiden tot grilliger weer in Europa, met meer neerslag, stormen en kou, wat de belasting op infrastructuur vergroot. IJsvorming op de vaarwegen belemmert de scheepvaart en ijssdammen kunnen grote schade aan de vaarweginfrastructuur brengen. Versnelde zeespiegelstijging, bijvoorbeeld door het instorten van ijskappen, kan laaggelegen delen van het hoofdwegennet structureel bedreigen en vraagt om fundamentele heroverweging van ligging en functie van vitale verbindingen.

7.1.4 Mogelijke nieuwe dreigingen

Om voorbereid te zijn op de gevolgen van klimaatverandering, is het belangrijk om ook nieuwe, nog niet eerder onderkende dreigingen in beeld te brengen. In onderstaande tabel wordt een aantal mogelijke toekomstige risico's benoemd die van invloed kunnen zijn op HWN en de directe omgeving. Deze zijn beschreven in de Herijking klimaatrisico's (Moghtaderi Asr & van der Mark, 2025). Nieuwe dreiging voor het vaarwegennet kan zijn de verschuiving van het moment in het jaar waarop laagwater voorkomt (van herfst naar voorjaar). Dit brengt met zich mee dat zaken gaan samenvallen (meer watervraag, hogere temperatuur en daarmee klemmende bruggen) en de gevolgen meer toenemen dan we nu inschatten.

Tabel 7.1 Mogelijke toekomstige dreigingen voor het hoofdwegennet. Uit Moghtaderi Asr & Van der Mark (2025).

Klimaatdreiging	Omschrijving
Hittestress op verzorgingsplaatsen	In de toekomst vormt hittestress een toenemend risico voor bezoekers op verzorgingsplaatsen
Toename van verharding	Meer verharding belemmert waterinfiltratie, vergroot de kans op wateroverlast en versterkt het hitte-eilandeffect.
Kwetsbaarheid van gebouwen	Werkplaatsen, verkeerscentrales, steunpunten en zoutloosden zijn gevoelig voor wateroverlast, overstromingen, droogte en hitte.
Effecten van hitte op elektrische installaties	Hoge temperaturen kunnen installaties oververhitten, wat leidt tot storingen en een kortere levensduur.
Risico's voor water- en bodemkwaliteit en constructieve veiligheid	Funderingsmaterialen zoals AVI-bodemas en staalslakken kunnen bij hoge grondwaterstanden en langdurige neerslag uitspoelen, wat leidt tot hoge pH-waarden en zware metalen in bodem en water. Dit kan ook geokunststoffen aantasten en de constructieve veiligheid in gevaar brengen.

8 Klimaatadaptatie

Er zijn veel maatregelen om de risico's van klimaatverandering voor spoor, weg en vaarwegen te verkleinen. De basis voor dit hoofdstuk ligt in de adaptatie-strategieën en maatregelen van de Nationale Adaptatiestrategie 2026 (NAS, nog te verschijnen). De maatregelen en structuur die de NAS hanteert is vastgesteld in workshops waarbij adaptatie-experts van onder andere Rijkswaterstaat, ProRail, ministerie van IenW en kennisinstellingen aanwezig waren. Daarnaast is gebruik gemaakt van het maatregelenoverzicht dat is opgesteld voor het hoofdwegennet (Bles & Sardjoe, 2021). Op basis daarvan hebben we de maatregelen geclusterd in vijf groepen, en noemen we per groep voorbeelden voor de verschillende infrastructuurnetwerken. Grofweg zijn deze 5 clusters te verdelen in de strategie *intensiveren en transformeren* zoals deze door de NAS en PBL worden gehanteerd. Onder *intensiveren* wordt de huidige strategie verstaan, waarin het netwerk en huidige gebruik steeds verder opgerekt wordt om meer gebruikers onder druk van klimaatverandering te kunnen accommoderen. De andere strategie is *transformeren*, waarin het huidige transportnetwerk en ook het gebruik ervan anders wordt ingericht.

In de NAS wordt ook het accepteren van verminderde functionaliteit als adaptatiestrategie gepresenteerd. In dit hoofdstuk houden we die optie echter buiten beschouwing, omdat dit geen concrete maatregel maar een strategische beslissing is voor wanneer klimaatverandering zo snel gaat dat de maatregelen niet voldoende zijn, of wanneer er te weinig middelen beschikbaar zijn om de maatregelen te implementeren. Wel nemen we de strategische beslissing om tijdelijk, tijdens extreem weer, een lager service niveau te bieden op in de mogelijke maatregelen. Daarnaast voegen we een groep maatregelen toe die niet in de NAS aan bod komt, die ingaat op maatregelen van de gebruikers van de infrastructuur, om de impact van de verstoringen te verlagen.

In dit hoofdstuk beschrijven we de 5 groepen maatregelen met enkele voorbeelden en geven bewust niet een compleet overzicht van de specifieke maatregelen die genomen kunnen worden. Dat zouden lange lijsten zijn met maatregelen die aangepast moeten worden aan de specifieke condities op/langs het wegen, spoor en vaarwegennetwerk. Ook sluiten we op deze manier aan bij de NAS.

8.1 Intensiveren: klimaatrobuust onderhoud

Binnen deze groep maatregelen wordt gekeken naar hoe de huidige infrastructuur op zo'n manier kan worden onderhouden dat klimaatrisico's voor minder verstoringen of uitval zorgen of voorkomt dat deze plaatsvinden in de toekomst. Deze maatregelen vallen typisch in de reguliere beheer- en onderhoudsplannen van Rijkswaterstaat en ProRail, maar zullen met meer klimaatverandering vaker moeten worden herhaald. Met kwalitatief en voldoende frequent onderhoud wordt verzekerd dat de infrastructuur functioneert zoals deze is ontworpen. Dit type maatregelen kan daarom gezien worden als **preventieve adaptatie**. Een goede onderhoudsstatus is daarmee de basis van klimaatbestendige infrastructuur, maar onderhoud is bij sterke klimaatverandering nooit voldoende. Dan zullen ook andere maatregelen toegepast moeten worden om de klimaatbestendigheid te behouden.

8.1.1 Voorbeelden spoor en weg

Een voorbeeld is **bermonderhoud** (vegetatiebeheer), omdat deze voor verschillende bedreigingen effectief is: bij regenoverstroming, erosie/stabiliteit van taluds en ook bij bermbranden. Daarnaast zijn er veel meekoppelkansen, omdat adequaat bermonderhoud de ecologische waarden en veiligheid vergroot. Een ander voorbeeld is voldoende **onderhoud**

aan hemelwaterafvoersysteem bij kunstwerken, zoals het schoonhouden van duikers en putten. Dit is zowel effectief bij regenoverstroming tijdens zware neerslag, als bij instabiliteit van het weg- of baanlichaam .

Beide genoemde maatregelen zijn relatief laag in kosten en zijn eenvoudig implementeerbaar, omdat ze nu al in het reguliere assetmanagement plaatsvinden. Tegelijkertijd is er ook nu al een grote druk op de onderhoudsbudgetten. Deze zullen verhoogd moeten worden om deze adaptatiestrategie goed toe te kunnen passen.

8.1.2 Voorbeelden vaarweg

De vaarweg wordt door de aannemer continu op diepte gehouden middels **vaargeulonderhoud**. Dit houdt in dat ondieptes worden weggebaggerd, en dat dit sediment elders in de rivier weer wordt teruggestort. Sommige knelpunten ten tijde van droogte zijn zogenaamde 'niet-bagger-locaties'; hier mag niet gebaggerd worden vanwege kruisende kabels en leidingen. Doorgaande rivierbodemerose hindert de scheepvaart, aangezien dit bij droogte ervoor zorgt dat op de aansluitingen tussen rivier en kanalen knelpunten ontstaan. Een maatregel tegen deze rivierbodemerose is **sedimentsuppletie**, waarbij sediment in de rivier gestort wordt.

Intensiveren van het vaargeulonderhoud middels het optimaliseren van het bagger en terugstortbeleid, het oplossen van de 'niet-bagger-locaties' en het uitvoeren van sedimentsuppleties is een voorbeeld van klimaatrobuust onderhoud. Deze maatregel is een no-regret maatregel, die sowieso bijdraagt aan de bevaarbaarheid zonder dat andere rivierfuncties worden gehinderd. Deze maatregel is wel eindig; dat wil zeggen, op een gegeven moment zijn andere maatregelen nodig om de rivier bevaarbaar te houden ten tijde van droogte.

8.2 Intensiveren: klimaatrobuuste renovatie en nieuwbouw

Dit cluster aan maatregelen omvat structurele aanpassingen van de fysieke infrastructuur zelf om specifieke onderdelen weerbaarder te maken tegen klimaatrisico's. Dit type maatregelen kan daarom gezien worden als **preventieve adaptatie**. Hieronder volgt een aantal voorbeelden van maatregelen uit dit cluster voor de modaliteiten. De aanpassingen aan de infrastructuur worden idealiter meegenomen bij aanleg en bij groot onderhoud of rehabilitatie. Gegeven de lange levensduur van infrastructuur zal de klimaatbestendigheid van het gehele infrastructuurnetwerk heel geleidelijk verbeteren, naarmate steeds meer assets en connecties zijn aangepast. Dit is een proces van decennia. **Aanpassen van ontwerpnormen** is belangrijk om klimaatadaptatie efficiënt te verankeren in het asset management van de infrastructuurbeheerder. Bij die aanpassingen moet, gezien de lange levensduur van de infrastructuur, klimaatverandering worden meegewogen met een lange tijdshorizon. De onzekerheden zijn daarbij groot (hoeveel verandert het klimaat).

8.2.1 Voorbeelden spoor en weg

Om de fysieke infrastructuur van spoor en weg weerbaarder te maken valt te denken aan maatregelen als het **verhogen van kwetsbare componenten** (wet-proofing). Dit vereist aanzienlijke investeringen, het is een technische aanpassing met mogelijk een langdurig aanlegproces. Daarnaast kun ook gekozen worden voor het **vergroten van drainagesystemen** om grotere volumes water op te kunnen vangen. Ook dit is een dure maatregel als deze buiten de reguliere renovatiecyclus moet plaatsvinden, maar wel effectief tegen zware regenbuien. In sommige situaties is klimaatrobuuste renovatie erg complex, bijvoorbeeld als pompgebieden uit tunnels vergroot moeten worden. Een pompkelder en de ruimte voor de pomp kunnen veelal niet eenvoudig worden vergroot.

8.2.2 Voorbeelden vaarweg

Kleine ingrepen aan de fysieke infrastructuur kunnen de bevaarbaarheid verbeteren zonder grote infrastructurele impact. Voorbeelden zijn **verlaging van sluisdrempels**, het installeren van **pompen bij sluizen** om schutverlies te verminderen, **constructie van langsdammen of kribben** om de waterdiepte bij laagwater te vergroten of het **aanpassen van de kade-infrastructuur van binnenhavens** om de lading bij langdurige periodes van droogte beter te kunnen afwickelen. Daarnaast kunnen bruggen hoger worden aangelegd, zodat schepen ook bij een hoger peil op de rivier de brug kunnen passeren. Het verhogen van bruggen vergt wel veel ruimte in de omgeving door een bredere en langere toerit naar de brug.

8.3 Intensiveren: versterken van operationele processen

Wanneer uitval van netwerken dreigt plaats te vinden door extreem weer, kun je als infrabeheerder er voor zorgen dat de impact hiervan wordt verkleind door de operationele processen goed in te richten. Dit type maatregelen zorgt ervoor dat de respons voor, tijdens of na een klimaat event wordt verbeterd, zodat schade, hinder en verstoringen worden geminimaliseerd. Dit type maatregelen kan daarom gezien worden als **reactieve adaptatie**. Dit type maatregelen gaat bijvoorbeeld over real-time verkeersmanagement systemen, communicatieprotocollen richting gebruikers, protocollen om voorbereid te zijn en snel herstel te kunnen bespoedigen en business continuity management.

8.3.1 Voorbeelden spoor en weg

Dit cluster omvat operationele maatregelen zoals het **trainen van personeel voor noodsituaties** en het ontwikkelen van strategieën voor **tijdelijke omleidingen of tijdelijke verminderde service**. Dit zijn maatregelen die niet erg kostenintensief zijn maar wel veel planning en coördinatie vereist tussen wegbeheerders en hulpdiensten.

De winterdienstregeling van de NS is een voorbeeld waarbij tijdens extreem weer tijdelijk verminderde service wordt geleverd, zodat de impact van het extreme weer kleiner blijft: tijdens een storm of sneeuw rijdt er minder materieel, maar wel op geplande tijden. De reizigers zijn hier van tevoren van op de hoogte, waardoor de impact kleiner is. Op tijd een code rood afgeven door het KNMI zodat reizigers de weg niet op gaan is hier ook een voorbeeld van. Hoe beter de weersvoorspellingen, hoe eerder de reizigers ervan op de hoogte kunnen worden gesteld en hoe kleiner de impact.

