

Klimaatdreigingen en vitale infrastructurele functies gemeente Amsterdam



Auteur(s)

Lieke Meijer

Margreet van Marle

Thomas Bles

Klimaatdreigingen en vitale infrastructurele functies gemeente Amsterdam

Opdrachtgever	Gemeente Amsterdam: Programma Klimaatadaptatie
Contactpersoon	Joris Solleveld
Referenties	
Trefwoorden	Klimaatdreigingen, vitale infrastructuur, keteneffecten, cascades

Documentgegevens	
Versie	2.0
Datum	17-04-2025
Projectnummer	11210680-002
Document ID	11210680-002-GEO-0001
Pagina's	52
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)		
	Lieke Meijer Margreet van Marle	

Samenvatting

Vitale infrastructurele functies zoals elektriciteitsnetwerken, watervoorziening en transport zijn essentieel voor het dagelijks functioneren van steden. Klimaatverandering verhoogt de kans op extreem weer, waardoor deze infrastructuur verstoord kan raken, met mogelijk grote maatschappelijke gevolgen. Deze studie richt zich op de bebouwde stad Amsterdam en onderzoekt de uitval van vitale infrastructuur door klimaatdreigingen en de cascade-effecten daarvan.

Het doel van het onderzoek is tweeledig:

1. Identificeren van de effecten van extreem weer op vitale functies in Amsterdam.
2. Bepalen welke onderdelen en cascade-effecten risico's kunnen vormen, zowel nu als in de toekomst.

Deze studie is uitgevoerd in nauwe samenwerking met aanbieders van vitale infrastructuur (crisisbeheersing, gezondheid, transport, energie, telecom/ICT, drinkwater, afwater en riolering, waterbeheer). In de studie zijn faalpaden ontwikkeld en ketenafhankelijkheden in beeld gebracht voor de belangrijkste klimaatdreigingen.

De belangrijkste bevindingen zijn:

- Elektriciteit, telecommunicatie, bereikbaarheid en het watersysteem (keren en beheren) zijn de sectoren waarvan de meeste andere infrastructurele sectoren in Amsterdam afhankelijk zijn voor hun eigen functioneren. Daarmee kunnen deze sectoren ook de meeste cascade-effecten veroorzaken als zij verstoord raken.
- Vrijwel alle sectoren zijn afhankelijk van bereikbaarheid om storingen in hun netwerk te kunnen verhelpen. Daarnaast komen ook de aanrijdtijden van hulpdiensten onder druk te staan als bereikbaarheid verstoord raakt. Verstoring van de bereikbaarheid, bijvoorbeeld door overstromingen of stormen, kan daarom grote gevolgen hebben.
- Wateroverlast, droogte en hitte zijn de meest genoemde klimaatdreigingen voor vitale infrastructuur in Amsterdam. Grootschalige overstromingen vormen daarnaast ook een concrete bedreiging.
- Wateroverlast heeft met name invloed op het functioneren van elektriciteit en telecommunicatie. Afhankelijk van waar deze uitval optreedt, kan de wateroverlast vervolgens verergeren doordat de pompen en gemalen van het watersysteem niet meer goed functioneren bij stroomuitval en telecomstoringen. Dit creëert een zogenaamde 'feedback-loop'.
- Hitte en droogte kunnen leiden tot gevolgen voor de zoetwatervoorzieningen en waterbeschikbaarheid, maar ook tot verzakkingen die schade toebrengen aan infrastructuur. Droogte vormt een risico voor houten funderingen in Amsterdam. Bij hitte kunnen capaciteitsproblemen bij hulpdiensten ontstaan en storingen bij vitale systemen door oververhitting of uitzetting van constructies.
- Klimaatdreigingen en cascade effecten vooral leiden tot hoge gevolgen ten aanzien van gevolgkosten, impact op imago en impact op de beschikbaarheid van vitale functies.

De resultaten en aanbevelingen van deze studie helpen de gemeente Amsterdam om beter voorbereid te zijn op de gevolgen van klimaatverandering. Deze studie biedt een eerste aanzet en verkenning van de geschetste thematiek. In het vervolg is het zinvol om de verkregen inzichten te toetsen met gebiedspartners in verschillende scenario's. Creëer en doorleef deze scenario's en begin met scenario's voor wateroverlast en overstromingen, en combineer mogelijk scenario's voor hitte en droogte. Werk ook aan 'no regret'-scenario's voor vitale functies zoals elektriciteit en telecommunicatie om de kansen en gevolgen kwantitatief in te schatten en zo de belangrijkste risico's voor de stad te prioriteren.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	7
1.1	Doel	7
1.2	Scope	7
1.3	Leeswijzer	8
2	Methode	9
2.1	Deelnemende vitale aanbieders	9
2.2	Ketenafhankelijkheden en cascade-effecten onafhankelijk van klimaatdreigingen	10
2.3	Inschatten van risico's van klimaatdreigingen	11
2.4	Onzekerheden en gebruik resultaten	12
3	Samenvatting interviews	13
3.1	Calamiteitenmanagement	13
3.2	Gezondheid	13
3.3	Transport	14
3.3.1	Gemeentelijke wegen en tunnels (Gemeente Amsterdam)	14
3.3.2	Gemeentelijk Vervoersbedrijf (GVB)	14
3.3.3	ProRail	14
3.4	Elektriciteit en gas	15
3.4.1	TenneT (hoogspanning)	15
3.4.2	Liander(Midden-/laagspanning en gas)	15
3.5	ICT/Telecommunicatie	16
3.6	Water	16
3.6.1	Drinkwater	16
3.6.2	Afvalwater	17
3.6.3	Keren en beheren	17
4	Resultaten ketenafhankelijkheden en cascade-effecten Amsterdam	19
4.1	Samenhang en ketenafhankelijkheid vitale functies in Amsterdam	19
4.2	Cascade-effecten bij uitval, per sector	20
4.2.1	Faalpaden	21
4.2.2	Uitval hulpdiensten	26
4.2.3	Uitval zorginstellingen	26
4.2.4	Uitval metro, tram, bus	26
4.2.5	Uitval spoorwegen	26
4.2.6	Uitval lokale wegen: tunnels, bruggen, wegen	27
4.2.7	Uitval elektriciteit	27
4.2.8	Uitval telecommunicatie	29
4.2.9	Uitval drinkwater	29
4.2.10	Uitval afvalwater	30

4.2.11	Uitval watersysteem/keren en beheren	30
4.2.12	Uitval gas	31
5	Klimaatdreigingen en mogelijke gevolgen	33
5.1	Wateroverlast	33
	Belangrijkste gevolgen en gevolgpaden	33
5.2	Extreme Droogte	35
	Belangrijkste gevolgen en gevolgpaden	35
5.3	Extreme Hitte	37
	Belangrijkste gevolgen en gevolgpaden	37
5.4	Storm	39
	Belangrijkste gevolgen en gevolgpaden	39
5.5	Grootschalige overstroming	39
6	Belangrijkste bevindingen en aanbevelingen	40
6.1	Klimaatdreigingen met de grootste gevolgen	40
6.1.1	Risico-scores	40
6.2	Cascade-effecten en ketenafhankelijkheid	44
6.2.1	Ketenafhankelijkheid	44
6.2.2	Cascade-effecten	44
6.3	Aanbevelingen voor vervolgstappen	45
6.3.1	Kwantificeer de gepresenteerde faalpaden	45
6.3.2	Ontwikkel scenario's	45
6.3.3	Werk samen met gebiedspartners	46
6.3.4	Breng kritieke locaties in kaart	47
6.3.5	Ontwikkel een risico-matrix waarmee afwegingen gemaakt kunnen worden	47
6.3.6	Neem klimaatverandering mee in volgende analyses en verken adaptatiemogelijkheden	48
6.3.7	Gebruik resultaten in andere trajecten	48
7	Bronnenlijst	49
7.1	Interviews vitale aanbieders	49
7.2	Experts die hebben bijgedragen aan de workshop(resultaten)	50
A	Vragenlijst gebruikt voor de interviews	51

1 Introductie

De processen en diensten die samen de vitale infrastructuur vormen, zijn het fundament waarop de Nederlandse samenleving draait (NCTV, n.d.). Kritieke infrastructurele functies, zoals elektriciteitsnetwerken, watervoorziening of transport, zijn essentieel voor het dagelijks functioneren van maatschappijen en steden. Uitval, verstoring of manipulatie van deze processen en diensten kan grote gevolgen hebben voor het functioneren van de maatschappij (NCTV, n.d.).

Extreem-weer-gebeurtenissen, zoals droogte, hitte, overstromingen en wateroverlast, kunnen een grote impact hebben op stedelijke gebieden. Door klimaatverandering wordt bovendien verwacht dat de intensiteit en kans van voorkomen van deze klimaatdreigingen zal toenemen. Het is daarom van groot belang om inzicht te krijgen in hoe deze kritieke infrastructuur wordt beïnvloed door klimaatdreigingen en welke risico's dit met zich meebrengt. Door deze kennis kunnen steden zoals Amsterdam beter voorbereid zijn op extreme weersomstandigheden en maatregelen nemen om de weerbaarheid en veiligheid van hun infrastructuur te waarborgen.

De afgelopen jaren heeft de metropoolregio Amsterdam waardevolle inzichten verkregen in de gevolgen van droogte, hitte, overstromingen en wateroverlast. Hoewel deze resultaten voornamelijk informatie bieden over de locaties waar dreigingen zich voordoen, is er nog weinig bekend over de gevolgen van uitval van vitale infrastructuur en mogelijke cascade effecten voor de stad. Om de gevolgen van extreem weer op vitale infrastructuur beter te duiden beschouwen wij keten-effecten (ook wel cascade uitval genoemd). Daarnaast heeft de MRA doelvoorschriften gepubliceerd waarmee zij adviseren hoe vitale assets veiliger kunnen worden aangelegd. Hiermee bieden zij handvatten aan voor de te nemen maatregelen per asset-type. Hiermee kan in de toekomst mogelijk geprioriteerd worden.

1.1 Doel

Deze studie heeft als doel inzicht te krijgen in de uitval van vitale infrastructuur als gevolg van klimaatdreigingen, hoe deze uitval in een keten door kan werken op andere vitale infrastructuur (cascade-effecten) en daarmee welke klimaatrisico's belangrijk zijn in de bebouwde stad Amsterdam.

Het doel van het project is tweeledig:

1. Effecten van extreem weer op vitale functies in de gebouwde omgeving van Amsterdam identificeren.
2. Bepalen welke onderdelen en cascade effecten risico's kunnen vormen, zowel nu als in de toekomst.

De resultaten helpen de gemeente Amsterdam om te kunnen bepalen welke risico's relevant zijn voor de stad en om in een vervolgstudie te kunnen gaan vaststellen welke vervolgstappen gezet moeten worden om de klimaatrisico's te beperken. Hiermee zullen de resultaten een eerste invulling geven aan de kennisagenda Klimaatadaptatie (inclusief het deelproject 'kennisagenda klimaatadaptatie'), waarmee de gemeente toewerkt naar een robuuste en klimaatbestendige inrichting van al deze netwerken.

1.2 Scope

Om te bepalen wat de belangrijkste klimaatrisico's voor de gemeente Amsterdam zijn ten gevolge van uitval van vitale functies beschouwen we een aantal mogelijke relevante

klimaatdreigingen. Extreem weer binnen deze klimaatdreigingen kan leiden tot situaties die ervoor zorgen dat diensten van vitale aanbieders worden ontwricht, waarbij de gevolgen merkbaar zijn voor de bebouwde omgeving van Amsterdam.

Het onderzoek is uitgevoerd in nauwe samenwerking met de vitale aanbieders in de gemeente Amsterdam. Deze samenwerking is cruciaal om risico's te identificeren.

De volgende klimaatdreigingen zijn beschouwd tijdens dit onderzoek:

- Grootschalige overstroming (dijkdoorbraak).
- Wateroverlast (pluviale overstromingen, stijgende grondwaterstanden).
- Hitte.
- Storm.
- Droogte.
- Natuurbranden.
- Onweer.
- Combinaties van gebeurtenissen.

In dit onderzoek staat de bebouwde stad Amsterdam centraal, vanuit het perspectief van haar burgers en gemeente. In dit onderzoek is daarom niet in detail ingegaan op bijvoorbeeld het havengebied of Schiphol, hoewel klimaatdreigingen ook hier van invloed zijn op de infrastructuur en tot gevolgen kan leiden.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport is opgebouwd uit een methode hoofdstuk (Hoofdstuk 2) gevolgd door de verschillende resultaten. Allereerst wordt een korte samenvatting van klimaateffecten per vitale aanbieder beschreven (Hoofdstuk 3), gevolgd door een hoofdstuk met resultaten over ketenafhankelijkheden (Hoofdstuk 4) en de klimaatrisico's ten gevolge van cascade effecten (Hoofdstuk 5). Deze rapportage eindigt met belangrijkste bevindingen en aanbevelingen (Hoofdstuk 6)

2 Methode

Deze studie is gestart met een aantal interviews met aanbieders of beheerders van vitale functies in de gemeente Amsterdam. Hierin is verkend welke klimaatdreigingen door vitale aanbieders als relevant worden beschouwd. In deze studie hebben we de cascade-effecten van uitval van vitale infrastructuur onderzocht in twee stappen. Eerst hebben we de afhankelijkheden tussen de verschillende vitale functies in beeld gebracht (onafhankelijk van de reden van uitval) en vervolgens hebben we hier klimaateffecten aan gekoppeld om inzicht te krijgen in de belangrijkste klimaatrisico's voor de gemeente Amsterdam (Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Algemene stappen om met vitale aanbieders tot een beeld te komen van de cascade-effecten en klimaatrisico's voor de gemeente Amsterdam.

2.1 Deelnemende vitale aanbieders

We hebben in samenwerking met de gemeente Amsterdam een aantal aanbieders van vitale functies benaderd. De selectie van aanbieders is vastgesteld op basis van bestaande overzichten (NCTV, DPRA) en in overleg met de gemeente Amsterdam. De betrokken personen en aanbieders hebben ervaring met het inschatten van klimaatrisico's voor het beheer van hun netwerk en hebben veelal een rol ten tijde van crisis situaties en kunnen daardoor inzicht geven wat er gebeurt als deel van hun netwerk of functie uitvalt. Met alle deelnemende partijen is een interview van ongeveer 45 minuten gehouden waarin werd verkend wat relevante klimaatdreigingen en risico's zijn voor de partijen. De resultaten daarvan staan beschreven in Hoofdstuk 3. Ook zijn de deelnemende partijen betrokken geweest bij het bepalen van de ketenafhankelijkheden en cascade effecten (Zie Hoofdstuk 2.2 en 2.3).

Tabel 2.1 Betrokken sectoren en deelnemers.

Vitale processen	Organisatie
Fysieke veiligheid en crisisbeheersing	Veiligheidsregio Amsterdam Amstelland
Gezondheid	GHOR
Transport	Metro, tram, bus: GVB
	Hoofdspoorwegennet: ProRail
	Gemeentelijke wegen en tunnels: Gemeente Amsterdam
Energie	Liander
	TenneT
Telecom/ICT	KPN
Drinkwater	Waternet
Afvalwater en riolering	Waternet
Waterbeheer/keren en beheren	Waternet

2.2 Ketenaafhankelijkheden en cascade-effecten onafhankelijk van klimaatdreigingen

De infrastructuur van elke vitale functie is een samenhang van objecten en connecties tot infrastructuurnetwerken. Hoe uitval van objecten leidt tot verstoring van het netwerk en de bijbehorende functie is vaak ingewikkeld. Tegelijkertijd zijn de verschillende vitale functies sterk met elkaar verweven. Uitval of verstoringen van deze processen en diensten kan grote gevolgen hebben voor het functioneren van de stad Amsterdam en mogelijk de bredere maatschappij (NCTV, n.d.).

Uitval van een vitale functie kan bijvoorbeeld plaatsvinden doordat deze direct de effecten ondervindt van een klimaatdreiging, maar uitval van een functie kan ook plaatsvinden doordat er een afhankelijkheid is van een andere vitale functie (zogeneten ketenaafhankelijkheid). Ook deze gevolgen leiden tot impact voor de maatschappij.

De CIRCLE-methode (Critical Infrastructures: Relations and Consequences for Life and Environment) is een dynamische werkmethode die helpt om de keten van cascade-effecten te begrijpen die kunnen optreden bij een extreme gebeurtenis. Tijdens een workshop delen de betrokkenen hun kennis en ervaring over hoe kritieke infrastructuren functioneren en reageren op verstoringen. De visuele en interactieve technieken van Circle helpen om cascade-effecten te begrijpen en belangrijke informatie over causale relaties uit te wisselen, waardoor belanghebbenden zich bewust worden van hun kwetsbaarheid, direct of door hun netwerkaafhankelijkheden. Dit bevordert een onderlinge bewustwording van risico's en helpt ook de gemeente om te identificeren waar grote afhankelijkheden en mogelijk grote gevolgen zitten.

Voor dit onderzoek is zo'n CIRCLE-sessie georganiseerd waarbij voor elke functie, zoals elektriciteit, water of transport, besproken wordt wat de gevolgen zijn voor de bedrijfsvoering als een van de andere infrastructuren uitvalt. Bijvoorbeeld: wat gebeurt er met de rioolwaterzuivering als de stroom uitvalt? In de CIRCLE-sessie worden er lijnen getekend tussen sectoren die afhankelijk zijn van elkaar. Hierin kunnen de gevolgen van uitval van de ene sector op de andere sector ook worden opgeschreven. Het resultaat is een cirkeldiagram, waarbij lijnen getrokken zijn tussen sectoren die afhankelijk van elkaar zijn: dat wil zeggen, die hinder ondervinden van uitval van een andere (vitale) functie. Hierbij is nog geen rekening gehouden met welke dreiging voor de verstoring zorgt.

Het delen van kennis tussen beheerders/eigenaren van kritieke infrastructuur over hun netwerk (bijv. hoe lang hun infra uitvalt, wat er nodig is om te herstellen, en indien mogelijk drempelwaardes) is hierbij cruciaal. Omdat het niet nodig is om vooraf over alle informatie van de verschillende netwerken van levensnoodzakelijke voorzieningen te beschikken, hoeft geen geheime informatie te worden gedeeld en kunnen aanbieders zelf beslissen wat en hoeveel ze willen delen.

