

KWR 2018.072 | December 2018

Functioneren leidingnet na overstroming

Functioneren leidingnet na overstrooming

KWR 2018.072 | December 2018

Opdrachtnummer

401124-005

Projectmanager

ir. A. (Andreas) Moerman

Opdrachtgever

DPWE Stuurgroep

Kwaliteitsborger(s)

dr. E.J.M. (Mirjam) Blokker

Auteur(s)

dr. J. (Jozanneke) van Vossen en B. (Bas) Wols

Verzonden aan

DPWE Stuurgroep

Jaar van publicatie
2018

Meer informatie

dr. Jozanneke van Vossen
T 030 60 69 598
E Jozanneke.van.Vossen@kwrwater.nl

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



KWR 2018.072 | December 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Achtergrond	4
1.2	Doel	4
1.3	Leeswijzer	4
2	Overstromingsscenario's	5
2.1	Overzicht relevante scenario's	5
2.2	Handelwijze overheid bij dreigende situaties	6
2.3	Keteneffecten	8
2.4	Waterverbruik tijdens overstromingen	12
3	Overzicht netwerkcomponenten en faalmechanismen	14
3.1	Productie	14
3.2	Transportnet en distributienet	14
3.3	Faalmechanismen	15
4	Effect van dijkdoorbraken op leidingnet	17
4.1	Introductie	17
4.2	De dijkdoorbraaklocatie	17
4.3	Stroomsnelheden en erosie buiten de doorbraaklocaties	19
4.4	Functioneren leidingnet	22
5	Effect van overstromingen op de belasting van leidingen	23
5.1	Introductie	23
5.2	Optredende processen tijdens overstroming	23
5.3	Overzicht door te rekenen scenario's en variaties in condities	24
5.4	Resultaten berekeningen	26
5.5	Aandachtspunten voor de drinkwaterbedrijven	30
6	Praktijkvoorbeelden impact op functioneren drinkwatervoorziening	32
6.1	Inleiding	32
6.2	Overstromingen door orkanen	32
6.3	Overstromingen door hoge rivierafvoeren	34
6.4	Samenvatting	37
7	Aandachtspunten mogelijke maatregelen	38
7.1	Indicatoren voor risicogebieden	38
7.2	Mogelijke maatregelen	38
8	Conclusies en aanbevelingen	43
8.1	Conclusies	43

8.2	Aanbevelingen	44
9	Referenties	46
	Bijlage I Overzicht soorten overstromingen in Nederland	49
	Bijlage II Handelwijze overheid bij overstromingsdreiging	56
	Bijlage III Verslag stakeholdersbijeenkomst impactanalyse overstromingen Noord-Holland, Oostzaan, 29 mei 2018	58
	Bijlage IV Achtergrond en mechanismen bij dijkdoorbraken	62
	Bijlage V Invoer berekeningen Comsima	64
	Bijlage VI Comsima-berekening van hoekverdraaiing	68

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de Deltabeslissing ruimtelijke adaptatie is vastgelegd dat Nederland in 2050 zo goed mogelijk klimaatbestendig en waterrobuust is ingericht en dat bij ontwikkelingen geen extra risico op schade en slachtoffers ontstaat voor zover dat redelijkerwijs mogelijk is. Voor de drinkwatervoorziening betekent deze Deltabeslissing dat de drinkwatervoorziening o.a. beter bestand moet worden tegen overstromingsrisico's en dat overstromingsrisico's een structureel onderdeel van de bedrijfsvoering en afweging van investeringen moeten zijn. De overheid zet hierbij in op een opeenvolging van 'weten', 'willen' en 'werken'. De drinkwaterbedrijven werken momenteel aan het onderdeel 'weten', waarbij wordt geïnventariseerd wat de gevolgen van overstromingen zijn op het functioneren van de drinkwatervoorziening. Uiterlijk in 2020 zijn de ambities geformuleerd in het onderdeel 'willen'.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is het inventariseren van de effecten van overstromingen op de levering van drinkwater met focus op het drinkwaterleidingnet. De aanname bij deze studie is dat de drinkwaterproductielocaties ofwel in werking blijven of zeer snel worden hersteld. De scope van het huidige onderzoek is het transport en het distributienet tot en met de aansluitleiding.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de mogelijke scenario's besproken alsmede de handelwijze van de verschillende overheden en de relevante keteneffecten. Hoofdstuk 3 biedt een overzicht van netwerkcomponenten en mogelijke faalmechanismen. Hoofdstuk 4 bevat een analyse van de omvang van doorbraaklocaties en het effect op leidingen. In hoofdstuk 5 staan de resultaten van berekeningen van de fysische belastingen op leidingen tijdens overstromingen. In hoofdstuk 6 beschrijft een aantal praktijkvoorbeelden. Hoofdstuk 7 bevat mogelijke maatregelen en indicatoren voor risicogebieden. Het rapport eindigt met een korte conclusie en aanbevelingen.

2 Overstromingsscenario's

2.1 Overzicht relevante scenario's

Dè overstroming bestaat niet. De gevolgen van overstromingen lopen uiteen van minst grote tot grootste impact:

- Hinder; geen slachtoffers en beperkte tot geen schade;
- Overlast; geringe kans op (dodelijke) slachtoffers. Lokale en/of regionale schade;
- Veiligheidsproblematiek; grote kans op slachtoffers, regionale en bovenregionale schade.

In dit hoofdstuk staat een samenvatting van de bekendste overstromingsscenario's en het handelingsperspectief bij dreigende overstromingen.

Globaal wordt er onderscheid gemaakt in lokale, regionale en bovenregionale overstromingen vanuit zee of vanuit de rivieren of boezemsystemen. Landelijke overstromingen worden in Nederland niet realistisch geacht door de geringe kans dat verschillende extreme omstandigheden gelijktijdig plaatsvinden.

Gevolgen voor het drinkwaternet bij een lokale of regionale overstroming zijn beperkt, tenzij er een regionale waterkering met een leiding bezwijkt of elektronische apparatuur onder water komt te staan, zoals pompen. Hoe groot de effecten hiervan zijn, hangt af van welke elementen bezwijken. Falen in het transportsysteem heeft potentieel grotere gevolgen dan falen in het distributienet, naar verwachting kunnen effecten in het algemeen worden beperkt doordat in het drinkwaternet redundantie ingebouwd is. Aangezien dit type wateroverlast vooral wordt veroorzaakt door lokale regenval is de overlast moeilijk te voorspellen. Door klimaatverandering neemt dergelijke overlast naar verwachting de komende decennia toe door toename van de kans op extreme neerslaggebeurtenissen.

De nadruk in deze rapportage ligt op bovenregionale overstromingen. Hierin wordt gewerkt met Ergst Denkbare Overstromingen (EDO), die meestal worden gebruikt bij rampenplannen e.d. en een goed beeld geven van wat er maximaal zou kunnen gebeuren. Daarnaast zijn er de Deltascenario's en de ROR (Richtlijn Overstromingsrisico's) scenario's. Deze scenario's lijken op elkaar wat betreft omvang en worden gebruikt als maatgevende scenario's voor dijken o.a. in het Deltaprogramma, ze hebben een grotere kans op optreden dan de EDO's maar minder verstrekkende gevolgen, zie ook Bijlage I. De kans op een dergelijk overstromingsscenario is erg klein, in de Deltabeslissing wordt uitgegaan van een risico op 10^{-5} per persoon per jaar om te overlijden als gevolg van een overstroming. Dit risico is maatgevend voor o.a. de hoogte van de dijken, het gaat dus om extreme situaties.

Het is goed om te benadrukken dat de kans op het volledig uitrollen van alle potentiële overstromingsscenario's niet groot is. In praktijk zullen bijvoorbeeld niet alle potentiële doorbraaklocaties ook daadwerkelijk doorbreken, waardoor delen van het bedreigde gebied niet onderlopen. Bijvoorbeeld, bij een doorbraak in Noord-Holland kunnen de droogmakerijen (zoals de Beemster) droog blijven, ondanks dat het de diepste delen van Noord-Holland zijn, omdat de omringdijken het water tegenhouden. Voorbereiden is uitermate belangrijk, maar de werkelijkheid tijdens een overstromingssituatie is

genuanceerd en het is belangrijk om mogelijkheden te herzien op basis van de situatie zoals die zich werkelijk voordoet.

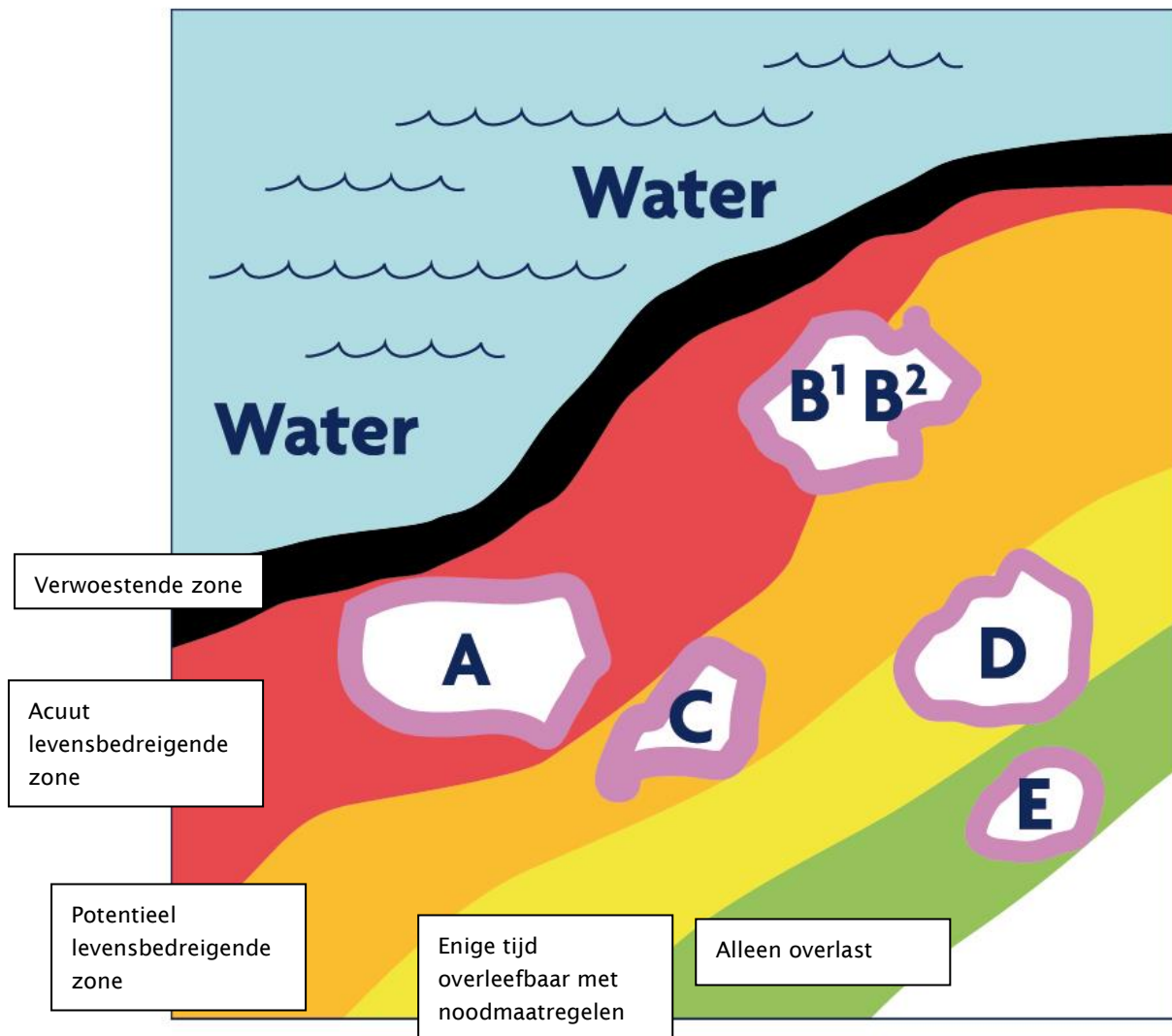
RIVM heeft in 2017 en 2018 een studie uitgevoerd naar de effecten van overstromingen op de drinkwatervoorziening, met name de productielocaties (Leerdam et al., 2018) op basis van de Deltascenario's. De voorliggende studie richt zich op het functioneren van het leidingnet, maar het is belangrijk om productie en leidingnet in samenhang te zien en de effecten daarom ook aan dezelfde scenario's te relateren.

2.2 Handelwijze overheid bij dreigende situaties

Deze paragraaf richt zich op de bovenregionale overstromingen waarbij het drinkwaterbedrijf te maken heeft met de veiligheidsregio's. Werkelijk optredende situaties kunnen erg verschillen, Bijlage II schetst daarom het algemene stappenplan en is een beeld van wat de drinkwaterbedrijven mogen verwachten.

Momenteel worden voor de scenario's impactanalyses uitgevoerd door de veiligheidsregio's, zie ook Bijlage III. Op basis van de uitkomsten van de impactanalyse wordt het handelingsperspectief per scenario vastgesteld. Handelingsperspectieven gaan vooral over veilig stellen van zoveel mogelijk levens. Goed inzicht in deze handelingsperspectieven geeft een fictief voorbeeld in Figuur 2-1¹. Er wordt onderscheid gemaakt in mate van onveiligheid van gebieden door gebruik te maken van kleurcoderingen en onderscheid te maken op postcodegebieden (A tot en met E).

¹ <http://onswater.ifv.nl/index.html> geraadpleegd 13 maart 2018.



FIGUUR 2-1 FICTIEF VOORBEELD RESULTATEN IMPACTANALYSE VEILIGHEIDSRGIO VOOR ENE OVERSTROMINGSSCENARIO (FIGUUR OVERGENOMEN VAN ([HTTP://ONSWATER.IFV.NL/INDEX.HTML](http://onswater.ifv.nl/index.html) GERAADPLEEGD 13 MAART 2018)). DE KLEUREN GEVEN MATE VAN (ON)LEEFBAARHEID AAN, DE WITTE VLEKKEN MET A TOT EN MET E DE POSTCODEGEBIEDEN WAAR MENSEN LEVEN.

Voor elk van de postcodegebieden wordt dan bepaald wat het handelingsperspectief is per dag gedurende de periode voorafgaand en tijdens de overstroming, zie Figuur 2-2 voor hetzelfde fictieve voorbeeld als Figuur 2-1.

Deelgebied	Dag -5	Dag -4	Dag -3	Dag -2	Dag -1	Overstroming	Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 4	Dag 5
Zwarte zone	Wegblijven uit het gebied	Preventief evacueren	Preventief evacueren				Redden	Redden	Redden	Redden	Redden
Postcode gebied A	Wegblijven uit het gebied	Preventief evacueren	Preventief evacueren	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Redden	Redden	Redden	Redden
Postcode gebied B1	Wegblijven uit het gebied	Preventief evacueren	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Redden	Redden	Redden	Redden
Postcode gebied B2	Wegblijven uit het gebied	Preventief evacueren	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Redden	Redden	Redden
Postcode gebied C	Wegblijven uit het gebied	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Redden	Redden	Redden
Postcode gebied D	Wegblijven uit het gebied	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Redden	Redden
Postcode gebied E	Wegblijven uit het gebied	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Schuilen	Zelf-standig gebied verlaten	Zelf-standig gebied verlaten	Zelf-standig gebied verlaten

FIGUUR 2-2 FICTIEF VOORBEELD VAN HANDELINGSPERSPECTIEF PER POSTCODEGEBIED. TABEL OVERGENOMEN VAN ([HTTP://ONSWATER.IFV.NL/INDEX.HTML](http://onswater.ifv.nl/index.html) GERAADPLEEGD 13 MAART 2018)

Dit is een inzichtelijk voorbeeld:

- Preventief evacueren is beperkt mogelijk;
- De laatste twee dagen voor de overstroming zijn gericht op schuilen en niet meer op evacueren;
- Nadat de overstroming heeft plaatsgevonden en de omstandigheden het toelaten ligt de aandacht op het alsnog weghalen van mensen uit het gebied.

Voor de drinkwaterbedrijven is van belang dat afhankelijk van de waarschuwingstijd voor een overstroming de toegang tot het gebied de laatste dagen voor de daadwerkelijke overstroming al serieus beperkt kan zijn en dat het wegennet vooral gebruikt wordt voor evacuatie. Er moet rekening mee worden gehouden dat de mobiliteit binnen het gebied en het kunnen bereiken van netwerkcomponenten (zoals pompen) beperkt mogelijk is. Noodmaatregelen zijn daarom beperkt mogelijk. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat werknemers van de drinkwaterbedrijven worden geëvacueerd of vast zitten in het gebied en niet in staat zijn om hun werk te doen.

Momenteel brengen de veiligheidsregio's de impact in kaart van de meest waarschijnlijk scenario's, zie ook Bijlage II. Het vervolg daarop is strategie bepaling bij overstromingen. Er is op dit moment geen inzicht in de herstelperiode. Er zijn geen afspraken met vitale infrastructuur wie, wat en hoe het eerst in het gebied aan het werk kan/moet om aan herstel te werken.

2.3 Keteneffecten

2.3.1 Telecommunicatie en ICT

In de handreiking impactanalyse ernstige wateroverlast en overstromingen voor veiligheidsregio's staan de risico's uitgewerkt voor de vitale infrastructuur, waaronder telecommunicatie (Oberije and Rosmuller, 2016).

- Delen van het ICT netwerk kunnen uitvallen direct of als keteneffect door de overstroming. Het betreft onderdelen als dataopslag, computer-, netwerk- en schakelapparatuur en ondersteunende voorzieningen. Denk bijvoorbeeld aan de datacentra rond Schiphol. Dit heeft mogelijk gevolgen voor de bereikbaarheid van gegevens en metingen, niet alleen voor medewerkers van de drinkwaterbedrijven, maar ook vanuit apparatuur, zoals pompen die worden aangestuurd op basis van sensormetingen.
- ICT is sterk afhankelijk van elektriciteit.
- De Noodcommunicatievoorziening van KPN zal naar verwachting niet goed werken.
- Het C2000 netwerk zal beperkt functioneren.

Aandachtspunten voor de drinkwaterbedrijven zijn:

- Ga na of de opslag van data (zoals leidingnetgegevens, sensorinformatie e.d.) en de back-up bestand is tegen overstromingen. In Nederland zijn back-ups van de systemen ingericht op basis van brandveiligheid, niet overstromingsrisico's. Zorg dat tijdens en na een overstroming medewerkers bij alle benodigde gegevens kunnen.
- Bekijk ook welke verbindingen er nodig zijn om bij alle benodigde gegevens te kunnen en of deze beschikbaar zijn in de periode van de overstroming en daarna.
- Ga er van uit dat voorafgaand, tijdens en na de overstroming geen communicatie mogelijk is door overbelasting en uitval van het telefoonnetwerk. Er is dus geen communicatie mogelijk met eventuele medewerkers in het gebied.

2.3.2 Gasnetwerk

Het gasnetwerk kent veel overeenkomsten met het drinkwaternetwerk. Lekkages in het gasnetwerk hebben een bijkomend risico van explosiegevaar. In gebieden met kans op schade aan leidingen is dit een aandachtspunt. Daarnaast kunnen bij overstromingen in het lage druk deel van het leidingnet door de druk van de waterkolom inwaterende lekken ontstaan. Als het gasnet volloopt met water, dan valt de distributie van gas uit (Interview G. Winter, veiligheidsregio Zaanstreek en Waterland).

Het gasgebruik kent een sterke afhankelijkheid van elektriciteit. Bij grootschalige uitval van elektriciteit zal ook geen gas worden gedistribueerd. De aandachtspunten voor drinkwaterbedrijven staan dan ook onder het kopje elektriciteit.

2.3.3 Elektriciteit

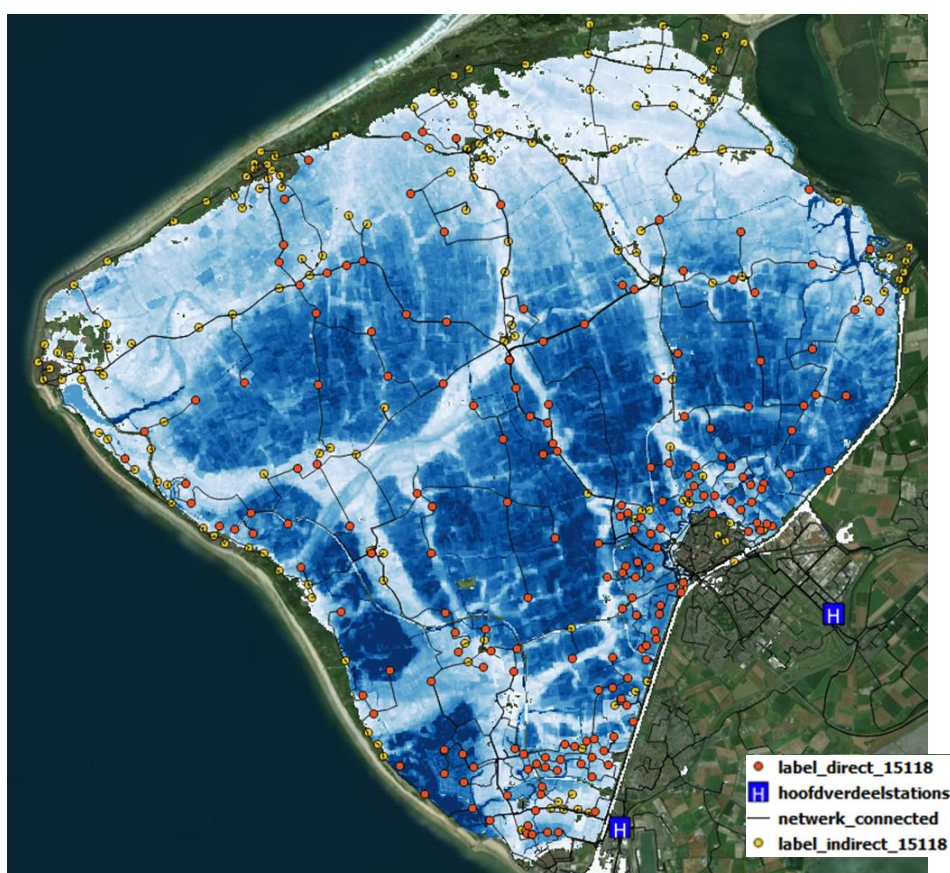
Elektriciteit kan uitvallen door beschadiging en kortsluiting of afschakelen om schade door kortsluiting te voorkomen. Voor het afschakelen van elektriciteit bestaat geen landelijke richtlijn en het beleid wisselt per bedrijf (Interview G. Winter, veiligheidsregio Zaanstreek en Waterland) en scenario. Er kan bijvoorbeeld gekozen worden om niet af te schakelen als het zolang mogelijk leveren van elektriciteit een groot voordeel heeft voor de evacuatie.

De drinkwaterlevering is afhankelijk van elektriciteit, bijvoorbeeld bij pompen, maar ook sensoren en telemetrie. Bij pompen is een wettelijke eis voor een noodstroomvoorziening van 10 dagen (Leerdam et al., 2018). Er is natuurlijk een kans dat ook de noodstroomvoorziening overstromd of beschadigd raakt, maar dit is geen keteneffect.

Een ander keteneffect is dat net zoals met gas veel mensen koken op elektriciteit (ongeveer 17% van de huishoudens, maar dit neemt toe), bij uitval van elektriciteit kunnen kookadviezen met betrekking tot het gebruik van drinkwater niet worden opgevolgd. Dit is het sterkste als zowel gas als elektriciteit uitvallen.

Een keteneffect is ook dat mensen bijvoorbeeld geen gebruik meer kunnen maken van wasmachines, hierdoor neemt de watervraag af, zie ook Agudelo-Vera et al. (2017) en paragraaf 2.4.

Figuur 2-3 laat een voorbeeld zien van de verwachte directe en indirecte uitval van verdeelstations op basis van de hoogte van de individuele stations in relatie tot de waterdiepte ter plaatse. Duidelijk is dat er een gedetailleerd beeld mogelijk is van de te verwachten stroomvoorziening. Daarnaast is te zien dat de uitval van elektriciteit doorzet buiten de overstromde gebieden. Dit is een aandachtspunt niet alleen voor elektriciteit, maar ook voor bijvoorbeeld telecommunicatie en gas. Een netwerk kan door uitval van een component tot buiten het overstromingsgebied uitvallen. Daarnaast is het ook mogelijk dat er schade optreedt buiten een overstromd gebied, bijvoorbeeld vanwege een orkaan in het kustscenario.