Dit is nog verder te verbeteren door het **implementeren van impact-gebaseerde weersvoorspellingen**, waarbij de weersvoorspellingen worden gekoppeld aan impactmodellen, waardoor er effectievere besluitvorming kan plaatsvinden als extreem weer optreedt. Met de huidige technologie is dit haalbaar, maar dit vereist wel ontwikkeling.

8.3.2 Voorbeelden vaarweg

Op de vaarweg kunnen **verkeersmanagement-** of **verkeersbegeleidingsmaatregelen** ten tijde van extreme omstandigheden helpen bij het reduceren van hinder of verstoringen. Innovaties met tijdelijke flexibele constructies kunnen mogelijk helpen om ten tijde van een droogte de waterdiepte wat te vergroten. Naar de haalbaarheid en effectiviteit dient nog onderzoek gedaan te worden. Een ander voorbeeld is het benutten van seizoensverwachtingen door de binnenvaartsector of verladers. Als men bijvoorbeeld een droge periode tijdig ziet aankomen, dan kan daarop worden geanticipeerd door bijvoorbeeld extra schepen of andere modaliteit te organiseren, voorraden preventief aan te vullen of een extra overslaghub op te nemen. Het beschikbaar stellen van dergelijke verwachtingen, in zo'n vorm dat het bruikbaar is bij het nemen van beslissingen door de transportsector of verladers is een voorbeeld waarmee het operationele proces versterkt kan worden.

8.4 Transformeren: Versterken van netwerkredundantie

Redundantie in het netwerk verhoogt de veerkracht en de flexibiliteit tijdens extreme weersomstandigheden, waardoor de uitval minder is. Redundantie kan plaatsvinden tussen verschillende modaliteiten, of binnen de netwerken. Onderzoek naar deze zogenoemde systeemrobustheid heeft op dit moment veel aandacht, omdat daarmee inzicht wordt verkregen in de klimaatbestendigheid van het transport (in plaats van de klimaatbestendigheid van de infrastructuur). Door het gehele transportsysteem te beschouwen kan zo worden vastgesteld waar aanpassingen het meest doeltreffend zijn om transport ook in de toekomst betrouwbaar en veilig te kunnen laten plaatsvinden. Afstemming en integratie met andere maatregelen in het ruimtelijke domein is essentieel voor dit type maatregelen. De kosten van de maatregelen zijn hoog, maar de effectiviteit is tegelijkertijd ook hoog. Onderzoek moet uitwijzen of de baten hoger zijn dan de kosten.

8.4.1 Voorbeelden spoor en weg

Door het **toevoegen van alternatieve routes** naar kritieke locaties wordt de kans dat een locatie onbereikbaar raakt verkleind. Het vereist een grote investering in aanleg en onderhoud, maar is wel erg effectief.

8.4.2 Voorbeelden vaarweg

Redundantie vergroten kan bijvoorbeeld door bepaalde vaarwegen op te waarderen (d.w.z., dat er een grotere scheepsklasse kan varen). Hiermee komen mogelijk meer alternatieve routes in beeld voor bepaalde scheepstypes. Een omvangrijke maatregel is de aanleg van een nieuwe vaarweg, bijvoorbeeld nabij een kritieke locatie. De aanleg van stuwen en sluisen om vaardiepte te garanderen past ook onder 'transformeren', aangezien dit een zeer rigoureuze maatregel is, die impact op het gehele watersysteem en alle rivierfuncties heeft.

8.4.3 Voorbeelden transportsysteem

Een ander voorbeeld is het **versterken van opties van modal shift** naar andere vervoerstypen. Door het toevoegen van overstap-/overslagpunten wordt de flexibiliteit tussen de netwerken versterkt. Voor zowel goederenvervoer (tussen vaarwegen en spoor/weg) als passagiersvervoer (tussen weg en spoor) biedt dit mogelijkheden. Het vereist wel investeringen en samenwerking tussen de verschillende transportsectoren.

8.5 Transformeren: adaptatie van gebruikers infrastructuur

Wanneer het transport netwerk tijdelijk niet de service kan leveren die het onder normale condities levert, moet de gebruiker zich hieraan aanpassen. We spreken van transformeren, omdat dit in gaat tegen het gedachtegoed dat klimaatverandering altijd te beheersen is. De infrabeheerder kan in deze gevallen maatregelen treffen, die zijn genoemd in 8.3. De gebruiker zelf heeft echter ook maatregelen te treffen.

Woon- werkverkeer kan worden verminderd door thuiswerken mogelijk te maken. Hiervoor moeten wel de juiste ICT middelen beschikbaar zijn. Ook moeten stroom en internetvoorzieningen stabiel blijven, juist ten tijde van extreem weer.

Een voorbeeld van een dergelijke maatregel voor goederentransport, zowel via spoor, weg als vaarweg, is een minder strikt 'just-in-time'-principe in het voorraadbeheer. Deze maatregel kan de flexibiliteit in de logistieke keten vergroten. Ook het aanpassen van de rijdende of varende vloot aan nieuwe omstandigheden is een voorbeeld van adaptatie door de gebruikers van de infrastructuur. Zogenaamde ondiepwaterschepen kunnen met dezelfde hoeveelheid lading blijven doorvaren bij kleinere waterdieptes. Ook innovatieve modulaire scheepsoplossingen zijn mogelijk adaptieve oplossingsrichtingen.

8.6 Maladaptatie en het voorkomen van desinvesteringen

Maladaptatie refereert naar maatregelen of strategieën die genomen worden om de kwetsbaarheid voor bepaalde klimaatdreigingen te verkleinen, maar die juist (onbedoeld) de kwetsbaarheid voor dezelfde of andere klimaatdreigingen vergroot, of de impact ervan vergroot, of de algemene welvaart verkleint, zowel op korte als lange termijn. Ook kan maladaptatie gevolgen hebben voor andere domeinen dan het domein waarvoor de adaptatiemaatregel was bedoeld. Maladaptatie is meestal een onbedoeld gevolg.

Er is een aantal voorbeelden te bedenken van maatregelen ter vermindering van de ene klimaatdreiging die de andere klimaatdreiging juist verergert. Hieronder staan enkele voorbeelden van maatregelen in de transportinfrastructuur die eventueel maladaptief zouden kunnen zijn.

- Meer tunnels en verdiepte liggingen aanleggen als gevolg van verdichting van steden. Binnen de strategie 'intensiveren' valt ook het verdichten van het stedelijk gebied. Als dit ook betekent dat er minder ruimte is voor (spoor)wegen, en er hierdoor meer tunnels en verdiepte liggingen worden aangelegd, dan wordt hiermee een kwetsbaarheid geïntroduceerd. Deze is technisch op te lossen, maar feit blijft dat een tunnel kwetsbaarder is dan aanleg op maaiveld.
- De A15 en Betuweroute zijn belangrijke achterlandverbindingen van de haven van Rotterdam. In een verkenning naar de gevoeligheid van deze achterlandverbindingen voor zeespiegelstijging (de Jong et al., 2022) werd geconstateerd dat beide connecties in een kwetsbaar gebied liggen, namelijk in een diepe polder, nabij de grote rivieren. Ook ligt de A15 in delen op de waterkering. In de studie werd aanbevolen om te onderzoeken hoe een investering in (klimaatbestendigheid van) deze routes zich verhoudt tot mogelijke grote ruimtelijke adaptatiemaatregelen om zeespiegelstijging het hoofd te kunnen bieden.
- Het fixeren van de bodem in de Waal-bocht bij Nijmegen (de zogenaamde harde laag) is ooit gedaan om de bevaarbaarheid in de bocht te verbeteren. Door het aanbrengen van de vaste laag ontstond benedenstrooms een grote ondiepte. Momenteel is deze harde laag en die ondiepte één van de grootste nautische knelpunten in de Waal door de doorgaande bodemerosie. Je zou dit kunnen zien als een maladaptieve maatregel (de maatregel creëert immers een nieuwe ondiepte benedenstrooms), echter ligt het genuanceerder: de harde laag is wel een aantal jaren doelmatig geweest en nog steeds zorgt deze dat de binnenbocht niet te ondiep wordt (niets doen hier was ook geen goede oplossing geweest).

Desinvestering kan optreden wanneer adaptatiemaatregelen te zwaar worden uitgevoerd. Bijvoorbeeld wanneer men probeert om alle mogelijke gevolgen van klimaatdreigingen te voorkomen door infrastructuur extreem robuust te maken; tegen zeer hoge kosten. Ook kan het voorkomen dat maatregelen worden getroffen die achteraf niet nodig blijken te zijn, omdat de verwachte klimaatdreigingen minder intens of minder frequent optreden dan gedacht.

Het laatste speelt vooral bij grote infrastructuurwerken waarin grote investeringen worden gedaan. Een voorbeeld zou kunnen zijn de aanleg van stuwen in de Waal. De rivier de Waal is nu niet gestuwd, en daardoor kwetsbaar voor laagwater in tijden van droogte. Door stuwen te plaatsen kan het water kunstmatig hoog gehouden worden. De aanleg ervan duurt lang, dus besluitvorming tot het aanleggen ervan zal worden gedaan op basis van onzekere toekomstige ontwikkelingen. Vier grote onzekerheden maken dat uiteindelijk kan blijken dat het aanleggen van de stuwen maladaptatie door desinvestering is. Het kan uiteindelijk gebeuren dat: 1) de afname in rivierafvoeren minder extreem wordt dan verwacht, of, 2) door (versterkte) zeespiegelstijging het rivierpeil in de Beneden-Waal hoger komt te staan dan verwacht, of, 3) dat het goederenvervoer over water in de toekomst flink afneemt, of 4) dat de vloot zich enorm ontwikkelt waarmee de noodzaak voor stuwen wegvalt. Aangezien stuwen

met name gunstig zijn voor de rivierfunctie scheepvaart, maar waarschijnlijk negatieve invloed hebben op andere rivierfuncties hoogwaterveiligheid, ecologie, uiterwaarden, grondwaterstanden, is een zorgvuldige afweging nodig. Deze onzekerheid zorgt doorgaans voor besluit-impasses: zeer extreme maatregel, te weinig zekerheid, zeer grote investering en veel effect op het gehele watersysteem.

8.7 Integrale afwegingen

De levensduur van infrastructuur is lang. Nadenken over de juiste klimaatadaptatie is daardoor juist bij infrastructuur erg belangrijk, voordat je investeert. Daarbij speelt ook dat er een grote synergie is met ruimtelijke ontwikkelingen. Water en bodem wordt als sturend principe gehanteerd bij de ruimtelijke planning. Maar ook infrastructuur is sturend voor ruimtelijke ontwikkelingen. Goede infrastructuur trekt maatschappelijke bedrijvigheid aan. Daarmee is infrastructuur ook heel goed te gebruiken om gewenste ruimtelijke (adaptatie)ontwikkelingen te bespoedigen. Het sturende element van infrastructuur kan op die manier ingezet worden om de ruimtelijke inrichting klimaatbestendiger te maken. Vaak is infrastructuur volgend op ruimtelijke ontwikkelingen, maar dit kan dus ook goed andersom opgepakt worden.

Deze rapportage gaat met name over klimaatdreigingen die direct doorwerken op de weg, vaarweg, en het spoor en welke maatregelen genomen kunnen worden om de kwetsbaarheid in die netwerken te verminderen. Het is belangrijk om te realiseren dat klimaatdreigingen en bijbehorende maatregelen voor andere thema's ook *indirect* kunnen doorwerken op de transportnetwerken en andersom. De impact van deze indirecte doorwerking is mogelijk groter dan de directe. We geven een paar voorbeelden:

In de Rijnmaasmonding komen op de lange termijn meerdere uitdagingen samen: waterveiligheid, zoetwatervoorziening, scheepvaart, waterkwaliteit en natuur en ecologie. Bij intensiveren is de (voorlopige) redeneerlijn om functies zo lang en goed mogelijk te blijven bedienen. Dit zou betekenen dat de Nieuwe Waterweg open blijft tot het echt niet meer kan. Daarna wordt deze gesloten met binnenvaartsluizen. Om zoutindringing tegen te gaan worden verondiepingen en/of afsluitingen in het gebied nodig. Deze adaptaties hebben nadelige gevolgen voor de transportnetwerken en vooral de scheepvaart (zee- en binnenvaart). Bij transformeren is de (voorlopige) redeneerlijn om vanaf nu toe te werken naar het beschermen van de Randstad en de open verbinding met zee te verplaatsen naar het Haringvliet. Afsluiting van de Nieuwe Waterweg en verbindingstakken zoals Spui, Dordtse Kil en Beneden Merwede betekent dat de haven zich geheel anders moet gaan organiseren met overslag naar binnenvaart of andere modaliteiten op de Maasvlakte. Deze adaptaties hebben zeer grote effecten op de zee- en binnenvaart.

Vanwege hogere rivierafvoeren (thema waterveiligheid) zijn aanpassingen nodig aan het rivierengebied. Maatregelen kunnen bijvoorbeeld zijn het verleggen of verzwaren van dijken of rivierverruiming. Dergelijke maatregelen kunnen de transportnetwerken negatief beïnvloeden (aanzanding in de vaarweg, weg of spoor op dijk).