2.3 Inschatten van risico's van klimaatdreigingen

Toen de afhankelijkheden in beeld gebracht waren, is de deelnemers gevraagd om keten-effecten te identificeren als gevolg van klimaatdreigingen en voor deze keten-effecten de risico's in te schatten. Deelnemers is gevraagd om keten-effecten op te stellen die konden optreden als gevolg van klimaatdreigingen. Dit resulteerde in een lijst met mogelijke keten-effecten.

Dat volgde het format:

[effect door extreem weertypen] leidt tot [gevolg voor functioneren van de functie of stad] leidt tot [secundair gevolg] leidt tot [tertiair gevolg]

Bijvoorbeeld: **Hevige wateroverlast** leidt tot **verminderd functioneren overstorten** wat leidt tot **water op straat** wat leidt tot **verminderde bereikbaarheid**.

Vervolgens is de deelnemers gevraagd om de ernst van de opgestelde risico's in te schatten op basis van kansen en gevolgen. In overleg met de gemeente Amsterdam zijn de klassegrenzen opgesteld (let wel: dit volgt niet de officiële bedrijfswaardenmatrix van de Gemeente) voor de kansen en gevolgen (Figuur 2.2 & Figuur 2.3). De kansklassen zijn ingedeeld in 5 categorieën variërend van een zeer kleine kans (1:250 jaar gebeurtenis) tot een zeer grote kans (1:5 jaar gebeurtenis) (Figuur 2.3). De gevolgklassen zijn onderverdeeld in vier hoofdcategorieën met vijf subcategorieën: functionaliteit (beschikbaarheid van de vitale functies, veiligheid en getroffen), effect op de leefomgeving (natuur en milieu), omgeving, media en politieke aandacht (imago) en economie (gevolgkosten) (Figuur 2.2). In deze matrix kan worden afgelezen wanneer gevolgen kleine of grote impact hebben voor de stad Amsterdam (Figuur 2.2). Het gebruik van een dergelijke risicomatrix zorgt ervoor dat risico's van verschillende ordes uit verschillende categorieën met elkaar vergeleken kunnen worden. De risico's zijn verwerkt in kwalitatieve faalpaden en een beschrijving van de inschatting van de klimaatdreigingen en bijbehorende risico's (Tabel 6.).

Impactscore	Bedrijfswaarden/Organisatiewaarden				
	Functionaliteit		Effect of leefomgeving	Omgeving, media en politieke aandacht	Economie
	Beschikbaarheid	Veiligheid en getroffen	Natuur en Milieu	Imago	Gevolggkosten (De totale kosten incl. herstel schade derden/omgeving)
1. Zeer kleine impact	Sprake van beperkt effect op de beschikbaarheid - minuten uitval of lokaal effect (huishoud niveau)	Klein ongeval, gering letsel, beperkte medische behandeling noodzakelijk	Gevolgen voor milieu beperkt, lokaal en beheersbaar	Beperkte overlast omgeving (huishoud niveau), lokale pers	< € 10.000
2. Kleine impact	Sprake van aanzienlijk effect op de beschikbaarheid - < 1 uur uitval of beperkt lokaal (huishoud/straat-niveau)	Ongeval met ernstig, niet-blijvend letsel, enkele dagen ziekenhuisopname	Gevolgen voor milieu lokaal, lichte verontreiniging	Overlast omgeving (huishoud/straat-niveau, enkele klachten), Lokale Pers	€ 10.000 tot € 100.000
3. Gemiddelde impact	Sprake van groot effect op de beschikbaarheid- uren uitval of buurtniveau	Ongeval met ernstig letsel of beperkte blijvende schade aan gezondheid, langdurige ziekenhuisopname	Gevolgen voor milieu lokaal, verontreiniging die sanering behoeft	Overlast voor omgeving (buurt, meerdere meldingen/klachten), Regionale Pers, rechtzaak	€ 100.000 tot € 1 miljoen
4. Grote impact	Sprake van ernstig effect op de beschikbaarheid - dag uitval of stadsdeelniveau	Dodelijk ongeval of meerdere personen met ernstig letsel	Grootschalige verontreiniging bodem/water, maatregelen nodig	Overlast voor omgeving (stadsdeel), Landelijke Pers	€ 1 miljoen tot € 10 miljoen
5. Zeer grote impact	Sprake van zeer ernstig effect op de beschikbaarheid - meerdere dagen uitval of meer dan 1 stadsdeel	Meerdere dodelijke ongevallen of <100 personen met ernstig letsel	Ernstige milieuschade, ingrijpende herstellende maatregelen, mogelijk onomkeerbare schade. Impact/hinder voor regio (gebied > 5 km)	Overlast voor omgeving (meer dan 1 stadsdeel), Landelijke Pers, Internationale media, Kamervragen	> € 10 miljoen

Figuur 2.2 Gevolgenmatrix gebruikt voor het inschatten van de klimaatrisico's.

Kansklasse	Omschrijving	Herhalingstijd
1	Zeer klein	Minder vaak dan eens per 250 jaar
2	Klein	Tussen de 100 en 250 jaar
3	Middel	Tussen de 30 en 100 jaar
4	Groot	Tussen de 5 en 30 jaar
5	Zeer groot	Vaker dan eens per 5 jaar

Figuur 2.3 Kansen voor het inschatten van klimaatrisico's.

2.4 Onzekerheden en gebruik resultaten

Met de uitkomsten kan de gemeente Amsterdam in gesprek over: wat zijn acceptabele risico's en wat niet? Maar ook: welke risico's zijn voor Amsterdam van belang? De hier gepresenteerde analyse is gebaseerd op een enkele workshop en zal dus een indicatie geven van de belangrijkste risico's.

Per geïdentificeerd risico moet daarentegen een uitgebreidere analyse worden uitgevoerd om de exacte gevolgen te bepalen met een bredere expertisegroep. Daarom zijn de resultaten die uit deze analyse voortvloeien vooral een eerste stap om een invulling te kunnen geven aan de klimaatagenda van de gemeente Amsterdam. Daarentegen kunnen de resultaten niet worden gebruikt om op dit moment op specifieke locaties te prioriteren. De resultaten dienen dus als opstap om gevolgen van klimaatdreigingen voor de stad in te schatten.

3 Samenvatting interviews

Met alle deelnemende partijen is een interview van ongeveer 45 minuten gehouden waarin werd verkend wat relevante klimaatdreigingen zijn voor de partijen en welke belangrijkste ketenafhankelijkheden er zijn. De resultaten van deze interviews zijn hieronder beknopt samengevat.

3.1 Calamiteitenmanagement

Veiligheidsregio Amsterdam Amstelland coördineert, organiseert en adviseert over de crisisbeheersing, rampenbestrijding, brandweezorg, en risicobeheersing om branden, rampen en crisis te voorkomen, te beperken en te bestrijden (in het vervolg samengevat als 'calamiteitenmanagement'). De veiligheidsregio staat voor aanzienlijke uitdagingen door klimaatverandering, zoals hitte, stormen, droogte, wateroverlast en overstromingen. Grootschalige incidenten, zoals langdurige wateroverlast of langdurige extreme hitte, vormen een bijzondere zorg vanwege de complexiteit en de capaciteitsvraagstukken die ze met zich meebrengen.

Het snel kunnen verlenen van hulp is zeer afhankelijk van de bereikbaarheid van wegen. Extreme weersomstandigheden kunnen echter de bereikbaarheid tijdens noodsituaties ernstig belemmeren. Dit kan ervoor zorgen dat wettelijk vastgestelde aanrijdtijden niet worden gehaald met het gevolg dat burgers minder snel worden geholpen en grotere kans lopen op (dodelijk) letsel. Daarnaast kunnen bijvoorbeeld ziekenhuizen bij wateroverlast in de problemen komen, waardoor het noodzakelijk wordt om hulp te prioriteren.

De veiligheidsregio is afhankelijk van het goed functioneren van vitale infrastructuren zoals elektriciteitsnetwerken, watervoorziening, transporttunnels en wegen, zelfs als noodvoorzieningen tijdelijk beschikbaar zijn.

Om zich voor te bereiden, werkt de veiligheidsregio aan duidelijke risico- en crisiscommunicatie en samenwerking met verschillende partners, het ontwikkelen van de nodige planvorming en procedures, en het monitoren van informatie via een calamiteitencoördinator en informatieknooppunt. Het doel is om de weerbaarheid van de infrastructuur en de samenleving te vergroten en beter voorbereid te zijn op toekomstige klimaat-gerelateerde uitdagingen.

3.2 Gezondheid

Tijdens grote ongevallen en rampen leidt en coördineert de GHOR de geneeskundige hulpverlening. Om de zorgketen optimaal te laten functioneren, is het belangrijk om inzicht te hebben in de mogelijke risico's en knelpunten. Het zorgrisicoprofiel helpt zorgpartners in de regio Amsterdam – Amstelland om zich zowel individueel als gezamenlijk op rampen en crises en zo de continuïteit van zorg zoveel mogelijk te waarborgen. Klimaatdreigingen en klimaatverandering is een belangrijk aandachtspunt, met specifieke focus op hittegolven, wateroverlast en de bereikbaarheid van zorginstellingen. Hittetegolven vormen een jaarlijks terugkerend probleem, vooral in oude gebouwen die moeilijk te verduurzamen zijn. Maar wateroverlast kan bijvoorbeeld de bereikbaarheid van zorginstellingen en thuiszorg bemoeilijken en vertragingen voor ambulances veroorzaken. Ook kunnen leveranties bemoeilijkt worden als er bijvoorbeeld slechte bereikbaarheid is door wateroverlast.

Kritieke bedrijfsprocessen van de zorginstellingen zijn kwetsbaar voor uitval van vitale functies zoals bijvoorbeeld elektriciteit en gas. Elke zorginstelling heeft eigen planvorming om de impact te beperken binnen de zorginstelling. Doorgaans geldt bijvoorbeeld dat er bij stroomuitval noodstroom beschikbaar is voor een bepaalde periode.

3.3 Transport

3.3.1 Gemeentelijke wegen en tunnels (Gemeente Amsterdam)

Onder de gemeentelijke wegen en tunnels in Amsterdam vallen de lokale wegen in gemeentelijk beheer en een aantal tunnels (IJ-tunnel, Piet Heintunnel, Michiel de Ruijtertunnel. Spaarndammertunnel. Arenatunnel). Hoewel er normen zijn voor tunnelveiligheid, zijn deze vaak gericht op brandveiligheid en minder op andere dreigingen zoals klimaatdreigingen. Toch kunnen extreme weersomstandigheden wel uitdagingen bieden voor tunnels. Zo kan bijvoorbeeld bij grootschalige wateroverlast de pompcapaciteit ontoereikend zijn, wat tot problemen en wateroverlast in tunnels kan leiden. Ook hitte kan een uitdaging vormen voor tunnels: bij oververhitting kunnen de systemen uitvallen.

De installaties in tunnels, zoals verlichting en ventilatie, vereisen veel onderhoud en zijn kwetsbaar voor uitval. Daarnaast is de afhankelijkheid van elektriciteit en telecom groot in tunnels. Bij stroomuitval zijn er in de meeste tunnels wel noodvoorzieningen aanwezig, maar niet in alle tunnels (bijvoorbeeld de Michiel de Ruijtertunnel). Om de tunnels zo goed mogelijk te onderhouden en te beveiligen, wordt er risico-gestuurd onderhoud uitgevoerd en er zijn analyses rondom systeemkwetsbaarheid en cyber security.

De gemeentelijke wegen en tunnels zijn cruciaal voor de bereikbaarheid van de stad Amsterdam. Bij sluiting van een tunnel of wegen nemen reistijden toe en kan de verkeersveiligheid negatief beïnvloed worden. Verstoring van de bereikbaarheid kan leiden tot ernstige gevolgen voor hulpdiensten en calamiteitenmanagement.

3.3.2 Gemeentelijk Vervoersbedrijf (GVB)

Het GVB in Amsterdam beheert de metro, tram en bus. Het GVB staat voor diverse klimaatdreigingen die de infrastructuur en dienstverlening kunnen beïnvloeden. Zo komen bijvoorbeeld bepaalde metrostations in het huidige klimaat al in de problemen bij hevige regenval (bijv. station Noord). Hoge waterstanden vereisen nadenken over instroommogelijkheden, aangezien een groot deel van de infrastructuur onder de grond ligt. De Oostlijn heeft een hoogwaterkering, wat betekent dat bij sluiting van de valdeuren de metro niet meer kan rijden. Daarnaast zorgt hitte voor overlast in gebouwen en stations met veel glas. De metro rijdt met een derde rail, die bij extreme hitte kan uitzetten en problemen kan veroorzaken.

Cascade-effecten zoals uitval van pompen of elektriciteit kunnen grote impact hebben. Er zijn geen prioriteiten voor GVB in de energiewet, wat betekent dat het GVB geen voorrang heeft bij stroomuitval en dat het openbaar vervoer (direct) uitvalt. Als de metro of de tram uitvalt, worden reizigers doorgaans vervoerd in bussen. Een voorwaarde om dit te kunnen doen is de beschikbaarheid van het wegennet. Wanneer deze verstoord is, stranden reizigers mogelijk op stations. Stations zoals Noord, Bijlmer en Zuid zijn belangrijk vanwege het aantal reizigersbewegingen. Op deze locatie bestaat het risico dat bij uitval van het openbaar vervoer veel reizigers stranden op deze kritieke stations en niet meer thuiskomen.

3.3.3 ProRail

ProRail beheert het hoofdspoorwegen-netwerk in Nederland, en in en rond Amsterdam, en staat daarbij voor diverse klimaatdreigingen die de infrastructuur en dienstverlening kunnen beïnvloeden. Zo kan extreme en langdurige neerslag leiden tot verzakkingen van het spoor of

kunnen drainageproblemen verergeren door verouderde infrastructuur, wat leidt tot ophoping van water en mogelijke verontreiniging. Maar ook hoge temperaturen kunnen leiden tot problemen door bijvoorbeeld uitzetting van stalen bruggen en storingen in relaiskasten en elektrische systemen.

In Amsterdam is Watergraafsmeer een belangrijke locatie voor ProRail omdat daar een groot emplacement ligt, dat mogelijk kwetsbaar is voor overstromingen. Ontregeling van dat emplacement kan grote gevolgen hebben voor het treinverkeer van en naar Amsterdam maar ook daarbuiten.

De afhankelijkheid van elektriciteit en telecom is groot. Verstoringen in die netwerken kunnen leiden tot aanzienlijke verstoringen in de dienstregeling op het spoor en hebben daar in het verleden ook al toe geleid.

3.4 Elektriciteit en gas

3.4.1 TenneT (hoogspanning)

TenneT beheert de hoogspanningsinfrastructuur in Nederland, waarbij het overgrote deel van de infrastructuur gelegen is in landelijke gebieden. Het hoogspanningsnetwerk is verknoopt en opgebouwd in ringen, waardoor uitval beperkt blijft tot een klein gebied en pas optreedt als meerdere hoogspanningsstations tegelijk uitvallen. In de regio Amsterdam is bijvoorbeeld het Diemen hoofdspanningsstation een cruciaal knooppunt van het netwerk.

Klimaatdreigingen zoals valwinden, zeespiegelstijging, extreme neerslag en hoge temperaturen vormen risico's voor TenneT. Valwinden hebben in Overijssel al eens geleid tot omwaaiende hoogspanningsmasten. Hoge temperaturen kunnen transformatoren verhitten, ondergrondse kabels kunnen de warmte niet kwijt en leidingen kunnen gaan doorhangen. Verschilzettingen door wateroverlast moeten nog verder onderzocht worden.

TenneT heeft maatregelen genomen om uitval door extreem weer te voorkomen. Bij locatiekeuze voor nieuwe stations houdt TenneT rekening met overstromingsrisico's door nieuwe stations verhoogd aan te leggen. TenneT is ook niet afhankelijk van de dienstverlening van externe ICT, omdat de communicatie verloopt via eigen netwerken.

Uitval van het hoogspanningsnet kan via cascade-effecten grote maatschappelijke gevolgen hebben. TenneT onderzoekt de effecten van uitval van het hoogspanningsnet op haar gebruikers en werkt hierin bijvoorbeeld samen met grote stroomgebruikers zoals Tata Steel, de Amsterdamse haven en Schiphol om de netbalans te behouden.

3.4.2 Liander(Midden-/laagspanning en gas)

Liander beheert de energie-distributie in Amsterdam voor zowel elektriciteit als gas. Liander verdeelt hoogspanning die vanuit TenneT wordt geleverd naar midden- en laagspanningsstations, die vervolgens de stroom leveren naar verschillende wijken. Er zijn ongeveer tien kritieke stations in Amsterdam waarbij uitval grote delen van de stad kan beïnvloeden.

Hitte, wateroverlast en overstromingen zijn aandachtspunten voor Liander. Oververhitting is nog niet voorgekomen, maar bij langdurige temperaturen boven 45 graden kan hitte wel leiden tot problemen voor de assets van Liander. Wateroverlast en overstromingen vormen een bedreiging voor zowel het gasnet als het elektriciteitsnet. Als er water in een gasleiding komt, waarbij de waterdruk hoger is dan de gasdruk, moet de gasleiding worden afgesloten, losgekoppeld, leeggezogen en schoongemaakt voordat deze hersteld kan worden. De duur hiervan is afhankelijk van de omvang van het getroffen gebied en kan variëren van enkele

dagen (een aantal straten) tot meer dan een week (een wijk). Gasstations zijn vooral gevoelig voor water wanneer dit de meet- en regelapparatuur aantast, of luchtinlaten laat vollopen.

Liander heeft eerder onderzoek gedaan naar de gevoeligheid van transformatorhuisjes van elektriciteit voor water. Hieruit bleek dat de transformatorhuisjes in principe tijdelijk bestand zijn tegen water. Zout water heeft hierbij wel een verwoestender werking op de assets dan zoet water. Toch zullen bij wateroverlast en overstromingen de huisaansluitingen eerder falen dan de transformatorstations. Bij huisaansluitingen zal de stroom uitvallen op het moment dat er water in de stopcontacten stroomt. Wel hebben grote elektriciteitsstations een lange levertijd als ze vervangen moeten worden. Liander is hierbij afhankelijk van bepaalde transportroutes om groot materieel te kunnen vervoeren.

