



provincie **HOLLAND**
ZUID

TNO innovation
for life

Deltares


Nelen & Schuurmans



Klimaatstresstest provinciale infrastructuur

Eindrapport

Provincie Zuid-Holland

11-5-2018

Klimaatstresstest provinciale infrastructuur

Klimaat effecten

Voor:
Provincie Zuid-Holland

Nelen & Schuurmans
Zakkendragershof 34-44
3511 AE Utrecht

www.nelen-schuurmans.nl

Projectgegevens

Dossier : S0282
Datum : 11-5-2018

Foto voorzijde

N484 bij Voorschoten © A. van 't Veld

Niets uit deze rapportage mag worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de opdrachtgever. Noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.



SAMENVATTING

Aanleiding

Het klimaat verandert en dit heeft gevolgen op onze leefomgeving. We zullen onze leefomgeving moeten aanpassen. In het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (2018) hebben alle gemeenten, waterschappen, provincies en het Rijk afgesproken om de kwetsbaarheden voor het klimaat uiterlijk in 2019 in beeld gebracht te hebben.

Klimaatstresstest

Met deze klimaatstresstest heeft de provincie Zuid-Holland, als eerste provincie een goed beeld van de effecten van klimaatverandering op de eigen wegen, vaarwegen en kunstwerken. De onderzochte klimaateffecten zijn afgeleid van het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie en omvatten hoosbuien, hittestress, droogte, zeespiegelstijging en bodemdaling. De effecten zijn in kaart gebracht op zuid-holland.klimaatatlas.net en besproken met een brede groep deskundigen vanuit de provincie tijdens een risicodialoog en een kansendialoog.

Resultaten

Circa 10% van de provinciale wegen zijn kwetsbaar voor een hoosbui. Hittestress vormt voor wegen geen groot risico. De provinciale vaarwegen lijken relatief ongevoelig voor klimaatverandering omdat deze vaarwegen voornamelijk bestaan uit boezemwater met een strak peilregime. Uitzondering is het Merwedekanaal waarbij de beschikbaarheid afneemt door beperkingen in het aantal schuttingen door hoge óf lage waterstanden op de Boven-Merwede of Lek.

De schade die kan optreden door een doorbraak van boezemkades kan groot zijn, doordat wegen, woningen en agrarische gebied getroffen worden door een langdurige hoge waterstand. Klimaatverandering zal het risico op doorbraak vergroten, door extra neerslag, langdurige droogte en bodemdaling. De verantwoordelijkheid voor het beheer van deze boezemkades ligt bij het waterschap.

De voornaamste aandachtspunten voor de provinciale kunstwerken zijn onderdoorgangen die onderlopen bij een hoosbui. Bij beweegbare bruggen neemt het risico op een stremming door hitte uitzetting van het brugdek toe.

Bodemdaling is geen direct klimaateffect, maar heeft wel invloed op de langsonvlakheid van provinciale wegen en kwetsbaarheid van kades en oever. Droogte kan deze bodemdaling versnellen.

Vervolg

Voor interne borging bevelen we aan om de klimaatbestendigheid van de provinciale infrastructuur onder te brengen bij de huidige assetmanagementstructuur van de provincie en de voortgang jaarlijks met het management van de Dienst Beheer Infrastructuur, afdeling Projecten en Programma's en de afdeling Mobiliteit en Milieu te bespreken.

We bevelen voor de wegen aan om een detailstudie uit te voeren voor de kritieke weglocaties, om een pilotstudie uit te voeren naar de interactie in het wegennet en om de gevolgen van zachte bermen door langdurige neerslag te onderzoeken.

Voor de vaarwegen bevelen we aan om nader onderzoek te doen naar de economische gevolgen van toename van schutbeperkingen door lage en hoge waterstanden voor het Merwedekanaal.



Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Doel	3
1.3	Leeswijzer	3
2	Aanpak	4
2.1	Proces	4
2.2	Effecten klimaatverandering op provinciale infrastructuur	4
2.3	Bepaling risico's	5
2.4	Brede inventarisatie kansen	6
3	Wegen	7
3.1	Hoosbuien	7
3.2	Hittestress	12
3.3	Droogte	12
3.4	Overstroming	13
3.5	Bodemdaling	14
3.6	Resultaten	16
4	Vaarwegen	18
4.1	Hoosbuien	18
4.2	Hittestress	20
4.3	Droogte	20
4.4	Overstroming	21
4.5	Bodemdaling	22
4.6	Resultaten	24
5	Kunstwerken	26
5.1	Hoosbuien	26
5.2	Hittestress	26
5.3	Droogte	26
5.4	Overstroming	27
5.5	Bodemdaling	27
5.6	Resultaten	27
6	Conclusies en aanbevelingen	28
6.1	Conclusies	28
6.2	Aanbevelingen	28



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het klimaat verandert en dit heeft gevolgen op onze leefomgeving. We zullen onze leefomgeving moeten aanpassen op dit veranderende klimaat. In de Deltabeslissing Ruimtelijke Adaptatie¹ hebben het Rijk, de provincies, gemeenten en waterschappen de gezamenlijke ambitie vastgelegd² dat Nederland in 2050 klimaatbestendig en waterrobuust is ingericht. Een tussenstap in 2020 is dat klimaatbestendig en waterrobuust inrichten onderdeel is van het beleid en handelen van overheden. In het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (2018) hebben alle gemeenten, waterschappen, provincies en het Rijk afgesproken om de kwetsbaarheden voor het klimaat uiterlijk in 2019 in beeld gebracht te hebben.

De provincie wil met dit project een stresstest uitvoeren om te weten wat de gevolgen zijn van klimaatverandering voor de provinciale infrastructuur en onderzoeken wat de kansen zijn om toekomstige problemen te ondervangen. Met de resultaten van de stresstest heeft de provincie een basis om in gesprek te gaan met externe partners en om klimaatverandering expliciet mee te nemen in het assetmanagement van de provincie. Het uitvoeren van deze stresstest past bovendien in de ambitie van de provincie Zuid-Holland om dé expertregio te worden op het gebied van klimaatadaptatie, wat kansen biedt voor een nieuwe economische topsector op dit thema.

1.2 Doel

Het doel van deze klimaatstresstest is:

- › het in beeld brengen van de gevolgen van klimaatverandering op de provinciale infrastructuur van de provincie Zuid-Holland;
- › het bepalen van kansen en maatregelen om toekomstige problemen door klimaatverandering te ondervangen. Hierbij wordt niet alleen naar de provinciale infrastructuur gekeken, maar ook naar andere opgaven in het gebied.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een beknopte beschrijving van de aanpak van dit project. De hoofdstukken 3 tot en met 5 bevatten voor wegen, vaarwegen en kunstwerken een beschrijving van de verwachte effecten van klimaatverandering en de mogelijke kansen en oplossingsrichtingen. Elk van deze hoofdstukken bevat aan het eind een paragraaf met de resultaten per asset. Hoofdstuk 6 bevat de samenvattende conclusies en aanbevelingen.

Voor de technisch geïnteresseerde lezer zijn vooral de hoofdstukken 3 tot en met 5 (Wegen, Vaarwegen en Kunstwerken) van belang. Voor een overzicht van het project en resultaten is het lezen van de hoofdstukken 2 (Aanpak) en 6 (Conclusies en aanbevelingen) voldoende.

¹ Deltaprogramma, 2014: Deltaprogramma 2015; Werk aan de Delta

² Deltaprogramma, 2014: Bestuursovereenkomst Deltaprogramma



2 Aanpak

2.1 Proces

Om de effecten van klimaatverandering op de provinciale infrastructuur te bepalen hebben we de kennis van de provincie gecombineerd met kennis en modellen van Deltares, TNO en Nelen & Schuurmans³. Aan het begin van het project is op basis van literatuur een eerste analyse gemaakt welke effecten van klimaatverandering te verwachten zijn met betrekking tot provinciale wegen, vaarwegen en kunstwerken. Gecombineerd met de beschikbare data van de provincie en externe databronnen en modellen zijn vervolgens gedetailleerde klimaateffectkaarten gemaakt. Deze kaarten zijn ook online beschikbaar in de klimaatatlas: www.zuid-holland.klimaatatlas.net.

Tijdens een risicodialoog (30 januari 2018) zijn deze kaarten voorgelegd aan een brede groep medewerkers van infra-afdelingen, uitvoerende- en beleidsafdelingen van de provincie om te bepalen of de effecten (hoosbuien, hittestress, droogte, zee/rivierspiegelstijging en de gevolgen van bodemdaling) herkend werden en of de effecten compleet waren. Vervolgens hebben de aanwezigen ter plekke bepaald welke risico's acceptabel zijn en welke niet aan de hand van een risicomatrix. Dit is een eerste verzameling van risico's, mogelijk zijn niet alle belangrijke risico's benoemd. Van een aantal risico's is nader bepaald wat de verwachte impact is.

Tijdens de kansendialoog (22 februari 2018) hebben de assetmanagers aangegeven welke knelpunten zij zien en hebben de overige deelnemers vanuit de provincie verder meegedacht over technische en organisatorische kansen om ongewenste effecten te voorkomen of te verminderen. Hierbij is niet alleen gedacht vanuit knelpunten, maar ook aan kansen vanuit de omgeving of andere ontwikkelingen. In de dialoog is bijvoorbeeld bewust ingezoomd op weg van de energietransitie om op die manier verder te kijken dan alleen naar de energietransitie bij de N211 en N470. In de werkvorm hadden de assetmanagers een leidende rol en werd aan collega's gevraagd input te geven. Hiermee werden de oplossingen en ideeën praktisch gemaakt, zodat de assetmanagers er ook mee aan de slag kunnen.

2.2 Effecten klimaatverandering op provinciale infrastructuur

Het klimaat verandert en het KNMI⁴ verwacht naast zeespiegelstijging, een toename van extreme hitte, hoosbuien⁵ en droogte. Dit betekent dat de weersomstandigheden extremer zullen worden. De klimaateffecten in deze studie zijn afgeleid van het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie:

- › Hoosbuien
- › Hittestress
- › Droogte
- › Zee/rivierspiegelstijging
- › Bodemdaling

Bodemdaling is geen direct effect van klimaatverandering, maar kan wel een belangrijke en versterkende factor zijn in de provincie en is daarom expliciet meegenomen. Onderstaande tabel

³ Genoemde partijen werken o.a. samen voor de stresstest van de rijkswegen in opdracht van RWS. De kennis en ervaring, opgedaan met deze studie, is gebruikt in de stresstest van de provinciale wegen en vaarwegen. Meer informatie is te vinden op: www.klimaatbestendigenetwerken.nl.

⁴ KNMI, 2015: KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie

⁵ STOWA (2018). Nieuwe neerslag-statistieken voor korte tijdsduren.
http://www.stowa.nl/publicaties/publicaties/Nieuwe_neerslagstatistieken_voor_korte_tijdsduren__extreme_buie_n_extremer_geworden__brochure_



geeft een overzicht van de mogelijke effecten van klimaatverandering voor de provinciale wegen, vaarwegen en kunstwerken. Langdurige regen en wind zijn geen onderdeel van deze studie, maar dienen wel aandacht in het vervolgproces.

Klimaatbestendigheid is de mate waarin een gebied bestand is tegen de gevolgen van klimaatverandering. Dit betekent niet dat alle effecten van klimaatverandering voorkomen kunnen en hoeven te worden. Huidige ontwerpnormen houden ook rekening met mogelijke overschrijding van de norm. Aanpassen aan klimaatverandering kan door aanpassing van ontwerpnormen, maar vaak ook door vermindering van de effecten bij extreme situaties.

Een deel van de klimaatveranderingen zien we nu al gebeuren, bijvoorbeeld bij zeespiegelstijging of toename van het aantal hoosbuien. De toename in extremen is lastiger zichtbaar, omdat deze extremen niet vaak voorkomen. Zo is de extreme bui die bij Herwijnen is gevallen nog niet in Zuid-Holland gevallen, maar is de kans op zo'n bui wel groter geworden.

