



# Risicoanalyse van leidingnetten

Onderzoek naar toepassing in de praktijk

**BTO 2008.003**  
**September 2008**



Watercycle Research Institute

# Risicoanalyse van leidingnetten

Onderzoek naar toepassing in de praktijk

**BTO 2008.003**  
**September 2008**

© 2008 KWR

Alle rechten voorbehouden.

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



# Colofon

**Titel**

Risicoanalyse van leidingnetten

**Projectnummer**

B111625.101

**Projectmanager**

Nellie Slaats

**Opdrachtgever**

BTO

**Kwaliteitsborgers**

Jan Vreeburg, Mirjam Blokker

**Auteur**

Ralph Beuken





# Samenvatting

Waterbedrijven besteden steeds meer aandacht aan het verantwoord omgaan met risico's. Naast de in het verleden gangbare aandacht voor risico's van besmetting, is er nu aandacht voor de risico's van het falen van assets en de mogelijke effecten op de bedrijfsprestatie. Waterbedrijven passen verschillende methoden toe voor het analyseren van risico's, met name voor het onderhouden van productie-infrastructuur. Binnen het afgesloten project 'Risicoanalysemethoden' zijn 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. In het voorliggende onderzoek is onderzocht of deze risicobeoordelingsmatrices in de praktijk toepasbaar zijn voor een risicoanalyse van een distributienet en of dit leidt tot zinvolle resultaten.

De risicobeoordelingsmatrices worden nader toegelicht en er wordt aangegeven op welke wijze de analyse wordt vormgegeven zodat elk leidingdeel op kwantitatieve wijze in is te delen in categorieën van kans en effect. Om te beoordelen of de hier voorgestelde analysemethode in de praktijk werkzaam is, vindt een toetsing plaats middels een case-study. Voor deze case-study is gebruik gemaakt van het leidingnet van Montfoort (Vitens). In deze case-study worden de matrices gekoppeld aan:

- leidinggegevens,
- computermodellen m.b.t. het leidingnet,
- omgevinginformatie met behulp van geografische informatie,
- databases over storingen en klachten.

Dit onderzoek geeft een beeld van de mogelijkheden van kwantitatieve analyse van het leidingnet. Het schetst een kader voor risicobeheer van het leidingnet, de daaraan gerelateerde kennisbehoefte en de mogelijke inpassing van technologische ontwikkelingen zoals computermodellen en geografische informatiesystemen. Op basis van de hier uitgevoerde analyse blijkt dat het mogelijk is kritieke leidingen te identificeren door middel van een kwantitatieve risicoanalyse. De resultaten van de casestudie zijn voorgelegd aan direct betrokkenen bij het leidingnetbeheer van Montfoort. Zij gaven aan dat de resultaten van deze risicoanalyse overeenstemmen met hun ervaringen.

Tijdens het uitvoeren van deze risicoanalyse blijken er discrepanties te zijn tussen de kennisbehoefte en het kennisaanbod. De kwaliteit van een analyse houdt nauw verband met de kwaliteit van de beschikbare informatie. Aangezien er aanzienlijke verbeteringen te verwachten zijn van de beschikbaarheid en de kwaliteit van (met name van de geografische) informatie, zijn in de toekomst meer nauwkeurige analyses mogelijk.

Een risicoanalyse voor een distributienet zoals uitgevoerd in dit onderzoek is erg tijdsintensief, met name door de vele handmatige rekenslagen. Dit komt voort uit de aard van de onderzoeksvraag die zich richt op de toepasbaarheid. In een vervolgonderzoek kan nader worden ingegaan op welke wijze een dergelijke analyse het meest efficiënt uit is te voeren. Door automatisering van rekenstappen zal een aanzienlijke efficiencyverhoging mogelijk zijn.



# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>Inhoud</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2 Risicobeoordelingsmatrices</b>	<b>7</b>
<b>3 Kwantificeren van risicobeoordelingmatrices</b>	<b>13</b>
3.1 Kans op een functiefalen: leidingbreuk	13
3.2 Leveringsonderbreking door leidingbreuk	13
3.3 Ondermaatse druk door leidingbreuk of diameterreductie	13
3.4 Ondermaatse levering kwaliteit door leidingbreuk of processen in het leidingnet	14
3.5 Imagoschade	15
3.6 Directe kosten ten gevolge van leidingbreuk	16
3.7 Veiligheid ten gevolge van leidingbreuk	17
<b>4 Beschrijving case-study</b>	<b>19</b>
<b>5 Risicoanalyse</b>	<b>21</b>
5.1 Inleiding	21
5.2 Analyse kans op een leidingbreuk	21
5.3 Effect 1: Leveringsonderbreking	24
5.4 Effect 2: Ondermaatse druk	27
5.5 Effect 3: Ondermaatse waterkwaliteit	29
5.6 Effect 4: Imagoschade	32
5.7 Effect 5: Kosten/Veiligheid	35
<b>6 Risicobeoordeling</b>	<b>41</b>
6.1 Consolideren van risicobeoordelingsmatrices	41
6.1.1 Aantal malen kritisch	41
6.1.2 Gemiddeld risico	41
6.1.3 Maximum risico	43
6.1.4 Weging gemiddeld en maximum risico	44
6.1.5 Gewogen gemiddeld risico	45
6.2 Toetsing resultaten aan de praktijk	45
<b>7 Discussie</b>	<b>47</b>
<b>8 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>51</b>
8.1 Conclusies	51

8.2	Aanbevelingen	52
8.3	Relevantie onderzoek en mogelijkheden voor implementatie	53
<b>9</b>	<b>Literatuur en internetverwijzingen</b>	<b>55</b>
I	Stappenplan voor risicoanalyse en -beheer leidingnetten	57
II	Projectgroep	59

# 1 Inleiding

Risico's zijn onzekere toekomstige omstandigheden of gebeurtenissen die het behalen van gestelde doelstellingen beïnvloeden. Hierbij ligt meestal de nadruk op negatieve beïnvloeding in de zin van bedreigingen of gevaren. Risicomanagement kan omschreven worden als het geheel aan analyses, beslissingen en activiteiten om bedreigingen of gevaren te signaleren en de juiste maatregelen tijdig te treffen. Een groot aantal theorieën en instrumenten is beschikbaar om organisaties te ondersteunen bij de toepassing van risicomanagement en het analyseren van risico's. Waterbedrijven passen verschillende risicoanalysemethoden toe, met name voor het vormgeven van het onderhoud- en vervangingsbeleid van productie-infrastructuur. Binnen het project 'Risicoanalysemethoden' zijn verschillende methoden voor risicoanalyse besproken (van den Boomen, 2006). Met name Reliability Centered Maintenance (RCM) is nader toegelicht en er is nagegaan of deze methode voor distributie-infrastructuur geschikt gemaakt kan worden. RCM kan worden gekenschetst als een proces om de onderhoudsvereisten van een asset in zijn omgeving te bepalen met als doel het zekerstellen van de gewenste functie. De risico's die in dit kader worden beschouwd hebben betrekking op het functioneren van assets en niet op de risico's die betrekking hebben op werkzaamheden.

Distributie-infrastructuur verschilt wezenlijk van productie-infrastructuur, waardoor bestaande concepten vanuit waterproductie niet rechtstreeks toepasbaar zijn op distributienetten. De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn dat distributiemiddelen:

- verspreid zijn over een groot geografisch gebied en bloot staan aan uiteenlopende omstandigheden, waardoor eenduidige relaties tussen het faalgedrag en de omstandigheden moeilijk te bepalen zijn;
- zich in de ondergrond bevinden en daardoor moeilijk te inspecteren zijn - het is te verwachten dat ondergrondse en non-destructieve inspectietechnieken in de toekomst meer toepasbaar zijn, op dit moment zijn deze technieken echter relatief duur en beperkt toepasbaar;
- bij falen in het algemeen een minder omvangrijk negatief effect hebben dan productiemiddelen;
- slechts een beperkt aantal mogelijke maatregelen kennen voor onderhoud, voornamelijk vervangen en voor metalen leidingen kathodische bescherming.

In samenspraak met de projectgroep zijn binnen het project 'Risicoanalysemethoden' zes risicobeoordelingsmatrices opgesteld voor het falen van een leiding (zie Bijlage II voor de leden van de projectgroep). Deze matrices houden verband met de effecten: leveringsonderbreking, ondermaatse druk, ondermaatse waterkwaliteit, imagoschade, directe kosten en veiligheid (van den Boomen 2006). Het voorliggende onderzoek geeft antwoord op de vraag: 'of een kwantitatieve risicoanalyse voor een leidingnet leidt tot zinvolle resultaten'.

Voor het beantwoorden van deze vraag worden de risicobeoordelingsmatrices als uitgangspunt genomen en in de praktijk getoetst middels een case-study. Voor deze case-study wordt gebruik gemaakt van het leidingnet van Montfoort (Vitens). In deze toets worden de matrices gekoppeld aan informatie over leidingen (zoals dimensies en conditie), de liggingsomgeving met behulp van geografische informatie, het aantal storingen en het aantal klachten. Bij deze toets is tevens gebruik gemaakt van hydraulische modellen en de afsluiter tool CAVLAR®.