Liander heeft protocollen voor stroomuitval en werkt samen met veiligheidsregio's bij grootschalige uitval. Objecten die cruciaal zijn voor het functioneren van het net (kritieke objecten) zijn in beeld, maar informatie hierover wordt voorzichtig gedeeld vanwege nationale veiligheid. Cascade-effecten zoals uitval van elektriciteit kunnen grote maatschappelijke gevolgen hebben.

3.5 ICT/Telecommunicatie

KPN is leverancier van telecommunicatie- en ICT-diensten. De telecomaandbieder staat voor diverse klimaatdreigingen die de infrastructuur en dienstverlening kunnen beïnvloeden. Wateroverlast en overstromingen vormen de grootste risico's, aangezien veel infrastructuur in de grond ligt of niet waterdicht is. Kritieke uitvalwaardes voor waterdiepte liggen rond 20-30cm. Hitte kan capaciteitsproblemen veroorzaken in grotere gebouwen die gekoeld moeten worden, wat kan leiden tot uitval van faciliteiten. Storm en wind hebben nog geen problemen veroorzaakt, maar omvallende bomen kunnen wel schade aanrichten aan netwerkverbindingen.

Bij uitval van een deel van het KPN-netwerk blijft de rest van het net volledig operationeel, zonder extra belasting elders. KPN heeft redundantie in centrale gebouwen, waardoor datacommunicatie doorgaat, ook bij uitval van een centrale locatie. In Amsterdam zijn er twee kritieke connectiviteitspunten met wereldwijd internet die bij uitval het (inter)nationaal internetbereik verstoren. Bij uitval van KPN kunnen andere providers de mobiele diensten van KPN niet overnemen. Wel kunnen mobiele communicatiemasten flexibel worden ingezet bij rampen, mits deze vervoerd kunnen worden via de weg.

Stroomstoringen zijn de belangrijkste oorzaak van communicatie-uitval. Als de stroom uitvalt, vallen de vaste verbindingen voor consumenten direct weg door uitval van modems in huis. Mobiele communicatie blijft draaien op nood-accu's. Deze accu's hebben een duur van ongeveer twee uur. Na deze twee uur zal ook de mobiele communicatie uitvallen. De telecomwet verplicht providers om maatregelen te nemen voor continuïteit, maar uitzonderlijke situaties zijn niet expliciet benoemd.

3.6 Water

3.6.1 Drinkwater

Waternet, als drinkwaterbedrijf van Amsterdam, bereidt zich voor op klimaatdreigingen doormiddel van robuuste infrastructuur. De drinkwatervoorziening van Waternet is redundant uitgevoerd. Hoofdleidingen zijn bijvoorbeeld dubbel of zelfs driedubbel uitgevoerd. Daarnaast liggen zijn de productielocaties die relevant zijn voor Amsterdam hooggelegen (één in het duin en één op een verhoging in het landschap), waardoor deze weinig gevoelig zijn voor wateroverlast of overstromingen. Ook kunnen de lageregelegen pompstations bij uitval

overgenomen worden door andere pompstations. Verder zijn er noodkoppelpunten met aangrenzende drinkwaterbedrijven die een deel van de levering kunnen overnemen in geval van nood.

Hitte vormt mogelijk in de toekomst wel een uitdaging voor Waternet, omdat dit bacteriegroei kan veroorzaken in het distributienet als de drinkwatertemperatuur boven 25 graden komt. In dat geval zijn er nog maatregelen mogelijk zoals spuien, chloor doseren of het water eerst koken voor consumptie. Droogte kan leiden tot een verhoogd chloridegehalte, maar er zijn maatregelen te treffen in samenwerking met het waterschap en Rijkswaterstaat.

Er is veel redundantie en back-up in de vorm van reservevoorraden, omdat de drinkwatersector bij wet verplicht is voor 10 dagen noodvoorraad te hebben. Er is noodstroom aanwezig die automatisch inschakelt bij uitval van elektriciteit. Kortstondige spanningsdips kunnen soms wel problemen veroorzaken omdat deze te kort duren en de noodstroom niet automatisch inschakelt, maar er zijn alarmsystemen. Indien de kwaliteit van de bron (Lekkanaal) zo slecht is dat deze niet bruikbaar is, heeft het drinkwaterbedrijf een voorraad van 60-80 dagen in het duingebied. Bereikbaarheid in geval van extreem weer is alleen een probleem bij grote storingen of lekken. Productielocaties en pompstations kunnen op afstand bediend worden.

3.6.2 Afvalwater

De afvalwatersector staat voor verschillende klimaat-gerelateerde uitdagingen. Bij extreme regenval van 70 mm per uur mag er geen schade ontstaan volgens het omgevingsprogramma riolering. Daarnaast is er een norm gesteld voor vitale infrastructuur in het algemeen, waarbij de stad bij 90 mm per uur (1:250) moet kunnen blijven functioneren. In Amsterdam, waar een deel van de stad een gemengd rioolsysteem heeft, moet bij onvoldoende capaciteit het water overslaan naar grachten en sloten. Maar dit overstorten naar oppervlaktewater kan ook gebeuren als gevolg van teveel regen in korte tijd dat niet kan worden afgevoerd door het gemengde stelsel, uitval van een rioolgemaal of door een leidingbreuk. Het overstorten van rioolwater naar oppervlaktewater brengt gezondheidsrisico's met zich mee. Bij extreem weer kan het oppervlaktewater hoog komen te staan, waardoor het de riolering in kan stromen en overstorten niet goed meer werken. Bij extreme peilstijging van het oppervlaktewater (bijvoorbeeld door extreme neerslag en/of falen spuigemaal IJmuiden) zal de overstort tijdelijk niet meer functioneren.

Andere klimaatrisico's zijn droogte- en grondwaterproblematiek. Daar waar het rioolstelsel gemengd is, kunnen verstoppingen ontstaan tijdens droogte omdat het systeem gebouwd is onder de aanname dat het frequent en goed doorgespoeld kan worden. Er zijn stresstesten uitgevoerd om de gevolgen van wateroverlast en droogte te kwantificeren en maatregelen te onderzoeken die beide problemen tegengaan.

Cascade-effecten van uitval van vitale infrastructuur kunnen grote impact hebben op de afvalwatersector. Zo is de werking van elektriciteit is cruciaal voor het functioneren van de pompen en gemalen. Bij stroomuitval is het systeem zo ontworpen dat er nog een paar uur (ongeveer twee) tijd is voordat er problemen ontstaan. Daarna kunnen kritieke objecten zoals rioolwaterzuiveringsinstallaties of rioolgemalen kunnen uitvallen waardoor er bijvoorbeeld overgestort moet worden op oppervlaktewater.

3.6.3 Keren en beheren

Waternet, als uitvoeringsorganisatie van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV), is verantwoordelijk voor het keren en beheren van het watersysteem in- en rondom Amsterdam. Keren en beheren heeft te maken met diverse klimaatdreigingen, waaronder droogte en wateroverlast. Droogte kan leiden tot verzilting van de Amsterdamse grachten en een tekort

aan zoet water, wat nadelig is voor de waterkwaliteit. Langdurige droogte kan ook leiden tot lage grondwaterstanden en paalrot, wat de historische binnenstad kan aantasten. Daarnaast kan droogte de concentratie van verontreinigende stoffen verhogen, waardoor de waterkwaliteit verslechtert.

De beperkte capaciteit van het gemaal IJmuiden zorgt voor extra uitdagingen voor AGV. Zo kunnen bij extreme regenval stijgende waterstanden optreden in het Noordzeekanaal, het Amsterdam-Rijnkanaal en het watersysteem van AGV. Dit vormt een risico voor de gehele regio. In dergelijke situaties mogen bijvoorbeeld niet meer alle gemalen aan en neemt wateroverlast in de polders toe. Bij bovennormatieve situaties, zoals extreme wateroverlast, kan het watersysteem dus niet altijd alle problemen voorkomen.

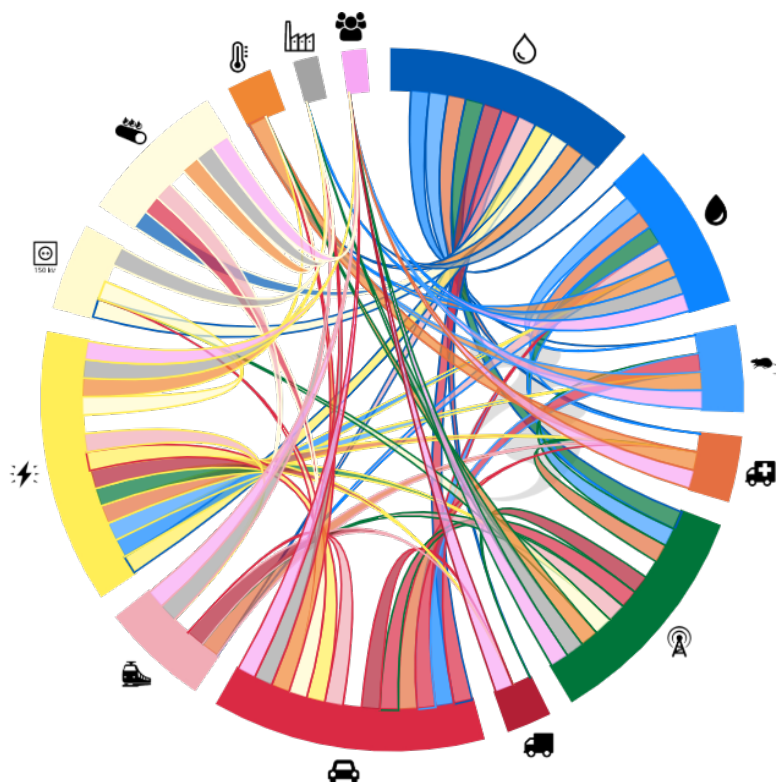
Kritieke objecten zoals gemaal Zeeburg en poldergemalen in Watergraafsmeer en Bijlmer zijn essentieel voor waterbeheer in de diepe polders in het beheersgebied van AGV. Bij uitval van deze gemalen kan aanzienlijke schade ontstaan. Het waterschap heeft maatregelen genomen om de gevolgen van extreem weer te beperken, zoals het gebruik van waterbergingsgebieden en het onderhouden van redundante systemen. Er zijn waterbergingsgebieden in polders en de Ronde Hoep is aangewezen als noodoverloopgebied voor de boezem.

Het waterschap heeft ook te maken met ketenafhankelijkheden, zoals de bereikbaarheid van locaties en de afhankelijkheid van elektriciteit en telecommunicatie voor de werking van gemalen. Er zijn geen dieselmotoren beschikbaar, en bij stroomuitval kunnen gemalen niet pompen. Gemalen zijn op afstand bedienbaar, maar zijn wel afhankelijk van elektriciteit en telecommunicatie, wat een uitdaging kan zijn bij stroomuitval. Dienstvoertuigen rijden overwegend elektrisch, wat bij stroomuitval ook een uitdaging kan vormen voor de bereikbaarheid van kritieke locaties.

4 Resultaten ketenafhankelijkheden en cascade-effecten Amsterdam

4.1 Samenhang en ketenafhankelijkheid vitale functies in Amsterdam

In Figuur 4.1 zijn de onderlinge afhankelijkheden van de vitale aanbieders gevisualiseerd. Dit is het resultaat van de workshopsessie middels de CIRCLE-methode. Daarnaast zijn de categorieën 'burgers' en 'industrie' als eindgebruikers in de analyse betrokken. Uit de resultaten blijkt dat de vitale infrastructuur van Amsterdam sterk van elkaar afhankelijk is. Uit deze analyse blijkt dat de sectoren met de meeste onderlinge afhankelijkheden zijn: elektriciteit (midden- en laagspanning), lokale wegen (bereikbaarheid, wegen, tunnels, bruggen), telecom/ICT (internet, bellen, sms'en, vast en mobiel) en waterbeheer (keren en beheren/pompen en gemalen). Dit wordt geïllustreerd door het aantal lijnen dat vanuit deze sectoren naar andere sectoren vertrekt. Het hoogspanningsnet is eveneens van cruciaal belang: als het hoogspanningsnet faalt, zal ook het midden- en laagspanningsnet uitvallen, wat leidt tot cascade-effecten in de midden- en laagspanning. Daarmee wordt niet gezegd dat de andere aanbieders niet belangrijk zouden zijn. Deze analyse geeft puur inzicht in hoeveel andere sectoren hinder ondervinden als een bepaalde sector uitvalt. De mate waarin andere sectoren hinder ondervinden (gevolgen), kan sterk verschillen. Deze informatie wordt in de volgende alinea geduid.



Figuur 4.1 Onderlinge afhankelijkheden van vitale aanbieders in Amsterdam kwalitatief inzichtelijk gemaakt middels de CIRCLE-methode.

Symbol	CIRCLE-naam	Sector	Organisatie
	Hulpdiensten	Calamiteiten management	Veiligheidsregio Amsterdam Amstelland
	Zorginstellingen	Gezondheid	GHOR
	Vervoer	Transport (OV, Spoor, Wegen en Tunnels)	GVB
	Spoorwegen		ProRail
	Lokale wegen		Gemeente Amsterdam
	Elektriciteit	Energie (Transport en distributie)	Liander
 150 kV	Elektriciteit hoog		Tennet
	Telecommunicatie	Telecom/ICT	KPN
	Drinkwaterpompen	Drinkwater	Waternet
	Afvalwaterpompen	Afvalwater en riolering	
	Water	Waterbeheer/keren en beheren	

Figuur 4.2 Aanwezige sectoren, organisaties en bijbehorende CIRCLE-symbolen en -naam.

4.2 Cascade-effecten bij uitval, per sector

In de workshop sessie is zeer veel informatie opgehaald over de effecten van uitval van de ene sector op de andere sector. Op basis van deze informatie is een draaitabel gemaakt met alle gevolgen van uitval van de sectoren. Het kleurenschema in Figuur 4.3 is hierop gebaseerd. In dit kleurenschema wordt geduid welke partijen direct of indirect (ernstige) gevolgen ondervinden van uitval van een andere sector. De effecten staan onder het kleurenschema uitgewerkt in de tekst. Hierbij is het belangrijk om te noemen dat in de analyse wel de gevolgen voor 'burgers' en 'industrie' zijn besproken, maar dat van deze partijen geen gerichte vertegenwoordigers aanwezig waren. De gevolgen voor deze twee groepen dienen dan ook als eerste verkenning en dienen in een vervolgstudie te worden gevalideerd. De effecten waarop de kleurcodes gebaseerd zijn, worden verderop in dit hoofdstuk ook tekstueel beschreven.

Duiding van het kleurenschema:

- **Rood:** De sector wordt direct getroffen en valt uit.
- **Oranje:** De sector wordt geraakt maar valt niet direct volledig uit. Er is bijvoorbeeld een noodvoorziening of redundantie waardoor uitval vertraagd optreedt.
- **Geel:** De gevolgen kunnen vervelend zijn, maar het netwerk kan in principe wel blijven functioneren. Er kunnen problemen optreden bij bijvoorbeeld het verhelpen van storingen.
- **Groen:** De sector ondervindt (nagenoeg) geen hinder van de uitval van de andere functie.

2. Heeft gevolgen voor deze sector

1. Uitval van deze sector

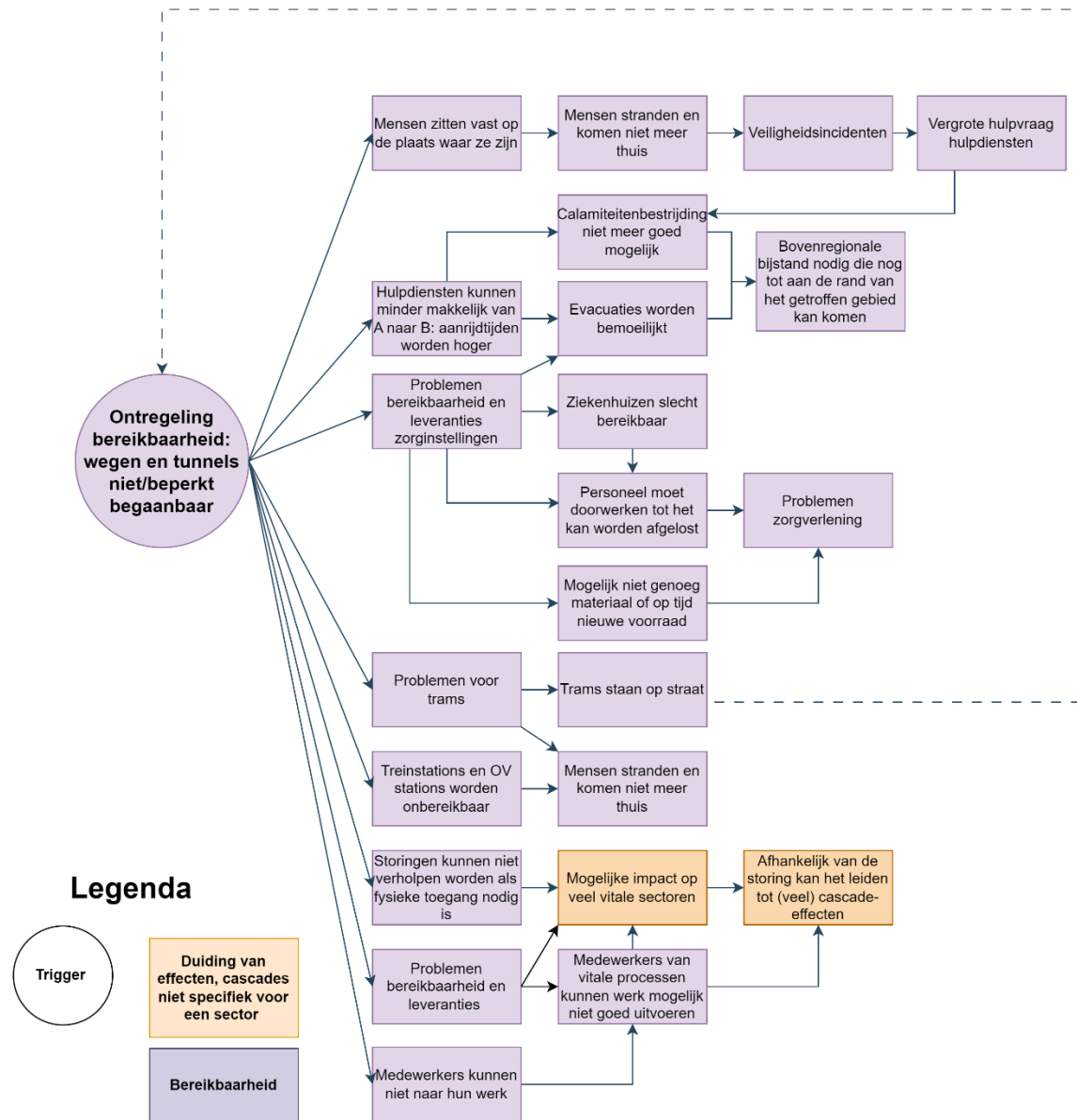
			Hulpdiensten	Zorginstellingen	Openbaar vervoer	Spoorwegen	Lokale wegen	Elektriciteit midden- + laagspanning	Elektriciteit hoogspanning	Telecommunicatie	Drinkwaterpompen	Afvalwaterpompen	Keren & beheren	Gas	Burgers	Industrie
	Uitval															
	Hulpdiensten	Veiligheids-regio AA														
	Zorginstellingen	GHOR														
	Openbaar vervoer	GVB														
	Spoorwegen	ProRail														
	Lokale wegen	Gemeente: wegen + tunnels														
Het	Elektriciteit midden- + laagspanning	Alliander														
110 kV	Elektriciteit hoogspanning	Tennet														
	Telecommunicatie	KPN														
	Drinkwaterpompen	Waternet														
	Afvalwaterpompen															
	Keren & beheren															
	Gas	Alliander														

Figuur 4.3 Uitval van de sector op de horizontale as leidt tot gevolgen voor de sector op de verticale as. Het figuur moet horizontaal worden gelezen. Hieronder worden de effecten verder toegelicht.