In De Boer et al. (2022) werd al gesteld: de keuze voor de oplossingsrichtingen om Nederland klimaatbestendig te maken zullen overwegingen vanuit hoogwaterveiligheid (zeespiegelstijging, hogere rivierafvoeren) en zoetwatervoorziening (drinkwater, voedsel) waarschijnlijk leidend zijn. Hoewel zoveel mogelijk geprobeerd zal worden opgaven integraal te benaderen, zullen er concessies gedaan moeten worden. Het transportsysteem past zich aan aan ontwikkelingen. Tegelijkertijd is het transportsysteem medebepalend voor de inrichting van Nederland in de gekozen oplossingsrichting(en). Voorbeelden van dit laatste zijn het behoud van zeehavens, vaarwegen en van belangrijke spoor- en wegverbindingen.

8.8 Duiding

In onderstaande tabellen sommen we de kosten, prestatie, risico-reductie en links met andere domeinen per maatregel op. Integraal gezien zijn de gevolgen van droogte op de vaarwegen het grootst, zijn ook de maatregelen het meest kostbaar en niet volledig in staat al het rest-risico op te lossen. Daarnaast hebben grootschalige, effectieve maatregelen ten behoeve van de scheepvaart (denk aan stuwen met sluisen) negatieve gevolgen voor andere domeinen (hoogwaterveiligheid, ecologie, uiterwaarden, grondwaterstanden). Infrastructurele maatregelen die de scheepvaart dienen, hebben vaak negatieve of onbekende invloed op andere rivierfuncties, zodat het lastig is om infrastructureel de scheepvaartfunctie te verbeteren. Het is altijd een afweging van belangen. Voor weg en spoor geldt dat, afhankelijk van de middelen (geld en ruimte) de gevolgen van klimaatverandering redelijk tot goed gemitigeerd kunnen worden.

Maatregelen categorie intensiveren	Kosten	Prestatie (effectiviteit)	Risico-reductie, wat is restrisico?	Overige aspecten, integrale afweging met andere domeinen
Klimaat-robuust onderhoud	<p>€ - Lagere kosten.</p> <p>De extra kosten zijn relatief laag, maar het vereist wel een andere visie op het asset management: meer budget voor beheer en onderhoud. In het huidige politieke landschap zien we dat dat lastig te realiseren is.</p>	<p>Zorgt ervoor dat infrastructuur zijn ontworpen functie kan blijven vervullen en ook de veiligheid op peil blijft.</p> <p>Intensiever vaarweg-onderhoud is bij klimaatverandering niet voldoende om de huidige prestatie voor de Rijntakken te halen.</p>	<p>Verlaagt het risico effectief naar het doelniveau waarvoor de infra is ontworpen, maar niet meer dan dat. Daardoor in de toekomst mogelijk hoger risico door klimaatverandering.</p> <p>Bij de vaarwegen doet zich dit nu al voor.</p>	<p>Intensief onderhoud draagt vaak bij aan verlagen kwetsbaarheid tegen meerdere klimaatdreigingen. Bijvoorbeeld, bermonderhoud draagt bij aan verminderde plasvorming en bermbranden en vergrote taludstabiliteit. Het werkt levensduur verlengend en draagt daarom bij aan de vernieuwingsopgave van infrastructuur.</p>
Klimaat-robuste renovatie en nieuwbouw	<p>€€ - situatie afhankelijk</p> <p>Afhankelijk van type maatregel kunnen dit relatief lage (bv. grotere duiker) tot relatief hoge kosten (bv. hoger gelegen weg/spoor) zijn</p>	<p>In principe zijn er haast onbeperkte mogelijkheden, maar hoe robuuster, hoe hoger de kosten gaan worden en hoe groter de druk op de ruimte.</p>	<p>Dit is de enige infra-maatregel die de fysieke kwetsbaarheid echt verlaagt.</p> <p>Afhankelijk van richtlijnen waaronder gebouwd wordt (hoeveelheid overdimensionering) blijft er een restrisico.</p>	<p>Keuze voor klimaatrobuste aanleg en onderhoud betekent dat er een langjarig beslag op de ruimte wordt gelegd, met mogelijk ook invloed op andere ruimtelijke keuzes.</p> <p>Op de vaarwegen is het versmallen bij lage afvoer en daarmee opzetten van de waterstand middels langsdammen een efficiënte maatregel tegen laagwater. Dit heeft, bij juiste implementatie, tevens positieve effecten op de rivierbodem, natuur en zoetwatervoorziening. Varianten van een meergeulensysteem worden momenteel onderzocht in kader van Ruimte voor de Rivier 2.0.</p>
Versterken van operationele processen	<p>€ Lagere kosten</p>	<p>Kan effectief zijn om de gevolgen te verkleinen en veerkracht van het transportsysteem te vergroten. Verkleint niet de gevoeligheid van het systeem.</p>	<p>Restrisico blijft aanwezig; de kwetsbaarheid wordt niet kleiner, maar het risico wordt verlaagd omdat de impact van uitval minder groot is.</p>	<p>Deze maatregelen kunnen impact verlichten, maar de gebruiker kan nog steeds hinder ervaren, bijvoorbeeld door het niet naar werk kunnen reizen als er minder treinen rijden tijdens een sneeuwstorm.</p>

Maatregelen categorie transformeren	Kosten	Prestatie (effectiviteit)	Risico-reductie, wat is restrisico?	Overige aspecten, integrale afweging met andere domeinen
Versterken van netwerk-redundantie	<p>€€€ - Hogere kosten</p> <p>Het aanleggen van nieuwe verbindingen is kostbaar in geld en ruimte. De nieuwe verbindingen moeten natuurlijk ook klimaatrobuust aangelegd worden met bijbehorende ruimtevrage en middelen.</p>	<p>Effectief als alternatieve route, niet effectief bij een dreiging die meerdere verbindingen, meerdere modaliteiten, of het hele netwerk aangrijpt. Bestaande kritieke plekken kunnen minder kritiek gemaakt worden, bijvoorbeeld wanneer een alternatieve route langs een tunnel wordt aanlegt (die kwetsbaar is tijdens extreme buien)</p>	<p>Afhankelijk van het type risico kan het gevolgen verminderen, bijvoorbeeld omdat mensen kunnen omrijden, of schepen kunnen omvaren. Er blijft een restrisico als het hele netwerk of grote delen uitvallen.</p>	<p>Het aanleggen van extra verbindingen of opwaarderen van bestaande heeft ruimte. Daarnaast is het voor water, weg en spoor op het moment lastig om grote infrastructuur projecten te starten door de huidige stikstofregels en druk op de ruimte.</p>
Adaptatie door gebruikers	<p>Geen directe kosten voor beheerders. Wel kan het niet-halen van afgesproken service levels tussen ministerie en uitvoeringsorganisatie leiden tot boetes. Hinder en eventueel extra kosten voor gebruikers. Bijvoorbeeld et aanpassen van de vloot kost veel investeringen en niet iedereen kan thuiswerken of de supply chain aanpassen.</p>	<p>Kan zeer effectief zijn, zeker voor korte duur events (minder dan een dag). Een aangepaste vloot is ook voor een langere periode van droogte zeer effectief, maar biedt geen fysieke oplossing voor laagwater.</p>	<p>De impact van extreem weer kan op het moment van het event sterk verminderd worden, maar het is geen fysieke maatregel. Voor vaarwegen geldt dat als de supply chain en vloot zich goed aanpassen, én de infra zich aanpast aan nieuwe vloot en logistieke afhandeling, laagwater op de rivier niet tot onacceptabele gevolgen hoeft te leiden.</p>	<p>Communicatie is kritiek: alleen als de sector ICT de mogelijkheden biedt, kunnen operationele processen worden versterkt door de infra-beheerder, en worden mogelijkheden gecreëerd bij industrie en maatschappij om het werk anders in te richten, om effectief eerder, niet of later gebruik te maken van de infra.</p> <p>Het inrichten van meer opslag van goederen om tijdelijke tekorten door minder vaarbewegingen op te vullen, vraagt extra ruimte.</p>

9 Referenties

- Bles, T. et al, Leeuwen, E. van, Hommes, S., Woning, M., Bel, M. de, Brolsma, R., Venmans, A., Klingen, L., Marle, M. van, Hendriksen, G., Stuurman, R., Levelt, O., Aboufirass, A., Kester, B. van, Gevoeligheid van het hoofdwegennet voor klimaatverandering; uitkomst landelijke klimaatstresstest HWN, Deltares, 11203738-003-BGS0005, Versie 2.0, 21 februari 2020, definitief.
- Bles, T., Bel, M. de, Marle, M. van, Aboufirass, A., Impact van klimaatverandering op wegherstel en verkeersstremming; Uitkomst landelijke klimaatstresstest HWN, Deltares, 11203738- 003-BGS-0001, Versie 1.1, 12 juli 2019, definitief.
- Bles, T., de Jong, J., van Marle, M., van Buren, R. (2021). *Klimaatgevoeligheid hoofdwegennet, hoofdvaarwegennet en spoor ten behoeve van de NMCA*. Deltares.
<https://www.kimnet.nl/documenten/2021/07/01/bijlage-rapport-klimaatverandering-en-het-mobiliteitssysteem>.
- Bles, T., Sardjoe, N. (2021). *Klimaatbestendige Netwerken Hoofdwegennet, maatregelenoverzicht*. 11206832-006-GEO-0001. Deltares.
- Boomsma, A., Vaan, K. de, Heuvel, D van den, Eulderink, J., Topkader toepassing klimaatscenario's RWS, documentnummer 6411, 17 december 2024, versie 1.1
- CE Delft (2022), Prijs van een Reis editie 2022, Publicatienummer: 22.200185.073.
- De Jong, J.S. & R. van der Mark (2021). KBN-HVWN Stresstest droogte Rijntakken: Toestand van het Systeem en Kwetsbaarheid gebruiksfunctie. Deltares rapport 11205274-004-BGS-0022 v1.1, d.d. 7 mei 2021.
- De Jong, J.S. (2020). Stresstest Droogte Rijntakken – Impact op de scheepvaart. Deltares rapport v1.1, kenmerk 11205274-004-BGS-0009.
- De Jong, J.S. en T. Boschetti (2021). Kwetsbaarheid sluizen Maas voor klimaatverandering. Onderzoek naar de sluizen Born, Maasbracht en Heel in klimaatbestendige netwerken. Deltares rapport 1120527-004-BGS-0017 v1.0 d.d. 19 april 2021.
- Fujisaki, A., R. van der Mark, A. van den Hoek (2025). KBN-HVWN: Impact van KNMI'23 scenario's op de bevaarbaarheid van het hoofdvaarwegennet; Impact op de vaardiepte van de Rijntakken en toegankelijkheid sluis Weurt. Deltares rapport 11210314-001-ZWS-0001, d.d. 10 februari 2025
- Grave. P. de, Slager, K., Wagenaar, D., Marle, M. van, Ginkel, K. van, Buren, R. van, Impact regionale overstromingen op hoofdwegennet, 11205243-006-BGS-0001, 23 december 2020, Deltares.
- Hendriks & Mens (eds.) (2024) De droogte van 2022: een brede analyse van de ernst en maatschappelijke gevolgen, Achtergrondrapport. Deltares, KWR, WUR, WER, KnowH2O. September 2023.
- IenW (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat), Bestuurskern Dir.Bodem, Ruimte en Klimaatadaptatie, *BSR nota beleidsontwikkeling klimaatadaptatie IenW netwerken, 4 maart 2024*.
- Jong, J. de, Mark, R. van der, Ruijven, J. van, Boer, W. de, Jonge, A. de, Woning, M., Bles, T., Klimaatverandering & Transportinfrastructuur; Verkenning van gevolgen van klimaatverandering en

mogelijke adaptatiestrategieën voor de transportcorridor Rotterdam-Duitsland, versie 0.2, 22-06-2022, Deltares.

Juch, S., Meijer, L., Bles, T. (2025). *Wateroverlast en kritieke infrastructuur: van blootstelling naar maatschappelijke impact Aanpak voor het bepalen van maatschappelijke impact van wateroverlast, toegepast op het spoor*. 1209224-002-ZWS-000. Deltares.

KNMI (2023). KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03.

Meijer, L., van Marle, M. Bles, T. (2025). *Klimaatdreigingen en vitale infrastructurele functies gemeente Amsterdam*. 11210680-002-GEO-0001. Deltares.

Meijeren, J. van, & Harmsen, J. (2020). Rail as contingency mode for barge in situations with low water levels on the Rhine (Issue October). TNO, The Hague.

Mens, M., Mes, E., Pouwels, J., Noguiera, G. E. H., Reusen, J., Kwalitatieve duiding van het effect van de Deltascenario's 2024 op de zoetwateropgave, 2 juni 2025, Deltares.

Moghtaderi Asr, N. & van der Mark, R. (2025). *Herijking klimaatrisico's infrastructuur*. 11210323-000-BGS-0001. Deltares.

PBL (n.d.), Uitwerking scenario's in toekomstige klimaatrisico's en adaptatie, versie 22-2-2025.

