

BTO 2016.040 | Juni 2016

## **BTO** rapport

# Kwantitatieve risicoanalyse van leidingnetten

Stand van zaken sinds 2008



# BTO

## Kwantitatieve risicoanalyse van leidingnetten

BTO 2016.040 | Juni 2016

### Opdrachtnummer

400554-039-004

### Projectmanager

drs. P.G.G. (Nellie) Slaats

### Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Assetmanagement

### Kwaliteitsborger(s)

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

### Auteur(s)

dr. ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera, ir. A. (Andreas)  
Moerman, ing. A. J. (Ad) Vogelaar

### Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

**Jaar van publicatie**  
2016

#### Meer informatie

dr. ir. C.M. (Claudia) Agudelo-Vera  
T (030 60 69) 587  
E [claudia.agudelo-vera@kwrwater.nl](mailto:claudia.agudelo-vera@kwrwater.nl)

#### Keywords

Risicoanalyse, distributienet

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)



BTO 2016.040 | Juni 2016 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

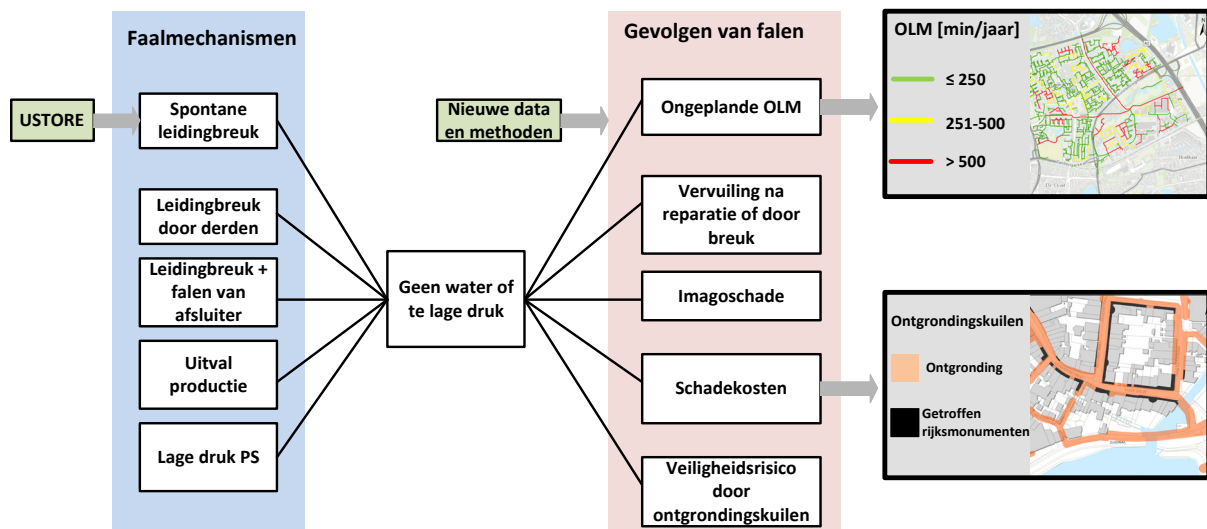
Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# BTO Managementsamenvatting

## Nieuwe GIS tools en USTORE-data vormen waardevolle aanvulling voor kwantitatieve risicoanalyses van het leidingnet

**Auteur(s)** Dr. ir. Claudia Agudelo-Vera, ir. Andreas Moerman en ing. Ad Vogelaar

Nieuwe en nauwkeurigere data (zoals USTORE) maken kwantitatieve risicoanalyse van het leidingnet veel betrouwbaarder dan enige jaren geleden. Dat blijkt uit dit rapport, waarin na uitvoering van een pilot in 2008 met de casestudie Montfoort, 35 BTO-onderzoeken en verscheidene wetenschappelijke literatuurstudies met elkaar in verband zijn gebracht en twee casestudies zijn uitgewerkt. Er worden nu betere kennis en rekenmethoden gebruikt om de gevolgen van leidingfalen te berekenen, zoals de herziene methode voor het berekenen van ontgrondingskuilen. Verder hebben mogelijkheden om datasets en tools te koppelen aan GIS tot gevolg dat locatiespecifieke data kunnen worden meegenomen, in plaats van kentallen. Ook zijn de discrepanties tussen de informatiebehoefte en het aanbod van beschikbare informatie kleiner. Kwantificeren van risico's van het leidingnet - voor grotere gebieden - is daardoor nu relatief eenvoudig geworden. Kwantitatieve risicoanalyse vormt een afspiegeling van de bedrijfswaarden, wat het voor waterbedrijven tot één van de belangrijkste onderdelen in assetmanagement maakt omdat hiermee kan worden vastgesteld welke leidingen en/of afsluitersecties kritisch zijn en welke onderdelen tot een hoog risico kunnen leiden.



*Bow-Tie diagram: schematische weergave van de kans en de effecten van een ongewenste gebeurtenis en voorbeelden van resultaten in GIS*

### Belang: periodieke aanpassing risicoanalyse noodzakelijk voor volwassen kennisstelsel

Kwantificeren van risico's blijft een ingewikkelde taak, want in de laatste jaren zijn stedelijke gebieden, waarin een groot deel van het distributienet zich bevindt, complexer geworden: de drukte in de ondergrond neemt toe en de klant wordt kritischer. Deze ontwikkelingen maken

periodieke aanpassingen van risicoanalysesystemen noodzakelijk. Daarnaast is voor snellere en betere analyse een koppeling van informatie en tools belangrijk.

Met het scheppen van een beeld van verbeterde mogelijkheden voor een kwantitatieve risicoanalyse van het leidingnet ten opzichte van de casestudie in Montfoort (2008), wil dit onderzoek bijdragen aan



het vormgeven van kaders waarmee kennis en technologische ontwikkelingen kunnen leiden tot beter leidingnetbeheer. Aanscherping van die eerdere studie is mogelijk door een toegenomen kwaliteit en beschikbaarheid van data in de afgelopen jaren. Belangrijk is te beseffen dat het ontwikkelen van een kennissysteem en methodes voor een totaalaanpak van risicoanalyse geen eenmalig proces is, maar een stapsgewijze ontwikkeling. Het continu herzien van methoden en protocollen is vereist om een volwassen kennissysteem te bereiken.

#### Aanpak: volgen van ontwikkelingen en evalueren van nieuwe kennis en modellen

Allereerst is een inventarisatie uitgevoerd van relevante (technologische) ontwikkelingen die verbetering van risicoanalyses mogelijk maken. Daarnaast hebben we literatuuronderzoek gedaan naar vergelijkbare analyses. Hierop volgend is in het kader van een totaalaanpak van risicoanalyses het opgestelde stappenplan uit 2008 verbeterd. Ter illustratie zijn twee casestudies uitgewerkt, waarin ten opzichte van 2008 de meerwaarde van nieuwe kennis en van de verbeterde rekenmethode duidelijk wordt gemaakt.

#### Resultaten: implementatie kwantitatieve risicoanalyse van grotere gebieden mogelijk

Sinds de casestudie Montfoort 2008 zijn veel (GIS) data beschikbaar gekomen en is de kwaliteit ervan verbeterd. Uit deze studie is gebleken dat Nederlandse waterbedrijven koplopers zijn op dit gebied t.o.v. waterbedrijven in andere landen. De tools die in een risicoanalyse worden ingezet voor kwantificering van effecten en kansen op risico's, zijn verbeterd. Dit heeft tot gevolg dat:

- analyse van grotere gebieden of hele voorzieningsgebieden in één keer mogelijk is;
- tools voor de berekening van effecten kunnen worden gekoppeld met GIS, waardoor meer (locatie)specifieke data kunnen worden meegenomen, in plaats van kentallen.

Ook hebben waterbedrijven in de afgelopen jaren meer ervaring opgedaan met risicomatrices. Zij hebben hun risicobenadering afgestemd op hun strategie. Implementatie van risicoanalyse van het leidingnet is daardoor nu relatief eenvoudig geworden, evenals kwantificering van risico's voor grotere gebieden.

#### Implementatie: totaalaanpak risicoanalyse dankzij 'Plan-Do-Check-Act'

Op grond van deze studie adviseren we waterbedrijven over te gaan tot implementatie van risicokwantificering voor alle gebieden en meerjarige risicoanalyses uit te voeren. Ook zouden waterbedrijven moeten blijven werken aan het opbouwen van een totaalaanpak van de risicoanalyse van het leidingnet, met speciale aandacht voor documentatie. Zij kunnen bijvoorbeeld schadekosten en imagoschade na leidingbreuk of reparatie in een Technische Accountants Rapport (TAR) rapporteren. Om continue verbetering van het proces te garanderen, wordt aanbevolen om tegelijkertijd een PDCA-cyclus (Plan-Do-Check-Act) toe te passen. Hiermee kunnen bedrijven meteen aan de slag en van eenvoudig naar steeds complexer hun nauwkeurigheid opvoeren. Bovendien kunnen waterbedrijven dankzij PDCA bepalen welke data nog ontbreekt en welke tools nog ontwikkeld moeten worden. Ontbrekende data kunnen gezamenlijk met andere waterbedrijven worden aangekocht en gedeeld en ook de ontwikkeling van rekenmethodieken kan in gezamenlijkheid worden opgepakt.

#### Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Kwantitatieve risicoanalyse van leidingnetten* (BTO-2016.040).

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1	Inleiding	4
1.2	Doel	4
1.3	Aanpak	4
1.4	Leeswijzer	5
<b>2</b>	<b>Ontwikkelingen op gebied van het kwantificeren van risico's</b>	<b>6</b>
2.1	Inleiding	6
2.2	Kwantificeren van risico's in literatuur	7
2.3	Technologische en kennisontwikkelingen over risicoanalyse bij Nederlandse waterbedrijven	8
2.4	Gebruik van risicomatrix door drinkwaterbedrijven	12
2.5	Aggregatie van risicocategorieën	13
2.6	Ontwikkelingen van risicoanalyse t.o.v. 2008	14
<b>3</b>	<b>Totaalaanpak risicoanalyse</b>	<b>16</b>
3.1	Inleiding	16
3.2	Risicoanalyse van leidingnetten	17
<b>4</b>	<b>Risicoanalyse van leveringsonderbreking door falen leidingsectie</b>	<b>21</b>
4.1	Introductie risicoanalyse van leveringsonderbreking	21
4.2	Doel gevoeligheidsanalyse CAVLAR	22
4.3	Toelichting case	23
4.4	Voorbeeld resultaten CAVLAR 3.0 in GIS	24
4.5	Resultaten gevoeligheidsanalyse	25
4.6	Resultaten van het uitvoeren van risicoanalyses op basis van leveringszekerheid	29
<b>5</b>	<b>Risicoanalyse falen van secties m.b.t. risicovolle objecten</b>	<b>30</b>
5.1	Inleiding	30
5.2	Stappenplan	30
5.3	Resultaten voor Den Bosch	31
5.4	Resultaten van risicoanalyse m.b.t. risicovolle objecten	34
<b>6</b>	<b>Discussie</b>	<b>35</b>
6.1	Huidige situatie	35
6.2	Hoe verder	36
6.3	Nieuwe tools	38
<b>7</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>39</b>
7.1	Conclusies	39

7.2	Aanbevelingen voor implementatie	39
7.3	Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek	40
<b>8</b>	<b>Referenties</b>	<b>41</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

Eén van de belangrijkste onderdelen in assetmanagement van het distributienet is vaststellen welke leidingen<sup>1</sup> en/of afsluitersecties kritisch zijn, d.w.z. welke onderdelen een te hoog risico hebben. Om te komen tot een objectieve beoordeling hoort een risicoanalyse een kwantitatieve en transparante grondslag te hebben die bovendien een afspiegeling is van bedrijfswaarden. Binnen het BTO is in 2008 een kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd met de casestudie Montfoort (Beuken 2008). Er is toen een stappenplan ontwikkeld om de risico's te kwantificeren en tot een rangorde van secties te komen, ter ondersteuning van vervangingsbeslissingen. Op basis van de analyse is aangetoond dat het mogelijk is om kritieke leidingen te identificeren door middel van een kwantitatieve risicoanalyse. Er is toen gebleken dat er discrepanties waren tussen de informatiebehoefte en het beschikbare informatieaanbod. De kwaliteit van een analyse houdt nauw verband met de kwaliteit van de beschikbare informatie. Verder was het uitvoeren van een risicoanalyse voor een distributienet, zoals destijds uitgevoerd, erg tijdsintensief, met name door de vele handmatige rekenslagen. Aangezien er de laatste jaren aanzienlijke verbeteringen hebben plaatsgevonden, is te verwachten dat de beschikbaarheid en de kwaliteit van (met name de geografische) informatie en (risico) analyse-tools zullen leiden tot nauwkeurigere en snellere risicoanalyses van het leidingnet.

In de laatste jaren is in verschillende (BTO) studies en bij de waterbedrijven kennis ontwikkeld over het leidingnet en methodes om gevolgen van leidingfalen te berekenen. Relevante ontwikkelingen op dit punt zijn meer kennis over de leidingconditie, betere rekenmodellen, betere informatiesystemen en een betere vertaling van strategische waarden naar effectcategorieën. Die kennis kan het stappenplan dat in 2008 is ontwikkeld, verder ondersteunen en verbeteren.

## 1.2 Doel

Het doel van dit project is tweeledig. Het eerste doel is het inventariseren van ontwikkelingen die betrekking hebben op de risicoanalyse die het stappenplan van 2008 verdiepen. Het tweede doel is het weergeven van voorbeelden bij een aantal nieuwe/sterk vernieuwde stappen. Binnen dit project paste het niet om de casestudie van Montfoort in zijn geheel over te doen.

## 1.3 Aanpak

Allereerst is een inventarisatie uitgevoerd van relevante (technologische) ontwikkelingen die een verbeterde risicoanalyse mogelijk maken. Verder is ook een literatuuronderzoek uitgevoerd naar vergelijkbare analyses. Daarna is het opgestelde stappenplan uit 2008 herzien in het kader van totaalaanpak risicoanalyse (Integral Risk Analysis).

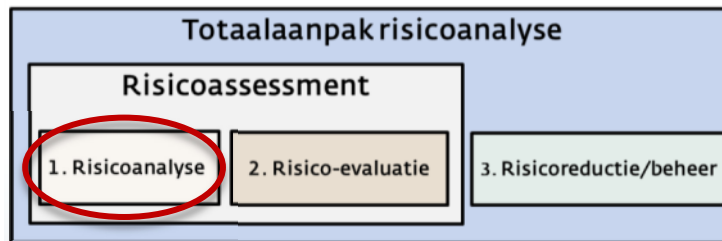
In de literatuur worden drie specifieke fases binnen 'Totaalaanpak risicoanalyse' onderscheiden, Figuur 1-1. Risicoassessment bevat de risicoanalyse en de risico-evaluatie. Totaalaanpak risicoanalyse bevat de risicoassessment en de risicoreductie en beheer. De

---

<sup>1</sup> Leiding: een samenstel van buisdelen en verbindingen waarvoor geldt dat zij (a) van hetzelfde materiaal gemaakt zijn, (b) dezelfde diameter, wanddikte en sterkteklasse hebben en (c) in hetzelfde jaar aangelegd zijn. (uit het project Naar een uniforme kwaliteit van USTORE – fase 2).



focus van dit rapport is de risicoanalyse fase. Een aantal voorbeelden van risicoanalyses zijn uitgewerkt ter illustratie van nieuwe ontwikkelingen.



FIGUUR 1-1 FASES BINNEN TOTAALAANPAK RISICOANALYSE. DE FOCUS VAN DIT RAPPORT IS DE RISICOANALYSE FASE.

#### 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de ontwikkelingen op gebied van het kwantificeren van risico's. In Hoofdstuk 3 wordt de methode voor het kwantificeren van risico's voor het distributienet geschetst in het kader van totaalaanpak risicoanalyse. Hoofdstuk 4 en 5 laten een paar voorbeelden zien met gedetailleerde risicoberekeningen. Hoofdstuk 4 laat de verdieping op gebied van OLM risico berekeningen zien en Hoofdstuk 5 toont een voorbeeld voor de berekeningen van veiligheidsrisico's gerelateerd aan ontgrondingskuilen. Hoofdstuk 6 bevat de discussie en in Hoofdstuk 7 zijn conclusies weergegeven en zijn aanbevelingen geformuleerd.

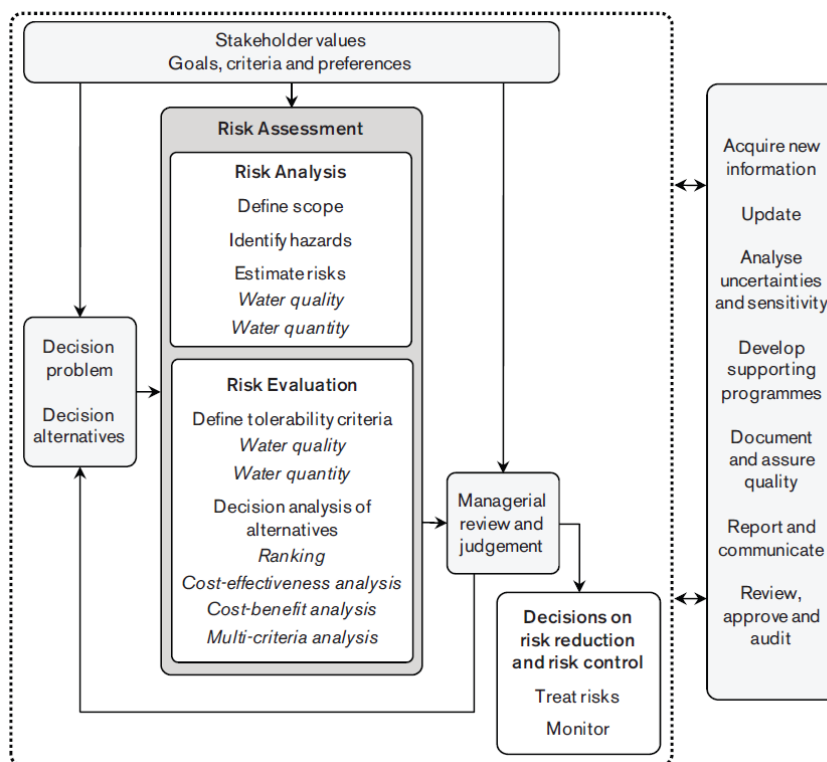
## 2 Ontwikkelingen op gebied van het kwantificeren van risico's

### 2.1 Inleiding

Informatiesystemen en databeschikbaarheid ontwikkelen zich in een hoog tempo. Dit gaat gepaard met toenemende interesse van waterbedrijven voor het inventariseren, kwantificeren en beperken van risico's gerelateerd aan het falen van leidingen. Door de toenemende mogelijkheid van koppeling van informatiesystemen wordt het gebruik van databases en tools steeds interessanter. Verder kunnen met grotere beschikbare rekencapaciteit (nieuwe) modellen worden gekoppeld aan hydraulische modellen en GIS applicaties om betere en meer gedetailleerde analyses uit te voeren.

Ook op het gebied van certificering en standaardisatie zijn ontwikkelingen zichtbaar. In 2004 werd de PAS 55 gepubliceerd. In 2014 is de opvolger - ISO 55001 - gepubliceerd, als internationale norm. Deze nieuwe ISO-norm voor assetmanagement beschrijft alle eisen voor het implementeren van een assetmanagementsysteem binnen organisaties.

In de literatuur worden drie specifieke fases binnen 'Totaalaanpak risicoanalyse' onderscheiden, Figuur 1-1. Die fases hebben specifieke stappen die aangegeven zijn in Figuur 2-1, (Lindhe 2010).