Tabel 2.1. Onderzochte effecten van klimaatverandering op provinciale infrastructuur

Klimaat thema's	Wegen	Vaarwegen	Kunstwerken
Hoosbuien	Onbegaanbaarheid wegen door wateroverlast	Ondoorvaarbaarheid door hoge waterstanden Instabiele kades.	Onbegaanbaarheid onderdoorgangen door wateroverlast
Hittestress	Spatting van betonwegen Vervorming van asfalt in bochten	-	Stremming beweegbare bruggen door uitzetten
Droogte	Overlast door bermbranden	Ondoorvaarbaarheid door lage waterstanden. Instabiele kades.	-
Overstroming	Onbegaanbaarheid wegen, verzakking weglichaam	Instabiele kades door droogte of hevige regenval Leegstromen waterwegen door boezemkadebreuk	-
Bodemdaling	Langsonvlakheid door ongelijkmatige zakkingen	Mogelijke sterkte afname kades en oevers door zetting en bodemdaling	-

2.3 Bepaling risico's

Naast de omvang van een effect (gevolg) is het nodig om te bepalen hoe frequent de effecten voor kunnen komen (kans). De combinatie van kans en gevolg bepaalt het risico. Het is ondoelmatig en onmogelijk om te streven naar nul risico, maar het is wel mogelijk om te bepalen welk risico acceptabel is en welke investering de grootste vermindering van het risico oplevert. Tijdens de risicodialoog hebben de deelnemers bepaald welke effecten vrijwel nooit toelaatbaar zijn. Genoemd werden bijvoorbeeld overstroming door kadebreuk en grootschalige uitval van ICT door wateroverlast.



2.4 Brede inventarisatie kansen

Binnen de provincie is veel kennis aanwezig over ruimtelijke, organisatorische en technische ontwikkelingen die mogelijk kansen bieden voor het beperken of voorkomen van problemen door klimaatverandering. Bij het bepalen van de kansen is breder gekeken dan alleen naar de provinciale infrastructuur en zijn ook andere opgaven betrokken. Deze opgaven hebben niet altijd een directe relatie met klimaatverandering, maar deze zijn wel gerelateerd in beleid en mogelijke oplossingen. Voorbeelden hiervan zijn de energietransitie of ruimtelijke ontwikkelingen waarbij meerdere opgaven ingevuld moeten worden. Tijdens de kansendialoog (op 22-2-2018) zijn de kansen voor de assets wegen, vaarwegen en kunstwerken geïnventariseerd en besproken met de assetmanagers. Deze ideeën zijn beschikbaar bij de assetmanagers en meegenomen in de aanbevelingen van deze rapportage.

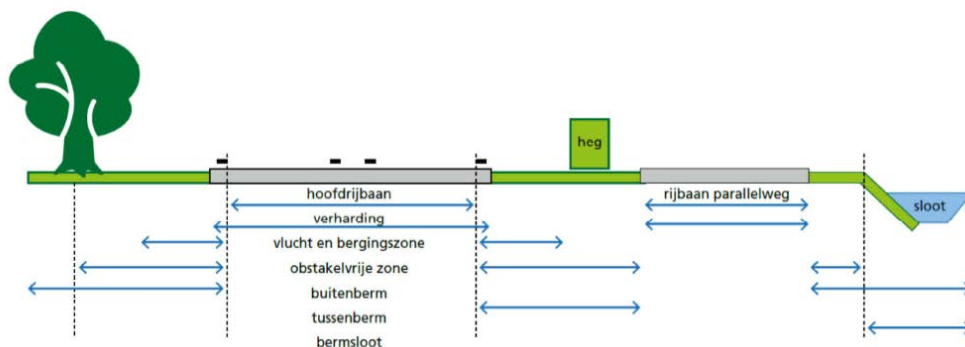
Risicomatrix Klimaat effecten			Vrijwel niet mogelijk	Zelden	Indien de	Jaarlijks	Maandelijks	Wekelijks
			<0,003 jr	0,003 - 0,03 jr	0,03 - 0,3 jr	0,3 - 3 jr	3 - 30 jr	>30 jr
Vrijwel nooit toelaatbaar	Langdurige stremming (> 2 dgn) boven regionaal en provinciaal wegennet	Kadebreuk ...	M	H	ZH	O	O	O
	Stremming brug door hitte Bezwijken oeverconstructie door droogte/ bodemdaling Stremming evacuieroute	Ongeluk door aquaplaning Uitval VRI door hitte met cascade effect op stremming verkeer ...	L	M	H	ZH	O	O
	Grote holle ruimtes onder sluizen Overlast voor bewoners door hoge waterstand i.c.m. golven door scheepvaart	Brug functioneert niet Afsluiting van provinciale weg (> 12 uur) ...	V	L	M	H	ZH	O
Regelmatig toelaatbaar	Voorkomen doorvaart-beperking vaste bruggen (> 1 dag) Wateroverlast door verstopte kolken	Brug/Sluiz stremming door klimaatschade Uitspoeling onder wegdek (holle ruimtes)	V	V	L	M	H	ZH
	Uitval elektrische installaties door hitte Afkalving taluds als gevolg van wisselende waterstanden	...	V	V	V	L	M	H
	Voorkom zettingen als gevolg van aanleg	...	V	V	V	V	L	M

Figuur 2.1. Voorbeeld risicomatrix zoals ingevuld tijdens de risicodialoog



3 Wegen

Een klimaatbestendige provinciale weg blijft ook bij een hoosbui begaanbaar en belast de omgeving minimaal met afstromend water. Bijvoorbeeld door water zoveel mogelijk in bij de weg horende bermen en bergingszones (zie Figuur 3.1) vast te houden of het water zelfs weer te gebruiken voor andere (bedrijfs)processen in de omgeving.



Figuur 3.1 Schematische weergave van een weg en daar aan gerelateerde objecten zoals beheerd door de provincie. Bron: Assetplan wegen, Provincie Zuid-Holland

De provincie Zuid-Holland is verantwoordelijk voor het beheer van 508 km wegen, voornamelijk (boven)regionale wegen. Het doel van het beheer van deze wegen is dat de bereikbaarheid en de veiligheid worden gerealiseerd op zo'n manier dat de omgevingskwaliteit (geluid, luchtkwaliteit, CO₂) zo groot mogelijk is. Deze kernwaarden zijn alle drie van belang bij de ambitie voor klimaatbestendige wegen.

3.1 Hoosbuien

Bij een hoosbui kunnen (laaggelegen) delen van provinciale wegen onder water komen te staan. Hierdoor kan het verkeer kortere of langere tijd hinder ondervinden en het kan leiden tot extra kosten voor dagelijks beheer en onderhoud.

De gevolgen van hoosbuien op provinciale wegen zijn op drie manieren in beeld gebracht:

- › Maximale waterdiepte tijdens een hoosbui.
- › Begaanbaarheid van de weg bij die maximale waterdiepte.
- › Gehinderde voertuigbewegingen.

In deze paragraaf wordt eerst ingegaan op de methodiek van de analyse op deze drie punten. Daarna worden de resultaten van de analyse besproken. Gedetailleerde kaarten van de resultaten zijn te vinden op zuid-holland.klimaatatlas.net.

Methodiek maximale waterdiepte

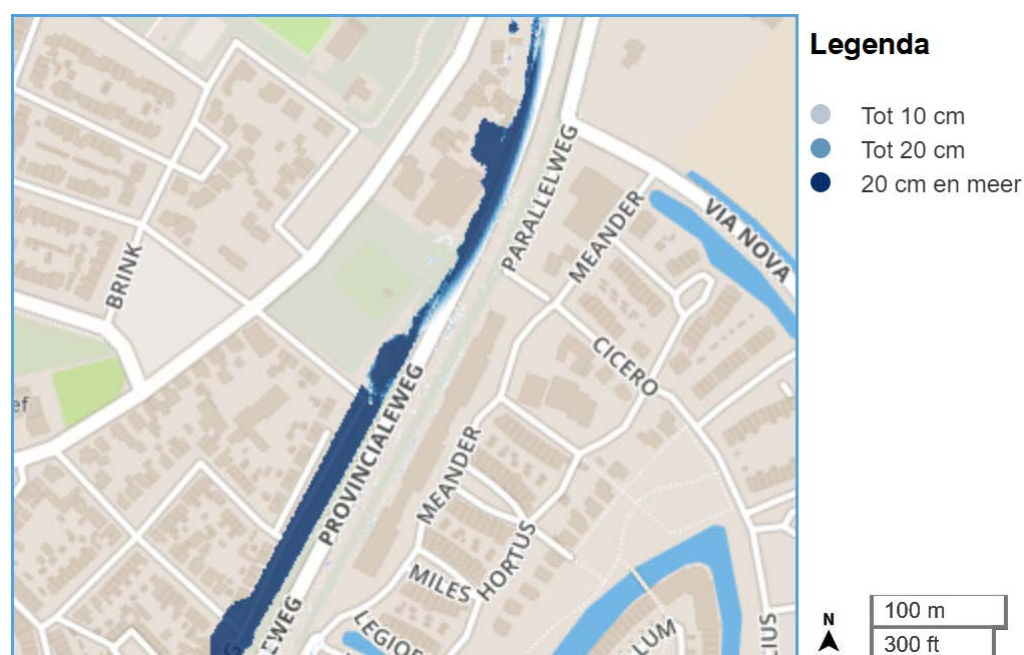
De maximale waterdiepte tijdens de bui is berekend met het hydrologische rekenpakket 3Di. Daarbij is uitgegaan van een hoosbui (100 mm in 2 uur). Hiermee wordt aangesloten op de recent uitgevoerde stresstesten voor alle gemeenten in Zuid-Holland, waardoor deze studies vergelijkbaar zijn. Een dergelijke bui is qua gevolgen voor de wateroverlast vergelijkbaar met de bui die Stichting RIONED aanbeveelt⁶ voor stresstesten (93 mm in 70 minuten, Herwijnen).

⁶ Stresstest Regenwater, Stichting RIONED, 13 oktober 2017



Voor de berekening is gebruik gemaakt van data met een hoog detailniveau. Er is gerekend met een hoogtekaart⁷ met een pixelgrootte van 0,25 m². Een hoge ruimtelijke resolutie is belangrijk omdat de wegen een breedte hebben in de orde van grootte van enkele meters. Ook de infiltratiecapaciteit van de ondergrond (water infiltreert bijvoorbeeld sneller in een zandgrond dan in een kleigrond) en de weerstand die het water ondervindt bij stroming over het wegdek en maaiveld is op hoog detailniveau meegenomen; ook hier is een pixelgrootte van 0,25 m² gebruik. Geluidschermen zijn toegevoegd als obstakels, waar het water niet langs kan stromen. De omgeving van de wegen is tot 250m afstand meegenomen in de analyse.

De berekening levert een waterdieptekaart op: de waterdiepte op en langs de wegen na 2 uur. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur 3.2, de volledige waterdieptekaart is online gepubliceerd op zuid-holland.klimaatatlas.net.