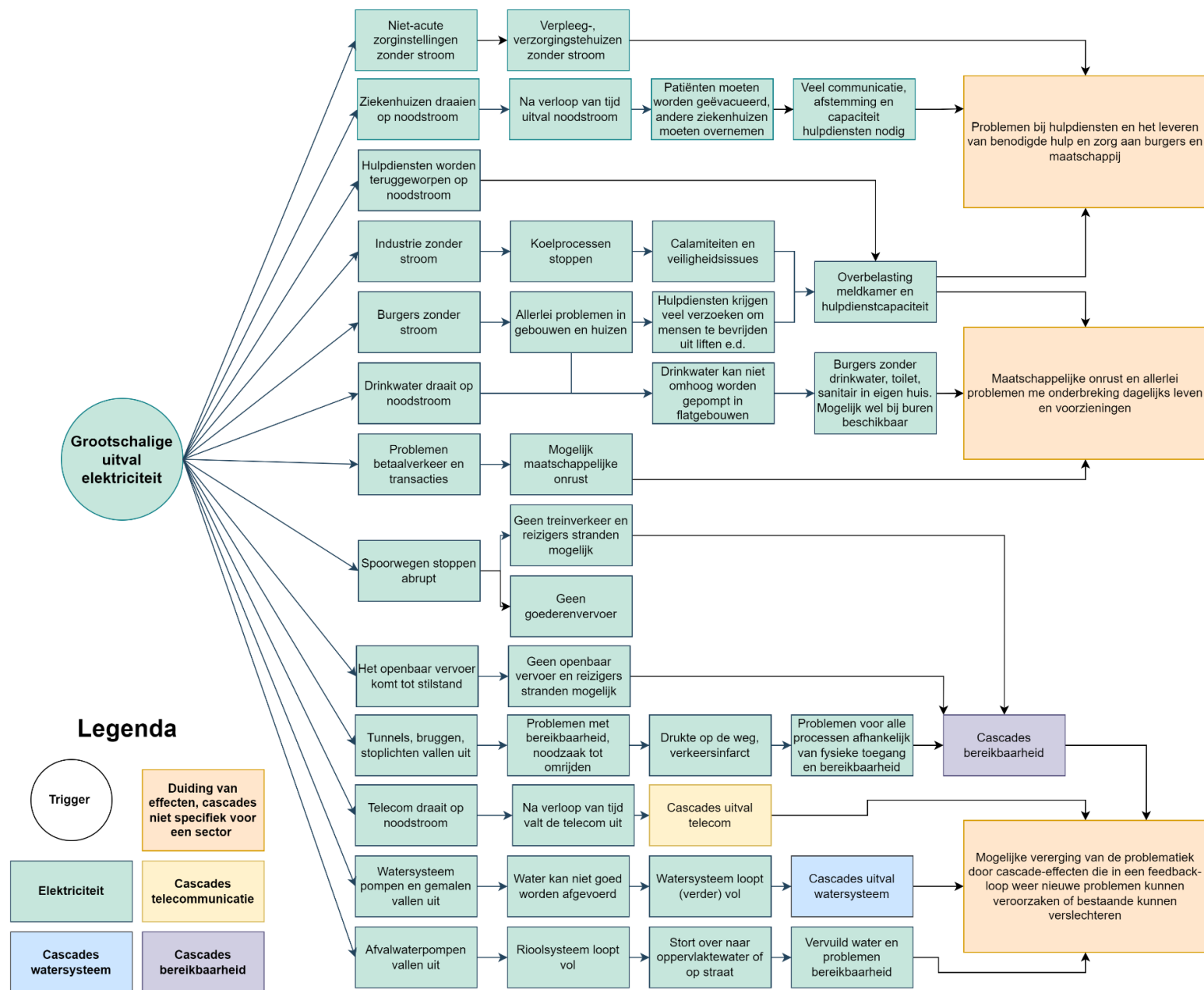
Voor uitval van elektriciteit, telecom, bereikbaarheid en het watersysteem is ook een zogeheten 'bow-tie' analyse gemaakt, waarin de cascade-effecten kwalitatief worden beschreven in de vorm van mogelijke faalpaden. Deze faalpaden zijn 'wat-als?' paden en geven inzicht in mogelijke risico's en effecten die kunnen optreden.

4.2.1

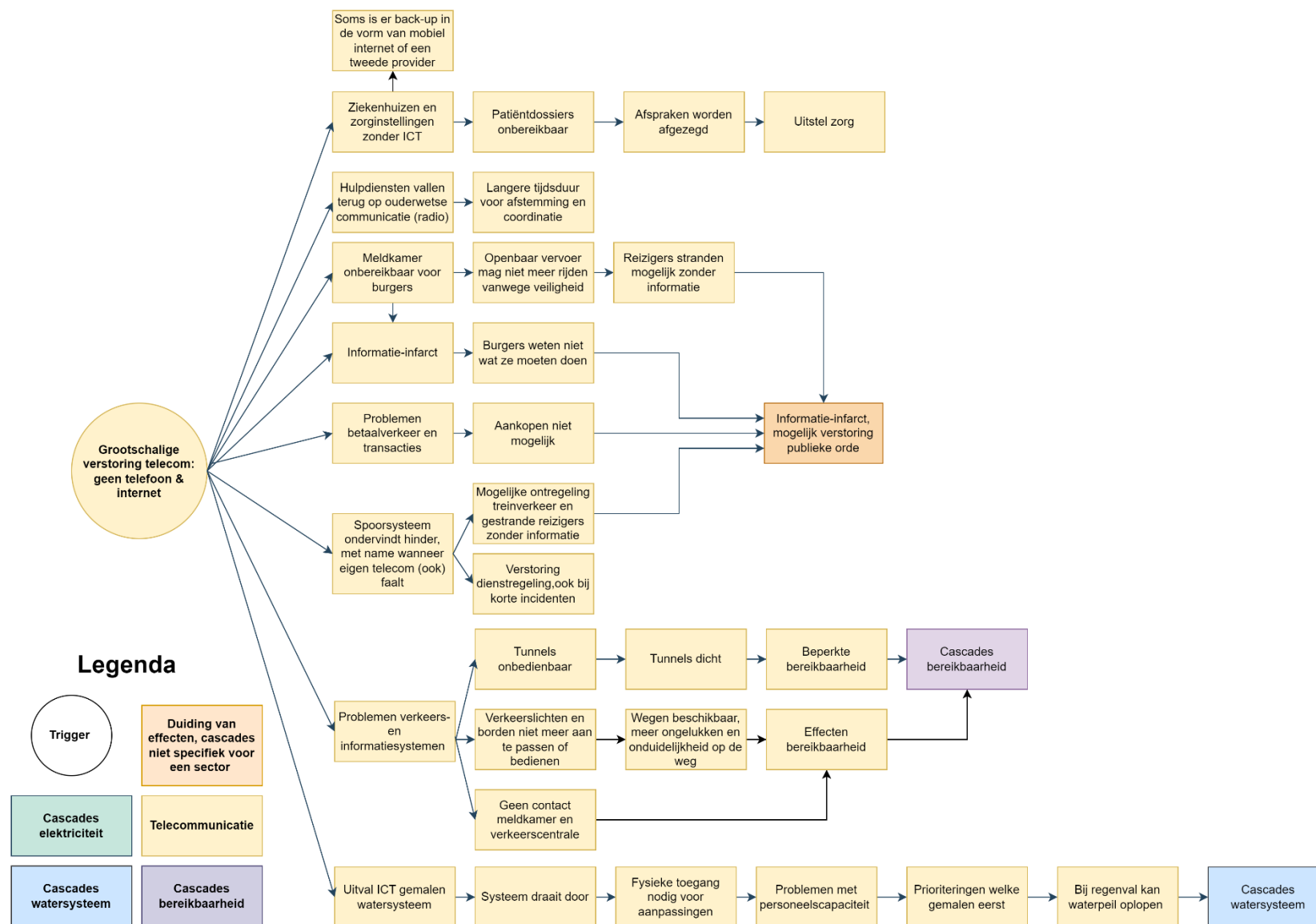
Faalpaden



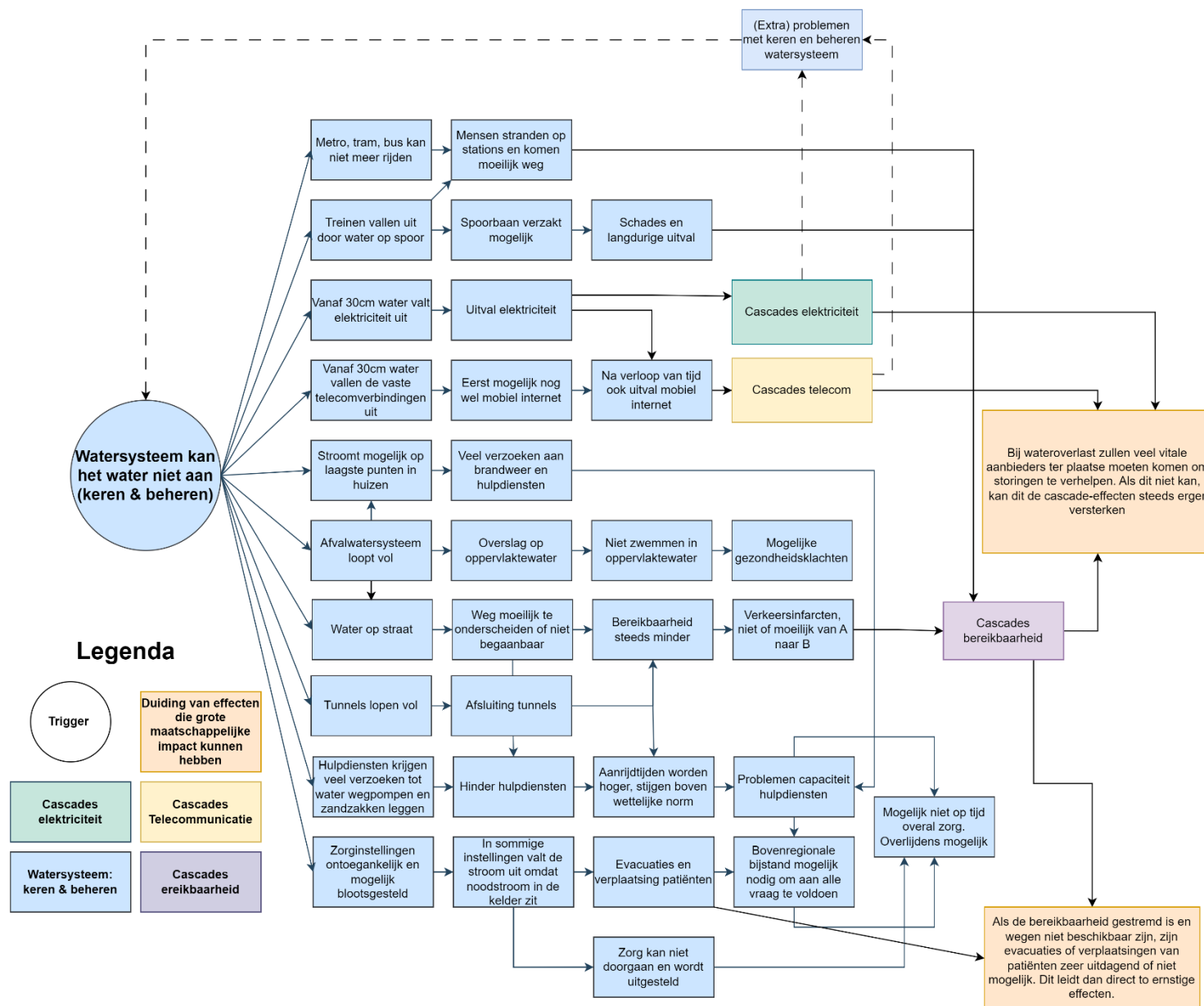
Figuur 4.4 Keten-effecten van bereikbaarheid door uitval van lokale wegen, bruggen en tunnels.



Figuur 4.5: Keten-effecten van grootschalige uitval van elektriciteit.



Figuur 4.6: Keten-effecten van grootschalige uitval van telecommunicatie.



Figuur 4.7: Keten-effecten van grootschalige wateroverlast. Dit scenario is gebruikt om gevolgen van 'uitval van keren en beheren' te identificeren.

4.2.2 Uitval hulpdiensten

Wanneer hulpdiensten hun werk niet meer kunnen uitvoeren, niet op tijd ter plaatse kunnen komen, of helemaal uitvallen heeft dat direct effect op zorginstellingen en burgers. Als hulpdiensten de burger niet meer te hulp kunnen schieten leidt dat tot maatschappelijke onrust en onvermijdelijk ook tot overlijdens. Mensen kunnen niet meer naar het ziekenhuis met de ambulance, de politie kan niet meer ingrijpen bij veiligheidsincidenten en de brandweer kan geen branden meer blussen. Dit zal leiden tot aanzienlijke maatschappelijke schade. In dergelijke gevallen is er een grote mate van zelfredzaamheid nodig bij de burgers.

Uitval van hulpdiensten is ook direct merkbaar in het openbaar vervoer. Het vervoer zelf zou in principe wel kunnen blijven rijden, maar als de hulpdiensten niet te bereiken zijn, kan de veiligheid niet gegarandeerd worden en zal het openbaar vervoer moeten stoppen met rijden. Verwacht wordt dat ook de industrie hinder zal ondervinden bij uitval van hulpdiensten, met name in relatie tot calamiteiten. Van de industrie is verder niet bekend in welke mate deze tot stilstand komt als hulpdiensten niet te bereiken zijn.

4.2.3 Uitval zorginstellingen

Zorginstellingen zijn verantwoordelijk voor het leveren van zorg, wonen en welzijn, ook onder bijzondere omstandigheden, zoals een ramp of crisis. Calamiteiten en rampen hebben een grote invloed op de zorgvraag en het zorgaanbod en daarmee op de continuïteit van zorg in de gehele zorgketen. Als er sprake is van een disbalans tussen de vraag en het aanbod aan zorg is dat een bedreiging voor de zorgcontinuïteit.

Als de lokale zorginstellingen niet beschikbaar zijn, heeft dit een sterk effect op burgers. Burgers kunnen niet meer naar het ziekenhuis in hun eigen regio, krijgen mogelijk niet de hulp die ze nodig hebben.

Als er problemen zijn bij grote instellingen zoals bijvoorbeeld het AMC, moeten alle patiënten worden geëvacueerd naar instellingen die wel beschikbaar zijn. Bij evacuaties moeten patiënten worden verspreid over verschillende locaties, wat veel afstemming met hulpdiensten vereist. Patiënten die traumazorg nodig hebben moeten over worden gebracht naar ziekenhuizen in Leiden of Utrecht worden. In dergelijke gevallen zullen er veel ambulances drukbezet en langer onderweg zijn. De evacuaties en verplaatsingen kunnen leiden tot overlast in het verkeer. Daarnaast kunnen evacuaties van kwetsbare patiënten ook leiden tot overlijdens en complicaties.

4.2.4 Uitval metro, tram, bus

Uitval van metro, tram en bus heeft vooral een direct effect op burgers/reizigers. Reizigers die onderweg zijn, kunnen bijvoorbeeld stranden op openbaar-vervoer-stations. Met name op station Zuid en Noord maar ook station Bijlmer is het lastiger weggelaten als er geen openbaar vervoer meer rijdt. Het wordt ingeschat dat op die locaties uitval van het openbaar vervoer kan leiden tot verstoring van de openbare orde door opstootjes en onrust.

Verder heeft uitval van metro, tram en bus een effect op medewerkers van vitale functies, omdat deze niet meer met het openbaar vervoer naar hun werk of naar huis kunnen. Dit effect hebben we in deze analyse onder de categorie 'burger' geschaard. Daarnaast zijn er effecten op patiënten en personeel van zorginstellingen die moeilijker van en naar instellingen kunnen komen.

4.2.5 Uitval spoorwegen

Als het spoorvervoer uitvalt heeft dit allerlei effecten voor vervoer en bereikbaarheid. Zo moet het transport van gevaarlijke stoffen via het spoor, worden verplaatst naar een andere

modaliteit. Doorgaans wordt het transport verplaatst naar de weg. Dit leidt tot een verhoogd risico op incidenten met gevaarlijke stoffen. Uitval van spoorwegen betekent ook dat er geen goederenvervoer van en naar de industrie mogelijk is per trein.

