

Voorwoord



Vitale functies zoals energie, drinkwater, transport en telecom zijn onmisbaar voor onze samenleving. Iedereen vertrouwt erop dat deze voorzieningen altijd beschikbaar zijn. Klimaatverandering maakt dat minder vanzelfsprekend: extreme neerslag, droogte, hitte en overstromingen kunnen de continuïteit van deze functies beïnvloeden. We zien nu al vaak de effecten van extreem weer, zoals de overstromingen in Limburg in 2021, droogte die snel tot grote natuurbranden kan leiden, zoals de heide in Ede eerder dit jaar. Maar ook onbewoonbaar verklaarde huizen door extreme neerslag in Enschede.

De Wet weerbaarheid kritieke entiteiten (Wwke) verplicht aangewezen organisaties – de kritieke entiteiten – om hun risico's systematisch in kaart te brengen. Dat gebeurt vanuit een brede *all-hazards benadering*: alle mogelijke dreigingen worden meegewogen. Tegelijkertijd vraagt elk type dreiging om eigen kennis en methoden. Voor klimaatrisico's is specifieke expertise nodig om een goede analyse te kunnen maken. En dat is belangrijk omdat door de effecten van extreem weer in Nederland dit mogelijk snel tot maatschappelijke effecten kan leiden omdat vitale infrastructuur zo sterk met elkaar verweven is.

Om hierbij te ondersteunen heeft Deltares, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, deze handreiking ontwikkeld. Zij is gebaseerd op de laatste wetenschappelijke inzichten én de ervaringen van vitale aanbieders zelf. De handreiking biedt een gestandaardiseerde maar flexibele aanpak: toepasbaar in uiteenlopende contexten, en tegelijk zodanig ingericht dat resultaten vergelijkbaar en transparant zijn.

De handreiking is relevant voor kritieke entiteiten in het kader van de Wwke, maar ook voor de uitvoering van de DPRA-stresstesten en de bovenregionale stresstesten die specifiek kijkt naar grootschalige en langdurige neerslag. Daarmee is het een instrument dat organisaties ondersteunt bij hun wettelijke verplichtingen én bij bredere klimaatadaptatie-opgaven.

Als minister van Infrastructuur en Waterstaat wil ik vitale aanbieders houvast bieden bij deze opgave. Deze handreiking is daarvoor een concreet hulpmiddel. Ik nodig u uit om ermee aan de slag te gaan, binnen uw eigen organisatie en in samenwerking met partners, zodat we samen de weerbaarheid van onze vitale functies versterken.

Robert Tieman
Minister van Infrastructuur en Waterstaat

Samenvatting

Vitale functies zoals energievoorziening, waterbeheer, drinkwatervoorziening en transport vormen de ruggengraat van onze samenleving. Door toenemende klimaatdreigingen, zoals extreme neerslag, hitte en droogte, neemt de kwetsbaarheid van deze functies toe. Om schade en maatschappelijke ontwrichting te voorkomen, is het essentieel om de weerbaarheid van deze functies systematisch te beoordelen.

Deltares heeft deze handreiking in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) ontwikkeld. De handreiking biedt beheerders en aanbieders van vitale functies richting en ondersteuning voor het uitvoeren van klimaatrisicoanalyses voor hun infrastructuur, zoals binnenkort gevraagd zal worden van kritieke aanbieders in het kader van de Wet Weerbaarheid Kritieke Entiteiten (Wwke). Daarnaast kan deze handreiking ondersteuning bieden bij bijvoorbeeld de uitvoering van de stresstesten binnen het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) of de bovenregionale stresstesten voor wateroverlast.

De aangereikte handreiking biedt een gestandaardiseerde aanpak voor het uitvoeren van een klimaatrisicoanalyse, die tegelijkertijd flexibel en toepasbaar is voor diverse vitale aanbieders en hun specifieke bedrijfscontext. Er is bewust gekozen voor een handreiking en niet voor een handleiding: een handreiking biedt richting en ondersteuning, terwijl een handleiding een vaste werkwijze voorschrijft. Door generieke stappen te hanteren, worden resultaten vergelijkbaar en is uniformiteit en transparantie gewaarborgd. Dit ondersteunt een minimaal kwaliteitsniveau, helpt bij het evalueren van klimaatrisico's en draagt bij aan een consistente en onderbouwde aanpak van klimaatadaptatie binnen vitale sectoren.

Een risicoanalyse begint met het vaststellen van de besluitvormingscontext van de vitale aanbieder, waarin wordt bepaald of en wanneer klimaatrisico's (on)acceptabel zijn. Vervolgens worden de randvoorwaarden voor de analyse gedefinieerd, zoals het schaalniveau, de doelstelling en relevante klimaatdreigingen. Daarna worden de blootstelling en potentiële gevolgen in kaart gebracht, waaronder fysieke schade, maatschappelijke impact en keteneffecten. Op basis van deze inzichten wordt het klimaatrisico beoordeeld en afgewogen. Dit vormt input voor risicodialogen en besluitvorming over mogelijke maatregelen.

De handreiking biedt praktische ondersteuning bij het verzamelen van relevante data, het selecteren van geschikte analysemethoden en het interpreteren van de resultaten. De uitkomsten van de analyse kunnen worden ingezet voor beleidsvorming, het bepalen van adaptatiemaatregelen en het structureel integreren van klimaatrisico's in de bedrijfsvoering.



Inhoud

Voorwoord

Samenvatting

1 Inleiding en context

- 1.1 Aanleiding
- 1.2 Stappen voor het bepalen van klimaat risico's in de context van stresstesten

2 Besluitvormingscontext

- 2.1 Besluitvormingscriteria
- 2.2 Afweegkader

3 Randvoorwaarden

- 3.1 Opdrachtgever en doelstelling risicoanalyse
- 3.2 Klimaatdreigingen
- 3.3 Tijd- en ruimtelijke schaal en het detailniveau
- 3.4 Eisen aan resultaten risicoanalyse

4 Dataverzameling

- 4.1 Verzamelen van fysieke datasets
- 4.2 Verzamelen van gebruikersdatasets
- 4.3 Verzamelen van klimaatdreigings-datasets

5 Bepaling methodes uitvoering risicoanalyse

6 Blootstellingsanalyse

7 Gevolgenanalyse

- 7.1 Aansluiten bij de besluitvormings-context
- 7.2 Fysieke schades en schadefuncties
- 7.3 Maatschappelijke verliezen

8 Bepalen van de klimaatrisico's

- 8.1 Plaatsen in besluitvormingscontext
- 8.2 Multi-criteria-analyse
- 8.3 Discussie over gevoeligheden en onzekerheden

9 Vervolgstappen na de klimaatrisicoanalyse

10 Referenties

A Bestaande kaders

- A.1 De Critical Entities Resilience (CER)-richtlijn en de Wet Weerbaarheid Kritieke Entiteiten (Wwke)
- A.2 Nationale Adaptatie Strategie (NAS) & Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUP KA)
- A.3 Nationale veiligheidsstrategie
- A.4 Sectorwetgeving
- A.5 Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie
- A.6 Beleidsstafel Hoogwater en Wateroverlast (2022)

B Mogelijke KPI met meetbare eenheden voor wegennetwerk

C Schadefunctie opstellen

D Overzichtstabel keteneffecten Vitale functies

E Toelichting vervolgstappen

- E.1 Klimaatadaptatie maatregelen verkennen
- E.2 Aanpassen ambitieniveau
- E.3 Implementatie in asset management

1 Inleiding en context

1.1 | Aanleiding

Vitale functies zoals energievoorziening, waterbeheer en transport zijn essentieel voor het dagelijks leven en het functioneren van de maatschappij. Door de verwachte toename in frequentie en intensiteit van klimaatdreigingen, zoals wateroverlast, droogte en hittegolven, neemt de blootstelling -van deze functies toe. Dit vergroot het risico op schade, storingen en uitval, met mogelijk aanzienlijke maatschappelijke gevolgen. Het is daarom noodzakelijk om te toetsen in hoeverre vitale functies weerbaar zijn tegen klimaatdreigingen en of versterking van die weerbaarheid nodig is.

Wet Weerbaarheid Kritieke Entiteiten

De Wet Weerbaarheid Kritieke Entiteiten (Wwke) is de vertaling van de Europese Critical Entities Resilience (CER)-richtlijn. Deze wet heeft enerzijds als doel om te waarborgen dat vitale aanbieders goed beschermd zijn tegen verschillende (fysieke) risico's en dreigingen en anderzijds om de impact van uitval op de maatschappij te beperken. De CER-richtlijn benoemt klimaatdreigingen expliciet: de impact ervan op kritieke infrastructuur moet worden vastgesteld. Ook in andere relevante ontwikkelingen (zie bijlage A voor een overzicht van andere verschillende relevante bestaande kaders en ontwikkelingen), zoals de uitvraag voor bovenregionale en DPRA-stresstesten, wordt aanbieders van vitale functies gevraagd om voor hun functie de gevolgen van diverse klimaatdreigingen in kaart te brengen.

Het uitvoeren van dergelijke analyses biedt ook directe voordelen voor vitale aanbieders. Door risico's en kwetsbaarheden vroegtijdig te identificeren, kunnen zij proactief maatregelen nemen om de continuïteit van hun diensten te waarborgen en toekomstige kosten te beperken. In sommige gevallen kan echter worden besloten de risico's te accepteren, bijvoorbeeld wanneer de dreigingen naar verwachting weinig risico hebben op uitval of verstoring.

Doel van de handreiking

Nu er steeds vaker wordt gevraagd om de gevolgen van klimaatdreigingen in kaart te brengen, groeit de behoefte aan een generieke aanpak voor het bepalen van klimaatrisico's. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) is Deltares gevraagd om deze generieke aanpak te beschrijven in een handreiking. Hierbij is expliciet gekozen voor een handreiking (biedt richting en ondersteuning) en niet voor een handleiding (schrijft vaste werkwijze voor). Als er al bestaande richtlijnen en methodes zijn waarmee de vitale aanbieder moet werken, biedt deze handreiking de flexibiliteit om binnen die context toegepast te worden. Deze handreiking is daarmee toepasbaar voor de verschillende vitale aanbieders en hun specifieke bedrijfscontext. Wel worden er generieke stappen geïntroduceerd, waardoor resultaten tussen verschillende aanbieders vergelijkbaar zijn en waarmee uniformiteit en transparantie gewaarborgd zijn. Bovendien zorgt het volgen van deze stappen voor een minimaal kwaliteitsniveau en ondersteunt het bij het nemen van maatregelen en beslissingen met betrekking tot klimaatdreigingen.

Doelgroep

Deze handreiking is allereerst bedoeld voor aanbieders van vitale functies (zowel publiek als privaat) die de gevolgen van verschillende klimaatdreigingen in kaart willen of moeten brengen, voor eigen klimaatadaptatiedoelen of vanuit een wettelijke verplichting. Zo is deze handreiking een hulpmiddel voor de uitvoering van klimaatrisicoanalyses zoals de Wet Weerbaarheid Kritieke Entiteiten (Wwke) gaat vragen van kritieke aanbieders (zie ook bijlage A.1). Daarnaast kan deze handreiking ondersteuning bieden bij bijvoorbeeld de uitvoering van de stresstesten binnen het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) (zie bijlage A.5) of de bovenregionale stresstesten voor wateroverlast voortkomend uit de beleidstafel Hoogwater en Wateroverlast (zie bijlage A.6).

De handreiking is zo geschreven dat alle niveaus binnen een bedrijfsvoering worden betrokken (Tabel 1.1).

Niveau	Omschrijving	Functie
Strategisch	Stelt doelen voor systeem-prestaties en beheert het totale budget	Beleidsmakers, directieleden, strategische adviseurs
Tactisch	Vertaalt doelen naar richtlijnen en normen, en inventariseert externe factoren zoals klimaatverandering	Managers, projectleiders, risicomanagers, coördinatoren klimaatadaptatie
Operationeel	Is verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van individuele onderdelen en verbindingen.	Technisch personeel, uitvoerders, onderhoudsmedewerkers, operationele supervisors

Tabel 1.1: Overzicht bedrijfsvoering in drie niveaus: strategisch, tactisch en operationeel.

Daarnaast is deze handreiking ook relevant voor adviesbureaus en overheden die werkzaam zijn binnen het domein van klimaatadaptatie en risicobeheer. Zo geeft het ingenieursbureaus en handvatten om een risicoanalyse voor kritieke infrastructuur uit te voeren en beleidsmakers verdere inzichten in de gevolgen voor de maatschappij om uiteindelijk geïnformeerde beslissingen te kunnen nemen.

Kernbegrippen klimaatrisico's

Klimaatdreigingen leiden niet per definitie tot risico's, maar worden problematisch wanneer kwetsbare systemen eraan worden blootgesteld. Om de risico's en gevolgen beter te begrijpen is het belangrijk om de onderlinge samenhang van een aantal kernbegrippen te begrijpen.

De **klimaatdreiging** vormt het startpunt: dit is de externe gebeurtenis die mogelijk schade kan veroorzaken. Denk aan een zware storm of een hittegolf. Of deze klimaatdreiging daadwerkelijk leidt tot schade, hangt af van twee factoren:

- **Blootstelling** verwijst naar de aanwezigheid van assets of infrastructuur op een locatie waar de klimaatdreiging zich voordoet. Bijvoorbeeld een elektriciteitskastje in een gebied waar 10 centimeter water staat door hevige regenval, is deze asset 'blootgesteld' aan de klimaatdreiging wateroverlast.

- **Kwetsbaarheid** beschrijft vervolgens hoe gevoelig de assets of systemen zijn voor schade en functieverlies en in hoeverre het systeem in staat is om de uitval op te vangen (bijvoorbeeld door redundantie) of te herstellen. Zo is bijvoorbeeld een goed onderhouden gemaal met noodvoorzieningen minder kwetsbaar dan een verouderd systeem zonder die voorzieningen.

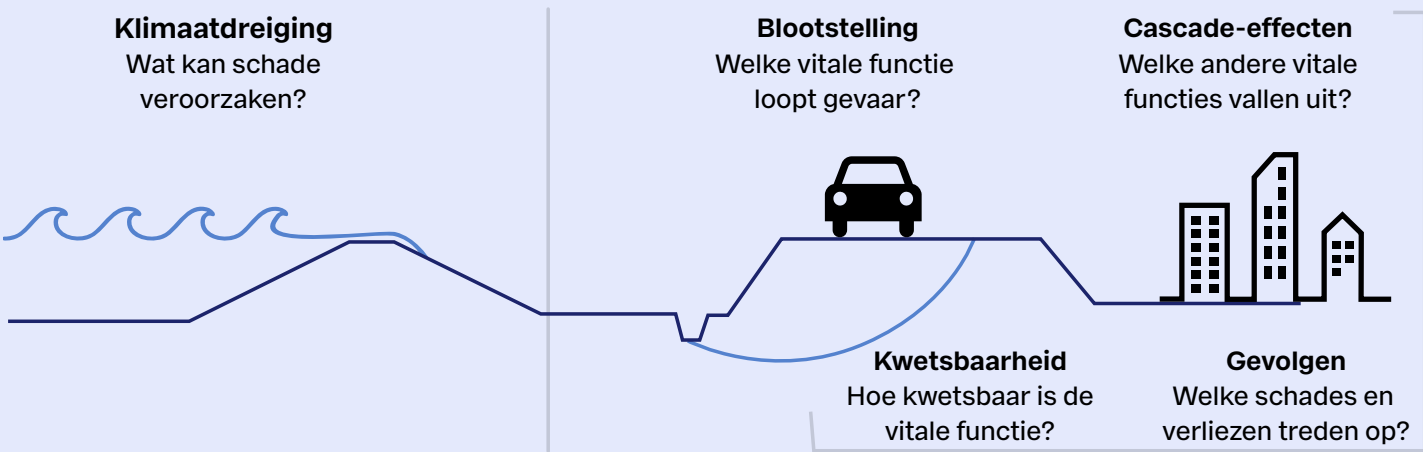
Het is de wisselwerking tussen de mate van de dreiging, blootstelling en kwetsbaarheid die bepaalt of een gebeurtenis daadwerkelijk leidt tot **gevolgen**. Er kunnen enerzijds fysieke of economische **schade aan de infrastructuur** ontstaan en anderzijds **maatschappelijke verliezen** door uitval van vitale functies.

Bij maatschappelijke verliezen wordt ook rekening gehouden met verwevenheden van vitale functies. Wanneer de eigen functie afhankelijk is van andere vitale functies voor het functioneren, noemen we dit een **ketenafhankelijkheid**. Als de uitval van de eigen functie leidt tot

verstoringen van andere functies noemen we dat een **cascade-effect**. Het geheel van deze effecten noemen we **keteneffecten**.

Het **risico** dat ontstaat door een klimaatdreiging is een combinatie van de kans op een gebeurtenis maal de ernst van de gevolgen ervan (*kans x gevolg*). Sommige dreigingen doen zich regelmatig voor, maar hebben zulke beperkte gevolgen dat het risico als acceptabel wordt beschouwd. In andere gevallen kan het mogelijke gevolg zo ernstig zijn, dat men het koste wat kost wilt voorkomen, zelfs als de kans op optreden klein is. Of een risico acceptabel is, hangt af van de bedrijfscontext van vitale aanbieders en van de eisen die (vanuit de overheid) worden gesteld.

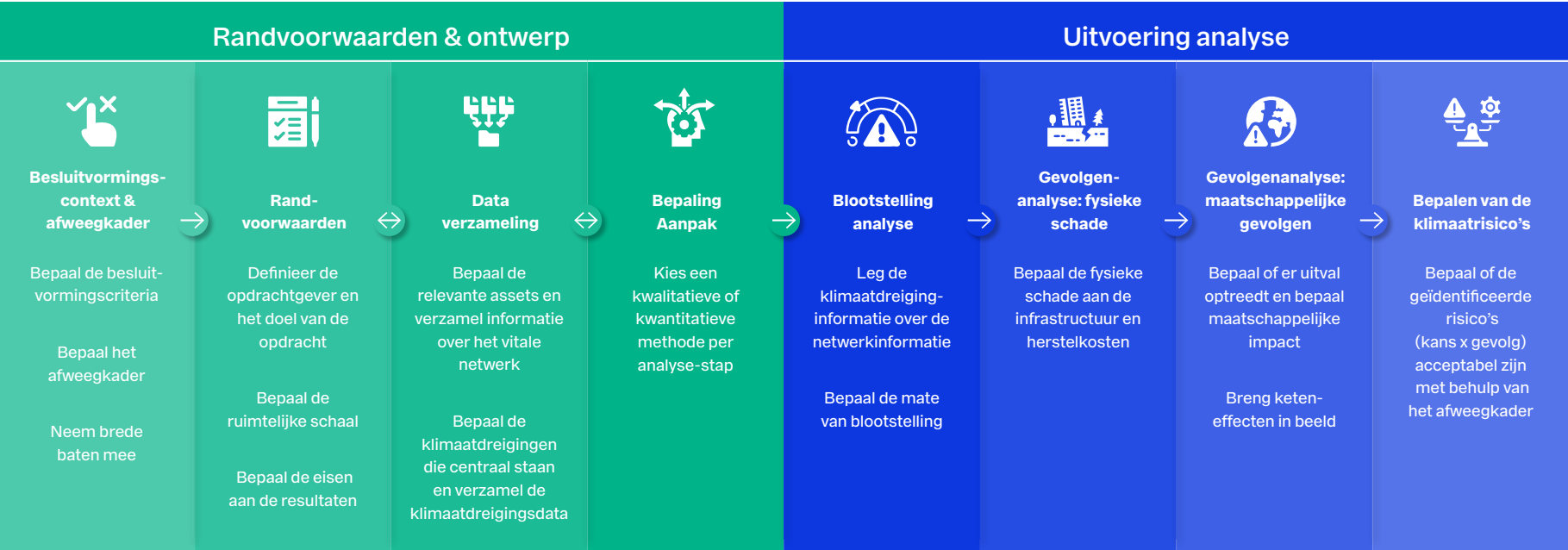
Wanneer een risico - voor de huidige of toekomstige situatie - als onacceptabel wordt beoordeeld, kan **adaptatie** nodig zijn: een pakket aan maatregelen gericht op het beperken van het risico. Dit kan door maatregelen die de intensiteit van de dreiging verminderen, het beperken van blootstelling, het verminderen van kwetsbaarheid, of sneller herstellen van de gevolgen.



Figuur 1.1: Schematische weergave van de samenhang van de belangrijkste begrippen omtrent het bepalen van klimaatrisico's. Aangepast op basis van figuur 2 in (Bles, et al., 2019).

1.2 | Stappen voor het bepalen van klimaatrisico's in de context van stresstesten

Deze handreiking biedt generieke stappen om klimaatrisico's voor vitale functies op een systematische manier te bepalen. Figuur 1.2 geeft een overzicht van deze stappen, die verderop worden beschreven.



Figuur 1.2. De belangrijkste stappen in het bepalen van klimaatrisico's voor vitale infrastructuur.

De eerste stap in het bepalen van klimaatrisico's is het definiëren van de **besluitvormingscontext**. Deze stap leidt tot inzicht in welke criteria of Key Performance Indicators (KPIs) een organisatie hanteert bij het nemen van besluiten. Onderdeel van deze stap is ook het begrijpen hoe klimaatrisico's invloed hebben op de besluitvormingscriteria van een organisatie. Zonder een duidelijke koppeling met de besluitvormings-context is het lastig om de resultaten van een stresstest te verankeren binnen de organisatie (Hoofdstuk 2).

De tweede stap is het vaststellen van de **randvoorwaarden** voor de risicoanalyse, waarbij de opdrachtgever vaak een rol speelt. Dit omvat onder meer het definiëren van het doel en de schaal van de analyse, en het bepalen of de resultaten op asset- of netwerkniveau bepaald en/of gepresenteerd moeten worden. Een belangrijk onderdeel van deze stap is ook het identificeren van relevante klimaatdreigingen en scenario's (Hoofdstuk 3). Vervolgens moet voor de beoogde analyse de data verzameld worden (Hoofdstuk 4) en een geschikte methode per stap gekozen worden (Hoofdstuk 5).

De **dataverzameling** en de **methodebepaling** zijn nauw met elkaar verbonden. De keuze voor een bepaalde methode hangt vaak af van de beschikbaarheid en kwaliteit van de data, en omgekeerd kan de dataverzameling worden gestuurd door de eisen van de gekozen analysemethode.

Wanneer de randvoorwaarden en ontwerpstappen zijn doorlopen, kan de uitvoering van de analyse beginnen. De eerste analysestap voor het bepalen van de klimaatrisico's voor vitale functies is het bepalen van de **blootstelling**. Dit resulteert in informatie over de locaties waar klimaatdreigingen van invloed kunnen zijn (Hoofdstuk 6). Vervolgens kan de stap worden gezet naar het analyseren van de **gevolgen** (Hoofdstuk 7) van klimaatdreigingen op de vitale functie. Deze analyse richt zich op zowel de fysieke schade aan infrastructuur als de bijbehorende herstelkosten. Daarnaast worden ook de maatschappelijke verliezen in kaart gebracht die ontstaan door het (tijdelijk) wegvallen of verminderde beschikbaarheid van functies. Hierbij is er de mogelijkheid om rekening te houden met ketenafhankelijkheden en cascade-effecten, die de impact aanzienlijk kunnen vergroten.

Wanneer de gevolgenanalyse is uitgevoerd kunnen de **klimaatrisico's** bepaald (Hoofdstuk 8) worden. Vervolgens kan voor de geïdentificeerde risico's worden vastgesteld of de geïdentificeerde risico's (kans x gevolg) acceptabel zijn voor de bedrijfsvoering van de vitale aanbieder.

Nadat de analyse succesvol is uitgevoerd kunnen de resultaten op verschillende manieren worden gebruikt in **mogelijke vervolgstappen** (Hoofdstuk 9). Op basis van de mogelijke gevolgen van klimaatdreigingen in combinatie met informatie over de kans op optreden, afkomstig uit het dreigingsbeeld, kan het klimaatrisico worden vastgesteld. Zodra de risico's bekend zijn, kan worden geëvalueerd of deze acceptabel zijn binnen de besluitvormingscontext. Vaak zijn de resultaten uit dergelijke analyses ook bruikbaar voor het verkennen en afwegen van maatregelen en vormen ze een waardevolle bron van informatie voor risicodialogen, de basis voor een evaluatie van het ambitieniveau en de implementatie in de processen van de eigen bedrijfsvoering.