Figuur 3.2. Waterdieptekaart

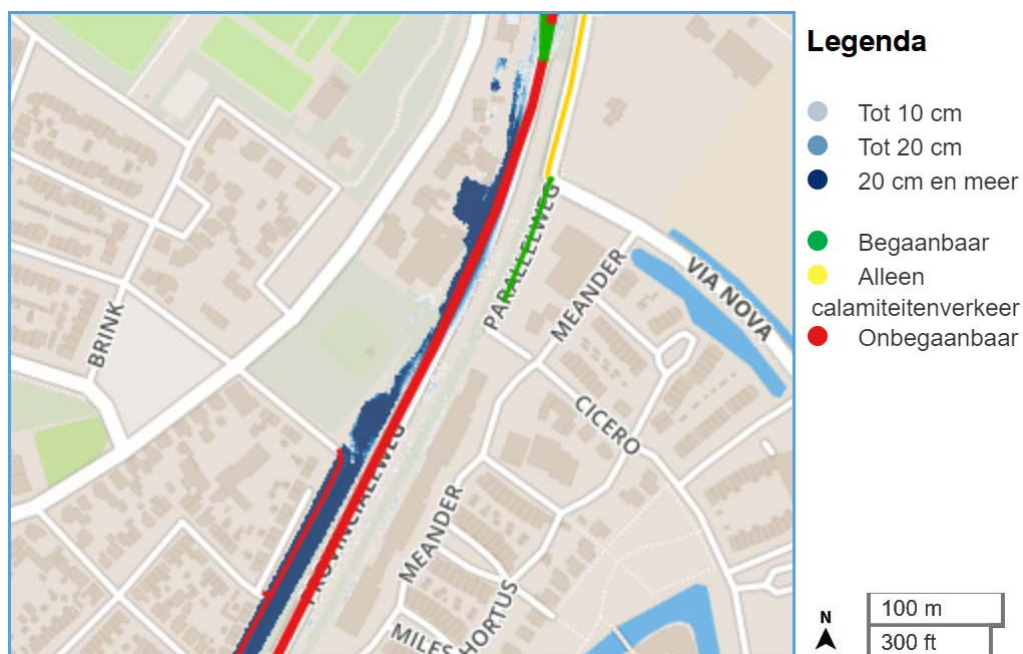
Methodiek begaanbaarheid van de weg

De begaanbaarheid van wegen is gebaseerd op deze waterdieptekaart. Wegen zijn opgedeeld in segmenten, die van kruispunt tot kruispunt lopen. Per segment is de maximale waterdiepte op de weg bepaald en vertaald naar een begaanbaarheidsklasse. Zie Tabel 3.1 voor de gebruikte classificatie. Onder begaanbaarheid wordt verstaan dat personenauto's over de weg kunnen rijden, ook als de snelheid moet worden verminderd vanwege een dunne waterlaag op het wegdek. Voor een voorbeeld van deze analyse zie Figuur 3.3.

Tabel 3.1 Begaanbaarheid wegen op basis van maximale waterdiepte in het midden van de weg

Maximale waterdiepte (cm)	Begaanbaarheidsklasse
0-10	Begaanbaar
10-30	Onbegaanbaar voor normaal verkeer (begaanbaar voor calamiteitenverkeer)
> 30	Onbegaanbaar voor alle verkeer

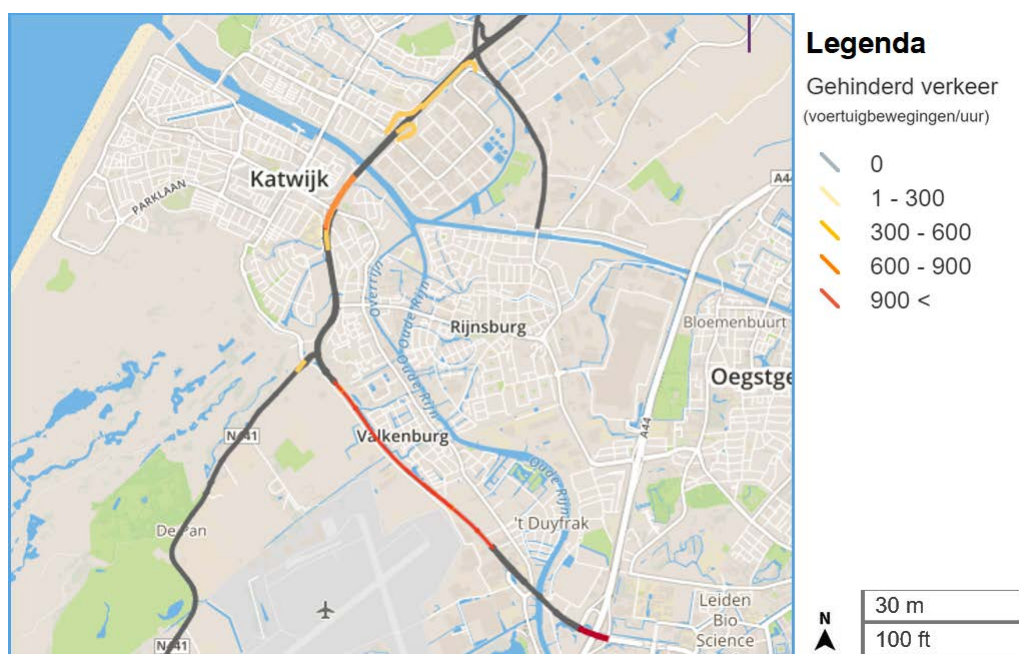
⁷ Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), versie 3 waar beschikbaar, op overige locaties versie 2.



Figuur 3.3. Begaanbaarheid wegen (op de achtergrond de waterdiepte)

Methodiek gehinderde voertuigbewegingen

Als de verkeersintensiteit hoog is, is de impact groter als deze weg onbegaanbaar wordt door wateroverlast. De impact van wateroverlast wordt daarom uitgedrukt in het aantal gehinderde voertuigbewegingen per uur. Dit is berekend door de gemiddelde verkeersintensiteit⁸ (voertuigbewegingen per uur) te koppelen aan de wegsegmenten in de klasse 'Onbegaanbaar' of 'Begaanbaar voor calamiteitenverkeer' (zie Figuur 3.4).



Figuur 3.4. Gehinderde voertuigbewegingen

⁸ Bron: Brongegevens van de rekentool voor het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit



Resultaten

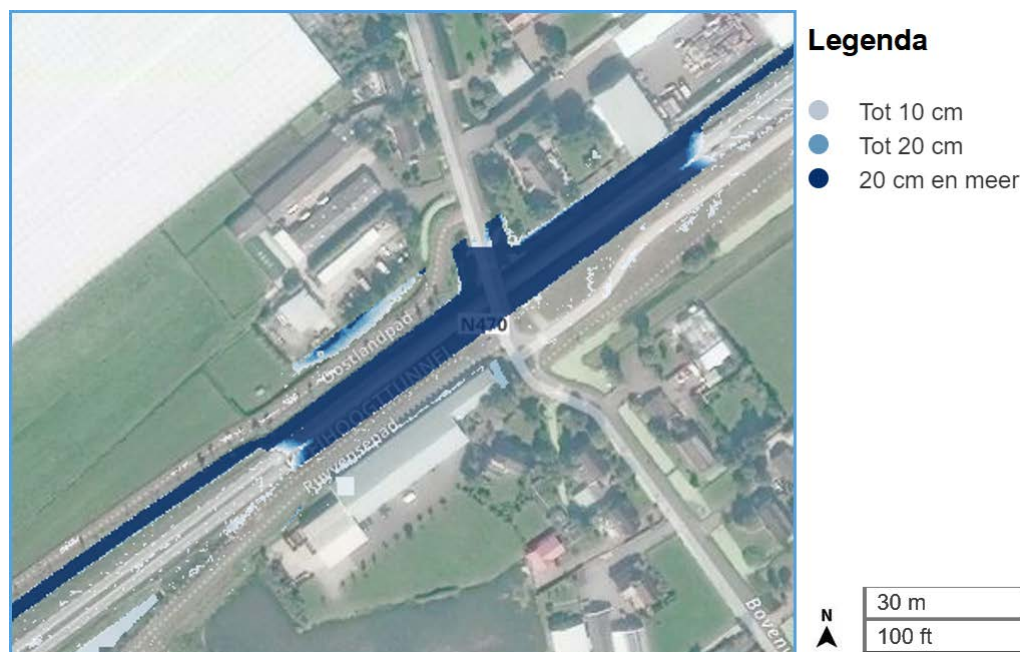
Het merendeel (90%) van de provinciale wegen zal begaanbaar blijven bij een hoosbui (zie Tabel 3.2). Dit geeft aan dat het risico op overlast bij hoosbuien zich beperkt tot specifieke locaties. De oorzaken en eventuele maatregelen zullen dus ook locatie-specifiek moeten worden bestudeerd. De problemen concentreren zich in het 'Glazen Hart' (De Lier, Naaldwijk, Monster en Wateringen; N211, N213, N466, N223), rondom Berkel en Rodenrijs (in de driehoek Delft - Rotterdam - Zoetermeer; N209, N470, N471, N472) en in de buurt van Katwijk en Noordwijk (N206). Zie voor de precieze locaties zuid-holland.klimaatatlas.net.

Tabel 3.2. Gevolgen van hoosbuien op wegen: begaanbaarheid

Begaanbaarheidsklasse	Lengte (km)	%
Begaanbaar	688	90.0%
Begaanbaar voor calamiteitenverkeer	28	3.6%
Onbegaanbaar	49	6.4%

Bij het merendeel van de risico-locaties betreft het om kruisende wegen, bijvoorbeeld onderdoorgangen en viaducten (zie Figuur 3.5). Het gaat om potentiële knelpunten, die kwetsbaar zijn als bijvoorbeeld de pompcapaciteit onvoldoende is, een gemaal defect raakt of een riolering verstopt.

In andere gevallen is de oorzaak dat de berm of bermsloot te weinig bergende en/of afvoerende capaciteit heeft, waardoor het water vanuit de berm het wegdek opkomt. Een voorbeeld is gegeven in Figuur 3.6.



Figuur 3.5. Voorbeeld van een locatie op de N470 die onbegaanbaar is bij kruisende infrastructuur



Figuur 3.6. Voorbeeld van een knelpuntlocatie op de N211, waar de oorzaak is dat de capaciteit van de berm-sloot onvoldoende is

Tabel 3.3 geeft een overzicht van de impact op de verkeersbewegingen door een hoosbui. De tabel deelt de wegen op in intensiteitscategorieën, gebaseerd op het aantal voertuigbewegingen per uur. Per categorie is weergegeven hoeveel % van de wegen in Zuid-Holland in de betreffende categorie vallen, hoeveel kilometer onbegaanbaar is door hoosbuien, en welk % van de totale lengte dit is. De tabel laat zien dat het merendeel van de wegen geen impact ondervindt van hoosbuien. Het grootste deel van de wegen met knelpuntlocaties valt in de categorie 300-600 voertuigbewegingen per uur, hoewel er bijna twee keer zoveel wegen zijn met een uurintensiteit van minder dan 300.

De impact kan worden gezien als hulpmiddel bij de prioritering van knelpuntlocaties. Op zuid-holland.klimaatatlas.net zijn gedetailleerde kaarten gepubliceerd waarop de plekken met de meeste impact door hoosbuien te vinden zijn.

Tabel 3.3. Gevolgen van hoosbuien op wegen: gehinderde voertuigbewegingen per uur

Verkeersintensiteit (voertuigbewegingen/uur)	Wegen in categorie (% lengte)	Onbegaanbaar (km)	(% lengte) ¹
< 300	59%	20,03	3,03%
300 - 600	32%	30,09	4,54%
600 - 900	4%	4,43	0,67%
> 900	2%	4,48	0,68%
Geen impact	n.v.t.	603,02	91,08%

¹Percentages kunnen afwijken van die genoemd in Tabel 3.2 omdat de dataset met intensiteiten (NLS) wegen op een andere manier weergeeft dan de NWB.

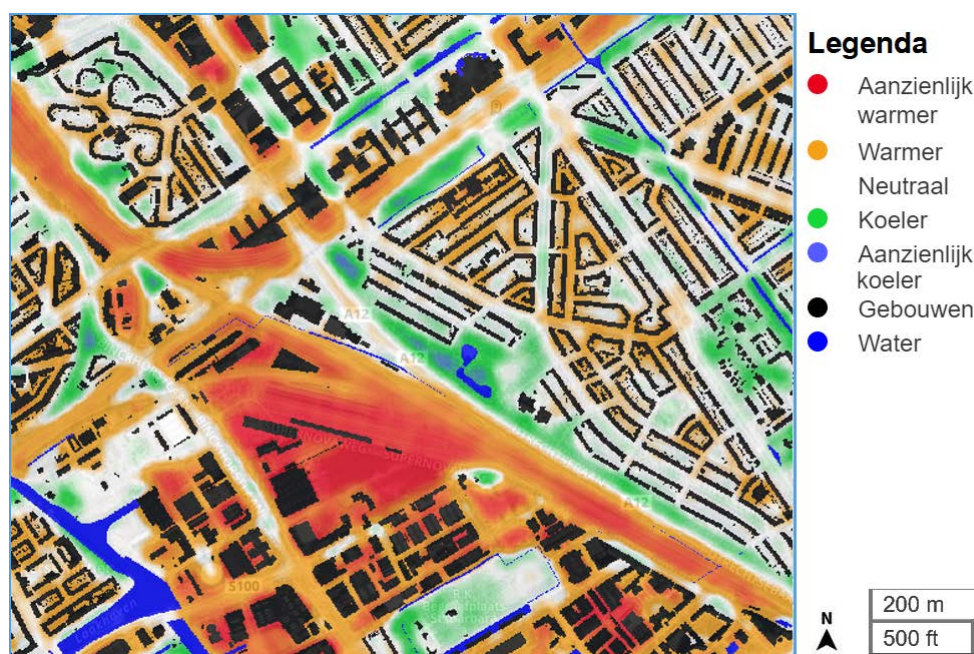


3.2 Hittestress

Hitte kan een risico vormen voor wegen. Wegen met een betonnen wegdek kunnen spatten door expansie. Er zijn in Zuid-Holland geen provinciale wegen met een betonnen wegdek, dus dit levert vermoedelijk geen knelpunten op.