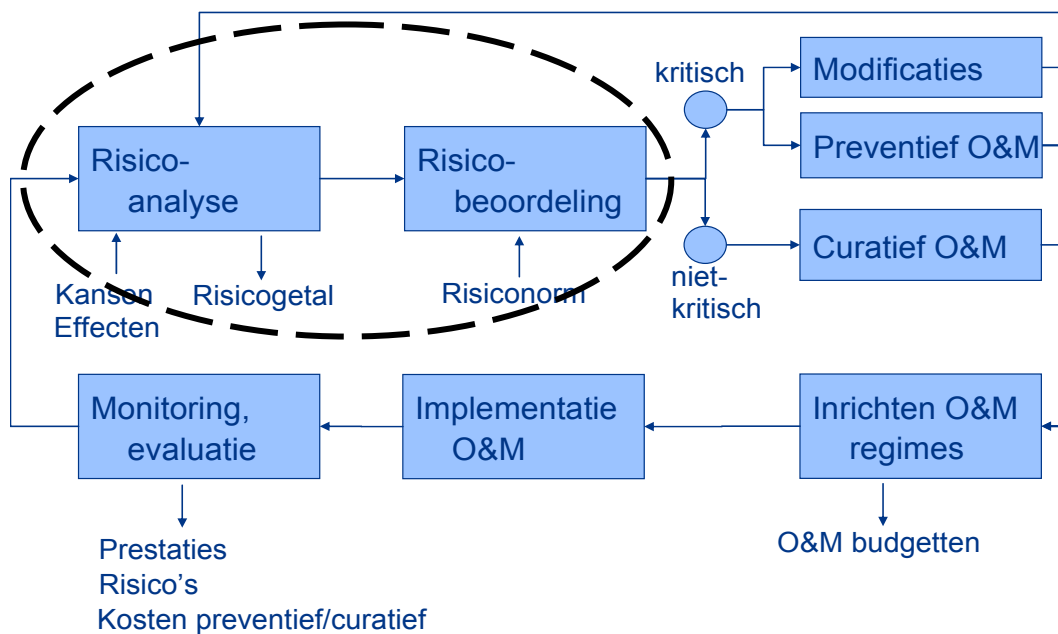
In het voorliggende rapport wordt in hoofdstuk 2 een korte beschrijving gegeven van de risicobeoordelingsmatrices, zoals deze in het project Risicoanalysemethoden zijn opgesteld. In hoofdstuk 3 wordt aangegeven op welke wijze informatie verzameld kan worden om de matrices te vullen. In hoofdstuk 4 wordt een korte beschrijving gegeven van het leidingnet van Montfoort. In hoofdstuk 5 wordt de analyse uitgevoerd die als basis dient voor het invullen van de risicobeoordelingsmatrices. Vervolgens worden een aantal voorbeelden gepresenteerd voor het consolideren van deze matrices tot een risicobeoordeling. In hoofdstuk 6 worden de ervaringen van de risicoanalyse bediscussieerd. In hoofdstuk 7 staan de conclusies en aanbevelingen, tevens wordt de relevantie voor de sector besproken en de mogelijkheden van implementatie. In Bijlage I is een stappenplan voor risicoanalyse en risicobeheer van een leidingnet gegeven.





## 2 Risicobeoordelingsmatrices

In de eerste fase van het project 'Risicoanalysemethoden' heeft een inventarisatie van verschillende methoden van risicobeheer plaatsgevonden. De bestaande methode Reliability Centered Maintenance (RCM) is hier besproken en de toepassing ervan op distributienetten is nader uitgewerkt. Reliability Centered Maintenance (RCM) volgt een aantal stappen die universeel zijn voor het risicogestuurd onderhoud en beheer van alle types bedrijfsmiddelen, zie ook Figuur 1. Binnen dit onderzoek wordt gefocust op de onderdelen risicoanalyse en risicobeoordeling. Overigens moet worden opgemerkt dat de stappen zoals weergegeven in Figuur 1 terug zijn te vinden in de meeste methoden voor risicobeheer.



Figuur 1: De RCM-cyclus (O&M: Operation and maintenance)

In samenspraak met de projectgroep heeft in de eerste fase van dit project een inventarisatie plaatsgevonden van het distributiesysteem, de bijbehorende functies en de mogelijke functiefouten. Dit laatste wordt ook wel aangeduid als functiefalen of falen. Voor een nadere beschrijving wordt verwezen naar het rapport 'Risicogestuurd onderhoud van distributie-infrastructuur' (van den Boomen, 2006). In dit rapport zijn voor de functiefouten 'transporteert geen of onvoldoende drinkwater' en 'kwaliteit van het water verslechtert' zes effectcriteria geïdentificeerd, waarvan voor het beoordelen van foutoorzaken risicobeoordelingsmatrices zijn opgesteld, zie Tabel 1. In Figuur 2 t/m Figuur 8 zijn deze risicobeoordelingsmatrices weergegeven uit van den Boomen (2006). Voor verbetering van de leesbaarheid is de vormgeving van deze matrices op een aantal punten aangepast.

In de risicobeoordelingsmatrices wordt op de horizontale as de kans op falen weergegeven en op de verticale as het effect. De matrices hebben een 5\*5 verdeling (met uitzondering van de matrix imago die is onderverdeeld in 3 effectcategorieën). Leidingen die vallen binnen de rode vakken worden geïdentificeerd als kritisch. Een uitwerking van voorbeelden van de risicobeoordelingsmatrices heeft plaatsgevonden in de projectgroep Risicoanalysemethoden.

Voor de eerste 4 matrices wordt het effect uitgedrukt in categorieën voor impact (onderbrekingsduur, geleverde druk, etc.) en voor omvang (aantal getroffen klanten). De categorie met het hoogste effect wordt als maatgevend beschouwd.

Tabel 1: Overzicht van effectcategoriën voor de functiefout 'transporteert geen drinkwater' (waar Max. staat aangegeven wordt het grootste effect aangehouden)

Effectcriterium	Foutoorzaak	Effectbeoordeling	
Leveringsonderbreking	Leidingbreuk	Max.	Onderbrekingsduur
			Aantal getroffen klanten
Ondermaatse druk	Leidingbreuk of diameterreductie	Max.	Geleverde druk
			Aantal getroffen klanten
Ondermaatse levering kwaliteit	Leidingbreuk (incl. lekkage)	Max.	Aard van kwaliteitsvermindering
			Aantal getroffen klanten
	Processen in leidingnet	Max.	Aard van de verontreiniging
			Aantal getroffen klanten
Imagoschade	Diverse oorzaken		Mate van negatieve publiciteit
Directe kosten	Leidingbreuk		Hoogte van de kosten
Veiligheid	Leidingbreuk		Letsel aan derden

<i>Functie:</i>	<i>Transporteren van drinkwater</i>
<i>Functiefout:</i>	<i>Transporteert geen of onvoldoende drinkwater</i>
<i>Foutoorzaak:</i>	<i>Leidingbreuk</i>

Effectcriterium			Faalkans				
Leveringsonderbreking			Categorie				
Cat.	onderbrekingsduur	aantal getroffen klanten	1	2	3	4	5
	OF	OF	<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	van 0 tot 2 uur	tot 50					
2	van 2 tot 4 uur	van 50 tot 100					
3	van 4 tot 8 uur	van 100 tot 1000					
4	van 8 tot 24 uur	van 1000 tot 2000					
5	24 uur of meer	2000 of meer					

Figuur 2: Risicobeoordelingsmatrix voor het effectcriterium Leveringsonderbreking (uit van den Boomen, 2006).

*Functie: Transporteren van drinkwater*  
*Functiefout: Transporteert geen of onvoldoende drinkwater*  
*Foutoorzaak: Leidingbreuk of diameterreductie (aangroeiën of verstoppen)*

Effectcriterium bij lek/breuk			Faalkans bij lek/breuk				
Ondermaatse Druk			Categorie				
Cat.	Geleverde druk, tot 24 uur, meer dan 24 uur altijd kritisch	aantal getroffen klanten, tot 24 uur, meer dan 24 uur altijd kritisch	1	2	3	4	5
	OF	OF	<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	18 mwk tot 20 mwk	tot 50					
2	15 mwk tot 18 mwk	van 50 tot 100					
3	10 mwk tot 15 mwk	van 100 tot 1000					
4	5 mwk tot 10 mwk	van 1000 tot 2000					
5	<5 mwk	2000 of meer					

Figuur 3: Risicobeoordelingsmatrix voor het effectcriterium Ondermaatse druk (uit van den Boomen, 2006).