2 Besluitvormingscontext



Voor een succesvolle implementatie van klimaatrisico's in de besluitvorming is het essentieel dat de risicoanalyse aansluit bij de **besluitvormingscontext** van de vitale aanbieder. Met 'besluitvormingscontext' wordt bedoeld: de manier waarop (proces) en op basis van welke criteria binnen de organisatie besluiten worden genomen, bijvoorbeeld over investeringen of assetmanagement. Door inzicht te krijgen in de doelen en eisen die aan besluitvorming ten grondslag liggen, kunnen klimaatadaptatiekeuzes worden ingebed in dezelfde taal en kaders als andere strategische beslissingen. Dit is echter niet altijd eenvoudig. Het opstellen van een **afweegkader** kan hierbij helpen. Wanneer deze stap echter onvoldoende wordt uitgewerkt, wordt het lastiger om de resultaten van de risicoanalyse effectief te benutten en structureel te verankeren in beleid en praktijk (de Paor, et al., 2024; Bles, et al., 2023).

Bij het identificeren van de besluitvormingscontext en het vaststellen van een afweegkader is het belangrijk om ook aandacht te schenken aan **het doel van de risicoanalyse**, de maatschappelijke context en de rol van de (interne) opdrachtgever (dit wordt toegelicht in Hoofdstuk 3) en andere relevante stakeholders.

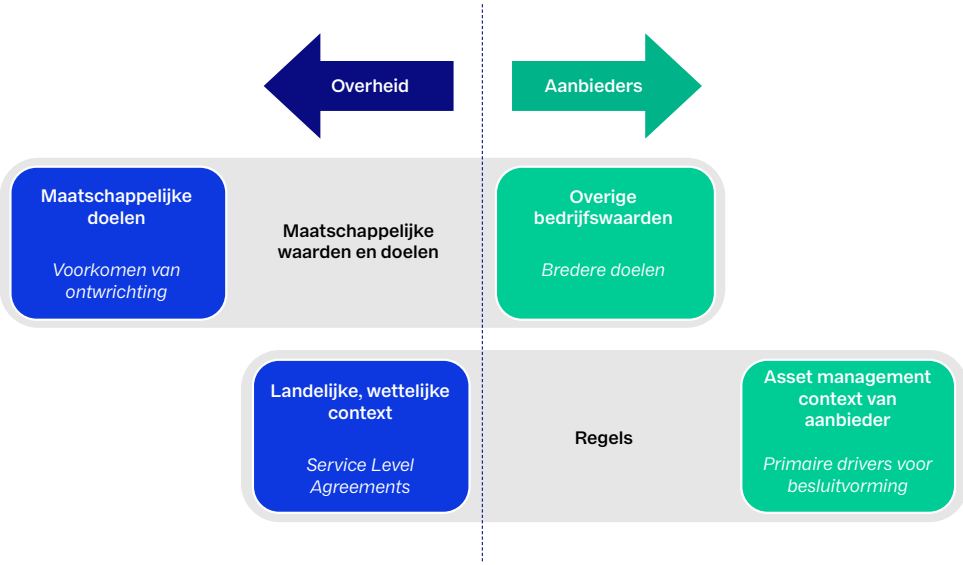
2.1 | Besluitvormingscriteria

Beheerders van vitale functies hanteren uiteenlopende besluitvormingscriteria en -methoden. Deze zijn vaak gebaseerd op een combinatie van regels en organisatiedoelstellingen die vaak worden vertaald naar het assetmanagement van de aanbieder. Zulke criteria vormen de 'harde eisen' voor besluitvorming. Denk hierbij aan wettelijke en juridische kaders, maar ook bedrijfsdoelstellingen rondom veiligheid, beschikbaarheid, imago en kostenbeheersing. Deze zijn vaak uitgedrukt in KPI's of service level agreements (SLA's).

Naast deze harde eisen spelen ook maatschappelijke waarden en doelen een steeds belangrijkere rol. Deze waarden bevinden zich op het snijvlak van maatschappelijke belangen en bedrijfsvoering, en sluiten soms aan bij brede welvaart principes. Voorbeelden zijn duurzaamheid, inclusiviteit en biodiversiteit. Hoewel deze waarden niet altijd direct voelbaar zijn binnen de organisatie, vertegenwoordigen ze wel een groeiend maatschappelijk belang dat steeds vaker wordt meegewogen in strategische keuzes.

Binnen de besluitvorming van vitale aanbieders is altijd sprake van wisselwerking tussen maatschappelijke belangen, regelgeving, investeringsruimte en primaire doelen. Vitale functies vervullen immers een essentiële rol in het functioneren van de samenleving. Een concreet voorbeeld is de drinkwatervoorziening, waar wetgeving voorschrijft dat er minimaal tien dagen aan noodvoorraad beschikbaar moet zijn. Het onderliggende maatschappelijke doel: het voorkomen van een tekort aan drinkwater, is hiermee verankerd in regelgeving en vormt een verplicht uitgangspunt voor de sector.

Figuur 2.1 laat zien hoe aanbieders van vitale functies investeringsafwegingen maken op basis van zowel regels als maatschappelijke waarden. Deze regels zijn vaak afgeleid van bredere maatschappelijke doelen en zijn soms door de overheid vastgelegd in wetgeving. In de praktijk is het onderscheid tussen regels en waarden niet altijd scherp, maar wel relevant: bij het afwegen van maatregelen wegen regels doorgaans zwaarder dan bredere maatschappelijke waarden.



Figuur 2.1 Schematisch overzicht wisselwerking tussen doelen en regels vanuit beleidsmakers t.a.v. aanbieders.

2.2 | Afweegkader

Op basis van de doelen en regels van elke vitale aanbieder kan een afweegkader worden opgesteld. Denk hierbij ook aan mogelijke bredere maatschappelijke doelen zoals bijvoorbeeld duurzaamheid, inclusiviteit en biodiversiteit. Een afweegkader is een hulpmiddel dat richting geeft aan besluitvorming door inzichtelijk te maken wanneer hinder of overlast voor een vitale functie overgaat in daadwerkelijke schade, en wanneer maatregelen noodzakelijk of wenselijk zijn. Het vormt een brug tussen abstracte doelen en concrete maatregelen. Het afweegkader is bovendien nauw verbonden met het ambitieniveau: *Hoe robuust moet een vitale en kwetsbare functie zijn om aan de gestelde eisen te voldoen?*

In de volgende paragrafen wordt toegelicht hoe bestaande kaders zoals bedrijfswaardenmatrices kunnen worden benut (2.2.1), hoe een nieuw kader kan worden ontwikkeld indien dit ontbreekt (2.2.2), en het belang van het meenemen van de bredere doelen in het afweegproces (2.2.3).

2.2.1 Bedrijfswaardenmatrix / risicomatrix

Voor veel aanbieders van vitale functies is al een vorm van een afweegkader beschikbaar, bijvoorbeeld in de vorm van bedrijfswaardenmatrices of risicomatrices (zie Voorbeeld 2.1). Deze matrices zijn methoden die organisaties helpen bij het structureren van besluitvorming rondom risico's en investeringen. In een bedrijfswaardenmatrix wordt de kans op het optreden van een gebeurtenis afgezet tegen één of meerdere gevolgen ervan. De combinatie van deze factoren bepaalt of een risico acceptabel is binnen de bedrijfsvoering, en of aanvullende maatregelen nodig zijn - zoals investeringen in het versterken van infrastructuur, risico mitigatie, oefeningen en/of noodmaatregelen.

Deze matrices maken het mogelijk om risico's systematisch te beoordelen en af te wegen op basis van vooraf bepaalde criteria. Veelgebruikte categorieën in besluitvorming rond kritieke infrastructuur zijn bijvoorbeeld veiligheid, beschikbaarheid, continuïteit en maatschappelijke impact.

2.2.2 Situaties met een ontbrekend afweegkader

Als er nog geen afweegkader bestaat voor de vitale functie, kan deze opgesteld worden in samenspraak met de betrokken organisatie onderdelen binnen de organisatie. Het afweegkader hangt nauw samen met ambitieniveau van de verschillende betrokken organisatie onderdelen. Het is hierbij zinvol om het afweegkader te benaderen vanuit verschillende perspectieven. Het is verstandig om operationeel beheer / asset management te betrekken en te borgen dat het afweegkader past binnen de wettelijke kaders. Voorbeelden van een mogelijke afweegkaders zijn het waterrisicodiagram (Voorbeeld 2.2) of de prioriteringsmatrix (Voorbeeld 2.3).

2.2.3 Bredere doelen meenemen in het afweegkader

Naast bedrijfswaarden en wettelijke kaders kunnen ook bredere maatschappelijke- of organisatiedoelen worden meegenomen in besluitvorming. Deze bredere doelen zijn soms al opgenomen in strategische documenten, zoals een strategisch assetmanagementplan.

Het is belangrijk om vooraf te overwegen of de risicoanalyse ook inzichten moet opleveren met betrekking tot deze bredere doelen. Het meenemen van baten ten gunste van bredere doelen kan in een kosten-batenafweging namelijk leiden tot een positiever beeld van

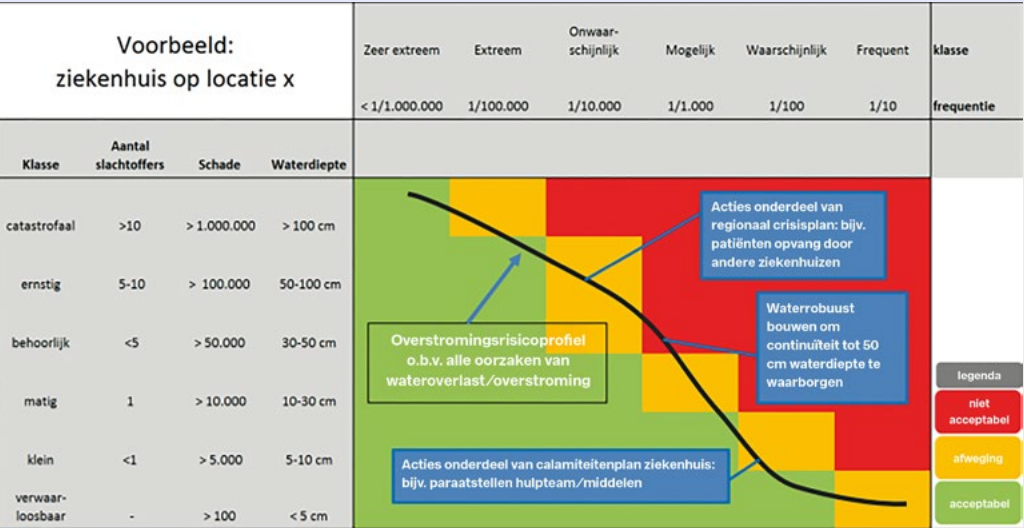
bepaalde maatregelen. In dat geval is het verstandig om brede gevolg-categorieën vast te stellen, inclusief de eenheden waarin deze effecten kunnen worden uitgedrukt.

Wanneer wordt besloten om brede gevolgen mee te nemen, moet de risicoanalyse zodanig worden ingericht dat de resultaten aansluiten bij deze categorieën, met gebruik van dezelfde terminologie, criteria en meeteenheden. Zo wordt geborgd dat de analyse bruikbaar is voor zowel financiële als maatschappelijke afwegingen.

Voorbeeld 2.2: Waterrisicodiagram

Een waterrisicodiagram brengt de kans van optreden van verschillende watergerelateerde gebeurtenissen in kaart tegenover de ernst van de gevolgen voor een specifiek object, zoals een ziekenhuis. Het diagram helpt bij het visualiseren van risico's door gebeurtenissen zoals piekbuien, falen van regionale keringen of doorbraken van primaire waterkeringen.

De matrix toont in één oogopslag welke combinaties van kans en gevolg als acceptabel of onacceptabel worden beschouwd. De rode zones geven aan waar risico's onacceptabel zijn en dus maatregelen noodzakelijk zijn. Dit kan variëren van lokale noodmaatregelen tot structurele aanpassingen in het watersysteem.



Figuur 2.3: Voorbeeld van een waterrisicodiagram voor een ziekenhuis (Kolen et al., 2020). Op de website: klimaat-effectatlas.nl zijn meer voorbeelden en instructies te vinden.

Voorbeeld 2.3: Prioriteringsmatrix

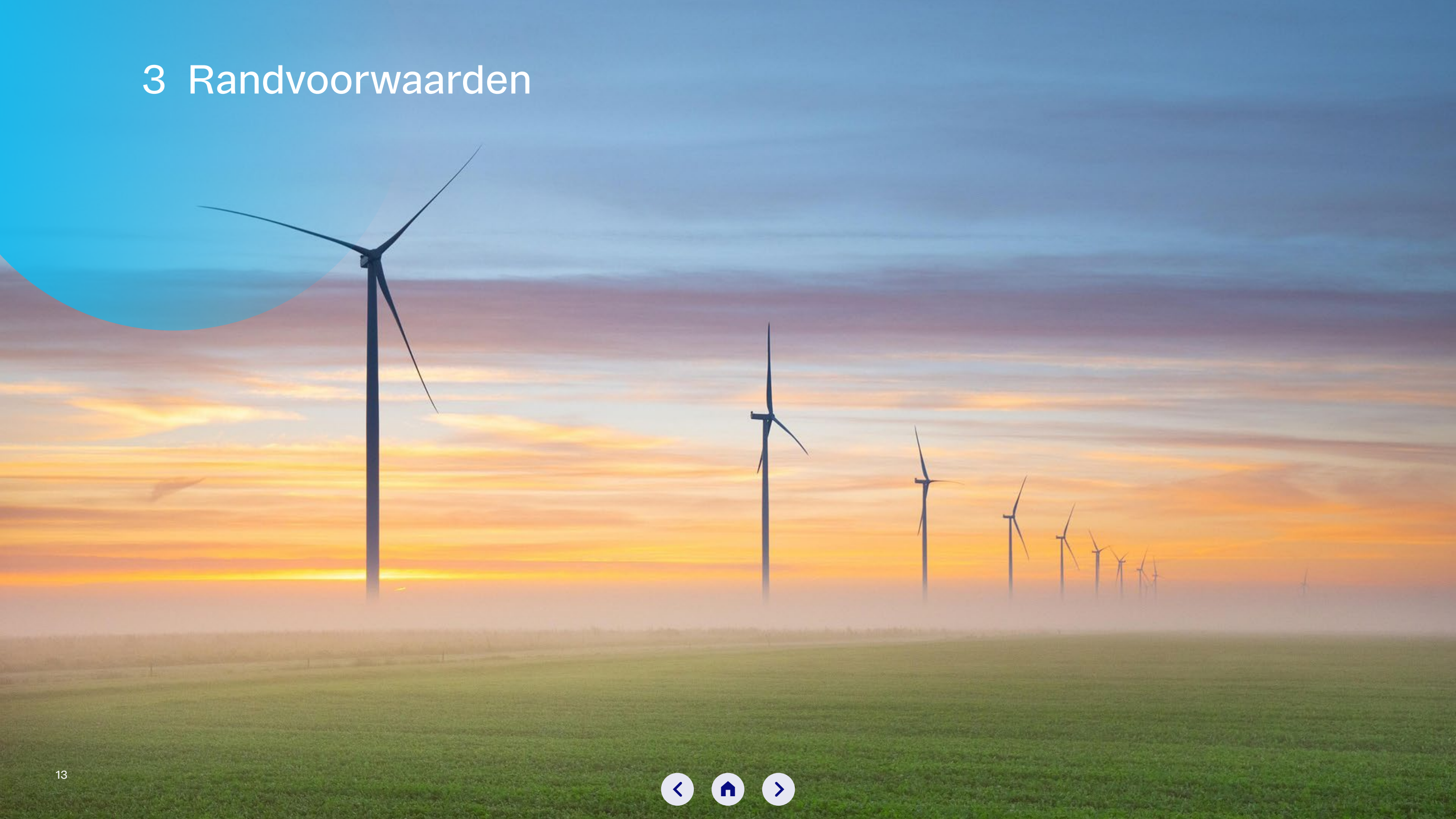
Een prioriteringsmatrix helpt bij het afwegen van verschillende afweeg-criteria. Hieronder staat een voorbeeld waarbij schades van infrastructuur is uitgezet tegen verliezen van de maatschappij. In onderstaand voorbeeld zijn de schades uitgedrukt categorieën C1 tot C5. Door deze twee typen schade tegen elkaar af te zetten, ontstaat inzicht in welke risico's prioriteit moeten krijgen. De matrix ondersteunt de besluitvorming door zowel financiële als maatschappelijke belangen inzichtelijk te maken.

Een voorbeeld: de fysieke schade van een uitgevallen verkeersknooppunt door bijvoorbeeld wateroverlast kan laag zijn, maar als er weinig alternatieve routes zijn, kan de indirecte schade voor transport en logistiek hoog oplopen. In dat geval krijgt het risico op uitval toch een hoge prioriteit.

		Damage Category				
		C1	C2	C3	C4	C5
Losses Category	C1	1	1	2	2	3
	C2	2	2	3	3	4
	C3	3	3	3	4	4
	C4	3	4	4	5	5
	C5	4	4	5	5	5

Figuur 2.4: Voorbeeld van een prioriteringsmatrix voor directe en indirecte schade (Costa, Bles, Abrenica, & Grageda, 2019).

3 Randvoorwaarden



Na inzicht in de [besluitvormingscontext](#) en risicobeoordeling moeten de randvoorwaarden voor de analyse worden vastgesteld. Deze omvatten onder andere de doelstelling, mogelijke opdrachtgever, ruimtelijke schaal en eisen aan de resultaten. Zodra de randvoorwaarden helder zijn, kan worden bepaald welke data nodig zijn (Hoofdstuk 4) en welke methoden geschikt zijn voor de uitvoering van de risicoanalyse (Hoofdstuk 5). In de praktijk wordt gezocht worden naar de best mogelijke methode op basis van de randvoorwaarden en beschikbare data.

3.1 | Opdrachtgever en doelstelling risicoanalyse

Het is belangrijk te weten voor wie en met welk doel de analyse wordt uitgevoerd omdat dit kan helpen bij het maken van keuzes in randvoorwaarden van de analyse. Denk hierbij aan keuzes voor specifieke klimaatdreigingen of tijdshorizon, maar ook schaal- en detailniveau).

Naast interne doelen, zoals het vergroten van de netwerkweerbaarheid en het waarborgen van leveringszekerheid kunnen ook externe factoren¹ reden zijn tot het uitvoeren van een stresstest.

Wanneer de risicoanalyse wordt uitgevoerd voor de eigen organisatie – bijvoorbeeld als interne opdracht – kan de focus liggen op het voorkomen van vermijdbare kosten door onderbouwde investeringen. In dat geval volstaat het vaak om de analyse te beperken tot de eigen bedrijfsvoering, zonder de bredere maatschappelijke gevolgen of cascade-effecten mee te nemen. Bij een interne opdracht kan de aanbieder bovendien zelf bepalen welke klimaatdreigingen worden meegenomen in de analyse.

¹ zoals de DPRA stresstesten, de uitvoering van de risico-analyse binnen de Wwke of bovenregionale stresstesten (zie hoofdstuk 1.1 en bijlage A).

Wanneer de risicoanalyse in opdracht van bijvoorbeeld de overheid wordt uitgevoerd, kan de doelstelling breder zijn dan alleen de eigen bedrijfsvoering. Daarbij wordt ook gekeken naar maatschappelijke effecten, zoals economische schade, functieverlies en keteneffecten. Dit vergroot de complexiteit van de analyse, maar verhoogt ook de waarde ervan voor bredere besluitvorming.

3.2 | Klimaatdreigingen

Afhankelijk van de vitale functie, de aanleiding van de analyse en de regio kunnen verschillende klimaatdreigingen relevant zijn om te beschouwen. Soms wordt in de opdracht al specifiek aangegeven welke dreiging centraal staat, bijvoorbeeld de bovenregionale of DPRA stresstest.

Indien de klimaatdreiging nog niet gespecificeerd is, moeten aanbieders zelf kritisch nadenken welke dreigingen het functioneren van het netwerk beïnvloedt. Elke vitale functie is op een andere manier gevoelig voor klimaatdreigingen. Recent onderzoek van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) biedt een overzicht van belangrijke gevolgen van verschillende klimaatrisico's in Nederland voor verschillende sectoren en de kan dienen als waardevolle bron bij het identificeren van relevante klimaatdreigingen (Planbureau voor de Leefomgeving, 2024).

Het bepalen van relevante klimaatdreigingen is vaak een iteratief proces. Een eerste, kwalitatieve analyse van kansen en gevolgen kan helpen om een lange lijst van mogelijke dreigingen terug te brengen tot een kortere, relevante selectie. Deze geselecteerde dreigingen kunnen vervolgens in meer detail worden onderzocht. Indien kwantitatieve klimaatdata beschikbaar is, kan deze vaak ook kwantitatief worden bepaald (Paragraaf 4.3). In sommige gevallen zijn aanvullende dreigingsanalyses nodig om de daadwerkelijke effecten (beter) in te schatten, door bijvoor-

beeld de inzet van een hydrologisch model om neerslagdata te vertalen naar wateroverlastkaarten, of een geotechnische analyse voor het beoordelen van constructies.

3.3 | Tijd- en ruimtelijke schaal en het detailniveau

Afhankelijk van het doel van de analyse kan de invulling van de analyse variëren met het benodigde temporele schaalniveau en ruimtelijke schaalniveau, onderverdeeld in lokaal, (boven-) regionaal of landelijk. Voor sommige analyses, zoals de bovenregionale stresstest², is het schaalniveau vooraf bepaald. De keuze voor het temporele en ruimtelijke schaalniveau zal ook deels afhankelijk zijn van de data-beschikbaarheid en de keuze voor kwantitatieve of kwalitatieve methodes (Hoofdstuk 4 en 5). Het ruimtelijke schaalniveau bepaalt ook grotendeels het detailniveau van de analyse (asset, verbinding, netwerk en keteneffecten).

3.3.1 Tijd schaal

Klimaatrisico's worden voor het huidige klimaat en toekomstige klimaatscenario's in beeld gebracht. Belangrijk is het om vast te stellen hoe ver in de toekomst gekeken wordt. Daarbij spelen verschillende aspecten een rol.

1. **Vanuit de opdracht** (zie Hoofdstuk 3.1) kan meegegeven zijn wat de tijdshorizon is. Voor DPRA wordt bijvoorbeeld verwezen naar 2050.

² Het procesleidraad voor het uitwerken van bovenregionale stresstesten wateroverlast (Aanpak Gevolgenbeeld Vitaal, in voorbereiding), heeft een tabel opgenomen waarbij er voor de vitale sectoren per functie een indicatie wordt gegeven van het schaalniveau (nationaal, regionaal en/of lokaal) dat relevant is voor het doel van de bovenregionale stresstesten. Deze uitwerking biedt een goede eerste indicatie van het schaalniveau waaraan gedacht kan worden voor de analyse.

- 2. **De (rest)levensduur** van assets bepaalt mede de temporele schaal van de risicoanalyse. Bij assets met een lange levensduur, zoals tunnels of hoogspanningsstations, is het logisch om een tijdshorizon te hanteren die daarmee overeenkomt. Een analyse tot 2050 biedt weinig waarde als een asset ontworpen wordt voor gebruik tot 2100. Omgekeerd vragen assets met een korte levensduur om een andere analysemethode en maatregelenpak.
- 3. **Onzekerheden** in klimaatscenario's nemen toe naarmate verder in de toekomst wordt gekeken. Tot 2050 blijven de verschillen tussen de scenario's relatief beperkt. Richting het einde van de eeuw worden deze verschillen echter steeds groter, zowel in de uitkomsten van de scenario's zelf als in de verwachte toename van klimaatextremen.

3.3.2 Ruimtelijke schaal

De ruimtelijke schaalniveaus kunnen worden onderscheiden in lokaal, (boven)regionaal en landelijk niveau. Een lokale analyse richt zich op een beperkt geografisch gebied zoals wijk of stad, of een specifieke asset. Dit type analyse vraagt doorgaans een analyse op hoog detailniveau met resulterende databehoeftes rondom assets en dreigingsdata (Hoofdstuk 4).