Voor asfaltwegen worden geen grote problemen verwacht door een verhoogde temperatuur. Het gedrag van asfalt is temperatuurafhankelijk, dit betekent in theorie dat bij hogere temperaturen zwaar verkeer kan leiden tot permanente vervorming, in de vorm van spoorvorming. Echter, zelfs als wordt uitgegaan van het meest extreme klimaatscenario van het KNMI⁹, is de temperatuurstijging van 2 graden in 2050 te beperkt om te leiden tot een significante toename in spoorvorming. Bovendien is de onderhoudsfrequentie voor asfaltwegen hoog in verhouding tot de verandering van het klimaat. Indien blijkt dat in 2050 de maximumtemperaturen toch nog hoger worden, kan eenvoudig in een tussentijdse onderhoudsslag gekozen worden voor een hittebestendigere deklaag, door te kiezen voor een harder of een gemodificeerd bindmiddel.

Voor de gehele provincie Zuid-Holland is een gedetailleerde hittestresskaart beschikbaar op zuid-holland.klimaatatlas.net. Deze kaart geeft niet alleen voor de wegen, vaarwegen en kunstwerken, maar voor de gehele provincie de locaties aan die gevoelig zijn voor hittestress.



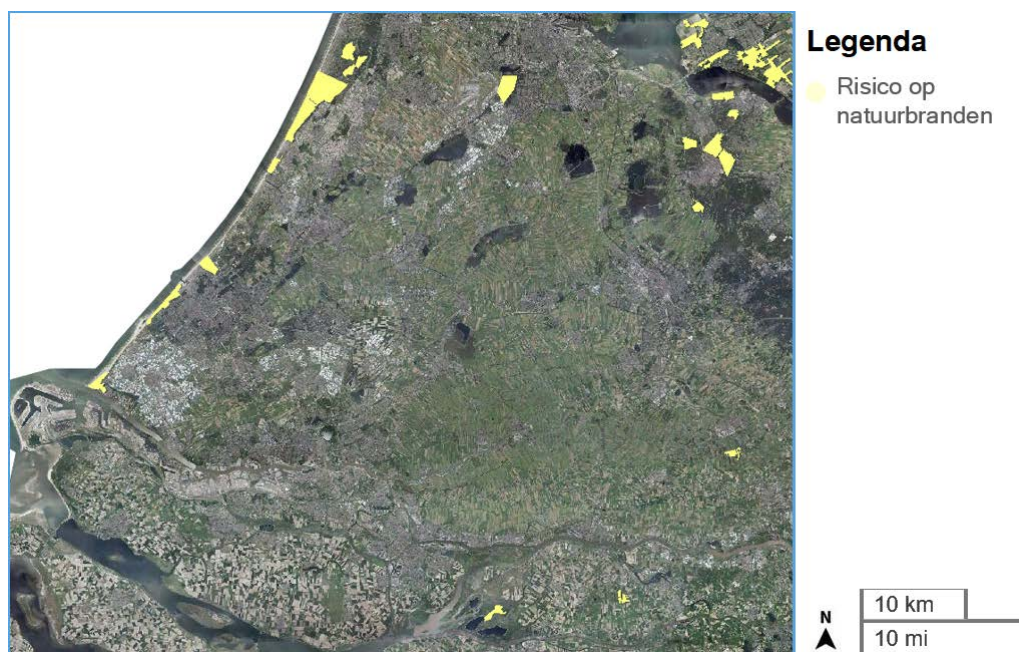
Figuur 3.7. De hittestresskaart geeft op hoge resolutie weer, welke plekken op en rond de (vaar)wegen gevoelig zijn voor hittestress

3.3 Droogte

Een risico dat Rijkswaterstaat onderkent bij droogte, is een grotere kans op bermbranden. De klimaateffectatlas¹⁰ laat zien dat het risico op natuurbranden in Zuid-Holland beperkt is tot duingebieden, zie Figuur 3.8. Er zijn weinig provinciale wegen die in of nabij deze gebieden lopen: N206 bij De Zilk, de N440 bij Scheveningen en de N211 bij Hoek van Holland. Daarnaast werd in de Risicodialoog de N441 ten zuiden van Katwijk genoemd als risicolocatie. Al met al lijken de risico's op dit punt beperkt.

⁹ Klimaatscenario's voor Nederland 2014, KNMI

¹⁰ Klimaateffectatlas, www.klimaateffectatlas.nl



Figuur 3.8. Risico op natuurbranden. In geel gemarkeerd zijn gebieden met natuurbrandrisico. Bron: www.klimaat-effectatlas.nl

3.4 Overstroming

Bij het falen van een boezemkering of kering langs een kleine rivier kan de weg onder water komen te staan en daardoor onbegaanbaar worden. Ook kan de weg opdrijven dan wel verzakken. De draagkracht van de wegfundering neemt af als deze is verzadigd met water. Als de (grond)waterstand hoog wordt en het weglichaam zwaarbelast wordt, kan dit permanente schade toebrengen aan de infrastructuur.

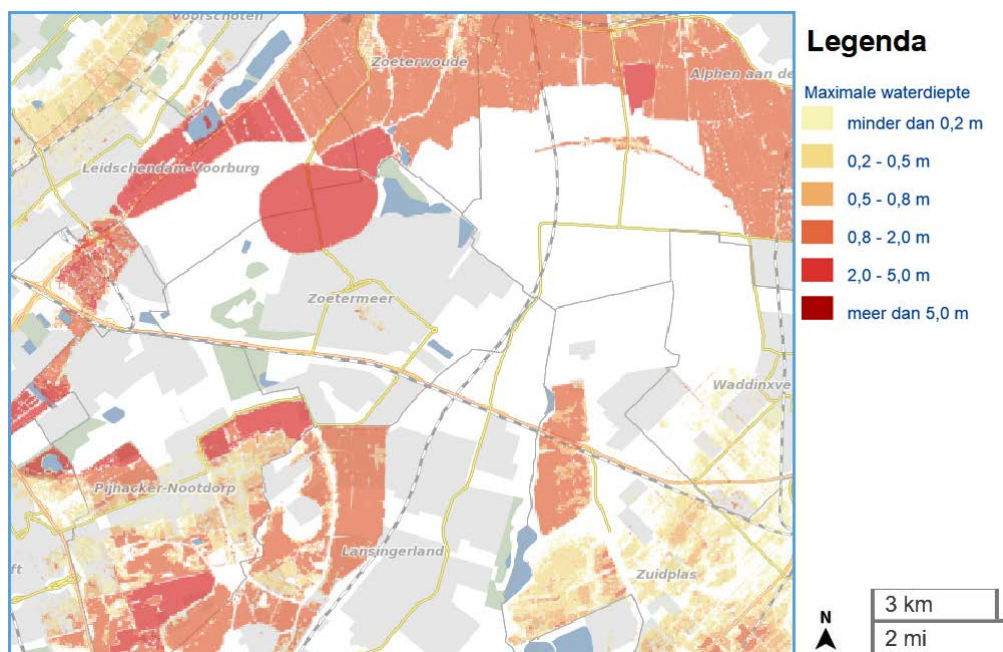
Tabel 3.4 geeft een overzicht van de begaanbaarheid van wegen bij het falen van de boezemkering. Deze cijfers zijn gebaseerd op de maximale waterdiepte bij overstromingen met middelgrote kans (herhalingstijd ca. 1:100 tot 1:1000 per jaar) van www.risicokaart.nl, zie Figuur 3.9.

Tabel 3.4. Begaanbaarheid provinciale wegen in het geval van falen van boezemkering

Waterdiepte*	Begaanbaarheidsklasse	Lengte (km)	%
< 20 cm	Begaanbaar	441,82	65,4%
20-50 cm	Begaanbaar voor calamiteitenverkeer	73,36	10,9%
> 50 cm	Onbegaanbaar	160,85	23,8%

* Maximale waterdiepte per wegsegment, op het midden van de weg, bij wegen waar minimaal 5% van de wegas nat is. De classificatie wijkt af van die voor hoosbuien, omdat de brondata een discrete verdeling heeft (0 - 20 - 50 - 80 - 200 - 500 cm).

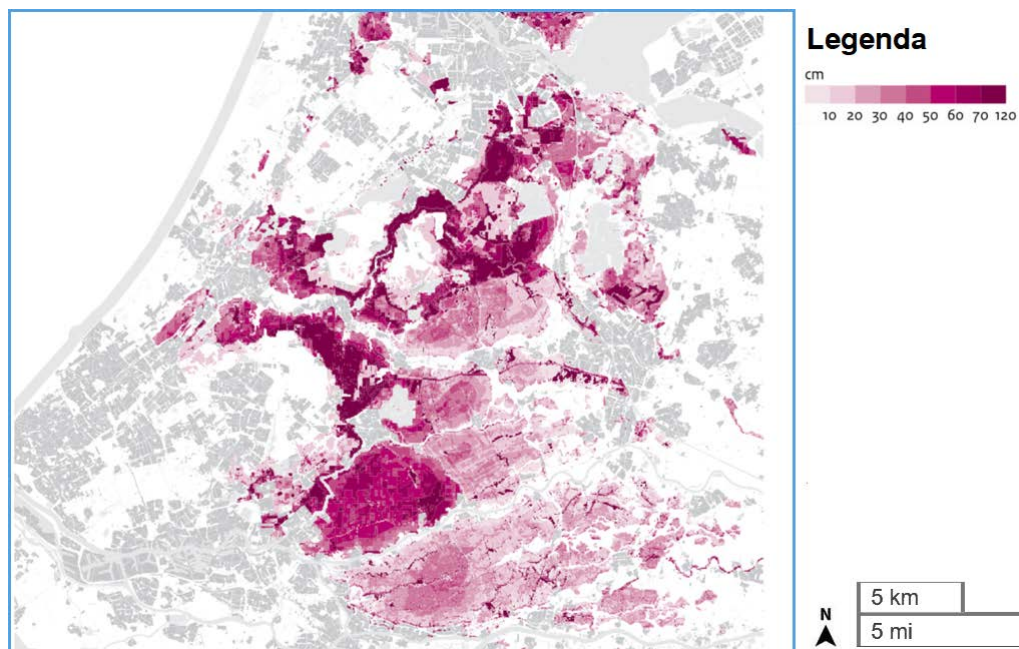
Figuur 3.9 is gebaseerd op overstromingen die zouden optreden als de kering faalt bij de maatgevende hoogwaterstand. De herhalingstijd van die waterstand verschilt sterk per kering, van 10 jaar voor keringen langs kleine waterlopen die door onbewoond gebied stromen tot 1000 jaar voor regionale keringen en boezemkeringen. Bovendien zijn veel keringen sterker dan de norm en zullen niet meteen bezwijken bij een kleine overschrijding van de maatgevende hoogwaterstand.