*Functie: Behoud van kwaliteit tijdens transport en distributie*  
*Functiefout: Kwaliteit van het water verslechtert*  
*Foutoorzaak: Leidingbreuk (incl. lekkage)*

Effectcriterium bij normaal bedrijf			Faalkans bij lek/breuk				
Ondermaatse Waterkwaliteit			Categorie				
Cat.	Aard van waterkwaliteitsprobleem	aantal getroffen klanten	1	2	3	4	5
	OF	OF	<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	bruin water of andere klantgerichte parameters	tot 50					
2	bruin water of andere klantgerichte parameters	van 50 tot 100					
3	bruin water of andere klantgerichte parameters	van 100 tot 1000					
4	insluis van niet-acute gezondheidstechnische parameters	van 1000 tot 2000					
5	insluis van acute gezondheidstechnische parameters	2000 of meer					

Figuur 4: Risicobeoordelingsmatrix voor het effectcriterium Ondermaatse levering kwaliteit voor de functie Transporteren van drinkwater (uit van den Boomen, 2006).

*Functie:: Behoud van kwaliteit tijdens transport en distributie*  
*Functiefout: Kwaliteit van het water verslechtert*  
*Foutoorzaak: Processen in het leidingnet (sedimentatie, biofilmvorming, corrosie of slechte doorstroming)*

Effectcriterium bij normaal bedrijf			Faalkans processen in leidingnet				
Ondermaatse Waterkwaliteit			Categorie				
Cat.	Aard van waterkwaliteitsprobleem	aantal getroffen klanten	1	2	3	4	5
	OF	OF	<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	klantgerichte parameters	tot 50					
2	klantgerichte parameters	van 50 tot 100					
3	bedrijfstechische parameters	van 100 tot 1000					
4	niet-acute gezondheidstechnische parameters	van 1000 tot 2000					
5	acute gezondheidstechnische parameters	2000 of meer					

Figuur 5 : Risicobeoordelingsmatrix voor het effectcriterium Ondermaatse levering kwaliteit voor de functie Behoud van kwaliteit tijdens transport en distributie (uit van den Boomen, 2006).

*Functies:: Transporteren van drinkwater*  
*Behoud van kwaliteit tijdens transport en distributie*  
*Functiefout: Transporteert geen of onvoldoende water*  
*Kwaliteit van het water verslechtert*  
*Foutoorzaak: Diverse oorzaken (leidingbreuk, sedimentatie, etc.)*

Effectcriterium		Faalkans				
Imago		Categorie				
Cat.	Uitval levering voor kwetsbare afnemers	1	2	3	4	5
		<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	lokale negatieve publiciteit					
3	regionale negatieve publiciteit					
5	landelijke negatieve publiciteit					

Figuur 6 : Risicobeoordelingsmatrix voor het effectcriterium Imagoschade (uit van den Boomen, 2006).

<i>Functies::</i>	<i>Transporteren van drinkwater</i> <i>Behoud van kwaliteit tijdens transport en distributie</i>
<i>Functiefout:</i>	<i>Transporteert geen of onvoldoende water</i>
<i>Foutoorzaak:</i>	<i>Leidingbreuk</i>

<b>Effectcriterium</b>		<b>Faalkans</b>				
<b>Kosten</b>		<b>Categorie</b>				
Cat.	In nabijheid van	1	2	3	4	5
		<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	van 0 tot 5 k€					
2	van 5 k€ tot 10 k€					
3	van 10 k€ tot 25 k€					
4	van 25 k€ tot 100 k€					
5	100 k€ of meer					

*Figuur 7: Risicobeoordelingsmatrix voor het effectcriterium Directe kosten (uit van den Boomen, 2006).*

<i>Functies::</i>	<i>Transporteren van drinkwater</i> <i>Behoud van kwaliteit tijdens transport en distributie</i>
<i>Functiefout:</i>	<i>Transporteert geen of onvoldoende water</i>
<i>Foutoorzaak:</i>	<i>Leidingbreuk</i>

<b>Effectcriterium</b>		<b>Faalkans</b>				
<b>Veiligheid</b>		<b>Categorie</b>				
Cat.	In nabijheid van	1	2	3	4	5
		<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	Geen effect op de veiligheid					
2	Klein letsel zonder medische behandeling/controle					
3	Klein letsel met medische behandeling/controle					
4	Letsel met ziekenhuisopname tot gevolg					
5	Letsel met dood of handicap tot gevolg					

*Figuur 8: Risicobeoordelingsmatrix voor het effectcriterium Veiligheid (uit van den Boomen, 2006).*



## 3 Kwantificeren van risicobeoordelingmatrices

### 3.1 Kans op een functiefalen: leidingbreuk

De kans op functiefalen door een leidingbreuk of lekkage kan worden bepaald door toepassing van storingstatistiek. De waterbedrijven registreren gedurende een aantal jaren storingen, zodat er de beschikking is over een vrij uitgebreide storingstatistiek. De kwaliteit van deze kansbepaling zal in de regel beter zijn als specifieke gegevens van het onderzoeksgebied beschikbaar zijn en als deze meer variabelen kennen (bijvoorbeeld naast leidingmateriaal ook het aanlegjaar). Daarnaast is het van belang dat informatie over storingen gekoppeld is aan specifieke leidingen, zie ook aanbevelingen Vloerbergh en Blokker (2008).

### 3.2 Leveringsonderbreking door leidingbreuk

In de meeste gevallen zal een leidingbreuk niet direct leiden tot een onderbreking van de levering. Het is mogelijk dat een verlaagde leveringsdruk optreedt, het effect hiervan wordt beschouwd in de risicobeoordelingsmatrix Ondermaatse druk. Pas als de sectie wordt afgesloten voor reparatie zal leveringsonderbreking plaatsvinden. Het effect van een leveringsonderbreking als gevolg van een leidingbreuk kan worden bepaald met de door Kiwa WR ontwikkelde tool CAVLAR® (acroniem voor Criticality Analysis for Valve Location And Reliability, voor meer informatie hierover, zie Trietsch (2006)). Het effect wordt uitgedrukt in de duur van de afsluiting en het aantal getroffen aansluitingen. Met CAVLAR® kunnen kritische secties in bestaande en nieuwe netwerkontwerpen worden geïdentificeerd. Als input dienen gegevens over de storingsfrequentie, de sectielengte, het aantal aansluitingen per sectie, de afsluiterbetrouwbaarheid en de duur van de reparatie. De duur van de reparatie wordt hier gedefinieerd als de periode vanaf het sluiten van de eerste afsluiter, het verwijderen van eventuele wegbedekking, het blootleggen van het lek, het repareren tot het openen van de eerste afsluiter. Het relateren van de periode van afsluiting aan het openen van de eerste afsluiter heeft er mee te maken dat in veel gevallen na een reparatie slechts één afsluiter wordt geopend. Nadat bacteriologische analyse heeft uitgewezen dat er geen besmetting heeft opgetreden worden vervolgens de overige afsluiters geopend.

### 3.3 Ondermaatse druk door leidingbreuk of diameterreductie

De functiefout 'transporteren van geen of onvoldoende water' kan veroorzaakt worden door een leidingbreuk of doordat in de loop van de tijd een reductie van de diameter optreedt.

De ondermaatse druk veroorzaakt door een leidingbreuk is afhankelijk van de grootte van het lek, de mogelijkheid tot uitstroming van het water en leidingkarakteristieken, zoals de inwendige druk, de diameter en de plaatselijke netconfiguratie. Een leidingbreuk kan leiden tot een verlaging van de druk:

1. Als een grote hoeveelheid water weglekt. Hierdoor treden verhoogde wrijvingsverliezen op in de leidingen rondom de breuk. De daaraan gerelateerde verlaagde druk kan berekend worden met een leidingnetberekenningsprogramma door een groot verbruik te simuleren ter plaatse van een lek en na te gaan wat het effect hiervan is op omliggende knopen met verbruik.
2. Als tijdens de reparatie die volgt op een leidingbreuk onvoldoende transportcapaciteit beschikbaar is om achtergelegen klanten op druk te houden. De ondermaatse druk tijdens de reparatie kan worden berekend met een leveringszekerheidsanalyse.

Door corrosie van metalen leidingen kan in de loop van de tijd een reductie van de diameter optreden. Dit geldt met name voor leidingen zonder inwendige coating of als de coating is verdwenen. De onderbouw van deze diameterreductie kan bestaan uit een aantal capaciteitsproeven, waarna de gemeten waarden vertaald kunnen worden naar de andere metalen leidingen. Er bestaat nog weinig ervaring met een dergelijke aanpak en omdat metalen leidingen maar een klein deel van het leidingnet uitmaken, is deze analyse in deze case-study niet verder uitgewerkt.



### 3.4 Ondermaatse levering kwaliteit door leidingbreuk of processen in het leidingnet

Het effect van een leidingbreuk of processen in het leidingnet op de waterkwaliteit wordt in de risicobeoordelingsmatrices uitgedrukt in drie kenmerken voor de impact:

- bruin water of andere klantgerichte parameters,
- insluiting van niet-acute gezondheidkundige parameters
- insluiting van acute gezondheidkundige parameters.