FIGUUR 2-3 DIRECTE EN INDIRECTE UITVAL VAN ELEKTRICITEIT ALS GEVOLG VAN EEN OVERSTROMING. ALLE VERDEELSTATIONS DIE DIRECTT UITVALLEN DOOR OVERSTROMEN ZIJN ROOD, ALLE VERDEELSTATIONS DIE UITVALLEN ALS GEVOLG VAN STORINGEN ELDERS ZIJN ORANJE (FIGUUR GEMAAKT MET 3DI DOOR NELEN&SCHUURMANS IN HET KADER VAN DE IMPACTANALYSE OVERSTROMINGEN VOOR DE PROVINCIE ZEELAND).

De komende decennia zal er een sterke toename zijn van het aantal woningen en bedrijven dat lokaal elektriciteit opwekt, bv. middels zonnepanelen. (Hierbij wordt wel aangetekend dat tenzij een gescheiden intern netwerk is gecreëerd, zonnepanelen uit veiligheidsoverwegingen uitschakelen als de elektriciteit uit valt). Echter het overgrote deel van ook de duurzaam opgewekte elektriciteit wordt nog steeds centraal of decentraal opgewekt en wordt dus wel via een net gedistribueerd. De verwachting voor de komende

decennia is daarom dat de keteneffecten van het elektriciteitsnetwerk bij overstromingen relevant blijven en mogelijk zelfs toenemen door onderlinge afhankelijkheden.

Aandachtspunten voor de drinkwaterbedrijven:

- Het gebied van uitval van elektriciteit kan kleiner, maar ook groter zijn dan het overstroomde gebied. Dit betekent dat ook buiten het overstroomde gebied pompen afhankelijk kunnen worden van de noodstroomvoorziening en sensoren en telemetrie kunnen uitvallen.
- Het kan zijn dat bij gecontroleerd afschakelen al in een periode voorafgaand aan de overstroming geen stroom meer wordt geleverd. Dit betekent dat de noodstroomvoorziening al moet worden aangesproken voordat de overstroming begint.
- Bewoners kunnen veelal geen kookadvies opvolgen bij uitval van de elektriciteit (tenzij via campinggas voorzieningen o.i.d.). Dit betekent dat bij twijfel over de kwaliteit van het geleverde drinkwater er andere strategieën moeten worden gebruikt om mensen van veilig drinkwater te voorzien tijdens een overstroming.

2.3.4 Riolering

In geval van een overstroming zal de riolering niet meer kunnen worden gebruikt. Dit heeft invloed op de watervraag, zie ook Agudelo-Vera et al. (2017) en paragraaf 2.4.

Een belangrijker effect is echter het mengen van ongezuiverd rioolwater met het overstromingswater. Uit ervaringen met bijvoorbeeld overstromingen in de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk bleek dat overstromen van rioolwaterzuiveringsinstallaties en vrijkomen van ongezuiverd water uit de riolering een serieus probleem voor de volksgezondheid vormde, zie ook Hoofdstuk 6. Voor het drinkwaternet is dit met name van belang (naast componenten van de drinkwatervoorziening buiten de scope van deze rapportage) in gebieden met veel schade aan het leidingnet. Als er drukverlaging in het net optreedt kan dit besmetting met vervuild water tot gevolg hebben.

Aandachtspunten voor de drinkwaterbedrijven:

- In het geval dat tijdens een overstroming sprake is geweest van lage druk, is het verstandig om aan te nemen dat besmetting met vervuild water heeft plaatsgevonden.

2.3.5 Wegennet

Wegen zijn van groot belang door de invloed op bereikbaarheid van de componenten van het leidingnet.

Voorafgaand aan een overstroming wordt de bereikbaarheid sterk gehinderd door bijvoorbeeld slechte weersomstandigheden in het geval van een storm of orkaan (kustgebied). Tevens wordt de infrastructuur ingezet voor evacuatie.

Na een overstroming zijn wegen beschadigd, weggespoeld en beperkt toegankelijk door puin en modder, zie ook Figuur 2-4. Het weghalen van dit puin door graafmachines kan tot graafschade leiden aan het drinkwaternetwerk, bijvoorbeeld in gebieden met bovengrondse brandkranen (zie ook Hoofdstuk 6). Een specifiek voorbeeld in veengebieden in Nederland is het gebruik van wegen met piepschuim fundering. Door opdrijven is er een kans dat deze wegen na een overstroming niet meer te gebruiken zijn (dit is genoemd door een deskundige van de provincie Noord-Holland tijdens de stakeholdersbijeenkomst van de

veiligheidsregio's, zie ook Bijlage III, maar niet verder onderzocht). Door de aanwezigheid van veengebieden is dit met name relevant voor DPWE-bedrijven.

Gerelateerd aan het wegennet is de beschikbaarheid van brandstof. Benzinstations zullen moeilijk tot niet te bereiken of te bevoorraden zijn, zelfs als de stations in principe nog werken.

Aandachtspunten voor de drinkwaterbedrijven:

- Houdt er rekening mee dat reparatieploegen die na de overstroming het gebied in moeten voertuigen moeten gebruiken die om kunnen gaan met wegen in slechte conditie, voldoende materialen mee moeten nemen voor elementaire reparaties aan het vervoersmiddel (zoals lekke banden) en voldoende reservebrandstof.
- Houdt er rekening mee dat niet alle wegen begaanbaar zijn in de periode na de overstroming.



FIGUUR 2-4 FOTO UIT DE LIMBURGER N.A.V. NOODWEER IN OOSTENRIJK (AUGUSTUS 2017) ([HTTPS://WWW.LIMBURGER.NL/CNT/DMF20170806_00044613/WEGEN-OOSTENRIJK-ONBEGAANBAAR-NA-NOODWEER-EN-MODDERSTROMEN GERAADPLEEGD 13 MAART 2018](https://www.limburger.nl/cnt/dmf20170806_00044613/wegen-oostenrijk-onbegaanbaar-na-noodweer-en-modderstromen-geraadpleegd-13-maart-2018)).

2.4 Waterverbruik tijdens overstromingen

Agudelo-Vera et al. (2017) hebben het waterverbruik onderzocht tijdens een grootschalige uitval van elektriciteit. Door ontbreken van watergebruikende apparatuur (zoals wasmachines), ontbreken van warm water, vollopen van riolering e.d. neemt het waterverbruik af tot zo'n 25% van het normale verbruik na 8 tot 10 dagen. Bij een overstroming zal deze afname sneller verlopen, bijvoorbeeld omdat de riolering niet geleidelijk volloopt, maar vrijwel direct gevuld is met overstromingswater. Het totale waterverbruik tijdens overstromingen is niet onderzocht, maar zal naar verwachting vergelijkbaar zijn met het verbruik tijdens grootschalige uitval van elektriciteit, zolang er nog tapkranen bereikbaar zijn (d.w.z. niet overstroomd). Als dit niet het geval is, is men

aangewezen op “hamsteren” in de periode voorafgaand aan de overstroming en van de nooddrinkwatervoorziening.

Als er helemaal geen kraanwater meer beschikbaar is, gaat de nooddrinkwatervoorziening uit van drie liter per persoon per dag op door gemeenten aangewezen distributiepunten. Deze distributiepunten zijn naar alle waarschijnlijkheid tijdens een overstroming niet bereikbaar, zowel niet voor de consumenten als voor het drinkwaterbedrijf.

Gedurende de overstroming zullen langzamerhand steeds meer mensen worden geëvacueerd, waardoor de drinkwatervraag in het overstromde gebied steeds verder afneemt en de watervraag buiten het overstromde gebied toeneemt, afhankelijk waar mensen worden opgevangen.

Na afloop van een overstroming zal niet iedereen tegelijk terugkeren, o.a. door de beperkte bereikbaarheid. Naar verwachting zullen steeds deelgebieden worden vrijgegeven. Als mensen terugkeren, neemt de drinkwatervraag snel toe. De drinkwatervraag is mogelijk tijdelijk zelfs hoger, omdat alles moet worden schoongemaakt.

Aandachtspunten voor bedrijven:

- De distributiepunten voor de nooddrinkwatervoorziening zullen meestal onbereikbaar zijn. Water kan alleen aan de randen van de overstromde gebieden worden geleverd, hiervoor moeten ter plekke punten worden ingericht.
- Naar verwachting is er voorafgaand aan de overstroming een piek in het waterverbruik gevolgd door een dal, na de overstroming zal de vraag weer oplopen.
- De beperkte watervraag kan zorgen voor een toename van waterdruk en een afname van stroomsnelheden in het leidingnet.
- Let ook op dat er ook gebieden zijn die niet zijn overstromd, maar door ketenwerking of cascade-effecten toch niet over nutsvoorzieningen beschikken. Ook zijn er locaties waar mensen naartoe worden geëvacueerd die een piek in drinkwatervraag zullen hebben.
- In gebouwen die gebruik maken van een hydrofoor om water op de hoogste verdiepingen te leveren, zal afhankelijk van de bouwhoogte geen drinkwater of drinkwater onder beperkte druk op de hogere verdiepingen kunnen worden geleverd.

3 Overzicht netwerkcomponenten en faalmechanismen

3.1 Productie

De productielocatie wordt in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. De aanname is dat bij overstromingen alles in het werk wordt gesteld om productielocaties in werking te houden of zo snel mogelijk weer werkzaam te hebben. Overigens wordt wel opgemerkt dat in beschrijvingen van effecten van overstromingen problemen met productielocaties en zuivering vaak worden benoemd en ook potentieel omvangrijk en langdurig zijn, zie de praktijkvoorbeelden in Hoofdstuk 6.

3.2 Transportnet en distributienet

Het transportnet is het netwerk dat het drinkwater van de productielocaties naar de distributienetten transporteert. Er zijn geen of een beperkt aantal aansluitingen van consumenten aanwezig. In deze rapportage worden de ruwwaterleidingen onder het transportnet geschaard, omdat ze vergelijkbare kenmerken hebben in relatie tot overstromingen. Het distributienet is het deel van het leidingnet waar het aangevoerde drinkwater onder de consumenten wordt gedistribueerd.

In onderstaande tabellen Tabel 3-1 en Tabel 3-2 worden de belangrijkste faalmechanismen benoemd en onderverdeeld in directe schade en gevolgschade. Voor de directe schade wordt onderscheid gemaakt in een aantal fases:

1. Initiële overstroming: de fase waarin het land overstroomt. De watermassa vormt een directe belasting voor het leidingnetwerk en de meeste verwoestingen aan huizen vinden plaats.
2. Overstroomd: de fase waarin het land overstroomt is, de stroomsnelheden zijn afgenomen en de grond verzadigt langzamerhand met water.
3. Drooglegging: de fase waarin de overstroming wordt beëindigd.
4. Herstel: de fase waarin het overstroomde gebied weer begaanbaar is.

TABEL 3-1 OVERZICHT VAN DIRECTE FAALMECHANISMEN EN GEVOLGSCHADE VOOR HET TRANSPORTNET ALS GEVOLG VAN OVERSTROMINGEN.

Netwerkcomponent	Directe faalmechanismen	Gevolgschade
Transportleiding met verbindingen	Bezijken of breuken door belasting waterdiepte (fase 1 en 2)	Instroom slib en vervuild water door drukverlies (fase 1,2 en 3)
Pomp	Uitval van telemetrie en sensoren, beschadiging motor en elektronica, drukverlies (fase 1 en 2)	Corrosie mechanische onderdelen (fase 2 en 3), drukverlies
Reinwaterkelder	Opdrijven, kans op scheuren (fase 1 en 2)	Instroom slib en vervuild water (fase 1, 2 en 3)
Kathodische bescherming (actief)	Kortsluiting (fase 1 en 2)	

TABEL 3-2 OVERZICHT VAN DIRECTE FAALMECHANISMEN EN GEVOLGSCHADE VOOR HET DISTRIBUTIENET ALS GEVOLG VAN OVERSTROMINGEN.

Netwerkkomponent	Directe faalmechanismen	Gevolgschade
Distributieleiding met verbindingen	Breuken, bezwijken (fase 1 en 2)	instroom slib en vervuild water (fase 1, 2 en 3)
Afsluiter, brandkraan		Versnelde corrosie door contact met zout water, slib en vuil in putje (fase 1, 2 en 3)
Sensoren en telemetrie Dienstkraan met aansluitleiding	Uitval (fase 1 en 2)	Vrije uitstroom door beschadiging huis (fase 1), instroom slib en vervuild water (fase 1, 2 en 3)

3.3 Faalmechanismen

De belangrijkste faalmechanismen zijn:

- Uitval van sensoren en telemetrie: hierdoor is geen inzicht meer in de druk in het netwerk en zijn pompen niet meer op afstand te bedienen.
- Overstromen motor en elektronica: het grootste gevaar hierbij is kortsluiting. Maar ook als er geen elektriciteit is, kan er schade ontstaan aan de onderdelen. Bij langdurige overstroming of contact met zout water is dit vaak niet meer te repareren.
- Lekkage: lekkages kunnen op een aantal manieren ontstaan:
 - Beschadiging door uitspoeling van grond, waardoor leidingen bloot komen te liggen:
 - Bij doorbraaklocaties;
 - Locaties waar stroming lokaal intensiveert;
 - Opdrijven van leidingen;
 - Expansie van bodem. Dit lijkt alleen relevant bij inundatie na zeer droge omstandigheden, bijvoorbeeld in kleibodems.
 - Extra zettingen door bijvoorbeeld klink.
 - Beschadiging door omvallende bomen;
 - Bij beschadiging van gebouwen, beschadiging van aansluitleidingen.
- Bezwijken of knik:
 - Ontstaan van onderdruk door leeglopende leidingen;
 - Belasting door waterdruk.

Aandachtspunten voor de drinkwaterbedrijven:

- Plaatsen van elektronica en motoren op locaties waar geen water kan komen, bijvoorbeeld door hoger plaatsen, voorzien van een hoogwaterdrempel of waterdicht uitvoeren (bijvoorbeeld een pompkelder).
- Herstel van beschadigde netwerkkonderdelen na een overstroming is vervelend, maar een groter probleem ontstaat als de druk tijdens de overstroming niet kan worden gehandhaafd. Op dat moment kan het drinkwater besmet raken door instroom van vervuild water en slib van buitenaf en kan er geen schoon drinkwater meer worden geleverd. In combinatie met de uitval van het gas- en elektriciteitsnetwerk houdt dan de drinkwaterlevering middels het leidingennet op en moet uitgeweken worden naar

alternatieven. Zolang de druk hoog genoeg blijft kan worden geleverd in gebieden waar het net niet te zwaar beschadigd is. Uitdaging is om ook bij uitval van sensoren in te kunnen schatten of de druk overal op peil kan worden gehouden.

- Controleer de noodstanden voor pompen en automatische afsluiters als gegevens van sensoren ontbreken. Bijvoorbeeld, een pomp zonder binnenkomende sensorgegevens die automatisch maximaal gaat pompen. Deze standen moeten zodanig zijn dat bijvoorbeeld reinwaterkelders, delen van het leidingnet niet kunnen worden leeggepompt en dat er geen waterslag wordt geïnduceerd.
- Beschadigingen aan reinwaterkelders hebben een grote impact en deze zijn niet snel te herstellen, dit soort beschadigingen moet dan ook worden voorkomen. Dit kan door de pompinstellingen te controleren, zodat de kelders niet leeg kunnen raken, maar ook door rekening te houden met overstromingen in het ontwerp. Zo kunnen kelders worden verzwaard of verankerd.

4 Effect van dijkdoorbraken op leidingnet

4.1 Introductie

De meest verwoestende effecten van een overstroming zijn te vinden bij de locaties van dijkdoorbraken. In en in de nabijheid van dijken kunnen ruwwater-, transport en distributieleidingen liggen. In dit hoofdstuk onderzoeken we daarom specifiek de omstandigheden in gebieden rond dijkdoorbraken en de effecten van die omstandigheden op het functioneren van leidingen. Daarnaast onderzoeken we de omvang van de gebieden met relevante effecten op het leidingnet.

Dijkdoorbraken leiden tot grote erosie- en stroomsnelheden. Dit kan leiden tot grote verschilzettingen en daarmee hoge spanningen in de leiding. Dit zal lokaal sterk verschillen. Ook kunnen de hoge stroomsnelheden direct schade aan de leiding geven als deze is blootgespoeld. In O'Donnell (2005) wordt gerapporteerd over het wegspoelen van bovengrondse olieleidingen als gevolg van overstroming door de kracht van het water. Li and al (2017) gebruiken een numeriek model om de spanningen in een gasleiding onder een overstroomde rivier te berekenen. De voornaamste krachten zijn het stromende water langs de leiding als gevolg van het wegspoelen van de grond.

4.2 De dijkdoorbraaklocatie

Een dijk is een door mensen gemaakte waterkerende constructie. Er is verschil tussen falen en bezwijken van dijken (TAW, 1998):

- Een dijk faalt als er niet aan de waterkerende functie kan worden voldaan (bv. het water stroomt over de dijk).
- Een dijk bezwijkt als er een verandering (verlies van samenhang of geometrie) optreedt die de waterkerende functie nadelig beïnvloedt (bv. een deel van de dijk slaat weg).

De meest grote gevolgen ontstaan in situaties waarin dijken bezwijken en falen als gevolg van hoog water, hier ligt in dit hoofdstuk de nadruk op.

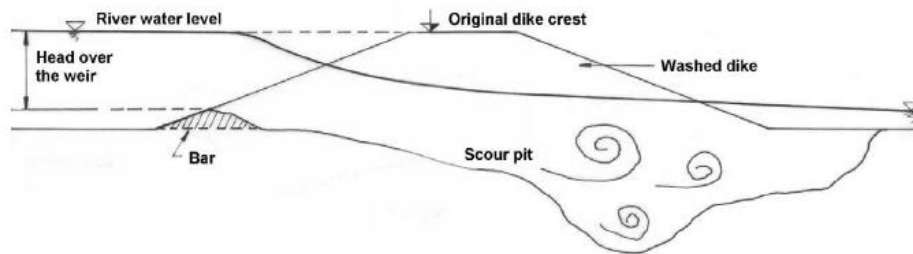
Naast dijken wordt water in Nederland ook gekeerd door duinen, kunstwerken en natuurlijke hoge gronden (bv. stuwwallen). Voor de DPWE gebieden zijn dijken en duinen het meest relevant.

Dijken zijn te onderscheiden in zeedijken, rivierdijken en meerdijken (waarbij boezemkeringen onder rivierdijken zijn meegenomen). Een dijk is in principe altijd opgebouwd met dezelfde elementen, maar het belang en de dimensionering van die elementen zijn verschillend voor de verschillende dijktypen door de verschillen in belasting. Zo wordt belasting op een rivierdijk vooral bepaald door langdurig hoge waterstanden, terwijl bij een zeedijk de belasting door golfslag veel belangrijker is (Gerven, 2004). In de DPWE gebieden zijn zowel zeedijken, rivierdijken als meerdijken aanwezig.

In Bijlage II staat een toelichting over de optredende mechanismen die leiden tot een dijkdoorbraak. Afhankelijk van o.a. de waterstanden, de hydraulische weerstand, materiaal

van de dijk, de opbouw van de dijk, bekleding, omstandigheden, bodem en omgeving ontstaat een doorbraak met verschillende karakteristieken, zie voor beschrijvingen o.a. (Gerven, 2004; Visser, 1998). Een schematische, globale doorsnede van een doorbraaklocatie staat weergegeven in Figuur 4-1 en bestaat uit:

- Een deel van de dijk die is weggeslagen; meestal zal binnen de doorbraaklocatie de gehele dijk wegslaan.
- Achter de dijk: achter de doorbraaklocatie vormt een wiel, of kolkgat ("scour pit" in Figuur 4-1). De ontwikkeling van dergelijke wielen is afhankelijk van bodemtype, faalmechanisme, stroomsnelheden, duur van de overstroming en omgeving. Bij doorbraken in zeedijken kan meer en langere tijd schuring ontstaan door de eb- en vloedwerking.



FIGUUR 4-1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN DOORBRAAKLOCATIE. FIGUUR OVERGENOMEN UIT (NAGY, 2006). DIT IS EEN STUDIE NAAR DOORBRAKEN LANGS RIVIEREN.

In een makkelijk erodeerbare bodem zal meer uitschuring zijn dan in een harde bodem. Uit het Nederlandse rivierlandschap blijkt duidelijk dat kolkgatvorming hier een gebruikelijk fenomeen is. Deze kolkgaten kunnen direct na de doorbraak wel 10-20 meter diep zijn, afhankelijk van de diepte waarop de Pleistocene zandlaag begint (Janssen, 2009). Zie voor voorbeelden van de overblijfselen van kolkgaten in het landschap Figuur 4-2.

Concluderend kan gesteld worden dat bij dijkdoorbraken de mate van erosie dusdanig is dat het leidingnet direct blootgesteld wordt aan de gevolgen van de overstroming. Een goede eerste schatting is dat leidingen in een weggespoeld dijklichaam bezwijken door de grote krachten die tijdens de doorbraak op de leidingen staan en het wegvallen van de steun van de omringende grond.



FIGUUR 4-2 KOLKGATEN IN EEMLAND (MONDING VAN DE EEM IN DE ZUIDERZEE). FOTO VAN WWW.GEOCACHING.COM, BOHOTEAM, HENK BOL.

4.3 Stroomsnelheden en erosie buiten de doorbraaklocaties

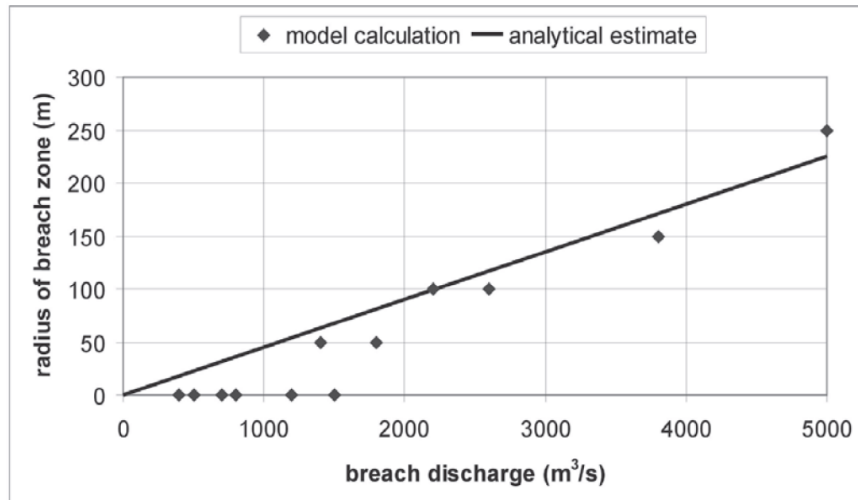
In een loss-of-life estimation studie heeft Jonkman (2007) een model gepresenteerd voor het berekenen van de doorbraakzone die in deze studie wordt gedefinieerd als de zone na de doorbraaklocatie waar twee criteria optreden, namelijk

1. Het product van waterdiepte en stroomsnelheid ($h \cdot v$) is groter of gelijk aan $7 \text{ m}^2/\text{s}$
2. De stroomsnelheid is groter of gelijk aan 2 m/s .

Dit zijn de omstandigheden waar metselwerk, beton en stenen huizen worden verwoest (Karvonen et al., 2000). We nemen aan dat dit ook een goede eerste indicatie geeft voor het gebied waarin verwoesting van het drinkwaternet optreedt, met name de huisaansluitingen.

Jonkman beschrijft een analytisch model waarin wordt uitgegaan van een volumebalans, en de volumestroom door de doorbraak zich radiaal symmetrisch verspreidt (halve cirkel vanaf de dijk). Met een dergelijk model berekent Jonkman een radiale omvang van de doorbraakzone van een paar honderd meter (250 meter bij een doorbraakdebiet van $5000 \text{ m}^3/\text{s}$), zie Figuur 4-3. Voor een idee van de orde grootte van een dergelijk debiet, dit komt

overeen met een breslengte in de dijk van 100 meter, met een 10 meter hoge waterstand en een stroomsnelheid bij de bres van 5 m/s.