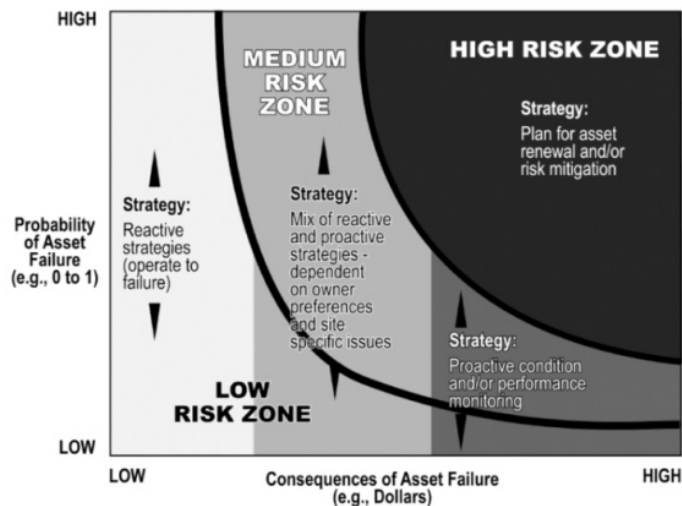


FIGUUR 2-1 GENERIEK STAPPENPLAN VOOR TOTAALANPAK RISICOANALYSE (LINDHE 2010)

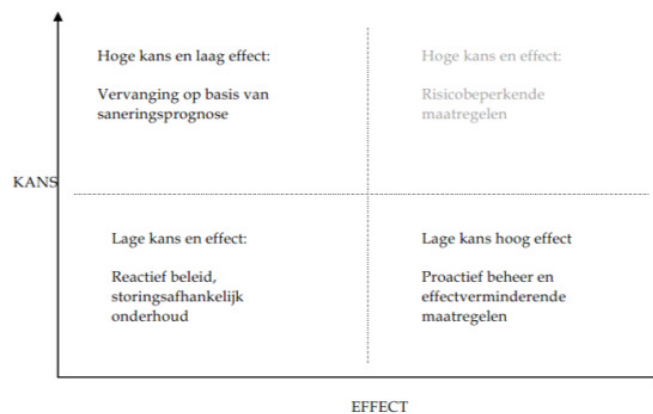
## 2.2 Kwantificeren van risico's in literatuur

Een aantal methoden, zowel kwalitatief als kwantitatief, zijn ontwikkeld om risicoanalyses uit te voeren, o.a. Failure modes, effect, en criticality analysis (FMECA), Foutenboomanalyse (Fault tree analysis, FTA), Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA); voor een overzicht zie Vries et al. (2015). Het risico wordt bepaald door rekening te houden met zowel de kans op en de gevolgen van het falen van een bepaalde asset. De gevolgen zijn gerelateerd aan de operationele context en de systeemconfiguratie (bv. aantal connecties, gevoelige klanten). In het algemeen blijven de mogelijke gevolgen van falen van assets relatief constant over een periode. Dus het gevolg van falen wordt vaak gebruikt om te kiezen tussen een pro-actieve of reactieve onderhoud- en vervangingsstrategie, zoals weergegeven in Figuur 2-2A. Figuur 2-2A is de basis van de zogenaamde 'risicomatrix'. Hierin worden de gekwantificeerde kans en effecten grafisch weergegeven om de risico's te evalueren. Bijna alle waterbedrijven in Nederland gebruiken die aanpak zie §2.4. Figuur 2-2B toont de risicokwadranten (de Kater et al. 2010).

A)



B)



FIGUUR 2-2 A) RISK EN MAINTENANCE STRATEGIES (LIU ET AL. 2012), B) RISICOKWADRANTEN LEIDINGNETBEHEER (DE KATER ET AL. 2010)

Ondanks verder ontwikkelde van kennis en methodes blijft het kwantificeren van risico's van het falen van een drinkwaterleiding een complexe berekening door de afhankelijkheid van de hydraulische condities en de eigenschappen van de omgeving.

Francisque et al. (2014) hebben een risico-index ontwikkeld om de selectie van vervanging van leidingen te ondersteunen waarin verschillende indicatoren worden geaggregeerd met behulp van het toekennen van gewichten aan bepaalde factoren. Met deze aanpak kan een risico-index voor elke leiding worden berekend. Daarna wordt de risico-index gebruikt om leidingen voor vervanging te prioriteren, dit wordt verder uitgelegd in §2.5. Een vergelijkbare aanpak is ook voorgesteld door (Mamo 2015). Rokstad en Ugarelli (2015) stelden een aanpak voor om leidingen te groeperen, gebaseerd op het concept van 'economies of scale'. Hierbij wordt aangenomen dat een optimale selectie kan worden gemaakt, gebaseerd op de locatie van de leidingen. Deze methodes zijn vooral gericht op kosten. Andere soorten risico's, zoals imago, worden meestal niet meegenomen. Bovendien wordt de configuratie van het net, namelijk de indeling in secties, niet beschouwd.

Er is weinig wetenschappelijke literatuur gerelateerd aan het kans van falen van afsluiters. Marlow et al. (2012) prioriteerde afsluiters, gebaseerd op het gerelateerde risico. Hier werden kans en gevolg apart beschouwd, zie Figuur 2-3. Voor 'effect' worden variabelen zoals reactie ('*response*') en beschikbaarheid van water ('*service provision*') meegenomen. KWR heeft hier wel veel over geschreven (Vloerbergh en van Thienen 2010, Blokker et al. 2011, Vreeburg 2012 en Vogelaar en Pieterse-Quirijns 2013) en CAVLAR ontwikkeld (Meerkerk et al. 2009).

Likelihood			Consequence		
1st level factor	2nd level factor	Characteristics	1st level factor	2nd level Factor	Characteristics
<i>Potential for deterioration</i>	Age (asset)	New or young asset	<i>Response</i>	Isolation time	< 1 h
		Ageing asset			1-2 h
	Old asset	> 2 h			
	External environment	Not aggressive, not vulnerable		Distance to back up assets	< 100 m
		Moderately aggressive			100-1000 m
	Internal environment	Aggressive and vulnerable		<i>Service provision</i>	Customers effected
Not aggressive, not vulnerable		< 100			
Moderately aggressive		100-1000			
Aggressive and vulnerable		1000-10,000			
			Key customers	> 10,000	
				None	
				1-2	
				> 2	

FIGUUR 2-3 VOORBEELD VAN RISICOANALYSE VOOR AFSLUITERS (MARLOW ET AL. 2012).

Ondanks dat er grote onzekerheden zijn bij het bepalen van faalkans en gevolg, wordt in de literatuur nauwelijks verwezen naar de onzekerheid van het berekende risico. Dit komt waarschijnlijk door het feit dat prioritering wordt gedaan gebaseerd op een "relatieve waarde", bv. risico-index. Risico's zijn niet altijd eenduidig kwantitatief te berekenen, er is altijd een bepaalde betrouwbaarheid bij de bepaling ervan gemoeid. Als rekening wordt gehouden met onzekerheden in de invoergegevens is het risico beter als een waarschijnlijkheidsverdeling te berekenen (Vries et al. 2015).

### 2.3 Technologische en kennisontwikkelingen over risicoanalyse bij Nederlandse waterbedrijven

Waterbedrijven besteden steeds meer aandacht aan het verantwoord omgaan met risico's. Verschillende complementaire studies hebben plaatsgevonden. In dit rapport presenteren wij

een overzicht van de opgedane kennis en hoe deze kan worden gebruikt voor het verbeteren van het kwantificeren van risico's. In de laatste 10 jaar zijn ca. 20 rapporten verschenen die een bijdrage leveren aan het kwantificeren van risico's. Tabel 2-1 toont het overzicht van kennis en tools ontwikkeld binnen het BTO in de laatste 10 jaar m.b.t. risicoanalyse. In de tabel wordt een onderscheid gemaakt tussen: 1) scope en methode, 2) risicoanalyse, onderverdeeld in effect en kans en 3) risicoreductie.

Het overzicht toont dat ontwikkelingen in verschillende velden hebben plaatsgevonden. In 2006 zijn er verschillende methoden voor risicobeheer besproken en is een aanzet gegeven om deze methoden geschikt te maken voor distributienetten. Hiervoor zijn risicobeoordelingsmatrices opgesteld die betrekking hebben op het falen van een leiding (van den Boomen 2006). In 2008 is onderzocht of deze risicobeoordelingsmatrices in de praktijk toepasbaar zijn voor een risicoanalyse van een distributienet en of dit leidt tot zinvolle resultaten. Hier is belangrijk te benadrukken dat risicomatrices een vorm zijn van risico-evaluatie methoden, Figuur 2-1. Deze evaluatie is afhankelijk van de nauwkeurigheid van de kwantificatie van de kans en de effecten van een bepaalde gebeurtenis, in dit geval het falen van een leiding. Nieuwe methodes zijn ontwikkeld, zoals de nieuwe formule voor het berekenen van ontgrondingskuilen die wordt beschreven in van Daal et al. (2011). Deze studie heeft betrekking op scope/methode en op berekeningen van effect. Sommige studies richten zich alleen op kans, bv. assetmanagement van appendages (Vreeburg 2014). Andere studies richten zich op overkoepelende thema's zoals data beschikbaarheid en integratie. Skornsek (2011) heeft een inventarisatie gemaakt van de vraag, het aanbod, de eisen en de geschiktheid van diverse geodatasets. Daarna werden in 2015 de mogelijkheden geïnventariseerd om GIS-informatie te gebruiken als input voor het Kennissysteem Levensduurbepaling (KSLB) (Skornsek 2015).

Gerelateerd aan de kans op falen van leidingen, zijn projecten uitgevoerd met als doel meer informatie over het falen van leidingen te verzamelen. Dit wordt gedaan door de registratie van storingen in USTORE, door meer en betere inspectie-technieken toe te passen en spanning- en verouderingsmodellen te ontwikkelen. Nieuwe methoden zoals COMSIMA (Wols en Moerman 2015) zijn ontwikkeld om complexere analyses uit te voeren t.o.v. het KSLB. USTORE bevat inmiddels (d.d. 20 april 2016) meer dan 18.500 storingen van 8 drinkwaterbedrijven. Doordat er steeds meer storingen beschikbaar zijn in USTORE kunnen storingsfrequenties bepaald worden voor nauwkeuriger afgebakende leidingcohorten met behoud van voldoende statistische betrouwbaarheid. USTORE vormt hiermee een belangrijke basis voor het bepalen van leidingfalen als input voor de risicomatrix.

Gerelateerd aan het effect van het falen van leidingen, zijn o.a. de volgende ontwikkelingen: 1) een verbeterde methode voor het bepalen van ontgrondingskuilen is vastgelegd. Op die manier krijgen waterbedrijven beter inzicht in de directe impact van een leidingbreuk op de omgeving (van Daal et al. 2011). 2) QMRA methode, gekoppeld aan hydraulische modellen, om te identificeren welke leiding het meeste bijdraagt aan besmettingsrisico bij leidingreparatie (Blokker et al. 2016). 3) het beschrijven van lokale en voortplanting van effecten, gerelateerd aan het falen van leidingen en afsluiters (Pieterse-Quirijns en Agudelo-Vera 2015). Verschillende methoden zijn ook verbeterd, bijvoorbeeld USTORE data via python direct toepasbaar in CAVLAR, zie hoofdstuk 4.

Ander onderzoek richt zich op het vastleggen van prestatie-indicatoren en stuurparameters die een afspiegeling zijn van de prestatie van de levering en het functioneren van assets. Deze prestatie-indicatoren en stuurparameters zijn gekoppeld aan strategische en tactische doelen en aan hypothesen voor gewenste toekomstige ontwikkelingen en kunnen worden gebruikt om risico's te kwantificeren.

In dit rapport hebben wij de literatuur (BTO en niet BTO) overzichtelijk met elkaar in verband gebracht. Uit de literatuurstudie is gebleken dat Nederlandse bedrijven koplopers zijn op het gebied van risicoanalyse van distributienetten. Veel studies richten zich op het bepalen van faalkansen of op risico-evaluatie (de Vries et al., 2015), maar niet op risicoanalyse (kwantificeren van risico's). Ondanks dat de literatuur over risicoanalyse breed is, zijn niet alle methoden toepasbaar op het distributienet waarin de hydraulische kenmerken de maat van de gevolgen van falen beïnvloeden (Vries et al. 2015). In deze literatuurstudie zijn slechts nieuwe of belangrijke niet BTO-referenties toegevoegd. Dit heeft te maken met het feit dat elk BTO-rapport een specifieke referentielijst heeft. Verder, zijn de studies beschreven in §2.2 locatiespecifiek en kunnen niet één op één met de Nederlandse situatie vergeleken worden. Daarom richten wij ons in Tabel 2-1 op BTO-studies.

Voor een efficiënte toepassing van deze kennis zijn nadere inspanningen nodig voor het versnellen van het analyseproces en voor het verbeteren van data. Een aantal voorbeelden worden geïllustreerd in hoofdstukken 4 en 5.



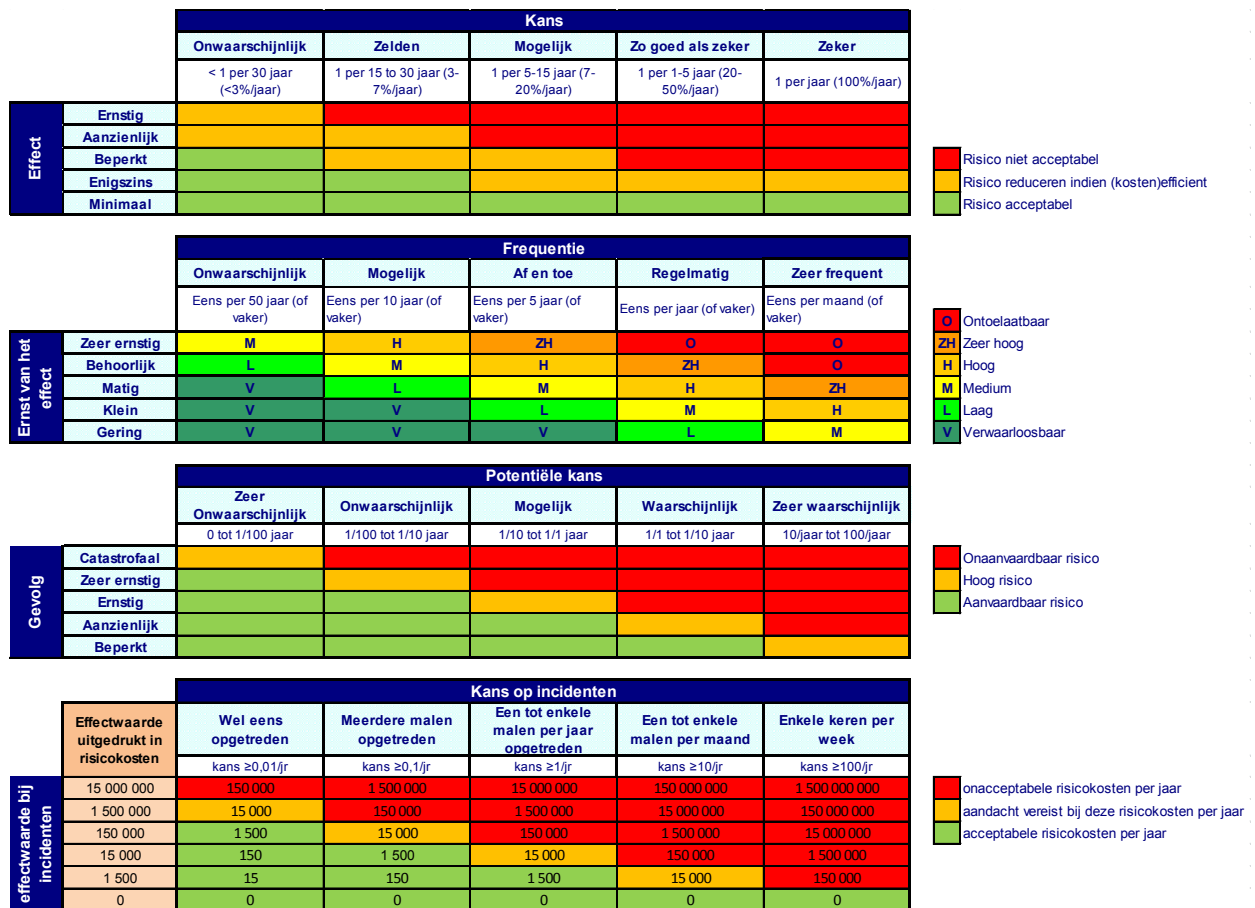
TABEL 2-1 OVERZICHT VAN ONTWIKKELINGEN OP HET GEBIED VAN DE TOTAALANPAK RISICOANALYSE VAN HET LEIDINGNET

Jaar	Rapporttitel/Doel	1. Scope en methode	2. Risicoanalyse		3. risico reductie	Referentie
			Effect	Kans		
2006	Risicogestuurd onderhoud van distributie-infrastructuur -		Ontwikkeling van risicobeoordelingsmatrices			(van den Boomen 2006)
2008	Analysemethode ontwikkeld en getest middels een case-study: Montfoort		Casestudie: toepassing van risicomatrices			(Beuken 2008)
2010	Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten		Inspectie Technieken			(de Kater et al. 2010)
2011	Inventarisatie risicovolle leidingen in een stedelijke omgeving - Koppeling rekenregels ontgrondingskuilen met GIS	Integratie GIS	Veiligheid Ontgrondingskuilen			(van Daal et al. 2011)
2011	Informatiebehoefte saneringsbeleid en GIS		Beschikbaarheid: GIS informatie			(Skornsek 2011)
2011	Kennissysteem Levensduurbepaling Versie 2.0			Levensduur		(Beuken en Mesman 2011)
2013	Strategie calamiteiten in het leidingnet				Waterkwaliteit	(Vreeburg 2013)
2013	Methode voor bepalen optimale sectiegrootte op basis van ontwerpen van een specifiek net		OLM			(Vogelaar en Pieterse-Quirijns 2013)
2013	Lifetime prediction of PVC push-fit joints			Verbindingen		(Arsenio 2013)
2014	De waarde van exitbeoordelingen op AC en GGJ leidingdelen			Conditie-bepaling		(Beuken et al. 2014)
2014	Assetmanagement van Appendages			Afsluiters		(Vreeburg 2014)
2014	Handleiding VLPV-methodiek en -softwaretool. Tool voor analyse van leveringspatronen	analyse van leveringspatronen			Lek detectie	(Pieterse-Quirijns 2014)
2015	Assetmanagement in balans - systematiek voor integraal en kwantitatief beheer van de drinkwaterketen	Bron tot kraan	Algemeen methoden en toepassingen			(Vries et al. 2015)
2015	Prestatie-indicatoren(PI) en stuurparameters(SP) voor het distributienet	PI & SP				(Beuken 2015)
2015	Programma van eisen cavlar		Effect kwantificatie: Lokale en Voortplanting			(Pieterse-Quirijns en Agudelo-Vera 2015)
2015	COMSIMA model voor spanningen op ondergrondse leidingen	spanningen model		hele leidingnet		(Wols en Moerman 2015)
2015	Meerwaarde Geo-informatie voor Kennissysteem Levensduurbepaling Leidingen	Integratie GIS & KSLB	Beschikbaarheid Geo-informatie			(Skornsek 2015)
2015	Risico Falen TL-net. Het potentiële effect van leidingbreuken voorafgaand aan isolatie.	TL	Breuken op TL			(Vogelaar 2015)
2015	Onderbouwing besluitvorming bij saneren van leidingen	PDCA				(Agudelo-Vera en Beuken 2015)
2015	De waarde van klantmeldingen - Alternatieve Indicatoren voor waterkwaliteitsproblemen		Waterkwaliteit			(Vertommen en van Thienen 2015)
2016	QMRA analyse in het net na werkzaamheden	QMRA	Waterkwaliteit			(Blokker et al. 2016)
2016	Van leidingdata naar leidingkennis; een conceptarchitectuur voor UKNOW	architectuur	Data integratie			(Moerman et al. 2016)

### 2.4 Gebruik van risicomatrix door drinkwaterbedrijven

In de laatste jaren zijn de waterbedrijven bezig met het ontwikkelen van risicomatrices die aangepast zijn aan hun eigen bedrijfswaarden. In de risicomatrix worden effecten (van mild tot ernstig) gerangschikt op de ene as en de kans dat een dergelijk effect optreedt op de andere as. Op de 'effecten' as worden ook de primaire criteria gesteld. Uitkomsten van risico-indicatoren worden doorgaans gediscetiseerd in een aantal klassen, waarbij aan elke klasse een kleur wordt toegekend (Vries et al., 2015).

De risicomatrix wordt veel gebruikt door de Nederlandse drinkwaterbedrijven. Bedrijven gebruiken verschillende aantallen (3 tot 6) en typen evaluatie-indicatoren (Figuur 2-4). Het gebruik hangt o.a. af van bedrijfswaarden en, in het algemeen, de risicokosten (ingeschatte gevolgkosten bij een bepaalde gebeurtenis), die in de risicomatrix vaak worden gediscetiseerd (bijvoorbeeld laag, middelgroot, hoog, zeer hoog, onaanvaardbaar). Meestal wordt discretisatie van de gevolgen en faalkans op een logaritmische schaal weergegeven.



FIGUUR 2-4 VOORBEELDEN VAN RISICOMATRICES VAN VIER WATERBEDRIJVEN UIT HET JAAR 2014 (KLEINE AANPASSINGEN ZIJN UITGEVOERD VOOR VERDUIDELIJKING)

De huidige risicomatrices zijn niet gemakkelijk vergelijkbaar, voor wat betreft de verdeling van kans en effect, Figuur 2-4. Voor sommige bedrijven is het hoogste risico maatgevend, d.w.z. dat wanneer een gebeurtenis risico's in meerdere categorieën scoort, het hoogste risico dan maatgevend is. Andere bedrijven hebben risicomatrices ontwikkeld waarin de risico's kunnen worden opgeteld, bv. door het vertalen van alle risico's naar één eenheid, bv.

naar euro. Meestal is er interne documentatie aanwezig om de risicomatrix te beschrijven en de verantwoordelijkheden van het onderhoud vast te leggen. Risicomatrices worden periodiek herzien.