Naast impact dient ook de omvang (het aantal getroffen klanten) van de verontreiniging te worden gekwantificeerd. Impact en omvang zijn alleen te kwantificeren als een incident is opgetreden. Het vooraf kwantificeren van de impact en de omvang is vooralsnog niet mogelijk. Expertmeningen kunnen uitsluitend geven over bekende kritische leidingen die kunnen leiden tot een verhoogd effect bij leidingbreuk of door processen in het leidingnet. Het valt echter te betwijfelen of expertmeningen voldoende onderscheidend zijn. Om te komen tot een werkbare toepassing is besloten om beide waterkwaliteitsmatrices (Figuur 4 en Figuur 1) te combineren tot één risicobeoordelingsmatrix voor de waterkwaliteit.

Voor dit onderzoek is er voor gekozen de effecten op de waterkwaliteit van een lekkage te baseren op de volgende componenten:

- klachten: in gebieden waar veel bruinwaterklachten voorkomen, mag worden aangenomen dat relatief veel sediment aanwezig is wat bij hydraulische verstoringen zoals een leidingbreuk tot relatief veel problemen met bruin water leidt;
- stroomsnelheid: in leidingen waar veel lage stroomsnelheden optreden en geen hoge stroomsnelheden is de kans op accumulatie van sediment groter, zodat bij een leidingbreuk ook meer bruinwaterklachten zijn te verwachten;
- volumestroom: leidingen met een hoge volumestroom zullen bij breuk en bijbehorende reparatie leiden tot veel incidentele snelheidsveranderingen die vaak de oorzaak zijn van bruinwaterklachten.

Voorgesteld wordt het effect van klachten in te delen in de vijf effectcategorieën op de volgende wijze (zie de indeling van Tabel 2):

1. Per sectie wordt op basis van de klachtenregistratie het aantal klachten per 1000 aansluitingen per jaar berekend, ingedeeld in drie subcategorieën.
2. Per sectie wordt voor een gemiddelde dag de minimum stroomsnelheid (aanneمة om 3 uur 's nachts) en de maximum stroomsnelheid (aanneمة om 9 uur 's morgens) berekend. Omdat binnen een sectie verschillende snelheden kunnen optreden, wordt van alle aanwezige leidingen het gemiddelde bepaald van de minimum en maximum snelheid gewogen naar leidinglengte. Per sectie wordt een verdeling gemaakt in drie subcategorieën.
3. Per sectie wordt de gemiddelde volumestroom bepaald voor een gemiddelde dag om 9 uur 's morgens. Per sectie wordt een verdeling gemaakt in drie subcategorieën.
4. Voor de componenten klachten, stroomsnelheid en volumestroom wordt per sectie een waardering gegeven. Vervolgens worden de drie waarderingen opgeteld en vindt de indeling in effectcategorie plaats zoals aangegeven in Tabel 2.
5. De risicobeoordelingsmatrix voor ondermaatse waterkwaliteit zoals weergegeven in Figuur 9 wordt ingevuld.

Tabel 2: Indeling subcategorieën voor effect waterkwaliteit

Component	Subcategorie	Indeling	Waardering
klachten	gering	klachten < 10/1000 aansl./jaar	1
	matig	klachten < 20/1000 aansl./jaar	2
	hoog	klachten ≥ 20/1000 aansl./jaar	3
stroomsnelheid	gering	$V_{\min} \geq 0,10$ en $V_{\max} \geq 0,25$ m/s	1
	matig	$V_{\min} < 0,10$ of $V_{\max} < 0,25$ m/s	2
	hoog	$V_{\min} < 0,05$ en $V_{\max} < 0,10$ m/s	3
volumestroom	gering	$Q < 25$ m <sup>3</sup> /h	1
	matig	$Q \geq 25$ m <sup>3</sup> /h	2
	hoog	$Q \geq 50$ m <sup>3</sup> /h	3
	Som	Effectcategorie	
	3 of 4	1	
	5 of 6	2	
	7	3	
	8	4	
	9	5	

Effectcriterium		Faalkans				
Ondermaatse Waterkwaliteit		Categorie				
Cat.	Score	1	2	3	4	5
		<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	3 of 4					
2	5 of 6					
3	7					
4	8					
5	9					

Figuur 9: Risicobeoordelingsmatrix ondermaatse waterkwaliteit

### 3.5 Imagoschade

In de eerste fase van dit project is imago als onafhankelijk criterium benoemd. Het effect van een leidingbreuk wordt in de risicobeoordelingsmatrix uitgedrukt als de omvang van negatieve publiciteit. Hierbij treden twee problemen op. Imago is geen onafhankelijk criterium; het is eerder een resultante van andere faalmechanismen. Daarnaast is publiciteit onvoorspelbaar en vooraf niet te kwantificeren.

Bij het criterium leveringsonderbreking zijn alle klanten op dezelfde wijze vergeleken op basis van de duur van de onderbreking en het aantal getroffen aansluitingen. Voor het imago van een waterbedrijf maakt het veel verschil of een leveringsonderbreking plaatsvindt bij een woonhuis, bij een gevoelige groep gebruikers (bijvoorbeeld een school of een tandarts). Er is overeengekomen om het criterium imagoschade te baseren op de gevolgen van een leveringsonderbreking voor specifieke klanten. Hiermee kan de impact van een onderbreking worden voorspeld die een nauwe relatie heeft met het imago.

De effecten van een leveringsonderbreking op basis van de typering van de klanten kan worden gemaakt met behulp van de volgende hulpmiddelen, waarvan informatie geografisch beschikbaar is:

- De Grondgebruikkaart van het CBS, hierop staan bebouwingstypen zoals woningen en bedrijventerreinen.
- De Risicokaart ([www.risicokaart.nl](http://www.risicokaart.nl)), hierop staan kwetsbare objecten, wat in dit perspectief is te vertalen als gebouwen waarin zich veel mensen kunnen bevinden en gebouwen waar niet-zelfredzame mensen aanwezig zijn (zieken, bejaarden, kinderen).
- De Gouden Gids, waarin geselecteerd kan worden op bijvoorbeeld tandartsen en kappers.

Met behulp van bovenstaande hulpmiddelen kan het effectcriterium imagoschade als volgt worden ingedeeld:

1. Sectie voorziet woningen (bron CBS-kaart, code 20).
2. Sectie voorziet bedrijfsterreinen (bron CBS-kaart, code 24)
3. Sectie voorziet kwetsbare objecten, in het bijzonder industrie, winkels en openbare voorzieningen (bron Risicokaart) of voorziet tandartsen of kappers (bron Gouden Gids).
4. Sectie voorziet kwetsbare objecten, in het bijzonder scholen en verzorgingshuizen (bron Risicokaart).
5. Sectie voorziet kwetsbare objecten, in het bijzonder ziekenhuizen (bron Risicokaart).

In Figuur 10 staat de risicobeoordelingsmatrix Imagoschade op basis van de bovengenoemde indeling.

Effectcriterium Imago		Faalkans				
		Categorie				
Cat.	Uitval levering voor kwetsbare afnemers	1	2	3	4	5
		<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	woningen					
2	bedrijven					
3	Risicokaart, tandartsen en kappers					
4	Risicokaart: scholen en verz.tehuizen					
5	ziekenhuizen					

Figuur 10: Risicobeoordelingsmatrix imagoschade

### 3.6 Directe kosten ten gevolge van leidingbreuk

Het bepalen van het kosteneffect kan door schattingen te maken van de mogelijke kosten als gevolg van een leidingbreuk aan objecten in de directe omgeving van leidingen. Voor het bepalen welke objecten in de directe omgeving van een leiding liggen, kan bijvoorbeeld een berekening worden uitgevoerd voor een erosiekrater volgens de NEN 3651. Met name bij leidingen met grotere diameters kunnen deze berekeningen echter resulteren in vrij grote en soms niet-realistische erosiekraters.

Voor het bepalen van kosten wordt de indeling gehanteerd zoals weergegeven in Tabel 3. Deze tabel is een verdere uitwerking van de kostencategorieën zoals voorgesteld in Figuur 7. In deze kostenschatting zijn de kosten voor derden, eventuele schadevergoedingen en de eigen kosten voor het waterbedrijf meegenomen. De indirecte kosten, zoals imagoschade en gedeerde inkomsten voor bedrijven worden niet beschouwd.

Tabel 3: Effectcategorieën voor te verwachten directe kosten (voor waterbedrijf en voor derden) van een leidingbreuk, gebaseerd op een globale inschatting.