Een (boven-)regionale analyse bestrijkt een groter geografisch gebied, zoals een provincie of meerdere provincies. De analyse wordt waarschijnlijk uitgevoerd op een lager detailniveau dan een lokale analyse, maar vraagt nog wel steeds veel informatie over assets. Vanwege de grotere geografische schaal kan het tijdrovend zijn om alle assets en verbindingen in beeld te brengen of het risico voor te bepalen. Voor een risicoanalyse kan het toch zinvol zijn om ook een hoger detailniveau te hanteren, omdat dit inzicht geeft in de relatie tussen het uitvallen van assets, het functioneren van verbindingen en de algehele netwerkprestatie

Detailniveau	Beschrijving en functie in analyse
Asset	Het assetniveau omvat individuele objecten, zoals bruggen, tunnels, duikers, elektriciteitskasten, verdeelstations etc. De ontwerpeisen voor deze assets zijn vaak vastgelegd in richtlijnen of processen.
Verbinding/corridor	Het connectie of corridor- niveau verbindt verschillende assets en vertaalt dit ook naar een functie. Deze functies kunnen bijvoorbeeld vertaald worden naar een prestatie. Bijvoorbeeld: transport van goederen of elektriciteit tussen twee locaties.
Netwerk	Het netwerkniveau bestaat uit meerdere combinaties van verbindingen en assets. Binnen een netwerk kan ook op prestatie worden gemonitord, bijvoorbeeld: hoeveelheid transport, of leveringszekerheid.
Keteneffecten (ketenafhankelijkheid en cascade-effecten)	Wanneer netwerken van elkaar afhankelijk zijn kunnen er ook gevolgen van één netwerk effect hebben op andere netwerken en daarmee ook functies.

Tabel 3.1: Overzicht van verschillende onderdelen van een netwerk

Een landelijke analyse richt zich doorgaans op het gehele netwerk en brengt de grootste risicolocaties of -gebieden in beeld, vaak met de nadruk op maatschappelijke gevolgen. De focus ligt hierbij op kritieke assets of locaties waarvan uitval of schade grote impact heeft, zoals bruggen met hoge omrijdtijden bij uitval, of assets met lange herstelduur. Wanneer het doel is om maatschappelijke impact te analyseren, richt de analyse zich op nationale kwetsbaarheden en risico's als basis voor mogelijke strategieën of beleidsmaatregelen.

3.3.3 Detailniveau

Het schaalniveau bepaalt grotendeels het detailniveau van de analyse, bijvoorbeeld: focus op asset, verbinding of hele netwerk (Tabel 3.1). Het is waardevol om voorafgaand aan de analyse goed na te denken over het gewenste detailniveau en bewust te bepalen wat er wel en juist niet opgenomen wordt in de analyse. De keuze voor het detailniveau hangt samen met de ruimtelijke schaal van de analyse (Paragraaf 3.3.2), de beschikbaarheid van data (Hoofdstuk 4) en het niveau waarop binnen de organisatie besluiten worden genomen (Hoofdstuk 2, Paragraaf 3.4.1). Aanbevelingen om te komen tot een goede selectie van assets staan beschreven in hoofdstuk 4.1.

3.4 | Eisen aan resultaten risicoanalyse

Bij het opzetten van een risicoanalyse is het belangrijk om vast te stellen aan welke criteria de resultaten moeten voldoen, welke indicatoren dit meetbaar maken, en op welk detailniveau de resultaten worden gepresenteerd. Hoe beter deze aansluiten bij het afweegkader, hoe groter de kans dat de analyse effectief bijdraagt aan besluitvorming. Ter inspiratie is in bijlage B een tabel opgenomen met mogelijke indicatoren per criterium voor het wegennet.

3.4.1 Vertalen van besluitvormingscriteria naar eisen voor de risicoanalyse

Een cruciale stap is het vertalen van abstracte of strategische criteria uit het afweegkader naar concrete, meetbare indicatoren op asset- of netwerkniveau. Dit maakt het mogelijk om risico's op operationeel niveau te analyseren en te koppelen aan strategische doelen. Zo kan het criterium 'veiligheid' bijvoorbeeld worden gekwantificeerd als 'maximaal aantal slachtoffers per jaar' per locatie of binnen een netwerk. Tabel 3.2 laat hier een aantal voorbeelden van zien.

3.4.2 Assetniveau

Resultaten op assetniveau geven inzicht in hoe kritiek individuele assets zijn en de mogelijke schade bij uitval. Dit is waardevol voor assetmanagers, omdat dreigingen concreet worden gemaakt en gerichte maatregelen per asset kunnen worden geïdentificeerd. Een nadeel is dat het effect van aanpassingen op assetniveau niet altijd zichtbaar is op netwerkniveau, waardoor het lastiger kan zijn om maatregelen in het bredere afweegkader te plaatsen.

3.4.3 Netwerkniveau

Resultaten op netwerkniveau bieden inzicht in de prestaties van een functie. Dit kunnen bijvoorbeeld resultaten zijn over de gevolgen op leveringszekerheid of uitvalduur van een functie. Dergelijke resultaten kunnen worden getoetst aan KPI's of wettelijke verplichtingen om te bepalen of gevolgen acceptabel zijn of niet. Tegelijkertijd kunnen resultaten op netwerkniveau het lastig maken om te bepalen welke concrete maatregelen aan assets kunnen worden genomen om risico's te reduceren.

Opdrachtgever	Ruimtelijke schaal	Vraag	Asset- of netwerk-niveau?	Mogelijke output	Mogelijke indicatoren*
Interne bedrijfsvoering	Lokaal	Hoeveel schade kan er optreden aan de assets in stad 'X' als gevolg van bodemdaling?	Asset	Monetaire cijfers, tabellen, grafieken. Kan ook op kaart worden weergegeven als data ruimtelijk voorhanden is.	Monetaire schade, hersteltijd van assets
Overheid: bovenregionale stresstest	Boven-regionaal	In welke gebieden kan mogelijk functieverlies of uitval optreden als gevolg van wateroverlast?	Netwerk	Ruimtelijke inschatting van gebieden met functieverlies: kaart.	Uptime/downtime, duur uitval, huishoudens/ personen getroffen

Tabel 3.2: Voorbeelden van hoe de opdrachtgever en de besluitvormingscontexten de bijbehorende risicoanalysevragen, schaalniveaus en indicatoren bepaald.. *Gekozen indicatoren moeten aansluiten bij de besluitvormingscontext, zie bijlage B ter inspiratie, met toepassing voor wegen.

4 Dataverzameling



Nadat de randvoorwaarden van de analyse helder zijn, kunnen de benodigde infrastructuur- en klimaatdreigingsdata worden verzameld. In praktijk zal dit een iteratief proces zijn, waarbij het mogelijk is dat op basis van de al dan niet beschikbare data, de keuze voor de methodes (zie ook Hoofdstuk 5) zal worden aangepast en andersom.

We maken in dit hoofdstuk onderscheid tussen drie soorten datasets:

- **Fysieke datasets**, met informatie over relevante assets de geografische ligging
- **Gebruikersdatasets**, die inzicht geven in het gebruik van de vitale functie.
- **Klimaatdreigingsdatasets**. Met verschillende dreigingen, herhalingstijden, klimaatscenario's

In het algemeen geldt bij de dataverzameling dat er aandacht moet zijn voor:

- **Privacy**, vooral bij persoonsgegevens
- **Informatiebeveiliging**, bijvoorbeeld gegevens over locaties van vitale (geheime) assets;
- **Representativiteit en kwaliteit** van de data;
- **Ruimtelijke resolutie**, zodat de data bruikbaar is op het gewenste schaal- en detailniveau van de analyse.

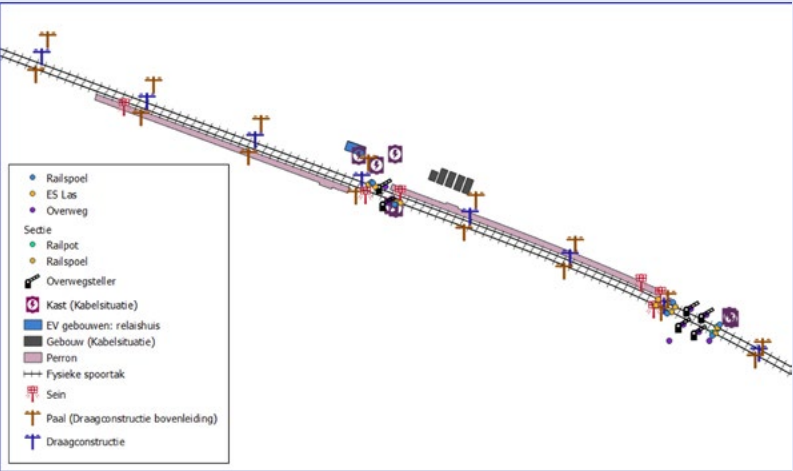
4.1 | Verzamelen van fysieke datasets

Een goede blootstellingsanalyse vereist ruimtelijke data van assets, verbindingen en andere onderdelen van een netwerk. Ruimtelijke data vraagt naar geografische datasets, die op een kaart geplaatst kunnen worden. Voorbeelden hiervan zijn verschillende typen GIS-data met lijnen voor wegdelen en puntdata met de locaties van assets op of rondom het infrastructuurnetwerk (Voorbeeld 4.1). Veel vitale aanbieders beschikken over deze data, maar deze kunnen versnipperd zijn binnen de organisatie en verschillende kwaliteitsniveaus hebben. Daarom is het belangrijk om assetmanagers of data-experts binnen de organisatie te betrekken bij de

dataverzameling, zodat de asset-informatie gevalideerd en effectief geïntegreerd wordt in de risico-analyse.

Voorbeeld 4.1: Ruimtelijke ligging spoor-assets

Het figuur hieronder geeft een voorbeeld van ruimtelijke data voor het spoorwegennetwerk. In dit figuur zijn de assets ingetekend die kwetsbaar zijn voor wateroverlast en bij uitval leiden tot verminderd functioneren van het spoorwegennet. De assets hebben ruimtelijke informatie: ze kunnen op een kaart worden geplot. Niet altijd kunnen locaties over assets publiek gedeeld kan worden. Dit is aan de beheerder van de data om te beslissen.



Figuur 4.1: Schematische weergave van spoorassets gevoelig voor wateroverlast.

4.1.1 Bepalen van relevante assets per dreiging

Omdat het analyseren van alle mogelijke assets tijdrovend en data-intensief kan zijn, is het zinvol om per klimaatdreiging te bepalen hoe

faalmechanismen werken en hiermee te bepalen welke assets moeten worden geanalyseerd. Dit helpt om de omvang van de analyse te beperken en de focus te richten op de meest kwetsbare onderdelen. Indien het voor uw netwerk logischer is om alle assets te analyseren, is dat uiteraard ook mogelijk. Deze afweging moet, tenzij anders aangegeven in de opdracht, iedere aanbieder maken op basis van specifieke eigenschappen van het netwerk.

1. Het is vaak lastig om vooraf te bepalen welke onderdelen van het netwerk het meest kritisch zijn. Om dit goed in beeld te brengen, stellen we het volgende stappenplan voor als hulpmiddel bij het selecteren van relevante assets: *Welke assets zijn gevoelig voor de dreiging omdat ze kunnen uitvallen als (onderdelen van) de asset aan de dreiging worden blootgesteld?*

Bijvoorbeeld:

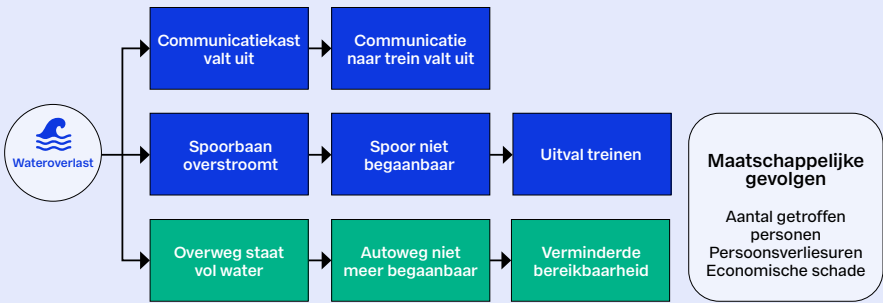
- Een relaaskast bij het spoor kan uitvallen als gevolg van oververhitting bij hoge temperaturen.
- Een elektriciteitskastje kan uitvallen als deze onder water komt te staan.
- Een weg met een slechte fundering kan zakken door bodemdaling door droogte en daardoor leiden tot onveilig gebruik met als gevolg dat deze afgesloten moet worden.

2. *Welke assets zijn cruciaal voor het functioneren van de functie (en hebben weinig redundantie of leiden tot langdurige uitval)?*
3. *Welke assets zijn in principe redundant, maar kunnen tot uitval leiden als er gelijktijdig meerdere uitvallen?*

Indien het niet duidelijk is welke assets cruciaal zijn voor de werking van de vitale functie, wordt aanbevolen om dit eerst te definiëren. Dit kan bijvoorbeeld door het opstellen van faalmechanismen of faalpaden (Voorbeeld 4.2). Hierbij kan ook informatie opgehaald worden over de gevoeligheid van de assets voor de specifieke klimaatdreiging.

Voorbeeld 4.2: Ontwikkelen van faalmechanismen / faalpaden

Als niet bekend is welke netwerkassets relevant zijn voor een klimaatdreiging, kunnen faalpaden worden opgesteld (“impact chains” in ISO: 14091 (International Organization for Standardization, 2021)). Dit is een kwalitatieve methode waarbij expertkennis wordt gebundeld tot inzichten over het functioneren van assets in het netwerk onder invloed van klimaatdreigingen. Deze paden bieden inzicht in hoe klimaatdreigingen een systeem beïnvloeden en welke gevolgen dit heeft voor gebruikers. Impactpaden beschrijven de belangrijkste assets en de gevolgen van hun uitval, inclusief tussenstappen. Ze vormen de basis voor gerichte dataverzameling en helpen ketenafhankelijkheden en cascade-effecten te identificeren. Hieronder volgt een versimpelde uitwerking. In de praktijk is het aan te bevelen het impactpad gedetailleerder en vollediger op te stellen.



Figuur 4.2: Synthetisch en versimpeld impactpad voor het spoor. Het impactpad laat zien wat mogelijke directe effecten zijn van neerslag op het spoorstelsel en de algemene bereikbaarheid.

4.1.2 Alternatieve databronnen

Als de asset-data niet ruimtelijk voorhanden is (zie Voorbeeld 4.1), kan gebruik gemaakt worden van openbare databronnen. Een belangrijke open databron is OpenStreetMap (OSM). Hier zijn voor veel vitale functies data beschikbaar en kan op **verschillende manieren** voor bepaalde gebieden data verkregen worden. Aangezien het een publieke databron is, moet wel gelet worden op de kwaliteit en compleetheit van de beschikbare data. Dit vraagt om een extra kwaliteitscontrole. Daarnaast kan soms informatie verkregen worden via andere publieke bronnen zoals **PDOK**. Deze datasets hebben vaak een kwaliteitscontrole gehad.

4.2 | Verzamelen van gebruikersdatasets

Gebruikersdata geeft inzicht in wie, hoeveel en op welke manier afhankelijk zijn van de vitale functie. Dit is essentieel om de potentiële verliezen en effecten voor de maatschappij in beeld te brengen.

Gebruikersdata kan verschillende vormen aannemen, zoals:

- **Aantal gebruikers per locatie of gebied** (bijvoorbeeld reizigers op een traject of aantal gebruikers aangesloten op een netwerk);
- **Type gebruikers** (bijvoorbeeld huishoudens, vervoerstypen, kwetsbare groepen, andere vitale functies, bedrijven);
- **Tijdstippen van gebruik** (bijvoorbeeld piekuren of seizoensgebonden variatie);

Ook bij deze datasets heeft het de voorkeur om ruimtelijk expliciete gegevens te hebben die verwerkt kunnen worden in GIS systemen. Wanneer de gebruikersdata niet direct beschikbaar of actueel zijn, kan er gebruik gemaakt worden van open databronnen, zoals CBS-data of mobiliteitsgegevens³. In andere gevallen is vaak samenwerking binnen de organisatie of met externe partijen nodig om relevante gegevens te verkrijgen.

Het is aan te raden om vroeg in het proces te bepalen welke gebruikersinformatie nodig is en welke bronnen beschikbaar zijn. Indien exacte data ontbreekt, kunnen aannames worden gemaakt op basis van expertkennis of scenario's, mits deze transparant worden gemaakt.

4.3 | Verzamelen van klimaatdreigingsdatasets

Een klimaatdreiging is de situatie die ontstaat tijdens of na een extreme weersgebeurtenis. Er zijn diverse manieren om deze te classificeren en in analyses te betrekken. Zo geeft bijvoorbeeld het *European Sustainability Reporting Standards* (ESRS) onder het *Corporate Sustainability Reporting Directive* (CSRD)⁴ een overzicht van verschillende (chronische en acute) klimaatdreigingen verdeeld onder temperatuur-, wind-, water en grondgerelateerde dreigingen. Binnen de Nederlandse context worden klimaatdreigingen over het algemeen onder vier thema's verdeeld: **Wateroverlast, Overstromingen, Hitte en Droogte**.

4.3.1 Kans en dreigingsbeelden

Bij het analyseren van klimaatdreigingen is het begrip *kans* een veelgebruikte term. De kans, ook wel herhalingstijd genoemd, geeft aan hoe vaak een bepaalde gebeurtenis gemiddeld voorkomt, en is daarmee een maat voor de *kans van optreden*. Voor veel klimaatdreigingen, zoals extreme neerslag of hittegolven, is informatie beschikbaar over zowel de huidige kans als de verwachte ontwikkeling daarvan in de toekomst. In het algemeen geldt: hoe kleiner de kans (dus hoe groter de herhalings-tijd), hoe extremer de gebeurtenis en hoe groter de potentiële impact. Zo gaat een zeldzame neerslaggebeurtenis vaak gepaard met intensievere

³ Zie bijvoorbeeld <https://opendata.rdw.nl/> en <https://data.overheid.nl>

⁴ <https://www.unepfi.org/impact/interoperability/european-sustainability-reporting-standards-esrs/>

buien, waarbij in korte tijd meer millimeters regen vallen. Dit kan leiden tot diepere waterophopingen, die bovendien op meer locaties kunnen optreden. Bij extreem weer is het niet altijd mogelijk om eenduidig de herhalingstijd vast te stellen, de term herhalingstijd heeft een statistische achtergrond. Klimaatverandering heeft invloed op de herhalingstijden van extreme omstandigheden. Het kan zinvol zijn om niet de kans, maar juist het gevolg van een gebeurtenis centraal te stellen in de analyse. Dit biedt een handelingsperspectief: door te focussen op de potentiële impact, kunnen vitale aanbieders beter inschatten welke maatregelen nodig zijn om schade te beperken, ongeacht hoe vaak een gebeurtenis zich statistisch voordoet.

In het kader van risicoanalyses wordt daarom ook vaak gewerkt met *dreigingsbeelden*. Een dreigingsbeeld is een visuele of beschrijvende weergave van hoe een klimaatdreiging zich in een bepaald gebied kan manifesteren. Het helpt om inzicht te krijgen in de ruimtelijke spreiding en intensiteit van een dreiging, zoals waterdieptes bij overstroming of temperatuurverdeling bij hitte. Afhankelijk van databeschikbaarheid en het doel van de analyse moet een keuze gemaakt worden ten aanzien van de dreigingsbeelden die gebruikt worden.

Over het algemeen kan er onderscheid worden gemaakt in twee soorten risicoanalyses:

1. Risico-analyse voor dreigingsbeelden met verschillende herhalingstijden

Hierbij is het doel om inzicht te krijgen in het te verwachten klimaat-risico's voor verschillende assets en de hoeveelheid jaarlijks te verwachten schade. Bij dit type analyse is het noodzakelijk om met meerdere dreigingsbeelden en herhalingstijden te werken. Een water-overlastkaart met een herhalingstijd van eens in de honderd jaar (1:100) laat voor een hele regio zien wat de waterdiepte is die eens per honderd jaar zou kunnen gebeuren, zoals bij een wateroverlastkaart voor een

extreme bui. In de praktijk zal zo'n bui echter niet overal tegelijk vallen, waardoor het beeld een theoretisch maximum laat zien. Het geeft dus een inschatting van de mogelijke impact, maar niet van een realistisch scenario dat zich overal tegelijk voordoet.

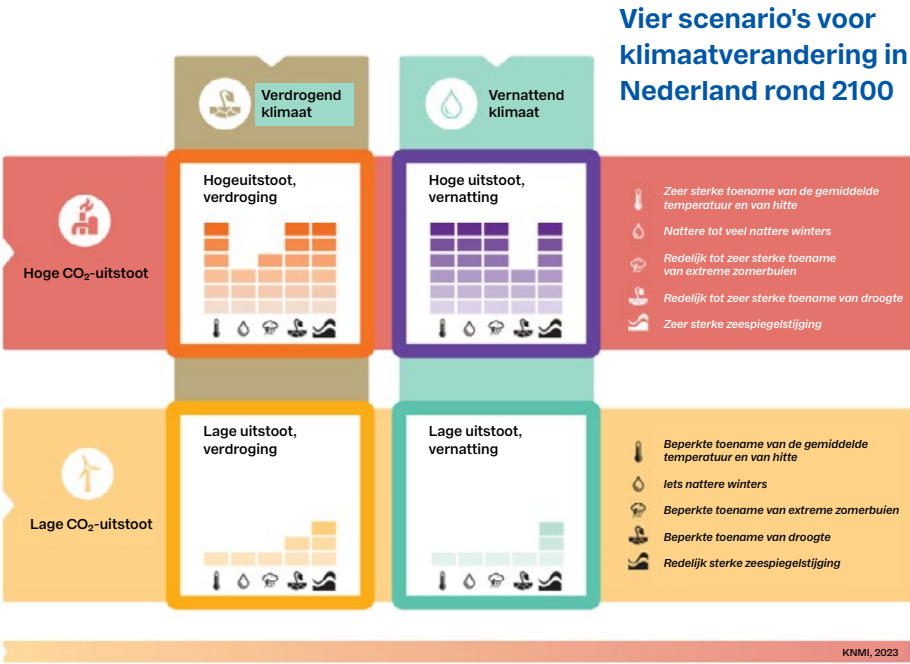
2. Risico-analyse voor een specifiek dreigingsbeeld of scenario

Deze analyse kijkt naar de gevolgen bij een specifieke gebeurtenis om inzicht te verkrijgen in het functioneren van het systeem. Denk bijvoorbeeld aan een overstroming scenario's waarbij een dijk op een vaste locatie doorbreekt en resulteert in overstromingen. Een ander voorbeeld zijn de waterbeelden in de bovenregionale stresstest. Hierbij wordt meestal uitgegaan van een extreme gebeurtenis die weinig voorkomt, maar wel grote impact kan hebben.

Om een goed beeld van het algemene risico te krijgen, is het verstandig om te kijken naar de gevolgen van een klimaatgebeurtenis bij verschillende kansen van voorkomen. Dit sluit aan bij de uniforme *uitgangspunten* zoals beschreven in de Bijsluiter voor de gestandaardiseerde stresstest van Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie (DPRA), waarin wordt geadviseerd om te werken met gestandaardiseerde scenario's en herhalingstijden om risico's op consistente wijze te analyseren (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2024). Ook binnen het Beoordelingskader Risico Stresstesten (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2024) wordt deze benadering gehanteerd, waarbij kans en gevolg systematisch worden gecombineerd om risico's te beoordelen.

4.3.2 KNMI klimaatscenario's

Naast het analyseren van klimaatdreigingen voor de huidige situatie, kunnen klimaatdreigingen ook geanalyseerd worden voor een toekomstig scenario. In een veranderende toekomst wordt verwacht dat voor veel klimaatdreigingen er vaker extremen gaan voorkomen. Een bui die nu eens in de tien jaar (1:10) voorkomt, kan bijvoorbeeld in de toekomst een herhalingstijd hebben van eens in de vijf jaar (1:5).



Figuur 4.3: KNMI klimaatscenario's

Door rekening te houden met de veranderende kans en intensiteit van klimaatdreigingen door klimaatverandering, ontstaat inzicht in de mogelijke gevolgen van klimaatverandering op vitale functies en processen. Dit helpt bij het identificeren van kwetsbaarheden en het ontwikkelen van strategieën om de weerbaarheid te behouden of vergroten, onder verschillende toekomstige scenario's.

Omdat de toekomst onzeker is, heeft het *KNMI klimaatscenario's* ontwikkeld waarin de bandbreedtes van mogelijke ontwikkelingen worden gegeven. De KNMI'23-klimaatscenario's bieden vier verschillende toekomstbeelden (als een soort verhaallijnen) voor het klimaat in Nederland, gebaseerd op de nieuwste inzichten en onderzoeksresultaten

van het IPCC (KNMI, 2023). De klimaatscenario's zijn gebaseerd op enerzijds de hoeveelheid uitstoot van broeikasgassen (en daarmee de wereldwijde opwarming) en anderzijds de mate van neerslagverandering in Nederland. De vier scenario's (figuur 4.3) geven de bandbreedtes waarbinnen het Nederlandse klimaat in de toekomst waarschijnlijk zal veranderen. Er wordt geen uitspraak gedaan over de waarschijnlijkheden van de vier scenario's. Ieder scenario is een mogelijkheid.