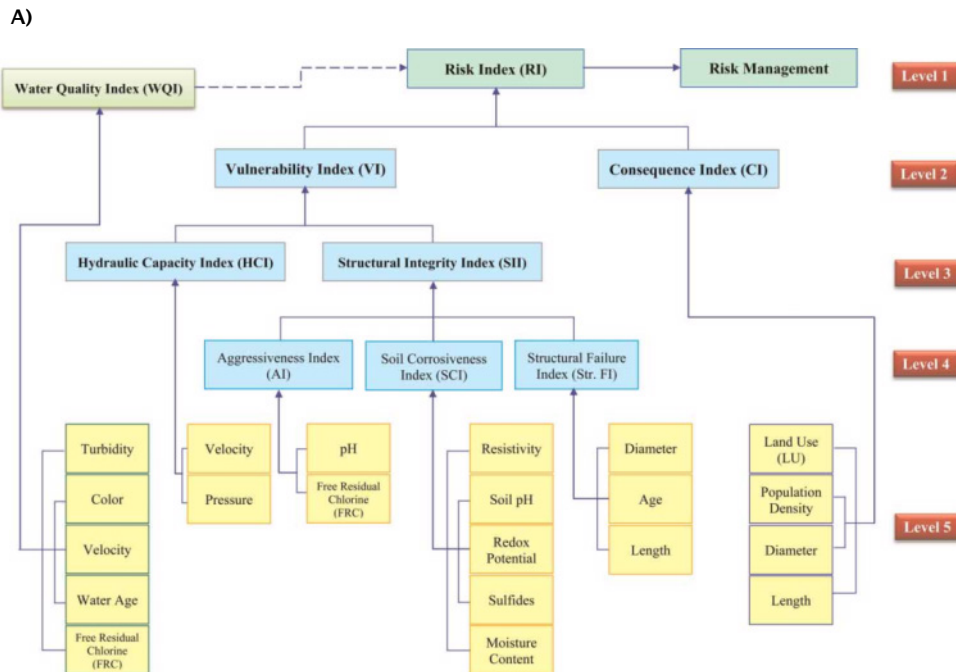
Meestal gebruiken waterbedrijven de risicomatrix voor prioritering van projecten. Naast deze prioritering worden andere tools gebruikt voor de selectie van assetmanagement activiteiten, bv. bij Vitens wordt sinds 2013 voor het prioriteren van (combi-)saneringen gebruikgemaakt van het model dat ontwikkeld is voor de investeringsprognose (Pipe Replacement Potential - PRP model). Dit model is gebaseerd op een risicobenadering (kans x effect) waarbij de volgende effectcriteria worden gebruikt: jaarverbruik op leidingsectie; aanwezigheid kwetsbare klanten; ligging in landelijk of stedelijk gebied. Bij Brabant Water wordt ook een "risicotool" gebruikt om kosten te berekenen. Verder gebruiken de waterbedrijven softwarepakketen voor de ondersteuning van saneringsbeslissingen van leidingen (Beuken 2010)

## 2.5 Aggregatie van risicocategorieën

De functie van tools, zoals de risicomatrices, is om de selectie van assetmanagementmaatregelen te ondersteunen en faciliteren. Het is belangrijk dat waterbedrijven een protocol vastleggen met een gebruiksaanwijzing voor de matrices. Voor sommige bedrijven geldt dat als er één sectie op een categorie een onacceptabel risico heeft, deze sectie boven in de prioritering komt. Andere bedrijven hanteren alleen het totale risico om een beslissing te nemen. Er is geen goed of fout, maar het is belangrijk dat de ontwikkeling en aannames gedocumenteerd zijn en dat de matrices periodiek herzien worden om te garanderen dat zij functioneren. Zoals beschreven in § 2.2, kunnen indices worden gedefinieerd per categorie, maar ook gewicht per categorie, Figuur 2-5. In het algemeen kan het totale risico worden beschreven als:

$$Risico\ per\ sectie = \sum_{i=1}^n g_i * (LRn_i + VRn_i)$$

Waar  $n$  is het aantal risicocategorieën,  $g$  is het gewicht per categorie,  $LRn$  is het genormaliseerde lokaal risico en  $VRn$  is het genormaliseerde voortplantingsrisico (Pieterse-Quirijns en Agudelo-Vera 2015). Voor meer informatie over normalisatie zie Vries et al. (2015). Figuur 2-5A-B tonen één voorbeeld van aggregatie, waarin alles is vanaf het begin al ten opzichte van elkaar gewogen (Francisque et al. 2014). In Montfoort zijn eigenlijk alle categorieën apart 'uitgerekend', en daarna bij elkaar gevoegd (Beuken 2008).



B)

Level 5		Level 4		Level 3		Level 2		Level 1
Factor	Weight	Factor	Weight	Factor	Weight	Factor	Weight	
Regression model used (Diverse parameters)		Structural Failure Index (Str. FI)	0.50	Structural Integrity Index (SII)	0.6	Vulnerability Index (VI)	0.7	Risk Index (RI)
Point scoring model used (Diverse soil parameters)		Soil Corrosiveness Index (SCI)	0.30					
pH <sup>a</sup>	0.5	Aggressiveness Index (AI)	0.20					
Free residual chlorine <sup>a</sup>	0.5							
Pressure	0.8			Hydraulic Capacity Index (HCI)	0.4			
Velocity	0.2							
Land use	0.35					Consequence Index (CI)	0.5	
Population density	0.35							
Pipe diameter	0.2							
Pipe length	0.1							

FIGUUR 2-5 RISICO-INDEX ONTWIKKELD DOOR FRANCISQUE ET AL. (2014). A) VAN INDICATOREN NAAR INDICES B) SPECIFICATIE VAN GEWICHTEN PER INDICATOR EN PER NIVEAU TOT EEN ENKELE SCORE.

### 2.6 Ontwikkelingen van risicoanalyse t.o.v. 2008

Tabel 2-1 toonde de ontwikkelingen op het gebied van de totaalaanpak risicoanalyse van het leidingnet. De focus van dit rapport is risicoanalyse. Tabel 2-2 toont de ontwikkelingen op gebied van risicoanalyse t.o.v. de analyse van de casestudie Montfoort 2008 (Beuken 2008). De veranderingen die zijn opgetreden zijn: betere data bv. voor faalkans, betere tools bv. CAVLAR en betere kennis bv. ontgrondingskuilen berekeningen. Hoofdstuk 4 en 5 laten die voorbeelden zien met gedetailleerde risicoberekeningen.

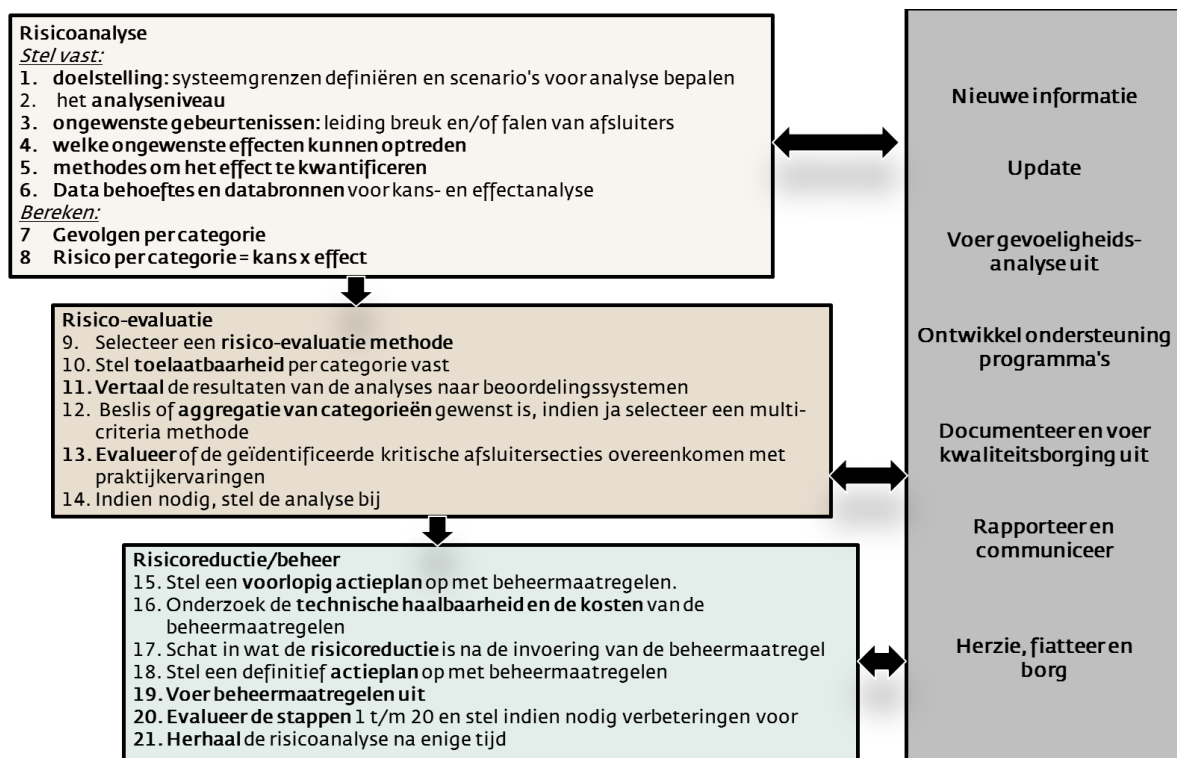
TABEL 2-2 OVERZICHT ONTWIKKELINGEN T.O.V. 2008 OP GEBIED VAN RISICOANALYSE

Faalkans of risicocategorie		2008 casestudie Montfoort	Status (2016)
<b>Risicoanalyse</b>			
Faalkans	Tools	Interne registratie bij bedrijven	USTORE - Continue registratie.
	Gegevens	Voor Montfoort – storingsregistratie per materiaal. 3 Bronnen: de kern van Montfoort, Utrecht en Midden Nederland.	Nauwkeurigere, beter toegankelijke en betrouwbaardere data. In deze studie: Hoofdstuk 4: storingsregistratie per materiaal en jaar van aanleg .
OLM	Tools / analyse	CAVLAR 1.0	Verbeterde tool: CAVLAR 3.0 (van Summeren en Moerman 2015) – Meer functionaliteit bv. faalkans afhankelijk van USTORE en koppeling met GIS. Tool ontwikkeld door Rolsch - niet getest in dit rapport.
		Ondermaatse druk met hydraulische modellering (InfoWorks).	Geen verbeterd model, maar wel verbeterde data m.b.t. faalkans. Geen casestudie gedaan.
		Lokale effecten.	Voortplantende effecten beschreven in Pieterse-Quirijns en Agudelo-Vera (2015) - Nog te automatiseren. Geen casestudie gedaan.
	Gegevens	Voor Montfoort: Afsluiter betrouwbaarheid 90% en gemiddeld aantal aansluitingen/km.	Netwerkmodellen: betere aansluiting op GIS. In deze studie - Hoofdstuk 4: Afsluiter betrouwbaarheid 70-80-90% en aantal aansluitingen/sectie uit BAG en nauwkeuriger faalkans
Kosten / Veiligheid	Tools / analyse	Hydraulische modellering (InfoWorks).	Hydraulische modellering (InfoWorks). Niet onderzocht is wat de relevante verbeteringen van InfoWorks zijn. Snellere analyses en grotere opslag capaciteit. In deze studie, Hoofdstuk 5: groter gebied en meer scenario's Andere netwerken modellen zijn Epanet, SynerGEE, Bentley; die zijn in dit rapport niet getest.
		Ontgrondingskuilen vergelijking uit NEN3650.	Verbeterde methode met gegevens uit het leidingnetmodel (van Daal et al. 2011)
	Gegevens	GIS databases.	Meer en nauwkeuriger GIS informatie beschikbaar: kleinere resolutie, meer openbaar, beter onderbouwd en actueler.
Waterkwaliteit	Tools / Analyse	Leidingnetmodellen (Aleid).	n.v.t.
		Klachtenanalyse voor verblijftijd en volumestroom.	Verbeterde klachtenregistratie van waterbedrijven. Vertommen en van Thienen (2015) hebben verbeteringen voor registratie aangekaart en Vonk et. al (2016) hebben geen relatie tussen klachten en leidingnetkenmerken gevonden. Blokker (2010) heeft laten zien dat verblijftijd veel beter bepaald kan worden met SIMDEUM en daar zit een verbeterpotentieel in de analyse. Geen casestudie gedaan.
	Gegevens	Klachten van ca. 10 jaar.	n.v.t.
Imago	Tools / Analyse	GIS – aanwezigheid van kwetsbare objecten	n.v.t.
	Gegevens	Gegevens uit GIS database bv. scholen, en gouden gids bv. kappers.	Meer, beter toegankelijke en nauwkeurigere GIS informatie beschikbaar (Skornsek 2015).
<b>Risico-evaluatie</b>			
Evaluatie		Risicomatrices (pilot).	Elk bedrijf heeft eigen evaluatiemethode bv. risicomatrices die afgestemd zijn op strategische doelen ontwikkeld en geïmplementeerd. Bedrijven gebruiken softwarepakketten voor de ondersteuning van saneringsbeslissingen van leidingen.
Aggregatie		Weegfactoren (pilot).	

## 3 Totaalaanpak risicoanalyse

### 3.1 Inleiding

In 2008 werd een stappenplan, bestaande uit 18 stappen, ontwikkeld. In dit onderzoek hebben wij het stappenplan herzien (scope en volgorde) en, gebruikmakend van het kader en de stappen die in Figuur 2-1 zijn geïntroduceerd, is een herzien stappenplan ontwikkeld voor het kwantificeren van risico's van falen van een afsluitersectie en dus niet een enkele leiding, Figuur 3-1. De stappen zijn nu duidelijker geïdentificeerd in één van de fases van de totaalaanpak risicoanalyse en Figuur 3-1 toont ook de relatie tussen het stappenplan en het informatiebeheer, aangegeven aan de rechterkant van de figuur.



FIGUUR 3-1 HERZIENE METHODE OM RISICO'S VAN FALEN VAN EEN AFSLUITERSECTIE TE KWANTIFICEREN

### Risicoanalyse

De risicoanalyse wordt in acht stappen uitgevoerd:

1. Stel de doelstelling vast van de risicoanalyse, bijvoorbeeld: "het optimaal functioneren van het distributiesysteem door die leidingen te identificeren die een groter risico vertegenwoordigen op ongewenste gebeurtenissen met ongewenste effecten".
2. Stel voor het leidingnet het analyseniveau vast, bv. een afsluitersectie.



3. Stel vast welke ongewenste gebeurtenissen zullen worden geanalyseerd. Bv. een leidingbreuk of het falen van een afsluiter.
4. Stel vast welke ongewenste effecten kunnen optreden. Effecten kunnen direct of indirect zijn. Stel het aantal en de afbakening van de categorieën vast voor kans en effect, bv. leveringsonderbreking, ondermaatse druk, ondermaatse waterkwaliteit, imago en Kosten/Veiligheid.
5. Selecteer, nadat het overzicht van gevolgen is opgesteld, een analysemethode om de mogelijke gevolgen per categorie te berekenen, bv. Cavlar voor OLM, klachten voor waterkwaliteit, etc.
6. Onderzoek welke gegevens noodzakelijk zijn voor het kwantificeren van de risico's, bv. risicobeoordelingsmatrices.
7. Voer de gevolgenanalyses uit: bereken de mogelijke gevolgen per categorie en per afsluitersectie.
8. Voer de risicoanalyses uit: risico = gevolg x kans.

### Risico-evaluatie

9. Selecteer een risico-evaluatie methode, bv. risicomatrix, beslisboom, ect.
10. Stel toelaatbaarheid per categorie vast, bv. wat is kritisch en niet-kritisch per risicobeoordelingsmatrix.
11. Vertaal de resultaten van de analyses naar beoordelingssystemen, bv. risicobeoordelingsmatrices.
12. Beslis of aggregatie van categorieën gewenst is, indien ja selecteer een multi-criteria methode, bv. consolideer de verschillende matrices tot één matrix die aangeeft welke afsluitersecties kritisch zijn.
13. Evalueer of de geïdentificeerde kritische afsluitersecties overeenkomen met praktijkervaringen. De risico-matrices zijn een tool, expertkennis van het systeem is noodzakelijk om tot het definitief prioriteren van afsluitersecties te komen.
14. Indien nodig, stel de analyse bij.

### Risicoreductie

15. Stel een voorlopig actieplan op met beheermaatregelen. Hier wordt gebruik gemaakt van ALARP (As Low As Reasonable Practicable). Dit wordt bedrijfsspecifiek gedefinieerd, gebaseerd op bv. toelaatbare risico's en beschikbare (geld)middelen, arbeidskracht.
16. Onderzoek de technische haalbaarheid en de kosten van de beheermaatregelen.
17. Schat in wat de risicoreductie is na de invoering van de beheermaatregel.
18. Stel een definitief actieplan op met beheermaatregelen.
19. Voer beheermaatregelen uit.
20. Evalueer de stappen 1 t/m 19 en stel indien nodig verbeteringen voor.
21. Herhaal de risicoanalyse na enige tijd, bijvoorbeeld 1 à 2 jaar.

## 3.2 Risicoanalyse van leidingnetten

Voor een totaalaanpak risicoanalyse, geïntroduceerd in Figuur 3-1, zijn 21 stappen vastgelegd. De focus van dit rapport zijn de risicoanalyse stappen 1 t/m 8.

### Stap 1: Doelstelling

Een leiding kan falen doordat de leiding niet de gewenste hoeveelheid water kan leveren. Een leiding kan ook falen doordat de gewenste waterkwaliteit niet kan worden geleverd. Voor het distributienet richten de methodes zich meestal op het eerste type van falen.

Waterkwaliteitsproblemen worden meestal niet opgelost door een sanering, maar door een spui-actie of toevoeging van chloor, tenzij de klachten echt structureel zijn (Agudelo-Vera en

Beuken 2015). Er wordt aanbevolen om dit apart te beschouwen voor specifieke cases en niet voor het hele distributienet, om de berekeningen te versnellen.

### **Stap 2: Analyseniveau**

Assetmanagement focust tot nu toe vooral op leidingdelen. De kwantitatieve prestatie van een leidingnet is afhankelijk van de aanwezigheid van afsluiters (ontwerp afsluiterconfiguratie) en het functioneren ervan (afsluiterbetrouwbaarheid). Afsluiters zijn noodzakelijk voor de continuïteit van levering bij onderhoud, voor spuiprogramma's en bij isolatie van eventuele leidingbreuken en besmettingen. Als een sectie goed afgesloten kan worden door afsluiters, kan de levering van drinkwater in de rest van het leidingnet kwalitatief en kwantitatief gewaarborgd worden. Bij het falen van afsluiters is een succesvolle afsluiting van een sectie niet mogelijk. Dit kan allerlei effecten hebben, zoals een toename van het aantal ondermaatse leveringsminuten (OLM), grotere kans op het treffen van een risicovolle klant, bijvoorbeeld een ziekenhuis, imagoverlies van het drinkwaterbedrijf, klachten, etc. Dus de risicoanalyse zou zich niet alleen moeten richten op het falen van een leiding, maar ook op het falen van een afsluitersectie. De beschrijving van lokale effecten en voortplanting van effecten, gerelateerd aan het falen van een leiding en een afsluiter, zijn beschreven in Pieterse-Quirijns en Agudelo-Vera (2015).

### **Stappen 3-5: Definitie van falen**

Stappen 3 t/m 5 kunnen worden uitgevoerd o.a. met de Bow-Tie-methode, andere methoden zijn uitgebreide toegelicht in Vries et al. (2015). De Bow-Tie-methode is een kwalitatieve risicoanalyse methode waarmee op een systematische en efficiënte wijze een beeld kan worden verkregen van de risico's en van de preventieve en correctieve maatregelen die hierop (kunnen) worden ingezet. Het Bow-Tie concept is gebaseerd op de definitie van een belangrijke gebeurtenis waarmee het belangrijkste kenmerk van een ongeval wordt beschreven. Deze gebeurtenis wordt dan ook de centrale gebeurtenis genoemd. In het model kunnen dan twee delen worden onderscheiden: links van de centrale gebeurtenis oftewel het conditiegedeelte of ALS-deel; en rechts van de centrale gebeurtenis oftewel het conclusiegedeelte of DAN-deel, Figuur 3-2A. Zoals eerder vermeld, richt dit rapport zich niet alleen op het falen van een leiding, maar ook op het falen van een afsluiter Figuur 3-2B.