PBL (2025), Toekomstverkenning WLO 2025: Cahier Mobiliteit Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. <https://www.wlo2025.nl/system/files/document/2025-07/pbl-2025-toekomstverkenning-wlo-cahier-mobiliteit-5454.pdf>

Pouwels et al (2025). Maatschappelijke effecten van droogte in een veranderd klimaat en afgeleide kengetallen voor maatschappelijke kosten-baten analyses. Deltares rapport 11211541-003-ZWS-0001, 20 mei 2025.

ProRail, klimaateffectatlas <https://maps.prorail.nl/portal/apps/sites/#/klimaat> (geraadpleegd in mei 2025).

ProRail. (2022). *Uitvoeringsagenda Klimaatadaptatie Hoofdspoorweginfrastructuur*. <https://open.overheid.nl/documenten/ronla994861124ab3792b56a06cc87cf1ec461edb5e8/pdf>

Rijkswaterstaat, klimaateffectatlas, <https://experience.arcgis.com/experience/e47f692c02024200a03148ce770ff51b> (geraadpleegd in mei 2025).

RTD 1008:2016, Richtlijn Ontwerp Hemelwaterafvoer van wegen en kunstwerken, september 2016, versie 2.0, Rijkswaterstaat.

Stichting Climate Adaptation Services (CAS). (z.d.). *Klimaateffectatlas*. Geraadpleegd op 3-7-2025, van <https://www.klimaateffectatlas.nl/>.

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) (2024). Neerslagstatistiek KNMI'23. Rapport 37. ISBN 978.94.6479.075.7.

Streng, M., Van Saase, N., & Kuipers, B. (2020). Economische impact laagwater: Een analyse van de effecten van laagwater op de binnenvaartsector en de Nederlandse en Duitse economie. Erasmus Centre for Urban, Port and Transport Economics.

- Van der Mark, R. (2025). TRANS2: TRANSitie naar een klimaatbestendig en duurzaam Rotterdams achterlandTRANSport - Overzicht van eindresultaten en doorkijk. Deltares rapport 11209638-001-ZWS-0006, 14 februari 2025.
- Van der Mark, R., H. Dorst, W. de Boer, & A. Slob (2022). Robust hinterland connections in times of drought and heat. Subproject 2 of NWO-project "Extreme droughts and the Dutch water sector: impacts and adaptation. Deltares, TNO and MARIN report nr. 11207299-000.
- Van der Wijk, R. & J. de Jong (2021). Stresstest Doorvaarthoogte Hoofdvaarwegennet; zeespiegelstijging en rivierafvoeren. 11205274-004-BGS-0023, 30 augustus 2021.
- Van der Wijk, R., A. van den Hoek, R. van der Mark (2024). Vervolg Stresstest Indirecte Bedreigingen; Systeembeschrijving Hoofdwatersysteem. Deltares rapport 11209214-003-ZWS-0001, 24 januari 2024.
- van Gaalen, F., R. Franken, F. Kirkels, S. I. Ibrahim, A. Bouwman, M. Vonk, and J. van Minnen. 2024. Klimaatrisico's in Nederland: De huidige stand van zaken. Planbureau voor de Leefomgeving. Rapport 5359.
- Van Ginkel, K., Meijer, L., Woning, M. (2025). *Grootschalig Neerslag Event provincie*.
- Van Marle, M., Meijer, L., Noijons, B., van Veggel, W. (2025). *Handelingsperspectief Bermbranden. Kosten-baten afweging van adaptatieopties en verkenning naar bredere gevolgen*. 11210312-001. Deltares. <https://www.deltares.nl/expertise/publicaties/handelingsperspectief-bermbranden-kosten-baten-afweging-van-adaptatieopties-en-verkenning-naar-bredere-gevolgen>.
- Vuik et al (2025). Zoetwaterbeschikbaarheid in de Rijn-Maasmonding in een warmer klimaat 11210362-013-ZWS-0003, 17 januari 2025.
- Zuid Holland. Effecten op bereikbaarheid op het Hoofdwegennetwerk en onderliggend netwerk*. 11208077-006. Deltares.

A Toelichting verandering klimaatrisico's hoofdwegennet

A.1 Grootschalige regenoverstroming

Grootschalige regenoverstromingen komen in de toekomst vaker voor, er is een toename van kans in alle scenario's. Met name in het sterk risico-verhogende scenario (hoog nat) in 2100 is er een significante toename van kans. Ook is er mogelijk een hogere gevolgklasse voor economische gevolgen in het sterk risico-verhogende scenario, door een stijging van het personenvervoer en goederentransport. Dit tezamen leidt in het sterk risico-verhogende scenario tot een toename van het risico.

Grootschalige regenoverstroming leidt tot inundatie wegen en tunnels op het hoofd- en onderliggend wegennet tegelijk					
Klimaatscenario Laag Nat					
Parameters	huidig	2060	Interpretatie	2100	Interpretatie
Kans	De neerslag in Limburg van 2021 had een geschatte herhalingsijd van 300 jaar.	+5% 1-daagse neerslagom zomer (KNMI, 2023). Ln 1-daagse neerslagom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	kleine toename van de kans (Let op: klimaatdata zijn alleen bekend voor een toenemende intensiteit bij gelijkblijvende kans voor minder extreme neerslag. Bij een gelijkblijvende intensiteit zal daardoor ook de kans toenemen, maar de toename van de kans is niet bekend en niet gelijk aan de genoemde toename van de intensiteit)	+5% 1-daagse neerslagom zomer (KNMI, 2023). Ln 1-daagse neerslagom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	kleine toename van de kans (Let op: klimaatdata zijn alleen bekend voor een toenemende intensiteit bij gelijkblijvende kans voor minder extreme neerslag. Bij een gelijkblijvende intensiteit zal daardoor ook de kans toenemen, maar de toename van de kans is niet bekend en niet gelijk aan de genoemde toename van de intensiteit)
Economie	Met name tunnels en verdiepte liggingen zijn kwetsbaar voor deze bedraving. Onbeschikbaarheid zal tot grote verstoringen leiden. De aansluitingen met het onderliggende wegennet zijn ook zeer kwetsbaar, waardoor bereikbaarheid van een grote regio onder druk komt te staan.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL, 2025), cabler mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze). 13% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL, 2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Personenvervoer en goederentransport stijgen. Deze stijging zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolgklasse.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL, 2025), cabler mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze). 25% goederentransport in miljard tonkm 2060 (PBL, 2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Personenvervoer en goederentransport stijgen. Deze stijging zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolgklasse.
Mens	Met name onbereikbaarheid kan tot veiligheidsproblemen leiden (doorstap hulpdiensten niet op plek, bestemming kunnen komen of ziekenhuizen onbereikbaar zijn). Voetgangers kunnen ook in het water vast komen te zitten.	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	gevolgen voor deze categorieën zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	gevolgen voor deze categorieën zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix
Natuur en Milieu	Overstromen van weg en met name verzorgingsplaatsen kunnen milieuschade veroorzaken				
Cultuur					

Grootschalige regenoverstroming leidt tot inundatie wegen en tunnels op het hoofd- en onderliggend wegennet tegelijk					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
	huidig	2060	Interpretatie	2100	Interpretatie
Kans	De neerslag in Limburg van 2021 had een geschatte herhalingsijd van 300 jaar.	+9% 1-daagse neerslagom zomer (KNMI, 2023). Hn 1-daagse neerslagom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	kleine tot matige toename van de kans (Let op: klimaatdata zijn alleen bekend voor een toenemende intensiteit bij gelijkblijvende kans voor minder extreme neerslag. Bij een gelijkblijvende intensiteit zal daardoor ook de kans toenemen, maar de toename van de kans is niet bekend en niet gelijk aan de genoemde toename van de intensiteit)	+26% 1-daagse neerslagom zomer (KNMI, 2023). Hn 1-daagse neerslagom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	significante toename van de kans (Let op: klimaatdata zijn alleen bekend voor een toenemende intensiteit bij gelijkblijvende kans voor minder extreme neerslag. Bij een gelijkblijvende intensiteit zal daardoor ook de kans toenemen, maar de toename van de kans is niet bekend en niet gelijk aan de genoemde toename van de intensiteit)
Economie	Met name tunnels en verdiepte liggingen zijn kwetsbaar voor deze bedraving. Onbeschikbaarheid zal tot grote verstoringen leiden. De aansluitingen met het onderliggende wegennet zijn ook zeer kwetsbaar, waardoor bereikbaarheid van een grote regio onder druk komt te staan.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL, 2025), cabler mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze). 14 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL, 2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	mogelijk leidt het tot een hogere gevolgklasse	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL, 2025), cabler mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze). 25% toename goederentransport in miljard tonkm 2060 (PBL, 2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	mogelijk leidt het tot een hogere gevolgklasse
Mens	Met name onbereikbaarheid kan tot veiligheidsproblemen leiden (doorstap hulpdiensten niet op plek, bestemming kunnen komen of ziekenhuizen onbereikbaar zijn). Voetgangers kunnen ook in het water vast komen te zitten.	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	gevolgen voor deze categorieën zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	gevolgen voor deze categorieën zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix
Natuur en Milieu	Overstromen van weg en met name verzorgingsplaatsen kunnen milieuschade veroorzaken				
Cultuur	R/W				

A.2 Overstroming primair (dijkdoorbraak)

Voor de kans op overstromingen wordt uitgegaan dat de kans in de toekomst niet verandert, door de wet op waterveiligheid. Wel is het zo dat bij een overstroming de gevolgen in de hoogst-mogelijke gevolgcategorie zitten. Door toename van het weggebruik kunnen de gevolgen van overstromingen in de toekomst nog groter zijn, hoewel zich dit niet vertaalt naar een andere gevolgcategorie. Eenzelfde redenering kan worden gevolgd voor een regionale overstroming (met een grotere kans en een kleiner gevolg).

Overstroming (dijkdoorbraak)					
Klimaatscenario Laag Nat					
Parameters	huidig	verandering	Interpretatie	verandering	Interpretatie
Kans	Heel klein, HWBP, basis IR	Waterschappen zullen er voor zorgen dat de dijken tot 2050 voldoende (en zelfs verbeterde) bescherming bieden	de kans op een overstroming verandert niet (of wordt mogelijk zelfs kleiner)	Het beschermingsniveau van Nederlandse dijken is vastgelegd in de Waterwet en het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl)	Dit betekent feitelijk dat het minimale beschermingsniveau altijd gehandhaafd zal blijven en dat bij groter wordende inwonersaantallen en/of economische waarden de eisen aan dijken overvloedig worden vervuld. Wel is het zo dat door zeespiegelstijging een ander beleidsspoor gekozen kan worden in het verloop van de huidige eeuw. Dat is echter nog geen onderdeel van huidige beleid.
Economie	Grootschalige getijkruidige uitval met grote impact door grote fysieke schade en daardoor ook veel verstopte wegen/verkeer. Door grootschaligheid grote druk op hersteloperatie.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswiel); 13% goederenvervoer in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van de weg groter zijn in 2050, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswiel); 25% goederenvervoer in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van de weg groter zijn in 2100, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie.
Mens	Overstroomde wegen en voertuigen die niet meer verder kunnen rijden als gevolg van water op de weg kunnen tot gewonden en doden leiden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer		aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	
Natuur en Milieu	Overstromen van weg en met name verzorgingsplaatsen kunnen milieuschade veroorzaken				
Cultuur					

Overstroming (dijkdoorbraak)					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
	huidig	verandering	Interpretatie	verandering	Interpretatie
Kans	Heel klein, HWBP, basis IR	Waterschappen zullen er voor zorgen dat de dijken tot 2050 voldoende (en zelfs verbeterde) bescherming bieden	de kans op een overstroming verandert niet (of wordt mogelijk zelfs kleiner)	Het beschermingsniveau van Nederlandse dijken is vastgelegd in de Waterwet en het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl)	Dit betekent feitelijk dat het minimale beschermingsniveau altijd gehandhaafd zal blijven en dat bij groter wordende inwonersaantallen en/of economische waarden de eisen aan dijken overvloedig worden vervuld. Wel is het zo dat door zeespiegelstijging een ander beleidsspoor gekozen kan worden in het verloop van de huidige eeuw. Dat is echter nog geen onderdeel van huidige beleid.
Economie	Grootschalige getijkruidige uitval met grote impact door grote fysieke schade en daardoor ook veel verstopte wegen/verkeer. Door grootschaligheid grote druk op hersteloperatie.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswiel); 14 % stijging van goederenvervoer in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van de weg groter zijn in 2100, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswiel); 25% toename goederenvervoer in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van de weg groter zijn in 2100, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie.
Mens	Overstroomde wegen en voertuigen die niet meer verder kunnen rijden als gevolg van water op de weg kunnen tot gewonden en doden leiden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer		aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	
Natuur en Milieu	Overstromen van weg en met name verzorgingsplaatsen kunnen milieuschade veroorzaken				
Cultuur					

A.3 Opdrijven tunnels & lichtgewicht constructies

In alle scenario's komt de kans op opdrijven in een hogere kansklasse terecht (verschuiving van 1/100-1000 naar 1/10 – 1/100 dat dit ergens in Nederland optreedt door hoge grondwaterstanden) door een ingeschatte kanstoename met een factor 10. De gevolgen zullen weliswaar toenemen maar er wordt niet verwacht dat het risico naar een andere gevolgcategorie zal schuiven.