Figuur 3.9. Maximale waterdiepte bij een overstrooming t.g.v. overstrooming met een middelgrote kans

3.5 Bodemdaling

Ongelijkmatige zettingen kunnen zorgen voor langsonvlakheid, dat wil zeggen hoogteafwijkingen in de lengterichting van het wegdek, zoals golvingen of ribbels. Langsonvlakheid kan twee oorzaken hebben. (1) Ongelijkmatige zakkings komen voor waar de ondergrond niet gelijkmatig is en er een overgang is van de ene bodemsoort naar de andere, bijvoorbeeld van veen naar zandgrond. (2) Bij sterke bodemdaling kunnen zakkingsverschillen ontstaan tussen een gefundeerd kunstwerk en het weglichaam.



Figuur 3.10. Bodemdaling tot 2050 is vooral actueel in de veenweidegebieden

Langsonvlakheid heeft invloed op het comfort van de weggebruiker. Comfort is niet eenduidig met zettingen te correleren. Of een bepaalde zetting door een weggebruiker als oncomfortabel wordt



ervaren, hangt af van de snelheid van het voertuig en de afstand waarover het verschil in zetting optreedt. Een hoogteverschil over een afstand van 10 meter leidt tot veel meer discomfort dan hetzelfde hoogteverschil over een lengte van 15 meter. Ook de snelheid heeft invloed: bij 80 km/uur is het discomfort door langsonvlakheid groter dan bij 50 km/uur. Dit betekent dat de gevolgen van zettingen groter zijn voor 80 km-wegen dan voor 50 km-wegen.¹¹

Het CROW¹² geeft aan dat het golvingen bij voorkeur beperkt moeten blijven tot 0,05 meter over een afstand van 25 meter en 0,1 meter over een afstand van 50 meter. Hoogteverschillen kleiner dan 0,05m leiden niet tot problemen met langsonvlakheid. Tussen 0,05 en 0,1m kunnen afhankelijk van lengtes waarover deze zettingsverschillen ontstaan langsvlakheidsproblemen ontstaan. Bij grotere zettingen worden langsvlakheidsproblemen waarschijnlijker.¹¹

Als zettingen binnen een periode van 20 jaar de genoemde grenswaarden (0,05 en 0,1m) overschrijden, zullen de fundering en het zandbed van de betreffende weg eerder dan gebruikelijk moeten worden vervangen, wat extra kosten met zich meebrengt.

Voor de klimaatstresstest kunnen deze grenzen worden omgezet in drie categorieën, zie Tabel 3.5. Zoals al toegelicht is de lengte waarover de zettingen optreden van grote invloed, de kans op langsonvlakheidsproblemen neemt toe, maar er hoeven geen problemen op te treden.

Tabel 3.5. Kwetsbaarheid wegen voor langsonvlakheid door bodemdaling

Bodemdaling [mm/jaar]	Snelheid	
	50 km/uur	80 km/uur
Minder dan 2.5	Niet kwetsbaar	Niet kwetsbaar
Tussen 2.5 en 5	Kwetsbaar	Kwetsbaar
Meer dan 5	Kwetsbaar	Extra kwetsbaar

Bodemdaling rondom kunstwerken en wegen wordt bepaald aan de hand van de bodemdalingskaart en de ligging van de kunstwerken en wegen. De bodemdalingskaart (zie Figuur 3.10) heeft een grove schaal, waardoor ongelijkmatige zettingen op lokale schaal niet in beeld kunnen worden gebracht. Een grove inschatting kan worden gemaakt door te kijken naar de grootste zetting die optreedt op de locatie van een bepaald object¹³. De resultaten zijn samengevat in Tabel 3.6. Gedetailleerde kaarten van de resultaten van deze analyse zijn te vinden op zuid-holland.klimaatatlas.net, zie voor een voorbeeld Figuur 3.11.

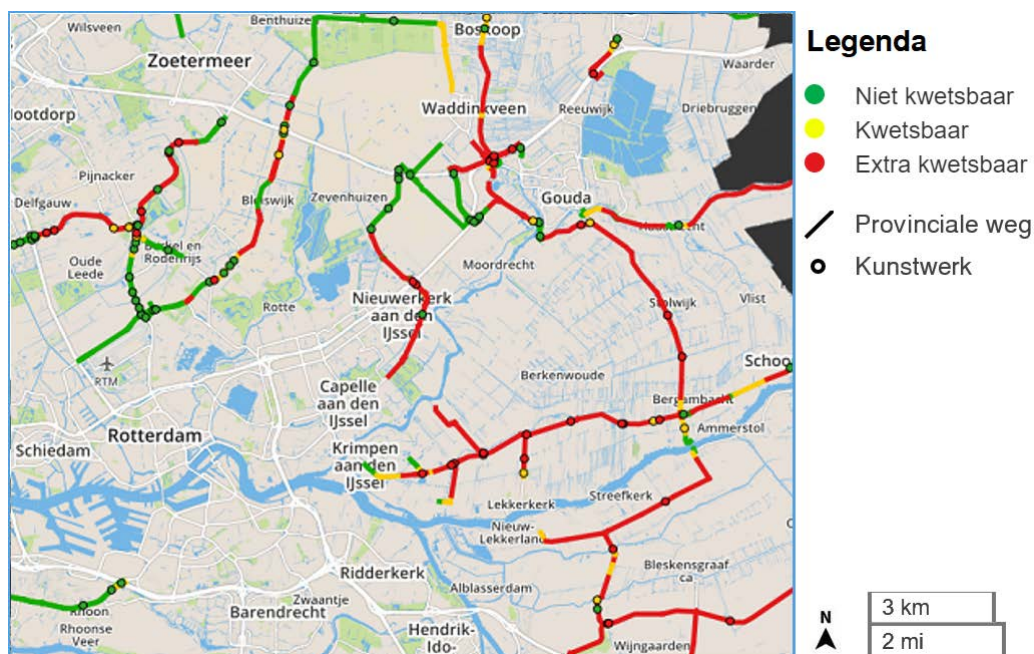
Tabel 3.6. Kwetsbaarheid provinciale wegen van Zuid-Holland voor bodemdaling

Bodemdalingsklasse	Lengte [km]	%
Niet kwetsbaar	400	60%
Kwetsbaar	75	10%
Extra kwetsbaar	200	30%

¹¹ Langsonvlakheid van wegen, relatie van comfort tot restzettingseisen, Master Thesis, J.J.S.A. Coremans, 2007.

¹² Betrouwbaarheid van zettingsprognoses, CROW-publicatie 204

¹³ In de analyse is in plaats van het maximum het 90^{ste} percentiel gebruikt, dat wil zeggen de waarde waar 90% van de gevonden waarden onder zit. Op deze manier worden uitschieters buiten beschouwing gelaten.



Figuur 3.11. Kwetsbaarheid provinciale wegen van Zuid-Holland voor bodemdaling in Klimaatatlas (zie volledige kaart op zuid-holland.klimaatatlas.net).

Bodemdaling zal geen tot weinig effect hebben op gefundeerde wegen en kunstwerken. Helaas is er momenteel geen overzicht beschikbaar van welke wegen en kunstwerken gefundeerd zijn.

3.6 Resultaten

De uitgevoerde analyses hebben duidelijk gemaakt op welke weglocaties potentiële knelpunten zijn. Per categorie knelpunt zijn de mogelijke vervolgacties voor de provincie in beeld gebracht. Voor de prioritering van de knelpuntlocaties wordt de kaart met gehinderde voertuigbewegingen aanbevolen.

Wateroverlast door hoosbuien

Wateroverlast door afstroming over maaiveld treedt op door (1) verdiepte ligging bij kruisende infrastructuur of (2) te weinig bergende of afvoerende capaciteit van de berm. Aanbevolen wordt om een detailstudie uit te voeren voor de kritieke locaties in samenwerking met de wegbeheerder en eventueel gemeente of waterschap. In de vervolgstudie wordt aanbevolen om kolken, riolering, tunnelgemalen en/of het oppervlaktewatersysteem mee te nemen in het 3Di model. Er wordt aanbevolen om in de detailstudies ook te analyseren hoe lang de weg op de betreffende locatie onbegaanbaar is. Het aanleggen of vergroten van bergingskelders bij tunnels is een maatregel die als kans is geïdentificeerd in de Kansendialoog; aanbevolen wordt om dit ook mee te nemen in de detailstudies en in kaart te brengen waar in het netwerk deze maatregel het meest kansrijk is.

Overstroming van wegen

Aanbevolen wordt om de weg die als onbegaanbaar zijn geclassificeerd in het geval van een doorbraak (e.g. N446) en wegen die op de thema's hoosbuien en overstroming als kwetsbaar worden geclassificeerd (e.g. Berkel en Rodenrijs e.o.) aan te pakken op deze thema's samen met de reguliere onderhoudscyclus van 6 jaar. Voor wegen waar de maximale waterdiepte bij een doorbraak groot is, wordt geadviseerd in gesprek te treden met het waterschap over de werkelijke sterkte van de betreffende keringen om zo een gedetailleerdere inschatting te kunnen maken van de risico's.



Schade aan wegen door bodemdaling

Langsonvlakheid zorgt voor discomfort van de weggebruiker, waaraan normen zijn gesteld. Er zijn nog niet voldoende gegevens beschikbaar om op lokaal niveau uitspraken te kunnen doen over de bodemdalingsgevoeligheid van objecten. Daarnaast is het vooralsnog onduidelijk welke wegen wel/niet gefundeerd zijn. Er wordt daarom aanbevolen om deze gegevens te verzamelen en in combinatie met de huidige data op netwerkniveau een beeld te schetsen van de bodemdalingsgevoeligheid: welke wegen zijn niet kwetsbaar, wel kwetsbaar en extra kwetsbaar.

Aanbevolen wordt om voor wegen die in de categorie 'Kwetsbaar' de trajectstudies¹⁴ uit te breiden met een onderzoek naar potentiële langsonvlakheid in de komende 6 – 8 jaar. Dit onderzoek kan uitgevoerd worden met behulp van de volgende bronnen: (1) meetwagen met sensoren om de huidige langsonvlakheid te meten en (2) nauwkeurige bodemdaling en zettingsdata te gebruiken op basis van InSAR. Ook wordt aanbevolen nader te onderzoeken wat de verwachte toename in onderhoudskosten door bodemdaling is.

Harde wind en langdurige regen

Door klimaatverandering neemt de kans op harde wind en langdurige regen mogelijk toe. Wind kan schade, schoonmaak- en onderhoudskosten en verkeershinder met zich meebrengen. Langdurige regen kan zorgen voor drassige bermen. Dit viel buiten de scope van dit onderzoek. Aanbevolen wordt om in een vervolgonderzoek te verkennen of er op dit vlak toenemende risico's zijn en hoe groot daarvan de gevolgen zullen zijn.

Kansen en aanbevelingen voor vervolgstappen

De woningbouwopgave in Zuid-Holland biedt kansen om bestaande knelpuntlocaties te verlichten in de omgeving van nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen. Dit kan concreet vorm krijgen door aan te leggen oppervlaktewater te verbinden met de bermsloten langs de provinciale wegen. Een pilotproject kan worden gestart bij de N206 in combinatie van het project Vliegkamp Valkenburg.

Om de ontsluiting van steden ook bij hoosbuien te garanderen is samenwerking met gemeenten, waterschap en Rijkswaterstaat noodzakelijk. Aanbevolen wordt om de klimaatstresstest van de gemeenten, waterschap en Rijkswaterstaat over elkaar te leggen, zodat een compleet beeld ontstaat van de ontsluiting van steden in Zuid-Holland. Praktisch kan dit vormgegeven worden in een pilotproject gericht op de ontsluiting voor één locatie waar meerdere wegbeheerders betrokken zijn.