### **Stap 6: Databehoeftte en databronnen**

#### Faalfrequentie

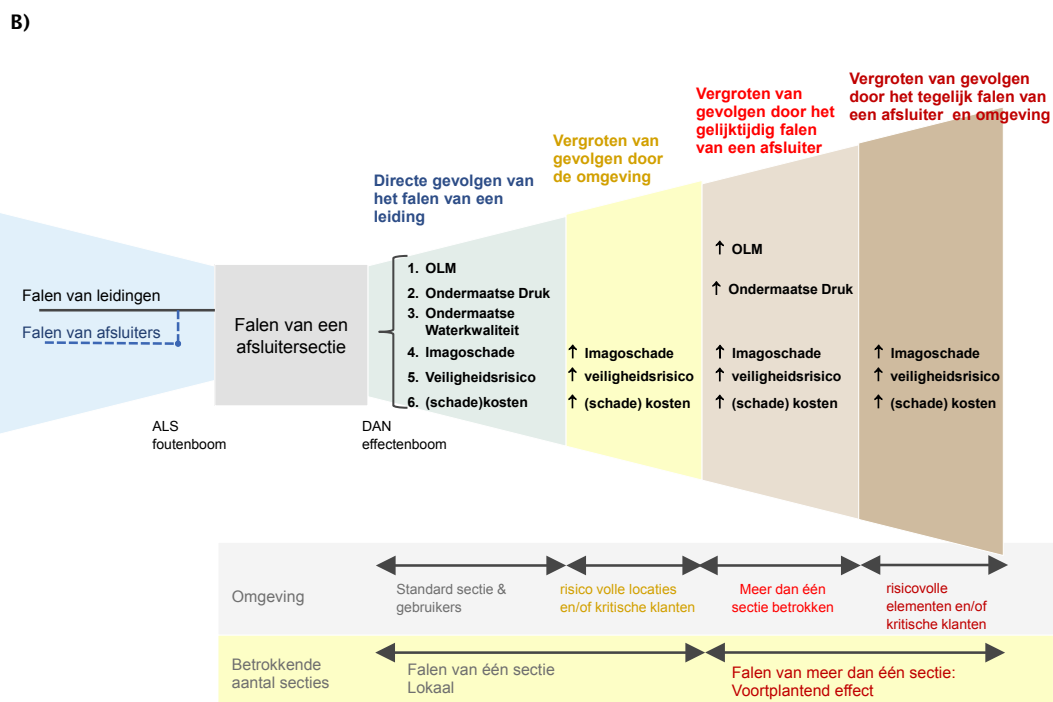
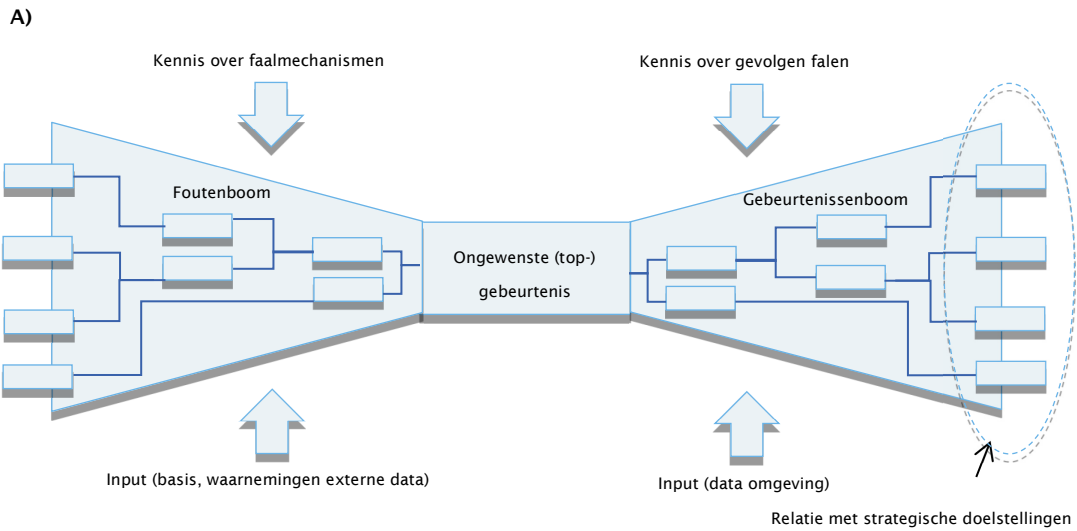
Er wordt vaak een gemiddelde storingsfrequentie van 0.05 storings per kilometer leiding per jaar gebruikt voor de analyse van risico's. Het falen van een afsluitersectie is afhankelijk van de faalfrequentie van zowel de leiding als de afsluiters, Figuur 3-3. Het is lastig om de betrouwbaarheid van afsluiters toe te kennen. Verschillende bedrijven hanteren verschillende onderhoudsschema's en betrouwbaarheid, bv. Brabant Water hanteert een betrouwbaarheid van 87% bij een inspectie van eens per 5 jaar. Bij Oasen worden de belangrijkste afsluiters eens in de 2 jaar gecontroleerd. Het is niet bekend of zij dan 100% betrouwbaar zijn, overige afsluiters bij Oasen hebben een afsluiter betrouwbaarheid van 70%. Uit de afsluiterregistratie van Vitens blijkt dat de betrouwbaarheid van de afsluiters (vindbaar, draaibaar, afsluitbaar, etc.) tussen de 70 en 75% ligt.

Door USTORE te combineren met een afsluiterprogramma zoals CAVLAR kunnen aan elke afsluitersectie realistische faalfrequenties gekoppeld worden. In de casestudie Den Bosch met CAVLAR wordt hier dieper op ingegaan (Hoofdstuk 4).

#### Effectcategorieën

De risicobeoordeling wordt uitgevoerd aan de hand van bedrijfswaarden. Elk bedrijf bepaalt het aantal, in de praktijk varieert dit tussen drie tot zeven bedrijfswaarden, zie Bijlage I. Vijf

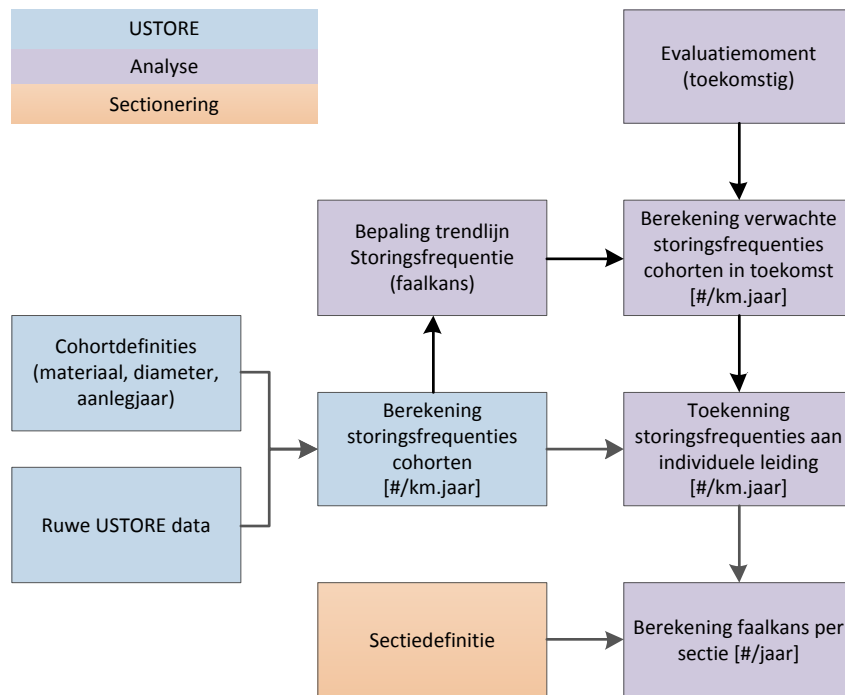
overeenkomstige bedrijfswaarden zijn 1) Waterkwaliteit, 2) Leveringszekerheid/betrouwbaar, 3) Dienstverlening/Imago, 4) Duurzaamheid/Maatschappelijk verantwoord en 5) Doelmatig/kostenbewust.



FIGUUR 3-2 A) SCHEMATISCHE REPRESENTATIE VAN DE BOW-TIE METHODE, SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE KANS EN DE EFFECTEN VAN EEN ONGEWENSTE GEBEURTENIS (BEUKEN ET AL. 2015), B) REPRESENTATIE VOOR HET FALEN VAN EEN LEIDING EN EEN AFSLUITER

Waterbedrijven hebben veel ervaring met categorieën zoals OLM en waterkwaliteit. Imago-effecten worden per bedrijf ‘op maat’ gedefinieerd. Ervaring met milieuaspecten op leiding- of sectieniveau hebben de bedrijven niet, wel in de afweging om samen met derden op te trekken bij vernieuwingen. Dit drukt de investeringskosten en heeft geleid tot minder klachten dan wanneer apart wordt gesaneerd (imago-effect). De risicomatrices worden niet

alleen gebruikt voor het distributienet. Sommige effectcategorieën zijn mogelijk niet van toepassing voor het distributienet.



FIGUUR 3-3 METHODE VOOR FAALKANSBEPALING VAN AFSLUITERSECTIE MET USTORE (EXCLUSIEF AFSLUITERBETROUWBAARHEID).

Risicokosten kunnen worden verdeeld in direct en indirect. Directe kosten zijn de vervanging van de leiding en meestal een functie van leidingmateriaal en diameter. De indirecte kosten bestaan uit kosten storingseiland, laboratorium, logistiek en schade derden (eigen risico aansprakelijkheidsverzekering). Een bedrijf voegt de indirecte kosten als opslagpercentage aan de directe kosten toe. Een ander bedrijf registreert de kosten n.a.v. schade. De kosten die worden geregistreerd hebben alleen betrekking op het herstellen van de leiding. Een derde bedrijf heeft een specifieke tool ontwikkeld voor het berekenen van kosten. In de tool zijn standaardbedragen voor herstelwerkzaamheden toegekend. Die bedragen zijn diameterafhankelijk, tenzij het een BEEL-object betreft.

#### Stappen 7-8: Bereken van gevolgen en risico's per categorie

Hoofdstuk 4 en 5 laten een paar voorbeelden zien met gedetailleerde risicoberekeningen. Hoofdstuk 4 laat de verdieping op gebied van OLM-risicoberekeningen zien en Hoofdstuk 5 toont een voorbeeld voor de berekeningen van veiligheidsrisico's gerelateerd aan ontgrondingskuilen.

## 4 Risicoanalyse van leveringsonderbreking door falen leidingsectie

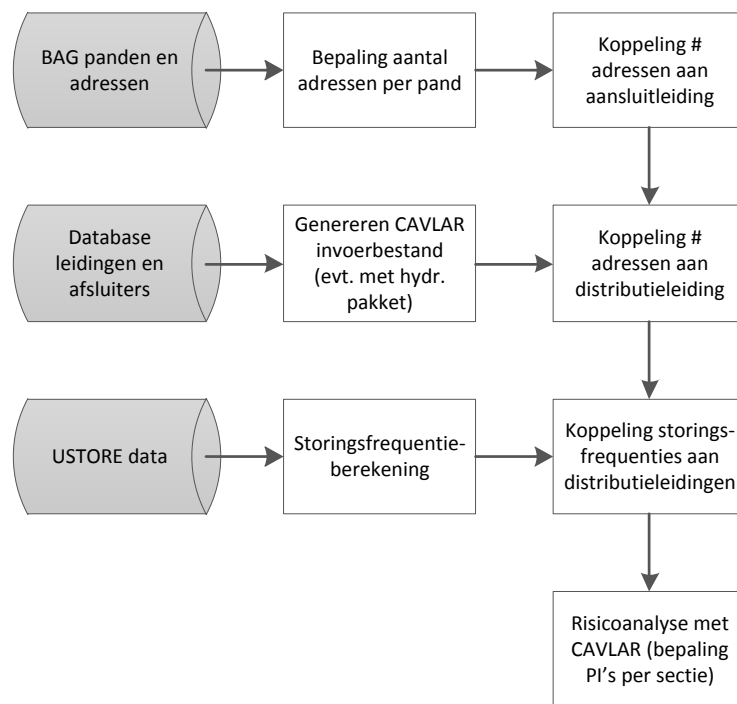
### 4.1 Introductie risicoanalyse van leveringsonderbreking

Om het risico van falende secties te bepalen met betrekking tot de effectcategorie leveringsonderbreking kunnen tools worden ingezet waarmee dit risico wordt berekend. Voorbeelden hiervan zijn hydraulische rekenpakketten zoals InfoWorks, of CAVLAR. 'CAVLAR' (Criticality Analysis Valve Locations en Reliability) is een methode om het effect van de betrouwbaarheid en locatie van de afsluiters op de leveringscontinuïteit aan klanten te analyseren (Meerkerk et al. 2009 en van Summeren en Moerman 2015). Het voordeel van CAVLAR is dat, naast de uitval van leidingsecties, ook het effect van falende afsluiters meegenomen wordt. Zo kan het risico van leidingfalen in een sectie met een laag eigen risico door falende afsluiters toch hoog zijn wanneer een aanliggende sectie veel afnemers of een kwetsbare afnemer bevat. CAVLAR is al in veel pilots ingezet om het ontwerp van drinkwaternetten te optimaliseren, de configuratie van afsluiters in het net te onderzoeken en om tot een prioritering van afsluiteronderhoud te komen (Mesman en Pieterse-Quirijns 2009, Vloerbergh en van Thienen 2010, Vogelaar 2011 en Vogelaar 2012). In dit project is de inzet van CAVLAR onderzocht voor het prioriteren van afsluitersecties op basis van de impact (aantal getroffen aansluitingen en/of de OLM). In de nieuwste versie van CAVLAR (3.0; zie Bijlage II voor details) is het relatief eenvoudig om middels een GIS locatiespecifieke parameters toe te voegen aan het CAVLAR invoerbestand (shapefile). Het gaat dan om:

- storingsfrequenties afhankelijk van materiaal, diameter en aanlegjaar (middels USTORE).
- het aantal administratieve aansluitingen in een leidingsectie (bijvoorbeeld op basis van gegevens uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen; BAG).

In eerdere studies werd vaak gewerkt met kentallen voor (1) de storingsfrequentie (bijv. 0.05 st/km.jaar) en (2) het aantal storingen (bijv. 150 aansluitingen/km) om te komen tot een invoerbestand voor CAVLAR. Dergelijke kentallen doen echter afbreuk aan de werkelijke situatie omdat hier sprake is van een wisselend aantal aansluitingen per lengte-eenheid (afhankelijk van het type woning/wijk) en storingsfrequenties die cohort specifiek zijn.

Door het koppelen van analyses van data uit USTORE en GIS met CAVLAR (Figuur 4-1) kunnen nauwkeuriger risicoanalyses uitgevoerd worden met CAVLAR. Dit Hoofdstuk beschrijft de meerwaarde van deze koppeling aan de hand van een aantal gevoeligheidsanalyses.



FIGUUR 4-1 VOORBEELD MOGELIJKHEID VAN KOPPELING TUSSEN ANALYSES VAN DATA UIT GIS EN USTORE MET EEN RISICOANALYSE IN CAVLAR<sup>2</sup>.

De belangrijkste prestatie-indicatoren die berekend worden door CAVLAR zijn:

- impact: het risico van een sectie uitgedrukt in aantal getroffen aansluitingen gegeven een bepaalde afsluiter betrouwbaarheid en het aantal aansluitingen per sectie;
- OLM: het risico van een sectie uitgedrukt in het aantal ondermaatse leveringsminuten per jaar gegeven een bepaalde afsluiter betrouwbaarheid, storingsfrequentie van distributieleidingen, gemiddelde reparatieduur en het aantal aansluitingen per sectie.

#### 4.2 Doel gevoeligheidsanalyse CAVLAR

Met CAVLAR 3.0 kunnen relatief eenvoudig koppelingen gemaakt worden met analyses van data uit USTORE en GIS (Figuur 4-1). In hoeverre deze ontwikkelingen bijdragen aan een betere onderbouwing van de risicoanalyse is een vraag die open ligt. Deze vraag is tweeledig:

- in welke mate worden de absolute uitkomsten van CAVLAR beïnvloed door variatie van inputfactoren en;
- in welke mate leidt variatie van verschillende inputfactoren tot een andere prioritering (rangorde) van kritische secties.

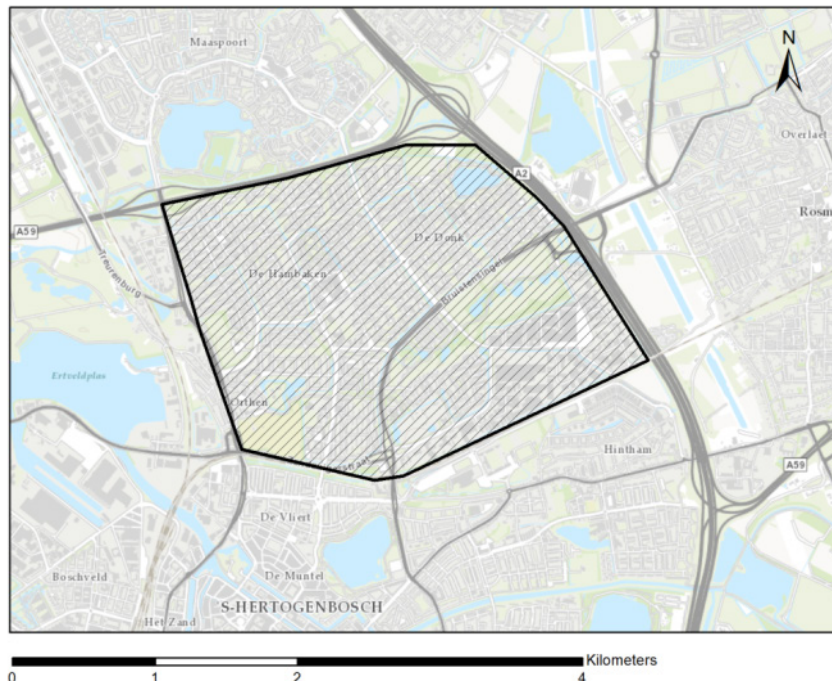
Om antwoord te geven op deze vragen zijn verschillende gevoeligheidsstudies uitgevoerd op een case in het gebied van Brabant Water.

<sup>2</sup> In de praktijk blijkt dat deze methode niet altijd sluitend is. Niet ieder pand heeft namelijk een aansluitleiding. Dit kan opgelost worden door panden (middels een GIS programma zoals ArcGIS of QGIS) samen te trekken ('dissolve') alvorens de koppeling met de (dichtstbijzijnde) aansluitleiding gemaakt wordt.



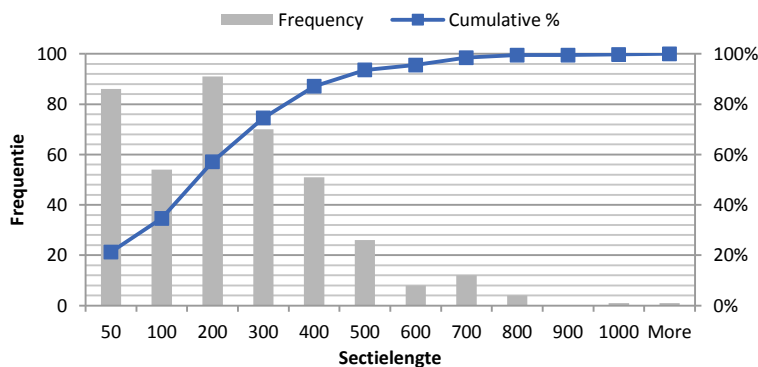
### 4.3 Toelichting case

Voor het uitvoeren van een casestudy is een deel van het voorzieningsgebied van Den Bosch (Brabant Water) gebruikt (Figuur 4-2).



FIGUUR 4-2 CASE DEN BOSCH. DE GEMARKEERDE ZONE GEEFT HET GEBIED VAN DE CASESTUDY WEER.

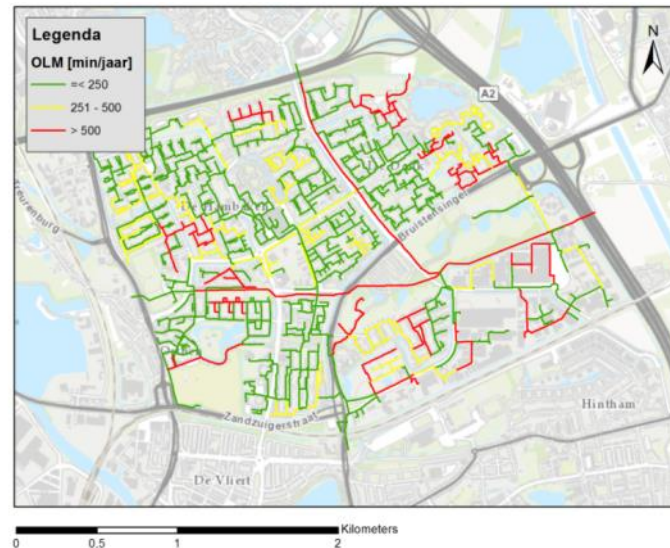
Het casestudygebied wordt begrensd door de A59 in het noorden, de A2 in het oosten, het spoor 's Hertogenbosch - Nijmegen in het zuiden en de Hambakenweg in het westen. Het gebied bevat 404 afsluitersecties van wisselende grootte (Figuur 4-3). Voor dit gebied is gekozen vanwege bovengenoemde begrenzing door (snel)wegen en een spoorlijn. Op basis van de deze informatie en de locaties van de pompstations is duidelijk welke leidingen water naar dit gebied transporteren. Deze kennis is nodig om voedende leidingen aan te kunnen wijzen die nodig zijn voor het berekenen van de gevolgen van een sectie-isolatie met CAVLAR.



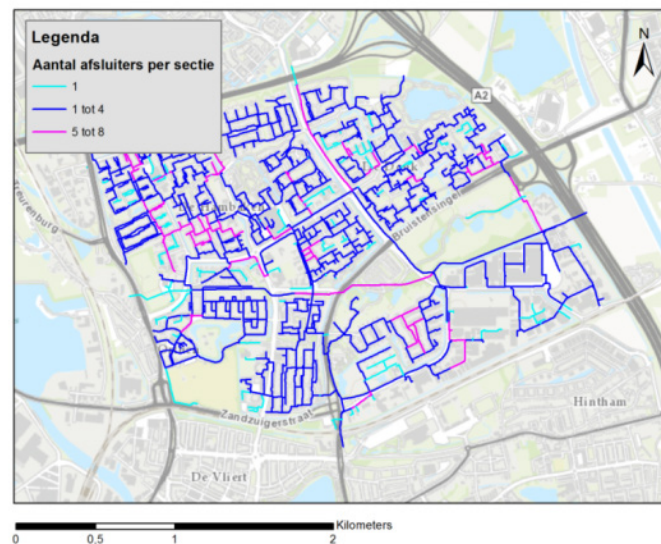
FIGUUR 4-3 (CUMULATIEVE) FREQUENTIE VAN SECTIELENGTEN CASE DEN BOSCH.