Opdriven tunnels en lichtgewicht constructies door hogere grondwaterstanden					
Klimaatscenario Laag Net					
Parameters	huidig	2060	Interpretatie	2100	Interpretatie
Kans	Tunnelloften en lichtgewicht constructies zijn gevoelig. Kans van 1/10000 per object. Kans van optreden ergens in NL 1/100 (1/1000 omdat er meerdere gevoelige objecten zijn)	kans neemt met factor 10 toe in 2050 (Aboufiras et al., 2019)	De kans komt in een hogere kansklasse terecht	kans neemt met factor 10 toe in 2050 (Aboufiras et al., 2019)	De kans komt in een hogere kansklasse terecht
Economie	Bij opdriven ontstaat er voor een lange tijd (maanden tot meer dan een jaar) een groot effect. Dit kan variëren tussen volledige en partiële afsluiting van de weg. Ook herstelkosten zijn hoog.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze); 13% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Personenvervoer en goederentransport stijgen. Deze stijging zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolklasse.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze); 25% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Personenvervoer en goederentransport stijgen. Deze stijging zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolklasse.
Mens	De gevolgen voor mens zijn klein, veiligheid kan in het geding zijn als opdriven niet tijdig wordt opgemerkt	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix
Natuur en Milieu Cultuur					

Opdriven tunnels en lichtgewicht constructies door hogere grondwaterstanden					
Klimaatscenario Hoog Droog (Hn)					
Parameters	huidig	2060	Interpretatie	2100	Interpretatie
Kans	Tunnelloften en lichtgewicht constructies zijn gevoelig. Kans van 1/10000 per object. Kans van optreden ergens in NL 1/100 (1/1000 omdat er meerdere gevoelige objecten zijn)	kans neemt met factor 10 toe in 2050 (Aboufiras et al., 2019)	De kans komt in een hogere kansklasse terecht	kans neemt met factor 10 toe in 2050 (Aboufiras et al., 2019)	De kans komt in een hogere kansklasse terecht
Economie	Bij opdriven ontstaat er voor een lange tijd (maanden tot meer dan een jaar) een groot effect. Dit kan variëren tussen volledige en partiële afsluiting van de weg. Ook herstelkosten zijn hoog.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze); 14 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	ondanks de grote toename van gebruik weg en additionele kwetsbaarheid door aanwezigheid van meer tunnels en verdiepte liggingen wordt niet verwocht dat het een andere gevolklasse wordt bereikt.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze); 25% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	ondanks de grote toename van gebruik weg en additionele kwetsbaarheid door aanwezigheid van meer tunnels en verdiepte liggingen wordt niet verwocht dat het een andere gevolklasse wordt bereikt.
Mens	De gevolgen voor mens zijn klein, veiligheid kan in het geding zijn als opdriven niet tijdig wordt opgemerkt	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix
Natuur en Milieu Cultuur					

A.4 Kleinschalige regenoverstroming, gevolgen van piekbuien (slecht zicht, plasvorming) en valwinden

De kans op piekbuien met gevolgen voor de weg neemt in alle scenario's toe. In Hn 2100 is deze toename significant (factor 2,2) en kan dit leiden tot een hogere kansklasse. Mogelijk leidt een kleinschalige regenoverstroming in het sterk risico-verhogende scenario tot een hogere economische gevolklasse, door de grote toename van het gebruik van de weg. Daarnaast verwachten we dat in het sterk risico-verhogende scenario er door bevolkingsgroei meer druk op de ruimte komt waardoor meer tunnels en verdiepte liggingen worden aangelegd, wat leidt tot additionele kwetsbaarheid.

Kleinschalige regenoverstroming: gevolgen van piekbuien (slecht zicht, plasvorming) en valwinden					
Klimaatscenario Laag Net					
Parameters	huidig	2060	Interpretatie	2100	Interpretatie
Kans	jaarliks tot eens per 10 jaar	4% toename hoeveelheid mm (Stowa (2014), 2050M kortdurend fig. 18)	De kans neemt hierdoor met ongeveer een factor 1,1 toe	3% toename hoeveelheid mm (Stowa (2014) 2100L, kortdurend fig. 18)	De kans neemt hierdoor met ongeveer een factor 1,1 toe
Economie	Kortdurende lokale, vaak gedeeltelijke, uitval van wegen. Tunnels en verdiepte liggingen extra kwetsbaar en bij veel water potentieel ook hogere herstelkosten van tunneltechnische installaties. Hoop afvoer naar omgeving kan tot wateroverlast en dus schade in de omgeving leiden.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze); 13% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Personenvervoer en goederentransport stijgen. Deze stijging zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolklasse.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze); 25% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Personenvervoer en goederentransport stijgen. Deze stijging zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolklasse.
Mens	Plaspen op de weg kunnen tot gevaarlijke situaties en ongelukken leiden.	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer		aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	
Natuur en Milieu Cultuur	Wateroverlast kan leiden tot milieuschade in de omgeving door grote runoff van de weg. Bij verzorgingsobjecten kan dit mogelijk tot onomkeerbare schade leiden.		gevolgen voor deze categorieën zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix		gevolgen voor deze categorieën zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix

Kleinschalige regenoverstroming; gevoigen van piekbuilen (slecht zicht, plasvorming) en valwinden Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
	huidig	2050		2100	
		verandering	interpretatie	verandering	interpretatie
Kans	Jaarlijks tot eens per 10 jaar	7% toename hoeveelheid mm (Stowa (2014), 2050H, kortdurend fig. 18)	De kans neemt hierdoor met ongeveer een factor 1,26 toe	24% toename hoeveelheid mm (Stowa (2014) 2100H, kortdurend fig. 18) kans neemt met een factor 2 toe (Stowa (2014), tabel 8 en 9)	De kans neemt hierdoor ongeveer met een factor 2,2 toe. Dit is een significante toename die kan leiden tot een indeling in een andere kansklasse
Economie	Kortdurende lokale, vaak gedeeltelijke, uitval van wegen. Tunnels en verdiepte liggingen extra kwetsbaar en bij veel water potentieel ook hogere herstelkosten van tunneltechnische installaties. Hoge afvoer naar omgeving kan tot wateroverlast en dus schade in de omgeving leiden.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 14 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128). aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	mogelijk leidt het tot een hogere gevolgklasse, door de grote toename van gebruik weg en additionele kwetsbaarheid door aanwezigheid van meer tunnels en verdiepte liggingen.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 25% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128) aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	mogelijk leidt het tot een hogere gevolgklasse, door de grote toename van gebruik weg en additionele kwetsbaarheid door aanwezigheid van meer tunnels en verdiepte liggingen.
Mens	Plaspen op de weg kunnen tot gevaarlijke situaties en ongelukken leiden.	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer		aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	
Natuur en Milieu	Wateroverlast kan leiden tot milieuschade in de omgeving door grote runoff van de weg. Bij verzorgingsplaatsen kan dit mogelijk tot onomkeerbare schade leiden.		gevoigen voor deze categorieën zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix		gevoigen voor deze categorieën zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix
Cultuur					

A.5 Hitte

Ingeschat wordt dat de kans op hitte toeneemt in de toekomst in alle scenario's. Met name in het hoog-droge scenario is de kans-toename heel groot (een factor 10). Voor de gevolgen van hitte wordt geschat dat de economische gevolgen niet leiden tot een hogere gevolgklasse, behalve in het sterk risico-verhogende scenario in 2100 waar de economische gevolgen mogelijk in een grotere gevolgklasse eindigen, met name door de combinatie met de toegenomen hittedagen.

Hitte leidt tot moeilijker sluiten van beweegbare bruggen Klimaatscenario Laag Nat					
	huidig	2050		2100	
Parameters		verandering	interpretatie	verandering	interpretatie
Kans	Gemiddeld zijn er 5 dagen per jaar met een tropische temperatuur van meer dan 30 graden (in de Bilt). Extrem hote dagen van meer dan 35 graden komen maximaal 2 keer per jaar voor. Dit leidt echter niet gelijk tot significante gevolgen. Ingeschat is dat echt significante gevolgen pas optreden bij een kleinere kans dan eens in de 10 jaar.	Het aantal tropische dagen neemt toe tot 9,4 (KNMI, 2023 scenario Laag Droog) en het aantal extreem hote dagen maximaal 3 per jaar (stijging CAS, klimaat-effecten atlas, z.d.)	Ingeschat wordt dat de kans op verstoringen ongeveer verdubbelt (gelijk aan de verdubbeling van het aantal hote dagen)	Het aantal tropische dagen neemt toe tot 9,4 (KNMI, 2023 scenario Laag Droog) en het aantal extreem hote dagen maximaal 3 per jaar (stijging CAS, klimaat-effecten atlas, z.d.)	Ingeschat wordt dat de kans op verstoringen ongeveer verdubbelt (gelijk aan de verdubbeling van het aantal hote dagen)
Economie	Klemmende bruggen hebben gevolgen voor veel gebruikers omdat een beweegbare brug vaak op kritieke piekken in het hoofdwegennet ligt. De gevolgen zijn lokaal en van relatief korte duur. Pas bij extreme hittegevoigen leidt dit naar verwachting tot significante gevolgen.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 13% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128).	Personenvervoer en goederentransport stijgen. Deze stijging zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolgklasse.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 25% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128).	Personenvervoer en goederentransport stijgen. Deze stijging zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolgklasse.
Mens					
Natuur en Milieu					
Cultuur					

Hitte leidt tot moeilijker sluiten van beweegbare bruggen Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
	huidig	2050		2100	
Parameters		verandering	interpretatie	verandering	interpretatie
Kans	Gemiddeld zijn er 5 dagen per jaar met een tropische temperatuur van meer dan 30 graden (in de Bilt). Extrem hote dagen van meer dan 35 graden komen maximaal 2 keer per jaar voor. Dit leidt echter niet gelijk tot significante gevolgen. Ingeschat is dat echt significante gevolgen pas optreden bij een kleinere kans dan eens in de 10 jaar.	Het aantal tropische dagen neemt toe tot 13 (KNMI, 2023) en het aantal extreem hote dagen maximaal 7 per jaar (stijging CAS, klimaat-effecten atlas, z.d.)	Ingeschat wordt dat de kans op verstoringen iets meer dan verdubbelt (gelijk aan de verdubbeling van het aantal hote dagen)	Het aantal tropische dagen neemt toe tot 35 (KNMI, 2023) en het aantal extreem hote dagen maximaal 23 per jaar (stijging CAS, klimaat-effecten atlas, z.d.)	Ingeschat wordt dat de kans op verstoringen ongeveer vervienvoudigt (gelijk aan de vervienvoudiging van het aantal extreem hote dagen)
Economie	Klemmende bruggen hebben gevolgen voor veel gebruikers omdat een beweegbare brug vaak op kritieke piekken in het hoofdwegennet ligt. De gevolgen zijn lokaal en van relatief korte duur. Pas bij extreme hittegevoigen leidt dit naar verwachting tot significante gevolgen.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 14 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128).	Personenvervoer en goederentransport stijgen. Deze stijging zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolgklasse.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 25% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128)	mogelijk leidt het tot een hogere gevolgklasse, met name door de combinatie met de grote toename van aantal dagen met hitte
Mens					
Natuur en Milieu					
Cultuur					

A.6

Droogte leidt tot ongelijke zakking door bodemdaling en droogte leidt tot bermbranden

In het hoog-droogte scenario neemt de kans op droogte dusdanig toe dat een hogere kansklasse kan worden bereikt. Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte gedurende meerdere jaren kan op meerdere plaatsen gelijktijdig ontoelaatbare ongelijke zakking ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op de weg, waardoor gevolgen voor weggebruikers groter worden. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de weg. In alle scenario's kunnen de economische gevolgen van droogte toenemen tot een hogere gevolgklasse.