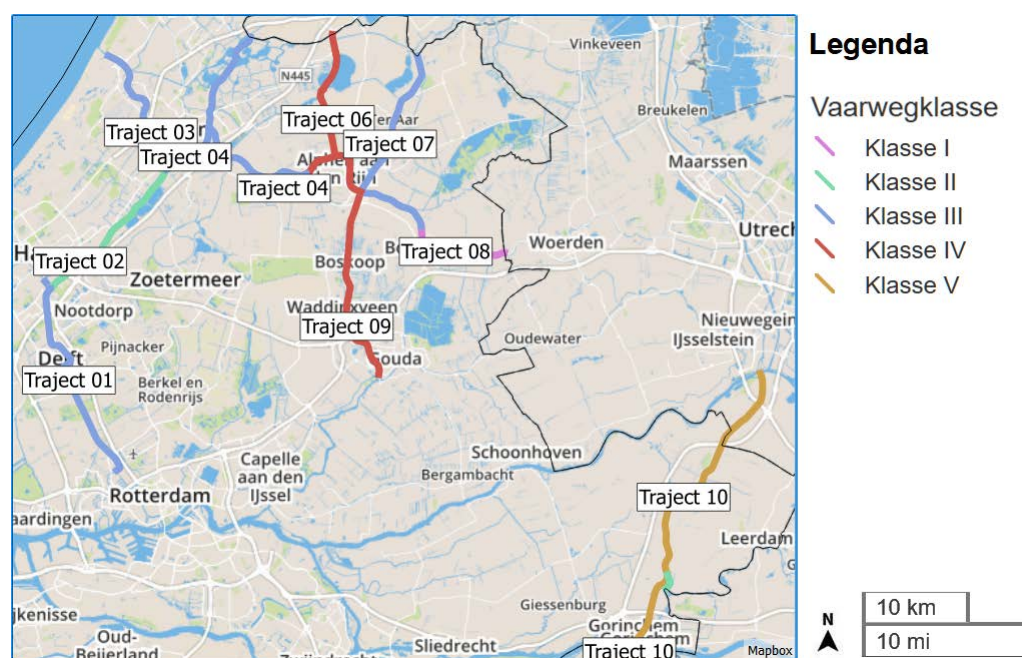
¹⁴ Deze worden volgens het assetbeheerplan elke 6 tot 8 jaar gedaan voor elk traject.



4 Vaarwegen

Een klimaatbestendige vaarweg blijft bij klimaatverandering toegankelijk voor scheepvaart en heeft sterke keringen om te beschermen tegen een boezemkadebreuk. Scheepvaart blijft toegankelijk als bijvoorbeeld het aantal stremmingen in het Merwedekanaal door hoge waterstanden op de Lek gelijk blijft. Keringen blijven sterk als gecompenseerd wordt voor de effecten van bodemdaling én er snel en adequaat kan worden gehandeld op een calamiteit als een boezemkadebreuk.

Provincie Zuid-Holland is vaarwegbeheerder voor 10 trajecten in de provincie, zie Figuur 4.1. Het waterschap is watersysteembeheerder. De provincie is verantwoordelijk voor het vaarwegprofiel, oeverconstructies en nautische voorzieningen.



Figuur 4.1 Overzicht van de provinciale vaarwegen in Zuid-Holland (zie volledige kaart op zuid-holland.klimaatatlas.net).

4.1 Hoosbuien

Door piekbuien of langdurige regen lopen vaarwegen een risico op onbevaarbaarheid. Onbevaarbaarheid kan voorkomen bij hoosbuien waarbij het peil dermate ver stijgt dat schepen niet meer onder kunstwerken kunnen doorvaren óf dat een vaarverbod wordt afgegeven door een andere autoriteit.

Voor de waterschappen Rijnland, Delfland, Rivierenland en Stichtse Rijnlanden is een analyse uitgevoerd voor hoosbuien. Het waterschap Hollandse Delta heeft geen raakvlak met vaarwegen die in beheer zijn van de provincie.

- › *Rijnland*: In het waterakkoord met Delfland heeft Rijnland¹⁵ als definitie afgesproken dat wateroverlast een situatie is waarbij de waterstand van Rijnlands boezem te Nieuwe Wetering

¹⁵ Waterakkoord Rijnland – Delfland, oktober 2010, <https://www.rijnland.net/regels/downloads-regels/waterakkoord-rijnland-delfland.pdf/view>



tot -0,52 m NAP stijgt. Volgens Rijnland is deze waarde gebaseerd op een situatie die eens per 10 jaar voorkomt. Het gemiddelde streefpeil van Rijnland is -0,62 m NAP. Een absolute extreme waarde is een waterstand van -0,35 m NAP. In dat geval is een maalstop van kracht. Deze waterstanden hebben geen effect op de scheepvaart aldus Rijnland.

- › *Delfland*: In het waterakkoord met Rijnland heeft Delfland als definitie afgesproken dat wateroverlast een situatie is waarbij de waterstand van Delflands boezem tot -0,30 m NAP stijgt. Het gemiddelde streefpeil is -0,43 m NAP. Een absolute extreme waarde is een waterstand van -0,0 m NAP. In dat geval is een maalstop van kracht. Deze waterstanden hebben geen effect op de scheepvaart aldus Delfland.
- › *Rivierenland*: In het calamiteitenbestrijdingsplan¹⁶ van april 2013 beschrijft Rivierenland dat er feitelijke wateroverlast in het Merwedekanaal optreedt bij een gemiddeld peil van +1,10 m NAP in de Linge tussen Geldermalsen en Hardinxveld-Giessendam. In deze situatie zijn de Linge en het Merwedekanaal met elkaar verbonden. Het gemiddelde streefpeil van het Lingepand Kolffgemaal met daarin het Merwedekanaal is + 0,80 m NAP. Een absolute extreme waarde is bij een dreigende crisissituatie. Dit vindt plaats bij een waterstand van + 1,26 m NAP in het Merwedekanaal. Bij deze gebeurtenis wordt het Lingepand bovenstrooms van het Merwedekanaal gesloten door middel van een sluis en wordt het Merwedekanaal op een peil van + 1,26 m NAP gehouden. Deze waterstanden hebben geen effect op de scheepvaart, al kunnen de hoge waterstanden wel overlast in tuinen, huizen en schuren veroorzaken door golfoverslag.
- › *Stichtse Rijnlanden*: Uit de toelichting peilbesluiten¹⁷ blijkt dat er van wateroverlast wordt gesproken bij een waterstand van - 0,3 m NAP voor de Oude Rijn bij Bodegraven. Dit is tevens het niveau waarop een maalstop wordt afgekondigd. Het gemiddelde streefpeil van de Oude Rijn bij Bodegraven is -0,45 m NAP. Deze waterstanden hebben geen effect op de scheepvaart.

Het Merwedekanaal in waterschap Rivierenland kan tevens ook worden gehinderd door beperkte schuttingen bij te hoge waterstanden op Neder-Rijn of Boven Merwede. Bij extreme waterstanden, hoger dan 4,20 m op de Lek of 4,50 m NAP op de Boven Merwede, wordt niet meer geschut.

Op de Lek bij Vianen treedt een waterstand van 4,20 m NAP eens per 10 jaar (4,22 m NAP) op, zoals berekend door het Nationaal Water Model. In het klimaatscenario WS2050 treedt een waterstand van 4,20 m NAP veel vaker dan eens per 10 jaar (5,00 m NAP). Dit kan een reëel probleem vormen voor de scheepvaart door schutbeperkingen vanaf de Lek.¹⁸

Op de Boven Merwede bij Gorinchem treedt een waterstand van 4,50 m NAP tussen de eens per 100 (4,41 m NAP) en 1000 (4,93 m NAP) jaar, zoals berekend in het Nationaal Water Model. In het klimaatscenario WS2050 treedt een waterstand van 4,50 m NAP tussen de eens per 10 jaar (4,09 m NAP) en eens per 100 jaar (4,93 m NAP) op. De waterstanden op de Boven Merwede vormen dus minder snel een probleem voor de scheepvaart dan de Lek.¹⁸

Uit de bovenstaande analyse blijkt dat allen het Merwedekanaal gevoelig is voor hinder op het scheepvaartverkeer. Dit is samengevat in de klimaatatlas, zie Figuur 4.2.

¹⁶ Calamiteitenbestrijdingsplan van Waterschap Rivierenland, bijstelling oktober 2015, <https://www.waterschaprivierenland.nl/binaries/content/assets/wsr---corporate/common/waterschap/taken/calamiteitenzorg/pb-czh-002-v1.2-cbp-stormvloed-vanuit-zee-.pdf>

¹⁷ Toelichting op de peilbesluiten Boezemstelsel Oude Rijn 2015 en Boezemstelsel Leidsche Rijn 2015, <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2015-5527/1/Bijlage/exb-2015-5527.pdf>

¹⁸ Rijkswaterstaat. Nationaal Water Model. <https://demo.lizard.net/favourites/6ed6a052-beaf-4010-97cf-63582f2b6187>



Indien de hinder voor scheepvaart daadwerkelijk als knelpunt wordt geïdentificeerd ontstaat er een opgave. De daadwerkelijke klimaatbestendigheid van de vaarweg kan worden getoetst door het aantal stremmingen te monitoren als gevolg van klimaateffecten.

De opgave die eventueel ontstaat, komt voornamelijk terug in de beperkte bergingscapaciteit van het Merwedekanaal. Om deze te vergroten zijn de volgende kansen geïdentificeerd in de kansendialoog:

- › Overloopgebied inrichten langs het Merwedekanaal
- › Slim malen of voormalen Merwedekanaal bij hoge waterstanden in Duitsland
- › Innoveren in sluisbeheer zodat schutverliezen worden geminimaliseerd



Figuur 4.2. Mogelijke hinder scheepvaartverkeer door hoge waterstanden bij hoosbuien (zie volledige kaart op zuid-holland.klimaatatlas.net).

4.2 Hittestress

Bij temperatuurstijgingen gaan materialen uitzetten, wat effect kan hebben op het functioneren van kunstwerken. Deze hittegevoeligheid kan leiden tot stremming bij enerzijds scheepvaart (een brug of sluis gaat niet open) óf bij verkeer (een brug gaat niet meer dicht). Deze gevoeligheid wordt besproken in het hoofdstuk Kunstwerken, zie paragraaf 5.2.

4.3 Droogte

In Rijnland en Delfland is de prioritering voor veiligheid in de verdringingsreeks¹⁹ dermate hoog, dat eerder zout water wordt ingelaten dan dat men het waterpeil zal verlagen. Dit wordt gedaan ter voorkoming van instabiele keringen. Dit betekent bijvoorbeeld voor Rijnland dat het peil niet onder -0,70 m NAP zal zakken, 8 cm onder normaal peil. Scheepvaart zal daardoor geen hinder ondervinden, aangezien een dermate kleine peildaling geen invloed heeft op de bevaarbaarheid. Verder zal een peildaling van ordegrootte 10 cm geen invloed hebben op laden en lossen of kades.

¹⁹ De verdringingsreeks bepaalt de prioritering van watergebruik bij watertekorten. Voor meer informatie zie <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema%27s/watertekort/verdringingsreeks/>



Het Merwedekanaal in waterschap Rivierenland kan echter wel worden gehinderd door beperkte schuttingen bij te lage waterstanden op Neder-Rijn of Boven Merwede. Bij waterstanden lager dan 0,70 m op de Lek of 0,30 m NAP op de Boven Merwede wordt niet meer gesluisd. Dit zorgt voor mogelijke hinder in het scheepvaartverkeer op het Merwedekanaal.