#### 4.4 Voorbeeld resultaten CAVLAR 3.0 in GIS

Doordat de input en output van CAVLAR 3.0 opgeslagen worden in een shapefile kunnen resultaten van berekeningen met CAVLAR 3.0 direct inzichtelijk gemaakt worden met bijvoorbeeld ArcGIS (Figuur 4-4, Figuur 4-5).



FIGUUR 4-4 VOORBEELD UITKOMSTEN CASESTUDY DEN BOSCH VOOR PRESTATIE-INDICATOR OLM. DE BEREKENINGEN ZIJN GEMAAKT BIJ EEN AFBREEKCRITERIUM VAN  $10^{-4}$ . VOOR DE GEMIDDELDE STORINGSFREQUENTIE, DE AFSLUITERBETROUWBAARHEID EN HET GEMIDDELDE AANTAL AANSLUITINGEN PER KILOMETER ZIJN RESPECTIEVELIJK DE VOLGENDE KENTALLEN GEBRUIKT: 0,05 ST/KM.JAAR, 90% EN 200 AANSLUITINGEN/KM.



FIGUUR 4-5 VOORBEELD UITKOMSTEN CASESTUDY DEN BOSCH VOOR PRESTATIE-INDICATOR 'AANTAL AFSLUITERS PER SECTIE'. DE BEREKENINGEN ZIJN GEMAAKT BIJ EEN AFBREEKCRITERIUM VAN  $10^{-4}$ . VOOR DE GEMIDDELDE STORINGSFREQUENTIE, DE AFSLUITERBETROUWBAARHEID EN HET GEMIDDELDE AANTAL AANSLUITINGEN PER KILOMETER ZIJN RESPECTIEVELIJK DE VOLGENDE KENTALLEN GEBRUIKT: 0,05 ST/KM.JAAR, 90% EN 200 AANSLUITINGEN/KM.

## 4.5 Resultaten gevoeligheidsanalyse

In de paragrafen 4.5.1 t/m 4.5.3 zijn de resultaten weergegeven van een aantal gevoeligheidsanalyses die met CAVLAR 3.0 zijn uitgevoerd op de case Den Bosch. De parameters waarover gevarieerd wordt in deze analyses zijn weergegeven in Tabel 4-1.

TABEL 4-1 UITGEVOERDE ANALYSES MET CAVLAR 3.0.

Nr.	Parameter	Variatie	Eenheid	Relevante PI's	Case
1	Afbreekcriterium	$10^{-1}$ ; $10^{-2}$ ; $10^{-3}$ ; $10^{-4}$ ; $10^{-5}$	-	Impact, OLM	Den Bosch
2	Storingsfrequentie	0.05; sectie specifiek (USTORE)	st/km.jaar	OLM	Den Bosch
3	Afsluiter betrouwbaarheid	70%; 80%; 90%	-	Impact, OLM	Den Bosch

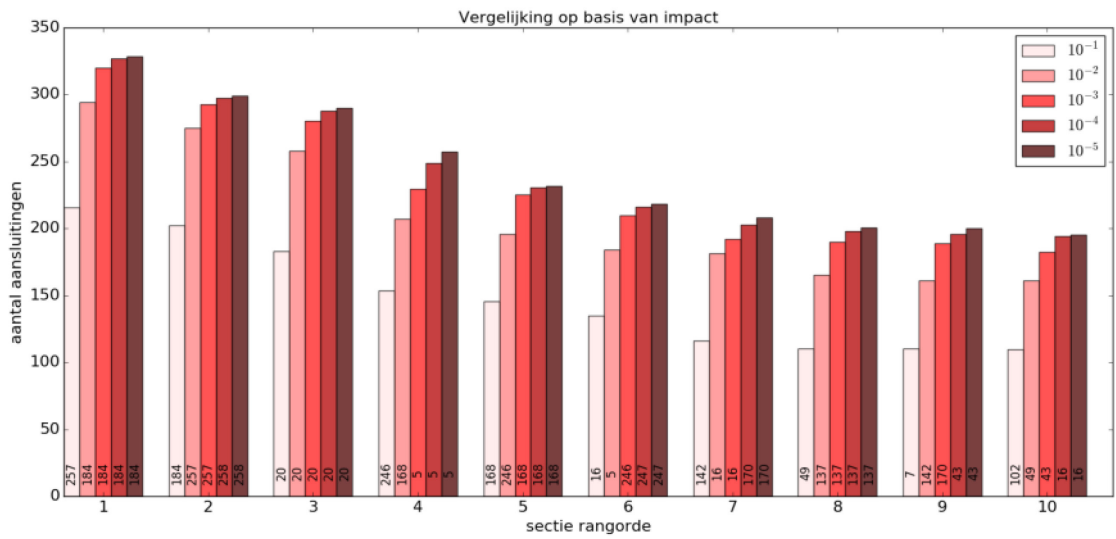
### 4.5.1 Afbreekcriterium (1)

In CAVLAR 3.0 kan door de gebruiker een afbreekcriterium gekozen worden. De grootte van dit afbreekcriterium bepaalt de mate van nauwkeurigheid van de uitgevoerde CAVLAR berekening. Bij een toenemende nauwkeurigheid (kleiner afbreekcriterium) neemt de rekentijd toe (van Summeren en Moerman 2015).

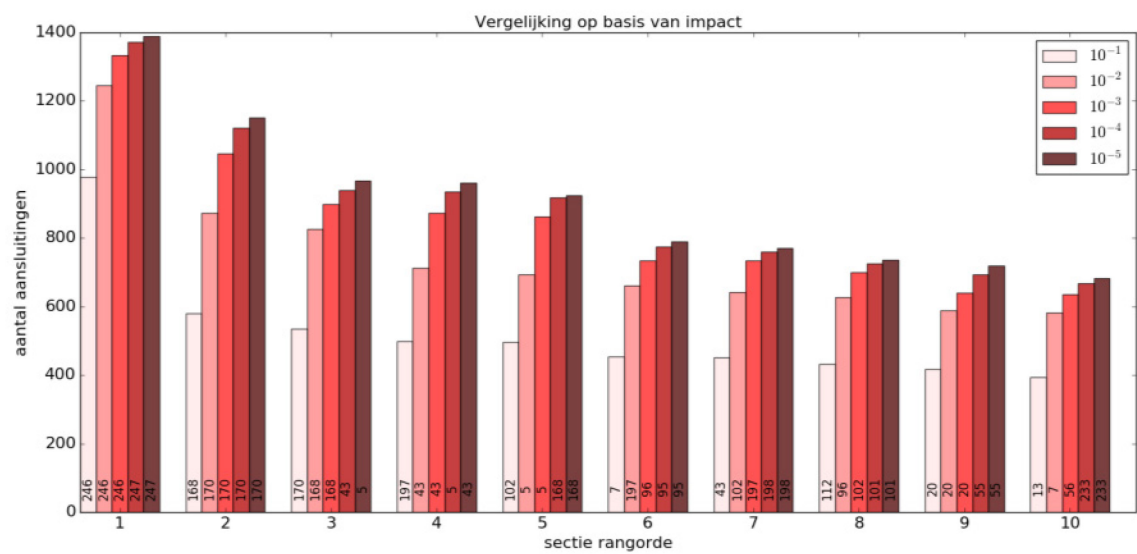
Figuur 4-6 en Figuur 4-7 geven beide de top 10 van kritische secties weer voor de case Den Bosch. Uit deze figuren zijn een aantal conclusies af te leiden:

- Een toenemende nauwkeurigheid leidt – bij een groot afbreekcriterium, bijv.  $10^{-1}$  – tot een sterk veranderende absolute uitkomst. Bij een klein afbreekcriterium, bijv.  $10^{-4}$ , draagt de toename van nauwkeurigheid (criterium  $10^{-5}$  in plaats van  $10^{-4}$ ) nauwelijks bij aan een meer nauwkeurige uitkomst van het model.
- De getallen in de verticale balken representeren de sectie nummers zoals deze – bij de verschillende afbreekcriteria – in de top 10 gerangschikt zijn. Een verschil tussen nummers uit twee naastgelegen balken wijst op een andere rangorde bij een hoger afbreekcriterium. Figuur 4-6 en Figuur 4-7 laten zien dat in vrijwel alle gevallen een afbreekcriterium van  $10^{-5}$  niet tot een andere rangorde leidt<sup>3</sup> dan het (minder nauwkeurige) afbreekcriterium  $10^{-4}$ . Hieruit valt te concluderen dat voor de case Den Bosch een afbreekcriterium van  $10^{-4}$  tot een voldoende nauwkeurige uitkomst leidt. Om deze reden zijn alle andere analyses (Paragrafen 4.5.2 en 4.5.3) uitgevoerd met een afbreekcriterium van  $10^{-4}$ .
- De getallen in de verticale balken van Figuur 4-6 en Figuur 4-7 komen niet overeen. Dit betekent dat het rangschikken op basis van impact of OLM tot verschillende rangordes leidt. Dit is een punt van belang bij interpretatie van CAVLAR voor risicoanalyses.

<sup>3</sup> Figuur 4-7 laat zien dat er bij toepassing van een  $10^{-5}$ -criterium nog wel een wijziging plaats vindt op rang 3 en 4. Dit komt echter vooral doordat de secties 5 en 43 een OLM uitkomst hebben die bij een criterium van zowel  $10^{-5}$  als  $10^{-4}$  zeer dicht bij elkaar liggen. Hier is het dus lastig om een rangorde vast te stellen en het is ook niet gezegd dat een nog kleiner afbreekcriterium ( $10^{-6}$ ) dit zal verhelpen.



FIGUUR 4-6 UITKOMSTEN PRESTATIE-INDICATOR IMPACT (AANTAL AANSLUITINGEN) VOOR TOP 10 VAN KRITISCHE SECTIES IN ANALYSEGEBIED BIJ AFBREEKCRITERIA VARIËREND VAN 10<sup>-1</sup> TOT 10<sup>-5</sup>. DE CIJFERS IN DE VERTICALE BALKEN ZIJN DE SECTIENUMMERS.

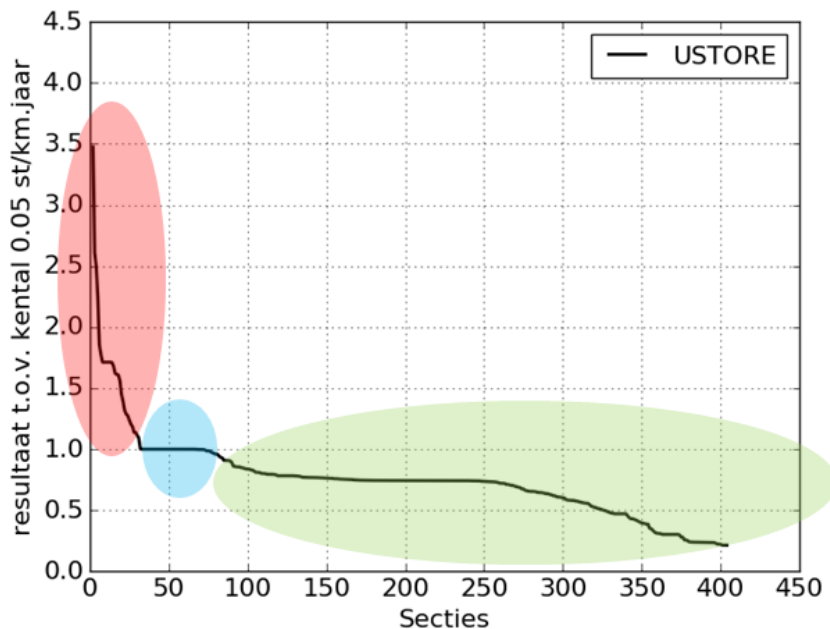


FIGUUR 4-7 UITKOMSTEN PRESTATIE-INDICATOR OLM VOOR TOP 10 VAN KRITISCHE SECTIES IN ANALYSEGEBIED BIJ AFBREEKCRITERIA VARIËREND VAN 10<sup>-1</sup> TOT 10<sup>-5</sup>. DE CIJFERS IN DE VERTICALE BALKEN ZIJN DE SECTIENUMMERS.

#### 4.5.2 Storingsfrequentie (2)

Om de gevoeligheid van de uitkomsten van CAVLAR te onderzoeken voor de storingsfrequentie van een sectie zijn twee berekeningen uitgevoerd met de case Den Bosch. Bij de eerste berekening is bij elke leiding dezelfde storingsfrequentie toegepast: 0,05 st/km.jaar. Bij de tweede berekening zijn data uit USTORE gebruikt om storingsfrequenties te bepalen afhankelijk van (1) materiaal, (2) diameter en (3) aanlegjaar. Deze frequenties zijn toegepast op de leidingen in de case Den Bosch. De toepassing van storingsfrequenties heeft alleen gevolgen voor de OLM en niet voor de impact. Dit komt omdat de impact uitgedrukt wordt als het aantal getroffen aansluitingen. De storingsfrequentie van de sectie heeft hier

geen invloed op (paragraaf 4.1). De uitkomsten van de berekening met USTORE data zijn uitgedrukt ten opzichte van de uitkomsten bij gebruik van een kental (Figuur 4-8).

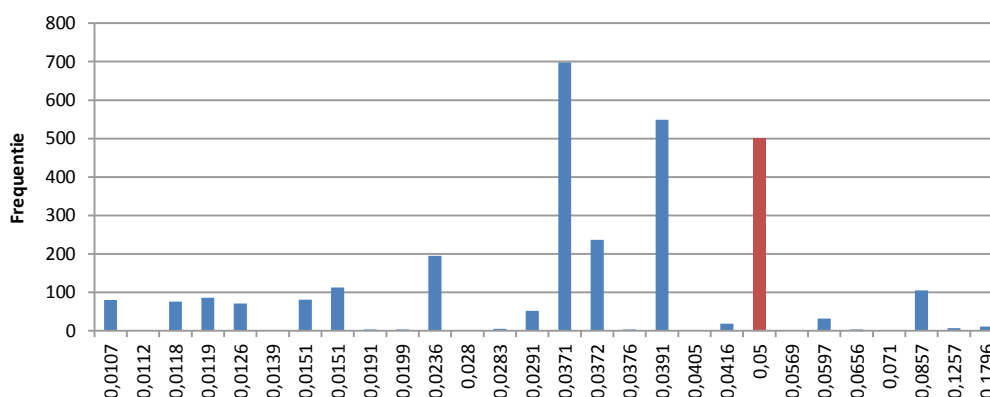


FIGUUR 4-8 UITKOMSTEN GEVOELIGHEID OLM BIJ TOEPASSING STORINGSFREQUENTIES UIT USTORE TEN OPZICHTE VAN DE TOEPASSING VAN EEN KENTAL (0,05 ST/KM.JAAR) VOOR ALLE SECTIES (404).

In Figuur 4-8 kunnen drie gebieden onderscheiden worden:

1.  $OLM_{USTORE} > OLM_{kental}$  (rood, ongeveer 8% van totaal aantal secties): hier leidt de toepassing van USTORE tot een hogere OLM. Blijkbaar bevatten deze secties leidingen met een storingsfrequentie hoger dan 0,05 st/km.jaar.
2.  $OLM_{USTORE} = OLM_{kental}$  (blauw, ongeveer 10% van totaal aantal secties): bij deze secties zijn de uitkomsten voor beide studies (toepassing kental of USTORE) gelijk.
3.  $OLM_{USTORE} < OLM_{kental}$  (groen, ongeveer 82% van totaal aantal secties): bij deze secties leidt de toepassing van USTORE data tot een lagere OLM. Blijkbaar bevatten deze secties leidingen met een storingsfrequentie lager dan 0,05 st/km.jaar zoals nodulair gietijzer, PVC of PE.

De oorzaak dat de uitkomsten van het gebruik van een kental en het gebruik van USTORE voor een relatief groot aantal secties (groep 2: blauw) nauwelijks verschillen komt doordat niet voor alle leidingen (afhankelijk van materiaal, diameter en aanlegjaar) USTORE data beschikbaar is. Wanneer geen data beschikbaar was, is tijdens het onderzoek een standaardwaarde van 0,05 ingevuld. In de dataset waarmee vergeleken wordt is deze standaardwaarde bij alle leidingen toegepast (kental). Dat dit voor een significant aantal leidingen het geval is blijkt uit Figuur 4-9.



FIGUUR 4-9 STORINGSFREQUENTIES UIT USTORE GEBRUIKT IN CASESTUDIE DEN BOSCH. DE RODE BALK REPRESENTEERT HET AANTAL LEIDINGEN MET EEN STANDAARDWAARDE '0,05 ST/KM.JAAR'.

Omdat vooral voor leidingen met grotere diameters (>300 mm) minder data beschikbaar is dan van leidingen met een kleinere diameter (<300 mm) geldt vooral bij leidingen met een grotere diameter (bijv. transportleidingen) dat vaker de standaardwaarde '0,05' ingevuld wordt. Dit zal in de toekomst veranderen, doordat USTORE steeds meer data bevat.

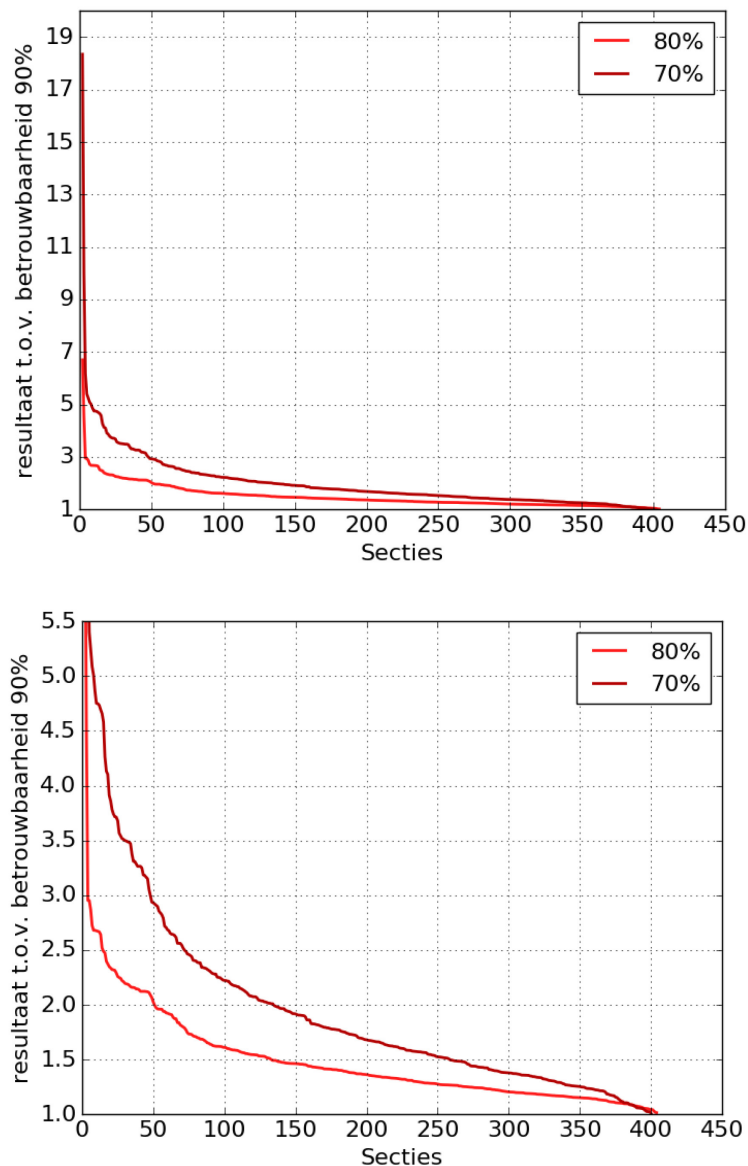
#### 4.5.3 Afsluiter betrouwbaarheid (3)

Om de gevoeligheid van de uitkomsten van CAVLAR te onderzoeken voor de afsluiterbetrouwbaarheid zijn drie berekeningen uitgevoerd met de case Den Bosch. Hierbij zijn drie verschillende waarden voor de afsluiterbetrouwbaarheid gebruikt: 70, 80 en 90%. Een lagere afsluiterbetrouwbaarheid leidt voor de meeste secties tot een fors hogere OLM (Figuur 4-10). Voor ongeveer de helft van de secties is de OLM bij een betrouwbaarheid van 80% 1.4 tot 3.0 maal de OLM bij een betrouwbaarheid van 90%. Bij een betrouwbaarheid van 70% is de OLM 1.7 tot 6 maal de OLM bij een betrouwbaarheid van 90%. Voor enkele secties is de OLM bij een lagere afsluiterbetrouwbaarheid zeer veel hoger, namelijk een factor 7 tot 18 bij respectievelijk een afsluiterbetrouwbaarheid van 80 of 70%.

Omdat de beschouwde uitkomsten (Figuur 4-10) relatief zijn, gelden de hierboven genoemde factoren ook voor de impact.

Omdat de afsluiterbetrouwbaarheid een grote invloed heeft op de impact en de OLM heeft een lagere afsluiterbetrouwbaarheid ook invloed op de prioritering (rangorde) van secties. Voor een effectief risicobeleid op basis van leveringsonderbrekingen is kennis van afsluiterfalen dus essentieel.