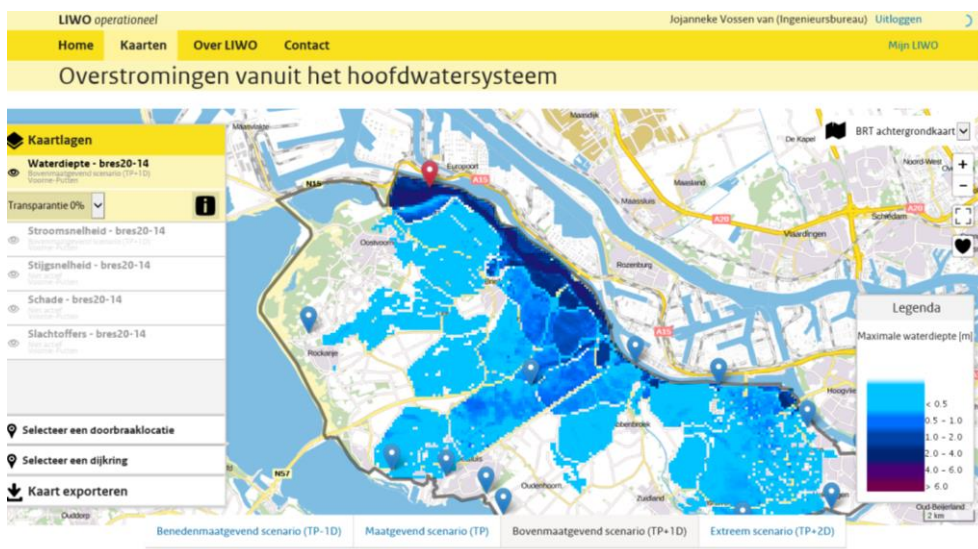


FIGUUR 4-3 SCHATTING VAN OMVANG DOORBRAAKZONE ALS FUNCTIE VAN HET DOORBRAAKVOLUME. FIGUUR UIT JONKMAN (2007).

Na de doorbraakzone kunnen stroomsnelheden en erosie lokaal toenemen, bijvoorbeeld rond verhoogde wegen of spoordijken waar de stroming wordt geconcentreerd. Figuur 4-4 en Figuur 4-5 geven voorbeelden van berekeningen voor een bovenmaatgevend scenario met een doorbraak bij Voorne-Putten. Duidelijk is dat zowel waterdieptes als stroomsnelheden lokaal sterk kunnen fluctueren, ook buiten de directe doorbraaklocatie.



FIGUUR 4-4 VOORBEELD STROOMSNELHEDEN NA DOORBRAAK BIJ LOCATIE VOORNE-PUTTEN, BOVENMAATGEVEND SCENARIO MET EEN STORMDUUR VAN 35 UUR, EEN POTENTIEEL AANTAL GETROFFENEN VAN 89,000 (ZONDER EVACUATIE) EN EEN SCHADE VAN 2600 ME. (BRON:LIWO)



FIGUUR 4-5 VOORBEELD MAXIMALE WATERDIEPTES NA DOORBRAAK BIJ LOCATIE VOORNE-PUTTEN, BOVENMAATGEVEND SCENARIO MET EEN STORMDUUR VAN 35 UUR, EEN POTENTIEEL AANTAL GETROFFENEN VAN 89.000 (ZONDER EVACUATIE) EN EEN SCHADE VAN 2600 MILJOEN €. (BRON:LIWO)

In Tabel 4-1 staan voor enkele bodemtypes maximaal toelaatbare stroomsnelheden voor erosie. Opgemerkt wordt wel dat de maximaal toelaatbare stroomsnelheden veel groter worden bij begroeiing of bestrating (zoals een grasdijk).

TABEL 4-1 MAXIMAAL TOELAATBARE STROOMSNELHEDEN (U_c) VOOR EROSIE VOOR VERSCHILLENDE BODEMTYPES. TABEL OVERGENOMEN UIT (GERVEN, 2004) UIT (VERHEIJ, 2002).

Bodemtype	U_c (m/s)	Bodemtype	U_c (m/s)
Klei, zeer goed	1,0	Slechte klei (slap)	0,4
Klei met 60% zand	0,8	Zand met 17% silt	0,2
Goede klei, weinig structuur	0,7	Zand met 10% silt	0,2
Goede klei, sterk gestructureerd	0,6	Zand met 0% silt	0,2

4.4 Functioneren leidingnet

Als we aannemen dat leidingen grote kans op schade hebben in omstandigheden waarin de bodem rond de leiding erodeert door de kracht van het water, dan is de kans hierop het grootst bij locaties:

- Waar leidingen in dijken liggen bij doorbraaklocaties, aangezien bij de meeste doorbraken de volledige dijk wegslaat;
- Waar leidingen zich in kolkgedeeltes bevinden, omdat deze substantieel dieper kunnen worden dan de diepte waarop de leidingen zich bevinden;
- Waar leidingen zich tot op een afstand van enkele honderden meters van een doorbraaklocatie bevinden. Dit komt grotendeels overeen met de omvang van het kolkgedeelte.
- Locaties in stroomgeulen of bij obstakels in het overstroomde gebied waar aan de eigenschappen van doorbraakzones worden voldaan, omdat hier gebouwen aanzienlijke schade oplopen en er daarmee ook een grote kans is op schade aan aansluitleidingen en binnenhuisinstallaties.

Aandachtspunten voor de drinkwaterbedrijven zijn:

- Niet iedere locatie binnen een dijktraject is even gevoelig voor doorbraken bij overstromingen. Bij Rijkswaterstaat en de waterschappen is bekend welke locaties de het meest kwetsbaar zijn voor doorbraken en hoe groot (meters dijk lengte) een doorbraaklocatie kan worden (R. Vergouwe and H. Sarink (eds.), 2016). Het is aan te bevelen deze locaties t.o.v. de leidingnetten te leggen en te bepalen of en welke leidingen er in gebieden met een hoger risico liggen. Het is aan te bevelen voor deze leidingen preventieve maatregelen te nemen, zoals compartimenteren en indien nodig te zorgen voor een alternatieve aanvoertracé. Op deze manier kunnen locaties met een hoger risico worden afgescheiden van de rest van het leidingnet.

5 Effect van overstromingen op de belasting van leidingen

5.1 Introductie

Naast de verwoestende omstandigheden bij doorbraaklocaties wordt het leidingnet in een overstromingsgebied als geheel ook blootgesteld aan een aantal processen die een belasting op het leidingnet kunnen geven. In dit hoofdstuk wordt Comsima ingezet voor het kwantificeren van deze belastingen, zodat duidelijk wordt of deze belastingen gevolgen hebben voor het functioneren van het leidingnet. In dit hoofdstuk worden alleen de leidingen zelf beschouwd, geen overige netwerkcomponenten zoals pompen, afsluiters, sensoren etc., zie ook Hoofdstuk 3.

Met Comsima kunnen de spanningen en hoekverdraaiingen als gevolg van diverse belastingen berekend worden voor ondergrondse leidingen (Wols and Moerman, 2017; Wols et al., 2015). Hierin kunnen de volgende belastingen meegenomen worden: verkeersbelasting, grondbelasting, interne druk en (verschil)zetting.

5.2 Optredende processen tijdens overstroming

Tijdens een overstroming treden verschillende processen op die mogelijk tot schade aan de leiding kunnen leiden:

- Uitspoelen van grond, zie ook Hoofdstuk 4.
- Opzwellen van kleigronden: kleigronden nemen het water op en zetten uit en leiden tot extra druk op de leiding en mogelijk verschilzettingen. In geotechnische literatuur wordt gewerkt met swell pressure als gevolg van opzwellen (Abbas et al., 2015; Kayabali and Demir, 2011). Waarden kunnen oplopen van 50-500 kPa, dit zou een erg grote belasting op de leiding zijn en lijkt niet realistisch voor de situatie bij overstromingen in DPWE gebieden. In sommige gebieden in het buitenland (bv. woestijngebieden VS met langdurige droogte gevolgd door snelle opzwellen bij regen of overstroming) wordt schade geobserveerd door dit mechanisme, in Nederland is er geen verband bekend tussen dit mechanisme en optredende storingen. Dit komt mogelijk omdat de grondwaterstanden in de kleigebieden meestal gereguleerd zijn, waardoor de uitdroging en de optredende effecten beperkt blijven. Dit proces is daarom niet meegenomen in de berekeningen.
- Opdrijven van leidingen, dit kan mogelijk optreden bij een overstroming vanaf zee of bij leidingenmaterialen met een laag soortgelijk gewicht (zoals PE). Als de opdrijvende krachten groter zijn dan de zwaartekracht, kan opdrijven optreden met gevulde leidingen. Door de grotere dichtheid van het zeewater zijn de opwaartse krachten op de leiding groter dan bij overstromingen met zoet water. Als de grond volledig verweekt is, met als gevolg drijfzand (soil liquefaction), ontstaat er een water-grond mengsel dat zich als een vloeistof met een hogere dichtheid dan water gedraagt. De opdrijvende kracht wordt hierdoor groter. Verweken van de grond treedt vooral op bij opwaartse stroming of na aardbevingen, de verwachting is dat dit niet zal gebeuren na een overstroming.
Het opdrijvende effect is veel sterker als leidingen zouden droogvallen. We nemen aan dat in praktijk de leiding altijd met water gevuld is, omdat droogval alleen kan optreden bij lekkage en bij lekkage de leiding volloopt met omgevingswater.

- Bezwijkten van leidingen door grotere bovenbelastingen op de leiding. Normaal gesproken zal het grondwater direct in verbinding staan met het overstromingswater, hierdoor zal de grondbelasting op de leiding ontlast worden. Wel kan er een externe waterspanning op de leiding komen, welke in de regel kleiner zal zijn dan de interne waterspanning. Als de leiding drukloos komt te staan, kan deze externe belasting wel een rol gaan spelen. Daarnaast, als het overstroomde water (nog) niet in contact is met het grondwater (bijvoorbeeld in slecht doorlatende kleilagen), zal dit als een extra belasting op de leiding kunnen meetellen.
- Vervormen van de leiding als gevolg van de externe waterdruk. Als de interne waterdruk wegvalt, kan de leiding als gevolg van de externe waterdruk vervormen (inknikken). Met behulp van theorie van Euler, kan de volgende uitdrukking gevonden worden voor de toelaatbare externe druk (uitgaande van geen interne druk, geen ondersteuning van de grond, wel opgesloten in lengterichting) (Young and Budynas, 2002):

$$P_{cr} = \frac{E}{4(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{R}\right)^3$$

Waarbij ν het Poisson-getal, t de wanddikte, R de straal en E de elasticiteitsmodulus.

Vanwege bovengenoemde processen veranderen de volgende belastingen op de leiding gedurende de overstroming:

- (verschil)zettingen;
- Externe waterdruk;
- Grondspanning (korrelspanning), neemt in eerste instantie toe omdat de overstroming als een extra gewicht op het maaiveld drukt, totdat de grond volledig verzadigd is en de korrelspanning juist afneemt vanwege de grotere oprijvende kracht;
- Verkeersbelasting, er zal geen verkeer meer aanwezig zijn bij ca. >0,25 m overstroming;
- Interne druk zal veranderen, omdat het gebruikspatroon verandert en mogelijk pompen in opjagerstations niet meer werken. Mogelijk dat op sommige plekken de druk wegvalt.

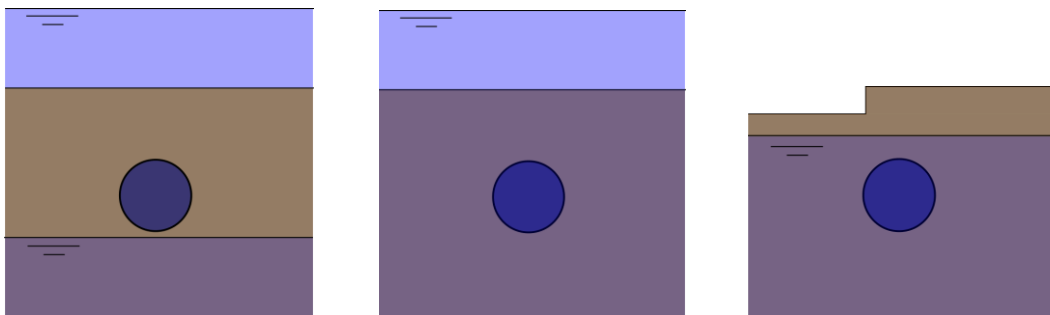
In dit project is een criterium voor opdrijven toegevoegd aan Comsima en een criterium voor vervormen door externe druk. Opdrijven treedt op als de opwaartse kracht groter is dan de neerwaartse kracht op de leiding. De opwaartse kracht is gelijk aan het volume van de leiding vermenigvuldigd met het soortelijk gewicht van het overstromende water (wet van Archimedes).

5.3 Overzicht door te rekenen scenario's en variaties in condities

Voor de inschatting van het effect van overstroming op de integriteit van de leidingen worden vier scenario's beschouwd:

1. In het begin van een overstroming is er een externe belasting door de overstroming (bij lage grondwaterstand, geen directe interactie tussen overstromingswater en grondwater, geen zetting, geen verkeer). Dit scenario is een worst case benadering, deze spanningen treden alleen op als de grond nog niet verzadigd is en er geen interactie tussen overstromingswater en grondwater optreedt, anders zal juist een opwaartse kracht op de buis werken. Dit scenario is daarmee kortdurend en/of met name van toepassing in slecht doorlatende gronden, zoals klei. Tijdens dit scenario

- gaan we uit van korteduur belasting na 100 uur (PVC), als de grond eerder verzadigd is, zal de PVC leiding in praktijk dus meer kunnen hebben *Toetsing op spanningen*.
2. Gedurende de overstroming is er een kans op opdrijven (de grondwaterstand loopt over in de overstroming, geen zetting, geen verkeer): *Toetsing op wel/niet opdrijven*
 3. Gedurende de overstroming is er een kans op vervormen (knikken) van leidingen door externe druk (de grondwaterstand loopt over in de overstroming, geen zetting, geen verkeer, geen interne druk). *Toetsing op wel/niet vervormen (knikken)*.
 4. Na de overstroming treden mogelijk (verschil)zettingen op als gevolg van de overstroming (lagere grondwaterstand, geen verkeer). *Toetsing op spanningen/hoekverdraaiing*.



FIGUUR 5-1 DWARSDOORSNEDES VAN DE BODEM TIJDENS DE SCENARIO'S MET IN BLAUW HET OVERSTROOMDE DEEL BOVENOP HET OPPERVLAK, IN BRUIN DE ONVERZADIGDE ZONE EN IN GRIJS DE VERZADIGDE ZONE. DE BLAUWE CIRKEL DUIDT DE LOCATIE VAN DE WATERLEIDING AAN. (LINKS) BEGIN VAN DE OVERSTROMING, SCENARIO 1, (MIDDEN) GEDURENDE DE OVERSTROMING, SCENARIO 2 EN 3, (RECHTS) NA DE OVERSTROMING (IN GEVAL VAN ZETTING), SCENARIO 4.

Voor ieder scenario worden diverse condities doorgerekend die relevant zijn voor de DPWE gebieden en Brabant Water. Tabel 5-1 geeft een overzicht van de condities. In Bijlage V staat een toelichting bij de keuzes voor veroudering van AC en verschilzettingen, alsmede een overzicht van de aannames. Het gedrag van de leidingmaterialen gewapend beton en verstrekt PVC zijn nog niet opgenomen in Comsima. Voor het verouderde AC is een afname van de wanddikte aangenomen van 30%, zie ook Bijlage V.

Voor het opdrijven (scenario 2) is de interne druk niet relevant. En vervormen (scenario 3) treedt alleen op zonder interne druk. Voor de overstromingsdiepte zijn waarden van 0,5m t/m 10 m genomen (Bron: LIWO). Voor het opdrijven is de overstromingsdiepte niet relevant (de opwaartse kracht is gelijk ongeacht de overstromingsdiepte).

TABEL 5-1 OVERZICHT VAN DE INVOERPARAMETERS VOOR COMSIMA PER SCENARIO

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Leidingmaterialen	AC, PVC, PE, GGIJ, NG, ST, verouderd AC	AC, PVC, PE, GGIJ, NG, ST	AC, PVC, PE, GGIJ, NG, ST	AC, PVC, PE, GGIJ, NG, ST, verouderd AC
Interne druk (bar)	0,3	-	0	0,3
Overstromingsdiepte (m)	0,5; 1; 2; 5; 10	-	0,5; 1; 2; 5; 10	0,5; 1; 2; 5; 10
Zoet of zout water	Zoet, zout	Zoet, zoet	Zoet, zoet	-
Verschilzetting (cm)	-	-	-	5, 10, 25, 50
Diameters (mm)	100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600			
Grondsoorten	Zand, veen, klei			

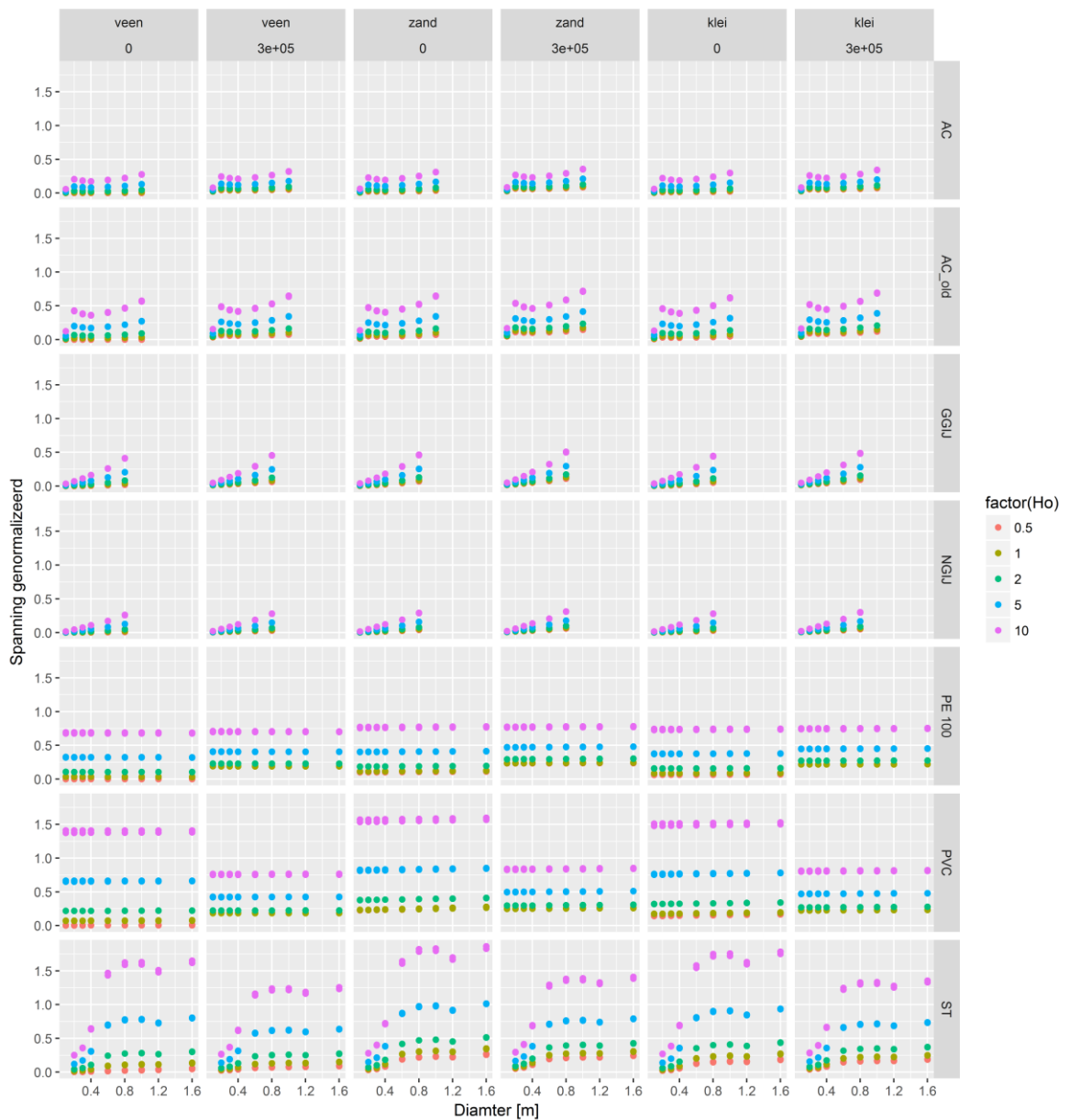
De genoemde diameters zijn niet voor alle materialen gebruikt, afhankelijk van de beschikbaarheid van wanddiktes. Voor AC zijn diameters t/m 1000 mm gebruikt en voor de gietijzer diameters t/m 800 mm.

PVC betekent in deze berekening PVC-U. Verstrekt PVC is sterker en zal beter presteren, maar er is nog te weinig bekend over de sterkte-eigenschappen om te kwantificeren hoeveel beter.

5.4 Resultaten berekeningen

5.4.1 Scenario 1

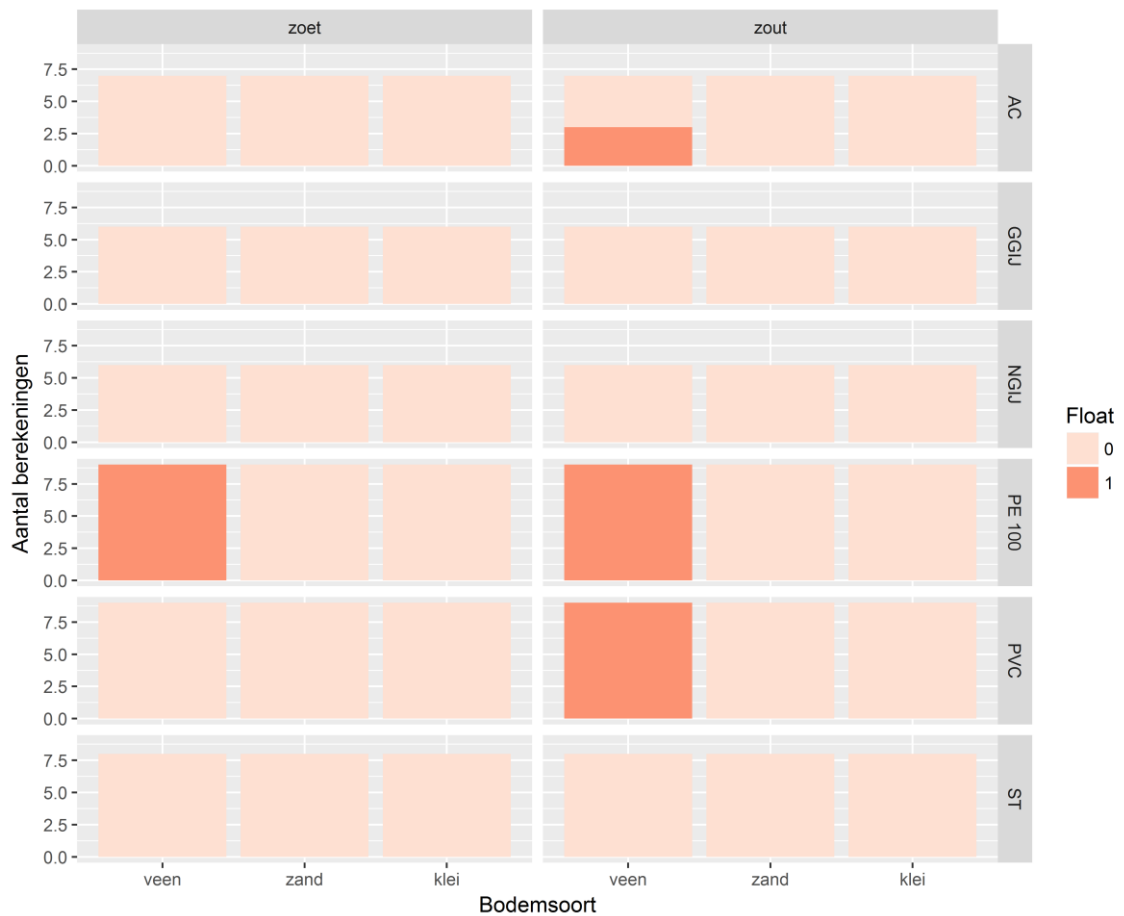
De berekende spanningen, genormaliseerd ten opzichte van de toelaatbare spanning zijn weergegeven in Figuur 5-2. Kritische situaties (waarbij de toelaatbare spanning overschreden wordt) lijken alleen voor te komen als de overstromingsdiepte groter is dan 5 m. Dit kan optreden bij PVC leidingen die drukloos zijn: door het wegvallen van de interne druk kan de leiding minder belasting opnemen. Stalen leidingen met grotere diameters lijken ook gevoelig voor de bovenbelasting van het water op het maaiveld, bij overstromingen meer dan 5 meter kan dit kritisch worden. Staal heeft echter nog een overcapaciteit, omdat het staal ook plastisch kan vervormen en daardoor hogere spanningen kan opnemen (in Comsima wordt gerekend met de vloeispanning van staal als toelaatbare spanning). In Comsima wordt niet gerekend met plastische deformatie, dus nader onderzoek is nodig om conclusies te trekken over de belastbaarheid van staal. Ook kan het zijn dat bij staal op kwetsbare locaties grotere wanddiktes zijn toegepast, de in de berekening gebruikte waarden vormen een standaard waar regelmatig van wordt afgeweken als de situatie daarom vraagt.