Droogte leidt tot ongelijke zakking door bodemdaling en droogte leidt tot bermbranden					
Klimaatscenario Laag Nat					
Parameters	huidig	2060	Interpretatie	2100	Interpretatie
Kans	De kans op een droogte met gevolgen voor het wegennet is ongeveer 11-110 dat eens in Nederland droogtegevolgen optreden zoals een berm-/ natuurbrand met significante gevolgen voor weggebruikers of bodemdaling	Het maximale neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden neemt toe met 9% (KNMI, 2023)	De kans op droogte neemt toe, maar niet dermate dat een andere kansklasse wordt bereikt.	Het maximale neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden neemt toe met 9% (KNMI, 2023)	De kans op droogte neemt toe, maar niet dermate dat een andere kansklasse wordt bereikt.
Economie	Meeste delen van het wegennet ongevraagd voor bodemdaling maar lokale gevoeligheid niet uit te sluiten. Het is een slow-onset bedreiging. Maar als het optreedt kan het tot veel herstelkosten leiden. Toch is de gevoeligheid over het algemeen laag en zijn er vooral een aantal lokale plekken waar dit mogelijk kan optreden. Gevolgen voor weggebruikers zijn relatief klein, want het is lokaal en herstelwerkzaamheden zijn in te plannen met omftroutes	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (FBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 13% goederentransport in miljard tonkm 2050 (FBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128).	Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte gedurende meerdere jaren kan op meerdere plaatsen gelijktijdig ontoelaatbare ongelijke zakking ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op de weg, gevolgen voor weggebruikers groter worden. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de weg. Deze stijging kan mogelijk binnen '2060 beperkt' leiden tot een hogere gevolgklasse	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (FBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 25% goederentransport in miljard tonkm 2060 (FBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128).	Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte gedurende meerdere jaren kan op meerdere plaatsen gelijktijdig ontoelaatbare ongelijke zakking ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op de weg, gevolgen voor weggebruikers groter worden. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de weg. Deze stijging kan mogelijk binnen '2100 beperkt' leiden tot een hogere gevolgklasse
Mens	Bermbranden kunnen overslaan naar de omgeving		geen verandering		geen verandering
Natuur en Milieu			geen verandering		geen verandering
Cultuur					

Droogte leidt tot ongelijke zakking door bodemdaling en droogte leidt tot bermbranden					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
Parameters	huidig	2060	Interpretatie	2100	Interpretatie
Kans	Droogte kan tot significante schade aan het spoor en de omgeving van het spoor en de inschat is dat droogte die tot gevolgsklasse 'indien' leidt zich ongeveer eens per 50 jaar voordoet	Het maximale neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden neemt toe met 30% (KNMI, 2023)	De kans op droogte neemt toe. Mogelijk wordt een andere kansklasse bereikt.	Het maximale neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden neemt toe met 63% (KNMI, 2023)	De kans op droogte neemt sterk toe en er wordt een andere kansklasse bereikt.
Economie	Als droogte leidt tot instabiliteit en/of zakking van het baanlichaam dan leidt dat tot significante schade en langdurige verstoring van de weg	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (FBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 14 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (FBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128).	Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte gedurende meerdere jaren kan op meerdere plaatsen gelijktijdig ontoelaatbare ongelijke zakking ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op de weg, gevolgen voor weggebruikers groter worden. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de weg. Deze stijging kan mogelijk binnen '2060 sterk' leiden tot een hogere gevolgklasse	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (FBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 25% toename goederentransport in miljard tonkm 2060 (FBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128)	Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte gedurende meerdere jaren kan op meerdere plaatsen gelijktijdig ontoelaatbare ongelijke zakking ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op de weg, gevolgen voor weggebruikers groter worden. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de weg. Deze stijging kan mogelijk binnen '2100 sterk' leiden tot een hogere gevolgklasse
Mens	Bermbranden kunnen overslaan naar de omgeving		Een brand die is ontstaan bij de weg kan theoretisch leiden tot meer dan 10.000 getroffen of regionale schade aan natuur.		Een brand die is ontstaan bij de weg kan theoretisch leiden tot meer dan 10.000 getroffen of regionale schade aan natuur, bij de enorme druk op de ruimte binnen dit scenario. Dit kan daarom leiden tot een hogere gevolgklasse.
Natuur en Milieu			geen verandering		
Cultuur					

A.7

Hevige sneeuw leidt tot slecht zicht, slipgevaar

De kans op hevige sneeuwval in de toekomst wordt kleiner volgens de klimaatscenario's van het KNMI. Dit leidt waarschijnlijk alleen in het sterk risico-verhogende scenario tot een verandering in kansklasse (kleinere kans). Door toename van het wegverkeer zal de schade als hevige sneeuwval optreedt iets toenemen in de toekomst. Maar dit zal niet leiden tot een

andere gevolgcategorie. Door de grootschaligheid kan gladheidsbestrijding niet overal op tijd zijn met mogelijk gevaarlijke situaties als gevolg. Mogelijk heeft dit in de toekomst meer ongelukken tot gevolg, maar verwacht wordt dat dit niet tot een andere gevolgklasse leidt.

Hevige sneeuw leidt tot slecht zicht, slipgevaar					
Klimaatscenario Laag Nat					
Parameters	huidig	2050 verandering	Interpretatie	2100 verandering	Interpretatie
Kans	Eens per jaar tot 10-100 jaar leidt het tot significante gevolgen	Het aantal sneeuwdagen neemt af. Hierover is geen informatie bekend vanuit de knmi-scenario's. Het aantal vorstdagen neemt met 25% af	De kans wordt kleiner, maar komt niet in een andere kansklasse	Het aantal sneeuwdagen neemt af. Hierover is geen informatie bekend vanuit de knmi-scenario's. Het aantal vorstdagen neemt met 38% af	De kans wordt kleiner, maar komt niet in een andere kansklasse
Economie	Dit is een grootschalig event dat over een grote regio en potentieel het gehele land gedurende lange tijd tot grote verstoringen kan leiden.	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 13% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128).	Door toename van het wegverkeer zal de schade iets toenemen in de toekomst. Maar dit zal niet leiden tot een andere gevolgcategorie	14 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 25% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128).	Door toename van het wegverkeer zal de schade iets toenemen in de toekomst. Maar dit zal niet leiden tot een andere gevolgcategorie
Mens	Door de grootschaligheid kan gladheidsbestrijding niet overal op tijd zijn met mogelijk gevaarlijke situaties als gevolg	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	Mogelijk heeft dit meer ongelukken tot gevolg, maar verwacht wordt dat dit niet tot een andere gevolgklasse leidt	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	Mogelijk heeft dit meer ongelukken tot gevolg, maar verwacht wordt dat dit niet tot een andere gevolgklasse leidt
Natuur en Milieu					
Cultuur					

Hevige sneeuw leidt tot slecht zicht, slipgevaar					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
Parameters	huidig	2050 verandering	Interpretatie	2100 verandering	Interpretatie
Kans	Eens per jaar tot 10-100 jaar leidt het tot significante gevolgen	Het aantal sneeuwdagen neemt af. Hierover is geen informatie bekend vanuit de knmi-scenario's. Het aantal vorstdagen neemt met 25% af	De kans wordt kleiner, maar komt niet in een andere kansklasse	Het aantal sneeuwdagen neemt af. Hierover is geen informatie bekend vanuit de knmi-scenario's. Het aantal vorstdagen neemt met 79% af	De kans komt mogelijk in een andere kansklasse terecht
Economie	Dit is een grootschalig event dat over een grote regio en potentieel het gehele land gedurende lange tijd tot grote verstoringen kan leiden.	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 14 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128).	Door toename van het wegverkeer zal de schade iets toenemen in de toekomst. Maar dit zal niet leiden tot een andere gevolgcategorie	49 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 25% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.21 p.128)	Door toename van het wegverkeer zal de schade iets toenemen in de toekomst. Maar dit zal niet leiden tot een andere gevolgcategorie
Mens	Door de grootschaligheid kan gladheidsbestrijding niet overal op tijd zijn met mogelijk gevaarlijke situaties als gevolg	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	Mogelijk heeft dit meer ongelukken tot gevolg, maar verwacht wordt dat dit niet tot een andere gevolgklasse leidt	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling personenvervoer	Mogelijk heeft dit meer ongelukken tot gevolg, maar verwacht wordt dat dit niet tot een andere gevolgklasse leidt
Natuur en Milieu					
Cultuur					

B Toelichting verandering klimaatrisico's spoor

B.1 Overstroming (dijkdoorbraak)

Overstromingen leiden in de toekomst mogelijk tot grotere gevolgen als het personenvervoer en vraag naar spoorvervoer toeneemt. Tegelijkertijd zitten gevolgen van overstromingen nu al in de hoogste gevolgcategorie. Deze dreiging kan dus niet opschuiven naar een hogere gevolgklasse, maar binnen de klasse kunnen de gevolgen wel toenemen. Voor de kans op overstromingen gaan we uit van het wettelijk vastgelegde beschermingsniveau dat is vastgelegd in de Waterwet en het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) met de aanname dat de kans op overstromingen dus niet toeneemt. Daarnaast is het doel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) dat de dijken in 2050 voldoende en zelfs betere bescherming bieden.

Overstroming (dijkdoorbraak)					
klimaatscenario Laag Nat*					
Parameters	2050			2100	
	huidig	verandering	interpretatie	verandering	interpretatie
Kans	<1/1000	Waterschappen zullen er voor zorgen dat de dijken tot 2050 voldoende (en zelfs verbeterde) bescherming bieden	de kans op een overstroming verandert niet (of wordt mogelijk zelfs kleiner)	Het beschermingsniveau van Nederlandse dijken is vastgelegd in de Waterwet en het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl)	Dit betekent feitelijk dat het minimale beschermingsniveau altijd gehandhaafd zal blijven en dat bij groter wordende inwoneraantallen en/of economische waarden de eisen aan dijken overeenkomstig worden vergroot. Wel is het zo dat door zeespiegelstijging een ander beleidsspoor gekozen kan worden in het verloop van de huidige eeuw. Dat is echter nog geen onderdeel van huidige beleid.
Economie	Grootschalige gelijktijdige uitval met grote impact door grote fysieke schade en daardoor ook veel verstoringen treinverkeer. Door grootschaligheid grote druk op hersteloperatie	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -14% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van het spoor groter zijn in 2050, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -10% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van het spoor groter zijn in 2100, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie
Mens	Overstroomde treinen en ontsparingen door instabiliteit als gevolg van water langs treinbanen kunnen tot gewonden en doden leiden		De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van het spoor groter zijn in 2050, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie		De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van het spoor groter zijn in 2100, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie
Natuur en Milieu	Overstromen van spoor en met name emplacementen kunnen milieuschade veroorzaken				
Cultuur					

Overstroming (dijkdoorbraak)					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
	2050			2100	
	huidig	verandering	interpretatie	verandering	interpretatie
Kans	<1/1000	Waterschappen zullen er voor zorgen dat de dijken tot 2050 voldoende (en zelfs verbeterde) bescherming bieden	de kans op een overstroming verandert niet (of wordt mogelijk zelfs kleiner)	Het beschermingsniveau van Nederlandse dijken is vastgelegd in de Waterwet en het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl)	Dit betekent feitelijk dat het minimale beschermingsniveau altijd gehandhaafd zal blijven en dat bij groter wordende inwoneraantallen en/of economische waarden de eisen aan dijken overeenkomstig worden vergroot. Wel is het zo dat door zeespiegelstijging een ander beleidsspoor gekozen kan worden in het verloop van de huidige eeuw. Dat is echter nog geen onderdeel van huidige beleid.
Economie	Grootschalige gelijktijdige uitval met grote impact door grote fysieke schade en daardoor ook veel verstoringen treinverkeer. Door grootschaligheid grote druk op hersteloperatie	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 6 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van het spoor groter zijn in 2100, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 26% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van het spoor groter zijn in 2100, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie
Mens	Overstroomde treinen en ontsparingen door instabiliteit als gevolg van water langs treinbanen kunnen tot gewonden en doden leiden		De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van het spoor groter zijn in 2050, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie		De gevolgen zitten al in de hoogste gevolgcategorie. De gevolgen van overstromen kunnen bij een toenemend gebruik van het spoor groter zijn in 2100, maar dit leidt niet tot een andere gevolgcategorie
Natuur en Milieu	Overstromen van spoor en met name emplacementen kunnen milieuschade veroorzaken				
Cultuur					

B.2 Grootschalige regenoverstroming leidt tot onderwater staan spoor, tunnels, overwegen

Voor grootschalige regenoverstromingen worden met name in het Hoge-scenario (Hd) voor 2100 relevante veranderingen verwacht. In dit scenario neemt de kans op een dergelijke overstroming toe met 26%. Tegelijkertijd wordt richting 2050 een groei van het goederenvervoer voorzien in combinatie met significante toename van het personenvervoer (78% op basis van de WLO-cijfers). Onder de aanname dat in dit scenario bevolkingsgroei leidt tot meer tunnels en verdiepte spoortrajecten – vanwege de beperkte ruimte als gevolg – kan dit resulteren in een opschuiving in de kans- en/of gevolklasse, door de toenemende kwetsbaarheid van deze infrastructuur.