FIGUUR 4-10 UITKOMSTEN GEVOELIGHEID OLM EN IMPACT BIJ AFSLUITERBETROUWBAARHEID 70% EN 80% T.O.V. 90% VOOR ALLE SECTIES (404). BOVENSTE FIGUUR TOONT HET GEHELE BEREIK, HET ONDERSTE EEN DEELBEREIK (DETAILOVERZICHT).

#### 4.6 Resultaten van het uitvoeren van risicoanalyses op basis van leveringszekerheid

Dit hoofdstuk vergelijkt de kwantificatie van het OLM-risico met verschillende data nauwkeurigheid m.b.v. CAVLAR. Deze analyse laat zien dat risico's nauwkeuriger kunnen worden berekend door het gebruik van data uit gegevensbronnen zoals USTORE i.p.v. kentallen. Het gebruik van databronnen zoals USTORE leidt tot een meer reële uitkomst van de risicoanalyse en daarmee tot een beter risicobeleid en assetmanagement van leidingnetten. Verder heeft toepassen van deze gegevensbronnen een sterke invloed op de prioritering van leidingsecties en daarmee op het risicobeleid. Op basis van deze uitkomsten wordt dan ook aanbevolen om waar mogelijk databronnen voor faalkansen (USTORE) en effecten (bijv. BAG) in te zetten voor risicoanalyses in plaats van kentallen te gebruiken.

## 5 Risicoanalyse falen van secties m.b.t. risicovolle objecten

### 5.1 Inleiding

In 2011 is een nieuwe methode ontwikkeld om ontgrondingskuilen als gevolg van leidingbreuken of -lekkage te berekenen (van Daal et al. 2011). Hierbij is een stappenplan vastgelegd en een proefgebied van ongeveer 3,5 km<sup>2</sup> rondom het stadscentrum van Den Bosch geanalyseerd, voor drie watervraag scenario's en één lokale drukhoogte. In dit hoofdstuk analyseren wij een groter gebied, ca. 90 km<sup>2</sup>, en gebruiken wij vier lokale drukhoogtes om de maximale radius van de ontgrondingskuilen nauwkeuriger te berekenen. Het verbeterde stappenplan wordt in de volgende paragraaf beschreven. In dit stappenplan worden ontgrondingskuilen voor alle knopen berekend voor verschillende scenario's. Daarna wordt de maximale ontgrondingskuil per sectie bepaald en met behulp van GIS de relatie met risicovolle objecten gelegd. In deze analyse is geen rekening gehouden met leidingen met een mantelbuis. Voor die leidingen is de ontgrondingskuil in werkelijkheid anders dan de hier berekende en de faalkans zal lager zijn. Verder kan het door mantelbuizen voorkomen dat de ontgroning op een andere locatie ontstaat.

### 5.2 Stappenplan

Ontgrondingskuilen zijn een zeer lokaal effect dat optreedt door een leidingbreuk of -lekkage. De straal van een ontgrondingskuil is afhankelijk van de druk en volumestroom op de locatie waar de leiding lekt of breekt. Beide parameters (volumestroom, druk) zijn afhankelijk van het tijdstip waarop de breuk plaats vindt en van het gekozen patroon: gemiddelde of max dag. De 6 stappen van de berekening van Daal et al. (2011) zijn verder uitgewerkt:

#### **Berekenen ontgrondingskuilen per knoop met behulp van een hydraulische software (bv. InfoWorks of Synergy):**

1. Maak een sub-selectie van knooppunten.
2. Bereken de radius van de ontgrondingskuilen ( $R_b$ ) voor de selectie met verschillende patronen: max dag, gem dag en nacht patroon en voor verschillende restdrukken (Lokale drukhoogte: 15, 20, 25, 30 mwk), zie Bijlage III.
3. Evalueer de variaties van de ontgrondingskuilen en maak een selectie van condities voor het gehele gebied, bv. worst case scenario.
4. Bereken de ontgrondingskuilen voor het gehele gebied voor een selectie van condities.
5. Selecteer de maximum ontgrondingskuil per knooppunt ( $R_{b-max}$ ).
6. Exporteer de maximale ontgrondingskuil per sectie

#### **Ruimtelijke analyse in GIS:**

7. Importeer in GIS de risicovolle objecten met bufferzones, meestal worden 'bufferzones' gebruikt rondom de kwetsbare objecten als extra veiligheidsmarge en gerelateerd aan zijn kwetsbaarheid/belang.
8. Controleer m.b.v. GIS de afstand tot gevoelige elementen (BEEL, ziekenhuizen, etc.) inclusief de bufferzones (Beuken 2008).

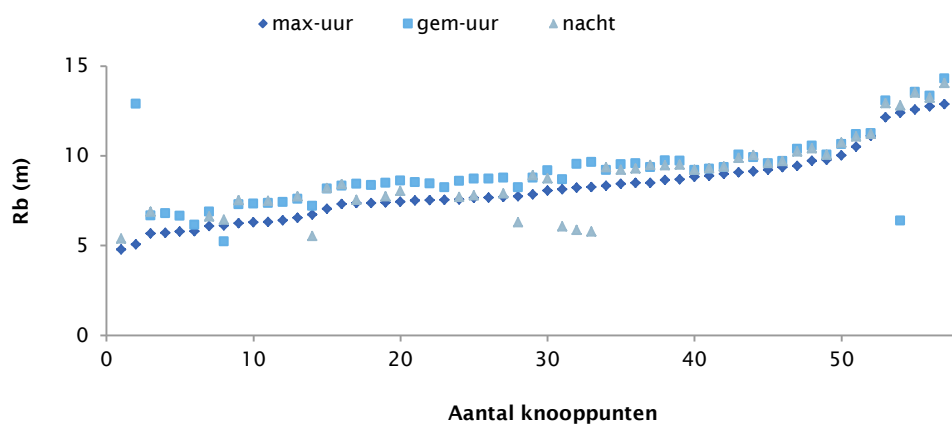


9. Optioneel: Bereken het gebied in  $m^2$  van het object dat in de ontgrondingskuil radius valt als een additionele indicator.
10. Bereken de kans van falen per sectie en bereken het veiligheidsrisico per sectie en maak een ranking van de secties.

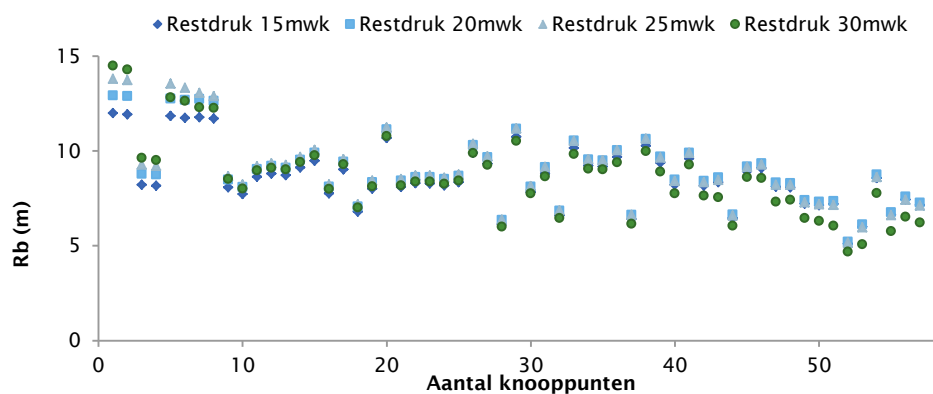
### 5.3 Resultaten voor Den Bosch

In deze studie werd het gehele gebied van Den Bosch geanalyseerd. Om de rekentijd te reduceren werd eerst een testberekening gemaakt met 58 knooppunten op de transportleidingen. Uit de analyse voor deze selectie blijkt dat de berekening op een gemiddeld uur nagenoeg altijd de grootste ontgrondingskuil geeft (Figuur 5-1A). Vervolgens is een analyse gemaakt om te bepalen hoeveel restdrukken doorgerekend dienen te worden om voor elke locatie een maximale ontgrondingskuil te bepalen. Het blijkt dat het voldoende is om de twee restdrukken 20 mwk (196 kPa) en 30 mwk (294 kPa) te hanteren (Figuur 5-1B). Dus is voor alle knooppunten alleen het gemiddelde uur doorgerekend.

A)

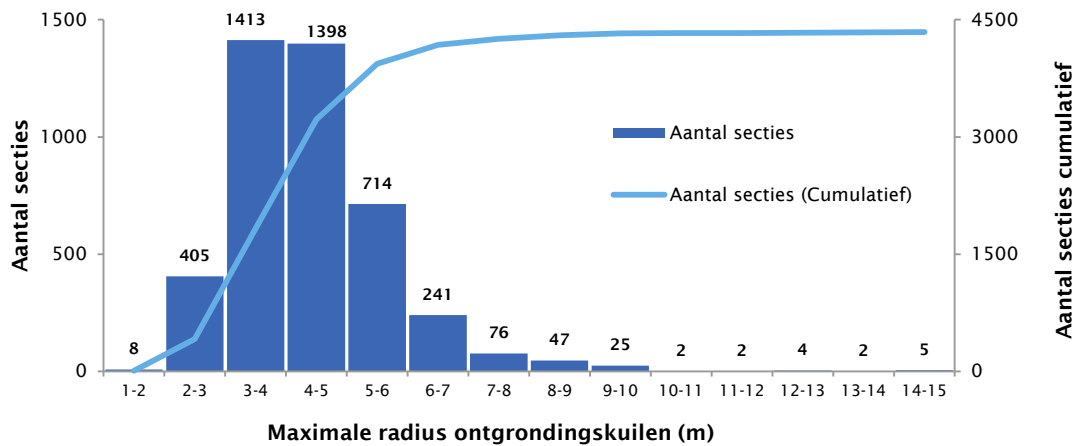


B)



FIGUUR 5-1 RADIUS VAN DE ONTGRONDINGSKUILEN BEREKEND VOOR EEN SELECTIE VAN 58 KNOOPPUNTEN A) VOOR DRIE VERSCHILLENDE WATERVRAAGCONDITIES: MAX-UUR, GEM-UUR EN NACHT EN B) VOOR VIER RESTDRUKCONDITIES VOOR HET GEMMIDDELDE UUR

Voor Den Bosch varieert de radius van de ontgrondingskuilen van 1 tot 14,5 meter. Figuur 5-2 toont de histogram van de maximale radius van de ontgrondingskuilen per sectie. De gemiddelde maximale ontgroningkuil is 4.4m. Met deze analyse kunnen de secties met de grootste ontgrondingskuilen worden geïdentificeerd.



FIGUUR 5-2 HISTOGRAM VAN DE MAXIMALE RADIUS VAN DE ONTGRONDINGSKUILEN PER SECTIE BEREKEND VOOR DEN BOSCH

Er zijn verschillende manieren om de resultaten te analyseren. In de Montfoort studie werd de  $R_b$  gebruikt om te bepalen of een leiding samenvalt met een risicovol object of niet. Afhankelijk van het soort object dat het betrof, werd een effectcategorie aangegeven, onafhankelijk van de  $R_b$ . Een nadeel van deze aanpak is dat niet voor alle secties een risico wordt berekend. In deze studie presenteren wij een alternatieve aanpak om de risico's voor alle leidingen en secties te berekenen.

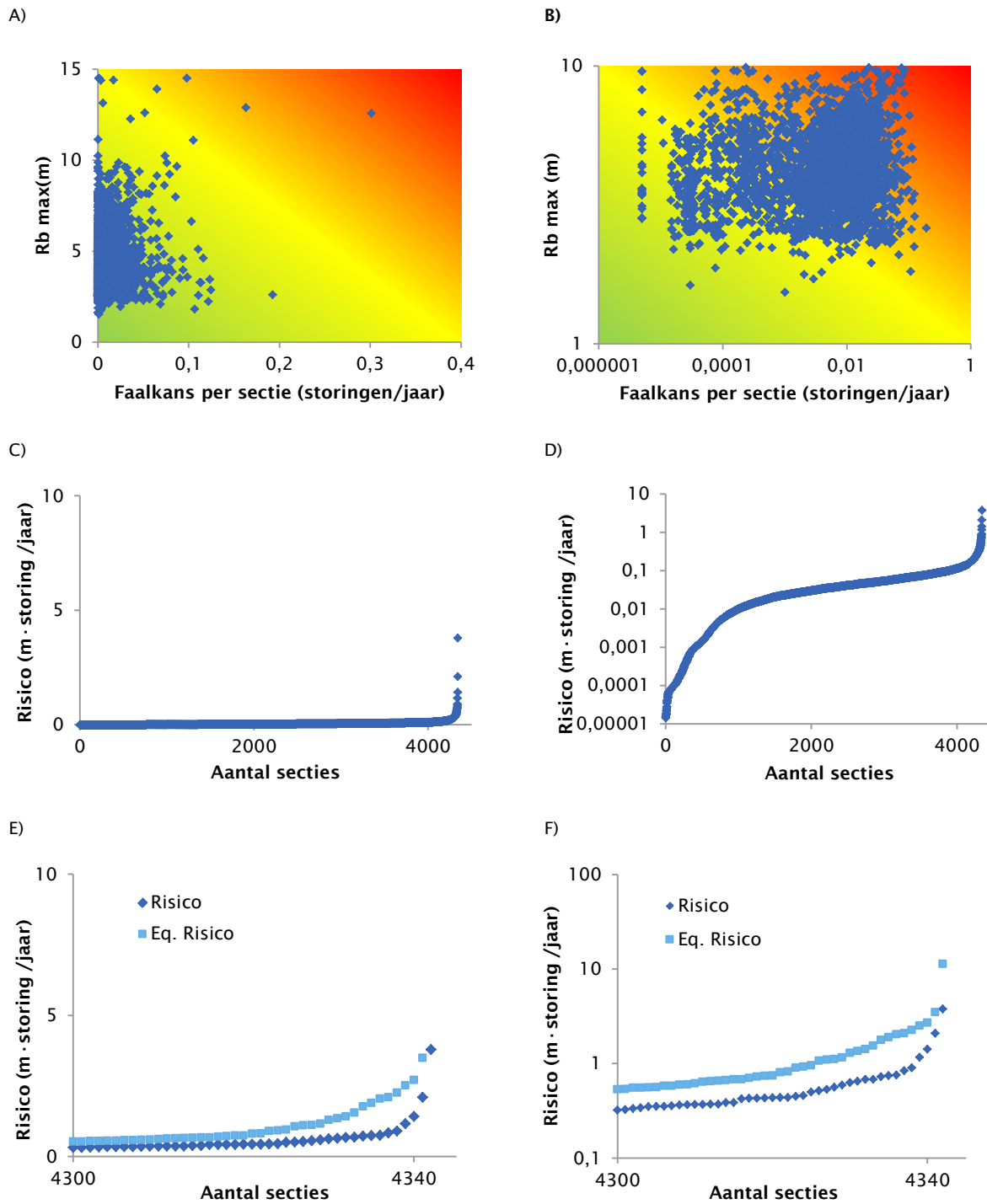
De resultaten van de maximale ontgrondingskuilen kunnen op verschillende manieren worden weergegeven. Figuur 5-3 toont zes mogelijkheden. In figuren Figuur 5-3A en B zijn de assen de gebruikelijke assen van de risicomatrix: faalkans vs. effect, Figuur 5-3A) lineaire schaal, Figuur 5-3B) logaritmische schaal. Het risico per sectie is berekend als:

$$R_s \left[ m \frac{str}{jaar} \right] = L_s [km] * f_s \left[ \frac{str}{km jaar} \right] * R_{b-max} [m] * g_s$$

Waarin:  $R_s$  is het risico van de sectie,  $L_s$  is de lengte van de sectie,  $f_s$  is de faalkans van de sectie en  $R_{b-max}$  de maximale ontgrondingskuilen van de sectie en  $g_s$  is de gewichtsfactor van de sectie rekening houdend met risicovolle objecten.

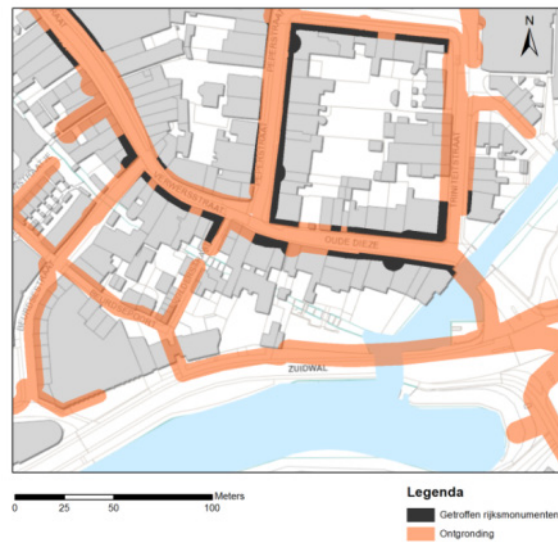
Figuur 5-3C) en D) tonen de cumulatieve distributie van het risico zonder rekening te houden met risicovolle objecten ( $g_s=1.0$ ). Figuur 5-3C - lineaire schaal, Figuur 5-3D) - semi-logaritmische schaal. Figuur 5-3E) en F) laten de prioritering zien van de eerste, ca. 150 afsluiterssecties met een gewichtsfactor van één voor een sectie zonder risicovolle objecten en een gewichtsfactor van twee rekening houdend met risicovolle objecten.

Ondanks dat elke figuur informatie over de risico's in het net geeft, kan de selectie van één van de figuren de prioritering van de secties beïnvloeden. Daarom wordt er aanbevolen om de resultaten ook naar GIS te exporteren om de relatie tussen risicovolle objecten, BEEL-elementen en maximale ontgrondingskuilen in kaart te brengen. Figuur 5-4 toont twee details van de grafische analyse van de ontgrondingskuilen voor Den Bosch. Figuur 5-4A laat de interactie van de maximale ontgrondingskuilen en getroffen rijksmonumenten zien en Figuur 5-4B toont de analyse voor een BEEL-objecten (snelweg). Voor Den Bosch treffen de maximale ontgrondingskuilen van ca. 250 secties (6% van de secties) een risicovol object.

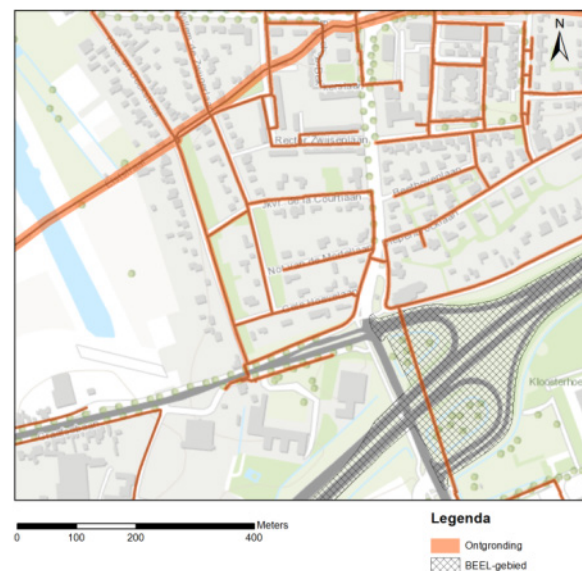


FIGUUR 5-3 OVERZICHT VAN RESULTATEN PER SECTIE VOOR DEN BOSCH A) LINEAIRE SCHAAL ZONDER RISICOVOLLE ELEMENTEN, B) LOGARITMISCHE SCHAAL ZONDER RISICOVOLLE ELEMENTEN, C) CUMULATIEVE DISTRIBUTIE VAN RISICO - LINEAIRE SCHAAL, D) CUMULATIEVE DISTRIBUTIE VAN RISICO - SEMI-LOGARITMISCHE SCHAAL, E & F) CUMULATIEVE DISTRIBUTIE VAN RISICO - LINEAIRE SCHAAL MET GEWICHTSFACTOR, REKENING HOUDEND MET RISICOVOLLE OBJECTEN

A)



B)



FIGUUR 5-4 DETAIL ONTGRONDINGSKUILEN VOOR RISICOVOLLE OBJECTEN BIJ A) RIJKSMONUMENTEN EN B) ONTGRONDING BIJ BEEL-OBJECT (SNELWEG).

#### 5.4 Resultaten van risicoanalyse m.b.t. risicovolle objecten

De analyse laat zien dat grotere gebieden in één keer geanalyseerd kunnen worden. Voor Den Bosch is de maximale radius van de ontgrondingskuil ca. 15m, 25% van de secties hebben een  $R_{b-max}$  groter dan 5m en 15 secties hebben een  $R_{b-max}$  groter dan 10m. Verder treffen 6% van de secties uit deze analyse risicovolle objecten. Op basis van deze uitkomsten wordt waterbedrijven aanbevolen om vergelijkbare analyses uit te voeren voor alle gebieden. Verder onderzoek kan focussen op de gevoeligheid van de berekeningen van de ontgrondingskuilen op watervraagpatronen. Voor deze scenario's wordt aanbevolen om de ontgrondingskuilen met verschillende tijdstap te berekenen, bv. m.b.v. SIMDEUM-patronen om in kaart te brengen wat voeg de probabilistische benadering toe.