FIGUUR 5-2 MET COMSIMA BEREKENDE SPANNINGEN VOOR SCENARIO 1: EXTRA BELASTING DOOR WATER VAN OVERSTROMING ALS DE GROND NOG NIET VERZADIGD IS. DE KOLOMMEN REPRESENTEREN DE GRONDSOORTEN VOOR LEIDINGEN ZONDER INTERNE DRUK EN MET 3 BAR INTERNE DRUK (300 KPA). DE RIJEN REPRESENTEREN DE LEIDINGMATERIALEN. DE KLEUREN GEVEN DE OVERSTROMINGSDIEPTE AAN (IN M).

5.4.2 Scenario 2

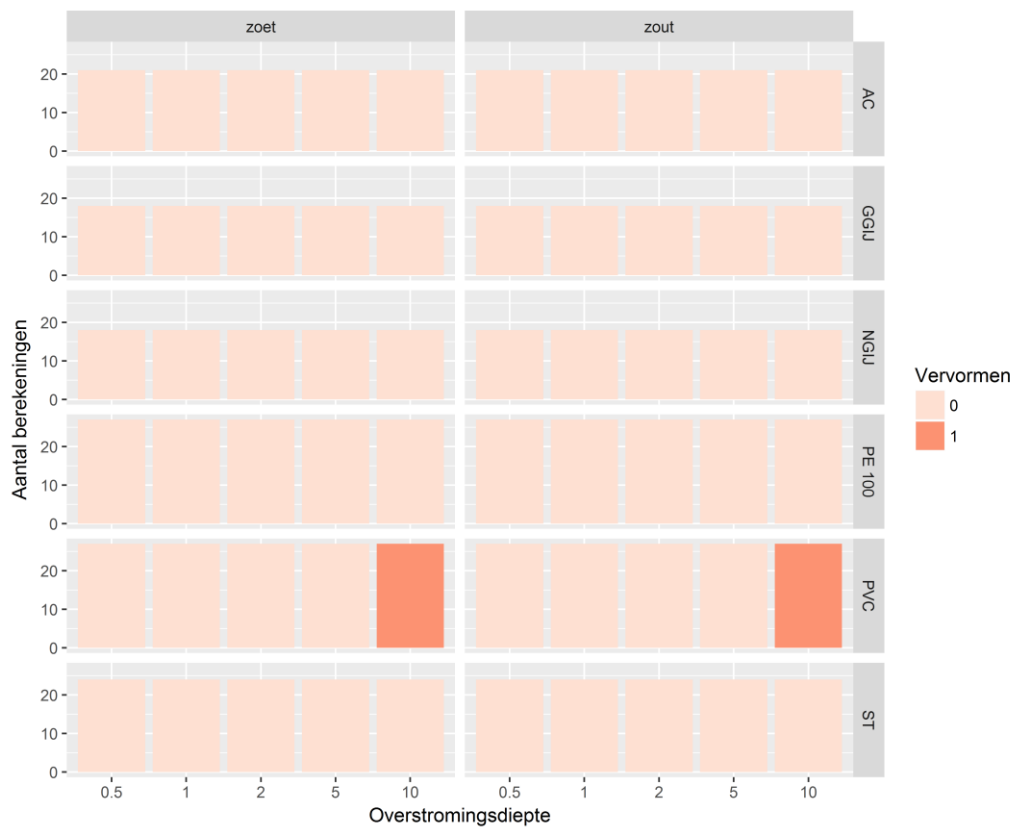
De kans op opdrijven is weergegeven in Figuur 5-3. Opdrijven treedt alleen op in veengronden, omdat het soortelijk gewicht van veen veel lager is dan van zand of klei. De PE leidingen in veengronden kunnen in principe altijd opdrijven, omdat PE lichter is dan water. Voor PVC leidingen kan opdrijven alleen optreden als het een overstroming met zeewater is. Een aantal AC leidingen loopt dan ook gevaar. De berekende resultaten laten zien of een situatie stabiel of instabiel is. Of opdrijven daadwerkelijk gebeurt zal ook afhangen van lokale effecten, zoals vastkleven aan de grond, verbindingen met andere leidingen, aanwezigheid van andere objecten in de grond.



FIGUUR 5-3 COMSIMA BEREKENINGEN VOOR SCENARIO 2: OPDRIJVEN VAN LEIDINGEN. DE KOLOMMEN LATEN DE BEREKENINGEN ZIEN VOOR ZOET OF ZOUT WATER PER GRONDSSOORT. DE RIJEN REPRESENTEREN DE LEIDINGMATERIALEN. DE KLEUR GEEFT AAN VOOR WELK AANTAL BEREKENINGEN (MET VERSCHILLENDE DIAMETERS) ER OPDRIJVEN KAN OPTREDEN (DONKER ORANJE).

5.4.3 Scenario 3

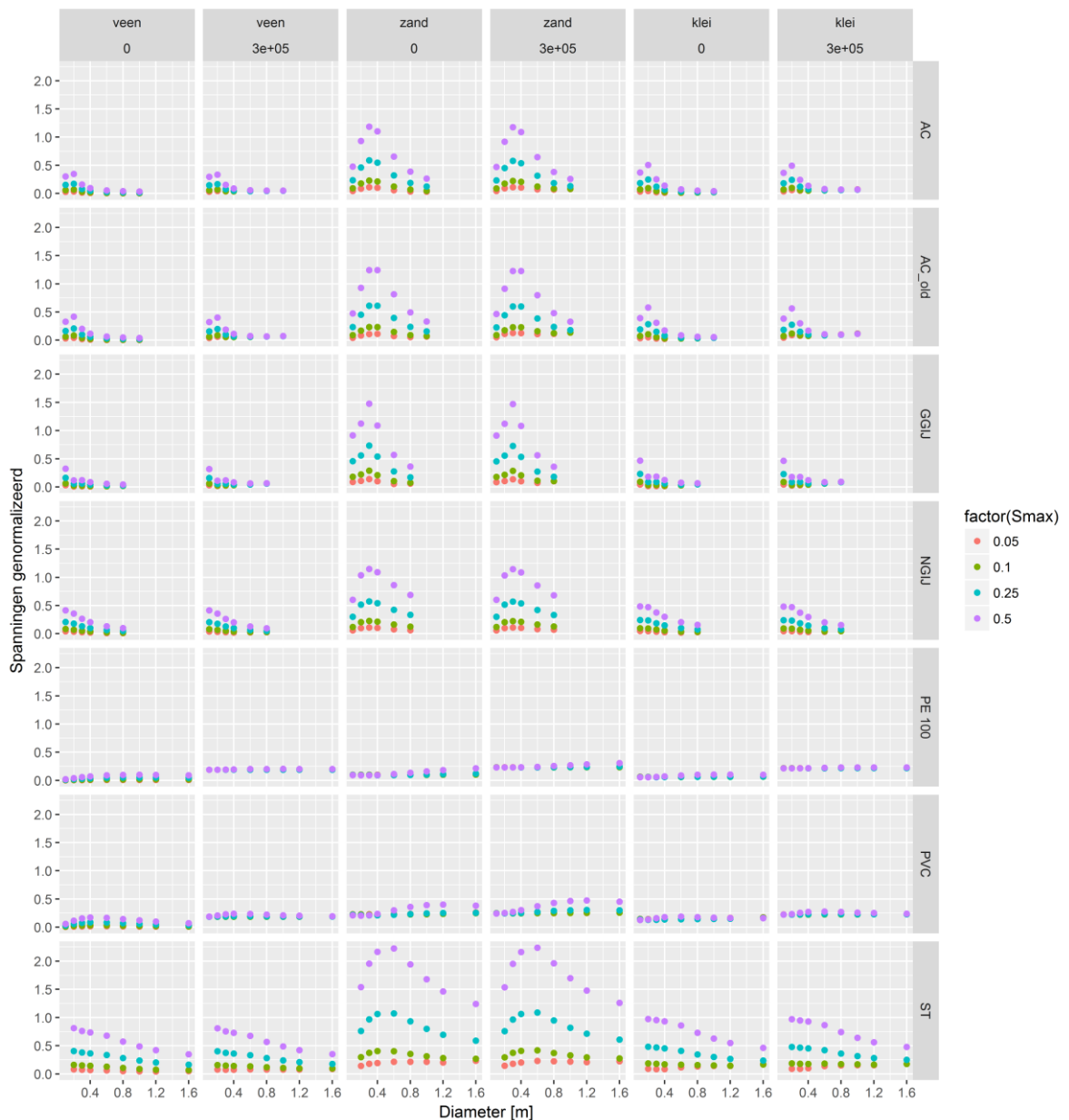
Het effect van vervormen (knikken) van leidingen als gevolg van de externe waterdruk is weergegeven in Figuur 5-4. Dit effect treedt nagenoeg niet op, slechts bij PVC leidingen bij een overstromingsdiepte van 10 m zou dit kunnen optreden.



FIGUUR 5-4 COMSIMA BEREKENINGEN VOOR SCENARIO 3: VERVORMEN VAN LEIDINGEN. DE KOLOMMEN LATEN DE BEREKENINGEN ZIEN VOOR ZOET OF ZOUT WATER. DE RIJEN REPRESENTEREN DE LEIDINGMATERIALEN. DE KLEUR GEEFT AAN VOOR WELK AANTAL BEREKENINGEN (MET VERSCHILLENDE DIAMETERS) ER OPDRIJVEN KAN OPTREDEN (DONKER ORANJE).

5.4.4 Scenario 4

Het effect van verschilzettingen als gevolg van een overstroming is weergegeven in Figuur 5-5. De precieze verschilzetting die een overstroming geven zijn moeilijk in te schatten en zullen lokaal sterk variëren. Daarom is gewerkt met een aantal verschilzettingen (van 5 t/m 50 cm) over een afstand van 6,25 m. Het effect in zandgronden is het sterkst, omdat deze grond veel stijver is en daardoor een grotere belasting aan de leiding geeft. Echter, de zettingen zullen normaal gesproken veel kleiner zijn in zandgronden (zie V.3). Dit effect kan eventueel wel optreden bij een overgang van veen of klei naar zandgronden. De PE en PVC leidingen zijn relatief flexibel en lijken de opgelegde zettingen aan te kunnen. Voor AC, gietijzer en staal treden de hoogste spanningen op bij diameters rond de 400-600 mm. Verouderd AC (met een afname van 30%) geeft slechts een hele lichte verhoging van de spanning. In het model wordt de buis namelijk ook slapper, omdat de wanddikte overal gereduceerd is tot 70% van de originele wanddikte, waardoor de buis makkelijker de zetting kan volgen. In de praktijk zal de reductie van wanddikte meer variëren, zodat lokaal de spanningen mogelijk wel hoger zijn. Naast spanningen kunnen er hoekverdraaiingen optreden. Deze overschrijden echter nergens de toelaatbare hoekverdraaiing van 5 of 6 graden voor een verbinding (zie Bijlage VI). Voor stalen leidingen lopen de spanningen net zoals voor scenario 1 ook op. Ook hier geldt dat het staal extra spanning kan opnemen door plastisch vervormen. Ook is voor staal aangenomen dat de verbindingen star zijn, zodat er geen zetting opgenomen kan worden door hoekverdraaiing.



FIGUUR 5-5 MET COMSIMA BEREKENDE SPANNINGEN VOOR SCENARIO 4: SPANNINGEN DOOR VERSCHILZETTINGEN. DE KOLOMME REPRESENTEREN DE GRONDSOORTEN VOOR LEIDINGEN ZONDER INTERNE DRUK EN MET 3 BAR INTERNE DRUK (300 KPA). DE RIJEN REPRESENTEREN DE LEIDINGMATERIALEN. DE KLEUREN GEVEN DE GROOTTE VAN DE VERSCHILZETTING AAN (IN M).

5.5 Aandachtspunten voor de drinkwaterbedrijven

Naast de doorbraaklocaties en locaties met grote potentie voor erosie zullen de leidingen bij de meeste overstromingen op de meeste locaties geen grote hinder ondervinden van de overstromingen. Mogelijke uitzonderingen zijn:

- Locaties waar in korte tijd een grote waterdiepte wordt bereikt. De belasting kan hier tijdelijk oplopen. Met name voor PVC, PE en stalen leidingen kan dit in combinatie met een slechte conditie zorgen voor bezwijken. Let wel, de berekeningen voor staal zijn met een standaard wanddikte berekend waarvan in praktijk regelmatig wordt afgeweken.

- In veengebieden met een overstroming met zout water kunnen PE, PVC en AC (grote diameters) leidingen opdrijven. In de DPWE gebieden komen veel veengebieden voor, wat betekent dat hier moet worden gecontroleerd op de leidingen goed zijn verankerd in de bodem.
- Bij overgangen van zand naar veen of van zand naar klei zijn de spanningen door verschilzettingen potentieel het grootst en kunnen voor alle materiaalsoorten, behalve PVC en PE voor bezwijken van leidingen zorgen. Overgangen tussen bodemsoorten zijn te vinden langs rivieren, in polders (bv. oude rivierbeddingen), maar ook in stedelijke omgevingen, waar de overgangen over een korte afstand plaatsvinden en veel overgangen te vinden zijn, zoals woonwijken die op opgespoten zand zijn gebouwd t.o.v. omliggende woonwijken. Door de mate van verstedelijking binnen de DPWE gebieden en het beheergebied van Brabant Water en het voorkomen van polders en rivieren binnen de beheergebieden, is dit een relevant probleem.

6 Praktijkvoorbeelden impact op functioneren drinkwatervoorziening

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staan de effecten van een aantal overstromingen in Nederland, Europa en daarbuiten. Lokale wateroverlast is in dit hoofdstuk buiten beschouwing gelaten, omdat ieder drinkwaterbedrijf daar ervaring mee heeft en hier meestal geen probleem aan het distributienetwerk of drinkwaterlevering bij ontstaat. De focus ligt in dit hoofdstuk daarom op bovenregionale overstromingen.

6.2 Overstromingen door orkanen

6.2.1 Watersnoodramp 1953 Nederland

In de nacht van 31 januari op 1 februari 1953 vond een grote overstroming plaats die in Nederland 1836 levens heeft gekost, in Engeland 307, in België 28 en op zee 224. De ramp werd veroorzaakt door een storm in combinatie met springtij. Op vele plaatsen in Zeeland, de Zuid-Hollandse eilanden en West-Brabant bezweken de dijken en in totaal zo'n 200.000 ha grond inundeerde. Er werden zo'n 4500 huizen en gebouwen verwoest (Bron: Wikipedia).

De storm zelf was lang, maar met een maximaal uurgemiddelde van windkracht 10 was de storm niet de zwaarste storm uit de historie. De extreme waterstanden maakten de gebeurtenis echter tot een extreem zeldzame. Binnen de twintigste eeuw is er geen vergelijkbare gebeurtenis (Bron: KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/watersnoodramp-1953>). Konnen and Brink (2008) argumenteren dat de gebeurtenis een herhalingstijd van ongeveer eens in de 500 jaar had, dit is echter op basis van statistische extrapolatie van 126 jaar waterstanden (Vlissingen, vanaf 1881 tot 2006) en vormt dus een schatting met een aanzienlijke onzekerheid.

In een extra nummer van Water (1954) is een overzicht gemaakt van de effecten van de overstroming op de drinkwatervoorziening in het getroffen gebied. In totaal werden 20 waterleidingbedrijven in enige mate getroffen, waarvan 10 een betrekkelijk korte onderbreking van de waterlevering hadden. De belangrijkste problemen van de overige 10 waren:

- Onderlopen van de vitale delen van de pompstations. Voor een deel werden de motoren tijdig losgekoppeld en omhoog gebracht. De overige moesten worden gedroogd en gerepareerd in machinefabrieken.
- In Dordrecht kwam de grondwaterwinplaats in de Nieuwe Stadspolder onder water.
- Ondergelopen reinwaterkelders;
- Bij 4 bedrijven beperkte de schade zich tot onderdelen van het leidingnet:
 - Schade aan de transportleiding (bijvoorbeeld Voorne-Putten van Spijkenisse naar Hellevoetsluis).
- Bij 6 bedrijven was er sprake van zware problematiek:
 - Pompstation voor lange tijd onder water door dijkdoorbraak ('s Gravendeel);
 - Verzoutte waterwinplaats (Middelburg);

- Zware schade aan transportleidingen en hoofdleidingen;
- Veel plaatselijke lekken in dienstleidingen door instorten van huizen en openstaande tapkranen vanwege de vlucht van de bewoners.

Doordat gebieden voor lange tijd (weken tot maanden) overstroomd waren en onder invloed stonden van getijden bleef er een periode een risico op uitschuring van geulen.

In de periode van de overstromingen is geprobeerd ondanks de schade de netwerken op druk te houden. Waar dit niet mogelijk was, is de levering (soms gedurende lange tijd) onderbroken.

In de periode tijdens en na de overstroming is de schade zoveel mogelijk hersteld. Er is zelfs met duikers geprobeerd om afsluiters te sluiten. Er zijn veel noodleidingen bovengronds aangelegd, zodat gebieden zo snel mogelijk van water werden voorzien en er is veel water op andere wijze aangeleverd, bijvoorbeeld met schepen.

Het zeewater zorgde bij stalen en gietijzeren leidingen voor versnelde corrosie (dit was ook de ervaring na de inundaties tijdens de Tweede Wereldoorlog).

6.2.2 Overstroming na orkaan Andrew, Zuid-Florida, 1992

De gevolgen van orkaan Andrew op de drinkwaterinfrastructuur in Zuid-Florida staan beschreven in Allouche et al. (2006) en Murphy (1994). Orkaan Andrew was van categorie 5 op de Saffir-Simpson schaal en kwam aan land in Zuid-Florida op 24 augustus 1992. Orkaan Andrew was de kostbaarste orkaan voor de Verenigde Staten tot Katrina in 2005.

De schade aan het drinkwaternetwerk bedroeg zo'n 25 tot 100 miljoen dollar (de schattingen lopen erg uiteen tussen de verschillende bronnen) met de meeste schade in Miami Dade County (Zuid-Oost Florida, momenteel zo'n 2,5 miljoen inwoners, waarvan in 1992 zo'n 500,000 inwoners waren geëvacueerd). De belangrijkste faalorzaken waren:

- Schade aan leidingen door omvallende bomen;
- Beschadigde aansluitleidingen (ca. 3000 in Miami Dade County (Larsen et al., 1996)) door beschadigingen aan de huizen met als resultaat vrije uitstroom en in combinatie met de uitval van elektriciteit tot drukverlaging (van zo'n 0,5 MPa naar 0,14 MPa (Larsen et al., 1996)).

Door de drukverlaging in de leidingen trad vervuiling van het netwerk op met kookadviezen tot gevolg. Alleen kon lang niet iedereen dit advies opvolgen door het gebrek aan voorzieningen, waardoor uiteindelijk veel mensen afhankelijk waren van flessenwater.

Herstelwerkzaamheden werden gehinderd door:

- Graafschade door andere opruim- en herstelwerkzaamheden, zoals het doorboren van drinkwaterleidingen bij herstel van elektriciteitsvoorzieningen en het beschadigen van brandkranen bij het opruimen van straten. Opgemerkt hierbij wordt dat in grote delen van Nederland brandkranen geen straatmeubilair zijn. Door Waternet is echter aangegeven dat in hun beheergebied wel degelijk aanzienlijke aantallen bovengrondse brandkranen aanwezig zijn.
- Gebrek aan benodigde reserveonderdelen om de schade te herstellen,
- Praktische bereikbaarheidsproblemen o.a. door blokkades op de wegen, maar bijvoorbeeld ook een tekort aan reservebanden vanwege de grote hoeveelheid lekke banden veroorzaakt door de slechte conditie van de wegen.

- Een hoog percentage van de medewerkers dat niet beschikbaar was,
- Uitgevallen communicatie.



FIGUUR 6-1 FOTO VAN BRANDKRAAN IN DE VERENIGDE STATEN (LINKS) EN NEDERLAND (RECHTS).

6.3 Overstromingen door hoge rivierafvoeren

6.3.1 Overstroming Maas 1993 en 1995

In december 1993 overstroomde de Maas na een periode van regen bovenstrooms door hoge waterstanden (zelfs met de hoogste afvoer ooit gemeten 3120 m³/s (Bleichrodt and Ensink, 1994). De Maas stroomt tussen Eijsden en Boxmeer in een natuurlijk dal zonder primaire keringen en van oudsher zijn in dit dal dorpen gebouwd. De hoge waterafvoeren in de rivier leidden daardoor tot overstromingen van 21.000 ha. Zo'n 10.000 mensen zijn geëvacueerd. In 1995 waren er opnieuw overstromingen, maar minder omvangrijk. Regenwater vanuit de Ardennen arriveert snel in Nederland, binnen een halve dag, terwijl de afvoer ten noorden van Maastricht trager is.

De volgende gegevens zijn verkregen op basis van communicatie met WML, specifiek met Henk Vogelaar (werkzaam bij WML vanaf 1995), Guy Fey (destijds engineer distributie en betrokken bij operationele problemen) en Peter van Diepenbeek (specialist hydrologie en ervaringsdeskundige door woonadres).

- Ondanks de overstroming bleef een deel van de bevolking in het gebied, onbekend welk percentage en dit verschilde per dorp. De resulterende watervraag is onbekend, maar naar alle waarschijnlijkheid tijdelijk minder. De benodigde watervraag kon worden geleverd zonder kookadviezen.
- De afvoergolf duurde enkele dagen tot een week en heeft niet tot schade aan het leidingnet geleid. Ook in de periode na afloop van de overstromingen zijn er niet meer storingen gemeld. Ook de huidige storingsfrequenties in het gebied wijken niet af van de rest van Limburg. In het overstroomde gebied liggen vooral stalen en AC leidingen.

6.3.2 Overstroming Red river, 1997, USA.

Dit was een overstroming in noord-Dakota veroorzaakt door hoge rivierafvoeren in het voorjaar, voornamelijk door het smelten van sneeuw. Het drinkwaternetwerk liep geen

schade op, waarschijnlijk omdat de overstroming relatief geleidelijk verliep en de waterleidingen diep lagen (ongeveer 2,5 meter). Wel was er schade aan aansluitleidingen en was er sprake van vervuild drinkwater door wegvallen van druk na het overstromen van de productiefaciliteit (Allouche et al., 2006).

6.3.3 Gloucester, 2007

Het voornaamste probleem lag bij de zuivering die moest worden afgesloten, waarna er geen levering van drinkwater via het distributienet meer mogelijk was. Vooafgaand aan de sluiting was het mogelijk om 20.000 huishoudens over te zetten naar een andere zuivering, uiteindelijk werden 140.000 huishoudens afgesloten. Na het nieuwsbericht nam het waterverbruik toe tot meer dan de dubbele hoeveelheid, waardoor voorraden snel waren uitgeput. Het drinkwater is vervolgens geleverd met flessenwater, tankwagens en tanks (Severn Trent Water, 2007). Severn Trent leverde in deze periode 10 tot 30 liter per persoon per dag (het wettelijk minimum was 10 liter per persoon per dag). Severn Trent Water geeft in hun evaluatie aan dat de levering via alternatieven aan een dergelijk grote populatie over een dergelijk lange periode geen acceptabele oplossing is, het bedrijf gaat daarom op zoek naar mogelijkheden om de robuustheid van het netwerk te vergroten.