Grootschalige regenoverstroming leidt tot onderwater staan spoor, tunnels, overwegen					
klimaatscenario Laag Nat*					
Parameters	huidig	2050	interpretatie	2100	interpretatie
Kans	1/300	+5% 1-daagse neerslagsom zomer (KNMI (2023). Ln 1-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden)	kleine toename van de kans (Let op: klimaatdata zijn alleen bekend voor een toenemende intensiteit bij gelijkblijvende kans voor minder extreme neerslag. Bij een gelijkblijvende intensiteit zal daardoor ook de kans toenemen, maar de toename van de kans is niet bekend en niet gelijk aan de genoemde toename van de intensiteit)	+5% 1-daagse neerslagsom zomer (KNMI (2023). Ln 1-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden)	kleine toename van de kans (Let op: klimaatdata zijn alleen bekend voor een toenemende intensiteit bij gelijkblijvende kans voor minder extreme neerslag. Bij een gelijkblijvende intensiteit zal daardoor ook de kans toenemen, maar de toename van de kans is niet bekend en niet gelijk aan de genoemde toename van de intensiteit)
Economie	Regionale verspreide gelijktijdige uitval. Bij verwerking: langdurige uitval die lastig te repareren is. Kritieke objecten zoals tunnels en opstelreinen zijn kwetsbaar. Ook afhankelijk van energie en communicatie die uit kunnen vallen	34 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), -14% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Personenvervoer stijgt, goederentransport daalt. Ondanks de onzekerheid, zal deze stijging waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolklasse.	34 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), -10% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Personenvervoer stijgt, goederentransport daalt. Ondanks de onzekerheid, zal deze stijging waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolklasse.
Mens	Overstroomde treinen en ontsparingen door instabiliteit als gevolg van water langs treinbanen kunnen tot gewonden en doden leiden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economisch' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economisch' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix
Natuur en Milieu	Wateroverlast kan leiden tot vervuiling in specifieke situaties en mogelijk bij emplacementen of andere specifieke locaties ook tot onomkeerbare schade leiden				
Cultuur	nvt				

Grootschalige regenoverstroming leidt tot onderwater staan spoor, tunnels, overwegen					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
	huidig	2050	interpretatie	2100	interpretatie
Kans	1/300	+9% 1-daagse neerslagsom zomer (KNMI (2023). Hn 1-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden)	kleine tot matige toename van de kans (Let op: klimaatdata zijn alleen bekend voor een toenemende intensiteit bij gelijkblijvende kans voor minder extreme neerslag. Bij een gelijkblijvende intensiteit zal daardoor ook de kans toenemen, maar de toename van de kans is niet bekend en niet gelijk aan de genoemde toename van de intensiteit)	+26% 1-daagse neerslagsom zomer (KNMI (2023). Hn 1-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden)	significante toename van de kans (Let op: klimaatdata zijn alleen bekend voor een toenemende intensiteit bij gelijkblijvende kans voor minder extreme neerslag. Bij een gelijkblijvende intensiteit zal daardoor ook de kans toenemen, maar de toename van de kans is niet bekend en niet gelijk aan de genoemde toename van de intensiteit)
Economie	Regionale verspreide gelijktijdige uitval. Bij verwerking: langdurige uitval die lastig te repareren is. Kritieke objecten zoals tunnels en opstelreinen zijn kwetsbaar. Ook afhankelijk van energie en communicatie die uit kunnen vallen	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 6 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	mogelijk leidt het tot een hogere gevolklasse	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 26% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	mogelijk leidt het tot een hogere gevolklasse
Mens	Overstroomde treinen en ontsparingen door instabiliteit als gevolg van water langs treinbanen kunnen tot gewonden en doden leiden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economisch' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economisch' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix
Natuur en Milieu	Wateroverlast kan leiden tot vervuiling in specifieke situaties en mogelijk bij emplacementen of andere specifieke locaties ook tot onomkeerbare schade leiden		Geen effect		Geen effect
Cultuur	nvt		Geen effect		Geen effect

B.3 Vernatting

Ook bij vernatting worden in het Hoge-scenario (Hd) duidelijke verschillen zichtbaar. In dit scenario leidt de combinatie van een toename in langdurige neerslag en een sterke groei van het goederenvervoer en personenvervoer – in combinatie met meer verdiepte spoortrajecten en tunnels vanwege ruimtedruk door bevolkingsgroei – mogelijk tot een hogere gevolgklasse, vanwege de toenemende kwetsbaarheid van deze infrastructuur.

Vernatting door langdurige natte periode leidend tot verweking/instabiliteit baanlichaam en hoge grondwaterstanden die tot opdrijven kunnen leiden						
Klimaatscenario Laag Nat*						
Parameters	huidig	verandering	2050	interpretatie	2100	interpretatie
Kans	1/10-1/100	+2% 10-daagse neerslagsom winter (KNMI (2023), Ln 10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden) +5% toename winterneerslag [ref KNMI 2023, Ln]		zeer beperkte toename; gegeven alle onzekerheden is de conclusie dat de kans niet verandert	+2% 10-daagse neerslagsom winter (KNMI (2023), Ln 10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden) +5% toename winterneerslag [ref KNMI 2023, Ln]	zeer beperkte toename; gegeven alle onzekerheden is de conclusie dat de kans niet verandert
Economie	Regionale verspreide gelijktijdige uitval. Indien verweking langdurige uitval die lastig te repareren is. Kritieke objecten zoals tunnels en verdiepteliggings zijn kwetsbaar voor opdrijven.	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -14% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte		deze verandering zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolgklasse	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -10% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	deze verandering zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolgklasse
Mens	Ontsporingen door instabiliteit als gevolg van hoge grondwaterstanden kunnen tot gewonden en doden leiden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers		gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix
Natuur en Milieu						
Cultuur						

Vernatting door langdurige natte periode leidend tot verweking/instabiliteit baanlichaam en hoge grondwaterstanden die tot opdrijven kunnen leiden						
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)						
	huidig	verandering	2050	interpretatie	2100	interpretatie
Kans	1/10-1/100	+2 % 10-daagse neerslagsom winter (KNMI (2023), Hn 10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden) +7% toename winterneerslag [ref KNMI 2023, Hn]		zeer beperkte toename; gegeven alle onzekerheden is de conclusie dat de kans niet verandert	+15% 10-daagse neerslagsom winter [ref KNMI 2023, Hn 10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden] +24% toename winterneerslag (KNMI (2023), Hn)	significante toename van de kans (Let op: klimaatdata zijn alleen bekend voor een toenemende intensiteit bij gelijkblijvende kans voor minder extreme neerslag. Bij een gelijkblijvende intensiteit zal daardoor ook de kans toenemen, maar de toename van de kans is niet bekend en niet gelijk aan de genoemde toename van de intensiteit)
Economie	Regionale verspreide gelijktijdige uitval. Indien verweking langdurige uitval die lastig te repareren is. Kritieke objecten zoals tunnels en verdiepteliggings zijn kwetsbaar voor opdrijven.	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) 6 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei		mogelijk leidt het tot een hogere gevolgklasse, door de grote toename van gebruik spoor en additionele kwetsbaarheid door aanwezigheid van meer tunnels en verdiepte liggingen.	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) 25% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	mogelijk leidt het tot een hogere gevolgklasse, door de grote toename van gebruik spoor en additionele kwetsbaarheid door aanwezigheid van meer tunnels en verdiepte liggingen.
Mens	Ontsporingen door instabiliteit als gevolg van hoge grondwaterstanden kunnen tot gewonden en doden leiden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers		gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	gevolgen voor categorie 'mens' zijn ondergeschikt aan 'economie' dus zal niet leiden tot andere plaats in matrix
Natuur en Milieu						
Cultuur						

B.4 Kleinschalige regenoverstroming: gevolgen van piekbuien voor het spoor

In beide contextscenario's zien we toenames op de kans van piekbuien, waarbij in het Ln scenario de toename ongeveer een factor 1.1 is. In het Hd scenario is de toename naar 2050 een factor 1.25 en naar 2100 een factor 2.2. Met name in het Hd scenario in 2100 wordt geschat dat de toename kan leiden tot een indeling in een andere kansklasse. In combinatie met de aannames voor economie over goederenvervoer en tunnels/verdiepte liggingen kan de klimaatdreiging opschuiven naar andere gevolgklasse, met name in het Hd scenario.

Kleinschalige regenoverstroming; gevolgen van piekbuien voor het spoor					
Klimaatscenario Laag Nat*					
	2050	2100			
Parameters	huidig	verandering	interpretatie	verandering	interpretatie
Kans	jaarlijks tot eens per 10 jaar	4% toename hoeveelheid mm [REF Stowa 2050M, kortdurend fig. 18]	De kans neemt hierdoor met ongeveer een factor 1,1 toe	3% toename hoeveelheid mm [REF Stowa 2100L, kortdurend fig. 18]	De kans neemt hierdoor met ongeveer een factor 1,1 toe
Economie	Kortdurende lokale uitval van treinen. Stations kunnen getroffen worden met onbereikbaarheid van spoortransport als gevolg. Tunnels en verdiepte liggingen extra kwetsbaar	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -14% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	deze verandering zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolklasse	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -10% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	deze verandering zal waarschijnlijk niet leiden tot een hogere gevolklasse
Mens	stations kunnen getroffen worden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	De gevolgen voor deze categorieën zijn relatief klein. In de toekomst is het niet te verwachten dat die gevolgen leiden tot indeling in een andere gevolgcategorie	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	De gevolgen voor deze categorieën zijn relatief klein. In de toekomst is het niet te verwachten dat die gevolgen leiden tot indeling in een andere gevolgcategorie
Natuur en Milieu	Wateroverlast kan leiden tot vervuiling in specifieke situaties en mogelijk bij emplacementen of andere specifieke locaties ook tot onomkeerbare schade leiden				
Cultuur					

Kleinschalige regenoverstroming; gevolgen van piekbuien voor het spoor					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
	2050	2100			
Parameters	huidig	verandering	interpretatie	verandering	interpretatie
Kans	jaarlijks tot eens per 10 jaar	7% toename hoeveelheid mm [Stowa (2014), 2050H, kortdurend fig. 18]	De kans neemt hierdoor met ongeveer een factor 1,25 toe	24% toename hoeveelheid mm (Stowa (2014) 2100H, kortdurend fig. 18) kans neemt met een factor 2 toe (Stowa (2014), label 8 en 9)	De kans neemt hierdoor ongeveer met een factor 2,2 toe. Dit is een significante toename die kan leiden tot een indeling in een andere kansklasse
Economie	Kortdurende lokale uitval van treinen. Stations kunnen getroffen worden met onbereikbaarheid van spoortransport als gevolg. Tunnels en verdiepte liggingen extra kwetsbaar	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) 8 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	mogelijk leidt het tot een hogere gevolklasse, door de grote toename van gebruik spoor en additionele kwetsbaarheid door aanwezigheid van meer tunnels en verdiepte liggingen.	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) 26% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	mogelijk leidt het tot een hogere gevolklasse, door de grote toename van gebruik spoor en additionele kwetsbaarheid door aanwezigheid van meer tunnels en verdiepte liggingen.
Mens	stations kunnen getroffen worden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	De gevolgen voor deze categorieën zijn relatief klein. In de toekomst is het niet te verwachten dat die gevolgen leiden tot indeling in een andere gevolgcategorie	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	De gevolgen voor deze categorieën zijn relatief klein. In de toekomst is het niet te verwachten dat die gevolgen leiden tot indeling in een andere gevolgcategorie
Natuur en Milieu	Wateroverlast kan leiden tot vervuiling in specifieke situaties en mogelijk bij emplacementen of andere specifieke locaties ook tot onomkeerbare schade leiden				
Cultuur					

B.5 Hitte

De kans op hitte neemt toe in de toekomst in alle scenario's, waarbij in het beperkt-riisico-verhogende scenario de kans ongeveer verdubbelt en in het sterk verhogende scenario in 2100 de kans vertienvoudigt. Hitte heeft ook invloed op economie. Door een toename van aaneengesloten hittedagen en door de grootschaligheid van dit risico (het risico zal zich steeds meer gelijktijdig in het hele land voordoen in vergelijking met het huidige klimaat) waardoor reparaties langer duren zullen de gevolgen in de toekomst stijgen. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de trein. Het wordt geschat dat deze stijging binnen Hd mogelijk kan leiden tot een hogere gevolklasse. Daarnaast kunnen meer personen getroffen worden als airco's uitvallen in treinen of door de hitte op stations, zeker in het Hd scenario waarin het personenvervoer sterkt toeneemt.