Eff. Cat.	Directe kosten	Bestaande omschrijving
1	< € 5.000	onbebouwde omgeving trottoir groenstrook
2	€ 5.000 - € 10.000	eenvoudige weg, fietspad sierbestrating, beperkte schade woningen
3	€ 10.000 - € 25.000	verkeersader, beperkte schade woningen, funderingen op staal
4	€ 25.000 - € 100.00	verkeersader, aanzienlijke schade spoorweg of snelweg
5	> € 100.000	bijzondere bebouwing monumenten dijken op talud gelegen wegen en spoorwegen

### 3.7 Veiligheid ten gevolge van leidingbreuk

Het effect van het criterium veiligheid wordt uitgedrukt in de mate van letsel die op kan treden. In Tabel 4 is een omschrijving gegeven van mogelijke voorbeelden bij voorgestelde effectcategorieën. Opgemerkt wordt dat het vrijwel onmogelijk is een directe relatie te leggen tussen omgevingsfactoren en de mate van effect. Negatieve effecten met betrekking tot veiligheid zijn meestal een opeenstapeling van meerdere gebeurtenissen die binnen het perspectief van deze case-study moeilijk vooraf zijn te

Tabel 4: Uitwerking van effectcategorieën voor veiligheid

Eff. Cat.	Letsel	Omschrijving
1	Geen effect op veiligheid	
2	Klein letsel zonder medische behandeling	Woningen binnen 1m met fundering op staal Onder fietspad
3	Klein letsel met medische behandeling of controle	In nabijheid van verkeersader Onder weg
4	Letsel met ziekenhuisopname tot gevolg	Onder verkeersader
5	Letsel met dood of handicap tot gevolg	Spoor, snelweg, dijk

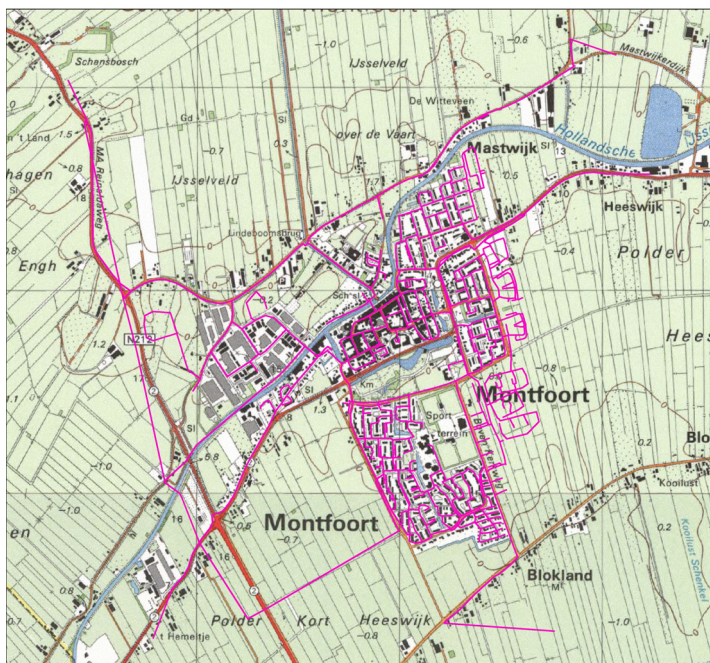
kwantificeren.

De uitwerking van de effectcategorieën voor veiligheid komt deels overeen met die van de effectcategorieën Directe kosten. Voorgesteld wordt beide effectcategorieën samen te voegen tot de categorie Kosten/Veiligheid. Hierbij wordt opgemerkt dat dit niet wil zeggen dat binnen deze case-study veiligheid onbelangrijk wordt gevonden, zij blijkt in de praktijk echter moeilijk vooraf te kwantificeren. In hoofdstuk 6 worden methoden voorgesteld voor het consolideren van de verschillende risico's. Waterbedrijven kunnen daarbij bijvoorbeeld een hogere waardering geven aan het criterium Kosten/Veiligheid.



## 4 Beschrijving case-study

Toepassing van risicobeoordelingsmatrices op distributienetten vindt plaats met een bestaand leidingnet en beschikbare geografische informatie. Voor dit project is gebruik gemaakt van leidinggegevens van Montfoort die in 2005 door het voormalige Hydron Midden-Nederland beschikbaar zijn gesteld voor het evalueren van de afsluiter tool CAVLAR®. Voor een plattegrond van Montfoort en het leidingnet, zie Figuur 11. In Tabel 5 en Figuur 12 wordt een overzicht gegeven van de leidingmaterialen en de diameterverdeling van het leidingnet in Montfoort.



Figuur 11: Plattegrond van Montfoort met het leidingnet

De ondergrond in Montfoort bestaat voornamelijk uit rivierklei. De zettingklasse volgens de indeling van Bodemzettingskaart van TNO is voornamelijk 'laag' en in een klein gebied 'matig'. Een lage en een matige zetting betekent een potentiële eindzetting van respectievelijk 0 - 0,50 m en 0,50 - 1,10 m bij een belasting van 50 kN/m<sup>2</sup>. De woonwijken die vallen in de zettingklasse matig zijn recente uitbreidingwijken waarvan mag worden aangenomen dat grondverbetering heeft plaatsgevonden. Gezien de beperkte omvang van leidingen in de zettingklasse matig en de verwachting dat de leidingen die in dit gebied liggen door grondverbetering weinig schade door ongelijkmatige zettingen ondervinden, worden dit aspect niet nader beschouwd bij het bepalen van de kans op een leidingbreuk.

Tabel 5: Overzicht van het leidingnet in Montfoort naar leidingmateriaal en diameter

diam.	AC	GGIJ	PE	PVC	Bonna	som	
0 - 49	0	0	1989	13	0	2002	4%
50 - 74	0	0	1522	4056	0	5578	12%
75 - 99	593	3971	84	422	0	5069	11%
100 - 124	4848	515	547	11926	0	17835	38%
125 - 149	1990	1114		151	0	3256	7%
150 - 199	510	124	401	5518	0	6553	14%
200 - 299	17		136	1039	0	1191	3%
>=300	1574		288	1786	1870	5519	12%
som	9533	5724	4966	24911	1870	47003	
	20%	12%	11%	53%	4%		

## Leidingnet Montfoort

Afsluiters	Leidingmateriaal
Diameters	— PVC/PE
— diam < 100 mm	— AC
— diam 100 - 199 mm	— Staal
— diam 200 - 300 mm	— Bonna
— diam > 300 mm	— G.Gietijzer



Figuur 12: Leidingnet Montfoort

Uit een overzicht van Vitens blijkt dat in de regio Montfoort 81 storingen zijn opgetreden in de periode 18-2-1993 t/m 21-11-2005. Een aantal van deze storingen blijkt bij nadere analyse niet relevant:

- 24 storingen betreffen leidingen buiten het onderzoeksgebied,
- 5 storingen betreffen leidingen die ondertussen zijn vervangen,
- 2 storingen hadden een omschrijving waaruit bleek dat ze waren veroorzaakt door derden
- 1 storingen betrof een vervangen brandkraan.

Gegeven de leidinglengte in het onderzoeksgebied in Montfoort van 47 km, bedraagt de storingsfrequentie voor de resterende 49 storingen 0,10 st/km/jaar.

Het leidingnet in het onderzoeksgebied dat bestaat uit de kern van Montfoort heeft 3424 aansluitingen, waarvan er 3406 kleinverbruikers zijn ( $Q_n \leq 7 \text{ m}^3/\text{h}$ ). In het leidingnetmodel dat door Vitens ter beschikking is gesteld, zijn 3203 dienstkransen opgenomen. Het totaal jaarverbruik in 2005 bedroeg  $545.421 \text{ m}^3$  of gemiddeld  $159 \text{ m}^3$  per aansluiting per jaar. Er is één opvallende grootverbruiker met een jaarverbruik van circa  $27.000 \text{ m}^3$ .

Het leidingnet heeft 391 afsluiters en is onderverdeeld in 297 afsluitersecties.



# 5 Risicoanalyse

## 5.1 Inleiding

Voor een toetsing van een mogelijke implementatie van de risicobeoordelingsmatrices vinden analyses plaats van de kans op een leidingbreuk en de mogelijke effecten. Deze analyse vindt plaats voor het leidingnet in Montfoort. Van dit net is een gedetailleerd hydraulisch model beschikbaar. In dit model is een knooppunt gedefinieerd op elke verbruiksaansluiting, afsluiter, brandkraan en materiaalovergang en diameterovergang. Het hydraulisch model bestaat uit 4848 leidingen. Hydraulische berekeningen zijn uitgevoerd met ALEID® en InfoWorks®. Het de resultaten van het ALEID® model heeft tevens gediend als input voor CAVLAR®.

Voor het kwantificeren van het effect van een leidingbreuk zullen omgevingsfactoren geïnterpreteerd worden met behulp van Geografische Informatie Systemen (GIS). Hierbij is gebruik gemaakt van ArcGIS®.

De risicoanalyse kan plaatsvinden op het niveau van afsluitersecties, leidingen of straten. Er is in deze case gekozen voor een analyseniveau op afsluitersecties. Dit betreffen eenheden die in geval van reparatie in zijn geheel geïsoleerd worden en daarom het meest aansluiten bij de beheerpraktijk van een waterbedrijf.