Na opstarten van de zuivering ging Severn Trent Water binnen twee dagen van “Niet Drinken” naar “Kookadvies”. Het duurde vervolgens nog 4 dagen voor het water weer veilig was om te drinken.

Let op dat de getroffen huishoudens lang niet allemaal in het overstroomde gebied lagen, leveren van alternatieve drinkwatervoorzieningen was daarmee te realiseren. Het betekende echter ook dat het gewenste waterverbruik hoger lag dan de te leveren 10 liter per persoon per dag.

6.3.4 Overstroming Servië 2014

Zware regenval in mei 2014 op een moment dat de bodem al verzadigd was met regenval, zorgde voor grote overlast op de Balkan, waarbij Servië en Bosnië en Herzegovina de meeste schade leden. Officiële metingen suggereren dat na een week 1,6 miljoen mensen waren getroffen. Op de Balkan resulteerden de overstromingen in meer dan 2000 aardverschuivingen (Government of the Republic of Serbia, 2014; Möller et al., 2010).

Er vonden drie typen overstromingen plaats (Government of the Republic of Serbia, 2014):

- Flash floods met hoge intensiteit met verwoesting aan huizen, bruggen en wegdelen (bv. in Krupanj en Sabac);
- Omvangrijke overstromingen van stedelijke gebieden (bv. Obrenovac) en landelijke gebieden (rond Sabac);
- Verhoogde grondwaterstanden leidden op grote schaal tot aardverschuivingen met verwoestingen aan huizen, wegen en agrarisch land (rond Krupanj en Bajina Basta).

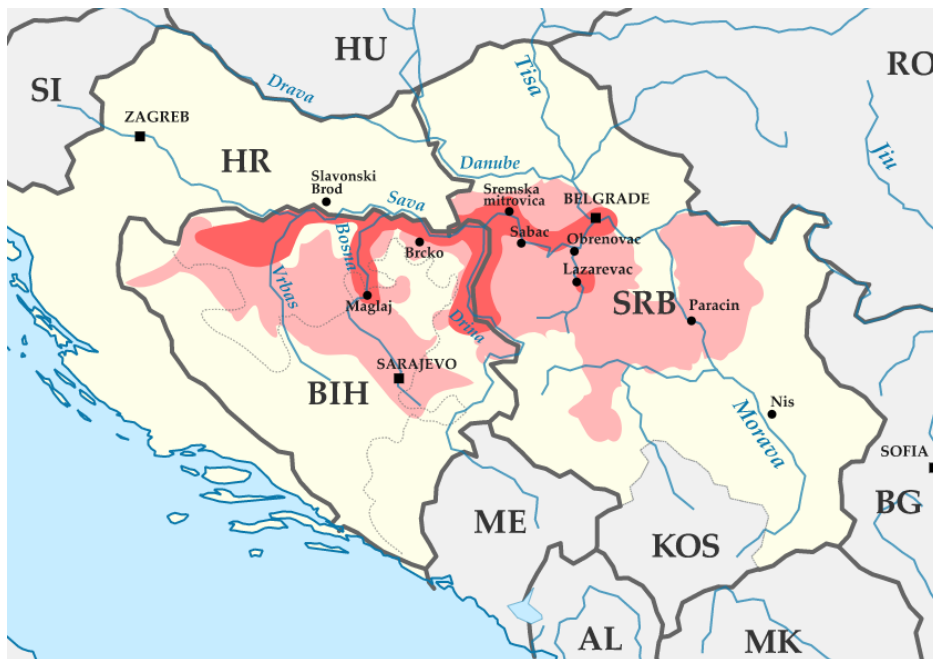
In Servië werden meer dan 30.000 mensen geëvacueerd. Er zijn op meerdere locaties dijkdoorbraken geweest.

In het gebied zijn gemeentelijke waterbedrijven verantwoordelijk voor het distribueren van drinkwater en het afvoeren van rioolwater. Drinkwaterbronnen variëren van karstbronnen tot grondwater en oppervlaktewater. Bronwater en grondwater zijn van dusdanige kwaliteit dat er meestal geen zuivering toegepast wordt. De belangrijkste schade behelsde:

- Directe schade aan het leidingnet;

- Schade aan elektrische componenten;
- Een aantal bronlocaties waren verwoest of dichtgeslibd met sediment.

In de meeste gemeenten die te maken hadden met overstromingen zijn er leveringsonderbrekingen geweest van een aantal dagen. De meeste overstroomde gebieden waren geëvacueerd, in de opvanglocaties was sprake van voldoende schoon water. Obronevac had de grootste schade en daar was de levering ten tijde van het opstellen van het rapport nog altijd niet volledig hersteld, het water werd nog altijd als niet drinkbaar gezien, dit was enkele maanden na de overstroming (Government of the Republic of Serbia, 2014).



FIGUUR 6-2 OVERZICHT OVERSTROOMDE GEBIEDEN OP DE BALKAN (2014). BRON: ARNOLDPLATON - OWN WORK, BASED ON EUROPEAN COMMISSION PRESS RELEASES FOR 16 MAY AND 20 MAY, ECHO/AFP MAP, THE GUARDIAN MAP AND AL-JAZEERA BALKANS INTERACTIVE MAP, CC BY-SA 3.0, [HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/W/INDEX.PHP?CURID=32882358](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32882358).

(Rancic) beschrijft in meer detail de situatie in Obronevac. Van de 70.000 burgers in het voorzieningsgebied waren er zo'n 30.000 geëvacueerd. De waterbron (grondwater) in dit gebied heeft wel zuivering nodig, in het distributienetwerk zijn verschillende drukzones met 15 pompstations. In het netwerk zijn 6 reservoirs en het netwerk is afhankelijk van elektriciteit. Rancic geeft een opsomming van de belangrijkste schade:

- Ondergelopen productiefaciliteit;
- Schade aan het leidingnet met schade aan de hoofdaanvoerleiding als belangrijkste probleem (diameter 600 mm);
- Schade aan AC leidingen door zettingen;
- Uitgevallen pompen.

De niet geëvacueerde inwoners zijn in eerste instantie van drinkwater voorzien met flessenwater, daarna met tankwagens vanuit Belgrado (2/3 van de tankwagencapaciteit van Belgrado werd hiervoor ingezet) en Bulgarije. Het vullen van de tankwagens gebeurde met water vanuit het waternet van Belgrado, 30 kilometer van Obronevac. Door de beperkte

toegankelijkheid van de wegen was het een uitdaging om voldoende tankwagens in Obronevac te krijgen. Hierna zijn lokale mobiele on-site zuiveringen geïnstalleerd, waarmee het acute probleem was opgelost.

6.4 Samenvatting

Allereerst wordt geconstateerd dat iedere overstroming anders is. Er zijn echter wel een paar gemene delers en aandachtspunten:

- Er ontstaan omvangrijke en langdurige problemen bij het overstromen van winningen en zuiveringen en bij vervuiling van het drinkwaternet door wegvallen van druk door lekkages. Het is daarom aan te bevelen om dit type schade zoveel mogelijk te voorkomen.
- Het herstel wordt bemoeilijkt door problemen met bereikbaarheid; het krijgen van de juiste apparatuur en de experts op de gewenste plek en vervolgens onder moeilijke omstandigheden werkzaamheden uit te voeren. Hoe groter de schade aan de omgeving, hoe moeilijker de omstandigheden waarin herstel moet plaatsvinden. Dit is een belangrijk aspect om rekening mee te houden bij het inschalen van de ernst van overstromingsscenario's.
- Er kan een piek in waterverbruik ontstaan in de periode voorafgaand aan de overstroming, omdat de mensen proberen om een voorraad aan te leggen.
- De gevolgen van overstromingen zijn groter als ze gepaard gaan met moeilijke weersomstandigheden (zoals orkanen), dijkdoorbraken of aardverschuivingen. Deze elementen zorgen voor schade en deze is ook nog eens moeilijk te repareren door bereikbaarheidsproblematiek.

7 Aandachtspunten mogelijke maatregelen

7.1 Indicatoren voor risicogebieden

In deze rapportage definiëren we de term risicogebieden als gebieden waar de drinkwaterlevering in gevaar komt bij overstromen. Dit is een andere betekenis dan bijvoorbeeld het risico op overstromen zelf. Als er een overstroming optreedt, dan zijn risicofactoren:

- Ligging van leidingen in of binnen een paar honderd meter van dijken met een verhoogde kans op doorbreken (er is een overzicht van potentieel zwakkere plekken bekend bij Rijkswaterstaat en de waterschappen);
- Bebouwing vlak naast doorbraakgevoelige gebieden, deze woningen hebben een verhoogde kans om in de doorbraakzone terecht te komen met als gevolg grote kans op grote schade aan de aansluitingen en daarmee kans op verlaagde druk en vervuiling van het leidingnet;
- Ligging in het westen van het land, vanwege de bijkomende weersomstandigheden bij overstromingsscenario's. Deze kunnen maatregelen negatief beïnvloeden, zorgen voor extra schade door bijvoorbeeld omvallende bomen en zorgen voor lastige bereikbaarheid bij herstel van schade.
- Dichtbevolkte delen van laag gelegen gebieden met als gevolg potentieel veel achterblijvers in overstroomd gebied met noodzaak tot levering van drinkwater in moeilijke omstandigheden, maar ook piekwatervraag in de waarschuwingsfase voorafgaand aan de overstroming;
- Overstromingsgevoelige gebieden met veel kwetsbare afnemers;
- Ligging in gebieden waar zeer grote overstromingsdieptes van meer dan 5 meter worden voorspeld (met name in het geval die overstromingsdieptes langer dan een paar uur aanhouden). Dergelijke overstromingsdieptes geven extra kans op schade aan leidingen in de eerste fase van een overstroming en vergroten daarmee de kans op verlaging van druk en vervuiling van het leidingnet.

7.2 Mogelijke maatregelen

De nadruk in deze rapportage ligt op in kaart brengen van effecten van overstromingen en niet op maatregelen. In dit hoofdstuk worden een aantal maatregelen en oplossingsrichtingen gesuggereerd.

Mogelijke maatregelen zijn in verschillende fases relevant:

1. Fase zonder indicatie op overstromingen:
 - a. Aanpassingen aan netwerkelementen en netwerkontwerp op robuustheid tegen overstromingen;
 - b. Voorbereiding aanpak en verantwoordelijkheden (rampenplannen en training).
2. Tijdens de waarschuwingsfase voorafgaand aan een overstroming: Voorbereidende maatregelen voor het in stand houden van drinkwatervoorziening;
3. Tijdens de overstroming: In stand houden van drinkwatervoorziening;
4. Na een overstroming: Herstel schade.

De verschillende fases met mogelijke maatregelen zijn hieronder verder uitgewerkt.

Fase 1: Fase zonder directe indicatie op overstromingen:

De meeste maatregelen in dit hoofdstuk zijn bedoeld tegen bovenregionale overstromingen van de categorie ROR of erger. Een aantal maatregelen zijn ook al relevant voor beperkte overstromingen zonder verwoestingen aan het leidingnet, zoals tegengaan van de kans op uitval van bovengrondse netwerkelementen. Mogelijke maatregelen tegen dit type overstromingen zijn relatief eenvoudig (en hebben ook meerwaarde bij ernstige overstromingen), zoals:

- Het verhogen of waterdicht uitvoeren van de gevoelige delen van de netwerkelementen, zoals de elektriciteitsvoorziening van pompen, motor, bedrading.
- Toevoegen van een drempel;
- Uitvoering van netwerkelementen standaardiseren, zodat snel herstel mogelijk is;
- De netwerkredundantie controleren op uitvalscenario's door overstromingen.

De periode voor maatregelen voor ernstige overstromingen is vanwege korte tijd en moeilijke bereikbaarheid in de periode voorafgaand aan een overstroming vaak beperkt tot maatregelen in het ontwerp (van het leidingnet, van apparatuur, van software), werkwijze en (beperkt) voorbereidingen in de waarschuwingsfase. Als drinkwaterbedrijf moet je dus een keuze maken met welke scenario's rekening moet worden gehouden in het ontwerp en de werkwijze. Voorbeelden van mogelijke maatregelen zijn:

- Controle van de opslaglocaties en mogelijkheden van benaderen van belangrijke gegevens;
- Ontwerp leidingnet:
 - De beste locaties voor afsluiters zijn bereikbaar tijdens overstromingen en bieden de mogelijkheid tot isoleren van kwetsbare gebieden.
 - Controleer of ruwwater- en transportleidingen bij doorbraakgevoelige locaties liggen. Als dit het geval is, dan kunnen maatregelen worden overwogen om
 - De leidingen te verplaatsen;
 - Redundantie van het systeem te vergroten door bijvoorbeeld extra aanvoerroutes te creëren;
 - De dijk te versterken zodat het geen doorbraakgevoelige locatie meer is.
 - Compartimenteren van het net, zodat problemen in één gebied geen cascaderwerking in andere gebieden geven:
 - De meest voor de hand liggende stap is het kunnen isoleren van voorzieningsgebieden;
 - Zorg dat kwetsbare locaties kunnen worden geïsoleerd;
 - Houd rekening met het redundant uitvoeren van netwerkelementen.
- Controle van de afstelling van pompen, zodat bij uitval van telemetrie en bediening op afstand de juiste stand wordt ingesteld. Dit om te voorkomen dat reinwaterkelders kunnen worden leeggepompt of dat productielocaties te veel of juist te weinig water een gebied in pompen.
- Standaardisering van netwerkelementen, zodat ze snel en makkelijk kunnen worden vervangen. Dit biedt overigens ook voordelen binnen assetmanagement.
- Gebruik robuuste materialen die niet gevoelig zijn voor (zout) water, zoals kunststoffen (waar geen risico op opdrijven is) en goede coatings.
- Geef voor overstroming kwetsbare gebieden een hogere prioriteit in het vervangingsprogramma om schade tijdens orkanen e.d. te voorkomen.

- Zorg voor goede werkinstructies voor personeel en houd oefeningen, doe ook mee aan oefeningen van de veiligheidsregio met andere vitale infrastructuur. Stem de werkinstructies af met andere drinkwaterbedrijven. Houd er rekening mee dat het eigen personeel onbereikbaar en niet beschikbaar is tijdens ernstige overstromingen.
- Ga na welk personeel in kwetsbare gebieden woont;
- Stem de drinkwaterlevering in de eerste dagen af met de veiligheidsregio's: waar is welke vorm van levering het meest nodig en mogelijk? RIVM gaat er vanuit dat het niet realistisch en haalbaar is om de achterblijvers op grote schaal nooddrinkwater te leveren en dat achterblijvers daarom voor enkele dagen drinkwater moeten hebben (Leerdam et al., 2018). Een alternatief zou een nooddrinkwatervoorziening aan de rand van het gebied zijn, in samenwerking met gemeenten of defensie.

Van belang hierin is de vraag wat acceptabel is tijdens een overstroming en wat niet. Wat is een acceptabel risico op uitval gedurende welk scenario? Bijvoorbeeld, uitval van de volledige drinkwaterlevering tijdens lokale regenwateroverlast die iedere 5 jaar voorkomt is niet acceptabel, maar is lokale uitval van de drinkwaterlevering tijdens een ROR scenario dat wel? Welke investeringen zijn gewenst om de drinkwaterlevering op peil te houden en schade te voorkomen?

Fase 2: Tijdens de waarschuwingsfase voorafgaand aan een overstroming:

Hoe catastrofaler de overstroming, hoe groter ook de kans is dat in de waarschuwingsperiode voorafgaand aan de overstroming en de eerste periode van overstromen zelf, weinig anders kan worden gedaan om de drinkwaterlevering te garanderen dan te zorgen dat zoveel mogelijk pompen de druk in het systeem zoveel mogelijk op peil houden. Daarnaast moet ervoor worden gezorgd dat zoveel mogelijk gegevens beschikbaar blijven tijdens de overstroming, zodat zo snel mogelijk duidelijk is wat er gebeurt in het overstroomde gebied.

Indien er nog mogelijkheden zijn om maatregelen in het gebied te nemen, kan dit bijvoorbeeld door:

- Het dichtzetten van kritische afsluiters om gebieden te compartimenteren, zodat problemen in één gebied de drinkwaterlevering in andere gebieden niet verstoort;
- Rekening houden met een piek in drinkwaterverbruik, omdat mensen water opslaan;
- Het leveren van flessenwater aan kritische locaties, zoals opvangcentra of andere locaties, waarvan bekend is dat veel mensen in het gebied blijven en waar waarschijnlijk een periode geen waterlevering mogelijk is;
- Voorbereiden van nooddrinkwatervoorzieningslocaties en afstemming met veiligheidsregio's en andere instanties die het water uiteindelijk het gebied in moeten brengen;
- Zorg ook voor de benodigde voorraden chloor op gewenste locaties;
- Voorlichting bieden aan consumenten wat zij zelf kunnen doen;
- Brengen van mensen en materieel naar veilige plekken van waaruit tijdens en na de overstroming hulp kan worden geboden;
- Reinwaterkelders volzetten en pompafstellingen controleren, zodat ze niet leeg kunnen worden gepompt;
- Verzamelen van flessenwater en tankwages voor levering tijdens de eerste fase van de overstroming;
- Distributie van waterzuiveringstabletten in de meest risicovolle gebieden;
- Klaarzetten en controleren van mobiele drinkwaterinstallaties en noodleidingen om snel drinkwaterlevering te kunnen hervatten.

Fase 3: Tijdens de overstroming:

Als een gebied is overstroomd, kun je als netbeheerder in elk geval tijdelijk niets doen in het gebied zelf (daarbuiten natuurlijk wel). Acties tijdens en na de overstroming zijn gericht op het leveren van drinkwater aan achterblijvers en evacuees en het beperken van de schade. De grootste problemen zijn te verwachten in omstandigheden met zeer zware storm of orkaan en dijkdoorbraken, omdat dan naast de doorbraaklocaties grootschalige schade in het gebied te verwachten is in combinatie met slechte bereikbaarheid, geen communicatie met het overstroomde gebied en overstroomde gebieden met veel (honderdduizenden tot miljoenen) achterblijvers. Zodra de storm is gaan liggen zal de focus liggen op evacuatie en voorzien van de achterblijvers van noodzakelijke overlevingsmiddelen. Voor de drinkwatervoorziening is de uitdaging om zo snel mogelijk water te leveren op welke manier dan ook. Als de kwaliteit van het drinkwater uit de kraan goed is, dan is dit geen probleem. Als dit niet zo is, dan kosten alle alternatieven tijd om op gang te brengen. Het is dus van belang dat achterblijvers voor de eerste periode zelf al water in huis hebben. Vewin heeft 16 augustus 2018 (Vewin, 2018) een nieuwsbericht laten uitgaan waarin wordt gesteld dat bij een dergelijke maatschappij ontwrichtende overstroming de drinkwaterbedrijven volgend zijn aan de veiligheidsregio's; ze zullen hun nooddrinkmateriaal beschikbaar stellen, maar transport in ondergelopen gebieden is de verantwoordelijkheid van de overheid. Dit betekent alsnog het nodige van de drinkwaterbedrijven. Mogelijkheden met aandachtspunten en afwegingen zijn:

- Communicatie naar achterblijvers in het overstroomde gebied: als er wel water uit de kraan komt, maar de kwaliteit is onvoldoende, wat en hoe communiceer je dan? Er is geen internet, er is geen telefoon, er kunnen geen brieven worden bezorgd. De overheid raadt mensen aan om een radio met batterijen in huis te hebben, radioboodschappen zijn daarmee waarschijnlijk de meest effectieve manier om mensen instructies door te geven.
- De nooddrinkwatervoorziening zo snel mogelijk benutten in aangepaste vorm:
 - Tijdens overstromingen kunnen niet alle distributiepunten van de nooddrinkwatervoorziening worden bereikt, omdat ze in het overstroomde gebied liggen. De levering van water kan alleen aan de randen van het overstroomde gebied en moet vanaf daar worden overgenomen door andere instanties die de beschikking hebben over boten en/of vliegtuigen of helikopters. Dat betekent dat afstemming vooraf nodig is.
 - Zeker bij slechte weersomstandigheden kan het enkele uren tot dagen duren voordat met boten of vliegtuigen op grote schaal het gebied van water en andere voorraden kan worden voorzien en als dit in gang is gezet kost het nog altijd tijd om iedereen in het gebied van water te voorzien.
- Alternatieve waterlevering naar de randen van het overstroomde gebied door bijvoorbeeld:
 - Tankwagens en flessenwater;
 - Het aanleggen van noodleidingen. Controleer of de verwachte diameter en lengte beschikbaar is;
 - Het opstellen van mobiele zuiveringsinstallaties en netwerken.
- Bij twijfel over kwaliteit van het geleverde water door onzekerheid over schade, drukverlies en verlies van sensoren in het gebied is er de mogelijkheid tot chloren. Dit zal vooral relevant worden als mensen geen kookadvies kunnen opvolgen (door uitval van elektriciteit en gas of door gebrek aan communicatiemogelijkheden) en er onvoldoende snel alternatieven bij achterblijvers kunnen worden gebracht. Er zijn een aantal aandachtspunten hierbij:

- Organisch materiaal oxideert en komt beschikbaar voor micro-organismen. Het is daarom belangrijk om gedurende de gehele benodigde periode (orde dagen tot weken) voldoende chloor te kunnen toevoegen.
- Houdt er rekening mee dat chloor tijdens een overstroming niet kan worden aangevoerd naar de pompstations en dat chloor lokaal moet zijn opgeslagen, lokaal moet worden geproduceerd of op een alternatieve wijze moet worden aangevoerd. Controleer de bereikbaarheid van de pompstations waar naar verwachting moet worden gechloord.
- Ga na hoeveel op locaties tijdens overstromingen tegelijk moet worden gechloord en of dit mogelijk is met de beschikbare installaties.
- Controleer hoe lang de gemiddelde verblijftijden in het distributienet zijn in de overstromde gebieden, houd er rekening mee dat het verbruik sterk zal zijn afgenomen en weeg dan de mogelijkheden om gechloord water bij de consumenten te krijgen tegen de andere opties om water te leveren. Uitgaande van een verblijftijd van 3 dagen is dit dus minimaal de benodigde tijd om gechloord water bij alle achterblijvers te krijgen.
- De periode met chloor rustig af te bouwen, het net goed te reinigen en een periode actief extra te bemonsteren.
- Afsluiterstanden optimaliseren, zodat een zo groot mogelijk deel van het leidingnet (of dat deel waarvan levering het sterkst gewenst is, bijvoorbeeld omdat veel mensen zich in een bepaald locatie bevinden) op druk kan worden gehouden;
- De pompen buiten het gebied optimaal benutten met hetzelfde doel als bij het optimaliseren van afsluiterstanden.

Fase 4: Na de overstroming:

Na de overstroming vindt het herstel plaats:

- Voldoende materieel aan monteurs meegeven om zelfredzaam te zijn in een moeilijk toegankelijk gebied. Dat betekent zaken als extra reserveonderdelen, voldoende voedsel, water, brandstof, goede (warme) kleding.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Aan de hand van verschillende scenario's voor mogelijke overstromingen is het effect van deze overstromingen op het functioneren van het leidingnet onderzocht.

Grootschalige effecten op drinkwaterlevering (los van eventuele effecten op de productielocaties) zijn alleen te verwachten voor grootschalige overstromingen, categorie ROR en erger. En dan met name overstromingen die gepaard gaan met extreme weersomstandigheden (zeer relevant voor DPWE gebieden) en dijkdoorbraken (vooral als deze transportleidingen treffen). Bij lokale overstromingen zullen naar alle verwachtingen gevolgen beperkt blijven tot schade aan bovengrondse, elektrische netwerkelementen, zoals pompinstallaties. Dergelijke kleinschalige effecten kunnen in het algemeen door netwerkredundantie worden opgevangen en/of snel hersteld.