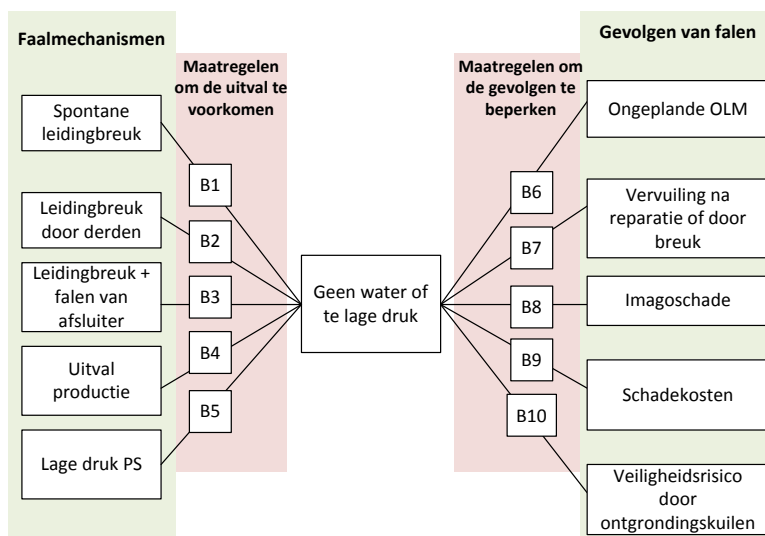
## 6 Discussie

### 6.1 Huidige situatie

In de laatste 10 jaar zijn er veel ontwikkelingen geweest voor wat betreft de kwaliteit en de beschikbaarheid van data. Er zijn nu meer kennis en tools beschikbaar die de totaalaanpak risicoanalyse kunnen ondersteunen. Het is belangrijk dat de informatie en tools gekoppeld kunnen worden om snellere en betere analyses uit te voeren. Kwantificeren van risico's blijft een complexe taak, want in de laatste jaren zijn ook stedelijke gebieden, waarin een groot deel van het distributienet zich bevindt, complexer geworden. De drukte in de ondergrond neemt toe en de klant wordt kritischer. Dus risicoanalyse systemen verdienen periodieke aanpassingen.

Voor een totaalaanpak risicoanalyse, geïntroduceerd in Figuur 3-1, zijn 21 stappen vastgelegd. De focus van dit rapport zijn de risicoanalyse stappen 1 t/m 8. De risico-evaluatie, d.w.z. welke risico's toelaatbaar zijn en hoe de effectcategorieën t.o.v. elkaar worden afgewogen, is bedrijfsbeleid, stappen 9 t/m 14. Zij vallen buiten de scope van deze studie.

Totaalaanpak risicoanalyse bevat ook risicoreductie, stappen 15 t/m 21 in Figuur 3-1. Kwalitatieve methoden, zoals de Bow-Tie methode, kunnen het overzicht van risicoreductie maatregelen (in de Bow-Tie methode worden dit barrières genoemd) in kaart brengen. Die maatregelen moeten in balans zijn met prestatie van het net, bv. OLM-risico moet gebalanceerd zijn met geplande OLM. Figuur 6-1 laat het overzicht van barrières op verschillende niveaus zien. Tabel 6-1 toont enkele voorbeelden van risicoreductiemaatregelen, aan de linkerkant maatregelen om de uitval te voorkomen en aan de rechterkant om de gevolgen te beperken. Om de totaalaanpak risicoanalyse te implementeren, is het nodig niet alleen om de risicoreductiemaatregelen in kaart te brengen maar ook de voordelen hiervan te kwantificeren.



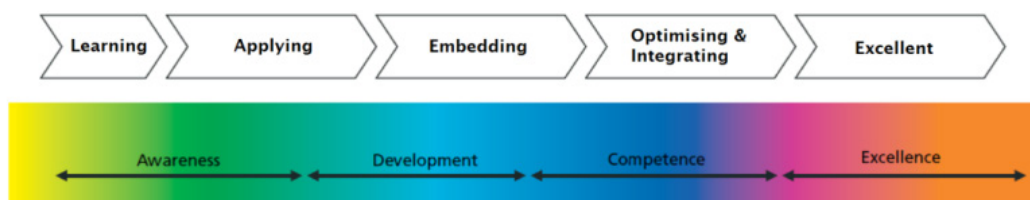
FIGUUR 6-1 BOW-TIE DIAGRAM MET RISICOREDUCTIEMAATREGELN (BARRIERES)

TABEL 6-1 VOORBEELDEN VAN RISICOREDUCTIEMAATREGELEN

Barrière	Voorbeelden van risicoreductiemaatregelen om de uitval te voorkomen	Barrière	Voorbeelden van risicoreductiemaatregelen om de gevolgen te beperken
B1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voldoende leidingen inspecteren om leidingen in 'slechte' conditie tijdig te identificeren.</li> <li>• Kritische leidingen op tijd vervangen</li> <li>• Mantelbuizen gebruiken</li> </ul>	B6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netten met optimale sectiegrootte ontwerpen.</li> <li>• Kortere reactietijd</li> </ul>
B2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toezicht houden tijdens de werkzaamheden van derden in de nabijheid van (kritische) leidingen.</li> <li>• Samen met derden gaan vervangen</li> </ul>	B7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensoren om toezicht te houden en sneller afwijkingen te detecteren.</li> <li>• Hygiënisch werken.</li> </ul>
B3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kritische afsluiters regelmatig onderhouden.</li> </ul>	B8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Communicatie met klanten over de oorzaken van OLM, bv. SMS sturen naar klanten, online platform waar mensen klachten snel kunnen indienen en snel antwoord krijgen.</li> </ul>
B4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redundantie in het systeem inbouwen.</li> </ul>	B9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snel reageren.</li> </ul>
B5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conditie van pompen monitoren</li> </ul>	B10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leidingen niet te dichtbij risicovolle objecten plaatsen.</li> <li>• Risicovolle leiding eerder vervangen.</li> </ul>

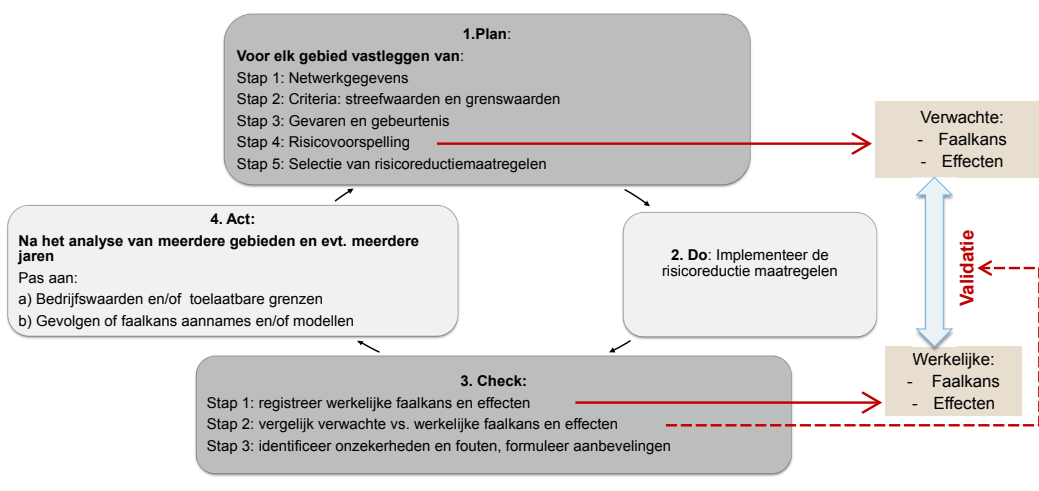
## 6.2 Hoe verder

Het ontwikkelen van een kennissysteem en methodes voor totaalaanpak risicoanalyse is geen eenmalig proces, maar wordt stap voor stap ontwikkeld. Het continu herzien van methoden en protocollen is vereist om een volwassen kennissysteem te bereiken, zie ook Figuur 6-2.



FIGUUR 6-2 GENERIEK MATURITEITSSHEMA VOOR EEN KENNISSYSTEEM (BRON: PAS 55)

Om verbetering te kunnen identificeren, kunnen de bedrijven een Plan-Do-Check-Act (PDCA) cyclus implementeren, zie Figuur 6-3. Door de PDCA voor het kwantificeren van risico's van het net te implementeren, kunnen de bedrijven de risicomatrices, voor zowel kwantitatieve als kwalitatieve gevolgen, valideren en indien nodig verbeteren.



FIGUUR 6-3 VOORSTELING VOOR PDCA CYCLUS VOOR DE VALIDATIE VAN TOTAALANPAK RISICOANALYSE

Het periodiek herzien van de totaalaanpak risicoanalyse is nodig om nieuwe categorieën, kansen van falen en gebeurtenissen in kaart te brengen, bv. het toevoegen van aardbevingen als een oorzaak van falen voor bepaalde gebieden.

In de toekomst kan met meer beschikbare informatie over de kans op falen verder onderscheid worden gemaakt. Bijvoorbeeld kunnen de risico's in een warme zomer worden berekend, want naast de normale risico's kunnen additionele risico's optreden: 1) grondzettingen, 2) overschrijding van de 25°C temperatuur grens en 3) een hogere kans op bruinwaterklachten (Blokker en Schaap 2015).

Lokale versus voortplantende effecten zijn in detail beschreven in Pieterse-Quirijns en Agudelo-Vera (2015). Voortplantende effecten zijn gerelateerd aan het falen van afsluiters. Voortplantende OLM kan met CAVLAR worden berekend, maar het kwantificeren van voortplantende effecten voor imagoschade, vereist het ontwikkelen van een methode. Om dit te ontwikkelen is het uitvoeren van risicoperceptie-analyses, om imagoschade beter in kaart te brengen, nodig. Huidige risicomatrices gebruiken historische data, bv. klachten van klanten of artikelen in de krant. Van Vossen en Vogelaar (2016) hebben een survey uitgevoerd in een gebied met 111 aansluitingen, na werkzaamheden (Geplande OLM), en 92% van de klanten hadden geen overlast door de onderbreking. De grootste overlast was zand op de stoep en minder parkeermogelijkheden door de aanwezigheid van auto's van de verschillende bedrijven. Verder kunnen overlastindicatoren, zoals 'Overlast door verbreken straatoppervlak' (OVSO), worden gebruikt om imagoschade te kwantificeren (Beuken 2015), zie Bijlage IV.

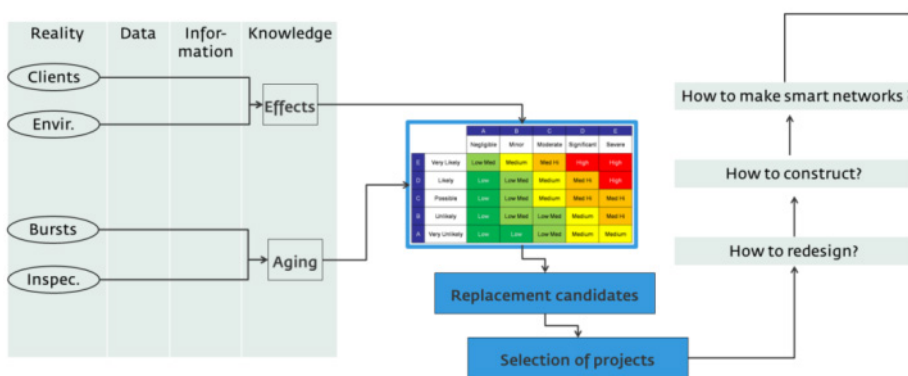
De beschikbaarheid van de data zal naar verwachting nog verder toenemen, bv. door het gebruik van inspectierobots. Het is belangrijk om te ageren, bv. door een plan van aanpak te schetsen voor het verzamelen en valideren van de data en vertalen van de data naar kennis voor het ondersteunen van assetmanagement beslissingen.

Het is belangrijk om niet alleen de risico's te berekenen, maar ook de onzekerheden van deze berekeningen in kaart te brengen. Met een grotere dataset, bv. in USTORE, kunnen onzekerheden van de kans van falen beter onderbouwd worden.

### 6.3 Nieuwe tools

Het is ook mogelijk om niet alleen met de huidige faalkans, maar ook met een toename van de faalkans over de tijd te rekenen. Het is dan bijvoorbeeld mogelijk om het effect van saneren (kansreductie) door te rekenen. In een volgende stap zou dan ook een optimalisatie uitgevoerd kunnen worden waarbij de secties die tot de grootste risicoreductie leiden eerst gesaneerd worden, bijvoorbeeld met een doorontwikkeling van GONDWANA. Er kan dan ook bepaald worden wanneer een optimaal saneringsmoment aanbreekt. GONDWANA kan tevens bepalen wat het beste ‘teruggelegd’ kan worden (streefstructuur).

Naar verwachting zullen met software-ontwikkelingen, zoals GONDWANA, business cases voor de risicoreductiemaatregelen completer en gemakkelijker uitgevoerd kunnen worden. Deze tools bieden de mogelijkheid om nieuwe ontwerpkeuzes mee te nemen tijdens de business case analyse. Verder bieden deze tools de mogelijkheid om analyses voor meerdere jaren uit te voeren, d.w.z. transitie naar een vertakt tertiair net of streefstructuur, Figuur 6-4.



FIGUUR 6-4 INTEGRALE AANPAK VOOR RISICOREDUCTIE INCLUSIEF HET BETER KWANTIFICEREN VAN RISICO'S EN REKENING HOUDEND MET NIEUWE ONTWERPMOGELIJKHEDEN



# 7 Conclusies en aanbevelingen

## 7.1 Conclusies

Dit onderzoek geeft een beeld van verbeterde mogelijkheden, t.o.v. de casestudie Montfoort 2008, van een kwantitatieve risicoanalyse van het leidingnet (Beuken 2008). Het wil daarbij bijdragen aan het vormgeven van kaders waarmee kennis en technologische ontwikkelingen kunnen leiden tot beter leidingnetbeheer.

Sinds de casestudie Montfoort 2008 is er veel (GIS) data beschikbaar gekomen en is ook de kwaliteit van de data verbeterd. De tools, die worden ingezet in een risicoanalyse voor het kwantificeren van de effecten en de kans, zijn ook verbeterd zodat:

- 1) Grotere gebieden of hele voorzieningsgebieden in één keer geanalyseerd kunnen worden (CAVLAR 3.0; ontgrondingskuilen).
- 2) Tools voor de berekening van effecten kunnen gekoppeld zijn met GIS en meer specifieke data kan worden meegenomen, i.p.v. kentallen.

Verder hebben de waterbedrijven meer ervaring opgedaan met risicomatrices. Zij hebben hun risicobenadering afgestemd op hun strategie. Dus implementatie van risicoanalyse van het leidingnet kan nu relatief eenvoudig en kwantificeren van risico's voor grotere gebieden kan geïmplementeerd worden. Het implementeren van de PDCA-cyclus kan het continu verbeteren van het proces ondersteunen.

## 7.2 Aanbevelingen voor implementatie

De aanbevelingen voor de waterbedrijven zijn:

- Te blijven werken aan het opbouwen van een totaalaanpak risicoanalyse van het net met speciale aandacht voor documentatie, bijvoorbeeld bedrijven kunnen in de Technische Accountants Rapport (TAR) schadekosten en imagoschade n.a.v. leidingbreuk of reparatie rapporteren.
- Bedrijven kunnen het kwantificeren van risico's implementeren voor alle gebieden en risicoanalyses voor meerdere jaren uitvoeren. Door de PDCA-cyclus te implementeren kunnen ze simpel starten en steeds meer complexiteit inbouwen, waarmee zaken nauwkeuriger worden, bv.
  - de risicomatrices te valideren m.b.v. de PDCA-cyclus; om te beginnen het uitvoeren van retrospectieve risicoanalyses om basisinformatie voor de PDCA-cyclus te verzamelen.
  - Samen met de andere bedrijven kennis te delen, zoals standaardisatie van risicomatrices en resultaten van PDCA-analyses van risicoanalyses.
  - Meer (en betere) informatie te verzamelen over het falen van afsluiters.
- Diverse modellen en tools (bijv. COMSIMA, USTOREweb) hebben grotendeels dezelfde geo-relateerde informatiebehoefte. Zo ook op het gebied van geo-data en de benodigde GIS-analyses. Door de informatiebehoefte zoveel mogelijk gelijk te trekken wordt eenmalige inwinning, eenmalige analyse en efficiënter gebruik van data, tijd en middelen mogelijk. De drinkwaterbedrijven wordt aanbevolen na te gaan op welke wijze de meest efficiënte informatie uitwisseling kan worden verkregen.
- De drinkwaterbedrijven en KWR wordt aanbevolen de (nieuwe)tools en kennis te koppelen om te garanderen dat de resultaten van de modellen en kennis weer input voor andere analyses vormen.

- Visualisatie en koppeling van resultaten van de risicoanalyse met GIS ondersteunt de identificatie van kritische elementen. De drinkwaterbedrijven en KWR wordt aanbevolen een gebruiksvriendelijke applicatie te ontwikkelen, toegespitst op de doelgroep (Skornsek 2015).

### 7.3 Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek

De aanbevelingen voor toekomstig onderzoek zijn:

- Om risico's beter te kwantificeren is het nodig om huidige tools te verbeteren en uit te breiden, bv. CAVLAR (Pieterse-Quirijns en Agudelo-Vera 2015) door toevoeging van andere effectencategorieën en door automatisering van voortplantingsrisico's.
- Totaalaanpak risicoanalyse richt zich op het reduceren van het risico. Het is cruciaal om de risicoreductie te kwantificeren. Het is belangrijk om een methode/aanpak te ontwikkelen om het effect van risicoreductiemaatregelen in kaart te brengen en de voordelen hiervan te kwantificeren.
- Om risicoreductiemaatregelen te vergelijken zijn nieuwe tools nodig. Door het uitbreiden van Gondwana, voor risicoberekening, kunnen netten op laag risico worden geoptimaliseerd.
- Specifieke studies om verder inzicht in risicoperceptie en schadekosten te krijgen is aanbevolen om nauwkeuriger/completer de effecten van het falen van het distributienet in kaart te brengen.
- Er wordt aanbevolen om ontwikkelingen te blijven volgen en een soortgelijk onderzoek nogmaals uit te voeren over enkele (5-10) jaren, want bijvoorbeeld waterkwaliteitsrisico, imagoschade en kosten zijn nog weinig uitgewerkt.

## 8 Referenties

- Agudelo-Vera, C. M. en R. H. S. Beuken (2015). Onderbouwing besluitvorming bij saneren van leidingen. Nieuwegein, KWR.KWR 2015.093.
- Arsenio, A. M. (2013). Lifetime prediction of PVC push-fit joints, TU-Delft.
- Beuken, R. (2008). Risicoanalyse van leidingnetten. Nieuwegein, KWR.BTO 2008.003.
- Beuken, R. (2010). Softwarepakketten voor de ondersteuning van saneringsbeslissingen van leidingen. Nieuwegein, KWR.BTO.2010.033.
- Beuken, R. (2015). Prestatie-indicatoren en stuurparameters voor het distributienet. Nieuwegein, KWR.BTO 2015.027.
- Beuken, R. en G. Mesman (2011). Kennissysteem Levensduurbepaling Versie 2.0.pdf.BTO 2011.113(s).
- Beuken, R., R. van Eijk en N. Slaats (2014). De waarde van exitbeoordelingen op AC en GGI leidingdelen. Nieuwegein, KWR.BTO 2014.016.
- Beuken, R. H. S., S. van Popering, J. Louter en J. Tolsma (2015). Informatievoorziening assetmanagement riolering en waterleidingen Nieuwegein, KWR.KWR 2015.065
- Blokker, E. J., M. Moerman, A. en P. W. M. H. Smeets (2016). QMRA van het distributienet. Nieuwegein. Nieuwegein, KWR.
- Blokker, E. J. M. (2010). Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks. PhD. Thesis, Delf University.
- Blokker, E. J. M., E. J. Pieterse-Quirijns, P. E., V. M. Marmelo en L. L. Mendes (2011). "Asset management of valves." Water asset management international 7.4: 12-15.
- de Kater, H., R. Beuken en A. J. Vogelaar (2010). Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten. Nieuwegein, KWR.BTO 2010.013
- Francisque, A., A. Shahriar, N. Islam, G. Betrie, R. B. Siddiqui, S. Tesfamariam en R. Sadiq (2014). "A decision support tool for water mains renewal for small to medium sized utilities: A risk index approach." Journal of Water Supply: Research en Technology - AQUA 63(4): 281-302.
- Lindhe, A. (2010). Risk assessment en decision support for managing drinking water systems. PhD., Chalmers University of Thechnology.
- Liu, Z., Y. Kleiner, B. Rajani, L. Wang en W. Condit (2012). Condition assesment technologies for water transmission en distribution systems. Cincinnati, Environmental Protection Agency.
- Mamo, T. G. (2015). "Risk-based approach to manage aging urban water main infrastructure." Journal of Water Supply: Research en Technology - AQUA 64(3): 260-269.
- Marlow, D. R., D. J. Beale en J. S. Mashford (2012). "Risk-based prioritization en its application to inspection of valves in the water sector." Reliability Engineering en System Safety 100: 67-74.
- Meerkerk, M., G. A. M. Mesman en I. Pieterse-Quirijns (2009). Handleiding 'CAVLAR' ; Beschrijving en interpretatie versie 1.1. Nieuwegein, KWR.BTO 2009.003.
- Mesman, G. A. M. en E. J. Pieterse-Quirijns (2009). Afsluiteranalyse Winschoten. Nieuwegein, KWR.KWR 09.080.
- Moerman, A., J. van Vossen en R. Beuken (2016). Van leidingdata naar leidingkennis: een conceptarchitectuur voor UKNOW. Nieuwegein, KWR.BTO 2015.084
- Pieterse-Quirijns, E. J. (2014). Handleiding VLPV-methodiek en -softwaretool. Tool voor analyse van leveringspatronen. Nieuwegein, KWR.KWR 2014.049.
- Pieterse-Quirijns, I. en C. Agudelo-Vera (2015). Programma van eisen voor de uitbreiding van CAVLAR.pdf. Nieuwegein, KWR.BTO 2015.205(s)
- Rokstad, M. M. en R. M. Ugarelli (2015). "Minimising the total cost of renewal en risk of water infrastructure assets by grouping renewal interventions." Reliability Engineering en System Safety 142: 148-160.