## 5.2 Analyse kans op een leidingbreuk

De kans op een leidingbreuk in Montfoort kan op twee wijzen bepaald worden:

Wijze 1: door de gemiddelde storingsfrequentie van Montfoort te berekenen en deze te vergelijken met storingsfrequenties van vergelijkbare gebieden,

Wijze 2: door per afsluitersectie het in Montfoort opgetreden aantal storingen te bepalen.

De eerste wijze geeft een globaal beeld voor alle leidingen, met de tweede wordt ook de invloed van lokale omstandigheden meegenomen.

Voor het bepalen van de gemiddelde storingsfrequentie (wijze 1) zijn de volgende storingsgegevens geanalyseerd (zie ook Tabel 6):

- de bebouwde kern van Montfoort over de periode 18-2-1993 tot en met 21-11-2005,
- de gemeenten Utrecht en Zeist over de periode 1999 – 2003,
- de Regio Zuid bij Vitens Midden Nederland (waartoe ook Montfoort behoort over het jaar 2001).

In de storingenanalyse is alleen een onderscheid te maken van het aantal storingen per leidingmateriaal. Een onderscheid van de storingsfrequentie naar leeftijd van de leiding is niet mogelijk omdat er in Montfoort geen gegevens zijn over het jaar van aanleg van de leidingen. Ook was het niet mogelijk een verdere onderverdeling te maken van de storingsfrequentie naar de leidingdiameter, omdat dit niet was aangegeven in de storingsgegevens van de gemeenten Utrecht en Zeist en voor regio Zuid en omdat het aantal relevante storingen in Montfoort (48) hiervoor te gering was.

De gegevens van Montfoort beslaan bijna 13 jaar en lijken daarmee het meest representatief voor deze casestudie. De omvang (48 storingen) van de steekproef is echter beperkt, met name voor de leidingmaterialen PVC en PE (respectievelijk 8 en 3 storingen).

Tabel 6: Gemiddelde storingsfrequentie (in storingen per km per jaar) en aantal storingen (n = aantal storingen in die periode) per leidingmateriaal

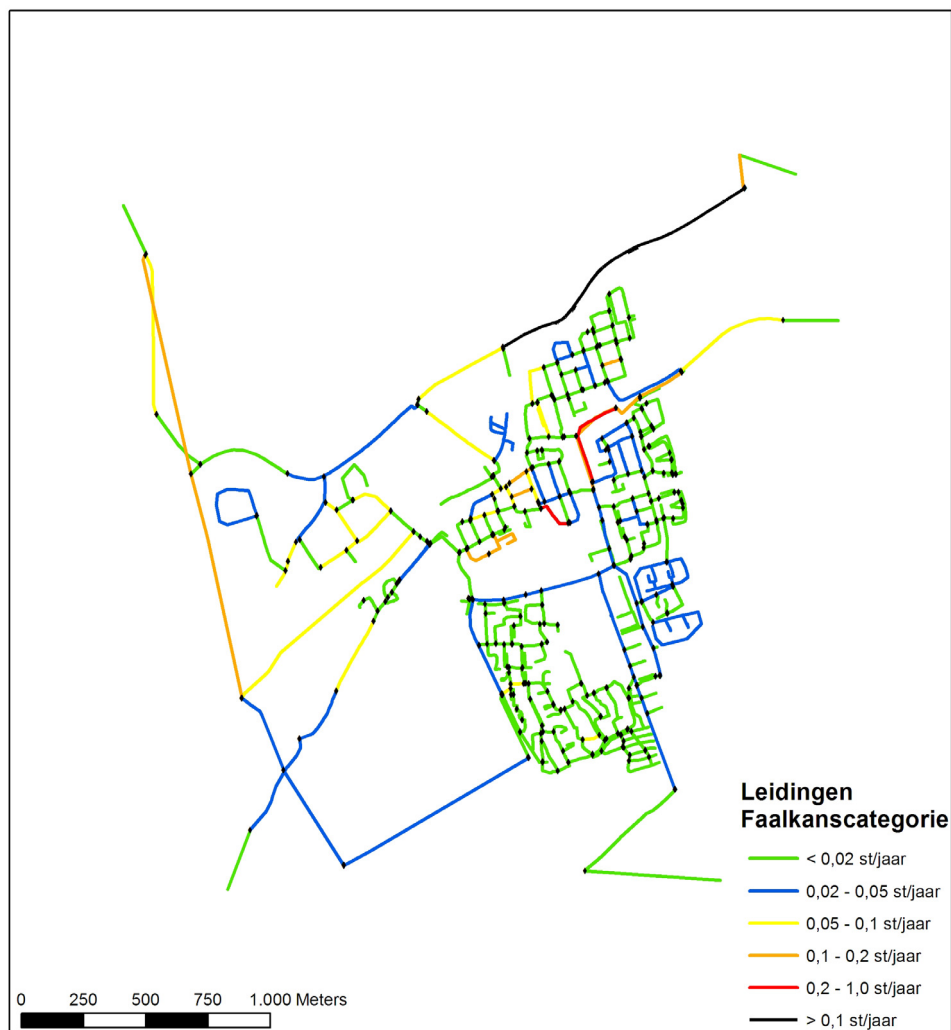
Periode:	Montfoort		Gemeenten Utrecht en Zeist		Regio Zuid		Voorgestelde storingsfreq.
	12,8 jaar		5 jaar		1 jaar		
	SF	n	SF	n	SF	n	
AC	0,099	12	0,115	191	0,065	47	0,10
GGIJ	0,342	25	0,151	254	0,083	24	0,15
PVC	0,025	8	0,053	139	0,049	63	0,05
PE	0,047	3	0,011	8	0,024	7	0,03
Gemiddeld	0,100	48	0,095	295	0,054	249	

Voor de vier leidingmaterialen wordt in deze case-study de volgende gemiddelde storingsfrequentie voorgesteld:

- AC: de storingsfrequentie in Montfoort is lager dan die in Utrecht/Zeist en hoger dan die in Regio Zuid. De hogere waarde in Utrecht/Zuid wordt deels veroorzaakt door een relatief groot aantal storingen in leidingen uit de vijftiger jaren. De lage waarde voor de Regio Zuid wordt waarschijnlijk bepaald doordat deze regio zich uitstrekt tot de Utrechtse Heuvelrug waar de ondergrond bestaat uit zand. Leidingen van AC hebben in een zandgrond over het algemeen een lagere storingsfrequentie. Aangezien in Montfoort relatief weinig AC-leidingen zijn aangelegd in de jaren vijftig en het zich bevindt in het Westelijk Veenweidegebied lijken de storingsfrequenties van Utrecht/Zeist en de Regio Zuid minder van toepassing. Voorgesteld wordt voor de AC-leidingen een gemiddelde storingsfrequentie aan te houden van 0,10 st/km/jr.
- GGIJ: De storingsfrequentie in Montfoort voor GGIJ-leidingen is aanmerkelijk hoger dan in Utrecht/Zeist en de Regio Zuid. De hoge storingsfrequentie in Montfoort wordt voor een groot deel bepaald door één straat (Mastwijkerdijk) waarin 10 van de 25 storingen optreden (deze leiding is nog niet vervangen). Voorgesteld wordt voor de GGIJ-leidingen een gemiddelde storingsfrequentie aan te houden van 0,15 st/km/jr.
- PVC: De gemiddelde storingsfrequentie voor PVC in Montfoort is aanmerkelijk lager dan in Utrecht/Zeist en de Regio Zuid. Gezien de geringe omvang van het aantal storingen in Montfoort wordt voorgesteld een gemiddelde storingsfrequentie aan te houden die overeenkomt met Utrecht/Zeist en de Regio Zuid, te weten 0,05 st/km/jr.
- PE: De gemiddelde storingsfrequentie in Montfoort is aanzienlijk hoger dan in de andere gebieden, dit wordt echter bepaald door slechts 3 storingen. Voorgesteld wordt voor de PE-leidingen een gemiddelde storingsfrequentie aan te houden van 0,03 st/km/jr.

Bij de risicoanalyses worden stalen leidingen (<1%) ingedeeld bij de gietijzeren leidingen en de Bonna leidingen (4%) bij de asbestcement leidingen.

Op basis van de storingsfrequenties zoals voorgesteld in Tabel 6 en de lengte van de sectie, is de storingsfrequentie per afsluitersectie berekend, uitgedrukt in storingen per sectie per jaar (wijze 1). Vervolgens is per leidingsectie het aantal storingen per jaar bepaald op basis van de in Montfoort opgetreden storingen (wijze 2). Per leidingsectie wordt de methode met de hoogste storingsfrequentie als maatgevend beschouwd. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 13.



Figuur 13: Berekende storingsfrequentie per afsluitersectie, op basis van gemiddelde storingskans en geregistreerde storingen in Montfoort.