Wanneer spoorwegen uitvallen op een druk moment zoals een voetbalwedstrijd in de ArenA, neemt de druk op metro, tram en bus erg toe. Uitval van spoorwegen beperkt ook de mobiliteit van burgers, medewerkers van andere vitale functies en personeel en patiënten van zorginstellingen.

4.2.6 Uitval lokale wegen: tunnels, bruggen, wegen

De uitval van lokale wegen, tunnels en/of bruggen heeft grote gevolgen voor de bereikbaarheid, zoals weergegeven in Figuur 4.4. Als wegen niet beschikbaar zijn, betekent dit specifiek voor Amsterdam dat bijvoorbeeld IJburg onbereikbaar wordt.

Hulpdiensten ondervinden ernstige problemen bij wegutval of beperkte bereikbaarheid, wat leidt tot langere aanrijdtijden, verminderde calamiteitenbestrijding moeilijkheden bij evacuaties. Hoewel er verhoogde calamiteitenroutes zijn, ontstaan er grote problemen als bruggen op die routes onbegaanbaar zijn. Ook zorginstellingen ondervinden problemen als de bereikbaarheid gehinderd wordt. Hulpdiensten komen vertraagd bij zorginstellingen, waardoor patiënten mogelijk te laat in het ziekenhuis zijn. Maar ook de leveranties aan zorginstellingen worden bemoeilijkt. Verder is er een risico dat personeel langer moet doorwerken omdat de medewerkers die hen zouden aflossen niet op hun werk kunnen komen als gevolg van de verminderde bereikbaarheid.

Ook het openbaar vervoer ondervindt hinder van de uitval van wegen. De tram kan bijvoorbeeld niet of moeilijker rijden en treinstations worden onbereikbaar. Het hoofdspoorwegennet kan ook problemen krijgen als incidentbestrijdingen niet meer ter plaatse kunnen komen.

Voor elektriciteit (hoogspanning, middenspanning en laagspanning), telecom, drinkwater, afvalwater, keren en beheren en gas geldt dat de systemen kunnen blijven draaien, maar dat storingen niet verholpen kunnen worden, omdat daarvoor fysieke toegang nodig is. Hetzelfde geldt voor reparaties: onderdelen kunnen alleen vervangen worden als er fysieke toegang mogelijk is.

Een tekenend voorbeeld van wat uitval van bereikbaarheid zou kunnen betekenen: Gebeurtenissen zoals het hoog water van 2 november 2023 betekenen voor de stad Amsterdam dat alle sluizen handmatig moeten worden dichtgezet. Hierbij is fysieke toegang via het wegennet cruciaal. Als de wegen op zo'n moment niet beschikbaar zijn, kunnen storingen in het watersysteem niet worden opgelost en zouden ook de sluizen in Amsterdam niet (allemaal) op tijd gesloten kunnen worden. Als het wegennet verstopt is op zo'n cruciaal moment, kan Amsterdam niet goed worden beschermd tegen water, wat mogelijk kan leiden tot een overstroming of verergering van wateroverlastproblematiek.

4.2.7 Uitval elektriciteit

Als de stroom uitvalt, heeft dat diverse gevolgen voor veel verschillende vitale en niet-vitale aanbieders. Deze gevolgen met bijbehorende cascades zijn uitgewerkt voor de elektriciteitssector, omdat de uitval van deze sector veel andere vitale aanbieders raakt (Figuur 4.5). Het is belangrijk om te vermelden dat back-up stroomvoorziening zoals noodaggregaten niet door de netbeheerder worden geregeld. Elke organisatie is verantwoordelijk voor haar eigen energie-continuïteit. Dit is anders dan bij bijvoorbeeld de drinkwatervoorziening, waar een leveringsverplichting in de wet is opgenomen. Voor de

energiesector geldt een inspanningsverplichting om storingen zo snel mogelijk te verhelpen, met bijbehorende compensatieregeling.

Allereerst zijn er bij uitval van elektriciteit gevolgen voor hulpdiensten. Noodstroom en aggregaten zijn beschikbaar voor sommige onderdelen, maar de brandweer zal bijvoorbeeld veel tijd besteden aan het bevrijden van mensen uit liften, zoals ook het geval was tijdens de stroomstoring in Den Haag van 18 maart 2025. In dergelijke gevallen, wordt snel opgeschaald naar een hoog niveau en prioriteit gegeven aan instanties en inrichtingen. Hulpdiensten krijgen mogelijk ook te maken met extra veiligheidsissues en calamiteiten vanuit de industrie als daar de stroom uitvalt, bijvoorbeeld doordat koelprocessen falen en er branden of problemen met gevaarlijke stoffen ontstaan.

Acute zorgpartners zoals ziekenhuizen hebben doorgaans een noodstroomvoorziening, waar hun kritische bedrijfsprocessen op zijn aangesloten. Bij niet-acute zorgpartners zoals bijvoorbeeld verpleeg- en verzorgingstehuizen en thuiszorg, is dergelijke back-up niet altijd beschikbaar.

Bij stroomuitval vallen tram en metro direct uit: toch kunnen metro's op batterijstroom naar een station. Metrostations hebben ongeveer een uur noodstroom, waarna verlichting, ventilatie en retail uitvallen. Sommige bussen vallen uit doordat deze niet opgeladen kunnen worden.

Op het spoor leidt stroomuitval tot problemen en algemene treinuitval. Sein en lichten vallen uit, en systemen werken niet meer, waardoor treinverkeer stilvalt. Ook op het wegennet leidt stroomuitval tot problemen: sommige tunnels worden gesloten en verkeerslichten vallen uit, wat kan leiden tot verkeersopstoppen en cascade-effecten voor bereikbaarheid.

Huis- en bedrijfsaansluitingen van telecom falen direct wanneer de stroom uitvalt. Het duurt ongeveer twee uur voordat de mobiele communicatie zal falen, omdat de masten noodaccu's hebben die voor ongeveer twee uur noodstroomvoorziening bieden.

Het watersysteem ondervindt ook problemen bij uitval van elektriciteit. De pompen en gemalen hebben elektriciteit nodig om het water te kunnen afvoeren en er is niet altijd noodstroom beschikbaar. Als de stroom wegvalt, vallen veel gemalen dus uit. Het water kan dan niet goed worden afgevoerd waardoor het waterpeil oploopt. Als dit waterpeil te hoog oploopt kan er wateroverlast ontstaan in mindere of meerdere mate.

Drinkwater blijft beschikbaar dankzij noodstroomvoorzieningen, maar in flatgebouwen kan water niet omhoog gepompt worden. Afvalwaterpompen en rioolgemalen vallen wel direct uit bij stroomfalen, wat leidt tot vervuild oppervlaktewater en gezondheidsrisico's bij contact met dit water.

Zonder stroom ondervinden huishoudens hinder bij verwarmen en koken. Daarnaast kunnen kwetsbare burgers in de problemen komen door uitval van gezondheidsapparaten.

Hoogspanning

Wanneer de hoogspanning uitvalt, heeft dit vooral zeer directe gevolgen in de vorm van uitval van midden- en laagspanning elektriciteit. De hierboven genoemde cascades zullen dan ook optreden. Middenspanning en laagspanning is sterk afhankelijk van hoogspanning. Valt de hoogspanning uit en kan deze niet omgeschakeld worden, dan zul je in potentie in grote gebieden last krijgen van uitval van stroomuitval, met alle gevolgen van dien.

Daarnaast is er een aantal directe afnemers van hoogspanning, zoals het Gemaal IJmuiden. Als de hoogspanning wegvalt kan dit gemaal niet functioneren. Dit kan ervoor zorgen dat het

water niet (voldoende) weg kan, met ophoping en oplopend waterpeil in o.a. de regio Amsterdam tot gevolg.

Een aantal grote energieverbruikers heeft een directe aftakking van het hoogspanningsnet (bijv. TataSteel, Schiphol en andere grote industrie, mogelijk ook datacentra). Als de hoogspanning uitvalt is dit direct merkbaar voor deze afnemers.

4.2.8 Uitval telecommunicatie

Als de telecommunicatie (vaste communicatie en mobiele communicatie) uitvalt, heeft dat diverse gevolgen voor veel verschillende vitale aanbieders. Deze gevolgen met bijbehorende cascades zijn uitgewerkt voor de telecomsector, omdat deze uitval van deze sector veel andere vitale aanbieders raakt (Figuur 4.6). Als de telecom van één provider uitvalt, kan deze niet worden overgenomen door andere providers.

Hoewel C2000 en de meldcentrale beschikbaar blijven, kunnen burgers de centrale niet meer bereiken en zoeken ze naar alternatieve manieren om contact op te nemen. Crisisbeheersing kan nog communiceren via een 'rode' telefoon, maar de aansturing van calamiteiten en communicatie met andere instanties wordt lastiger. Als het probleem zich alleen in Amsterdam voordoet, kunnen hulpdiensten terugvallen op omliggende regio's en worden informatiepunten bij kazernes ingericht. De communicatie naar burgers is echter onduidelijk en aanrijdtijden van hulpdiensten zullen toenemen. Radio wordt dan cruciaal voor informatieverspreiding.

Ziekenhuizen en zorginstellingen hebben soms een tweede telecomprovider, maar zonder internet- en telefoonverbindingen kunnen afspraken niet of moeilijker doorgaan omdat patiëntdossiers onbereikbaar zijn.

Uitval van telecom heeft geen in principe geen effect op tram, metro of bus, maar doordat hulpdiensten onbereikbaar worden, zal het openbaar vervoer niet meer mogen rijden vanuit veiligheidsoogpunt. Het spoorwegennet heeft een eigen telecomsystemen, dat wel deels afhankelijk is van externe telecom. Wanneer ook dit eigen netwerk niet meer beschikbaar is, mogen de treinen niet meer rijden omdat er geen communicatie mogelijk is tussen de verkeersleiding en machinisten.

Verkeers- en informatiesystemen ondervinden problemen, tunnels worden gesloten en verkeerslichten zijn niet meer te bedienen. Bij hoogspanning leidt telecomuitval tot informatie-onduidelijkheid. Afvalwatergemalen blijven draaien zolang er stroom is, maar communicatieproblemen bemoeilijken de aansturing. Zonder telecom kunnen gemalen van het waterschap niet op afstand bediend worden. Voor aanpassingen (aan- of uitzetten) moeten medewerkers ter plaatse gaan. Ook zullen vitale aanbieders moeilijker hun medewerkers en monteurs kunnen bereiken, waardoor het verhelpen van storingen uitdagender wordt.

Zonder telecom ontstaan informatieproblemen en is betalingsverkeer niet mogelijk, wat het dagelijkse leven en de bedrijfsvoering verstoort.

4.2.9 Uitval drinkwater

Als de drinkwatervoorziening uitvalt, heeft dat diverse gevolgen voor andere vitale sectoren en burgers. Allereerst hebben huishoudens en burgers bij uitval van drinkwater geen toegang tot water uit de kraan of om het toilet mee door te spoelen. Verwacht wordt dat dit leidt tot paniekaankopen van water.

Afhankelijk van de dimensie van de uitval kan het de bluswaterbeschikbaarheid beïnvloeden; een uitdaging voor hulpdiensten bij branden. Geen drinkwater betekent ook geen water in ziekenhuizen, die meestal een voorraad voor maximaal 24 uur hebben.

Spoorwegen hebben drinkwater nodig om treinen schoon te maken, en telecombedrijven gebruiken koelwater van goede kwaliteit, vooral in de zomer en voor datacentra.

Bij uitval van drinkwater krijgt het rioleringsstelsel problemen; het systeem kan 'vastkoeken' en niet meer doorlopen. Ook de rioolwaterzuivering en het zuiveringsproces worden verstoord.

Koelwater van voldoende kwaliteit is nodig voor bepaalde industriële processen, zoals op Schiphol en in bierbrouwerijen. Kortom: alle processen die water van een bepaalde kwaliteit nodig hebben, ondervinden problemen bij uitval van drinkwater.

4.2.10 Uitval afvalwater

Als de afvalwaterpompen niet goed werken, zullen overstorten en nooduitlaten in werking treden en wordt na ongeveer twee uur afvalwater op het oppervlaktewater geloosd. De exacte tijd van overstorten hangt af van het exacte rioolstelsel. Hierdoor kunnen problemen met volksgezondheid ontstaan als gevolg van het vervuilde oppervlaktewater.

Bij extreme neerslag (bijvoorbeeld buien > 90mm/uur) kunnen hoge waterstanden en wateroverlast (>15cm) leiden tot water op straat omdat de rioolcapaciteit niet toereikend is, met gevolgen voor bereikbaarheid (zie gevolgen van uitval wegnetten). Ook ontstaan er (mogelijke) problemen met toiletten en wastafels in souterrains en benedenverdiepingen.

4.2.11 Uitval watersysteem/keren en beheren

Bij 'uitval watersysteem/keren en beheren' gaan we uit van een wateroverlastgebeurtenis waarin het watersysteem de hoeveelheid water niet meer kan afvoeren, wat leidt tot toenemende wateroverlast en water op straat en in gebouwen. De cascades van een dergelijke situatie zijn gevisualiseerd in Figuur 4.7. Hierbij is het goed om te noemen dat de gemalen bij Zeeburg en IJmuiden erg belangrijk zijn voor Amsterdam om overtollig water goed af te kunnen voeren.

Als er water op straat staat, wordt de bereikbaarheid beperkt, wat de taken van hulpdiensten verandert. Hulpdiensten krijgen verzoeken om water weg te pompen en zandzakken te vullen. Er rijst de vraag of er voldoende capaciteit is om ook nog branden te blussen. Waarschijnlijk zal een militair alarm worden afgegeven of bovenregionale bijstand worden ingeroepen. Door de doorweekte ondergrond kunnen na een tijd ondergrondse tankputten op komen drijven.

Doordat er water op straat staat, zullen de cascades van bereikbaarheid ook gaan optreden (zie uitval lokale wegen). Vanaf 15 cm water kunnen gewone voertuigen hinder ervaren, terwijl grotere voertuigen nog iets langer kunnen blijven rijden. Maar ook voor grotere voertuigen vormen stoepranden, drijvende putdeksels of andere obstakels een gevaar. Grote voertuigen kunnen door kleine stukken van 30 cm water rijden, maar niet door een hele straat met een dergelijke waterdiepte.

Daarnaast kan het asfalt van wegen worden aangetast en kunnen wegen verzakken, wat de bereikbaarheid verder vermindert. Hierdoor kunnen cascade-effecten van bereikbaarheid optreden.

Bij een dergelijke wateroverlastsituatie zullen tunnels wellicht moeten worden afgesloten. In extreme gevallen gaan zelfs valdeuren dicht. Het GVB stopt met rijden; trams eerder dan

bussen vanwege de elektrische voeding. De stabiliteit van het treinspoor wordt aangetast en kan leiden tot verzakking, vooral bij hoog grondwater, wat leidt tot treinuitval door gebrek aan detectie en veiligheid.

Als water in gasleidingen komt duurt het lang voordat deze weer droog zijn. De duur hiervan is afhankelijk van de omvang van het getroffen gebied en kan variëren van enkele dagen (een aantal straten) tot meer dan een week (een wijk). Gasstations zijn vooral kwetsbaar voor water wanneer dit de meet- en regelapparatuur aantast of in luchtinlaten loopt.

Water kan ook het afvalwatersysteem inlopen en het afvalwater verdunnen. Dit kan via riooloverstorten in het oppervlaktewater terechtkomen, wat stankklachten en mogelijke volksgezondheidsproblemen veroorzaakt.

Zorginstellingen met noodvoorzieningen onder maaiveldniveau zijn kwetsbaar voor wateroverlast als het water het gebouw in stroomt. Water kan ook fabrieken binnendringen, vooral op de laagste verdieping(en), wat gevolgen heeft voor productie en veiligheid.

Vanaf ongeveer 30 cm water kan er kortsluiting ontstaan in stopcontacten en zullen huisaansluitingen van elektriciteit falen. Er kunnen na verloop van tijd ook problemen ontstaan bij besturingskasten en elektriciteitsstations, hoewel deze tijdelijk kunnen blijven functioneren bij blootstelling aan water. Omdat de elektriciteit doorgaans omgeleid kan worden en er redundantie is op het net, wordt ingeschat dat de stroomuitval als gevolg van wateroverlast beperkt blijft tot het overstroomde of getroffen gebied.

Wat betreft hoogspanning: Watergraafsmere heeft enkele Tennet-stations op -5 meter, maar de meeste stations zijn op minder gevoelige locaties gebouwd. Bij meer dan 30 cm water treedt ook telecomuitval op door blootstelling van straatkasten en gebouwen.

Bij hevige wateroverlast kan dus (lokaal) de elektriciteit en telecom uitvallen. Afhankelijk van welke assets exact falen, kunnen de gevolgen variëren. In extreme situaties met hoge waterdieptes die lang aanhouden, kunnen cascades van meer grootschalige uitval van elektriciteit en telecommunicatie optreden, wat grote gevolgen kan hebben. Een belangrijk risico is bijvoorbeeld dat pompen en gemalen van het watersysteem niet meer kunnen functioneren als de stroom uitvalt, waardoor de wateroverlast verergert en er een feedback-loop ontstaat. In combinatie met de verminderde bereikbaarheid kunnen deze gevolgen potentieel groot zijn.

Voor de herstelfase zal bij langdurige wateroverlast veel tijd in beslag nemen. Wanneer het water weg is gepompt, is de omgeving nog ernstig vervuild. Daarnaast is het plannen en het herstellen van alle vitale infrastructuur een belangrijk aandachtspunt.

4.2.12 Uitval gas

Gasuitval kan problemen veroorzaken voor de verwarming van zorginstellingen. Gas wordt ook gebruikt om stoom te genereren voor het steriliseren van medische instrumenten. Afhankelijk van de oorzaak van de gasuitval kunnen er ook gevaren ontstaan voor de burger of de volksgezondheid. Een specifiek risico is een kapotte gasleiding waardoor gas het riool instroomt en zich verspreiden, wat een verhoogd risico op een (grote) explosie met zich meebrengt. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door verzakkingen in de grond bij droogte.

Het spoor ondervindt mogelijk hinder van gasuitval bij winterweer, omdat een groot deel van de wisselverwarming zonder gas uitvalt. Gebouwen, bedrijven en kantoren die afhankelijk zijn van gas (bijvoorbeeld bakkerijen of horeca) krijgen eveneens problemen. Bovendien mogen er geen treinen rijden over het spoor als er een gaslek in de buurt is gevonden.