Bron	Klimaatdreiging	Beschikbare data	Herhalingstijden, tijdshorizon en klimaatscenario's
Kennisportaal Klimaat effectatlas	Hitte, droogte, wateroverlast, overstromingen, nu en in de toekomst	Waterdieptekaarten t.g.v. regen-overstroming, grondwateroverlast, gevoelstemperatuur, hittegolf, natuur-brandgevoeligheid, overstromingsdiepte, overstromings-risico, tekort oppervlakte-water, bodemdaling, funderingsschade,	Verschildt per databron. 2050, 2100 voor verschillende klimaatscenario's
Landelijk Informatie-systeem Water en Overstromingen (LIWO)	Wateroverlast & overstromingen nu en in de toekomst	waterdiepte-kaarten, kaarten overstromings-scenario's, kaarten overstromingsduur, wateroverlastkaarten.	Verschillende herhalingstijden en tijdshorizons.
KNMI'23 – klimaatscenario's Dataportaal	Zeespiegel, Temperatuur, Neerslag, Droogte, Verdamping, Vochtigheid, Zonnestraling, Mist en Wind	Landsdekkende kaarten, landelijke gemiddelden, Verandering per weerstation.	Referentieperiode, 2033, 2050, 2100 en 2150 voor alle klimaatscenario's

Tabel 4.1: Overzicht van informatie en kaartmateriaal dat beschikbaar is op de Klimaat-effectatlas, het LIWO en het KNMI-klimaatdataportaal.

Het advies is om elk scenario, maar in ieder geval twee uitersten, als een mogelijke toekomst te beschouwen en op basis daarvan een risicoanalyse uit te voeren voor verschillende klimaatdreigingen. Dit helpt om een breed scala aan mogelijke toekomstige omstandigheden te begrijpen, waardoor de verandering van de belangrijkste risico's kan worden vastgesteld. In veel gevallen zijn er binnen deze klimaatscenario's data en informatie beschikbaar over de kans en intensiteit van klimaatdreigingen in een veranderende toekomst. De informatiebronnen worden kort beschreven in paragraaf 4.3.3.

4.3.3 Openbaar beschikbare bronnen

Bij het vaststellen van klimaatdreigingen is het gebruik van betrouwbare data van groot belang. Hiervoor zijn verschillende databronnen bruikbaar die inzicht bieden in zowel huidige als toekomstige dreigingen. Hiernaast is een overzicht gegeven van een aantal publieke databronnen (zie ook voorbeeld 4.3).

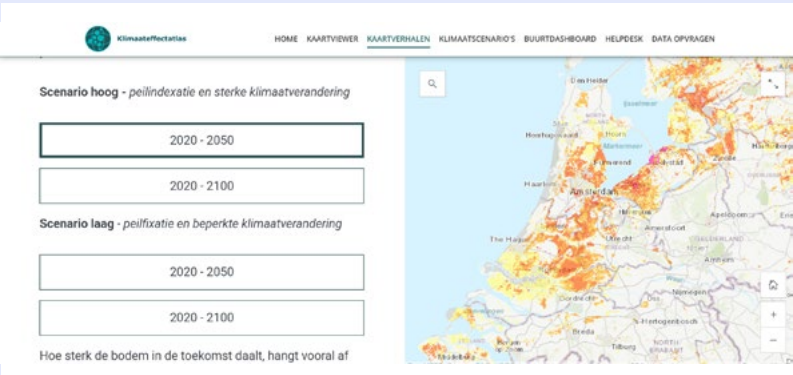
Klimaat Adaptatie Nederland - DPRA bijsluit

In de bijsluit van DPRA-stresstesten (gepubliceerd op de website van Klimaat Adaptatie Nederland) wordt per thema aangegeven welke openbaar beschikbare basisbronnen gebruikt kunnen worden bij het uitvoeren van de stresstest en welke bronnen gebruikt kunnen worden om informatie te winnen over hoe de situatie eruit kan zien in de nabije toekomst. Ook wordt voorgeschreven welke klimaatdreigingen, herhalings-tijden en tijdshorizon minimaal moeten worden geanalyseerd in de DPRA stresstest (zie [uniforme uitgangspunten voor DRPA-stresstests](#).) De informatie uit de DPRA bijsluit is terug te vinden in de klimaat-effectatlas, die hieronder wordt beschreven.

De adviezen per thema zijn in het kort als volgt:

Voorbeeld 4.3: beschikbare klimaatdreigingsdata voor een toekomstige situatie

Voor bodemdaling zijn kaarten gemaakt voor de periodes 2020-2050 en 2020-2100 voor twee klimaatveranderingsscenario's: beperkte klimaat-verandering en sterke klimaatverandering. Afhankelijk van het doel van de risicoanalyse kan een keuze worden gemaakt voor het scenario dat wordt geanalyseerd.



Figuur 4.4: Screenshot van het kaartverhaal 'bodemdalingsvoorspellingskaarten' van de klimaateffectatlas

1. **Wateroverlast:** Gebruik historische neerslaggegevens, actuele regen-valmetingen en wateroverlastkaarten om de dreiging van wateroverlast in kaart te brengen.
2. **Hitte:** Analyseer temperatuurgegevens en hittegolven om de gevolgen van extreme hitte op de infrastructuur en dienstverlening te beoordelen.
3. **Droogte:** Maak gebruik van droogte-indexen en grondwaterstanden om de risico's van droogte, zoals bodemdaling, te evalueren.
4. **Overstromingen:** Raadpleeg overstromingskaarten en dijkdoorbraak-scenario's om de dreiging van overstromingen te bepalen.

Kennisportaal Klimateffectatlas

De Klimateffectatlas is een bundeling van een breed scala aan beschikbare klimaat-dreigingsinformatie, zoals hitte, droogte, wateroverlast en overstromingen. De klimaat-effectatlas bevat kaart-informatie en kaart-verhalen voor klimaatdreigingen in het huidige klimaat, en in de meest gevallen ook voor het klimaat in 2050 en/of 2100 met de KNMI-scenario's als uitgangspunt. Ook is er een overzichtelijk dashboard beschikbaar dat inzicht geeft in de klimaatscenario's in relatie tot klimaatdreigingen. Daarnaast is er een buurtdashboard waarin naast een aantal klimaat-dreigingen ook socio-economische informatie beschikbaar is gesteld.

Landelijk Informatiesysteem Water en Overstromingen (LIWO)

Het LIWO bevat kaartlagen die inzicht geven in wateroverlast en overstromingen. Door gebruik te maken van actuele en historische data, biedt LIWO een gedetailleerd overzicht van zowel huidige als toekomstige dreigingen. Dit helpt bij het plannen en uitvoeren van maatregelen om water-gerelateerde risico's te beheersen.

KNMI'23-klimaatscenario's Dataportaal

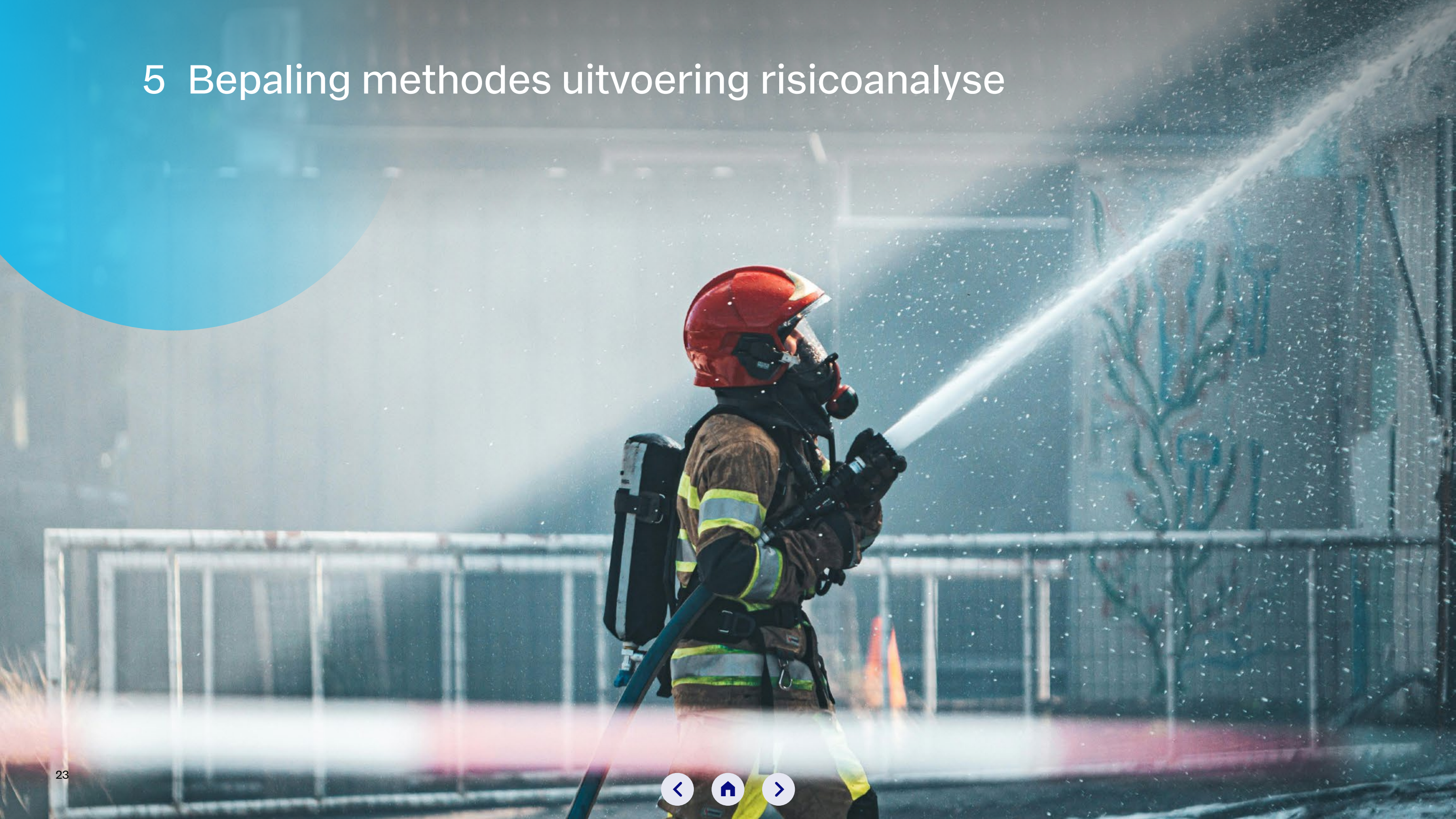
Het dataportaal van het KNMI bevat alle beschikbare data van de KNMI'23-klimaatscenario's (Hoofdstuk 4.3.2) en is beschikbaar voor de huidige referentieperiode alsook een gemiddelde verandering over 30 jaar gericht op een toekomstige tijdshorizon in de toekomst (2033, 2050, 2100 en 2150). De variabelen beschikbaar zijn: Zeespiegel, Temperatuur, Neerslag, Droogte, Verdamping, Vochtigheid, Zonnestraling, Mist en Wind.

Deze data is beschikbaar als landelijk gemiddeld, maar ook als landelijk beschikbare gegridde data (12x12 km²). Tot slot is voor weerstations in Nederland bepaald hoe deze zullen gaan veranderen naar de toekomst. Deze data is niet altijd direct bruikbaar voor de risicoanalyse, omdat deze data nog moe worden gerelateerd aan de klimaatdreiging. Toch kan de informatie helpen om de dreigingsdata aan te passen naar de wensen van de risicoanalyse (zie Voorbeeld 4.4). Wanneer specifieke klimaat-scenario's of gedetailleerde dreigingsbeelden nodig zijn, kunnen ook kennisinstellingen worden benaderd voor aanvullende inzichten of maatwerk. Zij beschikken vaak over de expertise en modellen om scenario's te vertalen naar relevante dreigingsinformatie voor een specifieke regio of sector.

Voorbeeld 4.4: aanpassen van dreigingskaart op basis van klimaatscenario-informatie

Wanneer aanpassing van een dreigingskaart gewenst is, kan gebruik worden gemaakt van basisklimaatinformatie. Stel bijvoorbeeld dat de impact van hitte in het jaar 2050 geanalyseerd moet worden. In dat geval kan de bestaande kaart met gevoelstemperaturen worden aangepast op basis van informatie uit de KNMI-scenario's. In een hypothetisch voorbeeld wordt gekozen voor het scenario 'droog en heet', waarin de gemiddelde zomertemperatuur 4 graden hoger ligt dan in het huidige klimaat. Deze temperatuurstijging wordt vervolgens toegepast op de bestaande dreigingskaart, waardoor een aangepast beeld ontstaat dat gebruikt kan worden in een risicoanalyse voor 2050. De dreigingskaart van het huidige scenario wordt dan aangepast met +4 graden. Dit scenario kan dan gebruikt worden in de risicoanalyse.

5 Bepaling methodes uitvoering risicoanalyse



De **randvoorwaarden** van de analyse, in combinatie met de beschikbare data, bepalen welke methoden geschikt zijn voor het uitvoeren van een risicoanalyse. In de praktijk is de keuze voor een methode vaak een iteratief proces, waarbij de randvoorwaarden en databeschikbaarheid in samenhang worden vastgesteld en bijgesteld. Binnen de uitvoering van de risicoanalyse worden vier hoofdstappen onderscheiden:

- 1. [Blootstellingsanalyse](#)
- 2. [Gevolgenanalyse: fysieke schade](#)
- 3. [Gevolgenanalyse: maatschappelijke verliezen](#)

Nadat de risico analyse beschikbaar is kan vervolgens een afweging worden gemaakt.

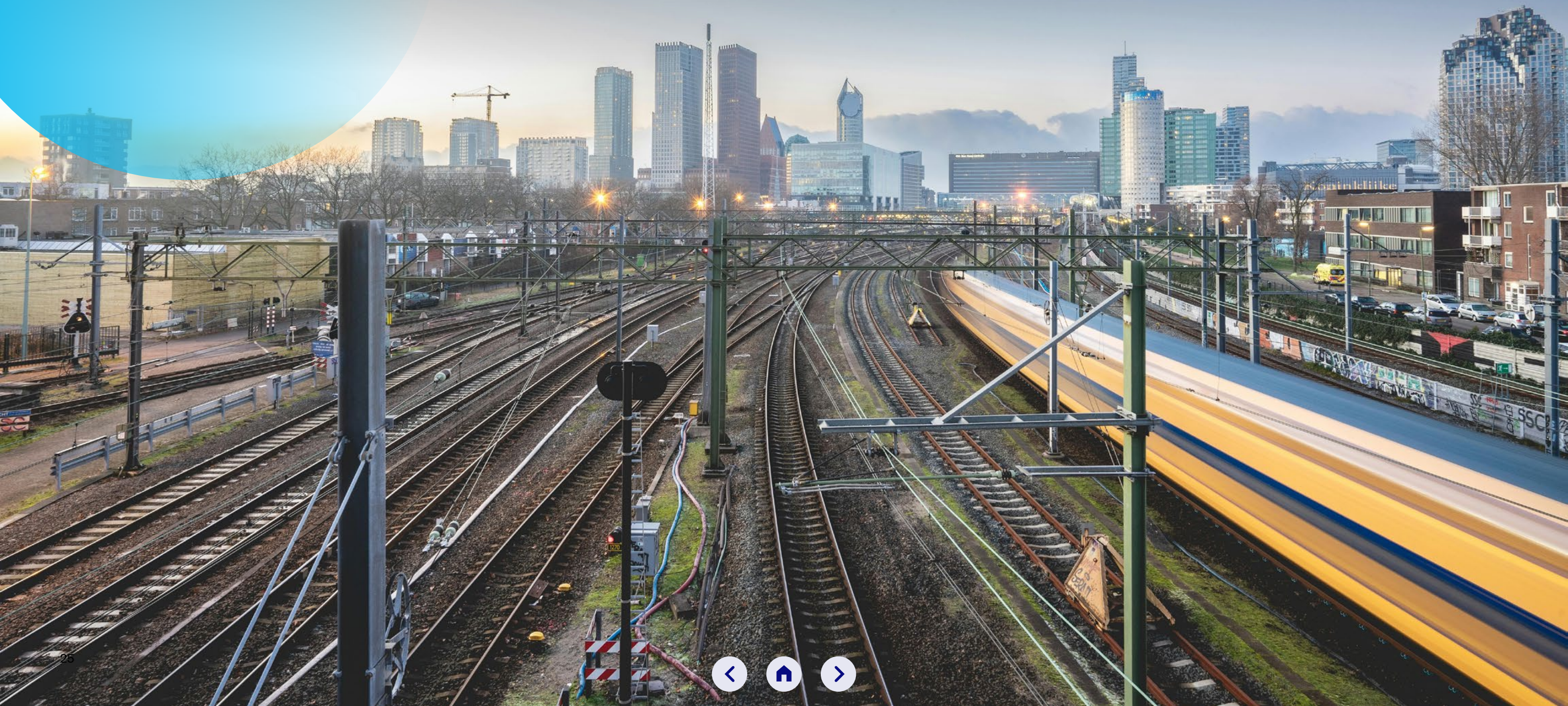
Afhankelijk van beschikbare data en de randvoorwaarden, kan per stap in de risicoanalyse gekozen worden voor een kwalitatieve, kwantitatieve of semi-kwantitatieve aanpak (een combinatie van beide). In algemene zin geldt dat een kwantitatieve analyse ruimtelijk specifieke inzichten kan opleveren, maar doorgaans een hoge databehoeftte heeft en meer tijd kost. Een kwalitatieve analyse vereist minder data, kan sneller worden uitgevoerd en biedt ruimte om ervaringen en zachte informatie mee te nemen. De resultaten geven over het algemeen minder ruimtelijke informatie en het is moeilijker om te gaan met onzekerheden. Hieronder worden enkele mogelijkheden gepresenteerd voor het bepalen van een passende aanpak bij risicoanalyses van klimaatdreigingen op vitale functies.

Analysestap (Figuur 1.2)	Kwalitatieve methode	Kwantitatieve methode	Databehoeftte voor kwantitatieve analyse
Blootstellings-analyse Hoofdstuk 6	Niet van toepassing; dreigings-beelden zijn meestal beschikbaar en maken kwantitatieve analyse mogelijk ⁵ .	Ruimtelijke overlap van locaties van asset-data en de dreigingsbeelden	Kaartbeelden met klimaatdreiging Ruimtelijke asset-data
Gevolgen-analyse: fysieke schade Hoofdstuk 7	Semi-kwantitatieve inschatting van fysieke schade op basis van gevolgenklassen.	Toepassing van schadefuncties (relatie tussen intensiteit van de dreiging en schade). Bij beschikbaarheid van meerdere herhalingstijden kan de jaarlijks te verwachten schade worden berekend.	Schadefuncties per assettype Blootstellingskaarten voor dreiging (mogelijk met verschillende herhalingstijden)
Gevolgen-analyse: maatschap-pelijke gevolgen door uitval (incl. cascade-effecten) Hoofdstuk 7	Expertinschattingen van drempel-waarden waarbij uitval optreedt. De blootstellingskaart dient als input om uitval te bepalen.	Berekening van het aantal getroffen personen, huishoudens of voertuigen, eventueel omgerekend naar economische schade, op basis van uitval assets of functieverlies via drempelwaarden. Bij meerdere herhalingstijden mogelijk ook berekening van naar jaarlijks te verwachten verliezen.	Drempelwaardes voor functieverlies Gebruikersdata in gebieden Euro's verlies als een functie uitvalt (bijvoorbeeld voertuig-verliesuren) Ruimtelijke klimaatdreigingsdata mogelijk met herhalingstijden
Vervolgstap: Risico-afweging Hoofdstuk 8	Multi-criteria-analyse waarna klimaatdreiging in afweegkader kan worden geplaatst	Plotten van de combinaties van herhalingstijden (kansen) en de berekende gevolgen op het afweeg-kader.	Resultaten uit voorgaande stappen Herhalingstijden Afweegkader

Tabel 5.1: Opties voor kwalitatieve en/of kwantitatieve methodes met de daarbij bijbehorende databehoeftte per analysestap.

5 Ook wanneer er geen gedetailleerde gegevens beschikbaar zijn over assets, kunnen op basis van aannames en expertinschattingen nog steeds semi kwantitatieve inzichten worden verkregen. Voor deze doelgroep is dit minder relevant, maar het biedt wel een alternatief bij beperkte databeschikbaarheid.

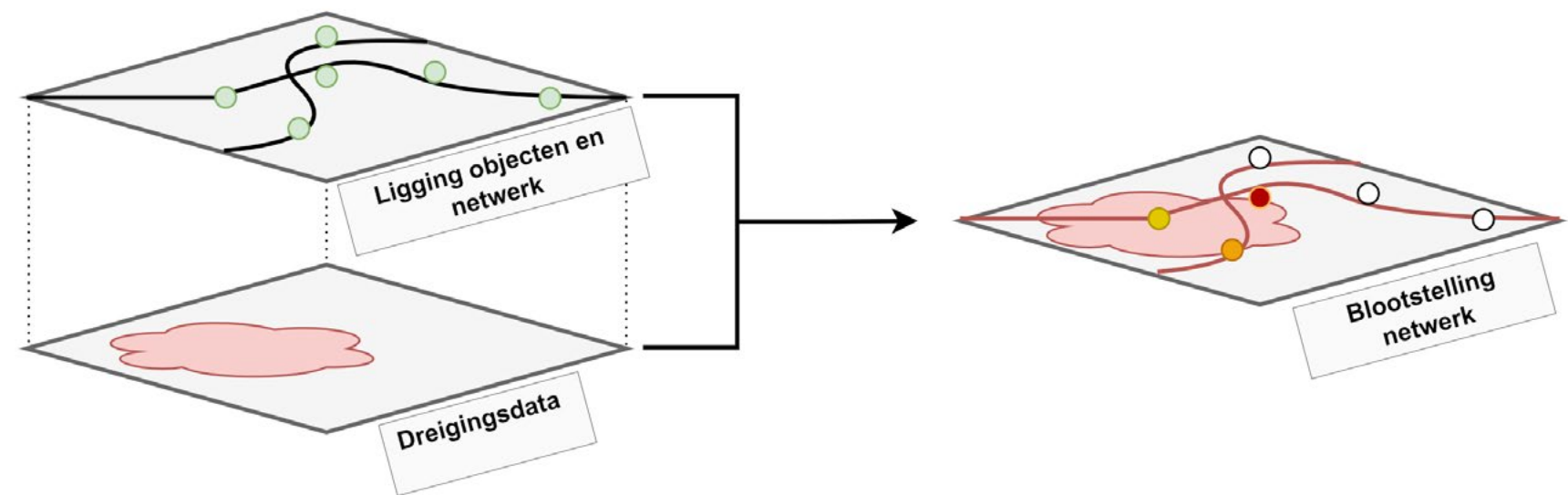
6 Blootstellingsanalyse



Om de kwetsbaarheid van vitale functies in kaart te brengen, is het noodzakelijk vast te stellen of deze functies worden blootgesteld aan een klimaatdreiging. Dit gebeurt in de zogenoemde blootstellingsanalyse. Hierbij wordt informatie over de locatie en intensiteit van de klimaatdreiging gecombineerd met de ruimtelijke ligging van netwerkassets (Figuur 6.1) Op basis van deze analyse kan ruimtelijk worden bepaald welke assets worden blootgesteld aan de dreiging, en in welke mate.

De blootstellingsanalyse kan uitgevoerd worden in een GIS-omgeving of geavanceerd rekenmodel. Hiervoor is het wel nodig dat zowel de gegevens over de dreigingsdata als de ligging van de assets ruimtelijk bekend zijn (voor meer informatie over de data-eisen zie Hoofdstuk 4.1).

De uitvoering van de blootstellingsanalyse verschilt per klimaatdreiging. In sommige gevallen kan de analyse worden uitgevoerd door een directe ruimtelijke overlap van dreigingsdata met assetlocaties. Het is daarbij wel van belang om pragmatisch te kijken naar de geometrie en eigenschappen van de asset zelf, zoals de fundering en/of de consequenties van blootstelling. Afhankelijk van de complexiteit van de asset en de dreiging kan dit nadere analyse vragen. Voorbeelden hiervan zijn: het bepalen van de mate van hitte waaraan assets worden blootgesteld (en indien mogelijk de duur); het vaststellen van zakkingsgevoeligheid van assets op basis van een bodemdalingskaart in combinatie met andere gevoeligheidsfactoren (zoals type fundering); of het berekenen van waterdieptes per asset bij verschillende overstromingsscenario's. In andere gevallen is het noodzakelijk om een ruimtelijke buffer of afstand tot een asset mee te nemen in de analyse. Een voorbeeld hiervan is het bepalen welke assets zich in de nabijheid bevinden van brandgevoelige gebieden bij de analyse van natuurbranden.