In Tabel 7 is de storingsfrequentie per afsluitersectie omgezet naar de kanscategorieën zoals gehanteerd in de risicomatrices. Hierbij valt op dat het overgrote deel van de afsluitersecties valt in de categorie met de laagste faalkans. De indeling van de afsluitersecties in faalkanscategorieën is weergegeven in Figuur 14.

Tabel 7: Aantallen afsluitersecties per faalkanscategorieën

Faalkanscategorieën	n/jaar	Wijze 1	Maatgevend voor wijze 1 en 2
< 1 incident per 5 jaar	<0,2	297	294
van 1 incident per 5 jaar tot 1 incident per 2 jaar	0,2 - 0,5	0	2
van 1 incident per 2 jaar tot 1 incident per jaar	0,5 - 1	0	0
van 1 incident per jaar tot 2 incident per jaar)	1 -- 2	0	1
> 2 incident per jaar	>2	0	0
som		297	297



Figuur 14: Faalkanscategorieën voor een leidingbreuk in het leidingnet van Montfoort

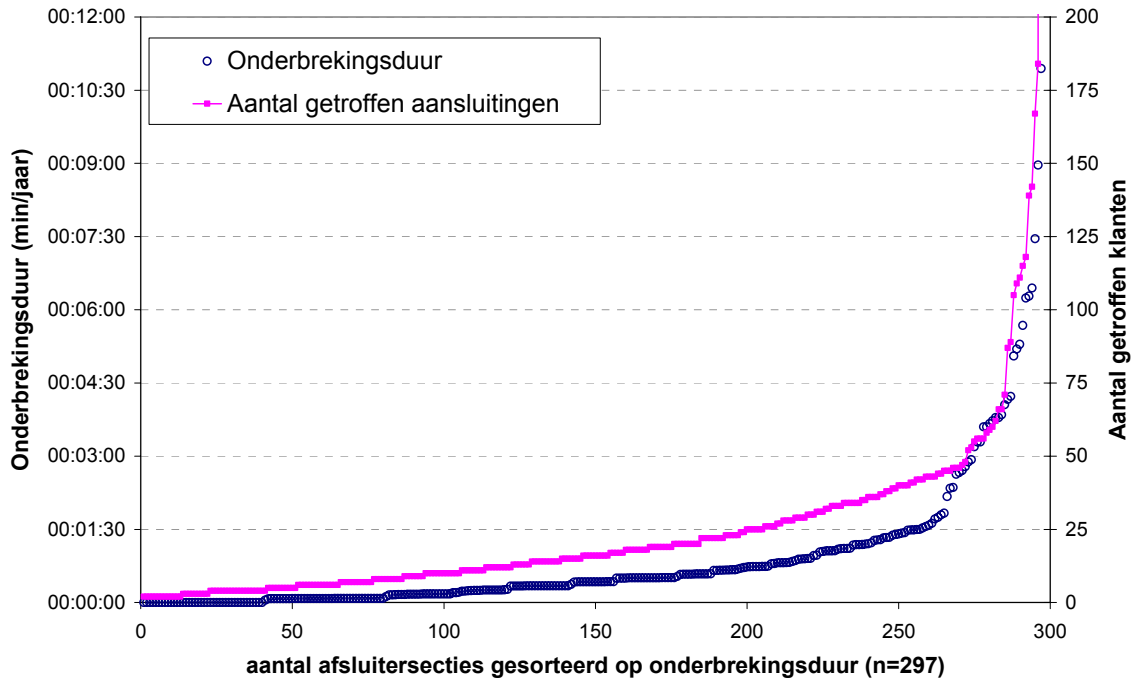
### 5.3 Effect 1: Leveringsonderbreking

De duur en het aantal getroffen aansluitingen van een leveringsonderbreking wordt bepaald met de door Kiwa WR ontwikkelde tool CAVLAR. Voor CAVLAR zijn de volgende invoerparameters gehanteerd:

- aantal aansluitingen per sectie: afkomstig uit ALEID, hiervoor wordt het aantal dienstkranen aangehouden, aangezien alleen deze in het model zijn weergegeven.
- sectielengte: afkomstig uit ALEID
- storingsfrequentie: afkomstig uit storingsgegevens (zie paragraaf 5.2)
- Afsluiterbetrouwbaarheid: gesteld op 90%
- Tijdsduur leveringsonderbreking afhankelijk van het aantal afsluiters<sup>1</sup>:
  - 1 afsluiter: 200 minuten
  - 2 afsluiters: 220 minuten
  - voor elke extra afsluiter worden 20 minuten extra gerekend.

<sup>1</sup> Hier gedefinieerd als de periode vanaf het sluiten van de eerste afsluiter, het verwijderen van eventuele wegbedekking, het blootleggen van het lek, het repareren van het lek tot aan het weer openen van de eerste afsluiter.

De resultaten van de berekening met CAVLAR zijn weergegeven in Figuur 15. Uit deze resultaten blijkt dat de duur van mogelijke onderbrekingen zeer beperkt is. De hoogste onderbrekingsduur van een afsluitersectie bedraagt 11 minuten per jaar. Slechts 10 van de 297 afsluitersecties hebben een gemiddelde onderbrekingsduur van meer dan 5 minuten per jaar. Dit betekent dat voor de onderbrekingsduur alle afsluitersecties in Montfoort vallen in de eerste effectcategorie.

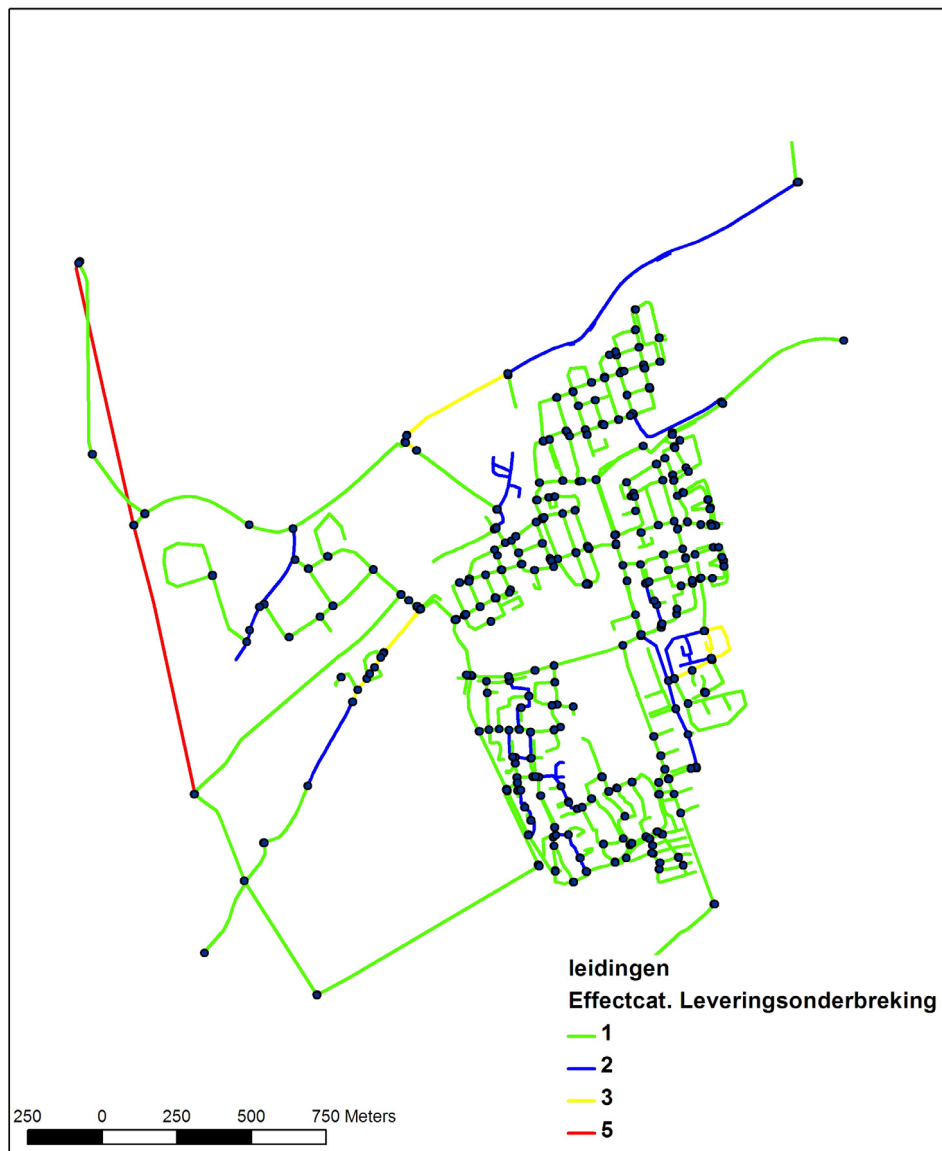


Figuur 15: Effect van leveringsonderbreking, uitgedrukt in minuten onderbrekingsduur en aantal getroffen aansluitingen.