Bij gasuitval vallen na verloop van tijd de systemen voor verwarming en koeling in tunnels uit, wat kan leiden tot tunneluitval bij winterweer. De verwarming van gemaal Zeeburg tegen vorst werkt op gas, dus bij gasuitval tijdens vorst kan het gemaal niet goed verwarmd worden. Huishoudens die op gas zijn aangesloten kunnen niet verwarmen of koken. In de industrie komen bepaalde processen die afhankelijk zijn van hoge druk gasaansluitingen tot stilstand.

5 Klimaatdreigingen en mogelijke gevolgen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op een aantal verschillende klimaatdreigingen: wateroverlast, hitte, droogte, storm en grootschalige overstroming. Op basis van de input van de aanbieders zijn wateroverlast, hitte en droogte als meest relevante klimaatdreigingen geïdentificeerd. Ook storm en grootschalige overstromingen zijn genoemd, maar hebben minder benoemde effecten. Dat wil echter niet zeggen dat er vanuit natuurbranden, vorst en sneeuw geen klimaatrisico's zijn. De resultaten beschrijven inzicht in de cascade-effecten op basis van de interviews en de aanbieders en linkt klimaatrisico's aan de eerdere genoemde cascade-uitval (H4).

Hieronder wordt elke klimaatdreiging kort geïntroduceerd met de meest relevante gevolgen per dreiging. De klimaatdreigingen wateroverlast, droogte en hitte zijn vervolgens schematisch uitgewerkt in een bow-tie analyse waarbij de gevolgen en gevolgpaden per klimaatdreiging zijn uitgewerkt die in de interviews of workshop aan bod zijn gekomen.

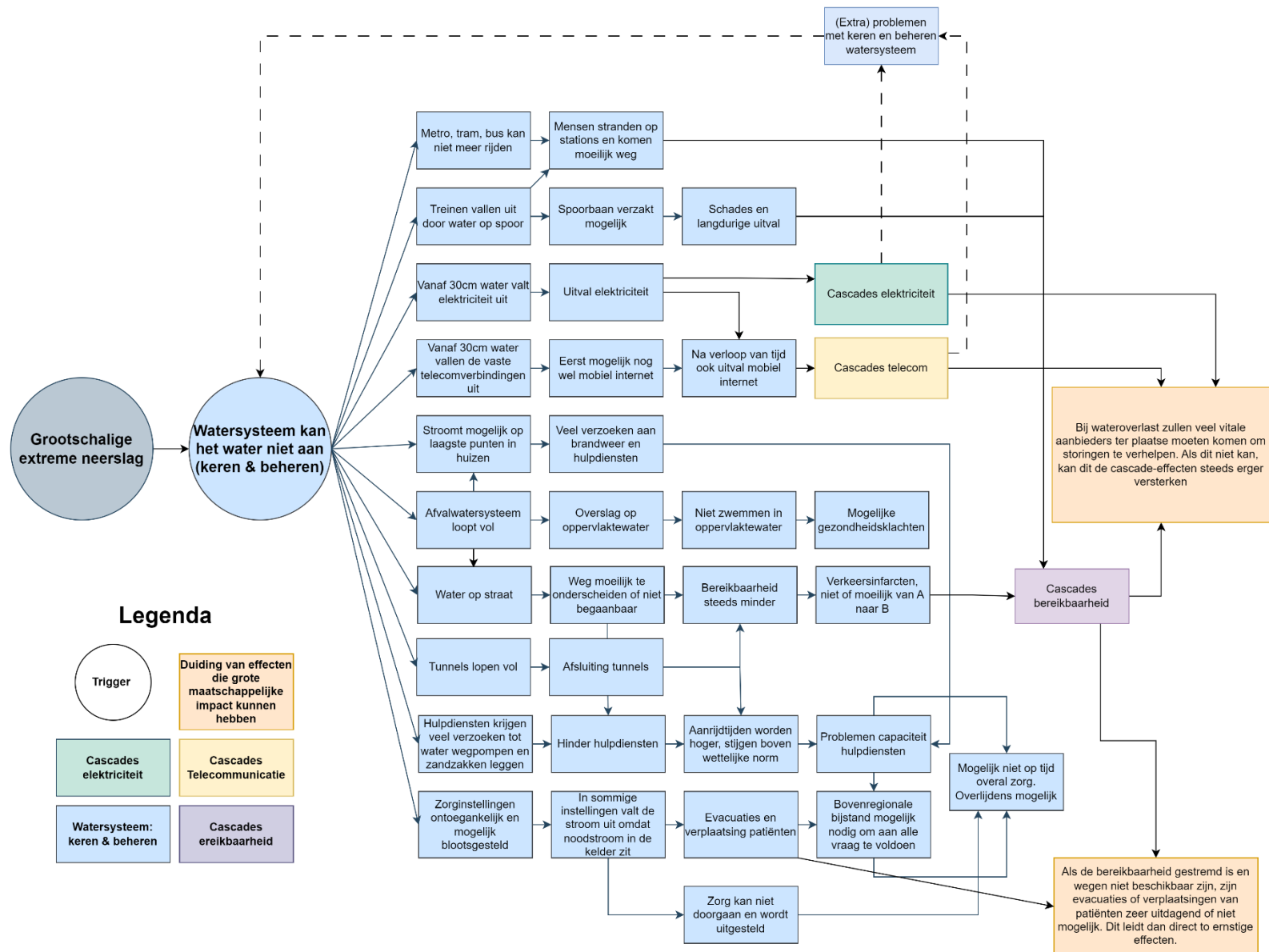
5.1 Wateroverlast

(Grootschalige) wateroverlast is een thema dat sinds juli 2021 veel aandacht krijgt. Met wateroverlast worden situaties bedoeld waarbij extreme of langdurige regenval leidt tot overlast vanuit het watersysteem, door bijvoorbeeld water op straat, of het watersysteem dat de hoeveelheid water niet goed kan afvoeren waardoor het water overlast gaat veroorzaken. Eerst op laaggelegen plekken en polders, maar in extreme gevallen kan het water op grote schaal overlast veroorzaken door bijvoorbeeld wegen onder water te zetten of huizen in te stromen.

In een warmer klimaat wordt er in de toekomst meer regen verwacht. 's Winters gaat het meer regenen, en 's zomers komen er vaker extreme buien voor. De winters worden nog natter, de zomers droger. Maar als het regent in de zomer, regent het ook harder (KNMI, 2023).

Belangrijkste gevolgen en gevolgpaden

De belangrijkste gevolgen en gevolgpaden van wateroverlast zijn hierboven beschreven in Paragraaf 4.2.11 Uitval watersysteem/keren en beheren. Bij het simuleren van de uitval van het watersysteem is uitgegaan van een wateroverlast-situatie. De gevolgpaden staan gevisualiseerd in Figuur 5.1 hieronder.



Figuur 5.1 (Cascade)effecten van grootschalige wateroverlast

5.2 Extreme Droogte

Droogte kan resulteren in lage rivierstanden, uitgedroogde vegetatie, verminderde beschikbaarheid van blus- en koelwater, en verzakking van rioolsystemen (Figuur 5.). Onder klimaatverandering wordt verwacht dat het 's zomers minder regent en er meer vocht verdampt uit de bodem waardoor langdurige en extreme droogtes vaker voorkomen (KNMI, 2023).

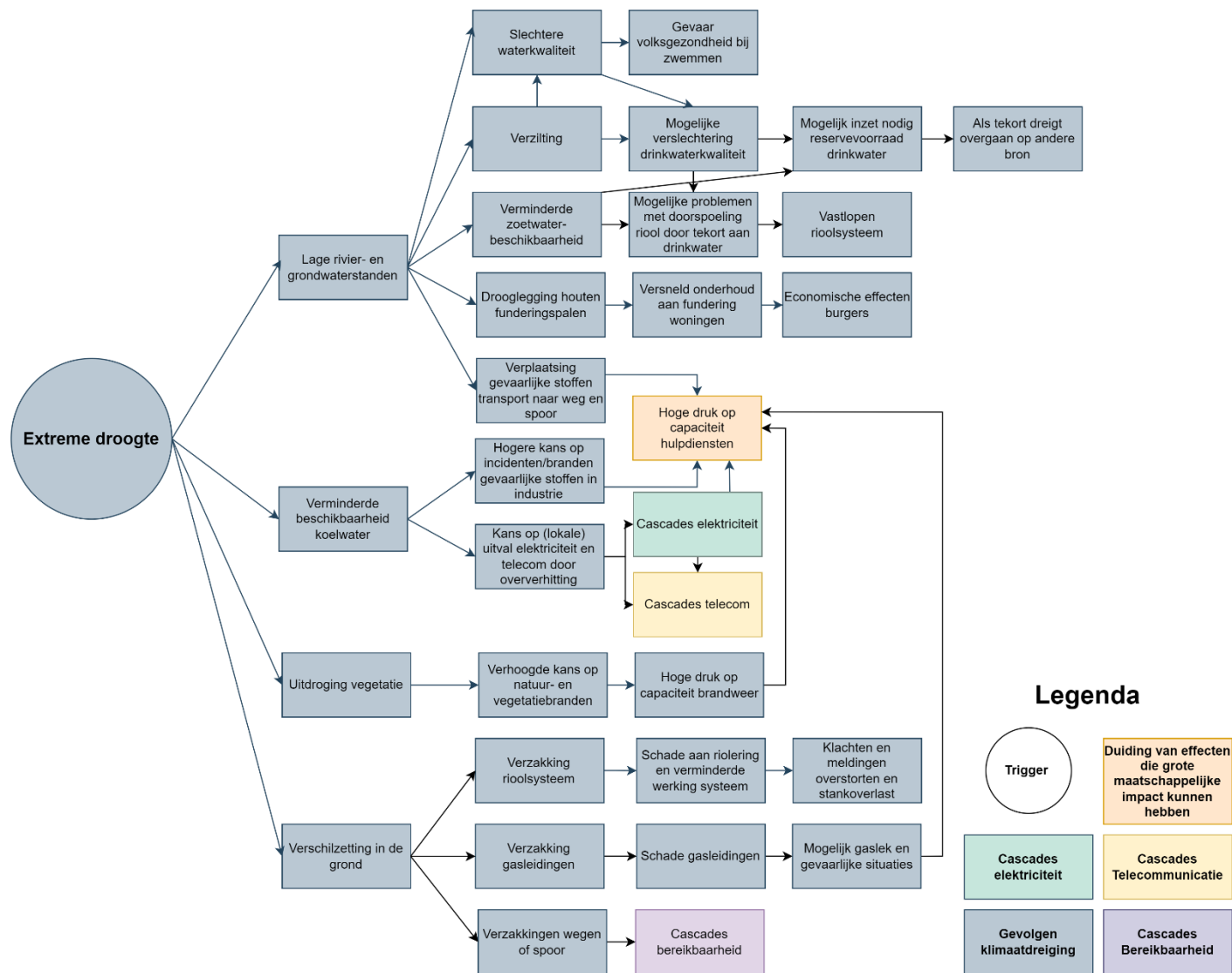
Belangrijkste gevolgen en gevolgpaden

De gevolgen van droogte zijn divers en ingrijpend. Ze variëren van een toename van vegetatiebranden tot schade aan gebouwen door paalrot, veroorzaakt door het droogvallen van houten funderingspalen. Alle geïdentificeerde gevolgen zijn gevisualiseerd in Figuur 5.2. Hieronder wordt een aantal gevolgen kort beschreven.

Lage rivierstanden kunnen leiden tot een verslechtering van de waterkwaliteit, wat negatieve effecten heeft op de volksgezondheid, zoals bij het zwemmen. Daarnaast kan het noodzakelijk worden om het transport van gevaarlijke stoffen van het water naar de weg of spoor te verplaatsen. Voor de gemeente Amsterdam is het blootleggen van houten funderingspalen een aanzienlijk risico wat economische gevolgen kan hebben voor burgers door resulterende funderingsschade.

Droogte brengt ook het risico met zich mee van een verminderde beschikbaarheid van koelwater en drinkwater van voldoende kwaliteit, wat essentieel is voor vitale functies zoals datacenters en bepaalde industriële processen. Het wegvallen van koelwater kan grote gevolgen hebben, zoals uitval van elektriciteit en telecommunicatie, met de bijbehorende cascade-effecten. Afhankelijk van de effecten die optreden, kan de vraag naar hulpdiensten groot worden.

Droogte kan ook leiden tot bodemdaling of verschilzetting in de grond. Afhankelijk van de mate van blootstelling van vitale functies, kan dit leiden tot schade aan netwerken en mogelijke uitval.



Figuur 5.2: (Cascade-)effecten van extreme droogte.

5.3 Extreme Hitte

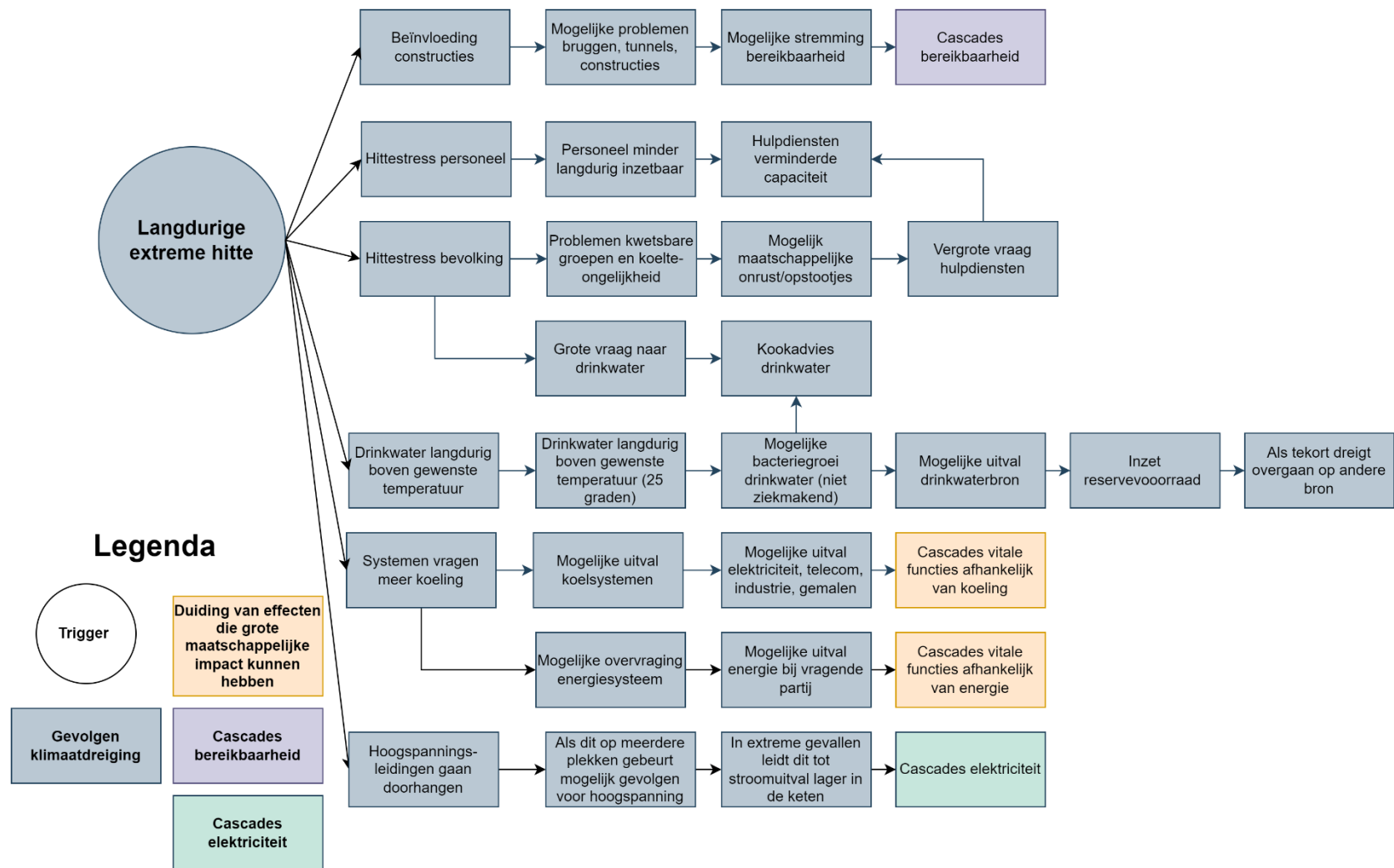
Hitte treft de bevolking direct en kan leiden tot hittestress. Zeker in stedelijk gebied zoals Amsterdam, kan het hitte-eilandeffect voor extra overlast zorgen. Door klimaatverandering worden de temperaturen in de toekomst hoger. Afhankelijk van het tempo waarin klimaatverandering doorzet en of dat het leidt tot een droger of natter klimaat, kunnen hittegolven intenser worden (KNMI, 2023). In de toekomst worden meer tropische dagen (boven 30 graden) en tropische nachten verwacht waarbij de nachttemperatuur niet onder de 20 graden Celsius uitkomt. Met name in stedelijk gebied kan dit tot overlast en problematiek leiden door het stedelijk hitte-eiland effect waardoor de hitte als erger wordt ervaren, met bijbehorende gezondheidseffecten. Ter illustratie: als de hittegolf van juli 2019 in een mondiaal 2 graden Celsius warmer klimaat zou optreden, zou dat waarschijnlijk betekenen dat op veel plekken in Nederland temperaturen bereikt worden van tussen de 42,5 en 45 graden ([Klimaat-effectatlas, n.d.](#))

Belangrijkste gevolgen en gevolgpaden

Voor de vitale aanbieders die onderdeel zijn van deze studie kan hitte variërende gevolgen hebben (Figuur 5.3). De ernstigste mogelijke gevolgen zijn vaak gerelateerd aan capaciteitsproblemen bij hulpdiensten en verstoring van cruciale systemen. Hitte treft bijvoorbeeld direct de inzetbaarheid van personeel, wat bij hulpdiensten in combinatie met de toenemende hulpvraag een uitdaging vormt voor de crisisbeheersing. Maar de invloeden op het personeel spelen ook in de andere sectoren.