Voor de grootschalige overstromingen gelden een aantal conclusies:

- Hoe catastrofaler de overstroming, hoe groter de kans op keteneffecten met andere vitale infrastructuur tot buiten het daadwerkelijk overstroomde gebied.
- Bij worst case scenario's met zeer zware stormen of orkanen in combinatie met dijkdoorbraken die drinkwaterleidingen treffen is met name de drinkwatervoorziening en communicatie in de eerste dagen na de overstroming een aandachtspunt. Als de veiligheid van het drinkwater niet kan worden gegarandeerd door de schade aan het netwerk, dan kan alleen via radio worden gecommuniceerd met achterblijvers. Bij alle alternatieve aanlevermogelijkheden (zoals aangepaste nooddrinkwatervoorziening in combinatie met boten en vliegtuigen, chloren, leveren flessenwater) kan het enige dagen kosten voordat alle achterblijvers voorzien zijn. Dit is met name relevant voor DPWE gebieden, omdat hier naar alle verwachting in dergelijke omstandigheden ook veel achterblijvers zijn. Het is te overwegen om de overheid te adviseren waterzuiveringstabletten in het standaard noodpakket op te nemen. Daarnaast moeten mensen in de waarschuwingsfase zoveel mogelijk water opslaan met alles wat in huis aanwezig is. Dit kan voldoende zijn voor de eerste paar dagen, waarna de voorziening hopelijk weer op gang is.
- De grootste kans op schade naast elektrische netwerkelementen ontstaat bij:
 - De directe omgeving van dijkdoorbraaklocaties en locaties waar bodemerosie optreedt door lokaal hoge stroomsnelheden;
 - Locaties waar in korte tijd een grote waterdiepte wordt bereikt. Met name voor PVC, PE en (niet overgedimensioneerde) stalen leidingen kan dit in combinatie met een slechte conditie zorgen voor bezwijken;
 - Locaties met overgangen in bodemtype wat tot aanzienlijke verschilzettingen kan leiden, zoals zand naar veen of klei;
 - Opdrijven van PE, PVC en (grote diameters) AC leidingen in veengebieden met overstroming met zout water.
- Herstel:
 - Er ontstaan omvangrijke en langdurige problemen bij vervuiling van het drinkwaternet door wegvallen van druk door lekkages;
 - Een uitdaging vormt het krijgen van de juiste apparatuur en de experts op de gewenste plek en vervolgens onder moeilijke omstandigheden werkzaamheden

uit te voeren. Hoe groter de schade aan de omgeving, hoe moeilijker de omstandigheden waarin herstel moet plaatsvinden.

8.2 Aanbevelingen

Als er een (grote) overstroming plaatsvindt, zijn de mogelijkheden om effecten te beperken, gelimiteerd. Het is daarom belangrijk al in de ontwerpfase van leidingnetten en in de operationele praktijk voorbereidingen te treffen, zodat als een overstroming zich aandient, effectief en efficiënt kan worden gereageerd. Het is daarom aan te bevelen onderstaande checklist uit te voeren. De hieronder genoemde checklist is relevant voor overstromingsscenario's van de omvang ROR en de Deltascenario's en is daarmee op hetzelfde niveau als de analyse van RIVM voor productielocaties (Leerdam et al., 2018).

Aandachtspunt	Checks voor drinkwaterbedrijven
Uitval van bovengrondse netwerkelementen, zoals pompinstallaties, door directe overstroming.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Controleer hoeveel drukverlies er op treedt bij uitval en of het systeem redundant is of kan worden gemaakt. 2. Voer maatregelen uit om pompinstallaties minder kwetsbaar te maken (zoals drempels, waterdicht uitvoeren van onderdelen, zie ook Hoofdstuk 7)
Verwoestingen door dijkdoorbaken of erosielocaties. Dit is alleen aan de orde voor scenario's met dijkdoorbraken en waar leidingen in of binnen een zone van een paar honderd meter liggen.	<ol style="list-style-type: none"> 3. Controleer hoeveel leidingen er op kwetsbare locaties liggen door de lijst met zwakke dijklocaties te vergelijken met het leidingnet. 4. Bepaal of deze locaties te isoleren zijn door bv. compartimentering.
Bezwijken van leidingen onder de belasting van de overstroming zelf, dit is alleen aan de orde in gebieden waar in korte tijd zeer veel water komt te staan.	<ol style="list-style-type: none"> 5. Controleer met LIWO of er locaties in het beheergebied zijn met overstromingsdieptes >5 meter en ga na of deze langer duren dan maximaal een paar uur. 6. Bepaal of deze locaties te isoleren zijn door bv. compartimentering.
De drinkwaterlevering in de eerste uren en dagen na de overstroming (in het worst case scenario van een orkaan met dijkdoorbraken)	<ol style="list-style-type: none"> 7. Besluit of chloren een optie is en zorg dan voor voldoende installaties en voorraad chloor. 8. Stem de drinkwaterlevering af met de veiligheidsdiensten, zodat de focus op de juiste locaties ligt. 9. Controleer de communicatiemogelijkheden om achterblijvers te waarschuwen als er geen veilig drinkwater beschikbaar is. 10. Ga na of er voldoende materiaal beschikbaar is voor het opstellen van mobiele zuiveringsinstallaties en noodleidingen op de locaties waar deze waarschijnlijk nodig zijn in geval van een overstroming.

	<p>11. Zorg dat in de waarschuwingsfase een piekhoeveelheid water kan worden geleverd.</p> <p>12. Verspreid in de waarschuwingsfase zoveel mogelijk water, middelen om water in op te slaan en zuiveringstabletten.</p>
Opdrijven van PVC, PE en grote diameters AC leidingen in veengebieden. Dit is alleen aan de orde bij overstromingen met zout water	<p>13. Controleer hoeveel PVC, PE en grote diameters AC er in veengebieden liggen met dreiging van overstroming uit zee.</p> <p>14. Controleer de liggingssomstandigheden om te beoordelen of er lokaal risico tot opdrijven bestaat.</p>
Bezwijken van AC, NGIJ, GGJ of stalen leidingen door verschilzettingen bij zand-klei of zand-veen overgangen	15. Controleer of er belangrijke leidingen op dergelijke locaties liggen.
Bereikbaarheid: het netwerk is door de overstroming zelf en door de omstandigheden (meteorologisch, wegen, brandstof) beperkt tot niet bereikbaar, waardoor schade niet kan worden hersteld en kans op drukverlaging optreedt. Drukverlaging treedt naar alle waarschijnlijkheid alleen op bij grote of heel veel schadegevallen	<p>16. Controleer waar medewerkers wonen en of ze beschikbaar zijn tijdens overstromingen.</p> <p>17. Controleer of de samenwerkingsafspraken met andere drinkwaterbedrijven voorzien in overstromingsscenario's.</p>
Keteneffecten met andere vitale infrastructuur: uitval van elektriciteit, gas waardoor kookadviezen niet kunnen worden opgevolgd. Uitval van telecommunicatie en ICT, waardoor het niet mogelijk is om te communiceren met bijvoorbeeld sensoren, pompen, personeel in en buiten het gebied. Maar ook het niet kunnen bereiken van bedrijfsdata, zoals leidingnetgegevens. Dit is sterk afhankelijk van de locatie van de overstroming en de wijze van opslag en back-up van gegevens. Keteneffecten kunnen optreden tot ver buiten het overstroomde gebied.	<p>18. Controleer de back-up locaties van data: blijven ze beschikbaar bij overstromingen?</p> <p>19. Controleer de noodstanden van pompen, zodat reinwaterkelders niet kunnen worden leeggepompt en de pompen het gewenste gedrag vertonen.</p>

Het is heel waardevol om te leren van omstandigheden en effecten van andere overstromingen. Het is aan te bevelen om een database op te zetten met internationale ervaringen en deze up-to-date te houden met informatie van recente overstromingen.

9 Referenties

- Abbas, M. F., Elkady, T. Y., and Al-Shamrani, M. A., 2015, Evaluation of strain and stress rates of a compacted highly compacted soil using a thin-walled oedometer, *Engineering Geology* 193:132-145.
- Agudelo-Vera, C. M., Mesman, G. A. M., Blokker, E. J. M., and Adamse, E., 2017, Drinkwaterverbruik tijdens een grootschalige en langdurige elektriciteitsuitval, in: *H2O-Online*.
- Allouche, E. N., R.L. Sterling, E. Chisolm, D. Hill, and Hall, D., 2006, From Winnipeg to New Orleans - Performance of buried urban infrastructure during major floods, in: *1st International Construction Specialty Conference*, Alberta, Canada, 23-26 May 2006.
- Beuken, R. H. S., and Mesman, G. A. M., 2011, Kennissysteem Levensduurbepaling Versie 2.0, KWR, Nieuwegein, BTO 2011.113(s), pp. 40.
- Bleichrodt, G., and Ensink, E. F. J. M., 1994, De Maas slaat toe, Rijkswaterstaat, directie Limburg, Maastricht.
- Bruggeman, W., Dammers, E., Born, G. J. v. d., Rijken, B., Bommel, B. v., Bouwman, A., Nabielek, K., Beersma, J., Hurk, B. v. d., Polman, N., Linderhof, V., Folmer, C., Huizinga, F., Hommes, S., and Linder, A. t., 2013, Deltascenario's voor 2050 en 2100; nadere uitwerking 2012-2013, In opdracht van Ministerie van I&M, DG Ruimte en Water en Rijkswaterstaat WVL
- Dammers, E., Born, G. J. v. d., Bruggeman, W., Hurk, B. v. d., Beersma, J., Polman, N., and Folmer, C., 2014, Verhaallijnen van de deltascenari'o's voor 2050 en 2100: achtergrondstudie, PBL (planbureau voor de leefomgeving), rapportnummer 1195, Den Haag.
- De Nederlandse Waterbedrijven in het rampgebied in 1953, 1954, Waterlood door watersnood, *Water Extra nummer, 1 februari 1954*.
- Gerven, K. A. J. v., 2004, Dijkdoorbraken in Nederland: ontstaan, voorkomen en bestrijden, in: *Msc thesis, Faculty of civil Engineering and Geosciences TU Delft, Delft*.
- Government of the Republic of Serbia, 2014, Serbia Floods 2014, Government of the Republic of Serbia, Belgrado.
- Haarsma, R. J., Hazeleger, W., Severijns, C., H. de Vries, Sterl, A., Bintanja, R., G.J. van Oldenborgh, and Brink, H. W. v. d., 2013, More hurricanes due to hit western Europe due to global warming, *Geophysical Research Letters* 40:1783-1788.
- HKV Lijn in water, 2008, Overstromingsscenario's voor rampenplannen; benedenrivierengebied (Rijkswaterstaat en Programmabureau Nationale Veiligheid, ed.), Lelystad.
- <http://onswater.ifv.nl/index.html> geraadpleegd 13 maart 2018.

https://www.limburger.nl/cnt/dmf20170806_00044613/wegen-oostenrijk-onbegaanbaar-na-noodweer-en-modderstromen geraadpleegd 13 maart 2018.

Janssen, C., 2009, Doorbraakgaten, Naturalis, www.geologievannederland.nl/landschap/landschapsvormen/doorbraakgaten.

Jonkman, S. N., 2007, Loss of life estimation in flood risk assessment; theory and applications, in: *PhD thesis, Department of civil engineering and geosciences*, TU Delft, Delft.

Karvonen, R. A., A. H., Huhta, H. K., and Louhio, A., 2000, The use of physical model in dambreak analysis, RESDAM final report, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland.

Kayabali, K., and Demir, S., 2011, Measurement of swelling pressure: direct method versus indirect methods, *Canadian Geotechnical Journal* **48**:354-364.

Konnen, G. P., and Brink, H. W. v. d., 2008, Extreme stormen en superstormen, *Zenit, januari 2008*.

Larsen, T., Porter, K., Zadeh, M., Anne, C. V., and Scawthorn, C., 1996, Impact of Hurricane Andrew on performance, interaction, and recovery of lifelines, National Science Foundation, Arlington, USA.

Leerdam, R. C. v., N.G.F.M. van der Aa, and Dik, H. H. J., 2018, De impact van overstromingen op de drinkwatervoorziening; Deltaprogrammascenario's, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) (concept).

Li, S., and al, e., 2017, Failure analysis of the floating pipeline with defect under flooding load, *Engineering Failure Analysis* **77**:65-75.

Locher, W. P., and Bakker, H. d., 1990, Bodemkunde van Nederland. Deel 1: Algemene bodemkunde, Malmberg, Den Bosch.

Möller, A., Ahrens, L., Surm, R., Westerveld, J., van der Wielen, F., Ebinghaus, R., and de Voogt, P., 2010, Distribution and sources of polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the River Rhine watershed, *Environmental Pollution* **158**(10):3243-3250.

Murphy, M., 1994, Weathering the storm, *AWWA Journal* **86**:74-83.

Nagy, L., 2006, Estimating dike breach length from historical data, *Periodica Polytechnica ser. civ. eng.* **50**(2):125-139.

Nieuwenhuis, S., Teunis, B., Vries, H. d., and Kort, B., 2015, Landelijk Draaiboek Hoogwater en Overstromingen Watermanagement Centrum Nederland (WMCN).

O'Donnell, H. W., 2005, Investigation of flood induced pipeline failures on lower San Jacinto River, in: *Pipeline Division Specialty Conference 2005*.

Oberije, N., and Rosmuller, N., 2016, Handreiking impactanalyse ernstige wateroverlast en overstromingen voor veiligheidsregio's.

R. Vergouwe, and H. Sarink (eds.), 2016, De veiligheid van Nederland in kaart, Rijkswaterstaat Projectbureau VNK.

Rancic, M., Water and sanitation emergency management in Obronevac municipality during the Serbia floods 2014.

Rijken, B., Bouwman, A., Hinsberg, A. v., Bommel, B. v., Born, G. J. v. d., Polman, N., Linderhof, V., Michels, R., and Rijk, P., 2014, Regionalisering en kwantificering verhaallijnen deltascenario's, PBL in samenwerking met LEI Wageningen UR, publicatienummer 1194, Den Haag.

Rijkswaterstaat, <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema's/wateroverlast-0/normen-wateroverlast/>, februari 2018.

Rijkswaterstaat Waterdienst, 2008, Capaciteitenplanning Ernst Denkbare Overstromingsscenario's, Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad.

Severn Trent Water, 2007, Gloucestershire 2007: the impact of the July floods on the water infrastructure and customer service.

Stichting Rioned, Leidraad Riolering, B2200 Functioneel ontwerp: inzameling en transport van hemelwater.

TAW, 1998, Grondslagen voor waterkeren, Rotterdam.

Verheij, H. J., 2002, Time-dependent breach development in cohesive material. , Hand Out Impact Project Workshop, WL Delft Hydraulics.

Vewin, 2018, Meerlaagse veiligheid in de drinkwaterpraktijk, http://www.vewin.nl/nieuws/paginas/Meerlaagse_veiligheid_in_de_drinkwaterpraktijk_958.aspx, geraadpleegd 18-10-2018.

Visser, P. J., 1998, Breach growth in sand-dikes, in: *PhD-thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences*, TU Delft, Delft.

Wavin, Handboek water- en rioolleidingen. https://www.wavin.com/nl/nl/download/S051_74b115ef-a7bc-43f9-acec-1ae249a74e01_21649.

Wols, B. A., and Moerman, A., 2017, Verouderingsmodule voor spanningsberekeningen in leidingen met Comsima, KWR, Nieuwegein, BTO 2017.074, pp. 37.

Wols, B. A., Moerman, A., and Vertommen, I., 2015, Comsima: model voor spanningen op ondergrondse leidingen, KWR, Nieuwegein, BTO 2015.082, pp. 57.

Wols, B. A., van Summeren, J., Mesman, G. A., and Raterman, B., 2016, Fysieke kwetsbaarheid leidingnet voor klimaatverandering, KWR, Nieuwegein, BTO 2016.016, pp. 87.

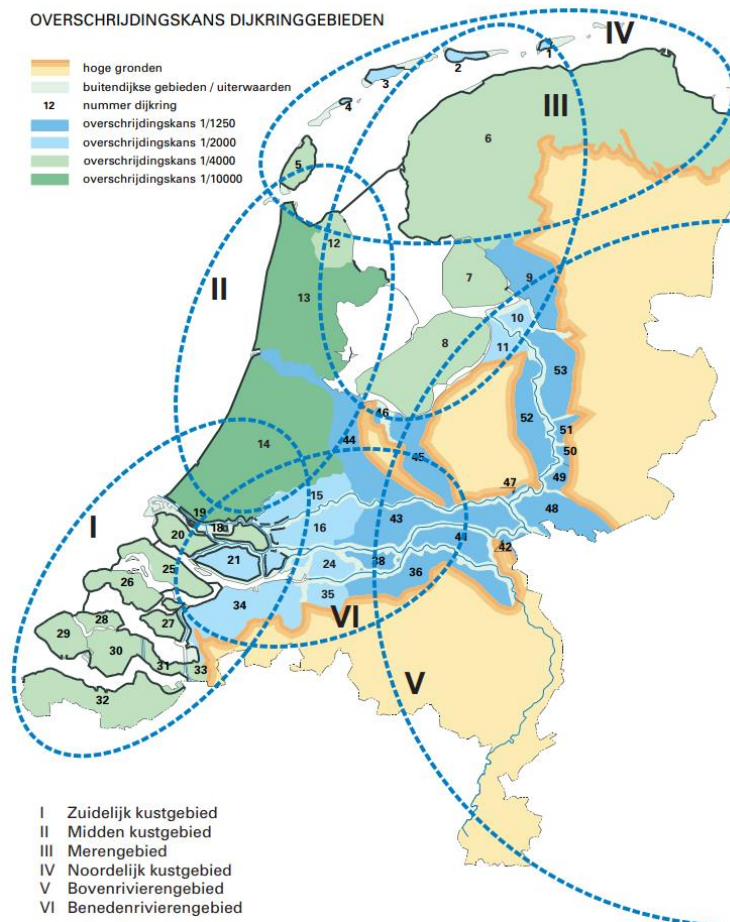
Young, W., and Budynas, R., 2002, Roark's Formulas for Stress and Strain, The McGraw-Hill Companies.

Bijlage I Overzicht soorten overstromingen in Nederland

I.1 Bovenregionale overstromingen

Afhankelijk van (combinaties) van omstandigheden, wel of geen dijkdoorbraken, aantal en locaties van doorbraken en het aantal getroffen dijkringen kunnen er verschillende scenario's optreden. De precieze locaties van daadwerkelijke dijkdoorbraken zijn onbekend. Om het aantal te overwegen situaties te beperken wordt voor bestuurlijke planvorming gewerkt met een aantal standaard scenario's. Voor de rampenbestrijding op bovenregionaal niveau wordt vaak uitgegaan van de Ergst Denkbare Overstromingsscenario's (HKV Lijn in water, 2008; Rijkswaterstaat Waterdienst, 2008), dit zijn de reële bovengrenzen van wat er kan gebeuren. Hierbij wordt uitgegaan van een indeling in gebieden met verschillende omstandigheden die leiden tot een overstroming, zie ook Figuur I-1:

- Kust; EDO veroorzaakt door een orkaan, waarbij onderscheid wordt gemaakt in zuidelijk, midden en noordelijk kustgebied;
- Bovenrivierengebied; EDO veroorzaakt door bovenmaatgevende rivierafvoer;
- Benedenrivierengebied; EDO veroorzaakt door zeer zware storm in combinatie met extreme rivierafvoer;
- Merengebied; EDO veroorzaakt door orkaanomstandigheden.



FIGUUR I-1 OVERZICHTSFIGUUR UIT HKV LIJN IN WATER (2008).

Voor de Rapportage Europese Overstromingsrichtlijn (ROR) is gewerkt met de scenario's waarop de huidige waterkeringen zijn gedimensioneerd (maatgevend scenario)². In de inventarisatie van de Veiligheid van Nederland in Kaart (VNK) (R. Vergouwe and H. Sarink (eds.), 2016) is een groot aantal scenario's doorgerekend om de samenhang tussen hoogwater, de sterkte en hoogte van waterkeringen en mogelijke gevolgen van een overstroming te analyseren. De resultaten vormen de basis voor politiek-bestuurlijke besluiten.

De nieuwe waterveiligheidsnormen (Deltabeslissing 2017) zijn gebaseerd op de scenario's uit het Deltaprogramma, de zogenaamde Deltascenario's. Dit is een set toekomstbeelden die uitgaat van een aantal plausibele scenario's voor klimaatverandering in combinatie met ontwikkelingen in economie en bevolking (Bruggeman et al., 2013; Dammers et al., 2014; Rijken et al., 2014):

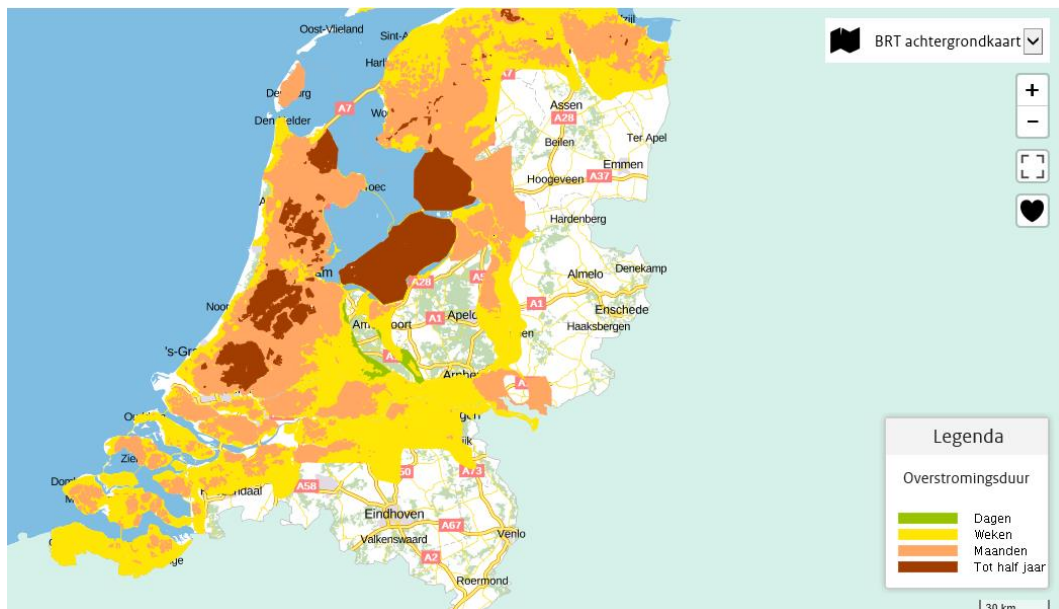
- Druk: resultaat van matige klimaatverandering en sterke groei van economie en bevolking;
- Stoom: resultaat van snelle klimaatverandering en sterke groei van economie en bevolking;

² De resultaten hiervan staan in de risicokaart (www.risicokaart.nl). Bovenmaatgevende afvoer is een grotere afvoer dan maatgevend met een kleinere kans op optreden. Benedenmaatgevende afvoer is een lagere afvoer dan de norm met een hogere kans op optreden.

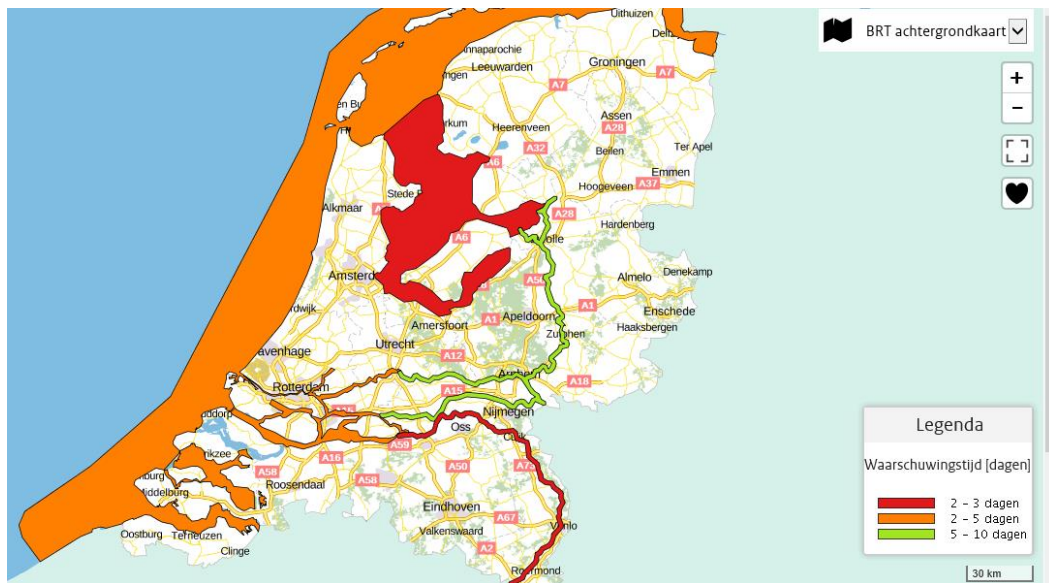
- Rust: resultaat van matige klimaatverandering en lage groei van economie en bevolking;
- Warm: resultaat van snelle klimaatverandering en lage groei van economie en bevolking.