Figuur 6.1: Schematisatie van een blootstellingsanalyse

7 Gevolgenanalyse



De **blootstellingsanalyse** geeft informatie over de locaties waar een klimaatdreiging plaats vindt, maar zegt nog niet hoe groot de gevolgen zijn op de locaties. Hierin worden twee type gevolgen onderscheiden: fysieke schade aan de infrastructuur(assets); en de gevolgen door de uitval van de functie, voor de gebruiker en/of maatschappij.

- Om de gevolgen van functieverlies in beeld te brengen moeten achtereenvolgens de volgende vragen beantwoord worden:
1. Welke indicatoren kunnen gebruikt worden voor het bepalen van de gevolgen?
 2. Vanaf welke blootstelling valt de functie uit of treedt er schade op?
 3. In welke mate valt de functie uit en hoe lang duurt de uitval?
 4. Hoe groot zijn de gevolgen?
 5. Is er sprake van mogelijke keteneffecten?
 6. Welke andere brede gevolgen zijn er door uitval van de functie?

In dit hoofdstuk wordt eerst toegelicht hoe de gevolgenanalyse kan worden afgestemd op de besluitvormingscontext (Paragraaf 7.1), gevolgd door een overzicht van indicatoren die gebruikt kunnen worden om de gevolgen van klimaatdreigingen te bepalen. Tot slot wordt uitgelegd hoe fysieke schade aan infrastructuur (Paragraaf 7.2) en maatschappelijke verliezen (Paragraaf 7.3) bij uitval van functies kunnen worden gekwantificeerd, bijvoorbeeld in termen van gebruikersimpact, economische schade of bredere maatschappelijke gevolgen.

7.1 | Aansluiten bij de besluitvormingscontext

Bij het bepalen welke gevolgen relevant zijn om mee te nemen, is de **besluitvormingscontext** leidend. Deze context, zoals beschreven in Hoofdstuk 2, vormt het kader voor het beoordelen van risico’s en het nemen van besluiten. De besluitvormingscontext (waarin onder andere de normen en/of verplichtingen voor de vitale aanbieder zijn opgenomen) geeft bijvoorbeeld richting aan welke gevolgen relevant zijn voor de organisatie of het netwerk en welke indicatoren gebruikt worden om impact te meten. Ook de **doelstelling** en de **randvoorwaarden** van de opdracht (Hoofdstuk 3) spelen hierbij een rol.

Door het gebruik van gevolgindicatoren die aansluiten bij de besluitvormingscontext, wordt gewaarborgd dat de gevolgenanalyse relevant en bruikbaar is voor de organisatie. In veel gevallen kunnen deze indicatoren worden afgeleid van bestaande Key Performance Indicators (KPI’s), bijvoorbeeld op het gebied van leveringszekerheid, veiligheid of duurzaamheid. Door deze koppeling ontstaat consistentie tussen de klimaatrisicoanalyse en reguliere sturings- en verantwoordingsprocessen (Tabel 7.1).

Indicatoren kunnen betrekking hebben op verschillende aspecten van functieverlies, zoals beschikbaarheid, veiligheid, duurzaamheid, milieu-impact en maatschappelijke gevolgen. Ze helpen om zowel de mate van functieverlies als de waarde van dat verlies te duiden.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van mogelijke indicatoren, inclusief suggesties voor kwantificering en waardering van gevolgen. Deze lijst is niet uitputtend, maar biedt een basis voor verdere uitwerking per vitale functie. Voor verdere inspiratie is in bijlage B een tabel opgenomen met mogelijke indicatoren per KPI voor het wegennet.

Indicator	Kwantificatie	Waardering gevolgen
Beschikbaarheid	% leveringszekerheid,	Functieverlies uren, Aantal getroffen personen, huishoudens of voertuigen voor x uur
	% beschikbaarheid	Functieverlies uren, voertuigverliesuren, persoonsverliesuren, waarde van tijd
	% toename/afname reistijd	Verliesuren, economische waarde zakelijk reizen, economische waarde vrije tijd reizen
Betrouwbaarheid	% afwijking t.o.v. gemiddelde reistijd/vertragingen/wachttijd	Waarde van betrouwbaarheid, impact op gebruikers
	% afwijking t.o.v. gemiddelde gasdruk/waterdruk of geplande frequentie	Waarde van betrouwbaarheid, impact op gebruikers
Duurzaamheid	% vermindering levensduur	Aantal assets getroffen waarbij levensduur is gehalveerd.
	% hergebruik van materiaal	vervangingskosten
Veiligheid	Aantal incidenten	Aantal letsels of slachtoffers, verslechterde gezondheid
Milieu & maatschappij	CO2 emissies (bij alternatieve distributie/routes), verslechtering waterkwaliteit	Sociale kosten van koolstof, impact op ecosysteemdiensten
	% bevolking zonder toegang basisvoorzorgingen	Sociale uitsluiting
Imago	Aantal klachten bij storing/uitval, negatieve mediaberichten/-aandacht	Reputatieschade, verlies van vertrouwen, verlies van gebruikers

Tabel 7.1: Overzicht van indicatoren voor het bepalen van gevolgen van klimaatdreigingen (gebaseerd op Tabel 5 uit Deliverable 2.2 van ICARUS project (Bles, et al., 2023)).

7.2 | Fysieke schades en schadefuncties

Fysieke schades worden veel gebruikt voor het bepalen van de gevolgen door klimaatdreigingen. Deze worden meestal uitgedrukt in schades in Euro, of herstelkosten. Hiervoor worden de blootstellingskaarten omgerekend naar te verwachten schade. Dat is doorgaans goed mogelijk met behulp van schadefuncties (zie Voorbeeld 7.1). Een schadefunctie geeft de relatie tussen de mate van blootstelling aan een klimaatdreiging (de intensiteit van de klimaatdreiging) en hoeveel schade daardoor optreedt.

Schadefuncties kunnen beschikbaar zijn voor de verschillende detailniveaus, van individueel asset-niveau tot het niveau van volledige netwerken.

- Op **asset-niveau** bieden schadefuncties inzicht in de verwachte herstelkosten van specifieke assets. Het toepassen of opstellen van een passende schadefunctie vereist gedetailleerde inhoudelijke kennis. Daarnaast is het noodzakelijk dat de blootstelling per asset in kaart is gebracht.
- Op **connectie-niveau** (of combinatie van assets) kan een geaggregeerde schade-analyse worden uitgevoerd. Voor infrastructuur zoals wegen bestaan schadefuncties die een indicatief beeld geven van de verwachte schade bij een bepaalde klimaatdreiging. Deze functies combineren de schade aan verschillende onderdelen, zoals verharding, bebording, taluds en elektrische installaties, tot één indicatieve schatting, zonder dat elk individueel onderdeel gedetailleerd in beeld hoeft te zijn.
- Op **netwerkniveau** kan gebruik worden gemaakt van historische data over eerdere klimaatdreigingen en de bijbehorende schade. Deze gegevens bieden waardevolle inzichten in de kwetsbaarheid van het netwerk als geheel en kunnen helpen bij het inschatten van toekomstige risico's.

In wetenschappelijke literatuur zijn overzichten waarin schadefuncties beschikbaar zijn voor diverse scenario's en typen infrastructuur⁶. Zo is er bijvoorbeeld recent een wetenschappelijk artikel verschenen waarin [een database is opgesteld met schadefuncties voor allerlei verschillende typen infrastructuur](#). Bij gebruik van een schadefunctie uit de literatuur moet altijd worden vastgesteld of de curve geschikt is voor de situatie waarin deze wordt gebruikt. Met name moet worden gecontroleerd of de

eigenschappen van de asset (ontwerp, gebruikte materialen, staat van onderhoud, et cetera) voldoende overeenkomen met de asset uit de literatuur.

Als er uit de literatuur geen schadefunctie bekend is die voldoende aansluit bij de eigenschappen van de infrastructuur, kan een schadefunctie worden opgesteld. Zie hiervoor bijlage C.

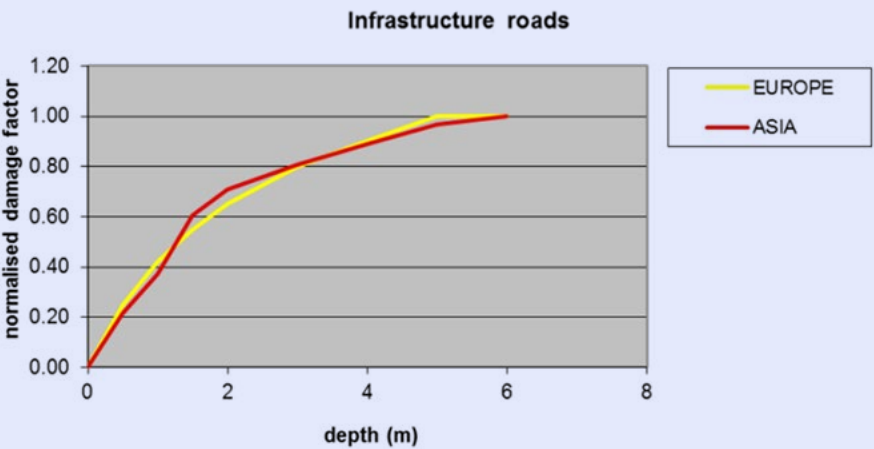
Voorbeeld 7.1: schadefunctie waterdiepte infrastructuur

Een bekend voorbeeld van een schadefunctie is die voor overstromingen, waarbij de waterdiepte afgezet wordt tegen de schadefactor (figuur 7.1). Hierbij wordt aangegeven bij welke waterdiepte een bepaald percentage schade optreedt: de schadefactor. De schadefactor wordt vaak ingeschat als het percentage schade ten opzichte van de maximaal mogelijke schade of de vervangings-/herstelkosten van een asset. De verwachte schade van een asset wordt uiteindelijk berekend door de schadefactor te vermenigvuldigen met de maximale herstelkosten van die asset.

Schade berekenen

Door de resultaten van de blootstellingsanalyse (zie Hoofdstuk 6) te combineren met de verkregen schadefuncties, kan de schade berekend worden. Dit is een analyse die in een GIS-omgeving of met scripting gedaan kan worden. Bij een analyse op assetniveau worden dan de volgende stappen uitgevoerd:

1. Bepaal het niveau van blootstelling (waterdiepte, temperatuur, et cetera);
2. Bepaal met de schadefunctie welke schadefactor daarbij hoort;
3. Bepaal de maximale herstelkosten van de asset;
4. Vermenigvuldig de schadefactor met de maximale herstelkosten van de asset en verkrijg op die manier de verwachte schade die hoort bij de mate van blootstelling.



Figuur 7.1: Voorbeeld van een schadefunctie (Huizinga, De Moel, & Szewczyk, 2017).

⁶ <https://nhess.copernicus.org/articles/24/4341/2024/> (artikel) en <https://zenodo.org/records/13889558> (database)

7.3 | Maatschappelijke verliezen

Naast fysieke schade kan door uitval van een asset of vitale functie leiden tot verliezen. Dit kan gevolgen hebben voor de bedrijfsvoering en gebruikers van vitale functies, zoals verminderde bereikbaarheid, verstoringen in het dagelijks leven of bedrijfsverliezen. Indirecte effecten, zoals impact op natuur of omgeving, kunnen eveneens optreden. Voor vitale aanbieders is het van belang deze maatschappelijke gevolgen mee te nemen in de risicobeoordeling. De inschatting van deze verliezen gebeurt op basis van kritieke uitvalwaarden, de duur en omvang van het functieverlies, en het effect daarvan. De eenheid waarin de gevolgen worden uitgedrukt is afhankelijk van de [besluitvormingscontext](#) en [afweegkader](#) alsook het doel en de [randvoorwaarden](#) van de opdracht (Hoofdstuk 3). Zie ook Tabel 7.1 met een aantal voorbeelden).

Afhankelijk van de beschikbare data en het doel van de analyse kan gekozen worden voor een kwalitatieve benadering (bijv. indeling in gevolgcategorieën) of een kwantitatieve aanpak (bijv. berekening van uitvalduur en gebruikersimpact). In de literatuur wordt hiervoor vaak gebruikgemaakt van een zogeheten resilience-functies / weerbaarheids-functies waarmee de gevolgen worden bepaald door een combinatie van functieverlies en duur van de uitval (zie Voorbeeld 7.2).

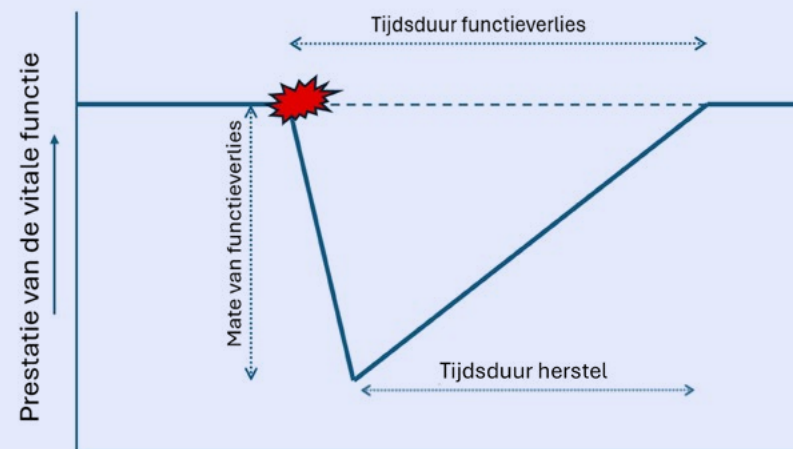
7.3.1 Kritieke uitvalwaardes en mate van functieverlies

Het moment waarop blootstelling aan een klimaatdreiging leidt tot het functieverlies van een asset, wordt aangeduid als de kritieke uitvalwaarde. Dit is de grenswaarde specifiek voor de combinatie van een bepaald type klimaatdreiging, zoals waterdiepte, temperatuur of bodemdaling, en een specifieke vitale functie waarbij een asset of vitale functie niet langer naar behoren functioneert.

Voor sommige dreigingen, zoals overstromingen, zijn reeds uitvalwaarden vastgesteld voor bepaalde infrastructuurnetwerken en hun assets (Voorbeeld 7.3). Voor andere dreigingen of specifieke assets moeten deze waarden mogelijk nog worden bepaald. Idealiter gebeurt dit op

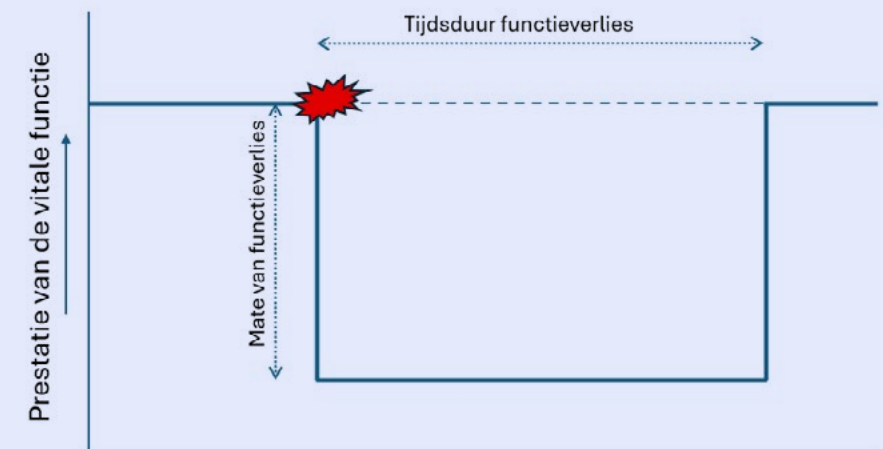
Voorbeeld 7.2: Een resilience-functie

In de literatuur wordt vaak gebruik gemaakt van een zogenaamde resilience-functie om de gevolgen over tijd in beeld te brengen. Deze functie laat, als een functie van de tijd, zien hoe een asset of netwerk functioneert totdat een bepaalde bedreiging zich voordoet die de functie verstoort en dus de prestatie van de functie verlaagt. Vervolgens kost het tijd alvorens de functie weer is hersteld. De oppervlakte onder de grafiek is feitelijk de verstoring die optreedt. Hieruit kan worden afgeleid:



- Hoe langer het herstel (en dus de verstoring) duurt, hoe meer gevolgen dit heeft
- Hoe groter de verstoring is (hoe dieper de prestatie valt), hoe meer gevolgen dit heeft

In werkelijkheid zal de functie er niet zo gestileerd uit zien. Voor modellering kan de functie nog verder worden versimpeld door er geen driehoek, maar een rechthoek van te maken (onderste figuur).



Figuur 7.2: Schematische weergave van een resilience-functie

basis van empirische gegevens, zoals storingsregistraties van beheerders. Als dergelijke data ontbreken, kunnen expertinschattingen worden gebruikt om tot een onderbouwde waarde te komen. De kennis over de schadefuncties (zie ook bijlage C) kan helpen om de kritieke uitvalwaarden te bepalen. Soms ontstaat uitval gelijk als schade optreedt. Maar soms kan de infrastructuur nog functioneren als er al enige mate van schade is.

Voorbeeld 7.3: Kritieke uitvalwaarden waterdiepte

In het werkpakket **wateroverlast en overstroming 2023-2024 NKWK klimaatbestendige stad** zijn kritieke uitvalwaarden van waterdiepte voor verschillende assets van vitale functies uitgewerkt. Onderstaande tabel toont een klein deel van deze waarden. In deze studie staat een uitgebreider overzicht, inclusief herstelduur en indicaties van redundantie voor bepaalde functies.

DPRA functie	DPRA subcategorie	Object	Kritieke uitvalhoogte (cm)	Effect uitval
Energie	Elektriciteit	Hoogspanningsstation	100 - 300	20,000-40,000 gebruikers (1 gebruiker = huishouden of fabriek)
		Middenspanningsstation	45 - 80	Wijk zonder stroom
		Laagspanningsstation/ Straatkast	20 - 30	Straat zonder stroom
Telecom	Publiek netwerk	Datacentra	50 - 100	Grote uitval van telefoon en internet
		Wijkkasten	40 - 50	Uitval van telefoon en internet

Tabel 7.2: Selectie als voorbeeld van kritieke uitvalwaarden voor verschillende assets van vitale functies (Honingh, et al., 2024).

Wanneer is ingeschat of een asset uitvalt als gevolg van blootstelling aan een klimaatdreiging, kan vervolgens een inschatting worden gemaakt van mogelijk functieverlies . Voor vitale aanbieders is het daarbij belangrijk om rekening te houden met redundantie in het netwerk. Uitval van een

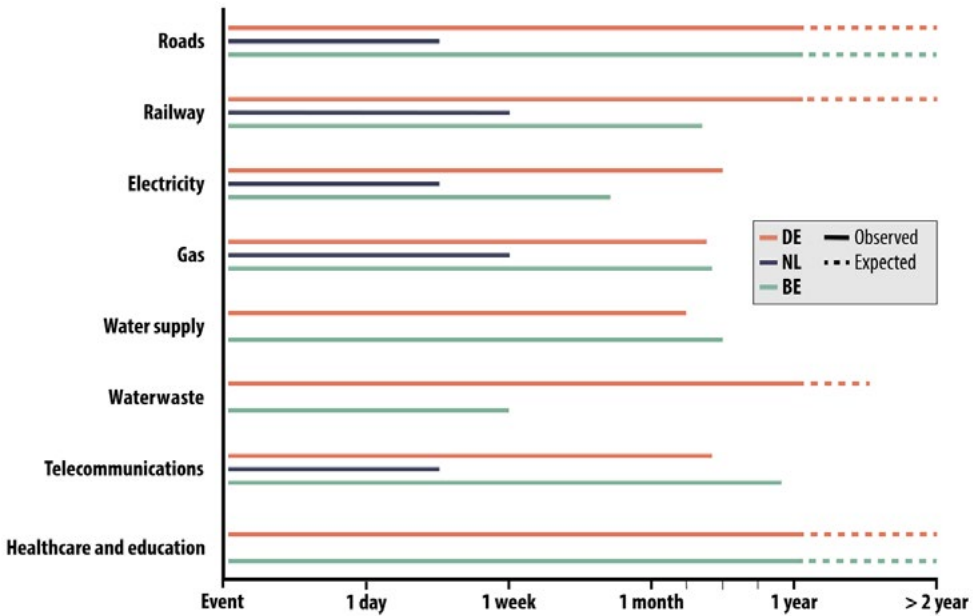
individuele asset leidt namelijk niet automatisch tot prestatieverlies van het netwerk. Bijvoorbeeld, wanneer de functie (deels) overgenomen kan worden door andere assets zoals bij mobiele telecommunicatie of wanneer stroom herleid kan worden.

Op basis van de geanalyseerde klimaatdreiging(en), de resultaten van de blootstellingsanalyse en de eerder vastgestelde kritieke uitvalwaarden, kan **een geschikte methode** worden gekozen om het functieverlies van het netwerk te bepalen. Zo kan een criticality analyse heel waardevol zijn door inzicht te bieden in het belang van individuele assets en verbindingen binnen een netwerk. De analyse laat zien welke assets het meest kritiek zijn voor de netwerkprestatie. Dit kan worden uitgedrukt in het mogelijke effect dat optreedt bij uitval van een specifiek onderdeel, bijvoorbeeld in termen van extra reistijd of omrijdafstand. Deze informatie kan bijvoorbeeld helpen in het bepalen van gevolgen voor gebruikers (Hoofdstuk 7.3.3). De gevolgen van uitval kunnen daarnaast ook worden geanalyseerd aan de hand van eerder opgestelde impactpaden, of via methoden zoals ‘Wat-als’-scenario’s of event-tree-analyses. Deze helpen om inzicht te krijgen in de consequenties van uitval, zoals de duur van de verstoring en de groepen of gebieden die hierdoor worden getroffen.

7.3.2 Duur functieverlies

De duur van het functieverlies is, naast de mate van verstoring, de belangrijkste parameter om de maatschappelijke verliezen in beeld te brengen (Figuur 7.2). De duur van functieverlies kan grofweg worden bepaald door sommatie van de duur van de klimaatdreiging met de benodigde hersteltijd van de functie (zie bijvoorbeeld Figuur 7.3 met hersteltijden van kritieke infrastructuur na de overstromingen in West-Europa in 2021). Informatie over de duur van de klimaatdreiging kan soms verkregen worden uit de informatie over de klimaatdreigingen (Hoofdstuk 4.3). Vaak zijn deze data niet volledig toereikend en moet deze nog aangevuld met expert-inschattingen.

Voor de (verwachte) hersteltijd van de functie kan mogelijk worden verkregen via assetmanagement of *business continuity management* binnen de organisatie. Daarbij moet worden meegewogen of beschadigde assets volledig vervangen moeten worden, of dat noodmaatregelen kunnen worden getroffen om de functie sneller te herstellen. Wanneer meerdere typen assets zijn beschadigd zijn en er schaarste is in herstel-mogelijkheden, is het mogelijk zinvol om te bepalen welke asset de langste herstelduur heeft of welke functie leidt tot de grootste gevolgen (zie ook 7.3.3), bijvoorbeeld omdat het een groot gebied bedient of omdat er mogelijk andere onderdelen van het netwerk van afhankelijk zijn.



Figuur 7.3: Verwachte en geobserveerde duur van herstelwerkzaamheden na de overstromingen van 2021 in België, Duitsland en Nederland (Koks et al., 2022). Geen blauwe lijn betekent dat er geen impacts zijn geobserveerd.

7.3.3 Kwantificeren gevolgen

De kwantificering kan plaatsvinden op basis van verschillende typen indicatoren, zoals beschreven in Hoofdstuk 7.1. Afhankelijk van de aard van de functie en de beschikbare data kunnen gevolgen worden uitgedrukt in bijvoorbeeld:

- Aantal getroffen gebruikers per uur (personen, huishoudens, voertuigen)
- Tijdverlies (functieverliesuren, voertuigverliesuren, wachttijd, vertraging)
- Economische schade (herstelkosten, productiviteitsverlies, waarde van reistijd)
- Milieu-impact (extra CO₂-uitstoot, verslechtering van waterkwaliteit, etc.)
- Sociale gevolgen (verlies van bereikbaarheid, isolatie, verlies van inkomen)
- Veiligheidsrisico's (toename incidenten, letsels of gezondheidsklachten)

Het kwantificeren van de gevolgen in deze eenheden maakt het mogelijk om verschillende scenario's en functies met elkaar te vergelijken. Daarmee kan het als basis dienen voor de risicobeoordeling, de prioritering van maatregelen en de besluitvorming.

Voor sommige indicatoren zijn normen of drempelwaarden bekend die aangeven vanaf welk punt sprake is van een significante impact. In andere gevallen is het nodig om expertinschattingen, modelberekeningen of ervaringsdata te gebruiken om de gevolgen te schatten. Voorbeeld 7.4 hieronder toont een uitwerking van het kwantificeren van de gevolgen voor gebruiker bij het uitval van het spoor.

Voorbeeld 7.4: bepalen persoonsverliesuren door uitval trein

In het onderzoek naar wateroverlast en kritieke infrastructuur (Water-overlast en kritieke infrastructuur: van blootstelling naar maatschappelijke impact: aanpak voor het bepalen van maatschappelijke impact van water-overlast toegepast op het spoor, 2025) worden de gevolgen van uitval van het spoor onder andere gekwantificeerd door te kijken het totaal aantal persoonsverliesuren; als gevolg van aantal getroffen gebruikers en de duur van het functieverlies. Hiervoor is een conceptuele formule ontwikkeld om de persoonsverliesuren van de gebruikers te bepalen:

$$\text{Persoonsverliesuren (PVU)} = FHD * UT * GR * t_{extra} \quad (\text{Verg. 2})$$

Waarbij:
FHD = de som van de duur van de wateroverlast, de reparatieduur van de spoorassets en de tijd tot de dienstregeling volledig is hervat
UT = aantal uitgevallen treinen per uur
GR = aantal getroffen reizigers per trein
t_{extra} = omreistijd per persoon in uren

Deze vergelijking is een vereenvoudiging van de werkelijkheid en berust op verschillende aannames, zoals gemiddeldes van UT en GR, de omreis-tijd als via het spoor wordt omgereisd en een lineaire verhouding tussen verliezen en tijdsduur.

Naast het berekenen van verliesuren kunnen deze ook gemonetariseerd worden. Dit is vooral relevant bij kosten-batenanalyses van adaptatiemaatregelen. Hiervoor kunnen bestaande kentallen worden gebruikt, zoals:

- **Value of Time (VoT)** voor reizigers (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2023)
- **VoertuigVerliesUren (VvU's)** voor wegverkeer
- **Value of Lost Load (VoLL)** voor elektriciteitsverstoringen (van Benthem, Kreulen, van Til, Behrens, & Brands, 2022)

Door verliesuren te vermenigvuldigen met deze waardes ontstaat een inschatting van de economische schade in euro's. Dit maakt het mogelijk om verschillende scenario's en maatregelen op een consistente manier te vergelijken.

Naast kwantificeerbare verliezen voor de maatschappij kan uitval van vitale functies brede maatschappelijke gevolgen hebben die op een kwalitatieve manier worden uitgemeten. De brede gevolgen die interessant zijn om mee te nemen vallen vaak binnen de categorieën die worden benoemd als bredere bedrijfsdoelen, zoals beschreven in de besluitvormingscontext (Hoofdstuk 2). Ze kunnen ook volgen uit een criticality-analyse. Effecten op deze categorieën kunnen worden geclassificeerd binnen kwalitatieve categorieën: van bijvoorbeeld ‘verwaarloosbaar’ tot ‘catastrofaal’. Het bepalen van de brede gevolgen kan bijdragen aan het beoordelen van risico’s van klimaatdreigingen en het afwegen van maatregelen. Dit kan op een semi-kwantitatieve manier door scenario’s te toetsen per categorie.

7.3.4 Verliezen door ketenafhankelijkheden of cascade-effecten
Wanneer een vitale functie uitvalt of beschadigd raakt, kunnen ook andere functies en netwerken worden beïnvloed. Dit komt door de onderlinge afhankelijkheden tussen vitale functies. Zo kan telecommunicatie uitvallen door een stroomstoring (ketenafhankelijkheid), wat op zijn beurt processen zoals het betalingsverkeer verstoort (cascade-effect). Dergelijke keteneffecten (het geheel aan ketenafhankelijkheden en cascade-effecten) versterken de maatschappelijke impact van het uitvallen van een vitale functie. In sommige gevallen kunnen back-upsystemen tijdelijk de afhankelijkheden opvangen en schade beperken. De afhankelijkheden zijn vaak complex en verschillen per functie.

Deltares heeft in 2023 een kennisoverzicht opgesteld wat betreft de ketenafhankelijkheden en cascade-effecten bij verschillende vitale functies in relatie tot wateroverlast. Dit is samengebracht in het rapport *Kennisoverzicht wateroverlast in relatie tot vitale en kwetsbare functies* (Meijer, Juch, van Marle, & Bles, 2023). Het resulterende overzichtstabel (opgenomen als bijlage D) kan een eerste inzicht geven in de keten-effecten per functie. Het volledige rapport met gedetailleerde toelichting is online beschikbaar via klimaatadaptatienederland.nl.

Voorbeeld 7.7: ICARUS categorieën co-baten en beoordeling

In ICARUS worden (brede) gevolgcategorieën beschreven en wordt een semi-kwantitatieve manier voorgesteld hoe deze kunnen worden beoordeeld.

Benefit/Co-benefit	Negative effect, -1	Neutral / no change, 0	Positive effect, +1
Availability	Decreased network availability	No change	Increased network availability
Durability	Decreased asset durability	No change	Increased asset durability
Impact on Safety	Increase in no. of collisions	No change	Decrease in no. of collisions
Impact on Health	Negative health impacts	No change	Positive health impacts
Ecosystem Services	Decrease in level of greening of area	No change	Increase in level of greening of area
Water Quality	Decrease in water quality	No change	Increase in water quality
Climate: Embodied carbon	Increase in carbon emissions	No change	Decrease in carbon emissions

Tabel 7.3: Overzicht van (brede) gevolgcategorieën (Bles, et al., 2023).

Het overzicht uit dit rapport kan dienen als vertrekpunt voor verdere analyse van keteneffecten, waarbij verschillende methoden kunnen worden ingezet om afhankelijkheden en gevolgen systematisch in kaart te brengen. Een aanbevolen aanpak is om te starten met het in kaart brengen van de ketenafhankelijkheden: de gevolgen die in de eigen functie ontstaan als andere functies uitvallen. Bijvoorbeeld: in een ziekenhuis kan de stroomvoorziening uitvallen als zowel het elektriciteitsnet als de noodstroomvoorziening faalt door overstroming.

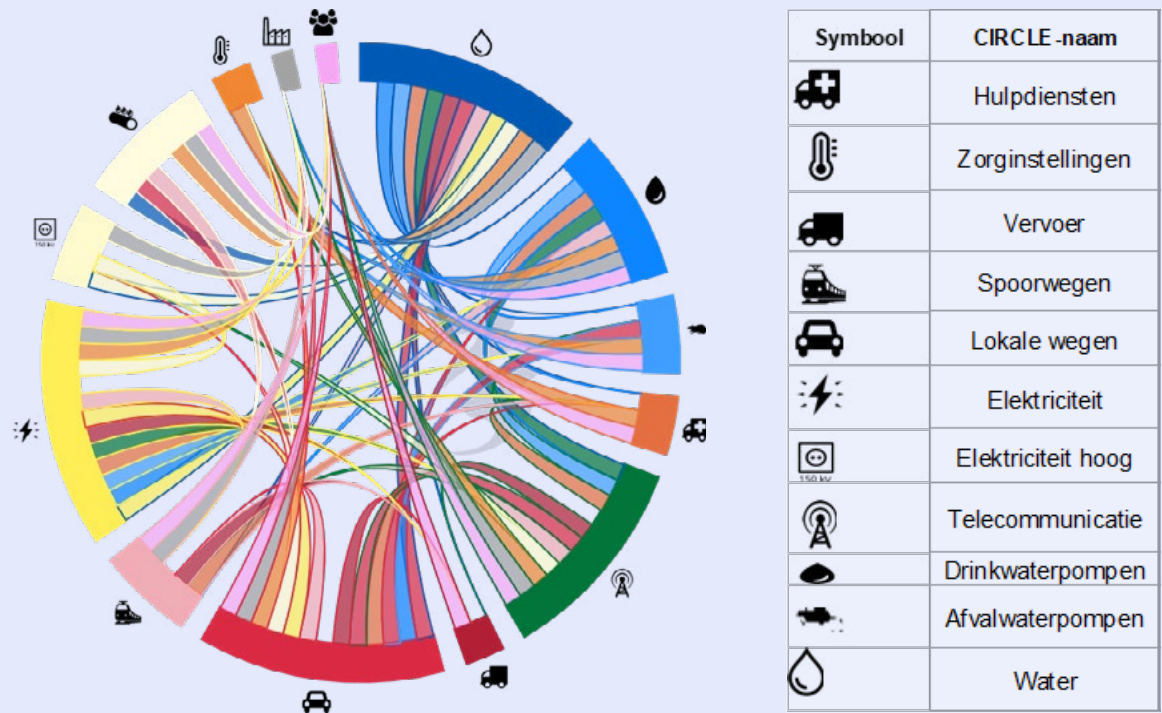
Vervolgens kan dan worden onderzocht hoe het uitvallen van de eigen functie andere functies beïnvloedt, de zogenoemde ‘cascade-effecten’. Uiteindelijk kan op deze manier voor een heel systeem of regio alle ketenafhankelijkheden en cascade-effecten in beeld worden gebracht.

In de voorbeeldkaders hieronder worden zowel een kwalitatieve (CIRCLE, Voorbeeld 7.5) en semi-kwantitatieve (Bow-tie, Voorbeeld 7.6) methode toegelicht die kunnen worden gebruikt bij het identificeren van ketenafhankelijkheden en cascade-effecten. De keteneffecten kunnen ook kwantitatief worden benaderd met behulp van modelleren of scripting. Mogelijk is in dat geval [data nodig van een andere vitale functie](#).

Voorbeeld 7.5: CIRCLE: Critical Infrastructure: Relations and Consequences for Life and Environment

De **CIRCLE methode** is een voorbeeld van een kwalitatieve of semi-kwantitatieve manier om inzicht te krijgen in de afhankelijkheden van functies of functie-onderdelen, zowel binnen de eigen organisatie als tussen verschillende netwerken. De methode hanteert de volgende stappen:

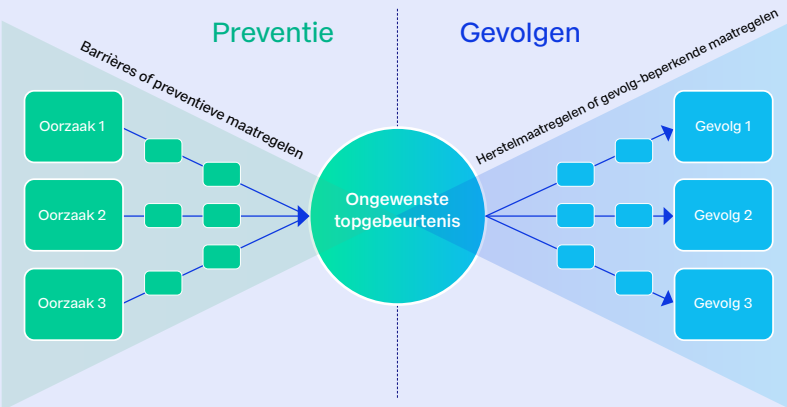
1. Bepaal welke onderdelen geanalyseerd worden.
2. Analyseer de onderdelen één voor één aan de hand van de volgende punten:
 - Als het geselecteerde onderdeel uitvalt, welke andere onderdelen ondervinden daar dan negatieve effecten van? Met andere woorden, wie is afhankelijk van welk onderdeel?
 - Noteer de effecten die door experts worden genoemd (dit kan ook in een draaitabel format).
 - In de CIRCLE-tool is het mogelijk om informatie toe te voegen over kritieke uitvalwaardes, de mate van impact, een eventuele vertraging in uitval, hersteltijd en herstelkosten.
3. Maak de effecten van het falen van een bepaald onderdeel duidelijk in een Circle diagram (door gebruik te maken van de **CIRCLE-tool**) (Figuur 7.4) of maak zelf een draaitabel waarin de uitkomsten worden bijgehouden van de effecten van uitval op de ene functie op de andere functie.



Figuur 7.4: Voorbeeld van uitkomsten van een CIRCLE-workshop. Het diagram laat de onderlinge afhankelijkheden zien van verschillende infrastructurele functies

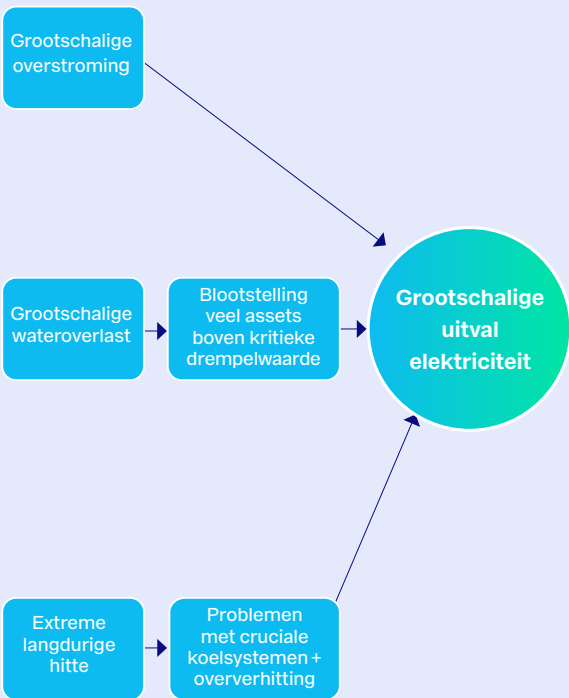
Voorbeeld 7.6: Bow-tie analyse / Vlinderdasanalyse

Een andere manier om cascade-effecten of ketenafhankelijkheden te benaderen, is door gebruik te maken van een bow-tie analyse (Figuur 7.5). Deze methode, gebaseerd op scenario-denken en gebruikt voor risicomanagement, kan ook worden toegepast op klimaatdreigingen en de effecten daarvan binnen de eigen organisatie. Hierbij kan een klimaatdreiging als oorzaak worden geplaatst en de uitval van een functie als ongewenste top-gebeurtenis, waarbij specifieke onderdelen van de organisatie in aanmerking worden genomen.

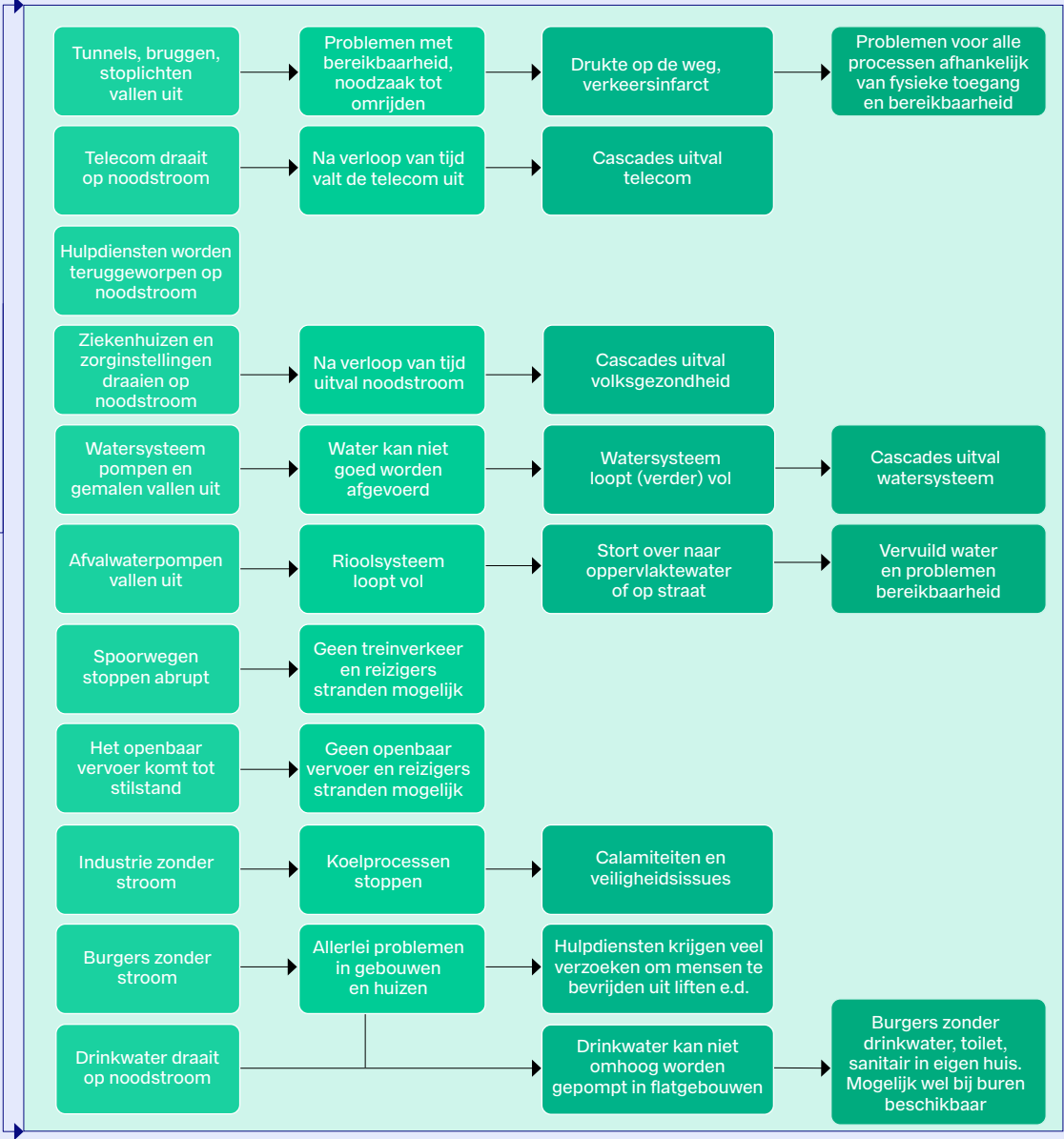


Figuur 7.5: schematische weergave van een bow-tie analyse, ook wel vlinderdasanalyse genoemd.

Figuur 7.6 laat een voorbeeld zien van een versimpelde bowtie analyse voor de uitval van elektriciteit volgend uit een CIRCLE workshop.



Figuur 7.6: Voorbeeld van een vereenvoudigde bow-tie analyse voor cascade-uitval van elektriciteit ten gevolge van klimaatdreigingen (Meijer, van Marle, & Bles, 2025)



8 Bepalen van de klimaatrisico's



Wanneer de gevolgenanalyse is uitgevoerd kan in combinatie met de kans de klimaatrisico's worden bepaald en afgewogen worden. Met de afweging wordt vastgesteld of de geïdentificeerde risico's (kans x gevolg) acceptabel zijn voor de bedrijfsvoering van de vitale aanbieder. Gevolgen zijn in kaart gebracht in de gevolgenanalyse; kansen worden vaak afgeleid uit scenario's met herhalingstijden. Bij gebrek aan kwantitatieve data kan expert-beoordeling worden ingezet voor een kwalitatieve inschatting van risico's.

8.1 | Plaatsen in besluitvormingscontext

In Hoofdstuk 2 is ingegaan op het belang om de besluitvormingscontext te kennen. De risicoanalyse is, als het goed is, afgestemd op deze besluitvormingscontext en moet de resultaten leveren die het mogelijk maakt om de risico's te evalueren in relatie tot de besluitvormingscontext. Feitelijk moeten de resultaten van de risicoanalyse langs het afweegkader worden geplaatst om vast te stellen of de gevonden risico's wel of niet acceptabel zijn.

Als er gebruik gemaakt wordt van KPI's dan is waarschijnlijk een vertaalslag nodig van de verkregen inzichten naar de KPI's. Vaak betekent dit dat de risico's/gevolgen geabstraheerd moeten worden naar het niveau van het gehele netwerk of van een bepaalde regio. Het gaat dan bijvoorbeeld om het totaal aantal getroffen personen, of het totaal aantal verliesuren, of een percentage beschikbaarheid van de service of het netwerk. Vervolgens kan eenvoudig bepaald worden of de klimaatdreigingen een acceptabele of onacceptabele invloed uitoefenen, door vast te stellen of de ambities van de KPI worden gehaald.

Als er gebruik wordt gemaakt van een risicomatrix (combinatie van kans en gevolg), dan moeten de verkregen inzichten in kans en gevolg, op het abstractieniveau van de matrix, worden geplot op de matrix. Sommige beheerders gebruiken een matrix waarbij kans en gevolg op asset-niveau

en/of per gebeurtenis worden beschouwd. Andere beheerders gebruiken een matrix om de kansen en gevolgen op jaarbasis voor het gehele netwerk te evalueren.

Hieronder staat een voorbeeld van hoe verschillende risico's geplot kunnen worden op een risicomatrix (Voorbeeld 8.1). Afhankelijk van de risicomatrix en de risico's voor de bedrijfsvoering, krijgt elke aanbieder een eigen resultaat. De positie van het risico op het afweegkader of de

risicomatrix geeft inzicht in of een risico acceptabel is voor de bedrijfsvoering van de vitale aanbieder of niet.

Idealiter worden zowel de directe schades als de maatschappelijke verliezen meegenomen in de risico-afweging. Bij het beoordelen van risico's is het namelijk belangrijk om te overwegen of het risico een gevaar vormt voor de eigen bedrijfsvoering en in welke mate, evenals de gevolgen op de maatschappij of gebruikers.

Voorbeeld 8.1: Risico's plotten op een risicomatrix

In het onderstaande voorbeeld zijn de klimaatdreigingen op de risicomatrix geplot door een inschatting van kans en gevolg.

Impact	5		R84 Severe Drought	R76 National Electricity Transmission, R95 Influenza-type Pandemic, T7 larger Scale CBRN Attacks		
	4	R71 Aviation Crash, R55 Fire or Explosion at a fuel distribution site, R57 Explosion at a high-pressure gas pipeline, R74 Reservoir/Dam Collapse, R66 Radiation Release from overseas	R77 Gas Supply Infrastructure, R68 High Consequence Dangerous Goods, L54b Fires in large public and commercial buildings	R83 Surface Water Flooding, R92 Severe Space Weather, L21 Fluvial Flooding		
	3	HL23 Bridge Collapse, HL34 Evacuation of passenger ship, HL22 Building Collapse, R75 Water Supply Infrastructure, R64 Large Toxic Chemical Release, R61 Fire and Explosion at an onshore fuel pipeline, L66 Incident caused by mishandling of radioactive material	R69 Food Supply Contamination, R80 Systemic Financial Crisis, L64 Localised industrial accident involving small toxic release, HL105 Complex Built Environments	R91 Low temperatures and heavy Snow, R96 Growth of Anti-Microbial resistance, R97 Emerging Infectious Disease, R85 Poor Air Quality, L19 Groundwater Flooding, HL19 Coastal/Tidal Flooding	R90 Heatwave, R87 Volcanic Eruption, R54 Major Fire, R63 Accidental Release of a Biological Substance, L54a Fires in purpose built high-rise flats, T2 Attacks on Infrastructure, T3 Attacks on Transport, T6 Medium Scale CBRN Attacks	R104 Public Disorder
	2	R67 Maritime Pollution, R62 Accidental Release of Biological Pathogen, R103 Insolvency affecting fuel supply	R78 Disruption to telecoms systems, R98 Animal Disease, R102 Industrial Action (fuel), HL10 Local Accident on Motorways/ Major Trunk Roads, R99 Industrial Action (firefighters),	L54d Wildfires, L54e Major fire in care homes and hospitals, R93 Storms and Gales, HL11 Railway Accident, HL21 Land Movement, R101 Industrial action public transport, L71b Small Aircraft Incident	R105 Influx of British Nationals, R72 Collapse of major government contractor, R73 Major Social care Provider, R79 Technological failure at a retail bank, R100 Industrial action (prison officers), T4 Cyber Attacks T5 Smaller Scale CBRN Attacks	L54c Fires involving landfill and waste processing sites, T1 Attacks on Publically Accessible Locations
	1	R70 Radiation exposure from stolen goods, R94 Earthquake	R29 Cyber-attack SWIFT system	R43 Undermining democratic activity		
		1 - Low	2 - Medium/Low	3 - Medium	4 - Medium/High	5 - High
		Likelihood				

Figuur 8.1: Voorbeeld van het plotten van risico's op een risicomatrix (London Resilience Forum, 2022).

8.2 | Multi-criteria-analyse

Wanneer er geen afwegingskader of risicomatrix beschikbaar is, of wanneer kansen en gevolgen kwalitatief zijn ingeschat, kan een multi-criteria-analyse worden ingezet om risico's te evalueren. Hierbij worden de effecten van verschillende klimaatdreigingen gecategoriseerd op basis van hun maatschappelijke gevolgen. Voor elke dreiging wordt vervolgens een risicomatrix opgesteld, waarin de ernst van de gevolgen per maatschappelijke categorie wordt weergegeven. Dit maakt het mogelijk om verschillende dreigingen met elkaar te vergelijken, zelfs als ze uiteenlopende soorten gevolgen hebben. Tot slot kunnen experts inschatten hoe waarschijnlijk het is dat elke dreiging zich voordoet, zodat een completer beeld van de risico's ontstaat.

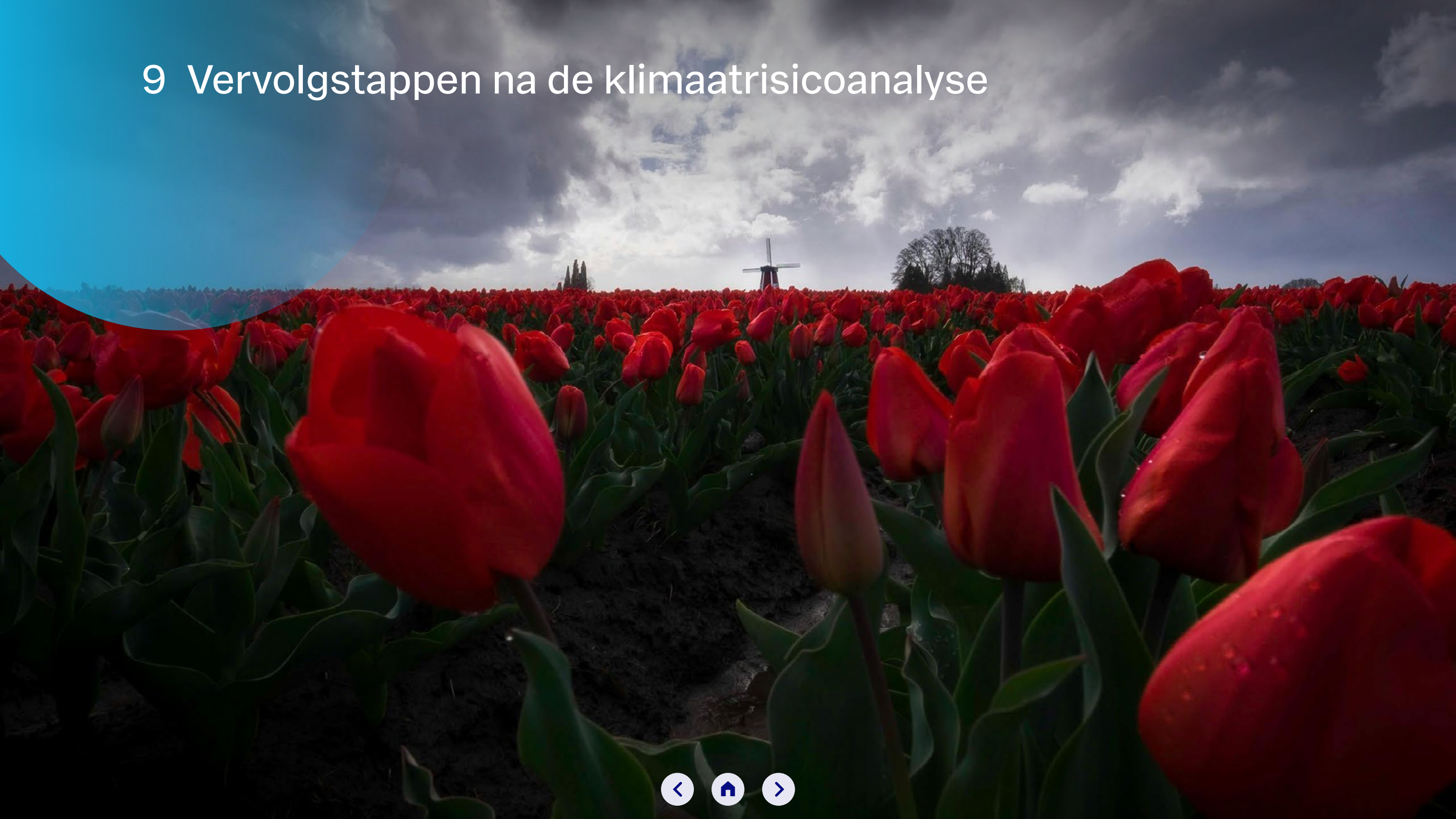
8.3 | Discussie over gevoeligheden en onzekerheden

Bij het interpreteren van de resultaten van een klimaatrisicoanalyse is het belangrijk om stil te staan bij de gevoeligheden en onzekerheden die inherent zijn aan dit soort analyses. De uitkomsten bieden waardevolle inzichten, maar zijn niet zonder beperkingen:

- **Onzekerheden in data en informatie:** De kwaliteit en beschikbaarheid van data spelen een grote rol. Onvolledige of verouderde gegevens kunnen leiden tot onnauwkeurige of beperkte conclusies.
- **Beperkte scenario's:** Veel risicoanalyses zijn gebaseerd op één specifiek klimaatscenario of extreem weergebeurtenis. Dit helpt om gevoel te krijgen voor mogelijke risico's, maar dekt niet de volledige bandbreedte van mogelijke toekomstige ontwikkelingen.
- **Complexiteit van keteneffecten:** Het is vaak lastig om keteneffecten en systeeminteracties goed mee te nemen, zeker voor individuele organisaties. Toch zijn deze effecten maatschappelijk gezien van groot belang en verdienen ze aandacht in de interpretatie van de resultaten.
- **Interpretatie vereist context:** De resultaten moeten altijd worden geplaatst in de context van de specifieke organisatie, sector en regio. Wat voor de één een groot risico is, kan voor een ander verwaarloosbaar zijn.

Dit vraagt om de uitkomsten van een risicoanalyse niet als absolute waarheden te beschouwen, maar als startpunt voor verdere dialoog, risicobewustzijn en beleidsontwikkeling (Hoofdstuk 9).

9 Vervolgstappen na de klimaatrisicoanalyse



Het uitvoeren van een klimaatrisicoanalyse (of stresstest) is nooit een doel op zich, maar een middel om gerichte vervolgstappen te zetten. Het uiteindelijke doel is om een geïnformeerde afweging te kunnen maken tussen de kosten van maatregelen en de baten van het voorkomen of beperken van schade. Zo kan de infrastructuur dusdanig klimaatbestendig worden ingericht dat verstoringen van het dagelijks leven en vitale processen worden voorkomen of tot een minimum beperkt blijven. Juist dan komt de meerwaarde van een risicoanalyse echt tot zijn recht.

Dit hoofdstuk biedt handvatten voor het interpreteren van de uitkomsten van een klimaatrisicoanalyse en het formuleren van vervolgstappen. Hoewel deze fase formeel buiten de scope van de handreiking valt - die zich primair richt op het bepalen van de klimaatrisico's - is het van belang om stil te staan bij de vervolgvraag: *wat doe je met de resultaten?* De vervolgstappen zijn uitgewerkt in bijlage E, waarin vier vragen worden onderscheiden:

- **Zijn de risico's (on)acceptabel?**

De belangrijkste vervolgstap na het bepalen van de klimaatrisico's is om te bepalen of de gevonden risico's acceptabel zijn. Hierbij wordt vastgesteld of de risico's — als combinatie van kans en gevolg — acceptabel zijn voor de bedrijfsvoering van de vitale aanbieder. Hoofdstuk 8 laat verschillende methoden om risico's te evalueren.

- **Input voor externe risicodialoog**

Daarnaast kunnen de bepaalde klimaatrisico's input leveren voor een externe risicodialoog. Een risicodialoog is een gestructureerd gesprek tussen verschillende stakeholders over de onzekerheden, risico's en kansen die een organisatie of regio kan tegenkomen. Het doel van een risicodialoog is om expliciet, realistisch en gestructureerd om te gaan met deze risico's en kansen, waarbij alle deelnemers vrijmoedig spreken en openhartig luisteren.

De aanwezigen zijn relevante stakeholders, waaronder interne afdelingen (zoals operationele teams, asset management, business continuity management en strategische planning) en externe partijen (zoals overheidsinstanties, lokale gemeenschappen en andere vitale aanbieders). Het betrekken van een breed scala aan stakeholders zorgt voor een breed begrip van de risico's en de mogelijke gevolgen op verschillende niveaus.

Tijdens de risicodialoog wordt besproken of de gevonden risico's acceptabel zijn. Dit houdt in dat er consensus moet worden bereikt over welke risico's als acceptabel worden beschouwd en welke niet. Dit proces helpt bij het prioriteren van risico's en het bepalen van de focus voor verdere vervolgstappen; zoals het identificeren en afwegen van maatregelen, het aanpassen van het ambitieniveau, en de implementatie in processen en handreikingen.

- **Welke maatregelen kunnen genomen worden?**

Wanneer blijkt dat risico's niet acceptabel zijn, vormt het verkregen inzicht een waardevolle basis om mogelijke maatregelen te verkennen. Deze maatregelen kunnen vervolgens helpen om de weerbaarheid te vergroten, de continuïteit van diensten te waarborgen en te voldoen aan de eisen die vanuit de overheid worden gesteld. Voor overheden kunnen de uitkomsten van de risicoanalyse aanleiding geven tot maatregelen op het niveau van gebiedsontwikkeling of tot aanpassingen in het beleid voor klimaatadaptatie. In Bijlage E.1 wordt uitgelegd hoe maatregelen kunnen worden geïdentificeerd en vervolgens afgewogen op basis van kosten en baten (zie ook Voorbeeld 9.1 op de volgende bladzijde). Hierbij wordt aangesloten op de eerder uitgevoerde risicoanalyse en de besluitvormingscontext.

- **Moet het ambitieniveau worden aangepast?**

Soms blijkt uit de evaluatie van maatregelen dat de investeringen (tijd, geld, capaciteit) te hoog zijn in vergelijking met de baten van de maatregelen. Dan kan overwogen worden om het ambitieniveau naar beneden bij te stellen. In Bijlage E.2 worden hiervoor twee opties besproken: het herzien van besluitvormingscriteria en het aanpassen van grenswaarden.

- **Hoe wordt gezorgd dat klimaatadaptatie wordt verankerd in de dagelijkse processen van de beheerder?**

Uiteindelijk is het essentieel dat het handelingsperspectief dat is verkregen ook wordt ingepast in de dagelijkse processen. Alleen dan vindt klimaatadaptatie de weg naar de praktijk. Bijlage E.3 beschrijft hoe dit kan worden gerealiseerd door het aanpassen van richtlijnen, kaders en normen, zodat klimaatadaptatie onderdeel wordt van de reguliere werkwijze.

De beschreven vragen/stappen vormen geen vast proces dat altijd volledig moet worden doorlopen. Afhankelijk van de situatie, beschikbare data, het type vitale functie en de besluitvormingscontext kan een aanbieder ervoor kiezen niet alle stappen toe te passen. De keuze voor een specifieke methode hangt af van de mate van detail in de risicoanalyse, het beschikbare afwegingskader en de behoefte aan participatie of verdieping via bijvoorbeeld een risicodialoog.

10 Referenties

Voorbeeld 9.1: Plasvorming op het hoofdwegennet

Voor de dreiging van plasvorming op het hoofdwegennet zijn maatregelen **afgewogen** op een kwantitatieve manier, en zijn ook co-baten (Bles & van Marle, 2024)

Deze afweging werd gemaakt met zowel schades voor de assehouder als verliezen voor de maatschappij en afgewogen tegen de implementatie- en onderhoudskosten voor een tijdsbestek van 30 jaar. De baten zijn daarbij berekend als een afname van de schades en verliezen, door het opnieuw doorrekenen van de risicoanalyse met de geïdentificeerde maatregelen. Op die manier kon een afweging worden gemaakt op welke plekken investering een financiële slimme keuze is. Op plekken waar de kosten en baten elkaar niet veel ontlopen is het meewegen van co-baten erg nuttig, en kan dit (in een risicodialoog) reden zijn om toch de maatregel toe te passen, en/of investeringen te delen met andere partijen.

Bles, T., & van Marle, M. (2024). *Advies Plan van Aanpak Stresstest. Deltares* (rapportnr.: 11210312-002-GEO-0001), in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. Opgeroepen op Augustus 2025

Bles, T. et al., (2019). *Progressing Road Infrastructure Resilience from Different Institutional Development Perspectives*. Deltares; The World Bank; Rijkswaterstaat; Washington State Department of Transportation. Opgehaald van <https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/183531/ip0388-bles-e-full.pdf>

Bles, T., van Marle, M. et al., (2023). *ICARUS Deliverable 2.2: Guidelines on using performance metrics to make the case for adaptation* (version 1.0). CEDR. Opgeroepen op Aug 2025, van <https://icarus.project.cedr.eu/wp-content/uploads/2023/09/D2.2-ICARUS-Guidelines-on-using-performance-metrics-to-make-the-case-for-adaptation.pdf>

Boer, R. ((n.d.)). *Risicomatrix*. Opgeroepen op Aug 2025, van LEAM: <https://leam.nu/risicomatrix/>

Costa, A. et al., (2019). *Mainstreaming disaster risk management to sustain local roads infrastructure: Risk assessment*. Deltares (rapportnr.: 11203028-002-GEO-0020). World Bank. Opgeroepen op Juni 2025, van <https://documents1.worldbank.org/curated/en/904061571298136932/pdf/Main-Report.pdf>

de Bruijn, K., & Maas, B. (2023). *Methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag: Ten behoeve van een landelijk uniform beeld*. Deltares (rapportnr.: 11209224-001-ZWS-0001), in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Water. Opgeroepen op Maart 2025

de Paor, C. et al., . (2024). *ICARUS Deliverable D2.3: Guidelines providing an overview of and characterisation of adaptation options, with recommendations on implementation*. CEDR. Opgeroepen op Feb 2025, van <https://icarus.project.cedr.eu/wp-content/uploads/2022/10/ICARUS-D2.3-v2.0.pdf>

De Vries, L. et al., (2024). *Handreiking bovenregionale stresstesten*. In opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Opgeroepen op Maart 2025, van <https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/231139/handreiking-bovenregionale-stresstesten-wateroverlast.pdf>

Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie. (2024). *Beoordelingskader kwaliteit DPRA-stresstesten*. in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Water. Opgeroepen op Augustus 2025, van <https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/231807/beoordelingskader-dpra-stresstesten-def.pdf>

Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie. (2024). *Bijsluitergestandaardiseerde stresstest*. Opgeroepen op Aug 2025, van KlimaatadaptatieNederland: <https://klimaatadaptatienederland.nl/stresstest/bijsluiters/>

European Parliament and Council. (2022). *Directive (EU) 2022/2557 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on the resilience of critical entities and repealing Council Directive 2008/114/EC*. Official Journal of the European Union. Opgeroepen op Mei 2025, van <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2557/oj/eng>

European Parliament and Council. (2023). *Directive (EU) 2022/2555 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on measures for a high common level of cybersecurity across the Union, amending Regulation (EU) No 910/2014 and Directive (EU) 2018/1972*. Official Journal of the European Union. Opgeroepen op Mei 2025, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022L2555>

Honingh, D. et al., (2024). *Werkpakket Wateroverlast en Overstroming 2023–2024: Vitale functies en risicodialoog*. NKWK Klimaatbestendige Stad (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie). Opgeroepen op Juni 2025, van https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/228716/eindrapport_pr4708_nkwk_kbs_wateroverlast_en_overstromingen_vitale_functies_risicodialoog-1-.pdf

Huizinga, J. et al., (2017). *Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines*. Publications Office of the European Union. doi:<https://doi.org/10.2760/16510>

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*. Deltares (raportnr.: 11209224-002-ZWS-0003), in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Opgeroepen op September 2025

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2023). *Nieuwe waarderings-kengetallen voor reistijd, betrouwbaarheid en comfort*. Opgeroepen op Mei 2025, van <https://www.kimnet.nl/documenten/2023/12/04/nieuwe-waarderingskengetallen-voor-reistijd-betrouwbaarheid-en-comfort>

Kolen, B. et al., (2020). *Waterrisicodiagram en overstromingsrisicoprofiel*. HKV. Opgeroepen op Juli 2025, van https://www.hkv.nl/wp-content/uploads/2020/08/Waterrisicodiagram-en-overstromings-risicoprofiel_BK.pdf

London Resilience Forum. (2022). *London Risk Register – Version 11*. Greater London Authority. Opgeroepen op Mei 2025, van https://www.london.gov.uk/sites/default/files/london_risk_register_version_11.pdf

Meijer, L. et al., (2023). *Kennisoverzicht wateroverlast in relatie tot vitale en kwetsbare functies*. Deltares (raportnr: 11209224-002-ZWS-0001), in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Water. Opgeroepen op Augustus 2025

Meijer, L. et al., (2025). *Klimaatdreigingen en vitale infrastructurele functies gemeente Amsterdam*. Deltares (raportnr: 11210680-002-GEO-0001), in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Water.

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2024). *Kamerbrief over voortgang van het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Energie en Klimaat (MIEK) en nationale energieprojecten*. Rijksoverheid. Opgeroepen op Mei 2025, van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2024/12/10/kamerbrief-voortgang-van-het-meerjarenprogramma-infrastructuur-energie-en-klimaat-miek-en-nationale-energieprojecten>

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2025). *Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUPKA)*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Opgeroepen op Maart 2025, van <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-2f1a2258b86c19919999b03a927ca9e3ba0498af/pdf>

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2025). *Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS)*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Opgeroepen op Maart 2025, van https://klimaatadaptatienederland.nl/publish/pages/120542/nas_rapport_5_2-1-1.pdf

Ministerie van Justitie en Veiligheid. (2023). *Nationale Veiligheidsstrategie voor het Koninkrijk der Nederlanden 2023–2029*. Rijksoverheid. Opgeroepen op Juni 2025, van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2023/04/03/veiligheidsstrategie-voor-het-koninkrijk-der-nederlanden>

Planbureau voor de Leefomgeving. (2024). *Klimaatrisico's in Nederland. PBL*. Opgeroepen op Mei 2025, van <https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-05/pbl-2024-klimaatrisicos-in-nederland-5359.pdf>

Ramsden-Knowles, B. et al., (2024). *Why the CER Directive matters for organisations*. PwC. Opgeroepen op Augustus 2025, van <https://www.pwc.com/gx/en/issues/crisis-solutions/critical-entities-resilience-directive.html>

van Benthem, M. et al., (2022). *The value of lost load for electricity in the Netherlands*. in opdracht van: Autoriteit Consument en Markt (ACM). Opgeroepen op Juni 2025, van <https://www.acm.nl/system/files/documents/bijlage-bij-besluit-rapport-the-value-of-lost-load-for-electricity-in-the-netherlands.pdf>

Bijlages

A Bestaande kaders

Er is een aantal bestaande kaders rondom de weerbaarheid en klimaatadaptatie van vitale functies. Hieronder wordt een aantal van deze kaders toegelicht om de context te schetsen waarbinnen deze handreiking moet worden geplaatst.

A.1 De Critical Entities Resilience (CER)-richtlijn en de Wet Weerbaarheid Kritieke Entiteiten (Wwke)

De Critical Entities Resilience (CER)-richtlijn en de uitvoering daarvan in Nederland in de vorm van de Wet Weerbaarheid Kritieke Entiteiten (Wwke) vormen samen een belangrijk kader voor het versterken van de weerbaarheid van vitale aanbieders tegen diverse dreigingen. De CER-richtlijn, geïntroduceerd door de Europese Unie, verplicht lidstaten om specifieke maatregelen te nemen om ervoor te zorgen dat essentiële diensten, die cruciaal zijn voor het functioneren van de samenleving en de economie, ononderbroken kunnen worden geleverd (European Parliament and Council, 2022).

De richtlijn richt zich op elf sectoren, waaronder energie, transport, water, gezondheid en digitale infrastructuur. Vitale aanbieders in deze sectoren moeten risicoanalyses uitvoeren en veerkrachtmaatregelen implementeren om hun diensten te beschermen tegen zowel natuurlijke als door de mens veroorzaakte dreigingen. Dit omvat het ontwikkelen van veerkrachtplannen en het opzetten van strikte procedures voor incidentmelding (European Parliament and Council, 2022; Ramsden-Knowles, et al., 2024)

De Wwke vertaalt de CER-richtlijn naar de Nederlandse context.

De Wwke vereist bijvoorbeeld dat vitale aanbieders regelmatig risicobeoordelingen uitvoeren en passende maatregelen nemen om hun weerbaarheid te vergroten. Dit omvat onder andere het uitvoeren van

stresstesten om kwetsbaarheden te identificeren en te adresseren (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2024)

Naast de CER-richtlijn is ook de NIS2-richtlijn van kracht, die zich richt op het versterken van de cyberweerbaarheid van essentiële en belangrijke entiteiten in de EU. De richtlijn verplicht organisaties in onder andere de energie-, zorg- en digitale sector tot strengere beveiligingsmaatregelen, risicobeheer en incidentrapportage om cyberdreigingen beter het hoofd te bieden (European Parliament and Council, 2023). Voor organisaties die onder de Cyberbeveiligingswet (Cbw) vallen, voortvloeiend uit NIS2-richtlijn, geldt dat zij niet alleen hun digitale systemen, maar ook de fysieke omgeving daarvan goed moeten beschermen. Ook binnen de Cbw zijn organisaties verplicht zich te wapenen tegen zowel kwaadwillige acties, zoals cyberaanvallen of sabotage, als andere risico's, waaronder natuurrampen en fysieke incidenten.

A.2 Nationale Adaptatie Strategie (NAS) & Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUP KA)

De Nationale klimaatadaptatiestrategie (NAS) is de overkoepelende strategie van Nederland om zich aan te passen aan de gevolgen van klimaatverandering (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2025). De NAS biedt een kader voor hoe Nederland klimaatbestendig kan worden en welke maatregelen nodig zijn om de weerbaarheid te vergroten. De eerste versie van de NAS werd gepubliceerd in 2016. Een vernieuwde versie wordt verwacht in 2026 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2025).

De NAS richt zich op het integreren van klimaatadaptatie in alle sectoren, zoals landbouw, gezondheid en infrastructuur, en benadrukt het belang van samenwerking tussen verschillende ministeries, kennisinstellingen en koepelorganisaties (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2025). Het benadrukt specifiek de noodzaak van stresstesten om de

kwetsbaarheden van vitale infrastructuren en diensten in kaart te brengen.

Het Nationaal Uitvoeringsprogramma Klimaatadaptatie (NUP KA) is ontwikkeld om de uitvoering van de NAS te versnellen en te intensiveren (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2025). Het NUP KA, geïntroduceerd in 2023, geeft inzicht in de huidige en toekomstige aanpak van klimaatadaptatie in Nederland. Het programma stelt concrete doelen en maatregelen voor om Nederland sneller klimaatbestendig te maken. Dit omvat onder andere het standaard meenemen van zeespiegelstijging, toenemende hitte, langere perioden van droogte en meer extreme neerslag in alle ontwikkelingsplannen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2025b). Stresstesten spelen een cruciale rol in dit uitvoeringsprogramma door te helpen bij het prioriteren van investeringen en aanpassingen. De resultaten van de stresstesten worden gebruikt om uitvoeringsagenda's op te stellen die gericht zijn op het versterken van de weerbaarheid tegen klimaatverandering. Het NUP KA benadrukt ook het belang van een inclusieve aanpak, waarbij alle betrokken partijen samenwerken om de weerbaarheid van mens, cultuur en natuur te vergroten (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2025).

A.3 Nationale veiligheidsstrategie

De Nationale Veiligheidsstrategie voor het Koninkrijk der Nederlanden is opgesteld om de nationale veiligheid te beschermen tegen een breed scala aan dreigingen. Deze strategie, die loopt van 2023 tot 2029, richt zich op het versterken van de weerbaarheid van Nederland door middel van drie hoofddoelstellingen en twaalf actielijnen (Ministerie van Justitie en Veiligheid, 2023). De strategie benadrukt het belang van samenwerking tussen verschillende overheidsinstanties, de private sector en maatschappelijke organisaties om een geïntegreerde aanpak te waarborgen.

Impact	5		R84 Severe Drought	R76 National Electricity Transmission, R95 Influenza-type Pandemic, T7 larger Scale CBRN Attacks		
	4	R71 Aviation Crash, R55 Fire or Explosion at a fuel distribution site, R57 Explosion at a high-pressure gas pipeline, R74 Reservoir/Dam Collapae, R66 Radiation Release from overseas	R77 Gas Supply Infrastructure, R68 High Consequence Dangerous Goods, L54b Fires in large public and commercial buildings	R83 Surface Water Flooding, R92 Severe Space Weather, L21 Fluvial Flooding		
	3	HL23 Bridge Collapse, HL34 Evacuation of passenger ship, HL22 Building Collapse, R75 Water Supply Infrastructure, R64 Large Toxic Chemical Release, R61 Fire and Explosion at an onshore fuel pipeline, L66 Incident caused by mishandling of radioactive material	R69 Food Supply Contamination, R80 Systemic Financial Crisis, L64 Localised industrial accident involving small toxic release, HL105 Complex Built Environments	R91 Low temperatures and heavy Snow, R96 Growth of Anti-Microbial resistance, R97 Emerging Infectious Disease, R85 Poor Air Quality, L19 Groundwater Flooding, HL19 Coastal/Tidal Flooding	R90 Heatwave, R87 Volcanic Eruption, R54 Major Fire, R63 Accidental Release of a Biological Substance, L54a Fires in purpose built high-rise flats, T2 Attacks on Infrastructure, T3 Attacks on Transport, T6 Medium Scale CBRN Attacks	R104 Public Disorder
	2	R67 Maritime Pollution, R62 Accidental Release of Biological Pathogen, R103 Insolvency affecting fuel supply	R78 Disruption to telecoms systems, R98 Animal Disease, R102 Industrial Action (fuel), HL10 Local Accident on Motorways/ Major Trunk Roads, R99 Industrial Action (firefighters),	L54d Wildfires, L54e Major fire in care homes and hospitals, R93 Storms and Gales, HL11 Railway Accident, HL21 Land Movement, R101 Industrial action public transport, L71b Small Aircraft Incident	R105 Influx of British Nationals, R72 Collapse of major government contractor, R73 Major Social care Provider, R79 Technological failure at a retail bank, R100 Industrial action (prison officers), T4 Cyber Attacks T5 Smaller Scale CBRN Attacks	L54c Fires involving landfill and waste processing sites, T1 Attacks on Publically Accessible Locations
	1	R70 Radiation exposure from stolen goods, R94 Earthquake	R29 Cyber-attack SWIFT system	R43 Undermining democratic activity		
		1 - Low	2 - Medium/Low	3 - Medium	4 - Medium/High	5 - High
	Likelihood					

Figuur A.1: Voorbeeld van het plotten van risico's op een risicomatrix (London Resilience Forum, 2022).

Belangrijke elementen van de strategie zijn onder andere het verbeteren van de informatie-uitwisseling, het versterken van de crisisbeheersing en het bevorderen van de maatschappelijke weerbaarheid. De strategie houdt rekening met zowel traditionele dreigingen, zoals militaire conflicten, als met moderne uitdagingen, zoals cyberaanvallen en klimaatverandering (Ministerie van Justitie en Veiligheid, 2023). Door een proactieve en adaptieve benadering streeft de Nationale Veiligheidsstrategie ernaar om Nederland voorbereid en weerbaar te maken tegen toekomstige dreigingen.

Een belangrijke aanvulling hierop is de *Rijksbrede Risicostrategie*, waarin een apart deelhoofdstuk is gewijd aan vitale functies en het risico op cascade-effecten. Deze strategie biedt een raamwerk voor het identi-

ficeren en beheersen van risico's die meerdere sectoren tegelijk kunnen raken, en benadrukt het belang van systeembenadering en onderlinge afhankelijkheden binnen de vitale infrastructuur. Dit sluit nauw aan bij de doelstellingen van de Nationale Veiligheidsstrategie en versterkt de integrale aanpak van nationale veiligheid.

A.4 Sectorwetgeving

Sectorwetgeving speelt een cruciale rol in het reguleren en waarborgen van de veiligheid en weerbaarheid van vitale infrastructuren. Deze wetgeving omvat specifieke regels en voorschriften die zijn afgestemd op de unieke kenmerken en risico's van verschillende sectoren, zoals de gezondheidszorg, het onderwijs en de energievoorziening.

Voorbeelden van sectorwetgeving zijn de Wet op het primair onderwijs (WPO), de Wet op het voortgezet onderwijs (WVO) en de Wet medezeggenschap op scholen (WMS), die allemaal specifieke eisen stellen aan de governance en het toezicht binnen deze sectoren. Daarnaast zijn er ook sectorale governancecodes die best practices en richtlijnen bieden voor goed bestuur en intern toezicht. Deze codes helpen organisaties om hun verantwoordelijkheden effectief te vervullen en de publieke belangen te waarborgen.

A.5 Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie

In het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) is afgesproken dat heel Nederland in 2050 waterrobuust en klimaatbestendig is ingericht (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2024). Het Deltaplan gebruikt hiervoor zeven ambities. Eén van die ambities is dat alle overheden in beeld brengen hoe kwetsbaar hun gebieden zijn voor extreme neerslag, hitte, droogte en overstroming. De afspraak is daarom dat alle overheden om de zes jaar een klimaatstresstest, de DPRA-stresstest, uitvoeren. De eerste ronde startte in 2018. De tweede ronde vindt plaats in 2025.

De DPRA stresstest (Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie) is een instrument dat helpt bij het in kaart brengen van de kwetsbaarheid van de ruimtelijke ordening voor verschillende klimaateffecten van een specifiek gebied. Specifieke aandacht gaat daarbij uit naar de doorwerking van mogelijke uitval van vitale functies in de regio, waarbij regelmatig vitale aanbieders betrokken worden. Gemeenten, provincies, en waterschappen gebruiken deze stresstest om risico's te identificeren en gepaste maatregelen te nemen. De aanleiding voor deze stresstesten is de toenemende dreiging door klimaatverandering, waaronder overstromingen, hittegolven, droogte, en extreme neerslag. Deze dreigingen vereisen een proactieve en gecoördineerde aanpak om de weerbaarheid van vitale functies te waarborgen.

Op de website voor de [DPRA stresstesten](#) wordt dringend geadviseerd om bij de uitvoering van de stresstest [de Bijsluiter](#) voor de gestandaardiseerde stresstest te volgen, welke in 2024 is geüpdatet. Deze bijsluiter beschrijft hoe je een DPRA-stresstest uitvoert en welke uniforme uitgangspunten daarbij gelden. Door de Bijsluiter te volgen draag je er ook aan bij dat resultaten van verschillende stresstesten van goede kwaliteit en goed met elkaar te vergelijken zijn.

A.6 Beleidstafel Hoogwater en Wateroverlast (2022)

Voor het analyseren van wateroverlast op een bovenregionale schaalniveau is een aparte stresstest aanpak ontwikkeld. Deze stresstest is ingevoerd naar aanleiding van de extreme neerslag die in juli 2021 leidde tot wateroverlast en overstromingen, en daarmee tot grote gevolgen, in Zuid-Limburg en aangrenzende gebieden in Duitsland en België. Dit event heeft duidelijk gemaakt dat het ook nodig is om klimaatadaptatie bovenregionaal aan te pakken. Alleen dan kun je wateroverlast en overstroming (maar ook andere klimaatdreigingen) voorkomen op plekken waar cascade-effecten of grensoverschrijdende gevolgen kunnen optreden, iets wat niet duidelijk in de lokale en regionale DPRA-stresstesten naar voren komt. Hiervoor heeft de Beleidstafel Hoogwater en Wateroverlast de aanbeveling (nr. 11) gedaan om bovenregionale stresstesten specifiek voor wateroverlast voor verschillende regio's uit te voeren.

Ten behoeve van de uitvoering van de bovenregionale stresstesten zijn er twee documenten gepubliceerd:

- [Handreiking Bovenregionale Stresstesten Wateroverlast](#) (De Vries, Honingh, Klopstra, & de Graaff, 2024); en
- [Methode voor bovenregionale stresstesten voor grootschalige neerslag](#) (de Bruijn & Maas, 2023)

Voor meer informatie over de bovenregionale stresstesten, zie de bovenstaande documenten en [deze webpagina](#) van [klimaatadaptatienederland.nl](#)



Figuur A.2: regio's voor de uitvoering van de bovenregionale stresstesten (De Vries et al., 2024).

B Mogelijke KPI met meetbare eenheden voor wegennetwerk

KPI	Maatstaf	Eenheid (meeteenheid)	Direct beïnvloed?	Beïnvloed door klimaat-adaptatie?
Wegconditie	Conditie	Slipweerstand	Ja	Ja
		Spoorvorming	Ja	Ja
		Textuur	Ja	Ja
		Onderhoudsstatus	Ja	Ja
		Aantal, mate, omvang van gebreken	Ja	Ja
Beschikbaarheid; Snelle en betrouwbare reizen	Vertraging	Verloren voertuiguren; soms onderverdeeld in geplande/niet-geplande afsluitingen	Ja	Ja
		Gemiddelde vertraging per voertuigafstand	Ja	Ja
	Netwerk beschikbaarheid	% van de tijd en lengte in een Jaar dat een weg of een deel van een weg is afgesloten; soms onderverdeeld in ongeplande en geplande afsluitingen	Ja	Ja
		Gemiddelde snelheid	Ja	Ja
	Reistijd			
	Gemiddelde reistijd naar relevante punten van belang	Nee Betrouwbaarheid reistijd	Nee	
	Sociale inclusie	Gemiddelde reistijd tot de alledaagse behoeften/ diensten	Nee	Nee
	Incident- afhandeling	Gemiddelde tijd nodig om een weg weer (deels) te openen na een incident/	Nee	Ja
Veiligheid	Doden of ernstig gewonden	Aantal slachtoffers	Ja	Ja
		Aantal gewonden		
	Incidenten	Aantal ongevallen	Ja	Ja
	Infrastructuur-veiligheid	% afstand gereden over wegen met een veiligheidsclassificatie boven een afgesproken drempel	Ja	Ja
		% lengte wegennet met wegen met een veiligheidsclassificatie boven een afgesproken drempel	Ja	Ja

	Noodhulp	Gemiddelde tijd die nodig is voor eerstehulpverleners om op de locatie van een incident te zijn	Nee	Ja
	Vorbereiding	percentage van de tijd en lengte waarvoor de weg op tijd was voorbereid op extreem weer	Nee	Nee
Milieu-effecten	Geluid	Tijdige rapportage	Nee	Ja
		Maatregelen in geluidsgevoelige gebieden	Nee	Nee
	Biodiversiteit	% toename in biodiversiteit	Ja	Ja
	Broeikasgassen	% reductie ten opzichte van een basislijn van de organisatie (NRA)	Ja	Ja
		% reductie t.o.v. basislijn (weggebruikers)	Nee	Ja
	Luchtkwaliteit	Aantal dat voldoet aan eisen	Nee	Ja
	Waterkwaliteit	Aantal dat voldoet aan eisen?	Ja	Ja
Behoeften van weg-gebruikers	Tevredenheid weggebruikers	% Tevredenheid boven drempel	Nee	Nee
		Gemiddelde tevredenheid	Nee	Nee
		Aantal klachten	Nee	Nee
	Informatie over wegwerkzaam-heden	% tijd communicatie duidelijk	Nee	Nee
Veerkrachtig wegennet	Wegdekconditie	% van het wegennet boven een drempel	Ja	Ja

Tabel B.1: Deze tabel is geadopteerd en vertaald uit het ICARUS-project Deliverable 2.2 (Bles, et al., 2023) en is gebaseerd op Table 4-1: ‘List of possible Key Performance Indicators that can be used by NRAs’. De tabel biedt een overzicht van mogelijke KPI’s en de vertaling naar meetbare eenheden die nationale wegbeheerders kunnen gebruiken om klimaatbestendigheid en prestaties van infrastructuur te meten en monitoren.

C Schadefunctie opstellen

Om de fysieke schade (of herstelkosten) als gevolg van een klimaatdreiging te bepalen, worden de blootstellingskaarten omgerekend naar te verwachten schade. Zoals toegelicht is dit mogelijk met (bestaande) schadefuncties (zie hoofdstuk 7.2).

Als er uit de literatuur geen schadefunctie bekend is die voldoende aansluit bij de eigenschappen van de infrastructuur, kan een schadefunctie worden opgesteld. Bij het opstellen van een schadefunctie moet een inschatting gemaakt worden van het percentage schade gerelateerd aan de intensiteit van de klimaatdreiging. De (directe) schade kan bepaald worden aan de hand van herstelkosten of de vervangingswaarde en neveneffecten. Ook dient beschouwd te worden of er sprake is van indirecte schade. Idealiter wordt hierbij gebruik gemaakt van eerder opgetreden situaties. Als bijvoorbeeld de herstelkosten bekend zijn van eerder opgetreden situaties waar wateroverlast heeft geleid tot schade, dan kan die data gebruikt worden om de schadefunctie op te stellen. Als dat niet mogelijk is dan kunnen ook expert-inschattingen worden gebruikt.

Bij het zelf opstellen van een schadefunctie helpen de volgende elementen:

1. Vaststellen van de grenzen van de schadefunctie: Allereerst worden de hoekpunten van de schadefunctie bepaald. Dit omvat:

- Beginpunt van schade (drempelwaarde): Vanaf welke mate van blootstelling ontstaat schade aan een asset? Een toenemende blootstelling leidt doorgaans tot meer schade. Denk hierbij aan drempelwaarden zoals:
 - o *De waterdiepte waarbij schade ontstaat;*
 - o *De temperatuur waarbij defecten optreden;*
 - o *De mate van bodemdaling of verschuiving waarbij schade optreedt*

- Maximumschade: Bij welke mate van blootstelling is volledige vervanging van een asset of netwerk noodzakelijk? Dit punt markeert het maximum van de schadefunctie.

2. Bepalen van schade bij verschillende blootstellingsniveaus

Voor sommige assets zijn slechts de hierboven beschreven hoekpunten te bepalen (drempelwaarde en maximumschade); Voor andere kan een meer geleidelijke schadeontwikkeling worden ingeschat. In dit geval kunnen experts bijvoorbeeld aangeven welk percentage schade optreedt bij verschillende niveaus van blootstelling. Dit kan gedaan worden door voor verschillende intensiteiten van de klimaatdreiging vast te stellen wat de schade (in euro's of percentage van de vervangingswaarde) is aan de asset.

3. Normaliseren van de schadefunctie

Tot slot kan de schadefunctie genormaliseerd worden om deze breder toepasbaar te maken:

- Maximale herstelkosten: Dit zijn de kosten die gemaakt worden bij volledige vervanging van de asset;
- Normalisatie: Door de schadebedragen uit stap 2 te delen door de maximale herstelkosten, ontstaat een genormaliseerde schadefunctie. De verticale as van de functie toont dan geen eurobedragen, maar een schadefactor tussen 0 en 1. Dit maakt de functie toepasbaar in verschillende contexten en analyses.

D Overzichtstabel keteneffecten Vitale functies

Vitale sectoren en processen (NCTV)		Blootstelling	Schade/ functieverlies	Keten- afhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
Energie	Landelijk transport, distributie en productie elektriciteit					
	Regionale distributie elektriciteit					
	Gasproductie, landelijk transport en distributie gas					
	Regionale distributie gas					
	Olievoorziening					
Telecom/ICT	Internet en datadiensten					
	Internettoegang en dataverkeer					
	Spraakdienst en SMS*					
Drinkwater	Drinkwatervoorziening					
Water	Afvalwater					
	Keren en beheren waterkwantiteit					
Ziekenhuizen en gezondheidscentra						
Transport	Vervoer van personen en goederen over (hoofd)spoorweginfrastructuur					
	Vervoer over (hoofd)wegennet					
Financieel	Toonbankbetalingsverkeer					
	Massaal giraal betalingsverkeer					
	Hoogwaardig betalingsverkeer tussen banken					
	Effectenverkeer					
OOV	Communicatie met en tussen hulpdiensten middels 112 en C2000					
	Inzet politie/brandweer					
Levens-middelen						

Tabel D.1: Totaal overzicht van de relatie tussen wateroverlast en Vitale en Kwetsbare functies. Per sector een duiding van de ernst (grijs = ‘n.v.t.’, groen = ‘minimaal’, geel = ‘matig’, oranje = ‘ernstig’, en rood = ‘zeer ernstig’) (Meijer et al., 2023).

E Toelichting vervolgstappen

E.1 Klimaatadaptatie maatregelen verkennen

Wanneer uit een risicoanalyse wordt geconcludeerd dat aanpassingen gewenst zijn, kunnen mogelijke maatregelen worden geïdentificeerd. Er zijn verschillende overzichten beschikbaar die mogelijke klimaatadaptatieve maatregelen uitleggen, zoals de adaptatiedatabase van ICARUS. In dit hoofdstuk worden eerst mogelijke maatregelen geïdentificeerd en vervolgens wordt toegelicht hoe deze kunnen worden afgewogen.

E.1.1 Maatregelen identificeren

Er zijn verschillende typen maatregelen die genomen kunnen worden. Maatregelen zijn te classificeren naar de volgende aspecten:

- **Klimaatdreiging:** Maatregelen zijn vaak specifiek voor verschillende klimaatdreigingen, zoals overstromen, wateroverlast, hitte en droogte.
- **Detailniveau:** Maatregelen kunnen op verschillende detailniveaus worden genomen. Er zijn maatregelen die een asset aanpassen (zoals bijvoorbeeld het vergroten van de dimensies van duikers), maatregelen die een *connectie/verbinding* aanpassen (veranderen onderhoudsregime op een bepaalde schakel), maatregelen die het *netwerk* aanpassen (toevoegen van redundantie) en maatregelen die het *systeem* aanpassen (meer of robuustere verbindingen tussen aan elkaar verbonden functies).
- **Asset management proces:** Maatregelen kunnen in alle asset-management-processen worden geïmplementeerd: *planning, ontwerp, uitvoering, beheer & onderhoud, operatie en vervanging*. In welke fase dit het beste kan is afhankelijk van de effectiviteit en mogelijkheden om de bestaande processen aan te passen.

- **Factoren die de klimaatbestendigheid bepalen:** Maatregelen kunnen het risico verkleinen, door een of meerdere facetten van risico te verkleinen. Dit zijn feitelijk de facetten die ook in deze handreiking zijn benoemd voor het uitvoeren van de risicoanalyse. Maatregelen kunnen de *klimaatdreiging* zelf verminderen of wegnemen, de *blootstelling* verkleinen, de *fysieke schade* verminderen en/of de *gevolgen voor de maatschappij* verkleinen. Welke factor het beste kan worden verkleind is afhankelijk van de effectiviteit van de maatregelen en de mogelijkheden om af te stemmen en mee te koppelen met processen van stakeholders uit de omgeving.
- **Fase van de klimaatdreiging binnen crisisbeheersing en -management:** Maatregelen kunnen in verschillende fases van een crisis worden genomen. Een crisis kan geprobeerd worden te *voorkomen*, er kan gericht worden op een betere *voorbereiding* op een crisis, maatregelen kunnen erop gericht zijn beter te *reageren* tijdens een crisis en om *herstel* te bespoedigen na een crisis. In het kader van Meerlaagsveiligheid wordt al onderscheid gemaakt tussen Preventie, Gevolgbeperking en Crisisbeheersing.
- **Structurele of niet-structurele maatregel:** Maatregelen kunnen erop gericht zijn de *infrastructuur aan te passen*, of om het *gebruik van de infrastructuur te beïnvloeden*. Voorbeelden van aanpassingen aan de infrastructuur zijn ander materiaalgebruik of toepassing van Nature Based Solutions om water af te voeren en te bergen. Voorbeelden van aanpassingen van het gebruik zijn verbeteringen in communicatie naar de gebruikers of campagnes voor bewustwording bij gebruikers.

E.1.2 Afwegen van maatregelen

Een kosten-baten afweging kan helpen om op de juiste plek en het juiste moment de meest doelmatige maatregel te kiezen. De berekening van de baten sluit nauw aan bij de risicoanalyse die is uitgevoerd. Een goed ontworpen risicoanalyse sluit immers weer aan bij de besluitvormingscontext, inclusief de criteria die voor besluitvorming worden gebruikt.

De baten van maatregelen worden doorgaans gelijkgesteld aan de afname van het risico (of vermeden risico). Het opnieuw doorrekenen van de risicoanalyse, maar nu met klimaatadaptatiemaatregelen die de klimaatdreiging, blootstelling of gevolgen verkleinen levert daarom de benodigde informatie om de baten vast te stellen. Aangezien deze baten dan overeenkomen met de criteria die voor besluitvorming worden gebruikt zal de afweging van kosten en baten behulpzaam zijn om besluitvorming te bespoedigen. Het meenemen van brede baten in de afweging, wanneer dit niet al in de analyse is gedaan, is zinvol (zie ook Hoofdstuk 2.2.3). Het kan namelijk zijn dat de kosten-batenverhouding niet positief is, maar dat op basis van bepaald aanpalend beleid toch wordt besloten te investeren.

Voorbeeld plasvorming op het hoofdwegennet

Voor de dreiging van plasvorming op het hoofdwegennet zijn maatregelen **afgewogen** op een kwantitatieve manier, en zijn ook co-baten geïdentificeerd.

Deze afweging werd gemaakt met zowel schades voor de asethouder als verliezen voor de maatschappij en afgewogen tegen de implementatie- en onderhoudskosten voor een tijdsbestek van 30 jaar. De baten zijn daarbij berekend als een afname van de schades en verliezen, door het opnieuw doorrekenen van de risicoanalyse met de geïdentificeerde maatregelen. Op die manier kon een afweging worden gemaakt op welke plekken investering een financiële slimme keuze is. Op plekken waar de kosten en baten elkaar niet veel ontlopen is het meewegen van co-baten erg nuttig, en kan dit (in een risicodialog) reden zijn om toch de maatregel toe te passen, en/of investeringen te delen met andere partijen.

E.2 Aanpassen ambitieniveau

Wanneer er geen positief besluit genomen kan worden over adaptatie, bijvoorbeeld wanneer de kosten niet opwegen tegen de baten, kan de beheerder van de vitale functie de besluitvormingscontext opnieuw beschouwen (ICARUS, 2024). Blijkbaar zijn de kosten voor adaptatie in zo'n geval immers te hoog om de eisen te halen die vanuit de besluitvormingscontext worden gesteld. In deze gevallen kunnen twee dingen gedaan worden:

- **Een nadere analyse van de besluitvormingscriteria.**

Hierbij worden bestaande criteria opnieuw bekeken of aangescherpt. Soms zijn de huidige criteria te beperkt of onvoldoende afgestemd op klimaatverandering. Door bijvoorbeeld duurzaamheid, robuustheid of maatschappelijke baten explicieter op te nemen in de besluitvormingscriteria, kunnen risico's beter worden meegewogen. Voorbeeld: Als een organisatie alleen kijkt naar directe kosten en baten, maar niet naar maatschappelijke impact of reputatieschade, kan het helpen om deze bredere baten alsnog als formeel criterium op te nemen in het afwegingskader.

- **Heroverwegen van de grenswaarden van de besluitvormingscriteria.**

Als het te duur is om aan de eisen te voldoen, kan ook overwogen worden om de eisen te verlagen. Bijvoorbeeld door een iets lagere beschikbaarheid van een dienst te accepteren, of door de reactietijd bij storingen iets te verruimen.

E.3 Implementatie in asset management

Als kosten en baten van adaptatiemaatregelen zijn verkend, dan is het de volgende stap om de gevonden maatregelen te implementeren in de dagelijkse praktijk. Dat kan het meest efficiënt door aanpassing van de richtlijnen, kaders, normen en andere documenten die in het asset management worden toegepast (ICARUS, 2024). Door aanpassing van het asset management zal klimaatadaptatie uiteindelijk 'vanzelf' worden toegepast in de praktijk via planning, ontwerp, uitvoering, beheer en onderhoud en vernieuwing.

Aanpassing van asset management verloopt over het algemeen via een gecompliceerd besluitvormingstraject met het strategisch en tactisch niveau van een organisatie. Als de risicoanalyse de resultaten levert in dezelfde taal als die gebruikt wordt binnen besluitvorming in de organisatie, dan bespoedigt dat de aanpassingen ten zeerste. Daarom is een goede verbinding van de risicoanalyse met de besluitvormingscontext zo belangrijk (zie Hoofdstuk 2).