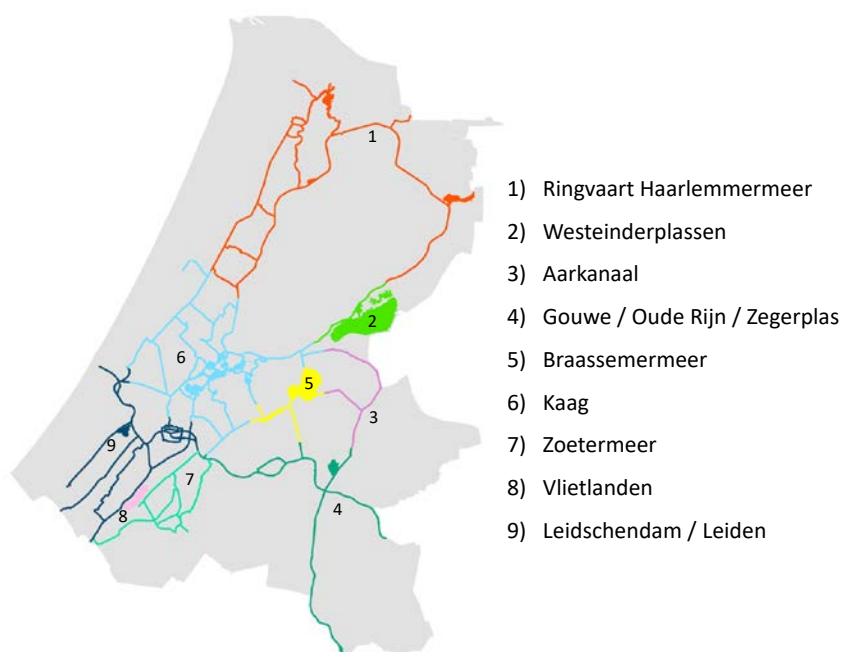
Na een langdurige droge periode door een hogedrukgebied, direct gevolgd door een lagedrukgebied kunnen veenbonken opdrijven met een veenlaag onder de watergang²⁰. Dit heeft nadelige gevolgen voor de scheepvaart, aangezien deze veenbonken de vaarweg kunnen blokkeren. Trajecten 5, 6, 7 en 9 bevinden zich in gebieden met veen onder de watergang aldus de bodemkaart²¹. De Gouwe, traject 9, heeft in het verleden al meerdere malen te maken gehad met veenbonken.

Een kans voor het voorkomen van beperkingen omtrent schuttingen is het verbeteren en innoveren van sluisen door het schutverlies te beperken.

Een kans om veenbonken te voorkomen is voorzichtig te werk gaan tijdens baggeren en de waterstand niet onnodig laten zakken bij een opkomend lagedrukgebied na een langdurig droge periode. Dit kan echter in strijd zijn met het risico op wateroverlast.

4.4 Overstroming

Een evident risico voor vaarwegen is een boezemkadebreuk, waardoor water uit de vaarweg de polder instroomt. Een recent voorbeeld van een boezemkadebreuk is Wilnis in 2003. In Rijnland wordt het risico en schade op het 'leeglopen' van de boezem verkleind door Rijnland te compartimenteren in negen delen, zie Figuur 4.3. De kades zelf worden gedimensioneerd op 1 op 10.000 per 10 km. De compartimentering en de sterkte van de kering maakt de kans zeer klein dat de scheepvaart ernstig hinder ondervindt van een boezemkadebreuk.



Figuur 4.3. Voorbeeld compartimentering binnen Rijnland in geval van calamiteiten

²⁰ Philip van Diest en Franck Hogervorst (2015). Veenbonken gehoorzamen gaswetten. <https://www.h2owaternetwerk.nl/index.php/24-vakartikelen/373-veenbonken-gehoorzamen-de-gaswetten>

²¹ Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK2012). <https://www.wur.nl/nl/show/Bodemfysische-Eenhedenkaart-BOFEK2012.htm>



Klimaatverandering verhoogt de kans op een doorbraak. Dijken zijn kwetsbaar voor droogte en langdurige extreme regenval. Bij droogte neemt het risico toe door een gewichtsafname van het dijklichaam. Een recent voorbeeld van een boezemkadebreuk is Wilnis 2003, waarbij de veenkade afschoof. De vaarwegen in het Groene Hart met veen op de bodem zijn kwetsbaar voor dit scenario.²² Bij langdurige regen, denk aan meerdere dagen, kan de kering verzadigen, ook indien de boezem op hetzelfde peil gehouden wordt. Een verzadigde kering kan afschuiven tot gevolg hebben.²³ Door klimaatverandering zullen deze extremen mogelijk vaker voorkomen.

Maatregelen ter bestrijding tegen afschuiving door droogte zijn het nathouden van de keringen die een potentieel risico lopen. Deze maatregel wordt momenteel al toegepast.

Een doorbraak vanuit een primaire kering heeft gevolgen voor de scheepvaart. Deze casus wordt niet verder besproken. Verder informatie over dit scenario is te vinden via nederland.risicokaart.nl. Vanwege de schade die zal optreden heeft de scheepvaart bij een dergelijke calamiteit weinig prioriteit.

4.5 Bodemdaling

Door bodemdaling zullen kades en oevers eerder opgehoogd of versterkt moeten worden. Versterking is nodig als ongelijkmatige zettingen tot sterkteverlies leidt. De effecten van ongelijke zetting op de sterkte van keringen zijn nog onduidelijk. Bodemdaling moet gecompenseerd worden met dijkverhogingen. Versnelde bodemdaling betekent dus vaker ophogen.²⁴

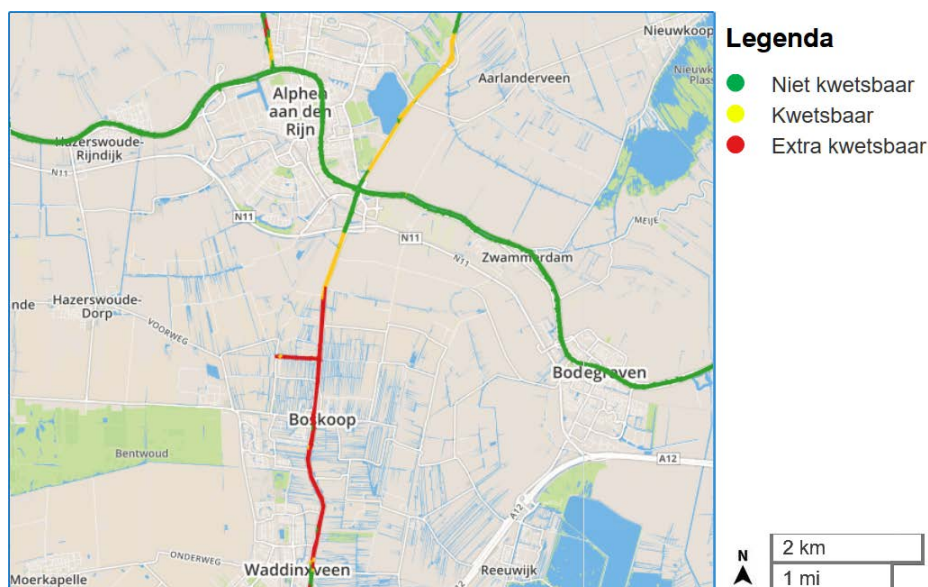
Bodemdaling rondom kades en oevers is bepaald aan de hand van de bodemdalingskaart²⁵ en de ligging van de kades en oevers. De bodemdalingskaart heeft een grove schaal, waardoor ongelijkmatige zettingen op lokale schaal niet in beeld kunnen worden gebracht. De resultaten zijn samengevat in de volgende tabel en onderstaand figuur.

²² L. van Vliet, H.T.J. de Bruin, G. De Vries en C. Zwanenburg (2011, herzien 2017). Stabiliteit veenkade m.o. klimaatverandering. http://www.deltaproof.nl/Publicaties/deltafactframe/-Stabiliteit_veenkade_m_o_klimaatverandering.aspx?rld=19

²³ Deltares. Mark van der Krogt. Adviseur geotechnische risico's en betrouwbaarheid.

²⁴ Deltares. Mark van der Krogt. Adviseur geotechnische risico's en betrouwbaarheid.

²⁵ Klimaateffectatlas. Bodemdalingskaart. <http://www.klimaateffectatlas.nl/nl/>



Figuur 4.4. kades en oevers onderhevig aan bodemdaling per traject (zie volledige kaart op zuid-holland.klimaatatlas.net)

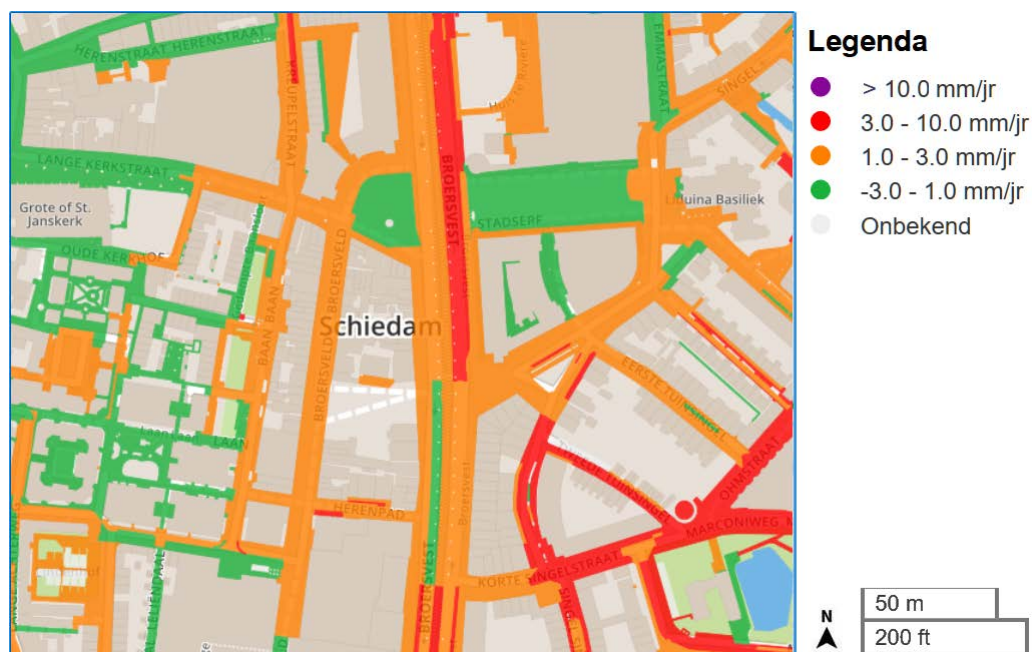
Tabel 4.1. Resultaten kades en oevers onderhevig aan bodemdaling per traject

Traject	Begaanbaarheid	Lengte [km]	Percentage
1	Kwetsbaar	10	20%
2	Extra Kwetsbaar	1	2%
2	Kwetsbaar	9	22%
5	Kwetsbaar	4	21%
6	Extra Kwetsbaar	2	5%
6	Kwetsbaar	1	4%
7	Extra Kwetsbaar	18	49%
7	Kwetsbaar	13	36%
9	Extra Kwetsbaar	28	55%
9	Kwetsbaar	8	16%
10	Extra Kwetsbaar	8	10%
10	Kwetsbaar	25	31%
Totaal	Kwetsbaar	71	16%
	Extra Kwetsbaar	59	13%

De kwaliteit van deze analyse is beperkt door de resolutie en nauwkeurigheid van de bodemdalingskaart. Ongelijkmatige zettingen op een klein schaalniveau worden niet gedetecteerd, denk aan ongelijkmatige zetting door een oude sloot die is dichtgelegd bij aanleg van de weg. Aanbevolen wordt om een betere en hoge resolutie bodemdalingskaart aan te schaffen op basis van



InSAR satellietdata en deze te gebruiken bij een vervolgstudie. Een voorbeeld van de van deze data op het gebied van wegen is te zien in Figuur 4.5.



Figuur 4.5. Voorbeeld van zetting van wegen op basis van InSAR satellietdata in het centrum van Schiedam (zie www.schiedam.klimaatatlas.net)

4.6 Resultaten

Uit de klimaatstresstest is gebleken dat er twee risico's zijn omtrent vaarwegbeheer waar vervolgstappen voor gewenst zijn: (1) Invloed van Boven-Merwede en Lek op het vaarwegbeheer van het Merwedekanaal, (2) Gevoeligheden van kades en oevers in voornamelijk veenweidegebieden voor regen, droogte en bodemdaling.

De vaarwegen in de boezemstelsels van Rijnland en Delfland zijn bestendig tegen hevige regenval, hitte, droogte met het oog op het vaarwegbeheer. Dit is dankzij dat veiligheid bovenaan de prioriteitenlijst staat van het waterschap, waardoor de waterstanden in de vaarwegen op peil worden gehouden.