Daarnaast leidt hitte tot uitzetting van constructies, waardoor mogelijk problemen ontstaan bij bruggen, tunnels, spoorwegen en andersoortige constructies met mogelijke gevolgen voor bereikbaarheid. Oververhitting van elektronische componenten en het doorhangen van bepaalde kabels en leidingen kunnen ook gevolgen hebben voor bijvoorbeeld hoogspanning, elektriciteit en telecom.

Verder zorgt hitte ervoor dat er meer koeling gevraagd wordt. Hierbij werd genoemd dat koelsystemen kunnen uitvallen als temperaturen te hoog oplopen, waardoor objecten kunnen falen. Daarnaast is een risico dat door de toename van de koelvraag, de stroom uitvalt bij het systeem dat te veel energie vraagt. De kans is klein dat het hele energienetwerk hierdoor uitvalt, maar de stroom kan wel uitvallen bij de overvragende partij.



Figuur 5.3 (Cascade-)effecten van extreme hitte.

5.4 Storm

Stormen met sterke winden en/of hevige regenval kunnen aanzienlijke schade veroorzaken, zoals losgeraakte daken en omvallende bomen. Vooralsnog lijkt klimaatverandering weinig effect te hebben op de hoeveelheid of intensiteit van stormen, en ook de windsnelheden blijven grotendeels onveranderd (KNMI, 2023). Een aandachtspunt zijn echter valwinden. In een warmer klimaat, kan de toename van temperatuur en vocht ertoe leiden dat zware buien sneller kunnen uitgroeien tot complexen die gepaard gaan met onweer, hagel, windstoten en valwinden (KNMI, 2021).

Belangrijkste gevolgen en gevolgpaden

Een specifiek voorbeeld van schade door omwaaiende bomen is wanneer de wortels bij cruciale (afval)waterleidingen liggen, wat bij omwaaien schade aan deze leidingen veroorzaakt. Daarnaast kunnen bomen op wegen vallen, wat vaak leidt tot verminderde bereikbaarheid en hinder voor hulpdiensten.

Storm, en met name valwinden, treffen vooral partijen waarbij hoge masten onderdeel zijn van de infrastructuur, zoals bij hoogspanning en telecommunicatie. De wind vormt daarbij een risico op omgewaaide masten, met uitval van bijvoorbeeld hoogspanning of telecommunicatie tot gevolg. Aangezien hoogspanning de bron is van midden- en laagspanningselektriciteit, kan dit grote gevolgen hebben. Toch zijn het hoogspannings- en (het grootste deel van) het middenspanningsnet redundant aangelegd: er moeten meerdere verbindingen uitvallen voordat er verlies van elektriciteit optreedt.

5.5 Grootschalige overstroming

Wanneer een grootschalige overstroming optreedt, door bijvoorbeeld een dijkdoorbraak, kunnen de gevolgen groot zijn voor Amsterdam. In de workshops kwam met name de locatie Watergraafsmeer naar voren als potentiële risicolocatie, omdat deze zeer diep gelegen is en hier belangrijke voorzieningen liggen zoals bijvoorbeeld een hoogspanningsstation op -5 meter NAP, een knooppunt voor (internationale) telecommunicatie en een belangrijk spoor-emplacement. Tegelijkertijd is een grootschalige overstroming een scenario dat breder doorleefd moet worden. Dergelijke events zullen leiden tot grootschalige uitval en overlast van veel vitale infrastructuur tegelijk. Met name de nafase van een dergelijk event zorgt voor veel onduidelijkheid en vragen. Grootschalige overstromingen vormen in de toekomst een grotere bedreiging door zeespiegelstijging. Afhankelijk van de mate en het tempo waarin de zee stijgt en de aanpassingen die de komende jaren worden gedaan in het watersysteem en de maatschappij, kunnen de gevolgen groter of minder groot zijn.

6 Belangrijkste bevindingen en aanbevelingen

Dit rapport biedt inzicht in hoe klimaatdreigingen verschillende gevolgen kunnen hebben voor de gemeente Amsterdam, door uitval van vitale infrastructurele functies. Daarnaast geven de resultaten gedetailleerd inzicht in de onderlinge verwevenheid en afhankelijkheid van deze functies. Het rapport illustreert hoe deze dreigingen kunnen leiden tot cascade-effecten, waarbij de uitval van bepaalde functies andere vitale functies beïnvloedt. De gemeente Amsterdam kan met deze analyse in gesprek gaan over acceptabele en belangrijke risico's. De resultaten geven een eerste indicatie van de belangrijkste risico's, maar vereisen verdere analyse met een bredere expertisegroep. Deze resultaten zijn daarom een eerste stap voor de klimaatagenda, maar niet geschikt voor prioritering van specifieke locaties.

6.1 Klimaatdreigingen met de grootste gevolgen

Klimaatdreigingen kunnen in (zeer) extreme gevallen tot aanzienlijke cascade-effecten leiden bij vitale aanbieders. Een belangrijk inzicht uit de studie is de afhankelijkheid van bereikbaarheid: veel aanbieders zijn afhankelijk van het kunnen bereiken van hun assets, vooral tijdens storingen. Als dit niet mogelijk is, kunnen problemen snel verergeren. Daarnaast zijn er feedback-loops door ketenafhankelijkheden. Bijvoorbeeld, als de stroom uitvalt als gevolg van wateroverlast en daardoor pompen en gemalen het water niet meer goed kunnen afvoeren, zal de wateroverlast verergeren. Deze inzichten kunnen dienen om scenario's te ontwikkelen en door te leven om specifieke knelpunten en locaties in Amsterdam te identificeren en aan te pakken.

6.1.1 Risico-scores

Op basis van de gevolgeninschatting met de risicomatrix (Figuur 2.2) zijn de belangrijkste bevindingen:

- Klimaatdreigingen en cascade effecten leiden met name tot hoge gevolgen door impacts op beschikbaarheid, gevolgkosten of imago.
- De gevolgen voor beschikbaarheid komen met name door de schaal van de uitval (meer dan een stadsdeel).
- Indien door klimaatdreigingen hulpdiensten worden beperkt in hun uitvoering, leidt dit direct tot een hoge impactklasse voor de categorie veiligheid.

De risicomatrix is specifiek samengesteld voor deze studie en kan dus niet direct worden gebruikt als algemene risicomatrix voor de gemeente Amsterdam. De exacte kansen en gevolgen zullen in een vervolgstudie beter moeten worden geduïd (Zie ook Hoofdstuk 6.3).

Tabel 6.1: Kwalitatieve inschatting gevolgen per bedrijfswaardecategorie

Categorie risicomatrix	Gevolgen
Beschikbaarheid	++
Gevolgkosten	+
Imago	++
Veiligheid	+/-
Natuur	--

Hieronder volgt per klimaatdreiging een beknopte synthese van de klimaatdreiging en de inschatting van de bijbehorende geïdentificeerde risico's, die eerder in dit rapport ook al beschreven zijn.

Tabel 6.2: Synthese van klimaatdreigingen, effecten op infrastructuur en risico-inschatting.

Dreiging	Klimaat effecten (beschrijving per dreiging)	Belangrijke gevolgen	Risicobeschrijving	Genoemde drempelwaardes
Wateroverlast	In de toekomst wordt in een warmer klimaat meer regen verwacht. 's Winters gaat het meer regenen, en 's zomers komen er vaker extreme buiten voor. De winters worden nog natter, de zomers droger. Maar als het regent in de zomer, regent het ook harder (KNMI, 2023)	Belangrijke gevolgen van wateroverlast met potentieel grote risico's zijn gerelateerd aan elektriciteit, telecommunicatie (met vertraging) en de bereikbaarheid. Bereikbaarheid is nodig tijdens wateroverlast om storingen te verhelpen. Pompen en gemalen spelen een essentiële rol bij het wegpompen van water en het verminderen van blootstelling. Als deze uitvallen door bijvoorbeeld elektriciteitsuitval, ontstaat een feedback-loop. De grootste gevolgen treden op wanneer hulpdiensten door verminderde bereikbaarheid niet meer op locatie kunnen komen bij wateroverlast.	Het risico op (lokale) wateroverlast wordt als hoog ingeschat. De gevolgen kunnen groot zijn, afhankelijk van de omvang van wateroverlast. Wateroverlast kan in potentie leiden tot veel cascade-effecten. De exacte kansen en gevolgen zullen in een vervolgstudie beter moeten worden geschat.	Telecominfrastructuur (kasten) kan uitvallen bij ongeveer 20-30 cm water. Bij 20-30 cm water kunnen gewone voertuigen niet meer rijden, terwijl grotere voertuigen iets langer door kunnen gaan. Grote voertuigen kunnen door stukken van 30 cm water rijden, maar niet door een hele straat. Vanaf ongeveer 30 cm water kan er kortsluiting ontstaan in stopcontacten en zullen huisaansluitingen van elektriciteit falen. De stroomkastjes van Liander zijn tijdelijk bestand tegen (zoet) water. Stroomuitval is doorgaans beperkt tot getroffen gebied.
Droogte	Onder klimaatverandering wordt verwacht dat het zomers minder regent en dat er meer vocht verdampst uit de bodem waardoor langdurige en extreme droogtes vaker voorkomen (KNMI, 2023).	Droogte heeft met name impact op de waterkwaliteit en zoetwaterkwantiteit (er is wel back-up drinkwatervoorziening in Waterleidingduinen). Door droogte ontstaat bodemdaling waardoor ondergrondse infrastructuur mogelijk verzakt en verminderd functioneert (drinkwater, afvalwater, gas). Daarnaast vormt droogte een risico voor houten funderingen in Amsterdam, wat kan leiden	De risico's door droogte kunnen verschillend uitwerken. De grootst mogelijke gevolgen en cascades kunnen optreden door koelwatertekorten, waardoor elektriciteit of telecommunicatie (lokaal) kunnen uitvallen, met alle gevolgen van dien. In de interviews en workshops is niet concreet aangegeven hoe groot de kans hierop is. De	-

Dreiging	Klimaat effecten (beschrijving per dreiging)	Belangrijke gevolgen	Risicobeschrijving	Genoemde drempelwaarden
		tot hoge schade op huishoudniveau.	gevolgen van verzakking zijn vrij lokaal en worden daardoor ingeschat als beperkt risico. Het herstel voor de aanbieder kan wel hoog zijn, afhankelijk van de mate van verzakking of aantasting van de (ondergrondse) infrastructuur. Schade aan huishoudens kan hoog zijn voor individuele huishoudens.	
Hitte	Door klimaatverandering worden de temperaturen in de toekomst hoger. Afhankelijk van het tempo waarin klimaatverandering doorzet en of dat leidt tot een droger of natter klimaat, kunnen hittegolven intenser worden (KNMI, 2023). In de toekomst worden meer zomerdagen en tropische nachten verwacht waarbij de nachttemperatuur niet onder de 20 graden Celsius uitkomt. Met name in stedelijk gebied kan dit tot overlast en problematiek leiden door het stedelijk hitte-eiland effect waardoor de hitte als erger wordt ervaren (KNMI, 2023).	De ernstigste gevolgen van hitte zijn capaciteitsproblemen bij hulpdiensten en verstoring van cruciale systemen. Hitte kan de inzetbaarheid van personeel verminderen en constructies zoals bruggen en spoorwegen doen uitzetten, wat de bereikbaarheid beïnvloedt. Oververhitting van elektronische componenten en kabels kan de elektriciteit en telecommunicatie verstoren. Daarnaast verhoogt hitte de vraag naar koeling, wat kan leiden tot uitval van koelsystemen en stroomuitval bij oververhitting systemen.	Hitte heeft nu al gevolgen voor langdurige inzetbaarheid van personeel en leidt af en toe al tot lokaal uitvallen van een asset of systeem doordat er problemen zijn met de koeling. Door klimaatverandering wordt geschat dat de kans hierop verder toeneemt.	Oververhitting is nog niet voorgekomen, maar bij langdurige temperaturen boven 45 graden kan hitte leiden tot uitval van elektriciteit. Bij temperaturen van het drinkwater > 25 graden kan bacteriegroei ontstaan. Er is in Amsterdam redundantie om de effecten hiervan op te vangen.
Storm	Klimaatverandering lijkt weinig effect te hebben op de hoeveelheid of intensiteit van stormen en lijken ook de windsnelheden weinig te veranderen (KNMI, 2023). Een aandachtspunt zijn echter valwinden. In een warmer klimaat, kan de	Stormen met sterke winden en hevige regenval kunnen aanzienlijke schade veroorzaken, zoals omgewaaide bomen en losgeraakte voorzieningen, wat de bereikbaarheid vermindert en hulpdiensten hindert. Ze vormen een risico	Gevolgen van stormen zijn in het heden al merkbaar. Omwaaiende bomen leiden tot verminderde bereikbaarheid en een hogere hulpvraag tijdens stormen. Uit de workshop zijn geen concrete kans-schattingen gemaakt voor stormen en de	-

Dreiging	Klimaateffecten (beschrijving per dreiging)	Belangrijke gevolgen	Risicobeschrijving	Genoemde drempelwaardes
	toename van temperatuur en vocht ertoe leiden dat zware buien sneller kunnen uitgroeien tot complexen die gepaard gaan met onweer, hagel, windstoten en valwinden (KNMI, 2021).	voor infrastructuur met hoge masten, zoals hoogspanning en telecom, wat kan leiden tot uitval van deze diensten. Hoewel het hoogspanningsnet redundant is aangelegd, kunnen meerdere uitvalgevallen verbindingen toch grote gevolgen hebben.	geïdentificeerde gevolgen hiervan.	
Overstroming (dijk-doorbraak)	Zeespiegelstijging zorgt ervoor dat de kans op overstromingen kan toenemen (KNMI, 2023).	Wanneer een grootschalige overstroming optreedt, door bijvoorbeeld een dijkdoorbraak, kunnen de gevolgen zeer groot zijn voor Amsterdam. Met name Watergraafsmeer is een potentiële risicolocatie, omdat deze zeer diep gelegen is en hier belangrijke voorziening liggen zoals bijvoorbeeld een hoogspanningsstation op -5 meter NAP en een belangrijk spoor-emplacement.	Een grootschalige overstroming is een scenario dat breder doorleefd moet worden. Dergelijke events zullen leiden tot grootschalige uitval en overlast van veel vitale infrastructuur tegelijk. Met name de nafase van een dergelijk event (wat maanden tot jaren kan duren) zorgt voor veel onduidelijkheid en vragen.	Zie drempelwaardes voor wateroverlast

6.2 Cascade-effecten en ketenafhankelijkheid

6.2.1 Ketenaafhankelijkheid

Wanneer we inspecteren welke sectoren sterk afhankelijk zijn van andere sectoren zien we dat burgers het grootste risico lopen, alsook de industrie. Deze eindgebruikers hebben de grootste risico's bij uitval van vitale functies. Bijvoorbeeld: wanneer de hulpdiensten niet meer kunnen functioneren, waardoor zij mogelijk niet op tijd hulp kunnen krijgen bij levensbedreigende situaties.

Hulpdiensten en de zorg zijn eigenlijk vrijwel alleen direct getroffen indien een zorginstelling, politie of brandweerpost direct getroffen wordt door bijvoorbeeld wateroverlast. Toch zijn er wel belangrijke ketenafhankelijkheden van met name bereikbaarheid. Wanneer bereikbaarheid gestremd wordt, ondervinden hulpdiensten en zorginstellingen hogere aanrijdtijden en mogelijke problemen met de hulpverlening. Ook de logistiek en levering van zorginstellingen kan dan in de problemen komen.

Het openbaar vervoer, het watersysteem en het spoor zijn sterk afhankelijk van elektriciteit en de spoorwegen zijn dat ook van telecommunicatie. De elektriciteit (midden- en laagspanning) is zelf weinig ketenafhankelijk van andere sectoren, alleen zeer sterk afhankelijk van hoogspanning. Daarnaast indirect ook van het watersysteem: als er water vanuit het watersysteem in het elektriciteitssysteem komt, kan dat tot uitval leiden.

Het afvalwatersysteem is met name afhankelijk van voldoende drinkwater om het systeem te kunnen doorspoelen.

Hoogspanning en drinkwater zijn het minst afhankelijk van andere sectoren.

6.2.2 Cascade-effecten

De belangrijkste sectoren met grootste cascade-effecten zijn elektriciteit, telecommunicatie, bereikbaarheid en de kerende en beherende functie van het watersysteem. Dat wil zeggen, als een van deze systemen (grootschalig) uitvalt, zijn er veel mogelijke en grote cascade-effecten die kunnen optreden.

Wanneer elektriciteit uitvalt, worden de meeste sectoren beïnvloed, danwel door uitval of door beperkte functionaliteit. Er is daarom een grote afhankelijkheid van het elektriciteitsnet. Soms zijn er noodvoorraden of back-ups aanwezig (bijvoorbeeld bij telecommunicatie voor ongeveer twee uur), in andere gevallen zijn de effecten direct en vallen andere functies meteen uit (bijvoorbeeld de tram). De oorzaak van de uitval van de elektriciteit bepaalt ook de omvang en daarmee de omvang van de gevolgen.

De telecommunicatie is een tweede belangrijke sector. Vrijwel alle vitale functies zijn in meer of mindere mate afhankelijk van (mobiele) communicatie en internet. Wanneer deze functionaliteit wegvalt ontstaan er informatieproblemen die, afhankelijk van de omvang, duur en aard, impactvol kunnen zijn. Zeker de combinatie met uitval van andere functies of uitval van telecommunicatie tijdens een ramp of crisis kan leiden tot een informatie-infarct met grote maatschappelijke gevolgen.

Bereikbaarheid is een belangrijke randvoorwaarde voor het volwaardig functioneren van het infrastructurele netwerk. Voor het verhelpen van storingen zijn de meeste vitale aanbieders afhankelijk van het fysiek kunnen bereiken van hun assets.

Een (grootschalige) verstoring in de bereikbaarheid van de stad Amsterdam door bijvoorbeeld verstoringen in bruggen en tunnels, kan grote gevolgen hebben voor burgers die niet meer thuis kunnen komen, hulpdiensten die niet of niet op tijd op locaties kunnen zijn en vitale aanbieders die hun storingen niet kunnen verhelpen, met mogelijke cascade-effecten tot gevolg.