- Skornsek, J. (2011). Informatiebehoefte saneringsbeleid en GIS, KWR Watercycle research Institute.BTO 2011.055.
- Skornsek, J. (2011). Informatiebehoefte saneringsbeleid en GIS. Nieuwegein, KWR. Nieuwegein, KWR.BTO 2011.055.
- Skornsek, J. (2015). Meerwaarde Geo-informatie voor Kennissysteem Levensduurbepaling Leidingen. Nieuwegein, KWR.KWR.BTO 2015.083.
- van Daal, K., A. J. Vogelaar en G. A. M. Mesman (2011). Inventarisatie risicovolle leidingen in een stedelijke omgeving - Koppeling rekenregels ontgrondingskuilen met GIS. Nieuwegein, KWR.
- van den Boomen, M. (2006). Risicogestuurd onderhoud van distributie-infrastructuur. Nieuwegein, KWR.BTO 2006.001 (s).
- van Summeren, J. R. G. en A. Moerman (2015). CAVLAR 3.0 - Toelichting op functionaliteit en gebruik van CAVLAR 3.0 met GIS-interface. Nieuwegein, KWR.KWR 2015.090.
- van Vossen, J. en A. J. Vogelaar (2016). Techniques for reducing planned Customer Minutes Lost. Nieuwegein, KWR.KWR 2016.014. Nieuwegein, KWR.KWR 2016.014.
- Vertommen, I. en P. van Thienen (2015). De waarde van klantmeldingen - Alternatieve Indicatoren voor waterkwaliteitsproblemen. Nieuwegein, KWR.BTO 2015.024.
- Vloerbergh, I. en P. van Thienen (2010). Controlemethodiek afsluiters, KWR.
- Vogelaar, A. (2012). Analyse afsluiteronderhoud Hoogezand-Sappemeer. Nieuwegein, KWR.KWR 2012.042.
- Vogelaar, A. (2015). Risico falen TL-net.Het potentiële effect van leidingbreuken voorafgaand aan isolatie.pdf. Nieuwegein, KWR.KWR 2015.077
- Vogelaar, A. en E. J. Pieterse-Quirijns (2013). Methode voor bepalen optimale sectiegrootte op basis van ontwerpen van een specifiek net. Nieuwegein, KWR.KWR 2013.048.
- Vogelaar, A. J. (2011). Afsluiteranalyse Veldhoven. Nieuwegein, KWR.KWR 2011.069.
- Vreeburg, J. (2012). Onderhoud afsluiters. Nieuwegein, KWR.KWR 2012.070.
- Vreeburg, J. (2013). Strategie calamiteiten in het leidingnet. Nieuwegein, KWR. Nieuwegein, KWR.BTO 2013.062.
- Vreeburg, J. (2014). Assetmanagement van Appendages: Verslag workshop 18-9-2013. Nieuwegein, KWR.BTO 2014.207(s).
- Vries, D., C. Agudelo-Vera en J. van Summeren (2015). Assetmanagement in balans - systematiek voor integraal en kwantitatief beheer van de drinkwaterketen.BTO 2014.049
- Wols, B. A. en A. Moerman (2015). COMSIMA model voor spanningen op ondergrondse leidingen. Nieuwegein, KWR.BTO 2015.206(s)

## Bijlage I Effectencategorieën

	Oasen (voor 2014)	Waternet (voor 2014)	WML (voor 2014)	Evides (2014)	Vitens (2014)	BW (2014)	Dunea (2014)
1	Volksgezondheid	(Water-) kwaliteit	Betrouwbaar	Water-kwantiteit	Dienstverlening	Veiligheid	Volksgezondheid
2	Maatschappelijk	Duurzaamheid	Professioneel	Waterkwaliteit	Financieel	Milieu	Waterkwaliteit
3	Duurzaamheid	Doelmatigheid	Ondernemend	Verplichting (Wet & Regelgeving en Overeenkomsten)	(water-) kwaliteit	Imago	OLM
4	Transparant	Leveringszekerheid		VGM (Veiligheid, Gezondheid en Milieu)	Duurzaamheid	Wettelijke waterkwaliteit	Milieu/Natuur
5		Dienstverlening		Financieel (Gevolgschade & directe kosten)	Veiligheid	Leveringscontinuïteit	Reputatie
6				Reputatie & imago	Imago	Gevolgkosten	Integriteit
7					Wet & Regelgeving		Financiën

## Bijlage II Voordelen CAVLAR 3.0 t.o.v. CAVLAR 2.0

CAVLAR 2.0 is binnen het BTO ontwikkeld (Meerkerk et al. 2009) en beschikbaar voor de Nederlandse drinkwaterbedrijven. Uit onderzoek naar het gebruik van CAVLAR 2.0 is gebleken dat dit programma op een aantal punten verdere ontwikkeling vraagt (Pieterse-Quirijns en Agudelo-Vera 2015). Eén van de belangrijkste punten hierbij is de koppeling met een GIS programma zoals ArcGIS of QGIS. In opdracht van drinkwaterbedrijf Evides is in 2015 CAVLAR 3.0 ontwikkeld in de programmeertaal Python (van Summeren en Moerman 2015). Deze taal is zeer geschikt om te communiceren met andere bestaande programma's en databronnen zoals GIS en USTORE. De belangrijkste voordelen van CAVLAR 3.0 ten opzichte van CAVLAR 2.0 zijn:

- Aansluiting bij bestaande GIS software. CAVLAR 3.0 heeft geen eigen gebruikersinterface (programma) maar wordt aangeroepen vanuit een GIS programma (zoals ArcGIS of QGIS) of een Python ontwikkelomgeving zoals Spyder. Personen die bekend zijn met ArcGIS of QGIS kunnen dus ook eenvoudig gebruik maken van CAVLAR.
- Doordat CAVLAR 3.0 vanuit een GIS als functie aangeroepen wordt zijn de resultaten van een CAVLAR-berekening ook direct in een GIS omgeving te interpreteren. Een dergelijke geografische weergave geeft direct inzicht waar zich kritische secties bevinden. Hierdoor kan effectief gebruik gemaakt worden van een GIS programma om bijvoorbeeld overzichten (kaarten) te genereren.
- CAVLAR 3.0 gebruikt als invoerbestand een shapefile (voor specificaties van dit bestand; zie van Summeren en Moerman (2015)). Een dergelijke shapefile kan eenvoudig gegenereerd worden met een hydraulisch pakket zoals InfoWorks. Deze shapefile is een lijnenbestand waarvan de elementen leidingen en afsluiters representeren.
- Doordat CAVLAR 3.0 gebruik maakt van een algemene GIS datastructuur (shapefile) kunnen eenvoudig methoden en programma's ontwikkeld worden waarmee storingsfrequenties uit USTORE gekoppeld worden aan leidingen en afsluitersecties in CAVLAR (zie paragraaf 4.1).
- Doordat CAVLAR 3.0 als invoerbestand een shapefile gebruikt kan de invoerdata van CAVLAR in GIS verrijkt worden met allerlei analyses. Zo kan de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) gebruikt worden om te bepalen hoeveel administratieve aansluitingen op een distributieleiding zijn aangesloten (Figuur 4-1).
- Waar CAVLAR 2.0 een vast afbreekcriterium van  $10^{-3}$  hanteerde<sup>4</sup> maakt CAVLAR 3.0 gebruik van een variabel criterium dat door de gebruiker ingesteld kan worden. Een groot criterium ( $10^{-3}$  tot  $10^{-2}$ ) resulteert in een kortere rekentijd, maar tevens in een lagere nauwkeurigheid. Een klein criterium ( $\leq 10^{-4}$ ) resulteert in wat langere rektijden met een voldoende nauwkeurige uitkomst. Hierop wordt verder ingegaan in paragraaf 4.5.

---

<sup>4</sup> Dit wil zeggen dat de analytische berekening van de prestatie-indicatoren afgebroken wordt bij een gebeurtenis waarvan de kans van optreden kleiner is dan  $10^{-3}$ .

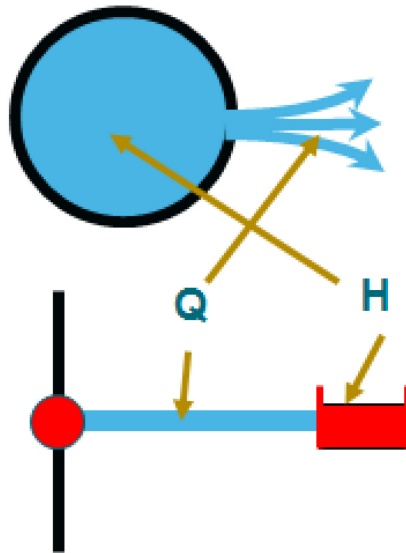
## Bijlage III Risicovolle objecten en berekeningen voor ontgrondingskuilen met infoworks

Tabel 8-1 risicovolle objecten (van Daal et al. 2011)

Categorie	Omschrijving
1.	Belangrijke waterstaatswerken a) Een primaire of secundaire waterkering of een boezemwaterkering b) Een primaire of secundaire weg (rijks- of provinciale weg) c) Een rijks- of provinciale vaarweg
2.	Spoorwegen: kruisingen van leidingen met spoorwegen moeten voldoen aan het zgn. 'witte boekje' van de Nederlandse Spoorwegen
3.	Overige verkeerswegen a) Drukke verkeerswegen, niet vallend onder 1. b) Verkeers-, fiets-, of voetgangerstunnels, aquaducten c) Pijlers van bruggen en viaducten
4.	Overige belangrijke locaties a) Publieke locaties, zoals ministeries, ambassades, gemeentehuizen, ziekenhuizen, brandweerkazernes, politiekantoren, kazernes defensie, treinstations, luchthavens, musea en winkelcentra b) Ondergrondse ruimten, zoals: parkeerkelders, archieven, metrostations en winkelcentra c) Monumentale panden (i.v.m. grote schadeclaims) d) Opslag van chemische goederen e) Hoogspanningslocaties: hoogspanningsmasten, hoogspanningsverdeelstations, verdeelstations, sterkstroomleidingen, etc. f) Hogedruk gasnet: HD gasleidingen, gasdrukregelstations, gasmengstations, etc. g) Overige leidingsystemen en industrie zoals voor de (petro-)chemische industrie of defensie h) Hoogwaardige natuurgebieden, waarin schade door lekkage en reparatie leidt tot grote natuurschade

## Schematische representatie van de simulatie van een lek

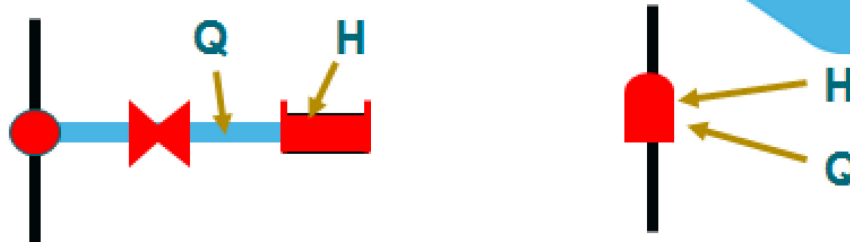
## Simulatie lek



$$R_B \equiv Q \text{ en } H$$

- $H = 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 \dots H_{\max}$
- Bereken  $Q$  via model

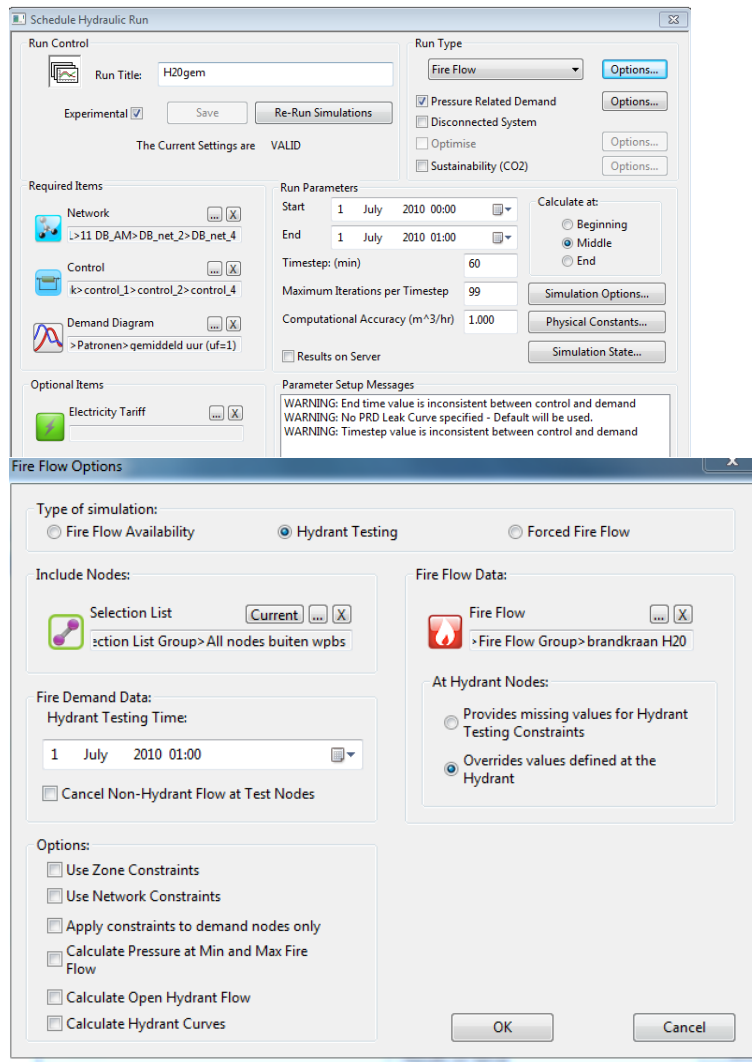
## Routine brandkraantest



- Plaats een brandkraan met zeer lage weerstand en ingestelde uitstroomdruk op elke knoop
- Simulatie-run:
  - stel de uitstroomdruk per run in
  - alle brandkranen apart openen
  - berekenen  $Q$  (en  $H$ ) per knoop



## Settings voor het berekenen van de ontgrondingskuilen met Infoworks



Simulation Options

Description	Default	Value
Continue Simulation after No Solution Snapshot	<input checked="" type="checkbox"/>	Yes
Stop simulation if reservoir empties	<input checked="" type="checkbox"/>	No
Stop outflow from empty reservoirs	<input checked="" type="checkbox"/>	No
Enforce Valve/PST regulation tolerance (could increase run-time!)	<input checked="" type="checkbox"/>	No
Show messages for all isolated nodes with demand	<input checked="" type="checkbox"/>	No
PST Variable Speed regulation tolerance as % of target value	<input type="checkbox"/>	0.10
Use dynamic friction factors	<input checked="" type="checkbox"/>	Yes
Use modified CW-Moody friction factor	<input checked="" type="checkbox"/>	Yes
Use Local Convergence Acceleration	<input checked="" type="checkbox"/>	Yes
Add scheduled control times	<input checked="" type="checkbox"/>	No
Use Dynamic TimeSteps	<input type="checkbox"/>	Yes
Dynamic Control TimeStep	<input checked="" type="checkbox"/>	0
Advise on Hydraulic Transients	<input checked="" type="checkbox"/>	No
Additional diagnostic messages in log file	<input checked="" type="checkbox"/>	No
Use Fast PST Variable Speed Pressure Control	<input type="checkbox"/>	Yes

Fire Flow Data - br...

Hydrant Testing Constraints	
Minimum Flow (m <sup>3</sup> /hr)	1.0
Maximum Flow (m <sup>3</sup> /hr)	999.0
Min Residual Pressure (m)	20.00
Zone Min Residual Pressure (m)	
Network Min Residual Pressure (m)	
Keep Local Demand	<input type="checkbox"/>
Hydrant Parameters	
Diameter (mm)	999.0
Relative Outlet Elevation (m)	0.00
Local Loss Coefficient	1.0000
Hydrant Valve Parameters	
Valve Diameter (mm)	999
Valve Curve	PLUG
Loss Coeff. (Open)	1.0000

Save

H20gem> control\_4 - Log results

```

Node x1015 - Local demand cancelled.
Hydrant x1015 passed.
Node x1016 - Local demand cancelled.
Hydrant x1016 passed.
Node x1020 - Local demand cancelled.
Hydrant x1020 passed.
10:05:13 - End of Hydrant Test
Test Snapshots: 76816, Test Iterations: 1980954 / Test Time (sec): 60805
10:05:13 - End of Simulation
Snapshots: 76820 Iterations: 1981075 / Total Running Time: 60808 (sec)
WARNING: 140 SNAPSHOTS FAILED TO CONVERGE
Simulation Completed
    
```

Grid Report : Hydrant Testing : > Den Bosch AM TL>Runs DB4 gehele gebied> H20gem> control\_4

Node	Fire Zone	Result	Minimum Fire Flow Required (m <sup>3</sup> /hr)	Minimum Fire Flow (m <sup>3</sup> /hr)	Minimum Residual Pressure Required (m)	Residual Pressure at Available Fire Flow (m)	Available Fire Flow (m <sup>3</sup> /hr)	Pre-Test Pressure (m)	Pre-Test Demand (m <sup>3</sup> /hr)
DB014617		Failed	1.00	0.97	20.00	4.02	0.97	33.38	0.00
DB017298		Failed	1.00	0.96	20.00	3.87	0.96	34.47	0.00
DB020104		Failed	1.00	1.00	20.00	0.00	0.00	33.98	0.00
DB023234		Failed	1.00	0.95	20.00	3.79	0.95	34.33	0.00
DB024926		Failed	1.00	1.00	20.00	0.00	0.00	34.38	0.00
100034X		Passed	1.00	1.00	20.00	19.99	522.14	32.48	0.00
100034Y		Passed	1.00	1.00	20.00	19.99	536.10	32.32	0.00
100046X		Passed	1.00	1.00	20.00	20.00	136.66	32.20	0.00
100046Y		Passed	1.00	1.00	20.00	20.00	132.19	32.20	0.00
100049X		Passed	1.00	1.00	20.00	19.98	94.71	31.86	0.00
100049Y		Passed	1.00	1.00	20.00	19.98	94.25	31.86	0.00
100050X		Passed	1.00	1.00	20.00	20.00	553.55	35.59	0.00

## Bijlage IV Overlast door verbreken straatoppervlak (OVSO) (m.uur)

Overlast door verbreken straatoppervlak' (OVSO) (Beuken 2015).

### SP 4.1 Overlast door verbreken straatoppervlak (OVSO) (m.uur)

$$OVSO = \frac{\sum_{i=1}^N O_i \cdot D_i \cdot I_i \cdot S_i}{\Sigma L}$$

i:	werk "i" waar het straatoppervlak wordt verbroken
N:	het totaal aantal werken waar het straatoppervlak wordt verbroken
O <sub>i</sub> :	het oppervlak dat wordt verbroken in werk "i" (m <sup>2</sup> )
D <sub>i</sub> :	de duur dat het oppervlak wordt verbroken in werk "i" (uur)
I <sub>i</sub> :	de impactfactor in werk "i" (-)
S <sub>i</sub> :	de samenwerkingsfactor in werk "i" (-)
ΣL:	totale lengte leidingnet (m)

De OVSO is een maat voor de veroorzaakte overlast door het verbreken van straatoppervlak door werkzaamheden voor het vervangen van leidingen. Uitgangspunt is dat graafwerk buiten het straatoppervlak niet of tot beperkte overlast leidt en daarmee niet binnen deze stuurparameter wordt betrokken. Opgemerkt wordt dat in dit kader privétuinen desgewenst ook tot het straatoppervlak kunnen worden gerekend, aangezien graafwerk hier ook als overlastgevend kan worden beschouwd. Door gericht te sturen op een zo laag mogelijke OVSO kan een waterbedrijf de overlast voor de omgeving minimaliseren. Dit kan door het oppervlak dat wordt verbroken zo klein mogelijk te houden, de duur van de verbreking te beperken en samenwerking te zoeken met andere beheerders van ondergrondse infrastructuur of wegen. De samenwerking met beheerders van andere ondergrondse infrastructuur kan worden uitgedrukt in de samenwerkingsfactor, bijvoorbeeld volgens:

- samenwerking met één beheerder: 0,7
- samenwerking met twee of meer beheerders: 0,5
- samenwerking met wegbeheerders: 0,3

Bij de berekening van de stuurparameter wordt rekening gehouden met een impactfactor die het type straatoppervlak weergeeft, bijvoorbeeld volgens:

- impact door verbreking van een trottoir of fietspad: 0,5
- impact door verbreking van een rijweg: 1
- impact door verbreking van een verkeersader: 3