Hitte					
Klimaatscenario Laag Nat*					
Parameters	huidig	2050	interpretatie	2100	interpretatie
		verandering		verandering	
Kans	Gemiddeld zijn er 5 dagen per jaar met een tropische temperatuur van meer dan 30 graden (in de Bilt). Extreem hete dagen van meer dan 35 graden komen maximaal 2 keer per jaar voor. Dit leidt echter niet gelijk tot significante gevolgen. Ingeschat is dat echt significante gevolgen pas optreden bij een kleinere kans dan eens in de 10 jaar.	Het aantal tropische dagen neemt toe tot 9,4 (KNMI, 2023 scenario Laag Droog) en het aantal extreem hete dagen maximaal 3 per jaar (stichting CAS, klimaateffectenatlas, z.d.)	Ingeschat wordt dat de kans op verstoringen ongeveer verdubbelt (gelijk aan de verdubbeling van het aantal hete dagen)	Het aantal tropische dagen neemt toe tot 9,4 (KNMI, 2023 scenario Laag Droog) en het aantal extreem hete dagen maximaal 3 per jaar (stichting CAS, klimaateffectenatlas, z.d.)	Ingeschat wordt dat de kans op verstoringen ongeveer verdubbelt (gelijk aan de verdubbeling van het aantal hete dagen)
Economie	effect op economie (via uitval treinen door uitval bruggen en/of elektronica (specifiek op opstelreinen))	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -14% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	door een toename van aaneengesloten hittedagen en door de grootschaligheid van dit risico (het risico zal zich steeds meer gelijktijdig in het hele land voordoen in vergelijking met het huidige klimaat) waardoor reparaties langer duren zullen de gevolgen in de toekomst stijgen. Gevolgen kunnen mogelijk stijgen door toename personenvervoer, ondanks afname goederenvervoer. Deze stijging zal waarschijnlijk binnen 2050 beperkt niet leiden tot een hogere gevolklasse	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -10% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	door een toename van aaneengesloten hittedagen en door de grootschaligheid van dit risico (het risico zal zich steeds meer gelijktijdig in het hele land voordoen in vergelijking met het huidige klimaat) waardoor reparaties langer duren zullen de gevolgen in de toekomst stijgen. Gevolgen kunnen mogelijk stijgen door toename personenvervoer, ondanks afname goederenvervoer. Deze stijging zal waarschijnlijk binnen 2100 beperkt niet leiden tot een hogere gevolklasse
Mens	Uitval van airco's treinen kan tot gezondheidsproblemen leiden. Stations kunnen getroffen worden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	Door toename personenvervoer kunnen meer personen getroffen worden als airco's uitvallen in treinen of door de hitte op stations.	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	Door toename personenvervoer kunnen meer personen getroffen worden als airco's uitvallen in treinen of door de hitte op stations.
Natuur en Milieu					
Cultuur					

Hitte					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
	huidig	2050	interpretatie	2100	interpretatie
		verandering		verandering	
Kans	Gemiddeld zijn er 5 dagen per jaar met een tropische temperatuur van meer dan 30 graden (in de Bilt). Extreem hete dagen van meer dan 35 graden komen maximaal 2 keer per jaar voor. Dit leidt echter niet gelijk tot significante gevolgen. Ingeschat is dat echt significante gevolgen pas optreden bij een kleinere kans dan eens in de 10 jaar.	Het aantal tropische dagen neemt toe tot 13 (KNMI, 2023) en het aantal extreem hete dagen maximaal 7 per jaar (stichting CAS, klimaateffectenatlas, z.d.)	Ingeschat wordt dat de kans op verstoringen iets meer dan verdubbelt (gelijk aan de verdubbeling van het aantal hete dagen)	Het aantal tropische dagen neemt toe tot 35 (KNMI, 2023) en het aantal extreem hete dagen maximaal 23 per jaar (stichting CAS, klimaateffectenatlas, z.d.)	Ingeschat wordt dat de kans op verstoringen ongeveer vertienvoudigt (gelijk aan de vertienvoudiging van het aantal extreem hete dagen)
Economie	effect op economie (via uitval treinen door uitval bruggen en/of elektronica (specifiek op opstelreinen))	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 6 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	door een toename van aaneengesloten hittedagen en door de grootschaligheid van dit risico (het risico zal zich steeds meer gelijktijdig in het hele land voordoen in vergelijking met het huidige klimaat) waardoor reparaties langer duren zullen de gevolgen in de toekomst stijgen. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de trein. Deze stijging kan binnen 2050 sterk mogelijk leiden tot een hogere gevolklasse	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 20% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.126) aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	door een toename van aaneengesloten hittedagen en door de grootschaligheid van dit risico (het risico zal zich steeds meer gelijktijdig in het hele land voordoen in vergelijking met het huidige klimaat) waardoor reparaties langer duren zullen de gevolgen in de toekomst stijgen. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de trein. Deze stijging kan binnen 2100 sterk mogelijk leiden tot een hogere gevolklasse
Mens	Uitval van airco's treinen kan tot gezondheidsproblemen leiden. Stations kunnen getroffen worden	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	Door toename personenvervoer kunnen meer personen getroffen worden als airco's uitvallen in treinen of door de hitte op stations.	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	Door toename personenvervoer kunnen meer personen getroffen worden als airco's uitvallen in treinen of door de hitte op stations.
Natuur en Milieu					
Cultuur					

B.6 Droogte

In alle scenario's neemt de kans op droogte toe en in 2050 en 2100 'sterk' het meest, waardoor mogelijk ook een andere kansklasse wordt bereikt. Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte kan op meerdere plaatsen gelijktijdig schade ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op het spoor, waardoor schade en storingen kunnen ontstaan. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de trein. Deze stijging zal waarschijnlijk in geen van de scenario's leiden tot een verschil in risicomatrix-klasse. Daarnaast is het onwaarschijnlijk dat een brand die is ontstaan bij het spoor leidt tot meer dan 100.000 getroffen en of nationale schade aan natuur. De gevolgklasse blijft daarom ingeschat op 'midden' in alle scenario's.

Droogte					
Klimaatscenario Laag Nat					
Parameters	huidig	2050	2100	verandering	interpretatie
Kans	Droogte kan tot significante schade aan het spoor en de omgeving van het spoor leiden. Ingeschat is dat droogte die tot gevolgenklasse 'midden' leidt zich ongeveer eens per 50 jaar voordoet	Het maximale neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden neemt toe met 9% (KNMI, 2023)	De kans op droogte neemt toe, maar niet demate dat een andere kansklasse wordt bereikt.	Het maximale neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden neemt toe met 9% (KNMI, 2023)	De kans op droogte neemt toe, maar niet demate dat een andere kansklasse wordt bereikt.
Economie	Als droogte leidt tot instabiliteit en/of zakking van het baanlichaam dan leidt dat tot significante schade en langdurige verstoring van het treinverkeer	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -14% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte kan op meerdere plaatsen gelijktijdig schade ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op het spoor, waardoor schade en storingen kunnen ontstaan. Gevolgen kunnen mogelijk stijgen door toename personenvervoer, ondanks afname goederenvervoer. Deze stijging zal waarschijnlijk binnen 2050 beperkt niet leiden tot een hogere gevolgenklasse	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -10% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte kan op meerdere plaatsen gelijktijdig schade ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op het spoor, waardoor schade en storingen kunnen ontstaan. Gevolgen kunnen mogelijk stijgen door toename personenvervoer, ondanks afname goederenvervoer. Deze stijging zal waarschijnlijk binnen 2100 beperkt niet leiden tot een hogere gevolgenklasse
Mens	Bermbranden kunnen overslaan naar de omgeving	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	het is onwaarschijnlijk dat een brand die is ontstaan bij het spoor leidt tot meer dan 100.000 getroffen of nationale schade aan natuur. De gevogklasse blijft daarom ingeschat op 'midden'	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	het is onwaarschijnlijk dat een brand die is ontstaan bij het spoor leidt tot meer dan 100.000 getroffen of nationale schade aan natuur. De gevogklasse blijft daarom ingeschat op 'midden'
Natuur en Milieu					
Cultuur					

Droogte					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
Parameters	huidig	2050	2100	verandering	interpretatie
Kans	Droogte kan tot significante schade aan het spoor en de omgeving van het spoor leiden. Ingeschat is dat droogte die tot gevolgenklasse 'midden' leidt zich ongeveer eens per 50 jaar voordoet	Het maximale neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden neemt toe met 30% (KNMI, 2023)	De kans op droogte neemt toe. Mogelijk wordt een andere kansklasse bereikt.	Het maximale neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden neemt toe met 35% (KNMI, 2023)	De kans op droogte neemt sterk toe en er wordt een andere kansklasse bereikt.
Economie	Als droogte leidt tot instabiliteit en/of zakking van het baanlichaam dan leidt dat tot significante schade en langdurige verstoring van het treinverkeer	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 8 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte kan op meerdere plaatsen gelijktijdig schade ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op het spoor, waardoor schade en storingen kunnen ontstaan. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de trein. Deze stijging zal waarschijnlijk binnen 2050 sterk niet leiden tot een hogere gevolgenklasse	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze), 28% toename goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	Droogteschade is schade die niet eenvoudig te repareren is. Bij toenemende droogte kan op meerdere plaatsen gelijktijdig schade ontstaan, waardoor capaciteit beperkt is en de herstelkosten hoger zullen worden. Door toenemende droogte bestaat ook een toenemende kans op gevolgen van natuurbranden op het spoor, waardoor schade en storingen kunnen ontstaan. Ook zullen de gevolgen stijgen door de toename in het gebruik van de trein. Deze stijging zal waarschijnlijk binnen 2100 sterk niet leiden tot een hogere gevolgenklasse
Mens	Bermbranden kunnen overslaan naar de omgeving	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	het is onwaarschijnlijk dat een brand die is ontstaan bij het spoor leidt tot meer dan 100.000 getroffen of nationale schade aan natuur. De gevogklasse blijft daarom ingeschat op 'midden'	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	het is onwaarschijnlijk dat een brand die is ontstaan bij het spoor leidt tot meer dan 100.000 getroffen of nationale schade aan natuur. De gevogklasse blijft daarom ingeschat op 'midden'
Natuur en Milieu					
Cultuur					

B.7 Storm & onweer

Ondanks dat de kans op onweer toeneemt, met name in het 2100 sterk scenario, zal storm & onweer geen klasse opschuiven in de risicomatrix. Wel kan het zo zijn dat door toename van het treinverkeer in de toekomst, er meer schade en gevolgen kunnen optreden. De gevolgen voor mensen zijn relatief klein. Het is onbekend hoeveel extra mensen gebruik maken van de trein in de toekomst. Maar het is niet te verwachten dat additionele gevolgen leiden tot indeling in een andere gevolgcategorie.

Storm & onweer					
Klimaatscenario Laag Nat					
	2050	2050	2100	2100	
Parameters	huidig	verandering	interpretatie	verandering	interpretatie
Kans	Storm en onweer komen elk jaar wel voor in Nederland. Ingeschat is dat significante schade niet ieder jaar ontstaat, maar pas bij een kans tussen jaarlijks en 10-jaarlijks	Windstoten en valvinden bij bomen worden sterker. Of het in Nederland ook vaker gaat bliksemen, is onzeker. (KNMI, 2023)	toename van de kans gelijk genomen aan een toename van de kans op extreme kortdurende neerslag. Dit is ongeveer een factor 1,1		toename van de kans gelijk genomen aan een toename van de kans op extreme kortdurende neerslag. Dit is ongeveer een factor 1,1
Economie	relatief weinig schade	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -14% goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Door mogelijke toename van het treinverkeer zal de schade iets toenemen in de toekomst, beperkt door afname goederenvervoer. Maar dit zal niet leiden tot een andere gevolgcategorie	22 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze) -10% goederentransport in miljard tonkm 2000 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: kleine toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want geen grote bevolkingsgroei en druk op de ruimte	Door mogelijke toename van het treinverkeer zal de schade iets toenemen in de toekomst, beperkt door afname goederenvervoer. Maar dit zal niet leiden tot een andere gevolgcategorie
Mens	kans op gevaarlijke situaties door voorwerpen op het spoor	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	De gevolgen voor mensen zijn relatief klein. Het is niet te verwachten dat additionele gevolgen leiden tot indeling in een andere gevolgcategorie	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	De gevolgen voor mensen zijn relatief klein. Het is niet te verwachten dat additionele gevolgen leiden tot indeling in een andere gevolgcategorie
Natuur en Milieu					
Cultuur					

Storm & onweer					
Klimaatscenario Hoog Droog (hd)					
	2050	2050	2100	2100	
Parameters	huidig	verandering	interpretatie	verandering	interpretatie
Kans	Storm en onweer komen elk jaar wel voor in Nederland. Ingeschat is dat significante schade niet ieder jaar ontstaat, maar pas bij een kans tussen jaarlijks en 10-jaarlijks		toename van de kans gelijk genomen aan een toename van de kans op extreme kortdurende neerslag. Dit is ongeveer een factor 1,25		toename van de kans gelijk genomen aan een toename van de kans op extreme kortdurende neerslag. Dit is ongeveer een factor 2,2
Economie	relatief weinig schade	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze). 8 % stijging van goederentransport in miljard tonkm 2050 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	Door toename van het treinverkeer zal de schade iets toenemen in de toekomst. Maar dit zal niet leiden tot een andere gevolgcategorie	78 % stijging van personenvervoer in 2050 (PBL (2025), cahier mobiliteit, Reizigerkilometers per vervoerswijze). 20% toename goederentransport in miljard tonkm 2000 (PBL (2025), getallen achter figuur 5.19 p.128) aanname: grote toename aantal verdiepte liggingen en tunnels want druk op de ruimte door bevolkingsgroei	Door toename van het treinverkeer zal de schade iets toenemen in de toekomst. Maar dit zal niet leiden tot een andere gevolgcategorie
Mens	kans op gevaarlijke situaties door voorwerpen op het spoor	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	De gevolgen voor mensen zijn relatief klein. Het is niet te verwachten dat additionele gevolgen leiden tot indeling in een andere gevolgcategorie	aanname: gelijke toename effect op mens als stijging/daling aantal reizigers	De gevolgen voor mensen zijn relatief klein. Het is niet te verwachten dat additionele gevolgen leiden tot indeling in een andere gevolgcategorie
Natuur en Milieu					
Cultuur					

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl