

Kennisoverzicht wateroverlast in relatie tot vitale en kwetsbare functies



Kennisoverzicht wateroverlast in relatie tot vitale en kwetsbare functies

Auteur(s)

Lieke Meijer

Sanne Juch

Margreet van Marle

Thomas Bles

Kennisoverzicht wateroverlast in relatie tot vitale en kwetsbare functies

Opdrachtgever	DGWB
Contactpersoon	Jasper Luiten
Trefwoorden	Vitaal en Kwetsbare functies, wateroverlast

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	26-04-2024
Projectnummer	11209224-002
Document ID	11209224-002-ZWS-0001
Pagina's	54
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

Lieke Meijer		
Sanne Juch		
Thomas Bles		
Margreet van Marle		

Samenvatting

In juli 2021 veroorzaakte een omvangrijk weersysteem boven Limburg, de Ardennen en de Eifel aanzienlijke wateroverlast en overstromingen. In Nederland resulteerde dit in veel schade, terwijl de gevolgen in het buitenland ronduit verwoestend waren. Naar aanleiding hiervan werd bij het eindadvies van de Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater (2022) een doelstelling geformuleerd: “Zet in op een normering gevolgbeperking tegen schade of uitval van belangrijke functies (vitaal en kwetsbaar) in een gebied en leg rollen en verantwoordelijkheden vast”.

Om een normering te kunnen gaan opzetten in relatie tot schade en/of uitval van vitale en kwetsbare functies, is Deltares gevraagd om allereerst inzicht te geven in bestaande literatuur rondom wateroverlast in relatie tot vitale en kwetsbare functies. Uit dit rapport wordt duidelijk dat er nog een aantal belangrijke kennisvragen bestaat, zoals bijvoorbeeld de vraag hoe je functieverlies van een object en bijbehorende vitale functie naar gecombineerde uitval van meerdere functies in een gebied vertaalt en wat de precieze gevolgen van uitval zijn voor de gebruikers. Deze vragen kunnen niet direct beantwoord worden vanuit de literatuur. Daarnaast zijn er in Nederland verschillende normeringen en afweegkaders die niet direct op elkaar aansluiten en die nog niet kunnen worden toegepast op wateroverlast.

Dit rapport presenteert een literatuurstudie naar de relevante concepten wateroverlast, vitale en kwetsbare functies en ketenafhankelijkheden en cascade-effecten. Er worden praktijkvoorbeelden gegeven van studies die deze concepten onderzoeken. Daarnaast is

De literatuurstudie geeft een beeld van de mogelijke gevolgen van uitval van de vitale functies, hoewel deze doorgaans niet zijn gekwantificeerd. Per vitale functie is de mate van ‘ernst’ van blootstelling, functieverlies, ketenafhankelijkheid, gevolgen van uitval en cascade-effecten kwalitatief getypeerd. Uit de literatuur blijkt dat veel vitale en kwetsbare functies afhankelijk zijn van elektriciteit en telecom. Elektriciteit en telecom zijn daarom extra belangrijk omdat uitval van deze sectoren kan leiden tot grote cascade-effecten. Een andere bevinding uit de literatuur is dat het transportnetwerk minder vaak uitgebreid wordt meegenomen in de onderzochte literatuur, maar uit praktijkvoorbeelden van uitval blijkt dat transportinfrastructuur een grote rol speelt in de bereikbaarheid tijdens en na een crisis.

Inhoud

	Samenvatting	4
	Figurenlijst	7
	Tabellenlijst	8
1	Achtergrond en Introductie	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Aanpak & leeswijzer	9
2	Theoretische Basis & Definities	12
2.1	Wateroverlast en blootstelling	12
2.2	Vitale en kwetsbare functies	12
2.2.1	Deltaprogramma	13
2.2.2	Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid (NCTV)	14
2.2.3	Critical Entities Resilience (CER) – Richtlijn	15
2.2.4	Internationale definities	16
2.3	Ketenafhankelijkheden en cascade-effecten	17
2.4	Deelconclusie	18
3	In de praktijk	19
3.1	Praktijkvoorbeelden	19
3.1.1	Nederland	19
3.1.2	Internationaal	22
3.2	Bestaande normeringen/afweegkaders	25
3.2.1	Landelijke classificatie vitale infrastructuur	25
3.2.2	Leidraad risicobeoordeling rijksbrede risicoanalyse	25
3.2.3	Provinciale normering wateroverlast	27
3.2.4	Normering op objectniveau	27
3.2.5	Normeringen voor waterkeringen	28
3.2.6	Afweegkader voor beschermingsmaatregelen van vitale functies	28
3.3	Deelconclusie	29
4	Vitale en kwetsbare functies in relatie tot wateroverlast	30
4.1	Resultaten van de verkennende literatuurstudie	31
4.1.1	Energie	31
4.1.2	Telecom/ICT	33
4.1.3	Drinkwater	34
4.1.4	Afvalwater en waterkwantiteit keren en beheren	35
4.1.5	Ziekenhuizen en gezondheidscentra	37
4.1.6	Transport	38
4.1.7	Financieel	39
4.1.8	OOV	40
4.1.9	Productie en distributie van voedsel	41
5	Conclusies en aanbevelingen	42

5.1	Vitale functies en wateroverlast	42
5.2	Ketenafhankelijkheid en cascade-effecten	43
5.3	Welke kennisvragen staan nog open?	43
5.3.1	Specifieke kennisvragen geïdentificeerd in deze literatuurstudie	43
5.3.2	Brede kennisvragen	45
5.4	Gepland vervolgonderzoek	45
6	Referenties	46
7	Appendix	50

Figurenlijst

Figuur 1: Relatie tussen objecten, functies, gebieden en landen	13
Figuur 2: Overzicht van de nationale vitale en kwetsbare functies gebruikt in het Deltaprogramma.	14
Figuur 3: Resultaten van de Bruijn et al. (2019) gevisualiseerd met de Circle tool. Hoe groter het oppervlak van een vitale functie, hoe meer functies hiervan afhankelijk zijn.	17
Figuur 4: Landelijke bedreigingen voor vitale infrastructuur zoals uitgewerkt in scenario-analyse in de themarapportage bedreiging vitale infrastructuur (ANV, 2022)	21
Figuur 5: Verwachte en geobserveerde duur van herstelwerkzaamheden na de overstromingen van 2021 in België, Duitsland en Nederland (Koks et al., 2022). Geen lijn betekent dat er geen impacts zijn geobserveerd.	24
Figuur 6: Beschermen van vitale en kwetsbare functies met de verschillende stappen van klimaatadaptatie Nederland (Klimaatadaptatie Nederlands, z.d. b)	29
Figuur 7: Relatie tussen objecten, functies, gebieden en landen (herhaling van Figuur 1)	42
Figuur 8: Bouwstenen en kennisvragen van objecteisen naar maatschappelijke weerbaarheid	44
Figuur 9: Bouwstenen en kennisvragen van landelijke normen naar objectontwerp	44

Tabellenlijst

Tabel 1: Per categorie een vraag die gebruikt is voor het verzamelen en overzichtelijk maken van de informatie per functie.	10
Tabel 2: Zoektermen gebruikt voor het vinden van praktijkvoorbeelden	11
Tabel 3: Definities en criteria voor categorie-A- en categorie-B-infrastructuur	15
Tabel 4: Praktijkvoorbeelden studies vitale functies in Nederland	19
Tabel 5: Internationale praktijkvoorbeelden studies vitale functies	22
Tabel 6: Domeinen van nationaal veiligheidsbelang zoals gedefinieerd door ANV (2019).	26
Tabel 7: Een voorbeeld van scores van een impactcriterium	27
Tabel 8: Uitleg van de interpretatie van de kleurcode gebruikt voor de versimpelde tabel.	30
Tabel 9: Duiding van de kleurcodes in een bepaalde categorie	31
Tabel 10: Gecombineerd indeling vitaal en kwetsbaar volgens CER, NCTV en Deltaprogramma	50
Tabel 11: Totaal overzicht van de relatie tussen wateroverlast en Vitale en Kwetsbare functies.	53

1 Achtergrond en Introductie

1.1 Aanleiding

In juli 2021 veroorzaakte een omvangrijk weersysteem boven Limburg, de Ardennen en de Eifel aanzienlijke wateroverlast en overstromingen. In Nederland resulteerde dit in veel schade, terwijl de gevolgen in het buitenland ronduit verwoestend waren. Om hiervan te leren en om in de toekomst beter voorbereid te zijn, heeft de minister van Infrastructuur en Waterstaat vlak daarna de Beleidstafel Wateroverlast en Hoogwater ingericht met de opdracht om Nederland beter te beschermen tegen wateroverlast en hoogwater. Op 19 december 2022 is het eindadvies van deze beleidstafel naar de Tweede Kamer gestuurd, ondertekend door minister Harbers (Infrastructuur en Waterstaat). Hierin zijn door de deelnemende experts een aantal verschillende aanbevelingen gedaan om schade en overlast door hoogwater te beperken. Zo is er onder het thema ‘Gevolgbeperking: kwetsbaarheden bovenregionaal in beeld’ ook een aanbeveling gedaan gerelateerd aan vitale en kwetsbare functies (Eindadvies Beleidstafel wateroverlast en hoogwater, 2022).

Aanbeveling 12

“Zet in op een normering gevolgbeperking tegen schade of uitval van belangrijke functies (vitaal en kwetsbaar) in een gebied en leg rollen en verantwoordelijkheden vast”.

De beleidstafel adviseert in te zetten op een normering gevolgbeperking die bescherming biedt tegen schade of uitval van diverse assets, zoals vitaal en kwetsbaar, in een gebied. Dit in relatie met de normering van primaire en regionale keringen en wateren. Een normering voor gevolgbeperking geeft aan hoe groot de kans mag zijn op inundatie (de 'herhalingstijd'), waarbinnen de diverse assets zo goed mogelijk tegen uitval kunnen worden beschermd of kunnen worden hersteld. Hiermee wordt zo mogelijk schade en maatschappelijke ontwrichting voorkomen. Daarbij is het van belang om tot een eenduidige definitie van vitaal en kwetsbaar te komen.

(Uit eindadvies Beleidstafel wateroverlast en hoogwater: Voorkomen kan niet, voorbereiden wel, allemaal aan de slag).

Naar aanleiding van deze aanbeveling is ook de voorliggende studie in gang gezet. In opdracht van en in samenwerking met Directoraat-generaal Water en Bodem (DGWB) en Rijkswaterstaat wordt binnen het deelproject ‘Normering gevolgbeperking Vitale en Kwetsbare functies’, onderdeel van het Kennisprogramma Wateroverlast, een eerste stap gezet richting het uitzoeken van welke informatie er nodig is voor het vaststellen van de normen voor de gevolgbeperking van schade of uitval van vitale en kwetsbare functies van een gebied.

Rond het thema Vitaal en Kwetsbaar zijn al veel studies uitgevoerd. Het voorliggende onderzoek is daarom gestart met het in kaart brengen van de huidige kennis en ervaringen door middel van een literatuurstudie. Dit is in dit stadium van het project nodig om overzicht te creëren en kennisgaten te identificeren die het komen tot een gebiedsnormering mogelijk nog belemmeren.

1.2 Aanpak & leeswijzer

Deze studie is opgezet als een literatuurstudie. Eerst hebben we een theoretische basis gelegd van alle relevante definities. Deze zijn gerapporteerd in het hoofdstuk ‘theoretische basis’ (Hoofdstuk 2).

Verder hebben we ook een aantal voorbeelden uit de praktijk gevonden en uitgelicht in dit rapport. Hierin hebben we ook een aantal rapporten meegenomen die zijn aangereikt door Deltares-experts en door de opdrachtgever. Sommige praktijkvoorbeelden zijn niet specifiek voor wateroverlast, maar zijn wel belangrijk om inzicht te krijgen in de gevolgen van uitval van vitale functies. De uitgewerkte praktijkvoorbeelden en hun belangrijkste conclusies staan in hoofdstuk 3. De belangrijkste bevindingen uit de praktijkvoorbeelden zijn ook gebruikt in de resultaten per sector in hoofdstuk 4.

De kennis die voortkwam uit de praktijkvoorbeelden, hebben we aangevuld met literatuuronderzoek naar vitale sectoren en deze sectoren specifiek in relatie tot wateroverlast. Bij het onderzoek naar de vitale functies hebben we gericht gefocust op verschillende criteria (blootstelling, schade-/functieverlies, ketenafhankelijkheid, gevolgen bij uitval en cascade-effecten) (Tabel 1). Dit om zo een onderscheid te kunnen maken tussen de verschillende van blootstelling tot uitval en gevolgen van uitval. De gevolgen van uitval van vitale infrastructuur zijn vanuit een breder perspectief bekeken dan alleen wateroverlast. De blootstelling van vitale functies is wel specifiek onderzocht in relatie tot wateroverlast. Hiervan hebben we eerst een uitgebreid overzicht gemaakt, om vervolgens met expert judgement deze resultaten te duiden en samen te vatten in een kleurentabel. De resultaten hebben we gerapporteerd in de tekst van hoofdstuk 4, waarin ook per vitale functie de kleurentabel wordt gepresenteerd.

Tabel 1: Per categorie een vraag die gebruikt is voor het verzamelen en overzichtelijk maken van de informatie per functie.

Categorie	Bijbehorende vraag
Blootstelling	Wordt bij wateroverlast (een onderdeel) van deze functie getroffen?
Schade/functieverlies	Leidt blootstelling tot schades/uitval?
Ketenafhankelijkheid	Is de functie afhankelijk van andere vitale functies?
Gevolgen bij uitval	Als de functie uitvalt, hoe groot zijn de directe consequenties?
Cascade-effecten	Leidt uitval van deze functie tot uitval bij andere vitale functies?

De vitale functies die we hebben onderzocht volgen de indeling van de Nationaal Coördinator Terrorismedebestrijding en Veiligheid (NCTV). Voor toelichting wat betreft de indeling zie het hoofdstuk theoretische basis, en voor uitwerking **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** in de appendix. Een aantal functies is niet meegenomen in de huidige analyse omdat deze op basis van een quick-scan niet kwetsbaar leken voor wateroverlast of te specifiek waren voor de scope van onze studie. Dit zijn:

- Plaats- en tijdsbepaling middels Global Navigation Satellite System (GNSS) omdat hier geen blootstelling optreedt;
- Vlucht- en vliegtuigafhandeling en scheepvaartafwikkeling omdat het hier om enkele heel specifieke locaties van grote omvang gaat, waardoor lokale data nodig zijn en het niet haalbaar is om algemene uitspraken te doen;
- Chemie en nucleair vanwege de omvang en omdat deze te specifiek zijn (afhankelijk van lokale en private data) om algemene uitspraken over deze complexe functies te doen;
- Digitale overheidsprocessen en defensie, ook omdat hier weinig over te vinden is.

Daarnaast hebben we de categorie 'productie en distributie van voedsel' toegevoegd aan de indeling van de NCTV, in navolging van de CER-richtlijnen die in hoofdstuk 2 verder worden uitgediept. Dit omdat uit de case study Zuid-Holland (de Bruijn et al., 2022) blijkt dat de schade aan landbouw ook significant kan zijn bij wateroverlast. Daarnaast zijn levensmiddelen essentieel voor de continuïteit van het dagelijks leven. Verder wordt de zorg, nu al een CER-sector, ook als vitale infrastructuur opgenomen in de NCTV lijst en nemen we deze dus ook mee. Als laatste nemen we in deze studie ook afvalwater mee.

Naast dat er gericht gezocht is naar literatuur voor de vitale functies, zijn ook algemene zoektermen gebruikt waarmee ook een aantal praktijkvoorbeelden gevonden zijn. Deze staan hieronder in Tabel 2. Daarmee is de studie niet allesomvattend.

Tabel 2: Zoektermen gebruikt voor het vinden van praktijkvoorbeelden

Zoektermen Engels	Zoektermen Nederlands
Resilience	Uitval
(Critical) infrastructure	Vitale functies
(Pluvial) flooding	Kritieke infrastructuur
Cascading impacts	Ketenafhankelijkheid
	Maatschappelijke ontwrichting
	Normering
	Gevolgen

De belangrijkste bevindingen uit zowel de praktijkvoorbeelden als de resultaten van de invloed van wateroverlast op de vitale functies en de mogelijke gevolgen daarvan, zijn samengevat in de conclusie in hoofdstuk 5. Alle geraadpleegde literatuur is in de bronvermelding opgenomen.

Met dit rapport is een aantal belangrijke kennisvragen geïdentificeerd die nodig zijn om te beantwoorden om een mogelijke normering te kunnen ontwikkelen of om op een andere manier bij te dragen aan veerkrachtige vitale functies.

2 Theoretische Basis & Definities

Dit hoofdstuk "Theoretische Basis & Definities" vormt het fundament voor het begrip van wateroverlast, vitale en kwetsbare functies, ketenafhankelijkheid, cascade-effecten en de complexe interacties tussen deze elementen. In dit hoofdstuk worden de concepten en definities verkend die van cruciaal belang zijn om de verdere literatuurstudie en resultaten in de juiste context te kunnen lezen en begrijpen.

2.1 Wateroverlast en blootstelling

Binnen Nederland bestaat er momenteel nog geen officiële definitie van wateroverlast. Er is daarentegen wel een norm voor wateroverlast als gevolg van inundatie vanuit het regionale watersysteem. Deze norm is uitgedrukt in de kans dat het peil van het oppervlaktewater het niveau van het maaiveld overschrijdt (Ministerie IenW, 2021). Over het algemeen kun je hiermee wateroverlast aanduiden als een brede verzamelterm die verwijst naar situaties waarin mensen of instanties overlast ondervinden als gevolg van te veel water. Dit kan variëren van het onderlopen van tuinen of landbouwvelden en water dat huizen binnendringt tot onbegaanbare wegen door te veel water op straat. Door klimaatverandering (en daarmee het extremer worden van het weer), bodemdaling en verstedelijking is wateroverlast in toenemende mate relevant (Klimaatadaptatie Nederland, z.d., a)

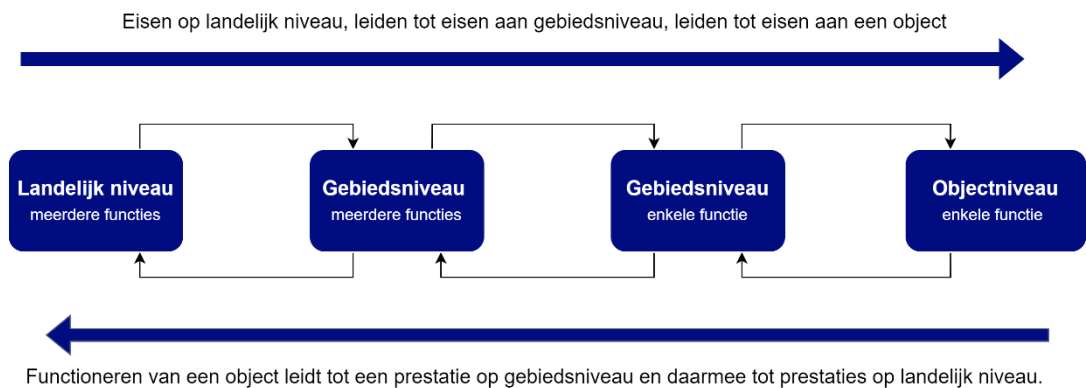
Er zijn verschillende oorzaken van wateroverlast te benoemen (Klimaatadaptatie Nederland, z.d., a). Zo kan wateroverlast ontstaan door hoogwater op de rivieren wat leidt tot wateroverlast in buitendijkse gebieden. Extreme gebieds- of piekneerslag (hoge intensiteiten) kan leiden tot het vollopen van de watergangen en rioleringen met als gevolg dat water op straat komt te staan. Daarbij kan extreme neerslag resulteren in uitdagingen bij het wegpompen van het wateroverschot in polders. Langdurige neerslag (in combinatie met grote volumes), zoals in Limburg in 2021, kan weer andere gevolgen hebben door onder andere de duur van de overlast. Geen van de oorzaken kent een vast beeld van overlast, en de impact overlapt vaak sterk. De gevolgen van wateroverlast kunnen ernstig zijn, zoals het langdurig uitvallen van elektriciteit of zelfs de noodzaak tot evacuatie van een gebied omdat deze niet meer bereikbaar is.

De schade en slachtoffers als gevolg van de extreme neerslag in Limburg van juli 2021 hebben duidelijk de ernst van extreme en langdurige neerslagevenementen aangetoond. In Nederland resulteerde dit in veel schade, terwijl de gevolgen in het buitenland ronduit verwoestend waren. Dergelijk weer is uitzonderlijk, maar kan zich herhalen, ook in Nederland. Op andere plaatsen in Nederland zouden de gevolgen van een dergelijke bui nog groter kunnen zijn, zoals blijkt uit de case studie van Deltares naar Zuid-Holland (*De Bruijn et al., 2022*)

2.2 Vitale en kwetsbare functies

Over het algemeen verstaan we onder vitale functies de (infrastructurele) functies die nodig zijn om de maatschappij draaiende te houden en het dagelijks leven te waarborgen (Klimaatadaptatie Nederland, 2020). Het Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV) definieert vitale processen als volgt: "De vitale processen die gezamenlijk de Nederlandse vitale infrastructuur vormen zijn vitaal omdat uitval of verstoring ervan al gauw leidt tot maatschappelijke ontwrichting" (ANV, 2022a). Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan de elektriciteits- of communicatievoorziening, maar ook het transport via het wegennet. Kwetsbare functies zijn de functies die gevoeliger zijn voor extreme weersomstandigheden, wat de kans op uitval vergroot. Dit kunnen bijvoorbeeld objecten in laaggeleden gebieden zijn, maar ook kritieke infrastructuur als gemalen en sluizen (Kennispotaal klimaatadaptatie, 2020).

Er is dus een relatie tussen objecten en de vitale functie die zij vervullen. Daarnaast zorgen alle vitale functies ervoor dat een maatschappij, op regionale maar ook op nationale schaal kan blijven draaien. Zodoende zijn er afhankelijkheden tussen enerzijds lokale objecten en anderzijds regionale en landelijke functies van netwerken. Uitval van een object kan dus doorwerken naar uitval van een enkele functie, wat kan leiden tot (gecombineerde) uitval van meerdere functies in een gebied wat mogelijk ook gevolgen heeft op landelijk niveau (zie Figuur 1). De andere kant op geredeneerd, zouden eisen op landelijk niveau ook doorvertaald moeten kunnen worden naar eisen op gebiedsniveau, naar eisen per enkele functie en uiteindelijk naar eisen op objectniveau. In de praktijk blijkt dat laatste echter niet het geval.



Figuur 1: Illustratie van de relatie tussen objecten, een enkele functie, meerdere functies en eisen op landelijk niveau

De precieze invulling van wat onder vitale en/of kwetsbare functies valt, verschilt daarnaast per context. Zo zijn nationale en internationale definities anders, maar er is ook onderscheid te maken tussen verschillende nationale typeringen. Hieronder zullen we drie nationale typeringen verder uitlichten: vitale functies volgens 1) het Deltaprogramma, 2) de Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid, 3) de Europese Critical Entities Resilience (CER)-Richtlijn. De CER is hierin een EU richtlijn, terwijl de andere twee vooral beleidskaders zijn. Desalniettemin zijn alle drie toonaangevend in verschillende contexten en de verschillen hiertussen zijn daarom ook interessant om aan te stippen.

We zijn ons ervan bewust dat we hier met name verschillen hebben aangegeven. Het benoemen van de verschillen helpt bij het overbruggen ervan om tot een gemeenschappelijk kader/definitie te komen wat betreft de bovengenoemde termen en schaalniveaus. De betrokken partijen hebben aangegeven dat het ook zeker de intentie is om naar een gemeenschappelijk kader toe te werken. Dit zal de complexiteit van de verwevenheden van vitale en kwetsbare functies en objecten op de verschillende schaalniveaus beter bespreekbaar maken.

2.2.1 Deltaprogramma

Het Deltaprogramma hanteert een overzicht van dertien nationale vitale en/of kwetsbare functies (zie Figuur 2), welke bij uitval kunnen leiden tot gevolgen voor Nederland en potentieel op nationale schaal effecten kunnen hebben (Klimaatadaptatie Nederland, 2020).

Vitale en/of kwetsbare functie
Energie: (a) elektriciteit; (b) aardgas, (c) olie
Telecom/ICT: (a) basisvoorzieningen voor communicatie t.b.v. respons bij een overstroming (b) publiek netwerk
Waterketen: (a) drinkwater; (b) afvalwater
Gezondheid
Keren en beheren oppervlaktewater: gemalen
Transport: hoofdinfrastructuur
Chemisch en Nucleair: (a) chemie; (b) nucleair; (c) Infectieuze stoffen/ Genetisch gemodificeerde organismen (ggo's)

Figuur 2: Overzicht van de nationale vitale en kwetsbare functies gebruikt in het Deltaprogramma.

2.2.2 Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid (NCTV)

De lijst met vitale infrastructuur van de NCTV bevat naast vitale processen ook sectoren als de Openbare Orde en Veiligheid (OOV), waaronder bijvoorbeeld communicatie via 112 en C2000 vallen, de financiële sector en digitale overheidsprocessen (NCTV, 2023a). De financiële sector en digitale overheidsprocessen worden dan weer niet expliciet vermeld in de vitale functies in het deltaprogramma (Klimaatadaptatie Nederland, 2020). Er bestaat geen complete lijst van vitale en kwetsbare functies en objecten op decentraal niveau.

De NCTV onderscheidt infrastructuurobjecten in categorie A of B, afhankelijk van de potentiële gevolgen van uitval op landelijk niveau. Hierbij worden economische, fysieke, sociaal-maatschappelijke en cascadegevolgen meegenomen als indicatoren van maatschappelijke ontwrichting. Categorie-A infrastructuur (zie Tabel 3 op de volgende bladzijde) heeft grotere gevolgen voor de maatschappij bij uitval dan categorie-B (NCTV, 2023). Onder Categorie-A-infrastructuur vallen:

- Landelijke transport, distributie en productie elektriciteit
- Gasproductie, landelijk transport en distributie van gas
- Olievoorziening
- Drinkwatervoorziening
- Keren en beheren waterkwantiteit
- Opslag, productie en verwerking nucleair materiaal

De verdere vitale processen en hun onderverdeling in categorie A of B, zijn te vinden in Appendix Tabel 10.

Tabel 3: Definities en criteria voor categorie-A- en categorie-B-infrastructuur

	Definitie	Economische gevolgen	Fysieke gevolgen	Sociaal-maatschappelijke gevolgen	Cascadegevolgen
Categorie A	Infrastructuur die bij verstoring, aantasting of uitval de ondergrenzen van minstens één van de drie impactcriteria voor categorie A raakt en daarnaast ook voldoet aan het criterium van cascadegevolgen	> ca. 50 miljard euro schade of ca. 5,0 % daling reëel inkomen	meer dan 10.000 personen dood, ernstig gewond of chronisch ziek	meer dan 1 miljoen personen ondervinden emotionele problemen of ernstig maatschappelijke overlevingsproblemen	Uitval heeft als gevolg dat minimaal twee andere sectoren uitvallen.
Categorie B	Infrastructuur die bij verstoring, aantasting of uitval de ondergrenzen van minstens één van de drie impactcriteria voor categorie B raakt	> ca. 5 miljard euro schade of ca. 1,0 % daling reëel inkomen	meer dan 1.000 personen dood, ernstig gewond of chronisch ziek	meer dan 100.000 personen ondervinden emotionele problemen of ernstig maatschappelijke overlevingsproblemen	-

Echter wordt er binnen de *Aanpak Vitaal (2023-2028)*¹ gewerkt aan een (verdere) verankering van rechten en plichten binnen het digitale en fysieke domein door de implementatie van de CER-richtlijn en de herziene NIS2-richtlijn. Binnen deze Aanpak Vitaal wordt gesproken over de bescherming van vitale processen. Daarbij is het aan ieder ministerie om te beoordelen welke processen binnen hun beleidsdomein vitaal zijn; dat gebeurt aan de hand van een 'vitaalbeoordeling'. Hiermee komt de hierboven genoemde onderverdeling in categorie A en B feitelijk te vervallen. Bij het inschatten van risico's voor de vitale processen is er aandacht voor zowel de fysieke, economische als digitale risico's. Daarnaast is er aandacht voor de belangen binnen de Europese Unie en de NAVO, de vitale infrastructuur stopt immers vaak niet bij de grens. Wanneer verstoring van een proces een of meer nationale veiligheidsbelangen kan schaden, en daarmee maatschappelijke ontwrichting kan veroorzaken, wordt het proces als vitaal beoordeeld.

2.2.3 Critical Entities Resilience (CER) – Richtlijn

De Europees-bepaalde CER-richtlijn richt zich op de bescherming van publieke en private entiteiten tegen fysieke risico's, zoals de gevolgen van (terroristische) misdrijven, sabotage en natuurrampen. De Europese lidstaten moeten de CER-richtlijn opnemen in nationale wetgeving. Het streven is om de wetsvoorstellen na consultatie aan het einde van het jaar aan de Kamer aan te bieden².

De CER-richtlijn wil de fysieke weerbaarheid van kritieke entiteiten verhogen die diensten verlenen in de sectoren: energie, drinkwater, transport, digitale infrastructuur, levensmiddelenindustrie, gezondheidszorg, infrastructuur voor de financiële markt, afvalwater, overheidsdiensten, bankwezen en ruimtevaart (NCTV, 2023). Deze sectoren kennen weer net een andere indeling dan die van de NCTV of het deltaprogramma. In de appendix is een overzicht ingevoegd (zie Tabel 10) van de verschillende definities/sectoren van vitale functies en hoe deze zich onderling verhouden. Echter, in principe zijn alle CER-sectoren ook vitale sectoren en met de invoering van Aanpak Vitaal de essentiële diensten volgens de CER straks ook vitale processen binnen het NCTV.

¹ <https://www.nctv.nl/onderwerpen/vitale-infrastructuur/aanpak-vitaal>

² Kamerbrief wat betreft stand van zaken waarin vastgesteld wordt dat de eerder genoemde deadline van eind 2024 niet meer haalbaar is: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-c0e542e9a9a25abd01e04a6e061b1849514a4fa2/pdf>

Binnen de CER wordt een aantal keer expliciet gerefereerd aan 'klimaat'. Er wordt gesteld dat er een toenemend fysiek risico is wegens natuurrampen en klimaatverandering wat op grotere en meer frequente schaal leidt tot extreme weersomstandigheden die afbreuk kunnen doen aan de 'capaciteit, efficiëntie en levensduur van bepaalde soorten infrastructuur' (Europese Unie, 2022). In artikel 13a wordt dan ook expliciet gerefereerd aan het treffen van klimaatadaptatiemaatregelen:

*'te voorkomen dat zich incidenten voordoen, naar behoren rekening houdend met maatregelen ter beperking van het risico op rampen en maatregelen voor aanpassing aan de klimaatverandering'*³

2.2.4 Internationale definities

Wanneer we uitzoomen en internationaal bekijken wat er onder vitale en kwetsbare functies wordt verstaan, valt een aantal dingen op. In de internationale context hebben we het vaak over 'critical infrastructure (CI)'. Deze term dekt grofweg dezelfde lading als vitale en kwetsbare functies. CI kan worden gedefinieerd als: *"those physical resources, services, and information technology facilities, networks and infrastructure assets which, if disrupted or destroyed, would have a serious impact on the health, safety, security or economic well-being of citizens or the effective functioning of governments."* (de Bruijn & van Ruiten, 2017). CI wordt daarom ook wel de 'ruggengraat van een goed functionerende maatschappij' genoemd (Hall et al., 2016, geciteerd in Koks et al., 2022). Daarmee kan het falen van vitale functies leiden tot onderbrekingen in het dagelijkse reilen en zeilen van mensen en bedrijven en uiteindelijk zelfs tot maatschappelijke ontwrichting (Koks et al., 2022). Ook de CER geeft een vergelijkbare definitie van CI.

Een tweede opmerkelijk punt betreft de gezondheids- en onderwijsinstellingen. In de internationale context worden onderwijs- en gezondheidsinstellingen vaak meegenomen maar binnen Nederland en andere Europese landen wordt er maar beperkt aandacht aan geschonken. Het deltaprogramma heeft "gezondheid" wel al opgenomen als vitaal en kwetsbaar, maar binnen Aanpak Vitaal is dit nog niet expliciet benoemd. Echter met de komst van de CER-richtlijnen en NIS2 heeft het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport) eind 2023 een kamerbrief⁴ gestuurd over het opnemen van (delen van) de zorgsector als vitale functie.

Onderwijsinstellingen worden echter helemaal niet meegenomen in de verschillende lijsten van Vitaal en Kwetsbaar zoals hierboven omschreven. Dit is opvallend, omdat het Sendai Framework for Disaster Risk Reduction deze categorie wel specifiek beschrijft in target D: *Substantially reduce disaster damage to critical infrastructure and disruption of basic services, among them **health and educational facilities**, including through developing their resilience by 2030* (UNDRR, 2022).

Het Sendai Framework is onder leiding van United Nations Office for Disaster Risk Reduction als eerste grote overeenkomst na de ontwikkelingsagenda van 2015 opgezet om samen te werken om het ontstaan van nieuwe risico's te voorkomen, bestaande risico's te verminderen en de weerbaarheid te vergroten. Vele landen, waaronder Nederland, hebben zich gecommitteerd om hieraan te werken. Geconcludeerd zou dus kunnen worden dat het een gemiste kans is dat gezondheids- en onderwijsinstellingen niet specifiek worden meegenomen.

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2557>

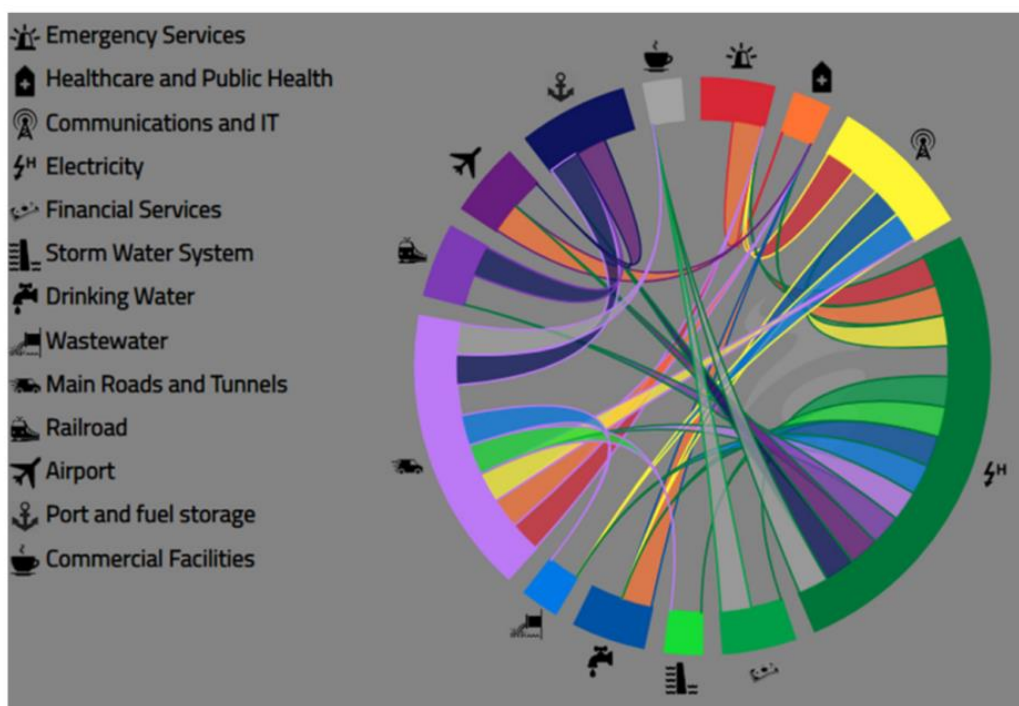
⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/12/12/kamerbrief-over-weerbaarheid-zorg-vitaal-verklaring-zorg-en-implementatie-van-de-eu-richtlijnen-nis2-en-cer>

2.3 Ketenafhankelijkheden en cascade-effecten

Om de impact van uitval van vitale en kwetsbare functies goed in beeld te brengen, kun je de functies niet los beschouwen, maar moet je ook de onderlinge afhankelijkheden in de keten kennen die ervoor kunnen zorgen dat er extra effecten kunnen optreden (cascade-effecten). Om deze reden presenteren we hier een beknopte theoretische basis van ketenafhankelijkheden en cascade-effecten. Hieronder lichten we ook twee cases uit de geraadpleegde literatuur uit, waarin deze worden onderzocht.

Vitale en kwetsbare functies zijn vaak van elkaar afhankelijk. Als gevolg hiervan kan de impact van uitval van een vitale functie, doorwerken in andere functies en grote gevolgen hebben. Dit noemen we cascade-effecten. Cascade-effecten treden op omdat er ketenafhankelijkheid in het systeem is; uitval bij de ene functie kan leiden tot functieverlies van een andere functie. Het is belangrijk om ketenafhankelijkheid goed in beeld te brengen om zo de daadwerkelijke impact te kunnen bepalen (Klimaatadaptatie, 2020).

Ketenafhankelijkheden kunnen op verschillende manieren in beeld gebracht worden. Doorgaans gebeurt dit met een scenario waarbij de cascade-effecten worden nagelopen of gesimuleerd. Stakeholders kunnen hier vaak bij helpen. Zo hebben De Bruijn et al. (2019) en De Bruijn et al. (2016) een aantal verhaallijnen doorgelopen met stakeholders om inzicht te krijgen in mogelijke cascade-effecten. Middels de Circle tool kunnen deze afhankelijkheden op een kwalitatieve manier gevisualiseerd worden. Deze methode is toegepast op de case studies Fort Lauderdale in de Verenigde Staten (de Bruijn et al., 2019) en Cork in Ierland (de Bruijn et al., 2016). Figuur 3 laat de resultaten zien van de studie naar Fort Lauderdale. Te zien zijn de afhankelijkheden tussen sectoren, waaruit duidelijk naar voren komt dat er veel vitale functies ketenafhankelijk zijn van elektriciteit en transport.



Figuur 3: Resultaten van de Bruijn et al. (2019) gevisualiseerd met de Circle tool. Hoe groter het oppervlak van een vitale functie, hoe meer functies hiervan afhankelijk zijn.

Een meer kwantitatieve manier om cascade-effecten in beeld te krijgen is grafentheorie (Arosio et al., 2020), waarbij een complex systeem naar een 'graaf' kan worden vertaald (een wiskunde structuur om relaties tussen elementen te modelleren) (Klimaatadaptatie Nederland, z.d., c). Hiermee kunnen systemen en afhankelijkheden gemodelleerd worden. Dit kan echter zeer complex en theoretisch worden (Lindner et al., 2017; Schauer et al., 2018). Onderzoek van Ouyang (2014) en Saidi et al. (2018) biedt een uitgebreid overzicht van

de modelleringsbenaderingen die worden gebruikt in de context van de veerkracht van onderling afhankelijke infrastructuur. Methoden zoals systeemdyndamiek, agent-gebaseerde modellering en input-output modellering worden ook toegepast.

Er zijn weinig concrete toepassingen te vinden van een graafmodel voor Nederland. Voor een concrete toepassing moet de werkelijkheid vaak zeer versimpeld worden. Zoals bijvoorbeeld in het onderzoek naar cascade-effecten in vitale infrastructuur, toegepast op de casus Zeeuws-Vlaanderen, door Krol (2018), waarin vijf vitale sectoren zijn meegenomen. Het doel van de studie was om een algemene methode van cascademodellering op te stellen die toepasbaar is op verschillende netwerken. De methode werd getoetst op het elektra-, gas-, telecom-, en transportnetwerk van Zeeuws-Vlaanderen. De resultaten werden besproken met netwerkbeheerders. De gebruikte methode bleek geschikt voor locatie-specifieke uitval, maar minder voor complexere analyses. Daarnaast is het lastig om cascade-effecten accuraat door te rekenen, ook door kennisleemtes over bijvoorbeeld de redundantie van bepaalde netwerken (Krol, 2018).

2.4 Deelconclusie

De beschikbare definities van vitale infrastructuur dekken grofweg dezelfde lading. In alle gevallen gaat het over functies die infrastructuur biedt aan de maatschappij. Bij (ernstige) onderbreking van deze functies, op welke manier dan ook, treden er verstoringen op in de maatschappij die impact hebben op het dagelijks leven. Deze kunnen versterkt worden door keteneffecten.

Er zijn op nationaal niveau wel verschillende invullingen te vinden van vitale functies of vitale infrastructuur. Het Deltaprogramma heeft de meest algemene lijst, met veelomvattende hoofdgroepen waarin weinig onderscheid gemaakt wordt in de subgroepen. De CER en de NCTV zijn gedetailleerder door het benoemen van verschillende subgroepen en nemen daarnaast bijvoorbeeld ook digitale overheidsprocessen en de financiële sector mee als vitale functies.

Het is opvallend dat er een verschil is tussen nationale en internationale definities, waarbij in de internationale context vaak educatie en ziekenhuizen of gezondheidszorg worden meegenomen. Waarom dit in de Nederlandse context niet (in het geval van educatie) of tot nu toe nog maar beperkt (in het geval van gezondheidszorg) wordt gedaan is onduidelijk. Wel is door de kamerbrief van minister Kuipers⁵ duidelijk dat wat betreft de zorgsector hier naar gekeken zal worden, mede met de komst van de CER en NIS2.

Daarnaast is het mogelijk om ketenafhankelijkheden van vitale infrastructuur te definiëren op verschillende manieren, waaronder graaftheorie en kwalitatief met de Circle tool. Wanneer ketenafhankelijkheden op een kwantitatieve manier worden meegenomen kan dit complex worden.

3 In de praktijk

3.1 Praktijkvoorbeelden

Dit hoofdstuk licht een aantal praktijkvoorbeelden uit waarin de componenten wateroverlast, vitale infrastructuur en/of cascade-effecten gekoppeld worden. Onder deze praktijkvoorbeelden vallen bijvoorbeeld casestudies naar wateroverlast en casestudies naar specifieke vitale functies. Dit hoofdstuk is opgesplitst in voorbeelden uit de Nederlandse en de internationale context. Verderop worden ook de bestaande normeringskaders op landelijk, regionaal en objectniveau uiteengezet.

3.1.1 Nederland

Een aantal voorbeelden biedt inzicht in de relatie tussen onderzoek tussen wateroverlast en vitale infrastructuur in Nederland. Deze zijn hieronder samengevat in een tabel en worden daarna verder uitgewerkt.

Tabel 4: Praktijkvoorbeelden studies vitale functies in Nederland

Case studie	Type onderzoek	Feiten of simulatie	Cascade-effecten meegenomen	Vitale functies
Wateroverlast Limburg (2021)	Fact-finding studie naar aanleiding van de overstromingen van 2021	Feiten/Empirisch	Kwalitatief. Beperkt.	Vitale infrastructuur algemeen, geobserveerde uitval van hoofdwegennet, elektriciteit, telecom
Waterrobuuste Elektriciteit Zeeland	Kwalitatieve analyse, gebiedsgerichte pilot van elektriciteitsnet in Zeeland	Simulatie	Kwalitatief	Elektriciteit
Zuid-Holland: 'Analyse grootschalige wateroverlast'	Kwantitatieve simulatie, regionale analyse 'wat als de Limburgbui in Zuid-Holland was gevallen?'	Simulatie	-	Elektriciteit, wegennet, hectares getroffen landbouw
Rijksbrede risico-analyse nationale veiligheid / themarapportage bedreiging vitale infrastructuur	Scenario risicobeoordeling met expertbeoordeling	Simulatie	Kwalitatief	Vitale infrastructuur algemeen, met name elektriciteit en telecom
Netwerk Water en Klimaat: Case Regio Utrecht Zuidwest	Handreiking gevolgbeperking. Ambitiedocument met methode om op objectniveau binnen een gebied risico-beoordelingen te maken.	Simulatie	Kwantitatief	Vitale functies zoals in het Deltaprogramma, met onderscheid tussen lokale, regionale en landelijke relevantie
Overzicht Dashboards en toelichtingen van Vitale en Kwetsbare functies	Dashboard uit 2014 met inzicht in vitale en kwetsbare functies in relatie tot overstromingsrisico's	Simulatie/expert judgement	Kwalitatief	Vitale functies zoals in het deltaprogramma

Case studie	Type onderzoek	Feiten of simulatie	Cascade-effecten meegenomen	Vitale functies
Werkpakket Wateroverlast en Overstroming 2022 – methodiek voor uitwerken bovenregionale extreme neerslagrisico's.	Methodiek voor uitwerken bovenregionale extreme neerslagscenario's als input voor stresstesten, ruimtelijke ordening, crisisbeheersing en risico analyse.	Literatuurstudie	Beperkt, kwalitatief	Elektriciteit, ICT, telecom, waterhuishouding, gezondheid en veiligheid, infrastructuur, natuur en landbouw.

[Wateroverlast Limburg \(2021\)](#) *Expertise Netwerk Waterveiligheid Feiten en Duiding*

Deze studie evalueert de gevolgen van de overstromingen in Limburg en is een empirische studie binnen de Nederlandse context. De studie omvat verschillende aspecten van de ontwrichting als gevolg van de overstromingen, waaronder bedrijfsuitval en uitval van infrastructuur. Hierin is gekeken naar fysieke schade. Tijdens het hoogwater zijn het hoofdwegennet, het elektriciteitsnet en de telecomvoorziening onderbroken geweest. Er wordt genoemd dat uitval van elektriciteit en transport en cascaderwerking beperkt zijn gebleven.

[Waterrobuuste Elektriciteit Zeeland](#) *Gebiedsgerichte pilot, kwalitatieve analyse*

In deze studie is gekeken naar de kwetsbaarheid van het elektriciteitsnetwerk in Zeeland voor overstromingen. Middels een GIS-analyse zijn vitale assets en bijbehorende netwerken geïdentificeerd die het meest kwetsbaar zijn voor overstromingen en extreme wateroverlast. De cascade-effecten zijn kwalitatief meegenomen. De bevindingen zijn getoetst met de netbeheerders en andere stakeholders. Er is ook aandacht besteed aan maatregelen om robuustheid te vergroten. Zij concluderen onder andere dat “Elektriciteitsuitval (middenspanning) door hevige neerslag wordt gezien als een zeer klein risico.”

[Zuid-Holland: 'Analyse grootschalige wateroverlast'](#) *Regionale analyse, kwantitatieve analyse*

Deze verkennende studie simuleert de gevolgen van de vraag: wat als de Limburgbui in Zuid-Holland was gevallen? Het doel was om de duur en omvang van de wateroverlast in kaart brengen wanneer er een Limburgbui op Zuid-Holland zou vallen en een eerste verkenning te doen van de mogelijke gevolgen, waaronder die voor vitale infrastructuur. Het elektriciteitsnet, wegennet, kwetsbare IED-bedrijven en landbouwland zijn beoordeeld. Een aantal belangrijke conclusies: grootschalige wateroverlast leidt tot verkeersproblemen en mogelijke cascades voor hulpdiensten en transportafhankelijke bedrijven. Daarnaast beïnvloedt stroomuitval pompen en gemalen wat het wegpompen van water bemoeilijkt, met mogelijke cascade-effecten voor het wegennet. De studie wordt gebruikt om inzicht te krijgen in de omvang van mogelijke gevolgen van grootschalige wateroverlast, een niveau waar we tot deze studie nog weinig inzicht in hadden.

[Rijksbrede risico-analyse nationale veiligheid](#) *Risicoscenarios met expertbeoordeling*

Deze risicoanalyse omvat velerlei dreigingen die de samenleving kunnen ontwrichten. Samen met experts zijn verschillende scenario's doorgewerkt en zijn de kansen en gevolgen kwalitatief getypeerd in een matrix. Het overzicht dient als basis voor de bredere veiligheidsstrategie van de overheid.

Ook bedreigingen voor vitale infrastructuur zijn uitgewerkt, hoewel de rijksbrede risicoanalyse verder gaat dan alleen vitale infrastructuur. Als onderdeel van deze risico-analyse is er dan ook de [themarapportage bedreiging vitale infrastructuur](#), die wel specifiek is voor vitale infrastructuur. Hierin springen ook de energiesector en de communicatiesector eruit, vanwege de (verborgen) afhankelijkheden hiervan in de

samenleving. Cascade-effecten van elektriciteitsuitval worden genoemd, waarbij de gevolgen worden getypeerd als zeer ernstig, maar de kans als 'onwaarschijnlijk' (Figuur 4). De analyse noemt verder dat door klimaatverandering steeds vaker extreme weersomstandigheden zoals extreme regenval zal voorkomen, waardoor de waarschijnlijkheid van verstoring van vitale infrastructuur verder zal toenemen.

Catastrofaal					
Zeer ernstig		• Keteneffecten elektriciteitsuitval	• Overstroming rivier (uit thema klimaat- en natuurrampen)		
Ernstig	• Ransomware telecom			• Landelijke black-out	• Natuurbranden (uit thema klimaat- en natuurrampen)
Aanzienlijk					
Beperkt					
	Zeer onwaarschijnlijk	Onwaarschijnlijk	Enigzins waarschijnlijk	Waarschijnlijk	Zeer waarschijnlijk

Figuur 4: Landelijke bedreigingen voor vitale infrastructuur zoals uitgewerkt in scenario-analyse in de themarapportage bedreiging vitale infrastructuur (ANV, 2022)

[Netwerk Water en Klimaat: Case Regio Utrecht Zuidwest Ambitiedocument HKV \(Handreiking gevolgbeperking overstroming, tot en met functieverlies\) kwalitatief risicomatrix om te beoordelen of er ingegrepen moet worden.](#)

Deze handreiking is ontwikkeld voor de provincie Utrecht met betrekking tot het beperken van gevolgen van uitval in vitale functies door overstromingen vanuit zee, rivieren, buitenwater of door een falende kering. De handreiking richt zich specifiek op nieuwbouw en kan als een ambitiedocument worden beschouwd voor ontwerpeisen op objectniveau. De aanpak omvat waternisicoprofielen, -diagrammen, overstromingskaarten en leefbaarheidskaarten. Hiermee kan een afweging gemaakt worden tussen acceptabele risico's op objectniveau.

De handreiking volgt de categorisering van vitale en kwetsbare functies zoals beschreven in het deltaprogramma. Deze zijn verder opgedeeld in lokaal, regionaal en landelijke relevante functies. Hiervan zijn vervolgens de objecten geïdentificeerd. Een van de aanbevelingen is om de criteria voor vitale objecten met lokale, regionale en landelijke impact uniform vast te stellen en deze objecten te registeren. Voor objecten met landelijke impacts worden andere drempelwaarden aanbevolen dan regionale en lokale impact. In het rapport staan deze drempelwaarden en aanbevolen normen verder uitgewerkt.

[Overzicht Dashboards en toelichtingen van Vitale en Kwetsbare functies Vitale en kwetsbare functies in relatie tot overstromingsrisico geaccordeerd op directorenniveau, 2014.](#)

In dit overzicht is voor de vitale en kwetsbare functies uit het Deltaprogramma de kwetsbaarheid en afhankelijkheid kwalitatief beschreven, met daarbij ook toelichting vanuit het dan-geldende beleid en de regelgeving. Het document geeft inzicht in mogelijke uitval bij overstromingen en soms ook in cascade-effecten. Het overzicht is opgesteld voor overstromingen met grote waterdieptes. Het overzicht geeft belangrijke inzichten in mogelijke manieren van uitval van vitale functies en ketenafhankelijkheden.

[Werkpakket Wateroverlast en Overstroming 2022](#) Methodiek voor uitwerken bovenregionale extreme neerslagrisico's.

In dit rapport wordt een methodiek aangereikt voor het doorlopen van bovenregionale extreme neerslagscenario's als input voor stresstesten, ruimtelijke ordening, crisisbeheersing en risico-analyse. Er wordt ook aandacht geschonken aan de uitval van kritieke infrastructuur bij extreme regenval waarin ook een literatuuroverzicht wordt gepresenteerd. In dit rapport wordt meer aandacht gelegd op drempelwaardes en kritieke hoogten van objecten in relatie tot wateroverlast. Een belangrijke conclusie is dat voor slechts een beperkt aantal kwetsbare en vitale objecten er eenduidige kritieke uitvaldieptes bekend zijn. Het rapport geeft ook schade-inschattingen van uitval van uitval van elektriciteit, gas, verkeer en landbouw. In de bijlage van het document zijn nog gedetailleerdere uitwerkingen gedaan van elektriciteit, aardgas, olie, hulpdiensten, publiek netwerk, waterhuishouding (drinkwater en afvalwater), gezondheid, chemie, nucleair, infectueuze stoffen, landbouw, wegen, luchtvaart en spoorwegen.

3.1.2 Internationaal

De internationale praktijkvoorbeelden zijn vooral academische (model)studies. Deze studies bevatten wel vaak benadering van cascade-effecten, maar ze zijn niet altijd specifiek voor wateroverlast door extreme neerslag. Hieronder lichten we er een aantal uit.

Tabel 5: Internationale praktijkvoorbeelden studies vitale functies

Case studie	Type onderzoek	Feiten of simulatie	Keteneffecten meegenomen	Vitale functies
Katrina: Critical infrastructure impacts	Terugblik op gebeurtenissen tijdens orkaan Katrina	Feiten/empirisch	Kwalitatief	Vitale functies algemeen, met name elektriciteit en communicatie
Fort Lauderdale: Flood resilience of critical infrastructure	Semi-kwantitatieve modelstudie met expertduiding	Simulatie	Kwalitatief. Met name van elektriciteit en transport.	Elektriciteit, telecom, wegennet, hulpdiensten, gezondheidszorg, financiële diensten, drinkwater, afvalwater, keringen, bedrijven
Vitaal en Kwetsbaar uitval na Overstromingen West-Europa 2021	Analyse na observaties infrastructuuruitval en – herstel	Feiten/empirisch	Kwalitatief, beperkt	Wegennet, spoorwegennet, elektriciteit, gas, watervoorziening, afvalwater, telecom, gezondheid en scholen
Storm in Lancaster 2015 die leidde tot uitval van vitale infrastructuur	Observaties gevolgen storm in Lancaster	Feiten/empirisch	Kwalitatief. Met name van elektriciteit.	Elektriciteit, wegennet, telecom, gezondheidszorg, scholen.
Flood vulnerability of critical infrastructure in Cork, Ireland	Modelstudie die kwetsbaarheid en afhankelijkheden in kaart brengt	Feiten en simulatie	Kwalitatief. Met name van elektriciteit en transport.	Elektriciteit, afvalwater, telecom, wegennet, gasnetwerk, ziekenhuizen, vliegvelden, scholen, haven, vliegveld.

[Hurricane Katrina: Critical infrastructure impacts](#) *Observaties kritieke infrastructuur en cascade-uitval*

In de studie (Miller, 2006) naar de nasleep van Hurricane Katrina is duidelijk geworden dat grootschalige uitval van kritieke infrastructuur tot enorme chaos kan leiden in de gehele maatschappij. Ten tijde van de orkaan leidde het al tot problemen met crisismangement en crisiscommunicatie en er wordt gesproken van “breakdown in command and control and in public order”. Hulpdiensten waren onbereikbaar en zelfs de radio-frequenties werden onderbroken. Ondanks dat een orkaan minder toepasbaar is voor Nederland, demonstreert het de enorme impact van uitval van communicatiediensten

[Fort Lauderdale: Flood resilience of critical infrastructure](#) *Semi-kwantitatieve modelstudie met stakeholders*

Dit is een semi-kwantitatieve modelstudie door de Bruijn et al. (2019) voor Fort Lauderdale en haar kritieke infrastructuur, gebaseerd op input uit workshops met belanghebbenden. Voor deze studie is een extreem regenval scenario gekozen. Verschillende vitale functies, potentiële blootstelling en cascade-effecten zijn hierbij in kaart gebracht. Bovendien zijn er storylines ontwikkeld tijdens workshops met stakeholders, waarbij het hele verloop van gebeurtenissen is doorgenomen. Met behulp van de Circle-tool zijn de afhankelijkheden in kaart gebracht.

De analyse omvat duur van uitval, getroffen aantal personen, impacttype en cascade-effecten, gedeeltelijk gekwantificeerd met 'disruption days' als maatstaf (personen geraakt x duur van uitval). Er zijn veel sectoren meegenomen, waaronder elektriciteit, transport, financiën, gezondheidszorg, drinkwater, afvalwater, communicatie en gezondheidszorg. Cascade-effecten zijn meegenomen en kwalitatief beschreven voor elke sector.

Uit de studie (Bruijn et al., 2019) komt naar voren dat met name het elektriciteitsnet potentie heeft voor ernstige cascade-effecten. Als de stroom uitvalt vallen bijvoorbeeld ook stoplichten en wegsignaleringen weg, wat tot problemen op de weg kan leiden. Uitval van elektriciteit leidt ook tot directe problemen op het spoor. Verder ontwricht het communicatiesystemen, wat tot problemen kan leiden voor hulpdiensten. Ook betaalsystemen kunnen worden onderbroken. Al met al kan dit grote gevolgen hebben op lokaal, regionaal en in het ergste geval zelfs nationaal niveau.

De conclusies tonen dus aan dat het elektriciteitsnet het meest kritisch is, omdat bijna alle andere infrastructuur hiervan afhankelijk is. Daarnaast heeft transport ook veel invloed op de bereikbaarheid en kan daarmee ook grote cascade-effecten hebben. Communicatie is met name belangrijk voor hulpdiensten ten tijde en vlak na de gebeurtenis .

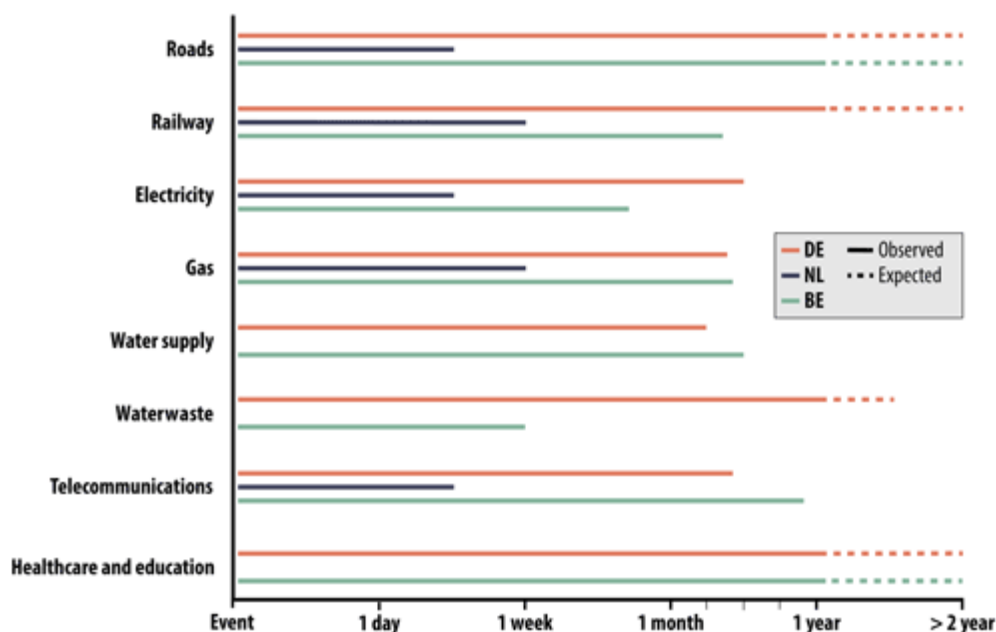
[Vitaal en Kwetsbaar uitval na Overstromingen West-Europa 2021](#) *Observaties uitval Duitsland, België, Nederland*

Na de overstromingen van 2021 is er een speciale inventarisatie geweest naar de impacts van de overstromingen op de vitale infrastructuur in Nederland, België en Duitsland. Deze studie (Koks et al., 2022) is met name bedoeld als validatiemateriaal en om beter inzicht te krijgen in de effecten van overstromingen op vitale infrastructuur. De studie vult een leemte van empirische observaties van de impacts van extreem weer op infrastructuursystemen (Koks et al., 2022).

Veel infrastructuur was ernstig beschadigd, met name in België en Duitsland. Telecom is in alle drie de landen uitgevallen met verschillende herstelduur tot gevolg. In Duitsland waren de drinkwatervoorzieningen en afvalwaterzuiveringen beschadigd of verontreinigd. Er zijn geen aanwijzingen gevonden van directe impact van de overstromingen op de afvalsector. Gezondheidszorg en educatie zijn ook vooral in Duitsland geraakt, met hoge kosten als resultaat.

Een belangrijke conclusie is dat de uitval van infrastructuur ernstig was op lokaal en regionaal niveau en de effecten op het dagelijks leven en de economie. Op nationale

schaal waren de gevolgen echter relatief klein. Studies op lokale schaal zijn daarom belangrijk om de daadwerkelijke gevolgen beter te begrijpen. Daarnaast is een vergelijking gemaakt met verwachte uitval van bepaalde infrastructuurfuncties en de daadwerkelijk opgetreden uitval en herstelwerkzaamheden (zie Figuur 5). Verder stippen de auteurs aan dat er meer gedetailleerde studies nodig zijn naar uitval van vitale infrastructuur en cascade-effecten.



Figuur 5: Verwachte en geobserveerde duur van herstelwerkzaamheden na de overstromingen van 2021 in België, Duitsland en Nederland (Koks et al., 2022). Geen lijn betekent dat er geen impacts zijn geobserveerd.

[Storm in Lancaster 2015, uitval van vitale infrastructuur](#) *Observaties uitval kritieke infrastructuur*

Dit onderzoek (Ferranti, 2017) rapporteert een aantal observaties ten gevolge van de Storm in Lancaster in 2015. Hevige regenval leidde hier in 2015 tot uitval van verschillende vitale infrastructuur. Belangrijke wegen en spoorwegennetwerken konden niet meer functioneren en de stroomvoorziening viel gedurende twee dagen uit omdat een belangrijk elektriciteitsstation onder water stond. De gevolgen waren voelbaar voor Lancaster en omliggende steden. Ongeveer 61000 huishoudens zaten zonder stroom.

Het uitvallen van elektriciteit voor meer dan dertig uur veroorzaakte een tweede golf van infrastructuurstoringen en verstoringen in Lancaster en de omliggende gebieden. Doordat het basisstation dat radiosignalen verzendt elektriciteit nodig heeft en geen backup-stroombron had, was geen internet beschikbaar en werkten de mobiele telefoons ook niet. Op het wegen- en spoornet leidde de stroomuitval tot uitval van straatverlichting en verkeerslichten. Daarnaast was er geen brandstof te krijgen omdat de pompen het niet deden. Ziekenhuizen konden operationeel blijven door hun eigen dieselgeneratoren, maar alle niet-urgente afspraken en operaties werden geannuleerd. Er waren militairen nodig om personeel over de overstroomde wegen van en naar hun werk te vervoeren. Daarnaast waren plaatselijke scholen twee tot drie dagen dicht.

[Flood vulnerability of critical infrastructure in Cork, Ireland](#) *Modelstudie na een overstroming inclusief kwalitatieve cascade-effecten*

Een overstroming in Cork heeft gezorgd voor ontwrichting van de gezondheidszorg, watervoorzieningen, elektriciteitsvoorziening en transportinfrastructuur. Deze studie door de Bruijn et al. (2016) is daarna opgezet om de kwetsbaarheden van infrastructuur voor

overstromingen te onderzoeken. Met behulp van de Circle-tool zijn de afhankelijkheden van het falen van de infrastructuur geanalyseerd, samen met de impact op de samenleving. Net zoals in het onderzoek naar Fort Lauderdale zijn hierbij verhaallijnen en stakeholders betrokken.

Zowel Corks regionale als nationale infrastructuur blijken sterk afhankelijk van een stabiele elektriciteitsvoorziening en het functioneren van het wegennet. Zo zijn de afvalwaterzuivering, communicatiesystemen, verkeerslichten en straatverlichting afhankelijk van het energienet. Hoewel het gasnetwerk en de telecominfrastructuur op zichzelf niet gevoelig bleken voor overstromingen, zijn ze wel afhankelijk van elektriciteit. Ziekenhuizen en vliegvelden beschikken over eigen back-upstroomvoorzieningen. Instellingen zoals scholen, universiteiten, ziekenhuizen, de haven en het vliegveld kunnen volledig disfunctioneel raken als ze getroffen zijn door overstromingen of onbereikbaar zijn vanwege ondergelopen wegen. Deze voorbeelden illustreren hoe verstoringen in het elektriciteitsnetwerk en het transportsysteem cascade-effecten kunnen veroorzaken.

3.2 Bestaande normeringen/afweegkaders

Bij het vaststellen van normenkaders komt de vraag naar voren: wanneer zijn de gevolgen van uitval van vitale functies acceptabel? Er zijn verschillende documenten te vinden met verschillende normeringen, afweegkaders en richtlijnen rondom vitale infrastructuur, rondom wateroverlast en op objectniveau. Er zijn geen specifieke normeringen voor infrastructuur die uitvalt door wateroverlast. Een andere belangrijke vraag is, wanneer zijn de gevolgen te groot? Ofwel, wanneer treedt er dusdanige maatschappelijke ontwrichting op dat deze onacceptabel is?

3.2.1 Landelijke classificatie vitale infrastructuur

Er is een landelijke classificatie voor vitale infrastructuur. Dit is de classificatie (eerder genoemd in Tabel 3) welke de NCTV gebruikt om vitale functies in te delen in categorie-A of categorie-B infrastructuur. Deze criteria zijn niet specifiek voor klimaatdreigingen, maar beslaan dreigingen in het algemeen. Opvallend is dat deze criteria aan de hoge kant lijken en daardoor minder hanteerbaar of bruikbaar in de praktijk.

De belangrijkste norm is de CER-richtlijn die entiteiten verplicht om passende maatregelen te nemen tegen dit soort risico's. De landelijke regelgeving daarvan wordt echter, zoals eerder vermeld, nog uitgewerkt.

3.2.2 Leidraad risicobeoordeling rijksbrede risicoanalyse

In de leidraad risicobeoordeling rijksbrede risicoanalyse worden handvatten gegeven aan het concept 'maatschappelijke ontwrichting' op landelijk niveau, voor elke mogelijke dreiging. Hier wordt geschreven dat maatschappelijke ontwrichting optreedt als een of meerdere van de domeinen van het nationaal veiligheidsbelang (ernstig) worden aangetast. De verschillende domeinen van het nationaal veiligheidsbelang zijn hieronder gedefinieerd (ANV, 2019).

Tabel 6: Domeinen van nationaal veiligheidsbelang zoals gedefinieerd door ANV (2019).

Nationaal veiligheidsbelang	Impactcriteria
1. Territoriale veiligheid	1.1 Aantasting van de integriteit van het grondgebied van het Koninkrijk der Nederlanden
	1.2 Aantasting van de integriteit van de internationale positie van het Koninkrijk der Nederlanden
	1.3 Aantasting van de integriteit van de digitale ruimte
	1.4 Aantasting van de integriteit van het bondgenootschappelijk grondgebied
2. Fysieke veiligheid	2.1 Doden
	2.2 Ernstig gewonden en chronisch zieken
	2.3 Gebrek aan primaire levensbehoeften
3. Economische veiligheid	3.1 Kosten
	3.2 Aantasting van de vitaliteit van de economie van het Koninkrijk der Nederlanden
4. Ecologische veiligheid	4.1 Langdurige aantasting van het milieu en de natuur
5. Sociale en politieke stabiliteit	5.1 Verstoring van het dagelijkse leven
	5.2 Aantasting van de democratische rechtstaat
	5.3 Sociaal-maatschappelijke impact
6. Internationale rechtsorde en stabiliteit	6.1 Aantasting van de normen van staatssoevereiniteit, vreedzame co-existentie en vreedzame geschillenbeslechting
	6.2 Aantasting van de werking, legitimiteit dan wel naleving van de internationale verdragen en normen inzake de rechten van de mens
	6.3 Aantasting van een op regels gebaseerd internationaal financieel-economisch bestel
	6.4 Aantasting van de effectiviteit, legitimiteit van multilaterale instituties
	6.5 Instabiliteit van staten grenzend aan het Koninkrijk der Nederlanden

De impact van elk willekeurig event of elke bedreiging kan geduid worden met deze leidraad. Per impactcriterium kan een score worden toegekend. Afhankelijk van het type en de duur van het gevolg kan worden geduid of de impact beperkt (A) of catastrofaal (E), of daartussenin is. Net als voor de impact wordt ook voor de waarschijnlijkheid een inschatting in vijf klassen gebruikt: van zeer onwaarschijnlijk (A) tot zeer waarschijnlijk (E). Voor criteria die niet uit te drukken zijn in een absoluut aantal wordt een andere kwalitatieve score toegekend. Door deze methode voor elk impactcriterium in te vullen, kan de ernst van een bedreiging geïmpacteerd worden.

Een voorbeeld is impactcriterium 2.3 'gebrek aan primaire levensbehoeften'. Hierbij hangt de impactscore af van de duur van de onderbreking en van het aantal getroffen personen bij die duur. Een catastrofale score op dit impactcriterium treedt op wanneer de duur van gebrek aan primaire levensbehoeften langer is dan een maand en er meer dan 100.000 mensen worden getroffen, of wanneer er meer dan een miljoen getroffen personen zijn en de tijdsduur 1 tot 4 weken is.

Tabel 7: Een voorbeeld van scores van een impactcriterium

Impactcriterium 2.3 'gebrek aan primaire levensbehoeften'				
	< 10.000 getroffenen	< 100.000 getroffenen	<1.000.000 getroffenen	>1.000.000 getroffenen
2 tot 6 dagen	A	B	C	D
1 tot 4 weken	B	C	D	E
1 maand of langer	C	D	E	E

In de themarapportage bedreiging vitale infrastructuur (als deelrapportage van de Rijksbrede risicoanalyse) wordt deze methode toegepast op vitale infrastructuur. Verschillende hypothetische scenario's worden doorgewerkt en hierbij worden de gevolgen beschreven en gescoord middels de hierboven beschreven leidraad (zie ook de praktijkvoorbeelden in dit rapport).

3.2.3 Provinciale normering wateroverlast

Op provinciaal niveau is er een [normering wateroverlast](#) opgesteld door stichting toegepast onderzoek waterbeheer (STOWA, 2021). In dit onderzoek uit 2021 stelt het STOWA de vraag hoe toekomstbestendig de huidige aanpak en werkwijze is. De normering is opgesteld naar aanleiding van wateroverlast in de jaren negentig. De basisnormen geven aan welke kans op inundatie uit oppervlaktewater aanvaardbaar wordt geacht, waarbij rekening wordt gehouden met landgebruik (grasland, akkerbouw, hoogwaardige land- en tuinbouw, glastuinbouw, bebouwd gebied (extensief, gemiddeld en intensief) en daaraan gekoppelde schadeverwachtingen.

De provinciale normen zijn niet eenduidig en flexibel genoeg. Zo kunnen binnen provincies verschillende normen optreden. In bepaalde provincies worden bijvoorbeeld hoofdinfrastructuur en spoorwegen als losse functie buiten de bebouwde kom gedefinieerd (norm 1/100) en in andere niet. Daarnaast wordt duidelijk dat de provinciale normering met generieke normen op basis van functies niet genoeg flexibiliteit bieden om te anticiperen op ontwikkelingen. Verder leiden de normen in praktijk tot beperkte aandacht voor extreme neerslaggebeurtenissen. De risico's bij boven-normatieve situaties worden niet standaard inzichtelijk gemaakt. Daarnaast is er in de laatste jaren een ontwikkeling gaande waarbij we eerder willen inzetten op bescherming van objecten en het aanpassen van functies dan op het veranderen van het watersysteem. Een omslag van 'watersysteem volgt functie' naar 'functie volgt het watersysteem'. Dit leidt tot behoeften om de normering actueler en flexibeler te maken.

3.2.4 Normering op objectniveau

Er bestaan ook methodes om risico-afwegingen te maken op objectniveau, middels waterrisicoprofielen en -diagrammen. [Waterrisico's bij ruimtelijke ontwikkelingen en assets](#) biedt een afwegingskader voor objecten voor de gevolgen van zowel extreme neerslag als dijkdoorbraken. Deze methode biedt mogelijkheden om ruimtelijke ontwikkelingen op een adaptieve manier te doen.

Wat deze methode onderscheidt, is de objectgerichte benadering die diverse gevolgscenari'o's onderzoekt. Dit gaat verder dan wat doorgaans in stresstesten wordt meegenomen. Deze scenario's worden ingedeeld in verschillende klassen van waarschijnlijkheid. Een cruciale component van de aanpak is de 'risicodialoog', waarin gekeken wordt naar de impact wat betreft schade, slachtoffers en maatschappelijke ontwrichting van deze scenario's. Daarnaast wordt besproken wat als acceptabel wordt beschouwd, welke mogelijke maatregelen kunnen worden genomen en hoe deze uitgevoerd kunnen worden. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen verschillende gebieden en individuele objecten.

Uit het onderzoek blijkt dat werken met bedrijfswaardematrices goed aansluit bij de gangbare werkwijze van assetmanagers. Door waterrisicoprofielen aan te bieden, samen met een overzicht van onderliggende scenario's, wordt de verkregen informatie beter bruikbaar voor beheerders. Maar, hierbij blijft de uitdaging om boven-normatieve gebeurtenissen op te nemen in bedrijfswaardematrices. Voor beheerders is het lastig om hun lopende bedrijfsprocessen preventief aan te passen aan uitzonderlijke situaties omdat dit hoge kosten met zich mee kan brengen en het niet altijd duidelijk is of deze opwegen tegen de eventuele baten. Daarnaast wordt hier vaak een rol voor de overheid in verondersteld.

3.2.5 Normeringen voor waterkeringen

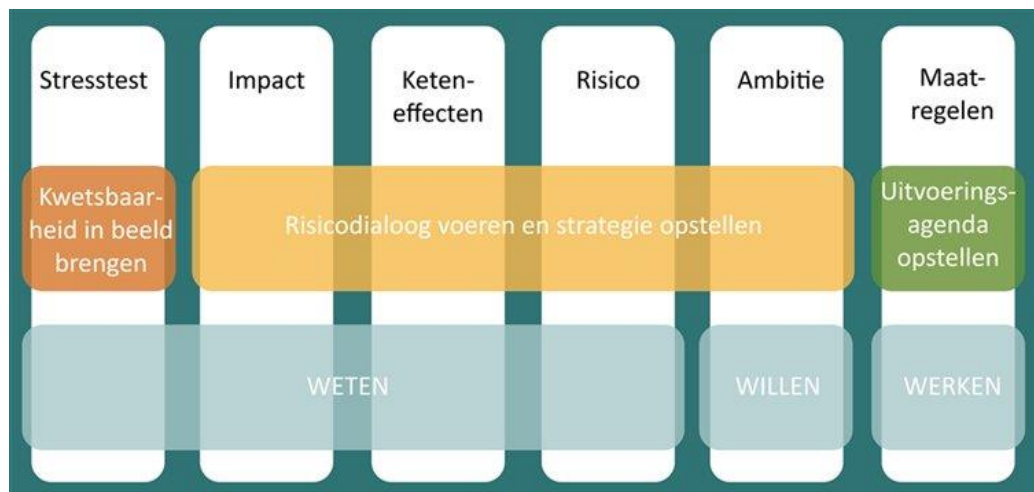
De basis van waterveiligheid in Nederland ligt verankerd in de normeringen voor onze waterkeringen en het basisveiligheidsprincipe. Bij het ontwerpen en construeren primaire waterkeringen wordt er rekening gehouden met (i) een basisveiligheid (minimaal beschermingsniveau) voor iedereen in Nederland achter een primaire waterkering en (ii) een afweging voor grote aantallen slachtoffers, grote economische schade en/of ernstige schade door uitval van vitale en kwetsbare infrastructuur met nationaal belang. Hoewel deze normeringen niet zijn opgesteld voor wateroverlast specifiek, maar vanuit de dreiging van hoogwater vanuit de rivieren en zee, hebben deze waterkeringen (samen met ons polderstelsel met gemalen en pompen), een belangrijke gevolgbeperkende functie bij wateroverlast. Meer is hierover opgeschreven in de grondslagen voor hoogwaterveiligheid (Kok et al., 2016) in opdracht van Expertisenetwerk waterveiligheid (ENW)

3.2.6 Afweegkader voor beschermingsmaatregelen van vitale functies

De website Klimaatadaptatie Nederland (Klimaatadaptatie Nederlands, z.d., b) geeft een framework voor het bepalen van beschermingsmaatregelen voor vitale functies, zie ook Figuur 6. Het framework is gemaakt met infrastructuurbeheerders en (lokale) overheden in het achterhoofd. Het voorgestelde afwegingsproces bestaat uit zes stappen. Deze stappen zijn:

- A. Bepaal welke functies kwetsbaar zijn met behulp van stresstesten
- B. Bepaal de impact van een uitgevallen functie
- C. Breng de keteneffecten in beeld
- D. Bepaal de belangrijkste risico's
- E. Bepaal samen het ambitieniveau om beslissingen te nemen
- F. Kies maatregelen en voer ze uit.

Hierbij staat de risico gestuurde aanpak centraal. De risico-informatie kan worden afgewogen met een risicomatrix. In stap A identificeer je risico's die je in zo'n matrix kunt zetten. Daarna stel je vast wat de kans is op elk risico. Stappen B en C leveren informatie over de gevolgen van uitval en in stap D komt deze informatie over kans en gevolg samen tot een risiconiveau per bedreiging, waardoor je de risico's kunt prioriteren. Deze risico's vergelijk je vervolgens met het ambitieniveau in stap E, waarna je in stap F maatregelen neemt om tot een acceptabel risiconiveau te komen. De website geeft ook voorbeelden van methodes en hoe deze kunnen worden toegepast voor elke stap.



Figuur 6: Beschermen van vitale en kwetsbare functies met de verschillende stappen van klimaatadaptatie Nederland (Klimaatadaptatie Nederlands, z.d. b)

3.3 Deelconclusie

Er zijn praktijkvoorbeelden te vinden die zich toespitsen op wateroverlast, vitale functies en/of cascade-effecten. Over het algemeen zijn veel van deze studies academisch en (model)simulaties en zijn er significant minder feitelijke of empirische studies te vinden, zeker specifiek voor wateroverlast. Wel zijn er meer empirische studies te vinden voor uitval van vitale infrastructuur ten gevolgen van andere rampen. Daarnaast worden ketenafhankelijkheden en cascade-effecten vaak kwalitatief en niet kwantitatief meegenomen. Er is relatief veel aandacht voor het elektriciteitsnet en de (potentiële) cascade-effecten, andere netwerken krijgen minder aandacht waarbij (de cascade-effecten van) transport/bereikbaarheid beperkt belicht lijken te worden.

Wat verder opvalt is dat er een aantal normen/afweegkaders bestaat in de Nederlandse context, maar dat deze niet één op één naar elkaar door te vertalen zijn. Dus het landelijke afweegkader van vitale infrastructuur leidt niet eenduidig tot de provinciale norm of de norm op objectniveau en visa versa. Hierbij kan de vraag gesteld worden of de netwerk- en asset-beheerders wel duidelijk hebben aan welke normen/eisen ze moeten voldoen.

4 Vitale en kwetsbare functies in relatie tot wateroverlast


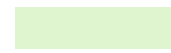



Zoals genoemd in hoofdstuk 1, is er een aanvullende literatuurstudie gedaan voor vitale functies (met uitzondering van enkele functies) waarbij de factoren blootstelling, schade-/functieverlies, ketenafhankelijkheid, gevolgen bij uitval, en cascade-effecten voor elke functie zijn onderzocht. In de geraadpleegde literatuur worden deze factoren niet altijd (eenduidig) gekwantificeerd (in relatie tot wateroverlast). Om vanuit de literatuur toch een beeld te schetsen van hoe wateroverlast van invloed kan zijn op vitale en kwetsbare functies, hebben we een kwalitatieve typering van de mate van 'ernst' gemaakt.

Op basis van een uitgebreide literatuurstudie (praktijkvoorbeelden + aanvullende literatuur) naar de verschillende bovengenoemde factoren, hebben we eerst een uitgebreid overzicht gemaakt van de beschikbare informatie van elke vitale functie in relatie tot de genoemde factoren. De gevolgen van uitval van vitale infrastructuur zijn vanuit een breder perspectief bekeken dan alleen wateroverlast. De blootstelling van vitale functies is wel specifiek voor wateroverlast getypeerd. Deze inzichten hebben we daarna samengevat in een versimpelde kleurentabel.

De resultaten van deze verkennende literatuurstudie zijn in dit hoofdstuk geclusterd en geïnterpreteerd per vitale functie. Deze interpretaties geven een algemeen beeld, maar mogen niet gebruikt worden om op lokale schaal vast te stellen wat de risico's zijn door wateroverlast voor een bepaalde functie. Daarvoor is een lokale studie nodig, waarbij inschatting van blootstelling, functieverlies, ketenafhankelijkheid, gevolgen bij uitval en cascade-effecten anders kunnen zijn.

De kwalitatieve kleurentabel is in zijn geheel te vinden in de appendix als Tabel 11. In de onderstaande tekst is deze tabel uitgesplitst naar de vitale sectoren. Deze tabel geeft een eerste inzicht in van de mate van relevantie per vitale functie in relatie tot wateroverlast en de mate van ernst van de gevolgen van uitval van deze functie. Zie Tabel 8 voor de toelichting van de kleurcode en Tabel 9 voor uitleg van de interpretatie van de kleurcodes per categorie.

Tabel 8: Uitleg van de interpretatie van de kleurcode gebruikt voor de versimpelde tabel.

Kleurcode	Interpretatie
	niet van toepassing
	minimaal
	matig
	ernstig
	zeer ernstig

Tabel 9: Duiding van de kleurcodes in een bepaalde categorie

Categorie	Definitie	Duiding
Blootstelling	Wordt bij wateroverlast (een onderdeel) van deze functie getroffen?	Bij minimale score (groen) is er over het algemeen weinig blootstelling. Bijvoorbeeld als infrastructuur verhoogd is aangelegd. Bij zeer ernstig is een groot deel van het netwerk bijvoorbeeld onder maaiveld aangelegd en lopen deze zeker vol/onder in het geval van wateroverlast.
Schade/ functieverlies	Leidt blootstelling tot schade/uitval?	Als er inderdaad sprake is van blootstelling maar er over het algemeen weinig schade of functieverlies optreedt is de score minimaal (groen), bijvoorbeeld door grote mate van redundantie. Bij zeer ernstig (rood) zal de functie meteen uitvallen door wateroverlast.
Keten-afhankelijkheid	Is het functioneren van de functie afhankelijk van andere vitale functies?	Bij een minimale score (groen) is de functie minimaal afhankelijk van andere vitale functies. Bij zeer ernstig is de functie compleet afhankelijk van andere vitale sectoren, zoals bij ziekenhuizen.
Gevolgen bij uitval	Als de functie uitvalt, hoe groot zijn de directe consequenties?	Directe gevolgen worden als minimaal gescoord wanneer deze snel hersteld of snel opgevangen kan worden, bijvoorbeeld door noodvoorzieningen, generatoren of een noodvoorraad. Bij score rood zijn de directe gevolgen zeer ernstig, bijvoorbeeld als een ziekenhuis uitvalt en hierdoor mogelijk slachtoffers vallen.
Cascade-effecten	Leidt uitval van deze functie tot uitval bij andere vitale functies?	Wanneer uitval van een functie tot minimale uitval van andere vitale functies leidt, zijn de cascade-effecten minimaal en wordt deze functie als groen gescoord. Wanneer er vele andere vitale functies afhankelijk zijn van deze functie, dan worden de cascade-effecten als zeer ernstig (rood) beschouwd, zoals bij elektriciteit.

4.1 Resultaten van de verkennende literatuurstudie

Onderstaande interpretaties hebben als doel de beschikbare literatuur rondom het thema wateroverlast en vitale en kwetsbare functies te typeren. Gegeven de importantie van vitale functies voor de maatschappij, is deze kwalitatieve typering niet afdoende en is ook kwantificering van de mate van blootstelling, schade-/functieverlies, ketenafhankelijkheid, gevolgen bij uitval en cascade-effecten nodig. Dit vraagt ook om plaats- en tijdsafhankelijke analyses om beter inzicht te krijgen in de verschillende functies, objecten en hun samenhang. Desalniettemin, geven deze resultaten, typering en inzichten in de vitale functies en hun samenhang wel een cruciale basis voor discussie, validatie en verder onderzoek, wat ook nodig is om tot een normering te kunnen komen.

4.1.1 Energie

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					

Blootstelling, functieverlies en ketenafhankelijkheid

Onder de functie 'energie' vallen de transport en distributie van gas en elektriciteit op zowel landelijk als regionaal niveau, en de olievoorziening. Over het algemeen is de energiesector matig gevoelig voor blootstelling, waarbij gas gevoeliger is dan elektra. Sommige elektriciteitskasten en meet- en regelstations van gas liggen op maaiveldniveau of lager, waardoor ze bij wateroverlast blootgesteld kunnen worden (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). Op landelijk niveau wordt de infrastructuur wel vaak water hoger aangelegd, zoals bijvoorbeeld bij het hoogspanningsnet (Netbeheer Nederland, 2020). Van olieraffinaderijen, depots en pijpleidingen is niet bekend in welke mate ze bestand zijn tegen mogelijke wateroverlast (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). Als een raffinaderij onder water komt te staan valt deze uit (Klimaatadaptatie Nederland, 2014).

Op landelijk niveau leidt binnendringen van water in de gasleiding niet tot uitval door voldoende barrières en redundantie (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). De regionale distributienetwerken van het lage-druk-gasnet zijn echter zeer gevoelig voor overstromingen. Als er bijvoorbeeld meer dan 30cm water op straat staat, kan er water in de lage-druk-gasleidingen komen waardoor gas niet meer in een gebied kan worden geleverd. Daarbij noemt Klimaatadaptatie Nederland, 2014 zelfs dat een volgelopen leiding als "verloren" beschouwd kan worden (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). Daarbij komt dat de afsluiters van de leidingen elektronisch bestuurd worden (Klimaatadaptatie Nederland, 2014).

De elektriciteitsnetten zijn daarentegen niet extreem kwetsbaar. Netbeheer Nederland (2020) zegt zelfs dat netten robuuster zijn dan gedacht, zeker op landelijk niveau. Daarnaast blijkt uit de Casestudie Waterrobuuste Elektriciteit Zeeland (2018) als conclusie dat elektriciteitsuitval van middenspanning door hevige neerslag in dat gebied wordt gezien als kleine kans omdat er vaak een grote waterdiepte nodig is voor uitval. Desalniettemin is de elektriciteitsinfrastructuur overal aanwezig en wordt deze ook regelmatig op kwetsbare locaties gebouwd om alle gebieden van stroom te kunnen voorzien. Daarmee zijn er dus wel veel componenten die mogelijk blootgesteld kunnen worden bij wateroverlast. Hierbij geldt dat de betrouwbaarheid van de elektriciteitslevering in Nederland erg groot is, waardoor organisaties en bedrijven vrijwel nooit in back-up generatoren investeren (TNO, 2014).

Volgens onderzoek door (Rinaldi et al., 2002) is de energie-infrastructuur afhankelijk van ICT/telecomsystemen voor het bewaken van de systeemstatus en systeembeheer. Voorbeelden hiervan zijn de toezicht- en gegevensverwerkingssystemen (SCADA-systemen) en energiebeheersystemen (EMS'en). Daarbij is het goed te benoemen dat er water vanuit de rivieren en meren gebruikt wordt voor de koeling van de elektrasystemen. Er is hiermee dus zeker sprake van ketenafhankelijkheden welke wij desalniettemin als minimaal beschouwen.

Gevolgen en cascade-effecten

Wanneer het elektriciteitsnet of gasnet, of een onderdeel hiervan wel uitvalt, kan dit leiden tot ernstige gevolgen op de lange en korte termijn. Met name uitval van het elektriciteitsnet kan grote cascade-effecten veroorzaken aan velerlei sectoren (De Bruijn et al., 2019). Hierbij kun je bijvoorbeeld denken aan uitval van telecom, maar ook moeilijkheden voor waterpompen, bedrijfsvoering, betaalsystemen en verkeerslichten. Dat laatste heeft weer een groot effect op wegen en spoorwegen (Haes Alhelou et al., 2019). Afhankelijk van de omvang en duur van de uitval kunnen de gevolgen van elektriciteitsuitval zelfs maatschappij-ontwrichtend zijn totdat noodapparatuur is geïnstalleerd (NCTV, 2023; Haes Alhelou et al., 2019; Karagiannis, Chondrogiannis, Krausmann, & Turksezer, 2017; Sánchez-Muñoz et al., 2020).

De gevolgen van uitval in de gasector zijn directer en met minder cascade-effecten. Uitval van gas leidt met name tot problemen bij de industrie met gasafhankelijke bedrijfsprocessen (Twynstragudde, 2017) en bij huishoudens met gasverwarming (Klimaatadaptatie, 2014). Wel is er een belangrijke ketenafhankelijkheid tussen gas en elektra (Magazine Nationale Veiligheid en crisisbeheersing, 2015). Er zijn namelijk elektrische componenten die ervoor

zorgen dat het reukloze aardgas een geur krijgt, wanneer deze componenten uitvallen bijvoorbeeld door uitval van de elektriciteit of door blootstelling aan wateroverlast kan dit grote gevolgen hebben voor de veiligheid (Netbeheer Nederland, 2020).

In Limburg in 2021 zaten ongeveer 115 huishoudens zonder gas gedurende 4 dagen (Enexis, 2021) en bij ongeveer 1000-2000 huishoudens is de stroom uitgevallen (Koks et al., 2022, Taskforce Fact Finding Hoogwater 2021). In 2021 ging het herstel van de elektriciteitsvoorziening sneller dan van de gasvoorziening. De elektriciteit in Limburg was binnen een aantal dagen hersteld was in een van de zwaarst getroffen gebieden Noord Rein Westfalen binnen twee dagen terug op vijftig procent en in Nederland duurde het ook een paar dagen. Het gasnet daarentegen was in Duitsland pas na 4.5 maand weer volledig hersteld (Koks et al., 2022).

Van gevolgen van wateroverlast op de olievoorziening en uitval van de olievoorziening is weinig bekend. Wel moet een deel van de oliebedrijven volgens de Regeling Risico's zware ongevallen maatregelen treffen om overstromingsrisico's te beperken en milieurampen te voorkomen (Twynstragudde, 2017).

4.1.2 Telecom/ICT

Vitale sectoren en processen (NCTV)		Blootstelling	Schade/ functieverlies	Keten-afhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
Telecom/ICT	Internet en datadiensten					
	Internettoegang en dataverkeer					
	Spraakdienst en SMS*					

Onder deze categorie valt ook Plaats- en tijdsbepaling middels GNSS, deze hebben we echter niet meegenomen omdat deze werkt via satelliet en dus geen blootstelling of kwetsbaarheden kent in geval van wateroverlast of overstromingen.

Blootstelling, functieverlies en ketenafhankelijkheid

De meeste schakelcentrales, aansluitaccu's, generatoren en andere apparatuur nodig voor de ICT en telecom diensten bevinden zich op maaiveldhoogte. Ook bevinden ICT- installaties zich vaak in de kelder, dit kan bij extreme neerslag vollopen via kelderafritten. De installatiekasten zijn ook vaak niet waterdicht waardoor het water schade kan aanrichten. In alle typen overstromingsgevoelige gebieden valt apparatuur voor verbinden binnen en tussen de telecomnetwerken en met gebruikers uit, zodra deze onder water komt te staan. Wel is de meeste apparatuur relatief snel te vervangen na een overstroming (klimaatadaptatie Nederland, 2014; TNO, 2014; Twynstra Gudde, 2017).

Daarnaast kennen Telecom en ICT een sterke ketenafhankelijkheid van elektriciteit, wat betekent dat wanneer de elektriciteit uitvalt, de telecom/ICT ook zal uitvallen. In principe kan telecominfrastructuur back-up voeding hebben waardoor uitval van elektra niet direct tot uitval van telecom hoeft te leiden, maar dit is niet altijd op orde (e.g. Lancaster, maar ook Limburg).

Gevolgen en cascade-effecten

De gevolgen van uitval van Telecom en ICT systemen variëren per gebied, maar zijn over het algemeen aanzienlijk. Buiten overstromde gebieden blijven diensten meestal operationeel (ongeveer 95%), terwijl binnen overstromde gebieden het netwerk vrijwel zeker uitvalt (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). Volgens Twynstra Gudde (2017) zal de uitval van ICT

en telecom aanzienlijke economische schade veroorzaken, vanwege de aanzienlijke cascade-effecten op tal van maatschappelijke en economische activiteiten die afhankelijk zijn van deze systemen.

In een concreet voorbeeld van het overstromingsevenement in Limburg in 2021, werden ongeveer 6.000-7.000 huishoudens getroffen door de uitval van stroomvoorziening en vaste internet-, bel- en televisieverbindingen. In de nasleep van de overstroming herstelden Enexis en telecomaanbieders zoals KPN de stroom- en telecomvoorziening binnen enkele dagen (Enexis en KPN, 2021). In specifieke gevallen, zoals in Valkenburg, leidden stroomuitval en waterschade tot telecomuitval, deels vanwege uitgeputte noodaccu's en vertragingen bij het plaatsen van noodaggregaten. Schade aan bruggen en verschuivingen van bruggen en ondergrond veroorzaakten glasvezel- en koperkabelstoringen. Bij glasvezel was er voldoende redundantie om storingen te voorkomen, terwijl koperkabels alleen kleine groepen klanten in de 'last mile' van het systeem troffen. Overstroming en stroomuitval veroorzaakten ook problemen in enkele masten, waarbij niet altijd noodstroom aanwezig was en waarbij de accu onderin de mast zat, wat leidde tot een tijdelijke vermindering van de dekking van het mobiele netwerk. Dankzij de netwerkredundantie konden KPN's radioplanners snel zorgen voor herstel van volledige dekking ('tunen' van de overgebleven masten) (Task Force Fact Finding, 2021; Koks et al., 2022).

Het is van cruciaal belang op te merken dat verstoorde communicatiediensten tijdens crisissituaties bijzonder gevaarlijk zijn. Het publiek vertrouwt sterk op deze diensten voor cruciale informatie en het contacteren van hulpdiensten, wat tijdens noodsituaties van levensbelang kan zijn.

4.1.3 Drinkwater

Vitale sectoren en processen (NCTV)		Blootstelling	Schade/ functieverlies	Keten- afhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
Drinkwater	Drinkwater-voorziening					

Blootstelling, functieverlies en ketenafhankelijkheid

Het drinkwatersysteem kent op verschillende manieren blootstelling aan en kwetsbaarheid voor wateroverlast. Als eerste kunnen zuiverings- en pompstations worden getroffen door overstromingen (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). Uitval van deze stations kan zo leiden tot een verminderde drinkwaterproductie en tot problemen met de drinkwaterdistributie. Daarbij zijn drinkwaterbronnen vatbaar voor verontreiniging vanuit diverse bronnen zoals chemische bedrijven, afvalwater van bedrijven en huishoudens, en infecties vanuit bijvoorbeeld kadavers (Klimaatadaptatie Nederland, 2014; Taskforce Fact Finding Hoogwater 2021). Een te lage druk kan in het leidingsysteem ook leiden tot vervuiling doordat vuil water infiltreert, hoewel dit zelden voorkomt vanwege de normaal gesproken aanwezige overdruk.

Beschadiging van het distributienetwerk kan eveneens problemen veroorzaken. Het hoofdwaterleidingennetwerk is over het algemeen robuust, maar leidingen worden kwetsbaar wanneer de bodem door verzadiging verzwakt en verzakking optreedt. Verzakking kunnen ook optreden bij breslocaties of andere erosieoorzaken. Met name beschadiging van het hoofdwaterleidingennetwerk heeft sterke invloed op de levering van drinkwater. Zuiverings- en pompstations zijn gevoeliger voor uitval, vooral wanneer de elektrische systemen falen, wat de continuïteit van de drinkwatervoorziening in gevaar kan brengen (Klimaatadaptatie Nederland, 2014).

Het drinkwatersysteem kent een aantal ketenafhankelijkheden. Vooral elektriciteit en telecom (voor pompstations en besturing), transport (nooddrinkwater en hulpstoffen), en waterbeheer

(gemalen) zijn cruciaal. Elektriciteit is essentieel voor het pompen van water in hoofdleidingen en distributie, en telecomverbindingen zijn nodig voor systeembesturing. Transportinfrastructuur is vereist voor het aanvoeren van benodigde chemicaliën. Uitdagingen met betrekking tot elektriciteit en telecom kunnen leiden tot drukvermindering in de leidingen en verstoringen in de drinkwaterlevering. Bij falende elektriciteitsnetwerken kunnen booster-pompen in hoogbouw stoppen met functioneren (Klimaatadaptatie Nederland, 2014; Pescaroli et al., 2017).

Gevolgen en impact

Een verstoring van de drinkwaterfunctie heeft op korte en op langere termijn verschillende gevolgen. Wanneer er problemen zijn met de levering van het water, komen burgers en bedrijven al binnen een paar uur zonder water te zitten. Ook zal de riolering grotendeels stoppen met functioneren, wat een verminderde hygiëne en ernstige stank tot gevolg heeft. Wanneer er verontreinigd drinkwater wordt geleverd heeft dit vooral gevolgen voor de gezondheid, welke al na enkele uren kunnen optreden. Zo is buikpijn of diarree een bekend risico bij het binnenkrijgen van verontreinigd water (de Man et al., 2014; Mulder et al., 2019; Taskforce Fact Finding Hoogwater 2021). Op langere termijn zullen de gezondheidsrisico's door onvoldoende schoon en veilig drinkwater alleen maar toenemen (Twynstra Gudde, 2017; Taskforce Fact Finding Hoogwater 2021).

Het herstel van het watersysteem kan soms erg lang duren, zoals het geval was na de overstromingen van de zomer van 2021 in de regio Rhineland-Palatinate in Duitsland. Hier duurde maar liefst 2 maanden tot de drinkwatervoorziening hersteld waren (Koks et al., 2022). In de zwaar beschadigde stad Bad Münstereifel (in de deelstaat Noordrijn-Westfalen) werd de drinkwatervoorziening binnen 5 dagen na het overstromingsincident hersteld (meestal via noodtanks), en ongeveer 50% van het stadscentrum werd kort daarna weer aangesloten op het zoetwater netwerk. Echter moest het water voor consumptie gedurende één maand na het herstel nog worden gekookt (Koks et al., 2022).

Daarnaast is een stabiele waterlevering cruciaal voor het functioneren van vitale sectoren zoals ziekenhuizen, farmaceutische, voedsel- en energie-industrieën. Langdurige of grootschalige uitval kent significante cascade-effecten.

Met de Drinkwaterwet van 2011 wordt de noodzaak van voldoende hoogwaardig drinkwater te allen tijde erkend. Drinkwaterbedrijven hebben daarom een wettelijke leveringsverplichting en moeten zelfvoorzienend zijn gedurende tien dagen bij verstoringen door onder andere wateroverlast (Drinkwaterwet, 2023). Bij ernstige situaties waarin kraanwaterlevering onmogelijk is, zijn deze bedrijven verplicht nooddrinkwater in te zetten (Klimaatadaptatie Nederland, 2014; Drinkwaterwet, 2023). Daardoor blijven de directe gevolgen in praktijk vaak beperkt, wat uiteindelijk de score van ernstig naar matig verlaagt. Hierbij gaat het echter alleen om de eerste 10 dagen, zouden we een score toekennen aan de situatie na 10 dagen (of zonder deze maatregelen) dan zou deze waarschijnlijk ernstig tot zeer ernstig zijn.

4.1.4 Afvalwater en waterkwantiteit keren en beheren

Vitale sectoren en processen (NCTV)		Blootstelling	Schade/ functieverlies	Keten- afhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
Water	Afvalwater					
	Keren en beheren waterkwantiteit					

Blootstelling, functieverlies en ketenafhankelijkheid

Wanneer men het afvalwatersysteem bekijkt blijkt dat veel rioolgemalen zich op lage locaties bevinden en afvalwaterzuiveringsinstallaties vaak in de nabijheid van open water zijn gesitueerd. Hierdoor bevindt meer dan 60% van de ruim 16.000 rioolgemalen en bijna 350

afvalwaterzuiveringsinstallaties zich in gebieden met een aanzienlijk overstromingsrisico (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2017). Daarbij is bij het ontwerp van deze faciliteiten over het algemeen geen rekening gehouden met de mogelijkheid van overstromingen, wat ze kwetsbaar maakt. Zelfs bij een toename van slechts enkele decimeters van het waterpeil bij een rioolgemaal of afvalwaterzuiveringsinstallatie, kan het al resulteren in stroomuitval en het falen van de gebruikte meet- en regelsystemen (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2017).

Een bijkomende bevinding is dat afvalwaterzuiveringsinstallaties zelf kunnen overstromen, waardoor het afvalwater zich verspreidt en de omgeving kan vervuilen (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). Met name gemengde rioolstelsels (80 % van het riool in Nederland), waarin zowel riool- als hemelwater wordt afgevoerd, lopen aanzienlijk risico. Zelfs bij een beperkte overstroming kan het rioolwater zich vermengen met het overstromingswater (de Man et al., 2014; de Man-van der Vliet, 2014). Net als bij het drinkwatersysteem geldt hier ook dat erosie van de ondergrond door verweking, bressen en gesprongen waterleidingen ook gevolgen kent voor het transportsysteem (leidingen) van afvalwater.

Ketenafhankelijkheid speelt ook een belangrijke rol. Het functioneren van de afvalwaterafvoer is sterk afhankelijk van een betrouwbare elektriciteitsvoorziening, goed functionerende telecom/ICT-infrastructuur en aanvoer van drinkwater (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2017). Een voorbeeld is het incident in Den Haag in 2020 waarbij een langdurige stroomuitval resulteerde in het uitvallen van een waterzuiveringsinstallatie, wat op zijn beurt leidde tot het ongezuiverd lozen van afvalwater in zee (NOS, 2020)

Voor het keren en beheren van water kennen diverse soorten gemalen verschillende kwetsbaarheden. Boezemgemalen, die water van boezems naar rivieren of de zee pompen, zijn voornamelijk te vinden in laaggelegen delen van Nederland (Twynstra Gudde, 2017). Hoofdgemalen zijn het minst kwetsbaar vanwege hun hogere positionering (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). Niettemin, uit een pilotstudie blijkt dat na een overstroming een groot deel van de gemaalcapaciteit die water richting buitenwater pompt, niet meer functioneert doordat deze gemalen onder water komen te staan. Dit geldt behalve voor enkele gevallen waarin gemalen op verhoogde locaties zijn geplaatst (Twynstra Gudde, 2017).

Ketenafhankelijkheid geldt voor alle gemalen, waarbij elektriciteit, dieseltoevoer van de motoren, Telecom/ICT voor bediening en de beschikbaarheid van personeel cruciale schakels zijn. Bij een stroomstoring kan dit resulteren in verminderde waterbeheersing en waterkwaliteit, met mogelijke verziltingseffecten als gevolg (thema-rapportage bedreiging vitale infrastructuur). Hierdoor wordt benadrukt dat solide en redundante voorzieningen van essentieel belang zijn om de impact van overstromingen op de afvalwaterketen te minimaliseren.

Gevolgen en impact

Bij overstromingen in de afvalwaterketen zijn er diverse gevolgen te verwachten. Allereerst kan er (riool)water op straat komen te staan wanneer de neerslagintensiteit groter is dan beschikbare afvoercapaciteit. Het vrijgekomen afvalwater kan de omgeving vervuilen, met potentiële gevolgen voor de volksgezondheid. Bovendien bestaat het risico dat het afvalwater drinkwaterbronnen vervuilt (RIONED, z.d.; Klimaatadaptatie Nederland, 2014). De meeste rioolstelsels in Nederland kunnen een bui met een herhalingstijd van 1 keer per 2 jaar aan (RIONED, z.d.), wat niet toereikend is voor een neerslagevent zoals die van Limburg 2021. Daarnaast kunnen de riool overstorten verdrinken wanneer het oppervlaktepeil van het water hoger is dan het laagte maaiveld. Hierdoor kan het water niet weggepompt worden en blijft het dus op straat staan. Dit kan de bereikbaarheid van het gebied sterk verminderen en transport van goederen limiteren.

Het herstelproces kan ook enkele dagen tot enkele weken duren, waarbij de meeste tijd besteed wordt aan het herstellen van leidingen, pompen, installaties en meet- en

regeltechniek. Het opnieuw opstarten van biologische processen in zuiveringsinstallaties is ook vereist en kost tijd (Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie, 2017). Cascade-effecten, zoals afvalwater dat ongezuiverd in zee terecht kwam na een stroomstoring in Den Haag, illustreren de risico's van dergelijke incidenten.

Het herstel van een overstroomd gebied door gebruik te maken van reguliere gemalen en spuumiddelen kan variëren van enkele uren tot wel een jaar, afhankelijk van de omstandigheden (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). Wanneer het vermogen om water af te voeren wordt verstoord of belemmerd, kunnen de gevolgen rampzalig zijn. In het geval van beperkingen bij het gemaal van IJmuiden bijvoorbeeld, zou tijdens extreme neerslag zoals beschreven in het rapport 'Case studie Zuid-Holland: Analyse van grootschalige wateroverlast' (de Bruijn, Slager & Juch, 2022) een maalstop worden ingesteld voor de aangrenzende waterschappen. Deze maalstop zou resulteren in aanzienlijk verhoogde wateroverlast in de waterschappen en de situatie zou langer aanhouden, met als gevolg nog grotere schade en een groter aantal getroffen (de Bruijn, Slager & Juch, 2022). Daarbij vormt het droogmalen van gebieden de basis om andere vitale en kwetsbare functies weer op te starten na een overstroming (Twynstra Gudde, 2017). Het keren en beheren van water is dus van extreem belang voor schade beperking en snel herstel na (grootschalig) wateroverlast en wordt daarom wat betreft de mogelijke gevolgen als 'zeer ernstig' beschouwt.

4.1.5 Ziekenhuizen en gezondheidscentra

	Blootstelling	Schade/ functieverlies	Keten- afhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
Ziekenhuizen en gezondheidscentra					

Blootstelling, functieverlies en Ketenafhankelijkheid

Uit onderzoek uitgevoerd door TNO (Beek, Calon, Heumen, Traversari & Verhoeff, 2015), waarin de waterrobuustheid van Nederlandse ziekenhuizen werd geëvalueerd, blijkt dat ongeveer 75% van de circa 185 ziekenhuislocaties zich bevindt in gebieden met een aanzienlijk overstromingsrisico (Twynstra Gudde, 2017). Daarnaast kunnen alle ziekenhuizen te maken krijgen met tijdelijke wateroverlast als gevolg van extreme regenval. De meeste bestaande ziekenhuizen zijn niet waterrobuust gebouwd en lopen risico dat bij ernstige wateroverlast een deel van de vitale functies tijdelijk niet operationeel kan zijn (HKV Lijn in Water, 2008; Beek et al., 2015).

In het geval van een overstroming is de uitval van spoedeisende zorg in de getroffen gebieden zeer waarschijnlijk. Dit komt doordat faciliteiten op de begane grond of lager niveau onbruikbaar worden. Ziekenhuizen zijn dan op zichzelf aangewezen, vaak onbereikbaar en moeten vertrouwen op noodstroomvoorzieningen om essentiële functies draaiende te houden (Klimaatadaptatie Nederland, 2014; Beek et al., 2015).

Het complexe karakter van de gezondheidszorginfrastructuur wordt duidelijk wanneer we kijken naar de ketenafhankelijkheid van ziekenhuizen en gezondheidscentra. Ze zijn afhankelijk van een reeks vitale diensten, waaronder energie (elektriciteit en gas), drinkwatervoorziening, afvalwaterafvoer, en de toegankelijkheid van hoofdwegen voor aan- en afvoer van personeel, patiënten en bevoorrading. Bovendien is Telecom/ICT cruciaal voor communicatie (HKV Lijn in Water, 2008; Klimaatadaptatie Nederland, 2014; Beek et al., 2015).

Gevolgen en cascade-effecten

Uit recente gegevens van de grootschalige neerslagevent boven Limburg en delen van België en Duitsland in 2021, blijkt dat overstromingen ernstige gevolgen hebben voor

ziekenhuizen en gezondheidscentra. In Nederland werd één verpleeghuis overspoeld en een ziekenhuis preventief geëvacueerd (Koks et al., 2022). In de Duitse deelstaat Noordrijn-Westfalen zijn ongeveer 68 ziekenhuizen getroffen, waarvan sommige ernstig beschadigd zijn en naar schatting 1,5 jaar nodig hebben om te herstellen (Koks et al., 2022). Een specifiek voorbeeld is het Eschweiler-ziekenhuis, waar de kelder, bijgebouwen en het buitengebied zijn overstroomd, de stroomvoorziening is uitgevallen, alle technische systemen zijn vernietigd en ongeveer 300 patiënten per helikopter geëvacueerd moesten worden.

Eerdere overstromingen in de VS (zoals na orkaan Katrina), Engeland, Duitsland en Oost-Europa hebben aanzienlijke schade toegebracht aan belangrijke ziekenhuizen (TNO, 2015). Specialisten wijzen erop dat de gevolgen in Nederland ook desastreus kunnen zijn en evacuatie van ziekenhuizen zeer complex is. Evacuatie vergt veel middelen en personeel, en dit wordt nog ingewikkelder wanneer meerdere ziekenhuizen tegelijkertijd met dit probleem worden geconfronteerd (HKV Lijn in water, 2018). De ervaring van Dr. Deichmann met de evacuatie van het Memorial Hospital na orkaan Katrina benadrukt de moeilijkheden en tragedies die kunnen optreden. Uiteindelijk duurde de evacuatie vijf dagen om een afstand van 1 kilometer te overbruggen en is zo'n 10% van de patiënten komen te overlijden (HKV Lijn in water, 2018). In Nederland zouden de gevolgen van overstromingen dus leiden tot een toename van patiënten door evacuaties, andere evacués die zorg nodig hebben, nieuwe patiënten uit getroffen gebieden en mogelijk patiënten die komen te overlijden door de onmogelijkheid om de benodigde zorg te bieden of als gevolg van de evacuatie. Er lijken geen directe cascade-effecten op andere vitale of kwetsbare functies te zijn, behalve dat andere ziekenhuizen, zoals eerder omschreven, mogelijk meer patiënten moeten opvangen (HKV Lijn in water, 2018).

4.1.6 Transport

Vitale sectoren en processen (NCTV)		Blootstelling	Schade/ functieverlies	Keten- afhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
Transport	Vervoer van personen en goederen over (hoofd)spoorweginfrastructuur					
	Vervoer over (hoofd)wegennet					

Onder de sector transport valt ook vlucht- en vliegtuigafhandeling en de scheepsvaartafhandeling. Deze worden, zoals eerder genoemd, buiten beschouwing gelaten.

Blootstelling, functieverlies en ketenafhankelijkheid

De kwetsbaarheid van spoorwegsystemen is vooral te danken aan de lang uitgestrekte aard en de gevoeligheid voor overstromingen en wateroverlast, vooral in vlakke geografische gebieden. Uit onderzoek blijkt dat 5% tot 10% van storingen in Nederlands spoorwegsysteem gerelateerd zijn aan het weer (Duinmeijer & Bouwknecht, 2004). Europees gezien lopen de spoorwegnetwerken jaarlijks naar schatting €581 miljoen aan schade op door klimaatgerelateerde gebeurtenissen (Bubeck et al., 2019). Het is duidelijk dat de klimaatverandering de kwetsbaarheid vergroot (Thaduri, Garmabaki, & Kumar, 2021), waarbij spoorweginfrastructuur bij overstromingen vrijwel zeker uitvalt.

Het (hoofd)wegennetwerk is eveneens vatbaar voor wateroverlast (Klimaatadaptatie Nederland, 2014; de Bruijn, Slager & Juch, 2022; klimaateffectatlas Rijkswaterstaat). Een aanzienlijk deel van de hoofdwegen binnen overstroombare gebieden kan onder water komen te staan, wat de toegang tot belangrijke voorzieningen en hulpdiensten belemmert (Klimaatadaptatie Nederland, 2014; de Bruijn, Slager & Juch, 2022). Wegen met een waterdiepte van minder dan 20-30 cm blijven in theorie beperkt toegankelijk voor autoverkeer (tot 0.8-1.0 m voor vrachtverkeer), maar onderscheid maken tussen weg en watergangen is dan al onmogelijk wat rijden erg gevaarlijk maakt. Lage weggedeeltes en tunnels lopen bij

uitval van pompen of riolering vol. Tunnels op snelwegen kunnen worden leeggepompt, maar provinciale en lokale wegen hebben een groter risico op wateroverlast.

Daarnaast is de ketenafhankelijkheid van de transportsector groot. Beschikbaarheid van brandstof, elektriciteit en Telecom/ICT-systemen voor signalering is essentieel. Uitval van stoplichten kan ongelukken en files veroorzaken, vooral op drukke kruispunten, en tunnels kunnen hinder ondervinden door de uitval van verlichting en ventilatie en worden op het hoofdwegennet gesloten als de ITS uitvalt. Dit benadrukt de behoefte aan betrouwbare back-upstroomvoorzieningen en generatoren (Klimaatadaptatie Nederland, 2014).

Gevolgen en cascade-effecten

Voor spoorweginfrastructuur wordt benadrukt dat herstel na schade erg lang kan duren. De belangrijkste diensten kunnen vaak binnen twee weken worden hersteld, maar herstel van ernstig getroffen stations kan maanden duren (Zhu, Ozbay, Xie, & Yang, 2016). Recenter leidden de overstromingen en wateroverlast in Duitsland in 2021 tot langdurende (maanden) verwoesting van infrastructuur, zoals kruispunten, seinhuizen, bovenleidingen, signaleringsmasten, tracks en energievoorzieningssystemen (MDR, 2021).

Een verminderde draagkracht van wegen en kunstwerken (bruggen, tunnels, waterkerende objecten, etc.) na overstromingen leiden tot langdurige verstoringen (Klimaatadaptatie Nederland, 2014). In Duitsland waren meer dan 130 km hoofdwegen ontoegankelijk na recente overstromingen, waarvan 50 km na twee maanden nog steeds gesloten was, met geschatte kosten van 100 miljoen euro (Koks et al., 2022). Volgens het onderzoek van Deltares naar de gevolgen van een grootschalig neerslag event in Zuid-Holland zouden meerdere snelwegen kortstondig tot langdurig onder water staan of afgesloten worden (Koks et al., 2022; de Bruijn, Slager & Juch, 2022), waardoor de bereikbaarheid afneemt en mogelijke verkeersinfarcten ontstaan, wat problematisch kan zijn voor hulpdiensten. Het onvermogen om ziekenhuizen te bereiken of reddingswerk te isoleren kan levensbedreigend zijn (de Bruijn, Slager & Juch, 2022).

De toegankelijkheid van cruciale locaties zoals ziekenhuizen en brandweerkazernes wordt verminderd, wat de inzet van hulpdiensten bemoeilijkt. Beperkte mobiliteit heeft bredere effecten op verschillende sectoren die afhankelijk zijn van menselijk handelen (de Bruijn, Slager & Juch, 2022).

Problemen met de infrastructuurnetwerken van transportsectoren heeft ook gevolgen voor de logistiek van goederen en diensten en legt extra druk op overheden en management op alle niveaus (Balijepalli en Oppong, 2014; Arrighi, Pregolato, & Castelli, 2021). In noodsituaties worden wegen cruciaal voor medische voorzieningen, noodwerkzaamheden en evacuaties, waarbij sommige wegverbindingen belangrijker zijn dan andere voor de toegankelijkheid (Balijepalli en Oppong, 2014; Arrighi, Pregolato, & Castelli, 2021; de Bruijn, Slager & Juch, 2022).

4.1.7 Financieel

Vitale sectoren en processen (NCTV)		Blootstelling	Schade/ functieverlies	Keten-afhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
Financieel	Toonbankbetalingsverkeer					
	Massaal giraal betalingsverkeer					
	Hoogwaardig betalingsverkeer tussen banken					
	Effectenverkeer					

Blootstelling, functieverlies en ketenafhankelijkheid

Er is weinig bekend over de gevolgen van wateroverlast voor de financiële sector zoals omschreven door de NCTV. De digitale aard van deze sector maakt het ingewikkeld om inzicht te krijgen in directe blootstelling of functieverlies als gevolg van wateroverlast. Hiervoor zouden bijvoorbeeld beurslocaties onder water moeten komen te staan. Een bekendere weg waarlangs deze sector kan uitvallen is via ketenafhankelijkheden. De financiële sector is namelijk sterk afhankelijk van een functionerende elektriciteitsvoorziening, telecom/ICT, en de beschikbaarheid van personeel.

Gevolgen en cascade-effecten

Directe gevolgen van de uitval van de financiële sector zijn logischerwijs vooral te merken door consumenten tijdens hun digitale transacties. Omgekeerd zullen bedrijven en organisaties die veel digitale transacties doen hier ook direct last van hebben. Op langere termijn kan dit grote gevolgen hebben voor de maatschappij aangezien de financiële sector sterk verweven is met zo goed als elke andere sector. De cascade-effecten zouden dan ook enorm kunnen zijn bij grootschalige en langdurige ontwrichting van deze sector. Het is moeilijker te zeggen wat de effecten zijn bij kleinschaligere verstoring en hoe dit zich verhoudt tot wateroverlast.

4.1.8 OOV

Vitale sectoren en processen (NCTV)		Blootstelling	Schade/ functieverlies	Keten- afhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
OOV	Communicatie met en tussen hulpdiensten middels 112 en C2000					
	Inzet politie/brandweer					

Blootstelling, kwetsbaarheid en ketenafhankelijkheid

De locatie van het datacenter voor 112 en C2000 is zo gekozen dat deze niet kan overstromen. Dit betekent dat er eigenlijk alleen uitval van deze communicatielijnen kan ontstaan als de alarmcentrale zelf wordt getroffen door overstromingen of wateroverlast. Dit geldt ook voor de hulpdienstverleners zoals brandweer, zorgpersoneel of politie.

De ketenafhankelijkheid van OOV wordt duidelijk wanneer de stroomvoorziening en communicatie-infrastructuur uitvallen. Onderzoek toont aan dat dit tijdens crisissituaties kan leiden tot chaos bij first responders en gebrek aan duidelijke informatie (Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021; Koks et al., 2022). De verminderde inzetcapaciteit van politie- en brandweereenheden benadrukte de impact van beperkte bereikbaarheid door de uitval van het (hoofd)wegennetwerk. Bovendien werden ook brandweeractiviteiten bemoeilijkt door elektriciteitsuitval, met verminderde druk in waterleidingen en storingen in brandalarmen (Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021).

Gevolgen en cascade-effecten

De cascade-effecten van dergelijke verstoringen zijn aanzienlijk. Bij uitval of onbereikbaarheid van OOV ontstaat chaos bij hulpverleners met aanzienlijke gevolgen voor de reactiecapaciteit van hulpverleners tijdens noodsituaties, resulterend in inefficiënt gebruik van middelen en beperkte respons. Dit kan leiden tot levensbedreigende situaties. Bovendien hebben burgers geen toegang tot cruciale informatie en kunnen ze geen hulpdiensten bereiken, waardoor het vermogen om te reageren en te evacueren wordt beperkt (Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021; Koks et al., 2022). Als laatste zal dit cascade-effecten hebben op de bredere verstoring van cruciale diensten, zoals ziekenhuizen, wat tot ontwrichting van de samenleving kan leiden (Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021; Koks et al., 2022).

4.1.9 Productie en distributie van voedsel

Vitale sectoren en processen (NCTV)	Blootstelling	Schade/ functieverlies	Keten-afhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
Productie en distributie van voedsel					

Blootstelling, functieverlies en ketenafhankelijkheid

De blootstelling en kwetsbaarheid van de opslag en voorziening van voedsel in Nederland zijn aanzienlijk. Vooral gezien de vele agrarische gebieden die zich in polders bevinden en vatbaar zijn voor wateroverlast. Hoewel bijna 99,6% van Nederland voldoet aan wateroverlastnormen, voldeed bijna 13.000 hectare polderland in 2021 nog niet aan deze normen. Bovendien beïnvloedt transportverstoring de voedseldistributie aanzienlijk, met niet-functionerende spoorwegen, wegen en waterwegen. Deze vertragingen en verstoringen hebben gevolgen voor supermarkten die niet kunnen vertrouwen op de levering van producten en zo kan leiden tot verminderde operationele capaciteit. Ook werd melding gemaakt van aanzienlijke belemmeringen in de zuivelindustrie in Wallonië en Duitsland als gevolg van wegverkeer en communicatieverstoringen (Nieuwe Oogst, 2021a; Task Force Fact Finding hoogwater 2021, 2021).

Gevolgen en cascade-effecten

Wanneer opslagfaciliteiten en distributiekanaal worden getroffen door wateroverlast, kan dit resulteren in het bederven van voedselvoorraden en verlies van producten. Dit kan op zijn beurt verdere economische verliezen met zich meebrengen. Als deze verstoringen in de voedselvoorziening langdurig aanhouden, kan dit leiden tot voedselonzekerheid en tekorten, met mogelijke negatieve gezondheidseffecten voor mensen die afhankelijk zijn van regelmatige toegang tot voedzaam voedsel.

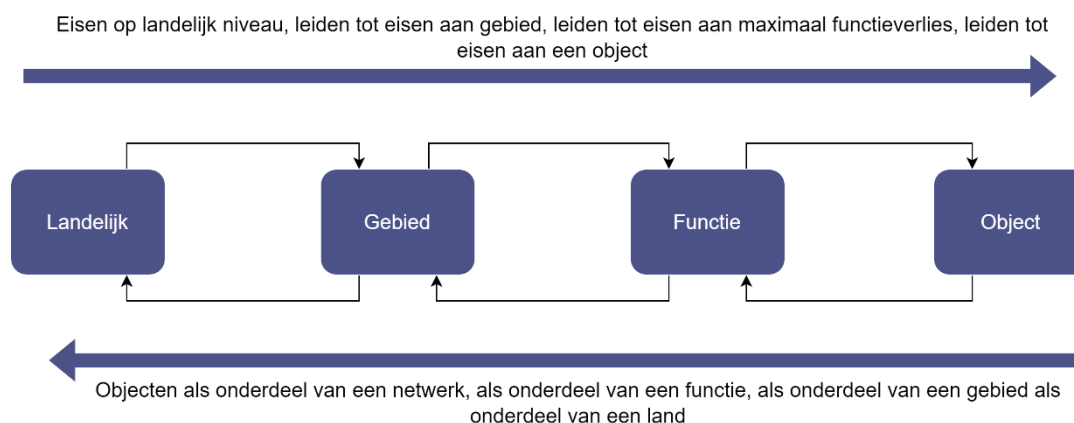
Dit wordt vooral een risico wanneer naast de vernietiging van voorraden ook de landbouwgronden zelf worden getroffen. Overstroming van landbouwgronden brengt het risico met zich mee van verdrinking en bederf van gewassen en oogsten. De cascade-effecten kunnen op de lange termijn zelfs leiden tot langdurige onbruikbaarheid van landbouwgronden door de aantasting de vruchtbaarheid van de bodem als gevolg van langdurige inundatie en vervuiling (Nieuwe Oogst, 2021b).

Een concreet voorbeeld van deze gevolgen en schade is te vinden in de grootschalige neerslagramp in Limburg van 2021. Ongeveer 8.000 hectare land- en tuinbouwgrond waren overstroomd, met aanzienlijke gevolgen voor boeren die zoals gebruikelijk de uiterwaarden in de zomer gebruiken als landbouwgrond. Hoewel compensatie werd geboden aan veel boeren, vielen meer dan 200 boeren in Limburg buiten de vergoedingsregeling en leden naar schatting 2,3 miljoen euro aan schade (Nieuwe Oogst, 2021b; Nieuwe Oogst, 2021c; Nieuwe Oogst, 2022; NOS, 2022).

Naast dit voorbeeld laat de *Case studie Zuid-Holland: 'Analyse grootschalige wateroverlast'* zien dat de schade in een geval van een dergelijk neerslag event boven Zuid-Holland nog veel groter zal zijn. Hier is de totale geschatte schade voor landbouw en glastuinbouw bijna 530 miljoen euro (de Bruijn, Slager & Juch, 2022).

5 Conclusies en aanbevelingen

Deze literatuurstudie heeft een aantal belangrijke inzichten gegeven in wateroverlast in relatie tot vitale en kwetsbare functies en de gevolgen van uitval van deze functies. Over het algemeen kunnen we zeggen dat er over dit onderwerp uiteenlopende kennis en informatie beschikbaar is. Dit is terug te zien in de verschillende invullingen van wat vitale sectoren zijn tot verschillende normen op landelijk, provinciaal en objectniveau die niet per definitie op elkaar zijn afgestemd. Dit heeft tot gevolg dat het nog niet mogelijk is om de hele keten te kunnen doorlopen van hoe objecteisen zich vertalen naar landelijke normen voor vitale functies en visa versa (Figuur 7: herhaling van figuur 1).



Figuur 7: Relatie tussen objecten, functies, gebieden en landen (herhaling van Figuur 1)

5.1 Vitale functies en wateroverlast

In deze literatuurstudie is een beeld geschetst van de wijze waarop wateroverlast invloed uitoefent op de verschillende vitale functies. Deze invloed is van veel verschillende factoren afhankelijk, zoals de duur van uitval, omvang van de wateroverlast, mate waarin eventuele schade optreedt en keteneffecten. Het is van belang om deze factoren mee te nemen in de vervolgstap van het onderzoek, als de normstelling onderzocht gaat worden in samenhang met mogelijke strategieën (bijvoorbeeld focus op preventie, respons en/of herstel).

In hoofdlijnen zien we dat het elektriciteitsnetwerk aan de basis staat van potentie voor grootschalige problemen door mogelijke cascade-effecten. Van het elektriciteitsnetwerk was dit al wel bekend uit eerdere (kwalitatieve) studies. Uiteraard blijven de omvang en duur van de wateroverlast hierbij van bepalend belang.

Telecomuitval wordt ook vaak in één adem genoemd met uitval van het elektriciteitsnetwerk, terwijl de uitwerking anders kan zijn. In principe kan telecominfrastructuur back-up voeding hebben waardoor uitval van elektra niet direct tot uitval van telecom hoeft te leiden, maar dit is niet altijd op orde (e.g. Lancaster, maar ook Limburg). Zonder telecom kan er chaos ontstaan tijdens en direct na een gebeurtenis, zoals gebeurde tijdens Katrina maar ook in Lancaster.

We zien ook dat het transportnetwerk gevoelig is voor wateroverlast. Met name overlast op het wegennet kan hierbij voor problemen zorgen tijdens en direct na een gebeurtenis. Hierdoor zouden significante cascade-effecten kunnen ontstaan voor sectoren die afhankelijk zijn van bereikbaarheid. Ondanks dat deze sector wel hier en daar genoemd wordt in literatuur, ligt hier minder nadruk op dan op bijvoorbeeld de sectoren elektra en telecom, waarvan ook bekend is dat deze de potentie hebben voor significante cascade-effecten.

Een aantal sectoren zijn voornamelijk relevant als de duur van de wateroverlast of de duur van uitval van andere vitale functies lang is. Denk hierbij aan de drinkwatervoorziening. In principe zou hier een noodvoorziening aanwezig moeten zijn van tien dagen, maar nadien kan de situatie ingewikkelder worden (Klimaatadaptatie Nederland, 2014; Twynstra Gudde, 2017; Drinkwaterwet, 2023). Ook bij de impact van kernen en beheren en productie/distributie van voedsel verwacht je met een toenemende duur een grotere impact.

Andere sectoren krijgen minder aandacht in de nu onderzochte openbaar beschikbare literatuur, of er is weinig over bekend, terwijl de gevolgen van functieverlies ook groot zouden kunnen zijn, denk hierbij bijvoorbeeld aan de olievoorziening, maar ook aan de financiële sector. In gesprek gaan met deze asset-eigenaren kan een significante bijdrage leveren aan de kennismogelijkheden die blijken uit de openbaar beschikbare literatuur rondom deze vitale functies.

5.2 Ketenafhankelijkheid en cascade-effecten

Een van de belangrijke inzichten op basis van de literatuur is dat cascade-effecten voor een groot deel de uiteindelijke impact van een gebeurtenis bepalen. Met name als uitval van een functie, of de wateroverlast zelf langer duurt, kunnen cascade-effecten op grotere schaal optreden. Dit principe komt ook terug in de landelijke normering, waarin een event 'erger' is als het langer duurt (zie bijvoorbeeld Tabel 7 over primaire levensbehoefte onderbreking).

Toch worden cascade-effecten over het algemeen beperkt, beknopt of slechts kwalitatief meegenomen, zoals ook blijkt uit de praktijkvoorbeelden. Cascade-effecten hebben dus een grote, maar doorgaans onderbelichte rol. Dit is toe te schrijven aan de complexiteit om deze effecten goed in beeld te krijgen en te kwantificeren. Desalniettemin is het wel belangrijk om cascade-effecten te typeren en te kwantificeren om zo een accuraat beeld te krijgen van de daadwerkelijke gevolgen van functieverlies in een systeem. Een optie hiervoor zou zijn om het systeem en de ketenafhankelijkheden te modelleren, om zo mogelijke cascade-effecten beter in beeld te krijgen.

5.3 Welke kennisvragen staan nog open?

5.3.1 Specifieke kennisvragen geïdentificeerd in deze literatuurstudie

Dit onderzoek heeft een overzicht gepresenteerd van onderzochte literatuur rondom wateroverlast, vitale functies en de gevolgen van uitval van deze functies. Uit de literatuur blijkt dat er een relatie is tussen vitale objecten, vitale functies, hoe deze in een gebiedssysteem gezamenlijk functioneren. Dit heeft weer invloed op het functioneren van een gebied, hetgeen weer invloed heeft op het functioneren van vitale functies op landelijk niveau. Dit is weergegeven in Figuur 1 en Figuur 7. Omgekeerd toont de literatuur aan dat landelijke normen invloed hebben op vitale functies, normen op gebiedsniveau en dit weer doorwerkt naar functie(verlies), eisen en maatregelen op objectniveau.

Uit de bestudeerde literatuur blijkt dan ook dat belangrijke kennisvragen beantwoord moeten worden wanneer een stap wordt gezet naar het inzetten op een normering gevolgbepijking tegen schade of uitval van belangrijke functies in een gebied. De literatuurstudie laat zien dat de (ruimtelijke) schalen vaak niet op elkaar aansluiten en dat verbindingen hiertussen ontbreken.

De overkoepelende vragen die ontstaan naar aanleiding van literatuurstudie naar wateroverlast in relatie tot vitale en kwetsbare functies als eerste opstap naar een mogelijke normering zijn:

- 'hoe kom je van blootstellingsnormering/robuustheid tot een landelijke eis?'
- 'hoe kan de landelijke norm vertaald worden naar een objecteis?' (onderin de volgende figuren te vinden).

Om deze vragen te kunnen aanvliegen moeten er eerst antwoorden komen op de geïdentificeerde deelvragen, deze zijn ook weergegeven in Figuur 8 en Figuur 9.



Figuur 8: Bouwstenen en kennisvragen van objecteisen naar maatschappelijke weerbaarheid



Figuur 9: Bouwstenen en kennisvragen van landelijke normen naar objectontwerp

Voor elk van de niveaus landelijk, gebied, functie en object (de paarse blokken in Figuur 8 & Figuur 9) kunnen in principe indicatoren gebruikt worden om het functioneren te meten. De groene blokken geven voorbeelden van het soort indicatoren welke gebruikt kunnen worden om per niveau de blootstelling/functieverlies of diens gevolgen/impact te duiden. Als bekend is hoe hoog het object staat is de blootstelling te bepalen. Functieverlies van transportinfrastructuur is te duiden met transportverliesuren. Zoals weergegeven in de blokken in Figuur 8 en Figuur 9). Met deze indicatoren, waarbij de noodzaak is deze nog verder te identificeren, zijn drempelwaardes of service niveaus af te leiden. Het bepalen van de uitval van een functie bij blootstelling van een object is complexer. Hoe vertaal je

blootstelling in functieverlies? Om deze reden is het belangrijk om duidelijk te krijgen welke tussenstappen nodig zijn om deze schaalniveaus met elkaar te verbinden. Op basis hiervan hebben wij een aantal kennisvragen/kennishiaten geïdentificeerd.

5.3.2 Brede kennisvragen

Naar aanleiding van dit literatuuronderzoek blijkt dat een aantal voor de maatschappij mogelijk relevante vragen en scenario's niet zijn beschreven en/of gekwantificeerd. Om deze vragen te kunnen aanpakken is verdiepend onderzoek nodig.

Het is bijvoorbeeld belangrijk om inzicht te krijgen in de aard en uitwerking van de geschetste wateroverlast. Wat is bijvoorbeeld de kans dat wateroverlast zich voordoet en over welk waterbeeld hebben we het dan? Maar het is ook van belang om scenario's te onderzoeken met een lage kans van voorkomen maar die wel potentieel grote gevolgen hebben voor de maatschappij, zoals bijvoorbeeld al eerder gedaan is in de case studie naar grootschalige wateroverlast in Zuid-Holland (de Bruijn et al., 2022). Denk hierbij bijvoorbeeld aan mogelijke scenario's waarin het water niet meer kan worden afgevoerd door problemen met de bemaling en het afpompen van het water door bijvoorbeeld het falen van de elektriciteitsinstallatie of het stroomnetwerk. Hierbij komt ook de verantwoordelijkheid kijken om dit te vertalen naar geschikt handelingsperspectief: hoe kunnen we omgaan met dit soort scenario's? Vanwege de grote maatschappelijke relevantie is daarnaast de aanbeveling om separaat te bekijken in welke mate wateroverlast impact heeft op het functioneren van vliegvelden, de zware industrie en kerncentrales.

5.4 Gepland vervolgonderzoek

Voor het reeds geplande vervolgonderzoek zullen we inzoomen op de vragen in Figuur 8 in het roze:

1. Hoe vertaal je functieverlies tot gecombineerde gebiedsuitval (inclusief cascade-effecten)?
2. Hoe vertaal je uitval van een object naar gecombineerde uitval in een gebied?
3. Wat zijn de gevolgen van uitval voor gebruikers?

Aanbevolen wordt om ook de andere geïdentificeerde kennisleemtes, en relevantie bredere maatschappelijke vragen op te pakken in vervolgonderzoek. Dit is op dit moment nog niet gepland.

6 Referenties

- ANV. (2022a). Rijksbrede Risicoanalyse Nationale Veiligheid. Analistennetwerk Nationale Veiligheid. <https://www.nctv.nl/documenten/publicaties/2022/09/26/rijksbrede-risicoanalyse-nationale-veiligheid>
- ANV. (2022b). Themarapportage bedreiging vitale infrastructuur 2022. Analistennetwerk Nationale Veiligheid. <https://www.nctv.nl/documenten/publicaties/2022/09/26/themarapportage-bedreiging-vitale-infrastructuur-2022v>
- Arosio, Marcello & Martina, Mario & Figueiredo, Rui. (2020). The whole is greater than the sum of its parts: a holistic graph-based assessment approach for natural hazard risk of complex systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 20. 521-547. 10.5194/nhess-20-521-2020. ANV. (2019). Leidraad risicobeoordeling Geïntegreerde risicoanalyse Nationale Veiligheid. Analistennetwerk Nationale Veiligheid. <https://www.rivm.nl/sites/default/files/2019-10/Leidraad%20Risicobeoordeling%202019.pdf>
- Beek, G. V., Calon, M. C. M., Heumen, S. V., Traversari, A. A. L., & Verhoeff, O. (2015). *Waterrobuustheid Nederlandse ziekenhuizen* (No. TNO 2015 R11234). TNO. <https://publications.tno.nl/publication/34618516/loiCPy/TNO-2015-R11234.pdf>
- de Bruijn, K. M., Cumiskey, L., Dhubhda, R. N., Hounjet, M., & Hynes, W. (2016). Flood vulnerability of critical infrastructure in Cork, Ireland. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 7, p. 07005). EDP Sciences.
- de Bruijn, K. & van Ruiten, K. (2017), "Concluding Report on Case Studies Results, Experiences and Potential", INTACT Deliverable D5.4, project co-funded by the European Commission under the 7th Frame-work Programme, Delft, Netherlands
- de Bruijn, K. M., Maran, C., Zygnerski, M., Jurado, J., Burzel, A., Jeuken, C., & Obeysekera, J. (2019). Flood resilience of critical infrastructure: Approach and method applied to Fort Lauderdale, Florida. *Water*, 11(3), 517.
- de Bruijn, K.M., Slager, K. & Juch, S. (2022). Case studie Zuid-Holland: 'Analyse grootschalige wateroverlast. Deltares. https://publications.deltares.nl/11208520_000_0008.pdf
- Beleidstafel wateroverlast en hoogwater (2022). *Eindadvies Beleidstafel wateroverlast en hoogwater: Voorkomen kan niet, voorbereiden wel. Allemaal aan de slag*. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-cddbc01e11cbe749215a9adde1803b2f346f50e0/pdf>
- Drinkwaterwet (2023, 5 mei). Art 35 Optreden en levering in geval van een verstoring. Geraadpleegd van: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0026338/2023-05-05>
- Enexis (2021). *Gevolgen wateroverlast in Limburg voor elektriciteit en gas*. <https://www.enexis.nl/over-ons/nieuws/2021/07/gevolgen-wateroverlast-in-limburg>
- EPCIP. (2006). Communication from the Commission of 12 December 2006 on a European Programme for Critical Infrastructure Protection [COM(2006) 786 final – Official Journal C 126 of 7.6.2007]. <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/european-programme-for-critical-infrastructure-protection.html>
- Europese Unie. (2022). Richtlijn (EU) 2022/2557 van het Europees Parlement en de Raad van 12 juli 2022 tot wijziging van Richtlijn 2008/114/EG van de Raad. <https://eur-lex.europa.eu/legal->

- Ferranti, E., Chapman, L., & Whyatt, D. (2017). A Perfect Storm? The collapse of Lancaster's critical infrastructure networks following intense rainfall on 4/5 December 2015. *Weather*, 72(1), 3–7. <https://doi.org/10.1002/wea.2907>
- Haes Alhelou, H., Hamedani-Golshan, M. E., Njenda, T. C., & Siano, P. (2019). A survey on power system blackout and cascading events: Research motivations and challenges. *Energies*, 12(4), 682.
- Hall, J. W., Thacker, S., Ives, M. C., Cao, Y., Chaudry, M., Blainey, S. P., and Oughton, E. J.: Strategic analysis of the future of national infrastructure, *P. I. Civil Eng.-Civ. Eng.*, 170, 39–47, <https://doi.org/10.1680/jcien.16.00018>, 2016.
- HKV Lijn in Water; Overstromingen: de impact voor ziekenhuizen in Nederland; artikel op basis van een workshop die georganiseerd is in samenwerking met de Nederlandse Vereniging van Ziekenhuizen (NVZ), gepubliceerd in Magazine nationale veiligheid en crisisbeheersing; mei 2008
- Karagiannis, G. M., Chondrogiannis, S., Krausmann, E., & Turksezer, Z. I. (2017). Power grid recovery after natural hazard impact. Joint Research Center: European Union.
- Klimaatadaptatie Nederland (z.d., a) *Wanneer ontstaat er wateroverlast en wat merken we ervan?* Kennisportaal Klimaatadaptatie. <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/wateroverlast/wanneer-ontstaat-wateroverlast-merken-we-ervan/>
- Klimaatadaptatie Nederland (z.d., b). *Hoe bescherm je vitale en kwetsbare functies?* <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/vitale-kwetsbare-functies/bescherming/>
- Klimaatadaptatie Nederland (n.d., c). *Grafentheorie*. <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/vitale-kwetsbare-functies/bescherming/impact/methodes/grafentheorie/>
- Klimaatadaptatie Nederland (2014). Overzicht Dashboards en toelichtingen van Vitale en Kwetsbare functies. <https://klimaatadaptatienederland.nl/@158286/dashboards/>
- Klimaatadaptatie Nederland (2020). Vitale en kwetsbare functies. Kennisportaal Klimaatadaptatie. <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/vitale-kwetsbare-functies/>.
- Klimaat-effectatlas Rijkswaterstaat (z.d.) <https://geostenen.grid.rws.nl/portal/apps/Cascade/index.html?appid=d6ca4e4ddf5743d7b201a70cd4f1c422>
- Kok, M., Jongejan, R., Nieuwjaar, M., & Tanczos, I. (2016). *Grondslagen voor hoogwaterbescherming*. <https://www.enwinfo.nl/publish/pages/183541/grondslagen-druk2-lowres-spread.pdf>
- Koks, E., Pant, R., Thacker, S., & Hall, J. W. (2019). Understanding business disruption and economic losses due to electricity failures and flooding. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10, 421–438.
- Koks, E., Van Ginkel, K., Van Marle, M., & Lemnitzer, A. (2022). Brief communication: Critical infrastructure impacts of the 2021 mid-July western European flood event. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(12), 3831–3838. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-3831-2022>
- Krol, M. D. (2018). *Cascade effects in critical infrastructure: predicting failure from flood events in interdependent infrastructure networks* (Master's thesis, University of Twente).
- Lindner, C., Burla, P., & Vallée, D. (2017). Graph-Theory-Based modeling of cascading infrastructure failures. *Journal of Extreme Events*, 04(03), 1750012. <https://doi.org/10.1142/s2345737617500129>

- de Man, H., Berg, H. H., Leenen, E., Schijven, J., Schets, F. M., Van Der Vliet, J., Van Knapen, F., & De Roda Husman, A. M. (2014). Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater. *Water Research*, 48, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.022>
- de Man-van der Vliet, H. D. (2014). Best urban water management practices to prevent waterborne infectious diseases under current and future scenarios= Aanbevelingen voor stedelijk water management om wateroverdraagbare infectieziekten te voorkomen in huidige en toekomstige scenario's.
- Miller, R. (2006). Hurricane katrina: Communications & infrastructure impacts. *National Defense University*.
- Mulder, A. C., Pijnacker, R., De Man, H., Van De Kasstele, J., Van Pelt, W., Mughini-Gras, L., & Franz, E. (2019). "sickenin" in the rain" - Increased risk of gastrointestinal and respiratory infections after urban pluvial flooding in a population-based cross-sectional study in the Netherlands." *BMC Infectious Diseases*, 19(1), 377. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-3984-5>
- NCTV (2015). *Magazine Nationale Veiligheid en crisisbeheersing nr.3*. https://www.otoporaal.nl/sites/default/files/redactie/magazine-nationale-veiligheid-en-crisisbeheersing-2015-3_tcm126-598513_1.pdf
- NCTV. (2023a). Overzicht vitale processen. Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid. <https://www.nctv.nl/onderwerpen/vitale-infrastructuur/overzicht-vitale-processen>
- NCTV. (2023b). Welke sectoren en organisaties vallen onder de CER-richtlijn en de NIS2-richtlijn?. <https://www.nctv.nl/onderwerpen/implementatie-cer-nis2/critical-entities-resilience-directive-cer#anker-1-welke-sectoren-en-organisaties-vallen-onder-de-cer-richtlijn>
- Nelen & Schuurmans. (2018). *Waterrobuuste Elektriciteit Zeeland*. <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/vitale-kwetsbare-functies/bescherming/risicos/praktijkvoorbeelden-risico-kaart-brengen/waterrobuuste-elektriciteit-zeeland/>
- Netbeheer Nederland (2020). *Netbeheerders leren werken met water*. <https://www.netbeheernederland.nl/nieuws/netbeheerders-leren-werken-met-water-1410>
- Nieuwe Oogst (2021a). Ook zuivelfabrieken kampen met gevolgen wateroverlast. Nieuwe Oogst. <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2021/07/16/ook-zuivelfabrieken-kampen-met-gevolgen-wateroverlast>
- Nieuwe Oogst, (2021b). Gewassen Noord-Limburgse boeren onder water. Nieuwe Oogst. <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2021/07/16/gewassen-noord-limburgse-boeren-onder-water>
- Nieuwe Oogst, (2021c). 200 miljoen euro voor schade na watersnood. Nieuwe Oogst. <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2021/09/18/200-miljoen-euro-voor-schade-na-watersnood>
- Nieuwe Oogst (2022). De watersnood: één jaar na de ramp. Nieuwe Oogst. <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2022/07/16/de-watersnood-een-jaar-na-de-ramp>
- NOS (2020). Vervuild zeewater voor haagse kust door stroomstoring. <https://nos.nl/artikel/2344506-vervuild-zeewater-voor-haagse-kust-door-stroomstoring>
- NOS. (2021). Toch waterschadevergoeding voor Limburgse boeren in uiterwaarden. NOS. <https://nos.nl/artikel/2394195-toch-waterschadevergoeding-voor-limburgse-boeren-in-uiterwaarden>

- Ouyang, M. (2014). Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reliability engineering & System safety*, 121, 43-60.
- Pescaroli, G., S. Turner, T. Gould, D. Alexander and R. Wicks 2017. Cascading Impacts and Escalations in Wide-Area Power Failures. UCL IRDR and London Resilience Special Report 2017-01, Institute for Risk and Disaster Reduction, University College London..
- RIONED (n.d.). Impact extreme neerslag stedelijk gebied: waarom en met welke buien? <https://www.riool.net/impact-extreme-neerslag-stedelijk-gebied-waarom-en-met-welke-buien->
- Saidi, S., Kattan, L., Jayasinghe, P., Hettiaratchi, P., & Taron, J. (2018). Integrated infrastructure systems—A review. *Sustainable Cities and Society*, 36, 1-11.
- Sakamoto Ferranti, E., Chapman, L., & Whyatt, D. (2017). A Perfect Storm? The collapse of Lancaster's critical infrastructure networks following intense rainfall on 4th/5th in December 2015. <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wea.2907>
- Sánchez-Muñoz, D., Domínguez-García, J. L., Martínez-Gomariz, E., Russo, B., Stevens, J., & Pardo, M. (2020). Electrical grid risk assessment against flooding in Barcelona and Bristol cities. *Sustainability*, 12(4), 1527.
- Schauer, S., König, S., Latzenhofer, M., Rass, S., & Grafenauer, T. (2018). Analyzing cascading effects among critical infrastructures: The CERBERUS approach. In *Proc. ISCRAM* (pp. 428-437).
- Schotten, R., & Bachmann, D. (2023). Integrating Critical Infrastructure Networks into Flood Risk Management. *Sustainability*, 15(6), 5475.
- STOWA. (2021). Provinciale normering wateroverlast. Hoe toekomstbestendig is de huidige aanpak en werkwijze? <https://www.stowa.nl/publicaties/provinciale-normering-wateroverlast-hoe-toekomstbestendig-de-huidige-aanpak-en>
- Task Force Fact Finding Hoogwater 2021 (2021). Hoogwater 2021: Feiten en Duiding. Expertise Netwerk Waterveiligheid . <https://doi.org/10.4233/uuid:06b03772-ebe0-4949-9c4d-7c1593fb094e>
- TwynstraGudde (2017). Overzicht van vitale en kwetsbare functies bij overstromingen. In *Klimaatadaptatie Nederland*. <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/vitale-kwetsbare-functies/bescherming/impact/praktijkvoorbeelden/overzicht-vitale-kwetsbare-functies-overstromingen/>
- UNDRR (2022). *Monitoring the Sendai framework*.

7 Appendix

Tabel 10: Gecombineerd indeling vitaal en kwetsbaar volgens CER, NCTV en Deltaprogramma

CER kritieke sectoren		Vitale sectoren en processen (d.d. 18/04/23) NCTV.		Vitaal en kwetsbaar Deltaprogramma	
Energie	Elektriciteit Stadsverwarming- en koeling Olie Gas Waterstof	Energie	Landelijk transport, distributie en productie elektriciteit Regionale distributie elektriciteit Gasproductie, landelijk transport en distributie gas Regionale distributie gas Olievoorziening	Energie	(a) elektriciteit; (b) aardgas, (c) olie
Digitale infrastructuur	Internetknooppunten DNS dienstverlening Registratie Toplevel domeinnamen Cloudcomputing-diensten Datacenterdiensten	ICT/ Telecom	Internet en datadiensten Internettoegang en dataverkeer Sprakdienst en SMS* Plaats- en tijdsbepaling middels GNSS	Telecom/IC T	(a) basisvoorziening en voor communicatie t.b.v. respons bij een overstroming (b) publiek netwerk
Drinkwater	Levering drinkwater voor menselijke consumptie	Drinkwater	Drinkwatervoorziening	Waterketen	(a) drinkwater;
Afvalwater	Stedelijke, huishoudelijke, industriële afvalwaterverwerking				(b) afvalwater
		Water	Keren en beheren waterkwantiteit		Keren en beheren oppervlaktewater: gemalen
Volksgezondheid	Zorgaanbieders EU referentielaboratoria Onderzoek naar en de ontwikkeling van geneesmiddelen Productie van farmaceutische			Gezondheid	

CER kritieke sectoren		Vitale sectoren en processen (d.d. 18/04/'23) NCTV.		Vitaal en kwetsbaar Deltaprogramma	
	basisproducten en – bereidingen Productie van medische hulpmiddelen die noodzakelijk zijn in noodsituaties o.g.v. volksgezondheid Groothandel in geneesmiddelen				
Vervoer	Luchtvervoer <i>(luchtvaartmaatschappijen, luchthavenbeheer, verkeerbegeleiding)</i> Spoorvervoer <i>(infrastructuurbeheer, spoorwegvervoerders)</i> Vervoer over water <i>(binnenvaart, kust- en zeevervoer, havenbeheer, verkeersbegeleiding VTS)</i> Wegvervoer <i>(wegenautoriteiten, exploitatie van intelligente vervoerssystemen)</i> Openbaar vervoer	Transport	Vlucht- en vliegtuigafhandeling Scheepvaartafwikkeling Vervoer van personen en goederen over (hoofd)spoorweginfrastructuur Vervoer over (hoofd)wegennet	Transport	Hoofdinfrastructuur
		Chemie	Grootschalige productie/verwerking en/of opslag (petro)chemische stoffen	Chemisch	(a) Chemie
		Nucleair	Opslag, productie en verwerking nucleair materiaal	Nucleair	(b) Nucleair
				?	(c) Infectieuze stoffen/ Genetisch gemodificeerde organismen (ggo's)
Bankwezen	Kredietverlening	Financieel	Toonbankbetalingsverkeer Massaal giraal betalingsverkeer Hoogwaardig betalingsverkeer tussen banken Effectenverkeer		
Infrastructuur voor de financiële markt	Handelsplatforms CTP's				

CER kritieke sectoren		Vitale sectoren en processen (d.d. 18/04/'23) NCTV.		Vitaal en kwetsbaar Deltaprogramma	
		OOV	Communicatie met en tussen hulpdiensten middels 112 en C2000 Inzet politie		
Overheid	Centrale overheid	Digitale overheids - processen	Basisregistraties personen en organisaties Interconnectiviteit (transactie-infrastructuur voor informatie uit basisregistraties) Elektronisch berichtenverkeer en informatieverschaffing aan burgers Elektronisch berichtenverkeer en informatieverschaffing aan burgers		
		Defensie	Inzet defensie		
Ruimtevaart	Exploitatie van grondfaciliteiten				
Levensmiddelen	Productie, verwerking en distributie van levensmiddelen				

Tabel 11: Totaal overzicht van de relatie tussen wateroverlast en Vitale en Kwetsbare functies. Per sector een duiding van de ernst wat betreft de blootstelling, schade/functieverlies, ketenafhankelijkheden, gevolgen en cascade-effecten (grijs = 'n.v.t.', groen = 'minimaal', geel = 'matig', oranje = 'ernstig', en rood = 'zeer ernstig').

Vitale sectoren en processen (NCTV met toevoegingen vanuit CER)		Blootstelling	Schade/functieverlies	Ketenafhankelijkheid	Gevolgen bij uitval	Cascade effecten
Energie	Landelijk transport, distributie en productie elektriciteit	Geel	Geel	Groen	Oranje	Rood
	Regionale distributie elektriciteit	Geel	Oranje	Groen	Oranje	Rood
	Gasproductie, landelijk transport en distributie gas	Geel	Geel	Geel	Oranje	Oranje
	Regionale distributie gas	Oranje	Oranje	Geel	Oranje	Geel
	Olievoorziening	Groen	Geel	Geel	Geel	Geel
Telecom/ ICT	Internet en datadiensten	Oranje	Oranje	Oranje	Geel	Oranje
	Internettoegang en dataverkeer	Oranje	Oranje	Oranje	Geel	Oranje
	Spraakdienst en SMS*	Oranje	Oranje	Oranje	Geel	Oranje
Drinkwater	Drinkwatervoorziening	Geel	Groen	Oranje	Geel	Oranje
Water	Afvalwater	Geel	Geel	Geel	Oranje	Groen
	Keren en beheren waterkwantiteit	Geel	Oranje	Oranje	Oranje	Rood
Ziekenhuizen en gezondheidscentra		Geel	Geel	Rood	Rood	Grijs
Transport	Vervoer over (hoofd) spoorweginfrastructuur	Geel	Oranje	Oranje	Geel	Oranje
	Vervoer over (hoofd)wegennet	Geel	Geel	Geel	Oranje	Rood
Financieel	Toonbankbetalingsverkeer	Grijs	Grijs	Oranje	Geel	Rood
	Massaal giraal betalingsverkeer	Grijs	Grijs	Oranje	Geel	Rood
	Hoogwaardig betalingsverkeer tussen banken	Grijs	Grijs	Oranje	Geel	Oranje
	Effectenverkeer	Grijs	Grijs	Oranje	Geel	Oranje
OOV	Communicatie met en tussen hulpdiensten middels 112 en C2000	Groen	Geel	Geel	Oranje	Geel
	Inzet politie/brandweer	Geel	Geel	Oranje	Oranje	Grijs
Levensmiddelen		Oranje	Rood	Geel	Oranje	Geel

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

Deltares

www.deltares.nl