Door de verschillende omstandigheden in de verschillende gebieden is er onderscheid te maken tussen o.a. tijd tussen eerste aanwijzingen voor een dreiging en de overstroming, omstandigheden tijdens een overstroming, duur van een overstroming, verwacht evacuatiepercentage en het handelingsperspectief (Rijkswaterstaat Waterdienst, 2008), zie Figuur I-2, Figuur I-3 en Figuur I-4. In het algemeen is de waarschuwingstijd voor een storm korter dan voor een piek in rivierafvoer, in combinatie met de grote hoeveelheid mensen die in dit deel van het land wonen en de capaciteit van de infrastructuur geeft dit in een EDO-scenario voorbereidingstijd en evacuatiemogelijkheden. In het rivierengebied is de waarschuwingstijd in het gebied in het algemeen langer, waardoor hogere evacuatiepercentages mogelijk zijn.

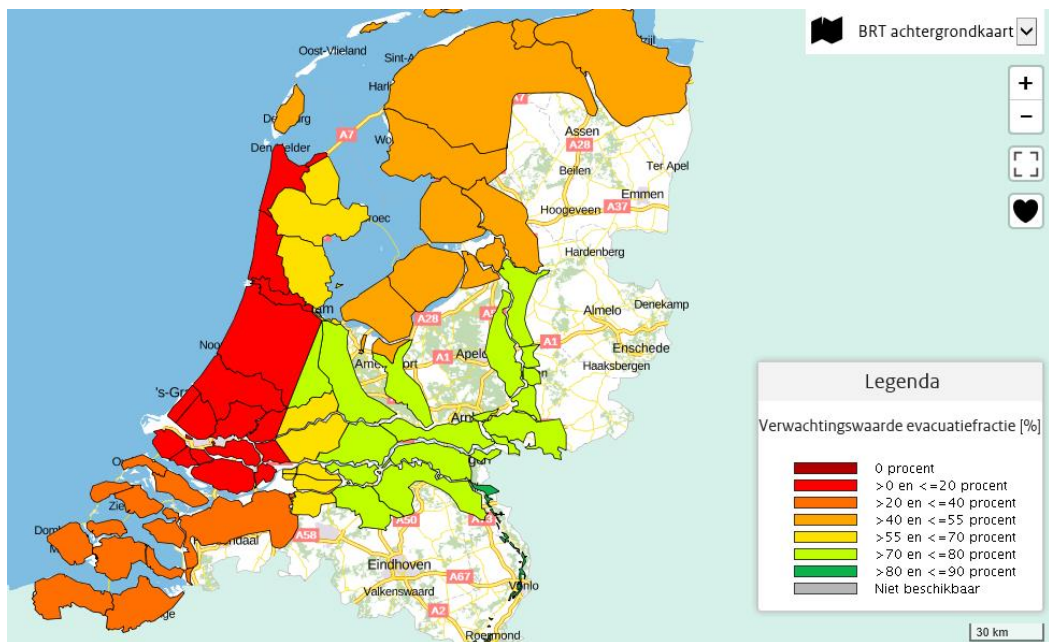
Let op, een aanzienlijk deel van het land kent geen natuurlijke afstroming. In deze gebieden moet al het overstroomde water worden weggepompt. Voorbeelden van afvoercapaciteiten voor polders zijn 1,5-2 l/s/ha, zo'n 13-17 mm/dag. Een polder die overstroomd is met gemiddeld 1 meter water heeft met een dergelijke capaciteit zo'n twee maanden nodig om deze waterkolom weer weg te pompen, daarna moet de bodem nog drogen. Ter illustratie, de Beemster ligt tussen de -1,15 en -5 m NAP en de Haarlemmermeer ligt gemiddeld op -6 m NAP (Bron: de Nederlandse gemalen stichting). Na een overstroming wordt ongetwijfeld extra pompcapaciteit ingezet, maar een serieuze overstroming van poldergebieden kan maanden duren.



FIGUUR I-2 VERWACHTE OVERSTROMINGSDUUR PER GEBIED (BRON: LIWO).



FIGUUR I-3 WAARSCHUWINGSTIJD VOOR DREIGEND HOOGWATER (BRON: LIWO).



FIGUUR I-4 VERWACHTTE EVAUATIEPERCENTAGES PER GEBIED OP BASIS VAN DE BESCHIKBARE TIJD VOOR EVACUATIE EN DE CAPACITEIT VAN DE INFRASTRUCTUUR (BRON: LIWO).

Meteorologische omstandigheden

Zeker in de kustscenario's zijn de risico's op overstromingen het grootst wanneer ze in combinatie optreden met een zware storm of orkaan. De keteneffecten van dergelijke weersomstandigheden zijn enorm en werken door in alle vitale infrastructuur:

- De bereikbaarheid kan in de dagen voorafgaand aan een overstroming sterk verslechteren door de weersomstandigheden. Harde wind en regenval zorgen ervoor dat het tempo op de wegen sterk omlaag gaat, treinen kunnen uitvallen en scheepvaart kan worden gehinderd.

- Het optreden van beschadigingen aan huizen en het drinkwaternetwerk is gecorreleerd met storm.

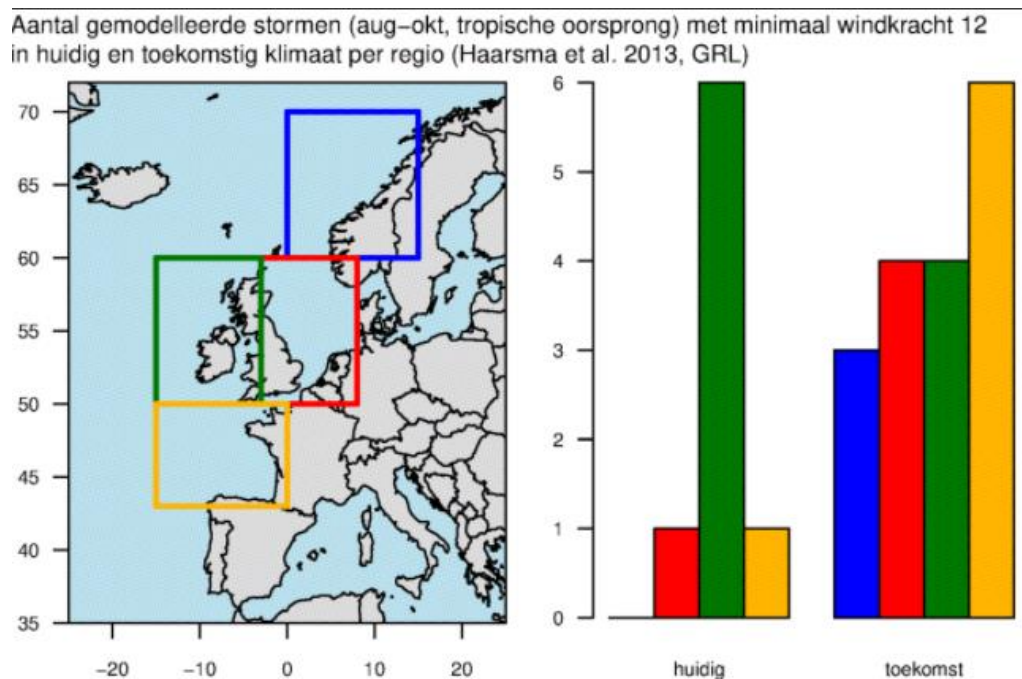
Orkanen (in elk geval de orkanen met tropische oorsprong) worden ingedeeld op de schaal van Saffir-Simpson, zie Tabel I-1. Deze classificatie begint bij windkracht 12 (KNMI). Het KNMI beschrijft voor minder zware stormen per windkracht de effecten en geeft aan dat vanaf windkracht 9 er dakpannen en schoorstenen afwaaien en vanaf windkracht 11 wordt zeer grote schade aan bossen verwacht.

Vooraf de relatie tussen bomen en het optreden van storingen is bekend van drinkwaternetten (Wols et al., 2016). De storingsdata laten zien dat bij windsnelheden van windkracht 10 er een groter aantal storingen optreedt. Dit effect treedt op bij alle materialen, maar is het sterkst bij asbestcement. De meest waarschijnlijke oorzaak van deze storingen is het omvallen van bomen, waarbij de wortels schade aan de leidingen toebrengen. Maar soms is zelfs het heen en weer bewegen van de bomen in de wind en de resulterende belastingen door de wortels op de leidingen al voldoende voor schade. Het effect is niet 1 op 1 aan windsnelheid te koppelen, een storm in een periode waarin de bomen nog bladeren hebben bijvoorbeeld geeft potentieel meer schade dan een storm in een periode zonder bladeren aan de bomen.

TABEL I-1 CLASSIFICATIE ORKANEN (BRON: WIKIPEDIA)

Schaal	Windsnelheden	Stormvloed	Schade
1	119-153 km/uur	1,2-1,5 m	Omver blazen caravans, mobiele woningen. Ontwortelde of geknikte bomen. Slecht bevestigde dakbedekking waait weg.
2	154-177 km/uur	1,8-2,4 m	Beschadigde daken, vegetatie. Houtbouw beschadigd, wegslaan kleine boten.
3	178-209 km/uur	2,7-3,7 m	Ernstige schade kleine woningen. Vernietiging gebouwen zonder solide fundering. Rondvliegend puin, overstromingen tot ver in het binnenland
4	201-249 km/uur	4,0-5,5 m	Complete beschadiging daken, schade aan buitenmuren. Grote erosie van stranden, extreem gevaarlijk.
5	>250 km/uur	>5,5 m	Grootschalige dakbeschadiging, instorting grote daken en muren, slechts enkele gebouwtypen blijven intact, verwoestend

Het KNMI onderzoekt de kans op een toename van stormen en orkanen bij klimaatverandering, zie ook figuur I-5. Bij de verwachte klimaatverandering neemt de kans op zware stormen en orkanen aanzienlijk toe (Haarsma et al., 2013) en de kans dat deze plaatsvinden in een periode dat er nog blad aan de bomen zit is ook groot door de tropische oorsprong (in feite verlengt het stormseizoen).



FIGUUR I-5 TOENAME ORKANEN VAN TROPISCHE OORSPRONG BIJ KLIMAATVERANDERING (FIGUUR OVERGENOMEN UIT HAARSMA ET AL. (GRL) ZOALS WEERGEGEVEN OP WWW.KNMI.NL). LINKS GEVEN DE GEKLEURDE RECHTHOEKEN GEBIEDEN AAN WAARVOOR HET AANTAL STORMEN MET MINIMAAL WINDKRACHT 12 IS BEPAALD. DIT AANTAL IS WEERGEGEVEN IN DE KOLOMMEN RECHTS VOOR HET HUIDIGE EN HET TOEKOMSTIG KLIMAAT.

I.2 Regionale en lokale overstromingen en wateroverlast

Overstromingen in het regionale en lokale watersysteem zijn over het algemeen te wijten aan regionale en lokale extreme regenval in combinatie met de beperkte afvoercapaciteit. Het regionale watersysteem is een transportsysteem dat er op is gericht een teveel aan water uit het gebied te verwijderen. Het lokale watersysteem (sloten en riolering) is bedoeld om regenwater op te vangen en af te voeren, daarnaast wordt ook steeds vaker lokale berging gerealiseerd. De afvoercapaciteit wordt in West-Nederland voornamelijk bepaald door:

- De mogelijkheid tot wegpompen en spuien op zee vanuit het regionale watersysteem;
- De mogelijkheid tot wegpompen van water uit polders en de riolering op oppervlaktewater.

Het regionale watersysteem is de verantwoordelijkheid van de waterschappen. Voor het regionale watersysteem zijn de normen voor wateroverlast vastgelegd in provinciale verordeningen. Deze normen zijn gebaseerd op de kans op een overstroming met te verwachten schade. Een goed idee voor deze normen bieden de oude normen vanuit het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW actueel), Tabel I-2. Deze normen houden een inspanningsverplichting in, geen resultaatverplichting. Overstromingen kunnen orde dagen tot weken duren en hebben typisch overstromingsdieptes van enkele centimeters tot 50 centimeter, lokaal 1 meter. Gevolgen voor het drinkwaternet zijn beperkt, tenzij er een regionale waterkering met een leiding bezwijkt of elektronische apparatuur onder water komt te staan, zoals pompen. Hoe groot de effecten hiervan zijn, hangt af van welke elementen bezwijken. Falen in het transportsysteem heeft potentieel grotere gevolgen dan falen in het distributienet, naar verwachting kunnen effecten in het algemeen worden beperkt doordat in het drinkwaternet redundantie ingebouwd is.

TABEL I-2 OVERZICHT NORMEN OVERSTROMING REGIONAAL WATERSYSTEEM (NBW ACTUEEL).
 BIJVOORBEELD, DE KANS DAT INUNDATIE OPTREEDT VOOR GRASLAND IS EENS PER 10 JAAR, 5% VAN HET
 GRASLAND MAG EEN HOGERE KANS OP WATEROVERLAST HEBBEN (RIJKSWATERSTAAT).

Normklasse	Maaiveldcriterium	Basis werkcriterium (1/jaar)
Grasland	5%	1/10
Akkerbouw	1%	1/25
Hoogwaardige land- en tuinbouw	1%	1/50
Glastuinbouw	1%	1/50
Bebouwd gebied	0%	1/100

De lokale overlast binnen de stedelijke gebieden valt onder de verantwoordelijkheid van de gemeenten. De gemeenten hebben vanuit de Waterwet een zorgplicht voor een doelmatige inzameling en verwerking van afvloeiend hemelwater. De invulling van deze zorgplicht staat in het Gemeentelijk rioleringsplan (GRP). De Leidraad Riolerings (Stichting Rioned) hanteert de standaardbui 8³ als criterium voor water op straat. De meeste gemeenten hanteren beleid waarbij bijvoorbeeld maximaal eens per 2 jaar geen water op straat mag optreden, dit wordt meestal ingevuld door met een standaardbui (vaak 8 door de herhalingstijd) en het rioleringsmodel te berekenen of de waterstand het straatniveau bereikt. Let hierbij op dat water op straat alleen betekent dat de capaciteit van de riolering ontoereikend is voor de gevallen neerslag (aangenomen dat kolken niet verstopt zijn), nog niet dat er overlast of schade optreedt. Dit gebeurt in het algemeen pas als water de woningen binnenkomt, of waterdieptes op straat substantieel worden (loskomende putdeksels daargelaten). Inundatie duurt totdat het water is weggezakt in de bodem, weggestroomd is richting open water of weer in de riolering terecht kan. Dit duurt typisch één tot enkele uren. Gevolgen voor het drinkwaternet zijn beperkt en lokaal tenzij er elektronische apparatuur onder water komt te staan. Aangezien dit type wateroverlast wordt veroorzaakt door lokale regenval is de overlast moeilijk te voorspellen. Door klimaatverandering neemt dergelijke overlast naar verwachting de komende decennia toe door toename van de kans op extreme neerslaggebeurtenissen.

³ Standaardbui 8 kent een herhalingstijd van eens in de twee jaar en geeft 19,8 mm water in 2 uur tijd met een maximum intensiteit van 110 l/s/ha (Bron: Stichting Rioned).

Bijlage II Handelwijze overheid bij overstromingsdreiging

In het Landelijk Draaiboek Hoogwater en Overstromingen (Nieuwenhuis et al., 2015) staat wie welke verantwoordelijkheden heeft in welke dreigingssituatie. Er wordt een kleurcode gehanteerd die varieert van:

- Groen: regulier dagelijks waterbeheer;
- Geel: hier en daar zijn de (verwachte) waterstanden verhoogd, standaardmaatregelen. Deze situatie kan meerdere keren per jaar voorkomen.
- Oranje: toenemende dreiging van het hoogwater met verdergaande maatregelen, beperking van gebruikersfunctie op en aan het water. Indien nodig worden grootschalige maatregelen voorbereid. Lichte schade aan keringen kan optreden. Deze kleur komt eens in de 5 jaar voor.
- Rood: verwachting van ernstige en uitzonderlijke situatie in het watersysteem met grootschalige maatregelen en mogelijke schade. Deze codering komt gemiddeld eens in de 20 tot 100 jaar van (afhankelijk van het gebied).

In de dagelijkse situatie (groen) is het Watermanagement Centrum Nederland (WMCN) de enige met taken voor informatie-afstemming en uitwisseling. Het WMCN houdt o.a. waterstanden bij, stelt verwachtingen op en geeft kleurcoderingen af. In het WMCN werken Rijkswaterstaat, de waterschappen en het KNMI samen. In kleurcode oranje wordt WMCN-LCO (landelijk coördinatieteam overstromingen) actief en worden waterbeelden verspreid aan het ministerie, Rijkswaterstaat, waterschappen, provincies en veiligheidsregio's. De veiligheidsregio's coördineren vanaf kleurcode geel maatregelen en crisisbeheersing met waterschappen, Rijkswaterstaatregio's en gemeenten met advies van de waterbeheerders.

De veiligheidsregio's gaan op basis van de waterbeelden met interpretatie en adviezen van de waterbeheerders verder met het bepalen van de waterdieptekaart (Oberije and Rosmuller, 2016). Met deze waterdieptekaart kunnen de volgende vragen worden beantwoord:

- Waar in de regio kan wat gebeuren en hoe waarschijnlijk is dat?
- Welke gebieden kunnen onder water komen te staan:
 - Hoe lang duren overstromingen?
 - Hoe diep is het water?
 - Welke waarschuwingstijd? (Na hoeveel tijd is het water waar en wat zijn de stijgsnelheden)
 - Wat zijn de stroomsnelheden (waar verwoestend)?

Na de waterdieptekaart wordt de impactanalyse uitgebreid met gevolgen voor vitale infrastructuur en bedrijven of buisleidingen met gevaarlijke stoffen. In dit stadium worden de volgende vragen beantwoord:

- Aanwezigheid personen en dieren in de verschillende 'waterdiepte' gebieden?
- Kwetsbare objecten?
- Aanwezigheid vitale infrastructuur en objecten?
- Bedrijven of buisleidingen met gevaarlijke stoffen?

- Bij welke waterdieptes, stroomsnelheden en tijdsduur ontstaat een probleem? Als vuistregel wordt gehanteerd dat 200 meter van een bres geen verwoestende stroomsnelheden meer optreden.
- Welke keteneffecten kunnen optreden?
- Wat is de benodigde hersteltijd voor vitale infrastructuur en objecten?
- Hoe leefbaar is het gebied nog bij betreffende waterdieptes en tijdsduren?
- Welke pijnpunten zijn er die nadere aandacht nodig hebben?

Als al deze vragen bij ieder dreigingsbeeld moeten worden doorlopen, wordt de handelingstijd erg kort. Vandaar dat er projecten lopen om voor plausibele scenario's nu al de impactanalyse uit te voeren (Bijlage III), zodat in geval van een dreigingssituatie de impactanalyse van het meest toepasselijke scenario kan worden gebruikt als basis (interview Gertjan Winter, Veiligheidsregio Zaanstreek-Waterland⁴).

⁴ zie ook <http://onswater.ifv.nl/index.html> geraadpleegd 13 maart 2018.) en www.3ddelta.nl.

Bijlage III Verslag stakeholdersbijeenkomst impactanalyse overstromingen Noord-Holland, Oostzaan, 29 mei 2018

Op 29 mei vond de stakeholdersbijeenkomst voor de impactanalyse overstromingen in de Provincie Noord-Holland plaats te Oostzaan. Deze bijeenkomst werd georganiseerd door de veiligheidsregio's en was onderdeel van het project impactanalyse overstromingen. Het doel van de bijeenkomst was om de resultaten tot nu toe te presenteren en middels casusstudies informatie bij de stakeholders op te halen. Aanwezig waren deelnemers van de volgende partijen:

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK)
Wegbeheer Gemeente Zaanstad
Nuclear Research and consultancy Group (NRG)
Koninklijke Marine
Hoogheemraadschap van Rijnland
Defensie
TAQA Global
Den Helder Airport
Liander
Veiligheidsregio Noord-Holland Noord (VRNHN)
Rijkshavenmeester Amsterdam
Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied
Brandweer
Gemeente Alkmaar
Wegbeheer Rijkswaterstaat
Veiligheidsregio Zaanstreek Waterland (VRZW)
TNO
Waternet
Gemeente Diemen
Eurofill Aerosols BV.
Stichting Salvage
Albert Heijn
Prorail
Provincie Noord-Holland
Politie
NAM
Veiligheidsregio Kennemerland (VRK)
Recron
Gasunie
Rijksdienst voor cultureel erfgoed
JRC-Petten

PWN
Kustwacht
Veiligheidsregio Amsterdam Amstelland (VRAA)

Samenvatting

In het ochtenddeel wordt een toelichting gegeven op het project en de stand van zaken. Alle informatie is terug te vinden op www.3ddelta.nl.

Er is uitgegaan van 11 overstromingsscenario's voor Noord-Holland, niet de ergst denkbare, maar overstromingen die plausibel worden geacht. Hierbij is in kaart gebracht wat er wordt getroffen, wanneer problemen ontstaan, keteneffecten, leefbaarheid en herstel.

Er wordt opgemerkt dat, omdat het gebied geen natuurlijke afstroming kent, al het water afgepompt moet worden. Dit kan weken tot maanden duren. Opvallend was het grote aantal actoren die van belang zijn. Het punt wordt gemaakt dat er nog altijd bij bouw geen rekening wordt gehouden met overstromingen (buitendijks, tunnels in het westen van het land). Kleine maatregelen bij ontwerp en bouw kunnen veel doen.

De effecten op het elektriciteitsnet werken in een veel groter gebied dan het overstroomde gebied door.

Bij het bepalen van de uitval van netwerken is alleen gekeken naar de waterdiepte.

Er wordt gewerkt aan het ontwikkelen van een 'informatierotonde'. Deze 'informatierotonde' moet het mogelijk maken om actuele data te delen en te combineren om zo een actueel gedeeld beeld van de situatie (overstroming) te kunnen visualiseren. Naast de veiligheidsregio's en het waterschap, draagt ook Defensie bij aan deze ontwikkeling.

Naast de hier al genoemde scenario's loopt bij HHNK een systeemanalyse naar het effect van piekbuien. Deze geven een veel verspreider beeld van de overlast. De eerste 5 gebieden zijn vrijwel klaar, in totaal moeten er 56 gebieden worden geanalyseerd.

In de presentatie over het VITAP project wordt aangegeven dat brandstoftekort een acuut probleem zijn tijdens overstromingen, benzinepompen zijn leeg en/of onbereikbaar. Daarom wordt hiervoor een nationaal crisisplan ontwikkeld. Binnen VITAP is in beeld gebracht welke afhankelijkheden er zijn tussen de vitale infrastructuren, zie ook Figuur II-1.

AFHANKELIJKHEDEN

	Elektriciteit	Gas	Data	Spraak	Drinkwater	Oppervlaktewater	Giraal betalingsverkeer	Satelliet
Elektriciteit			0 UUR	>WEEK	>WEEK		>WEEK	
Aardgas	0-2 UUR		6 UUR					
Olie	0 UUR					>WEEK		
Datacommunicatie	2 UUR							>WEEK
Spraakcommunicatie	2 UUR							>WEEK
Drinkwatervoorziening	>WEEK		4 UUR			4 UUR		
Oppervlaktewater	8 UUR		>WEEK	0 UUR				
Mainport Schiphol								
Mainport Rotterdam	12 UUR		>WEEK	>WEEK				
Chemische industrie								
Nucleaire industrie	>WEEK							
Giraal betalingsverkeer	48 UUR		2 UUR					
Inzet politie	4 UUR	12 UUR	0-2 UUR	0 UUR	4 UUR	>WEEK	>WEEK	96 UUR
Digitale overheid								
Inzet Defensie	>WEEK		>WEEK	WEEK	>WEEK	>WEEK		>WEEK

FIGUUR II-1 PLAATJE UIT PRESENTATIE BEN GOVERS (NCTV) OVER DE KETENAFHANKELIJKHEDEN DIE ZE BINNEN VITAP IN BEELD BRENGEN.