De beschikbaarheid van het Merwedekanaal wordt door klimaatverandering mogelijk minder door beperkingen van het aantal schuttingen door hoge óf lage waterstanden op de Boven-Merwede of Lek. Voor hoge waterstanden kan dit eens per 2 tot 10 jaar gaan optreden indien klimaatverandering wordt meegenomen. Aanbevolen wordt om in volgorde:

1. De daadwerkelijke klimaatbestendigheid van de vaarweg te toetsen door het aantal stremmingen te monitoren.
2. Vervolgonderzoek te doen naar de gevolgen van klimaatverandering voor het scheepvaartverkeer door middel van een simulatiemodel voor scheepvaart.
3. De mogelijkheden te onderzoeken voor het beschikbaar houden van het Merwedekanaal door middel van innovatie rondom sluisen óf slim malen. Een voorbeeld is 'Slim Malen Zuiderzeeland' waarbij naast gebruikelijke indicatoren rekening gehouden wordt met de energieprijzen/duurzaamheid.

De kades en oevers rond boezemkanalen zijn onderhevig aan droogte, langdurige regen en bodemdaling met mogelijk sterkteverlies als gevolg. Dit risico is in het bijzonder aanwezig in veenweidegebieden. Aanbevolen wordt om met de waterschappen vervolgonderzoek te doen naar



het sterkteverlies van keringen door bodemdaling en zetting op basis van een verbeterde bodemdalingskaart.

Vanuit de risicodialoog komen veel risico's voor wegen en vaarwegen rond de Gouwe bij Boskoop en Waddinxveen elkaar (Veenbonken, stremming bruggen, zetting van kades). We bevelen aan om een pilotproject voor dit gebied op te starten voor het zoeken naar integrale en innovatieve oplossingen.



5 Kunstwerken

Een klimaatbestendig kunstwerk blijft bij klimaatverandering even toegankelijk voor scheepvaart- en wegverkeer, en heeft geen aparte beheersmaatregelen nodig om te functioneren bij hoge óf lage temperaturen.

Provincie Zuid-Holland is kunstwerkbeheerder voor ongeveer 800 kunstwerken, waaronder bruggen, viaducten, duikers, tunnels en onderdoorgangen.

5.1 Hoosbuien

De kwetsbaarheid van kunstwerken, zoals onderdoorgangen of viaducten is uitgevoerd bij de assets wegen, zie paragraaf 3.2. Uit deze analyses zijn diverse onderdoorgangen, tunnels en/of viaducten geclassificeerd als kwetsbaar. Aanbevolen wordt om te kijken naar kwetsbaarheid van onderdoorgangen óf er (1) voldoende voorzieningen aanwezig zijn om bij hevige regenval het water af te voeren en (2) wat de kwetsbaarheden zijn bij falen van een dergelijk systeem. Hoosbuien zijn verder niet specifiek van toepassing op kunstwerken.

5.2 Hittestress

Bij temperatuurstijgingen gaan materialen uitzetten, wat kan leiden tot problemen bij beweegbare kunstwerken. Deze hittegevoeligheid kan leiden tot stremming bij enerzijds scheepvaart (een brug of sluis gaat niet open, óf bij verkeer (een brug gaat niet meer dicht). De temperatuur waarbij problemen optreden is verschillend per beweegbaar kunstwerk, afhankelijk van bijvoorbeeld materiaaltype, de lengte van het materiaal en spelingsruimte tussen beweegbaar en vast element.

Naar aanleiding van de risicodialoog bleek dat de provincie Zuid-Holland rekening heeft gehouden met dit risico en waar nodig de bruggen preventief heeft ingekort. Dit blijkt tevens uit de storingsgegevens van 2014/2015, waar één brug is ingekort na de melding over problemen met hitte.

In de kansendialoog kwamen een aantal onderwerpen ter sprake:

- › Meten en monitoren van hittestress bij bruggen met als doel: wanneer ontstaat er een probleem? Bij welke temperatuur gaat het mis voor dit kunstwerk?
Metingen kunnen aangevuld worden door berekeningen van een constructeur.
Aanbevolen wordt om bij deze metingen de locatie van de brug (X- en Y-coördinaten) mee te nemen, zodat deze op de kaart getoond kunnen worden.
- › Warmte-koude-opslag bij bruggen om bruggen te koelen bij warm weer en om bruggen te verwarmen bij koud weer.
- › Er zijn nu onderhoudscontracten om de brug te koelen in geval van warme dagen. Welke kansen biedt het onderhoudscontract?

5.3 Droogte

De gevoeligheid van kunstwerken bij droogte is niet relevant.



5.4 Overstroming

Voor onderhoud en ontwerp van nieuwe kunstwerken is het wenselijk om rekening te houden met 'droog' houden van bedieningssystemen van bruggen. Dit geldt voor zowel boezemkadebreuken als overstromingen vanuit de primaire keringen. Aanbevolen wordt om bij een nieuw ontwerp de bedieningssystemen hoger te plaatsen dan de verwachte waterstand bij overstromingen. Deze waterstand wordt gepresenteerd op zuid-holland.klimaatatlas.net voor boezemkadebreuken én op nederland.risicokaart.nl voor overstromingen vanuit de primaire keringen.

5.5 Bodemdaling

De gevoeligheid van kunstwerken, zoals bruggen, voor bodemdaling is zeer klein, aangezien de kunstwerken gefundeerd zijn. Wel kunnen er problemen, zoals langsonvlakheid, ontstaan op grensvlakken tussen bijvoorbeeld niet-gefundeerde wegen en gefundeerde kunstwerken. Dit is besproken in paragraaf 3.5. De bodemdaling van kades en oevers is ondergebracht onder het assetbeheer van vaarwegen, zie paragraaf 4.5.

Aandachtspunt voor het vervolg is de mogelijke aantasting van houten palen van funderingen van voornamelijk vaste kunstwerken.

5.6 Resultaten

Het belangrijkste aandachtspunt voor kunstwerken is hitte. Temperatuurstijgingen van het brugdek leiden tot uitzetting wat kan leiden tot stremming van weg- of scheepvaartverkeer, doordat een brug niet meer open of dicht kan. Uit de ervaring is dit probleem bekend, maar het storten door hitte zijn niet als aparte categorie uit het stortenbestand te halen. Aanbevolen wordt om (1) te meten en monitoren bij bruggen wat kritieke waarde zijn, (2) te onderzoeken of innovatieve oplossingen of contracten kunnen bijdragen aan de oplossing en (3) storing door hitte op te nemen in het stortenstelsel.



6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Met deze klimaatstresstest heeft de provincie Zuid-Holland, als eerste provincie een goed beeld van de effecten van klimaatverandering op wegen, vaarwegen en kunstwerken. De effecten zijn niet zodanig dat er niet meer aan de normen wordt voldaan, maar klimaatverandering beïnvloedt mogelijk het functioneren van de provinciale infrastructuur.

Circa 10% van de provinciale wegen zijn kwetsbaar voor hoosbuien (100 mm in 2 uur). Dit wordt deels veroorzaakt door het onderlopen van onderdoorgangen en deels door de beperkte afvoercapaciteit van de berm sloten. Hittestress vormt voor wegen vermoedelijk geen groot risico, behalve dat zwaar verkeer schade aan heet asfalt kan aanbrengen.

De provinciale vaarwegen zijn relatief ongevoelig voor klimaatverandering omdat deze vaarwegen voornamelijk bestaan uit boezemwater met een strak peilregime. Uitzondering is het Merwedekanaal waarbij de beschikbaarheid afneemt door beperkingen in het aantal schuttingen door hoge óf lage waterstanden op de Boven-Merwede of Lek.

De schade die kan optreden door een doorbraak van boezemkades kan groot zijn. Klimaatverandering zal het risico op doorbraak vergroten, door hevigere neerslag, langdurige droogte en bodemdaling. De verantwoordelijkheid voor het beheer van deze boezemkades ligt bij het waterschap.

De voornaamste aandachtspunten voor de provinciale kunstwerken zijn viaducten die onderlopen bij een hoosbui. Bij beweegbare bruggen neemt het risico op een stremming door hitte uitzetting van het brugdek toe. De provincie neemt hier al beheermaatregelen voor, maar bij vervanging en aanleg van nieuwe bruggen is het goed om dit aspect mee te nemen in het ontwerp en in het PvE Kunstwerken van de afdeling Technisch Specialistisch Onderhoud (TSO).

Bodemdaling is geen direct klimaateffect, maar heeft wel invloed op de langsonvlakheid van provinciale wegen en kwetsbaarheid van kades en oever. Droogte kan deze bodemdaling versnellen.

Deze rapportage is samengevat op kaart. Voor meer informatie zie zuid-holland.klimaatatlas.net.

6.2 Aanbevelingen

Voor interne borging ligt er een kans om de klimaatbestendigheid van de provinciale infrastructuur onder te brengen bij de huidige assetmanagementstructuur van de provincie. Wij bevelen aan dit concreet te maken door de relevante risico's uit dit onderzoek voor de assets wegen, vaarwegen en kunstwerken toe te voegen aan de huidige risico-inschatting/matrix en de voortgang jaarlijks met het management van de Dienst Beheer Infrastructuur, afdeling Projecten en Programma's en de afdeling Mobiliteit en Milieu te bespreken.

Aanbevolen wordt om een detailstudie uit te voeren voor de kritieke weglocaties voor hoosbuien in samenwerking met de wegbeheerder en eventueel gemeente of waterschap. In de vervolgstudie wordt aanbevolen om kolken, riolering, tunnelgemalen en/of het oppervlaktewatersysteem mee te nemen in het 3Di model. In een vervolgstudie kan ook in kaart gebracht worden hoe lang de weg op de betreffende locatie onbegaanbaar is en kan het systeem getest worden voor lichtere of zwaardere buien.

Bij de begaanbaarheid van wegen is de aansluiting op rijkswegen en het gemeentelijke wegennet van belang. Stremming op een provinciale weg kan van invloed zijn op omliggende wegen. Wij



bevelen aan om een pilotstudie uit te voeren met een gemeente en RWS, waarbij deze interactie onderzocht wordt door het koppelen van een verkeersmodel met het wateroverlastmodel.

Langdurige neerslag of wind is geen onderdeel van deze studie. Langdurige neerslag kan zorgen voor een veiligheidsrisico bij zachte bermen. Wind kan voor problemen zorgen door grote takken die afbreken van de boom en op de weg vallen. Aanbevolen wordt om de omvang van zachte bermen en wind te onderzoeken aan de hand van meldingen, observaties en de modelresultaten van hoosbuien.

We bevelen aan om nader onderzoek te doen naar de economische gevolgen van toename van schutbeperkingen voor het Merwedekanaal.

Het optreden van bodemdaling vormt een uitdaging voor het wegbeheer. Wij bevelen aan de huidige kaarten aan te vullen met gedetailleerde satellietmetingen (InSAR) om een goed beeld te krijgen van de huidige gevolgen van bodemdaling voor de infrastructuur. Hieraan gecombineerd kan de bodemdalingsgevoeligheid van houten funderingen van kunstwerken onderzocht worden.

Tijdens de kansendialoog werd duidelijk dat de woningbouwopgave en energietransitie mogelijkheden bieden voor het ontwikkelen van innovatieve oplossingen voor klimaatadaptatie. Wij bevelen aan om dit verder te verkennen tijdens een aantal werksessies waarbij ook deskundigen van buiten de provincie betrokken zijn. Mogelijke onderwerpen zijn diepte-infiltratie van regenwater, zoals Sparta Stadion²⁶, multifunctionele geluidsschermen, en warmtewinning/levering bij wegen en kunstwerken.

Vanuit de risicodialoog komen veel risico's voor wegen en vaarwegen rond de Gouwe bij Boskoop en Waddinxveen bij elkaar. Genoemde risico's zijn veenbonken, kwetsbaarheid voor overstromingen, stremmingen van bruggen door hittestress en instabiliteit van keringen door zettingen en bodemdaling. We bevelen aan om een pilotproject voor dit specifieke gebied op te starten voor het zoeken naar integrale en innovatieve oplossingen.

²⁶ <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-nieuws/1744-ondergrondse-waterbuffer-bij-spartastadion>