Het watersysteem met haar bijbehorende pompen en gemalen is van grote invloed op de stad Amsterdam. Het watersysteem is zowel ketenafhankelijk van andere sectoren als bijvoorbeeld elektriciteit, maar kan ook cascade-effecten veroorzaken bij uitval of verminderde functionaliteit. Een tekenend voorbeeld hiervan is grootschalige wateroverlast, waarbij het watersysteem het water niet op tijd of beperkt afgevoerd krijgt waardoor er overlast in de stad kan ontstaan. Afhankelijk van de hevigheid van deze overlast, kunnen ook andere vitale functies als elektriciteit, telecom of bereikbaarheid uitvallen. Dit kan er in extreme gevallen toe leiden dat de pompen en gemalen niet meer functioneren, niet meer kunnen worden bediend en dat storingen niet verholpen kunnen worden omdat bereikbaarheid is gestremd en er geen fysieke toegang mogelijk is. In Amsterdam is gemaal Zeeburg bijvoorbeeld afhankelijk van elektriciteit. Hierin wordt een 'feedbackloop' van afhankelijkheden zichtbaar, waarbij uitval van de een mogelijk kan leiden tot ernstige gevolgen door falen van de ander.

6.3 Aanbevelingen voor vervolgstappen

Het wordt aanbevolen om de resultaten van dit onderzoek te gebruiken als basis voor verder onderzoek. Met de huidige studie is een overzicht verkregen van klimaatdreigingen en de wijze waarop deze vitale functies beïnvloeden, alsmede de keteneffecten die daardoor kunnen ontstaan. Nu is nog niet bekend hoe groot de risico's daadwerkelijk zijn. Dat is complex en kan niet direct voor de gehele stad in beeld gebracht worden. Hieronder volgen enkele aanbevelingen voor de volgende stappen die hierbij kunnen helpen.

6.3.1 Kwantificeer de gepresenteerde faalpaden

De gepresenteerde faalpaden bieden een kwalitatief uitgangspunt voor vervolgstappen. Aanbevolen wordt om te proberen een kwantitatieve inschatting te maken van de kansen en gevolgen die beschreven worden in de geïdentificeerde faalpaden. Dit kan bijvoorbeeld in werksessies met vitale aanbieders. Uiteindelijk helpt een dergelijke kwantitatieve inschatting om een risico-afweging te maken: is de combinatie van de kans op voorkomen en de potentiële gevolgen een acceptabel risico voor de gemeente Amsterdam?

6.3.2 Ontwikkel scenario's

Om klimaatdreigingen effectief aan te pakken, adviseren we daarom om scenario's te ontwikkelen en deze te gaan doorleven met gebiedspartners. Het ontwikkelen van scenario's helpt bij het beter doorrekenen van kansen en gevolgen en het identificeren van risicovolle locaties in Amsterdam.

Scenario's voor wateroverlast en overstromingen kunnen een mooie eerste stap zijn. Grootschalige overstromingen kunnen alle vitale functies raken en leiden tot langdurige maatschappelijke ontwrichting. Een goede voorbereiding voor een dergelijk scenario is essentieel vanwege de potentieel grote gevolgen. Wateroverlast wordt als een reëel risico gezien met mogelijk grote gevolgen, afhankelijk van het specifieke scenario.

Voor hitte en droogte kunnen scenario's mogelijk gecombineerd worden. De inzetbaarheid van personeel en hulpdiensten is hierbij een component die kan leiden tot extra problemen bij uitval van vitale infrastructuur.

Het is belangrijk om de te onderzoeken scenario's behapbaar te houden. Aanbevolen wordt om in eerste instantie te focussen op de risico's door uitval van enkele (en dus niet alle) vitale functies. Uitval van vitale functies zoals elektriciteit, telecommunicatie, bereikbaarheid en waterbeheer is een logische keuze omdat uitval van deze functies tot de grootste risico's leidt, door de mate waarin andere functies afhankelijk zijn van deze sectoren. Ook zijn deze functies sterk onderling afhankelijk, wat een feedback-loop kan veroorzaken.

Verder zijn er kansen om 'no regret'-scenario's uit te werken. Daarmee bedoelen we scenario's waarin niet de oorzaak van falen centraal staat, maar waarbij vooral gefocust wordt op de cascade-effecten. Bijvoorbeeld voor elektriciteit en telecommunicatie is het altijd zinvol om inzicht te krijgen in de gevolgen van uitval, onafhankelijk van of deze uitval wordt veroorzaakt door een klimaatdreiging of een andersoortige dreiging.

Het uitvoeren van een scenario-analyse kan zowel kwalitatief als kwantitatief. In een kwalitatieve analyse wordt aanbevolen om stakeholders te betrekken die gedetailleerde kennis hebben van het gebied en de systemen. Een nadeel van een kwalitatieve analyse is dat het hierna moeilijk is om een kwantitatieve risico-inschatting te maken die in een kwantitatief afweegkader afgewogen kan worden.

Een kwantitatieve analyse kost meer tijd en vereist meer data-verzameling, maar zorgt er wel voor dat de scenario's doorgerekend kunnen worden en dat risico-afwegingen zo accuraat mogelijk gebeuren. Ook bij een kwantitatieve analyse moeten relevante stakeholders worden betrokken om de juiste kennis te waarborgen.

In zowel kwalitatieve als kwantitatieve studies kunnen de volgende stappen te worden doorlopen om van scenario-studies naar risico-afwegingen en mogelijke adaptatiemaatregelen te komen.

1. Ontwikkel het scenario voor de klimaatdreiging die wordt onderzocht. Bepaal of een kwantitatieve of semi-kwantitatieve aanpak nodig is.
2. Betrek gebiedspartners (zie volgende aanbeveling).
3. Verzamel informatie of data van de vitale functies en analyseer de ketenafhankelijkheden (zie ook aanbeveling kwantificering faalpaden).
4. Bepaal de mate waarin objecten van vitale functies worden blootgesteld aan de klimaatdreiging die wordt onderzocht.
5. Identificeer bij welke mate van blootstelling functies uitvallen (bijvoorbeeld met kritieke uitvalwaarden) en bepaal de mate van uitval van vitale functies.
6. Bepaal de gevolgen van uitval van de functies voor de maatschappij (hoeveel huishoudens getroffen, hoe lang valt de functie uit, etc.).
7. Bepaal of de geïdentificeerde risico's (combinatie van kans en gevolg) acceptabel zijn of dat er maatregelen genomen moeten worden.
8. Verken welke (adaptatie)maatregelen genomen kunnen worden.

6.3.3 Werk samen met gebiedspartners

Samenwerking met gebiedspartners is essentieel om specifieke scenario's door te nemen en operationele of locatie-specifieke knelpunten te identificeren. Dit helpt bij de voorbereiding van de ruimtelijke omgeving van Amsterdam op dergelijke risico's.

In de huidige studie hebben we een aantal vitale aanbieders meegenomen. Afhankelijk van welk scenario gekozen wordt, bevelen we aan de juiste vitale aanbieders te betrekken. Hiervoor refereren we naar de vitale sectoren genoemd binnen het Deltaprogramma, of zoals deze is opgesteld voor de nationale aanpak vitaal. Landelijke organisaties zoals Rijkswaterstaat en Gasunie zijn momenteel niet betrokken in de analyse, maar hun inbreng is ook belangrijk voor vervolgstudies.

6.3.4 Breng kritieke locaties in kaart

Daarnaast wordt aanbevolen om specifieke 'kritieke locaties' in kaart te brengen voor de gemeente Amsterdam: locaties of objecten waarvan de uitval grote gevolgen heeft. Het is zinvol om eerst de meest kritieke infrastructurele objecten te identificeren voor het uitvoeren van ruimtelijke analyses. Daarbij is het ook belangrijk te identificeren welke delen van de stad het meest kwetsbaar zijn bij uitval van vitale infrastructuur. Hierbij moet rekening worden gehouden met bijvoorbeeld hoge gebouwen met ouderen of wijken met een lagere socio-economische status.

6.3.5 Ontwikkel een risico-matrix waarmee afwegingen gemaakt kunnen worden

Deze studie biedt een eerste aanzet tot het gebruik van een risicobenadering bij het denken over klimaatdreigingen en vitale functies in Amsterdam. Tijdens de workshop is getracht om voor verschillende risico's de kansen en gevolgen in te schatten: zowel gevolgen van klimaatdreigingen als cascade-effecten (methode staat uitgewerkt in paragraaf 2.3). Om de belangrijkste risico's voor Amsterdam te identificeren, is het nodig om voor de geïdentificeerde klimaatrisico's en cascade effecten de kansen en gevolgen systematisch te duiden middels een gevalideerd afweegkader. Veel gemeenten en bedrijven hanteren daarvoor een afweegkader of bedrijfswaardenmatrix met daarin kansen en gevolgen beschreven. Deze combinaties van kans en gevolg leveren een handelingsperspectief in termen van acceptatie van het risico of de noodzaak om te onderzoeken welke maatregelen genomen kunnen worden om het risico te reduceren (Figuur 6.1). We bevelen aan om in een vervolgstap waarbij de afwegingen gemaakt worden, iedere vitale sector zelf de risico's in te laten schatten die voor hen relevant zijn. Daarnaast bevelen we aan om de klimaatrisico's en cascade-risico's gescheiden in te schatten.

Impact	5	H4 Hazardous Liquids Supply Infrastructure, H5 Fuel Supply Infrastructure (Pipelines), H9 Toxic Chemical Release, H44 Reservoir/Dam Failure	X5 Catastrophic Unconventional Attacks	H41 National Electricity Transmission		
	4	H16 Aviation Crash, HL30 Localised Explosion at a Natural Gas Main	H38 Gas Supply Infrastructure, HL12 Local Accident Involving The Transport of Fuel/Explosives, HL19 Coastal/Tidal Flooding	H22 Surface Water Flooding, H23 Pandemic Influenza, H48 Regional Electricity Transmission, H54 Volcanic Eruption, H56 Space Weather, L21 Fluvial Flooding, HL30 Severe Drought		
	3	H7 Gas Supply Infrastructure (High Pressure Pipelines), HL23 Bridge Collapse, HL25 Fire or Explosion at a Flammable Gas Terminal, HL34 Evacuation of passenger ship	H39 Water Supply Infrastructure, HL28 Fuel Distribution Site Fire or Explosion, HL105 Complex Built Environments, X6 Cyber Security	H17 Storms and Gales, H18 Cold and Snow, H24 Emerging Infectious Diseases, HL11 Railway Accident, HL21 Land Movement, HL48 Heatwave, X2 Attacks on Infrastructure, X4 Small Scale Unconventional Attacks	HL4 Major Pollution of Inland Waters, L19 Groundwater Flooding, X1 Attacks on Crowded Places	X3 Attacks on Transport System
	2	HL37 Maritime Pollution Incident	H15 Maritime Pollution, H14 Food Supply Contamination, H40 Telecommunications, H58 Wildfires, H60 High Consequence Dangerous Goods, HL7 Industrial Explosion and Major Fires, HL33 Forest or Moorland Fire	H11 Radiation Exposure from Stolen Goods, H31 Fuel Tanker Driver (Industrial Action), H35 Public Mass Transportation (Industrial Action), HL9 Aviation Crash, HL14 Local Road Accident Involving the transport of Fuel/Explosives	H37 Influx of British Nationals, H46 Biological Substance Release	HL22a Large Building Collapse
	1		H57 Public Disorder		HL10 Local Accident on Motorways/ Major Trunk Roads	
		1	2	3	4	5
		Low	Medium/Low	Medium	Medium/High	High
		Likelihood				

Figuur 6.1: Voorbeeld van hoe een mogelijke uitkomst eruit zou kunnen komen te zien¹. Aanbevolen wordt om de risico-matrix opnieuw op te stellen overeenkomstig de aanbevelingen.

¹ Bron: London Risk Register (2019). Version 8.1 (Jan 2019) of The London Risk Register is collectively owned by the Category 1 Responders (as defined by Schedule 1 to the Civil Contingencies Act 2004) within the London Resilience Forum area.

6.3.6 Neem klimaatverandering mee in volgende analyses en verken adaptatiemogelijkheden

In een vervolgstudie wordt aanbevolen om meer aandacht te leggen op klimaatverandering en hoe dit de kansen op extreem weer en gevolgen verandert. Daarin moet worden onderzocht welke dreigingen in de toekomst relevanter worden en kunnen leiden tot meer frequente of grootschalige onderbrekingen van vitale infrastructurele functies. Het kwantificeren van de kansen en gevolgen van klimaatdreigingen is daarbij een vereiste om een goed onderbouwde stap te kunnen zetten naar mogelijke adaptatiemaatregelen. Een verkenning naar de wijze waarop klimaatverandering het risicoprofiel beïnvloedt, en een analyse van de mogelijkheden en haalbaarheid van adaptatiemaatregelen, kan heel goed worden meegenomen in de scope van de scenario-studies die hierboven zijn aanbevolen.

6.3.7 Gebruik resultaten in andere trajecten

De resultaten uit deze studie dienen ook als inzichten als een start om de gevolgen in beeld te brengen in de andere trajecten die op dit moment spelen zoals de bovenregionale en DPRA-stresstest en de ontwikkelingen rondom de Wet Weerbare Kritieke Entiteiten (WWKE).

7 Bronnenlijst

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) (2021). Klimaatsignaal'21. Hoe het klimaat in Nederland snel verandert.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2023, oktober 9). *KNMI'23-klimaatscenario's*. KNMI. Geraadpleegd op 5 maart 2025, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-23-klimaatscenario-s>

7.1 Interviews vitale aanbieders

Datum	Sector	Organisatie	Geïnterviewden (functietitels)
11-11-2024	Fysieke veiligheid en crisisbeheersing	Veiligheidsregio Amsterdam Amstelland	Adviseur Risicobeheersing & Specialist Klimaatadaptatie, Adviseur crisisbeheersing
11-11-2024	Afvalwater	Waternet	Asset manager, senior assetbeheerder
14-11-2024	Energie	Liander	Innovatie Manager Duurzaamheid/Circulaire Economie
25-11-2024	Drinkwater	Waternet	Adviseur crisisbeheersing
25-11-2024	Hoogspanning	TenneT	Spatial planning advisor
27-11-2024	Zorginstellingen	GHOR	Adviseur & Hoofd Informatie Geneeskundige Zorg GHOR Amsterdam-Amstelland, Beleidsadviseur GHOR Amsterdam - Amstelland / Algemeen Commandant Geneeskundige Zorg (ACGZ)
27-11-2024	Wegen en tunnels	Gemeente Amsterdam	Tunnelbeheerder gemeentelijke wegtunnels
27-11-2024	Keren en beheren	Waternet	Senior adviseur waterbeheer, Projectleider
11-12-2024	Telecommunicatie	KPN	Adviseur Security & Business Continuity
18-12-2024	Openbaar vervoer	GVB	Hoofd Beheer Metro en Tram gemeente Amsterdam
19-12-2024	Hoofdspoorwegennet	ProRail	Adviseur klimaatadaptatie spoorweginfrastructuur

De interviewresultaten zijn uitgewerkt in Hoofdstuk 3.

Sector	Organisatie	Input workshop (functietitels)
Fysieke veiligheid en crisisbeheersing	Veiligheidsregio Amsterdam Amstelland	Adviseur Risicobeheersing & Specialist Klimaatadaptatie
Afvalwater	Waternet	Asset manager
Energie	Liander	Crisismanager Energie
Drinkwater	Waternet	Adviseur crisisbeheersing
Hoogspanning	TenneT	Spatial planning advisor
Zorginstellingen	GHOR	Beleidsadviseur GHOR Amsterdam - Amstelland / Algemeen Commandant Geneeskundige Zorg (ACGZ)
Wegen en tunnels	Gemeente Amsterdam	Tunnelbeheerder gemeentelijke wegtunnels,
Keren en beheren	Waternet	Senior adviseur waterbeheer
Telecommunicatie	KPN	Adviseur Security & Business Continuity
Openbaar vervoer	GVB	Hoofd Beheer Metro en Tram gemeente Amsterdam
Hoofdspoorwegennet	ProRail	Adviseur klimaatadaptatie spoorweginfrastructuur

A Vragenlijst gebruikt voor de interviews

Klimaatdreigingen

1. Welke extreme weersomstandigheden, of typen extreem weer kunnen ervoor zorgen dat jullie mogelijk grootschalig uitvallen of zelfs worden ontwricht? Wat gebeurt er dan?
 - a) Kunt u voorbeelden noemen van problematische uitval over de laatste paar jaar?
 - b) Zijn er voorbeelden waarbij het bij jullie echt spannend is geweest? (in relatie tot extreem weer)
 - c) Welke objecten zijn kritiek als die uitvallen, hoe lang duurt het om dit te herstellen?
 - d) Is er back-up/redundantie bij uitval?
 - e) Tijdens uitval, welke acties worden er genomen. Is daarvoor nodig om fysiek bij deze objecten te kunnen komen?

Gevolgen en implementatie

2. Is het voor jullie duidelijk wat de (potentiële) maatschappelijke gevolgen zijn als jullie voorzieningen uitvallen?
 - a. Zijn jullie op dit moment al bezig met het kwantificeren van de gevolgen van extreem weer of klimaatverandering voor jullie bedrijfsvoering? Zo ja, op welke manier?
 - b. Welke bestaande projecten/initiatieven/studies kennen jullie / zijn er rondom klimaatextremen en extreem weer en uitval van jullie netwerk?
3. Wordt dit ook meegenomen in bestaande processen? (staat het bijv. in een bedrijfswaardematrix?)
4. Welke categorieën hebben jullie in je bedrijfswaardenmatrix en hoe kan dit gebruikt worden om af te wegen welke maatregelen jullie treffen tegen extreem weer en klimaatdreigingen?

Maatregelen

5. Nemen jullie op dit moment maatregelen om uitval door extreem weer (wateroverlast, droogte, etc.) te voorkomen?

Cascade effecten

7. Zijn er studies naar mogelijke cascade-effecten van uitval? Als dit uitvalt dan heeft deze en deze gebruiker daar mogelijk last van?
8. Weten jullie welke andere vitale aanbieders mogelijk afhankelijk zijn van jullie?
9. Van welke partijen zijn jullie zelf afhankelijk?
10. Welke partijen zouden jullie graag aanwezig zien in de workshops?

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