In de middagsessie worden gesprekstafels georganiseerd waar gesproken wordt over de gevolgen van overstromingen voor de aanwezige partijen.

- Er wordt gesproken over de definitie van kwetsbare objecten, deze is voor iedere sector. De veiligheidsregio gaat uit van verminderde zelfredzaamheid, maar bijvoorbeeld de drinkwatersector denkt naast assets vanuit kwetsbare klanten, de hulpdiensten locaties waar basishulp vandaan moet komen, cultureel erfgoed, economisch etc.
- De politie vraagt hoe de rechtsorde kan worden gehandhaafd (dit is relevant voor hulpverleners, monteurs e.d. kunnen die veilig hun werk doen?)
- Over bruikbaarheid van de wegen wordt opgemerkt dat veel wegen in veengebieden een piepschuim fundering hebben. Deze wegen zijn na een overstroming niet meer te gebruiken. Ook van de snelwegen is niet duidelijk onder welke omstandigheden ze kunnen worden gebruikt. Hoeveel water mag tegen een snelweg aan staan, zijn de open afritten te gebruiken?
- Let op dat al bij een kleine waterdiepte gevaar ontstaat doordat de weg niet meer herkenbaar is, putdeksels gaan drijven etc. Opgemerkt wordt dat bij de geprojecteerde waterdiepte in veel gebieden van 0,5-1 meter water zowel niet kan worden gereden, als niet kan worden gevaren met een boot.
- Er wordt gevraagd naar de veiligheid van geothermie bedrijven
- Waar staan essentiële data opgeslagen?
- Hoe ver van te voren schakelen netwerken af en is communicatie mogelijk?
 - Elektra laatste moment; heeft voordelen om kortsluiting te voorkomen, geen standaardverhaal, wordt ter plekke afgewogen en verschilt per bedrijf. Afschakeling gaat in overleg, er kan voor gekozen worden om het wel kapot te laten gaan, want het is nodig voor evacuatie ed.

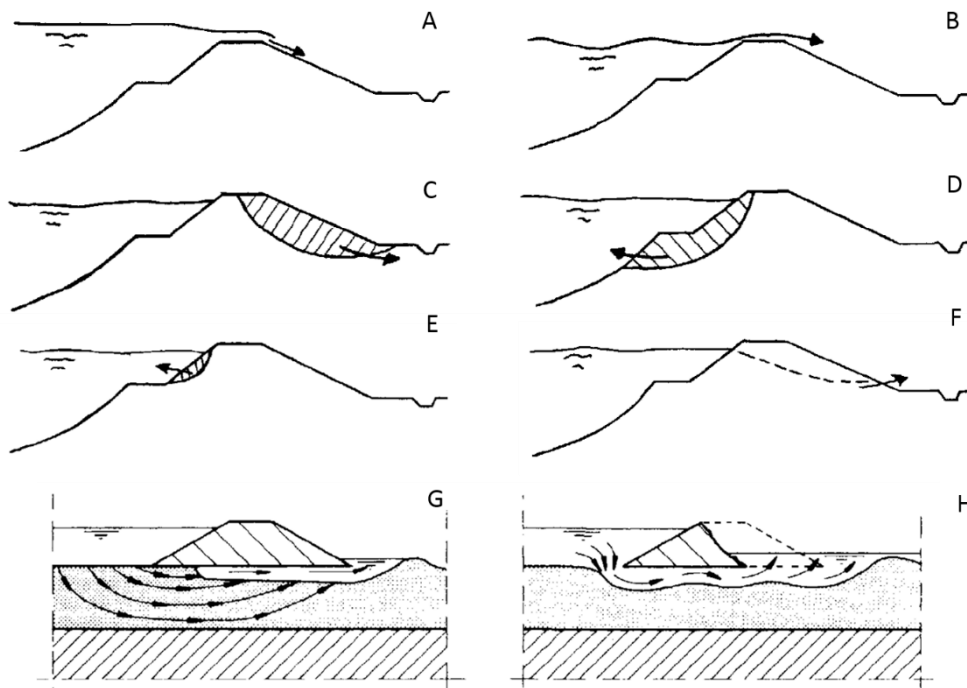
- Gas ander verhaal: gas weer aansluiten kost veel tijd en inspanning/
- Gas koken kan wel zonder elektra, rest heeft elektra nodig,
- Transport: geen duidelijk beeld.

Bijlage IV Achtergrond en mechanismen bij dijkdoorbraken

Dijken kunnen bezwijken door verschillende mechanismen, waarvan de voor Nederland belangrijkste zijn (Gerven, 2004; Visser, 1998):

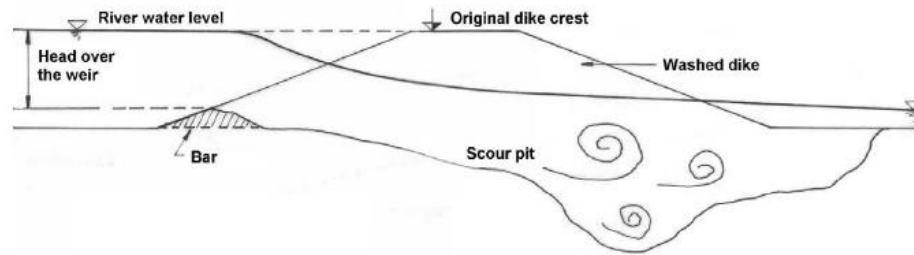
- Overlopen en golfslag over de dijk;
- Afschuiven van het binnen- of buitentalud;
- Erosie van het buitentalud;
- Piping en kwel.

Voor een schematische toelichting, zie Figuur IV-1. In de meeste gevallen leiden deze faalmechanismen tot een doorbraak waarbij er bovenaan de dijk een doorbraak ontstaat.



FIGUUR IV-1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN FAALMECHANISMEN MET OVERLOOP (A), GOLFSLAG (B), AFSCHUIVEN BINNENTALUD (C), AFSCHUIVEN BUITENTALUD (D), EROSIE BUITENTALUD (E), KWEL (F) EN PIPING (G EN H). FIGUUR OVERGENOMEN UIT VISSER (1998).

Afhankelijk van o.a. de waterstanden, de hydraulische weerstand, materiaal van de dijk, de opbouw van de dijk, bekleding, omstandigheden, bodem en omgeving ontstaat een doorbraak met verschillende karakteristieken, zie voor beschrijvingen o.a. (Gerven, 2004; Visser, 1998). Een schematische, globale doorsnede van een doorbraaklocatie staat weergegeven in Figuur IV-2.



FIGUUR IV-2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN DOORBRAAKLOCATIE. FIGUUR OVERGENOMEN UIT (NAGY, 2006). DIT IS EEN STUDIE NAAR DOORBRAKEN LANGS RIVIEREN.

Nagy (2006) heeft een studie uitgevoerd naar historische doorbraken en vond een aantal karakteristieken:

- De randen van de doorbraaklocaties zijn vrijwel verticaal en ze staan meestal loodrecht op de lengterichting van de dijk.
- Meestal wordt binnen de doorbraaklocatie vrijwel de gehele dijk weggespoeld;
- Een kleine “teen” of “bar” blijft staan aan het begin van de doorbraaklocatie (kan hoger dan 40 cm zijn). Deze teen beïnvloedt het uitschuren achter de doorbraaklocatie;
- Achter de doorbraaklocatie vormt een wiel, of kolkgat (“scour pit” in Figuur II-2). De ontwikkeling van dergelijke wielen is afhankelijk van bodemtype, faalmechanisme, stroomsnelheden, duur van de overstroming en omgeving. Bij doorbraken in zeedijken kan meer en langere tijd schuring ontstaan door de eb- en vloedwerking.
- Bij afname van de stroomsnelheden wordt het opgewervelde sediment weer snel gedeponeerd, dit gebeurt bij de randen van de kolkgraten en geeft daar verhogingen van tot wel een meter dik (Janssen, 2009). Deze verhogingen lopen als een waaier uit vanaf het kolkgat en heten overslaggronden (Janssen, 2009).

In een makkelijk erodeerbare bodem zal meer uitschuring zijn dan in een harde bodem. Uit het Nederlandse rivierlandschap blijkt duidelijk dat kolkgatvorming hier een gebruikelijk fenomeen is. Deze kolkgraten kunnen direct na de doorbraak wel 10-20 meter diep zijn, afhankelijk van de diepte waarop de Pleistocene zandlaag begint (Janssen, 2009). Na de overstroming verlandt het kolkgat langzamerhand weer. De omvang van kolkgraten varieert sterk. Visser (1998) geeft een aantal typische rivierkolkgraten in Nederland met een omvang tussen 80 bij 80 meter tot 200 bij 230 meter. Het grootste kolkgat van Nederland is zo’n 13 hectaren en ligt bij Schoonrewoerd (Janssen, 2009). Dit kolkgat heeft in meerdere overstromingen zijn huidige omvang gekregen en was oorspronkelijk zo’n 15 meter diep.

Bijlage V Invoer berekeningen Comsima

V.1 Aannames

In de Comsima-berekeningen zijn de volgende aannames gedaan:

- Verbindingen voor ST en PE kunnen geen hoekverdraaiing opnemen (uitgaande van gelaste verbindingen);
- Voor PVC wordt gewerkt met een drukklasse van 0,75 MPa;
- Voor PE wordt gerekend met PE100;
- Voor staal wordt gerekend met staalsoort L245 NB of API 5L grade B. Deze staalsoorten hebben een vloeispanning van 245 MPa;
- De toelaatbare spanning voor plastische materialen is gelijk aan de vloeispanning;
- Voor PVC en PE wordt gerekend met toelaatbare spanning van een korte duur (100 uur) van 36 MPa (PVC) en 13 MPa (PE100) en lange duur spanning (50 jaar) van 25 MPa (PVC) en 10 MPa (PE100) (Wavin).

V.2 Inschatting wanddiktes bij verouderd AC

Met het KSLB rekenmodel (Beuken and Mesman, 2011) is voor een aantal voorbeeldleidingen berekend hoeveel de maximale uitloging mag zijn als een leiding inclusief veiligheidsfactor nog 20 jaar mee moet kunnen, zie Tabel V-1. Dit zijn leidingen die nu in de meeste gevallen niet worden vervangen. Voor een typische distributieleiding van 150 mm diameter en een typische transportleiding van 800 mm diameter.

TABEL V-1 PARAMETERS ZOALS GEBRUIKT IN KSLB MODEL VOOR TWEE TYPISCHE AC LEIDINGEN. DE AANNAME IS GEMAAKT DAT EEN AC LEIDING GEMIDDELD 50 JAAR MEEGAAT EN IN DIE 50 JAAR UITLOOFT TOT DE MINIMUM BENODIGDE WANDDIKTE.

Parameter	Distributieleiding	Transportleiding
Diameter	150 mm	800 mm
Oorspronkelijke wanddikte	15 mm	67 mm
Veiligheidseffect	1 (beperkt)	1,5 (groot)
Verkeersklasse	15 (licht)	15 (licht)
Dekking	1 m	2 m
Drukklasse	1 MPa	1,2 MPa
Interne waterdruk	0,3 MPa	0,5 MPa
Minimum benodigde wanddikte	1,3 mm	23,8 mm
Benodigde wanddikte nu als leiding nog 20 jaar mee gaat	6,8 mm	41,1 mm
Max. percentage uitloging als leiding nog 20 jaar mee gaat	55%	39%

V.3 Inschatting potentiële omvang zettingsverschillen

Er zijn vrijwel geen gegevens bekend van zettingen als gevolg van overstromingen.

Zettingsverschillen worden wel regelmatig als oorzaak opgegeven van schade, zie ook

Hoofdstuk 6, maar het is niet altijd duidelijk of dit ook relevant is voor Nederland. In

Nederland zijn bijvoorbeeld aardverschuivingen meestal niet relevant. Daarom is op basis

van een eenvoudige berekening een orde grootte analyse gemaakt voor de potentie van zettingsverschillen.

Er zijn verschillende processen die kunnen zorgen voor zakking (opdrijven van leidingen wordt in deze bijlage niet beschouwd) (Locher and Bakker, 1990):

- Zetting: een bodemlaag wordt dichter en neemt in dikte af door belasting, bijvoorbeeld door een waterlaag (scenario 1);
- Inklinking: Verdichting en samendrukking van de bodem als gevolg van eigen gewicht door ontwatering (scenario 4);
- Krimp: De grond neemt in dikte af door vochtonttrekking door verdamping (niet relevant voor deze analyse);
- Oxidatie: Afbraak van organische stof, waardoor materiaal verdwijnt en het oppervlak zakt (niet relevant voor deze analyse).

Door verzadiging van de grond (scenario 2 en 3) zal geen zetting optreden. In scenario 4 is sprake van ontwatering, echter deze gaat alleen terug naar de oorspronkelijke situatie. De verwachting is dan ook dat hier geen aanvullende zakking door zal optreden. Het enige scenario met potentie op zakking is dan ook zetting in het eerste deel van de overstroming met plotselinge belasting door een waterlaag.

De doorlatendheid van zand, klei en veen verschillen. De ontwatering van veen is altijd lager dan klei of veen om oxidatie te voorkomen. We gaan er daarom van uit dat een overstroming weinig impact heeft op veen als het gaat om verschildzettingen. Uitgaand van een gemiddelde grondwaterstand van 1 meter onder maaiveld, mag aangenomen worden dat voor de meeste zandsoorten er binnen zeer korte tijd contact is tussen overstromingswater en grondwater. De duur van de bovenbelasting is dan dusdanig beperkt dat de optredende zakking naar verwachting zeer beperkt is. Hetzelfde geldt voor een aantal kleisoorten (sterk gescheurd tot klei met enige poriën of scheuren). Een worst-case scenario treedt op als er sprake is van slecht doorlatende tot ondoorlatende klei, waardoor de periode met bovenbelasting door het overstromingswater langer blijft bestaan. Een overstroming kan orde dagen tot maanden duren. Voor deze worst-case situatie wordt de analyse nog iets uitgebreid.

Een eerste inschatting van de zetting in een ondoorlatende kleigrond kan worden verkregen met de formule van Koppejan (Locher and Bakker, 1990):

$$Z = Z_{z+i} = d \left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} \log \frac{t}{D} \right) \ln \left(\frac{\sigma_k + \Delta\sigma_k}{\sigma_k} \right),$$

Waarbij Z de totale zakking is, bestaande uit Z_z (zetting) en Z_k (inklinking), d de dikte van de samendrukbare laag, $C_{p,s}$ de primaire (p) en seculaire (s) samendrukbaarheidsconstante die de weerstand tegen samendrukking geeft (zie ook Tabel V-2), σ_k de gemiddelde korrelspanning in de bestaande situatie en $\Delta\sigma_k$ toename van de korrelspanning is. De tijd sinds het begin van de belasting wordt aangeduid met t die wordt geschaald met D (dag) om een dimensieloze grootte te creëren.

In het geval van een extra belasting is $\Delta\sigma_k$ te berekenen met:

$$\Delta\sigma_k = \rho g d,$$

Waarbij ρ de dichtheid van de ophoging is (in dit geval dus water 1000 kg/m^3), g de zwaartekrachtsconstante ($9,81 \text{ m/s}^2$) en d de dikte van de ophoging.

TABEL V-2 WAARDEN VAN DE SAMENDRUKBAARHEIDSCONSTANTE C (NEN 6740).

Grondsoort	C_p	C_s
Klei	7-27,5	80-410

Voor de berekening van de korrelspanning gaan we uit van verzadigde grond (het verschil met onverzadigde grond is dat je rekening houdt met de fractie water). De korrelspanning is gelijk aan de grondspanning minus de waterspanning. De grondspanning is te berekenen met (Locher and Bakker, 1990):

$$\sigma_t = \rho_t g d_{mv},$$

Waarbij σ_t de grondspanning is, ρ_t de dichtheid van de grond is (in dit geval klei, waarbij we uitgaan van 1700 kg/m^3) en d_{mv} de diepte onder maaiveld is.

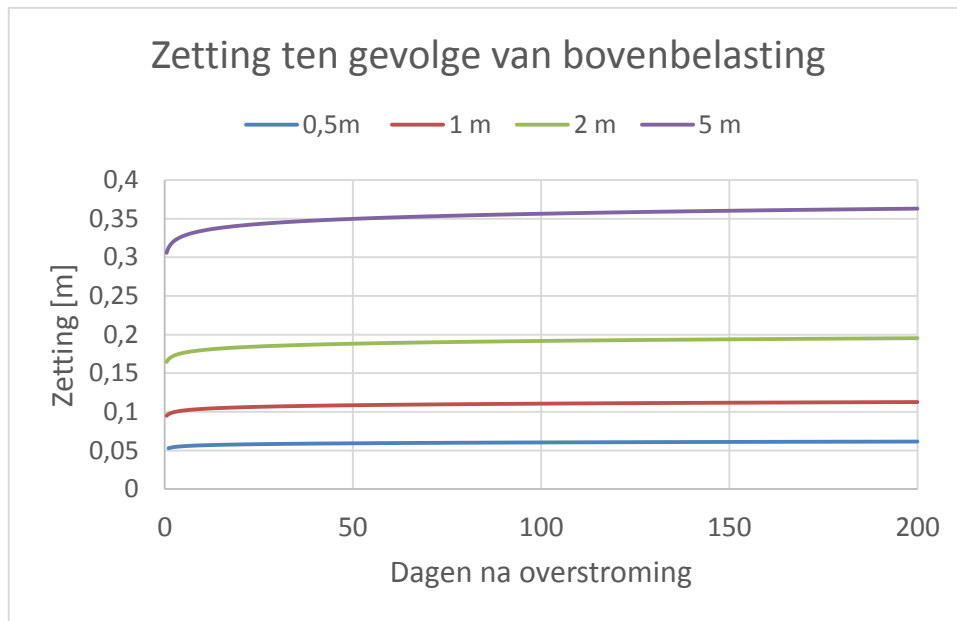
De waterspanning is te berekenen met

$$p_w = -\rho_w g z,$$

Waarbij p_w de waterspanning is, ρ_w de dichtheid van water en z verticale afstand tot de grondwaterspiegel (waarbij z positief is boven de grondwaterspiegel).

De hier getoonde berekeningen zijn voorbeeldberekeningen voor het bepalen van de orde grootte van verschilzettingen die kunnen gaan optreden.

We laten de resultaten zien van een samendrukbare laag van 5 meter klei met een bovenbelasting van 0,5 tot 5 meter water en een grondwaterstand van 1 meter onder maaiveld, zie Figuur V-1. Te verwachten zettingen lopen voor deze bovenbelastingen uiteen van zo'n 5-35 centimeter.



FIGUUR V-1 RESULTATEN VAN EEN VOORBEELDBEREKENING VAN DE ZETTINGEN VOOR EEN 5 METER DIKKE SAMENDRUKBARE ONDOORLATENDE KLEILAAG MET EEN BOVENBELASTING VAN 0,5, 1, 2 OF 5 METER WATER.

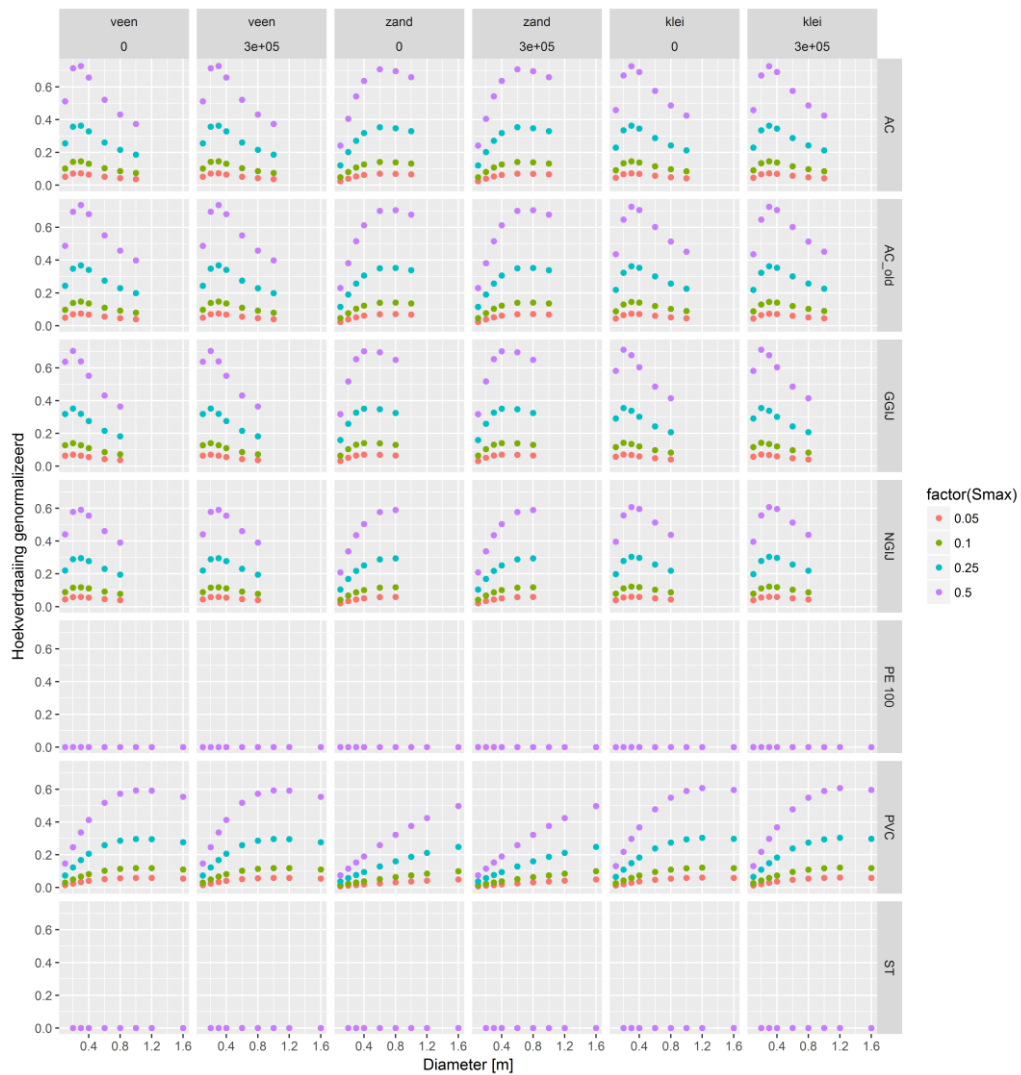
V.4 Wanddikte staal

Voor de wanddiktes van staal zijn de toegepaste wanddiktes van Evides gebruikt, Tabel V-3. Let op: dit is een standaard waar regelmatig van wordt afgeweken als de situatie daarom vraagt.

TABEL V-3 STANDAARD COMBINATIES DIAMETER MET WANDDIKTE VOOR L245 NB OP BASIS VAN NEN-EN-ISO 3183:2012 EN OF NEN-EN 10208-2:2009 EN API 5L GRADE B (BRON: EVIDES).

Diameter (mm)	Wanddikte (mm)
80	4,0
100	3,6
150	4,0
250	5,0
400	6,3
600	6,3
800	8,0
1000	10,0
1200	12,5
1400	14,2
1600	16,0

Bijlage VI Comsima-berekening van hoekverdraaiing



FIGUUR VI-1 MET COMSIMA BEREKENDE HOEKVERDRAAIINGEN VOOR SCENARIO 4: SPANNINGEN DOOR VERSCHILZETTINGEN. DE KOLOMMEN REPRESENTEREN DE GRONDSOORTEN VOOR LEIDINGEN ZONDER INTERNE DRUK EN MET 3 BAR INTERNE DRUK (3E5 PA). DE RIJEN REPRESENTEREN DE LEIDINGMATERIALEN. DE KLEUREN GEVEN DE GROOTTE VAN DE VERSCHILZETTING AAN (IN M).