Ook het aantal afgesloten aansluitingen als gevolg van een leveringsonderbreking is in Figuur 15 uitgezet. De afsluitersectie met het hoogst aantal getroffen aansluitingen (4750) is de voeding naar Montfoort. In werkelijkheid wordt Montfoort vanuit meerdere zijden gevoed, wat in het hydraulisch model niet is meegenomen. Van de overige 296 afsluitersecties vallen er:

- 272 in de eerste effectcategorie (minder dan 50 getroffen aansluitingen),
- 15 in de tweede effectcategorie (van 50 tot 200 getroffen aansluitingen),
- 9 in de derde effectcategorie (van 100 tot 200 getroffen aansluitingen).

In Figuur 16 wordt een geografisch overzicht gegeven van de effectcategorieën per afsluitersectie.



*Figuur 16: Geografisch overzicht van de effectcategorie leveringsonderbreking per afsluitersectie, berekend met behulp van CAVLAR.*

Op basis van de indeling in kanscategorieën (bepaald in paragraaf 5.2) en effectcategorieën kunnen de leidingsecties worden ingedeeld in een risicomatrix. In Figuur 17 is de risicomatrix weergegeven voor de afsluitersecties in Montfoort. Uit deze analyse blijkt dat twee secties zich bevinden in het kritische rode deel en dat 270 van de 297 secties (91%) zich bevinden in de cel met het minste risico.

Effectcriterium			Faalkans				
Leveringsonderbreking			Categorie				
Cat.	onderbrekingsduur	aantal getroffen klanten	1	2	3	4	5
	OF	OF	<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	van 0 tot 2 uur	tot 50	270	2	0	0	0
2	van 2 tot 4 uur	van 50 tot 100	14	0	0	1	0
3	van 4 tot 8 uur	van 100 tot 1000	9	0	0	0	0
4	van 8 tot 24 uur	van 1000 tot 2000	0	0	0	0	0
5	24 uur of meer	2000 of meer	1	0	0	0	0

Figuur 17: Verdeling van afsluitersecties Montfoort binnen risicomatrix voor het effectcriterium Leveringsonderbreking. (\*voedende afsluitersectie, buiten beschouwing gelaten)

Met behulp van CAVLAR is de OLM van het pilotgebied berekend en deze bedraagt 00:00:05 (5 seconden). In Tabel 8 is een overzicht gegeven van de individuele OLM per afsluitersectie.

Tabel 8: Overzicht van OLM per afsluitersectie

OLM per afsluitersectie	Aantal secties
< 5 sec	226
5 sec - 10 sec	25
10 sec - 20 sec	25
20 sec - 1 min	18
1 min - 2 min	2
> 2min	1

#### 5.4 Effect 2: Ondermaatse druk

Er is voor Montfoort geen evaluatie van het dichtgroeien van leidingen door corrosie uitgevoerd, omdat er geen gegevens beschikbaar waren van de leeftijd van leidingen of metingen van de diameterreductie.

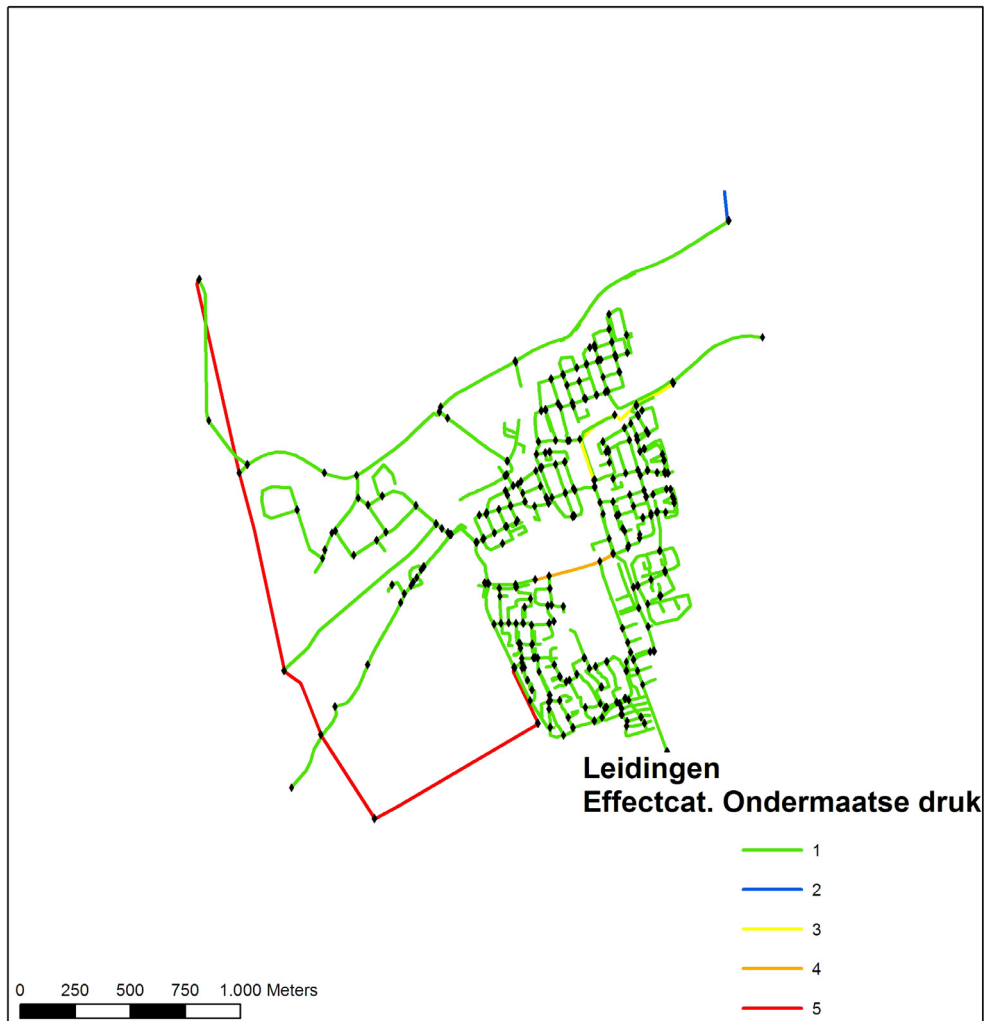
Het effect van een drukverlaging door optreden van een leidingbreuk is gesimuleerd met de 'critical link analysis' van het leidingnetberekenningsprogramma InfoWorks®. Voor elke afsluitersectie is de leiding geselecteerd met de grootste lengte. In deze leiding is een lek gesimuleerd, waarna het aantal aansluitingen wordt berekend waar de druk lager is dan 200 kPa. Bij deze berekening is uitgegaan van een berekening op het maximum uur van een gemiddelde dag. In Tabel 9 is een overzicht gegeven van het aantal getroffen aansluitingen. Hieruit blijkt dat bij een lek in 34 secties de druk op het maximum uur in omliggende aansluitingen lager is dan 200kPa. Op basis van de criteria zoals opgegeven in Figuur 3 (pagina 9) worden de afsluiters ingedeeld in effectcategorieën. In Figuur 3 zijn de criteria voor aantal getroffen aansluitingen en geleverde druk opgegeven. Omdat bij deze analyse alleen het aantal getroffen aansluitingen wordt bepaald en niet de berekende druk, kan alleen dit eerste criteria worden geëvalueerd. In Figuur 18 is een geografisch overzicht gegeven van de effectcategorieën per afsluitersectie.



Tabel 9: Overzicht aantal aansluitingen met een druk lager dan 200 kPa

Diameterrange voor leiding met grootste lengte	Totaal aantal secties	Leidingen waarbij druk op aansluitingen < 200 kPa	Aantallen getroffen aansluitingen
≤ 75 mm	72	0	-
< 76 – 150 mm	173	24	13 * 1 tot 10 aansluitingen 8 * 11 tot 25 aansluitingen 2 * 26 tot 50 aansluitingen 1 * 51 tot 75 aansluitingen
151 – 250 mm	40	1	2920
251 – 350 mm	10	7	656, 1601, 2920, 4*2922
> 350 mm	2	2	3078, 3149
Som	297	34	

Op basis van de indeling in kanscategorieën en effectcategorieën kunnen de leidingsecties worden ingedeeld in een risicomatrix. In Figuur 19 is de risicomatrix weergegeven voor de afsluitersecties in Montfoort. Uit deze analyse blijkt dat 8 van de 297 zich bevinden in het kritische rode deel.



Figuur 18: Geografisch overzicht van de effectcategorie Ondermaatse druk per afsluitersectie.

Effectcriterium		Faalkans				
Ondermaatse Druk		Categorie				
Cat.	Aantal getroffen aansluitingen	1	2	3	4	5
		<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	tot 50	283	2	0	1	0
2	van 50 tot 100	1	0	0	0	0
3	van 100 tot 1000	1	0	0	0	0
4	van 1000 tot 2000	1	0	0	0	0
5	2000 of meer	8	0	0	0	0

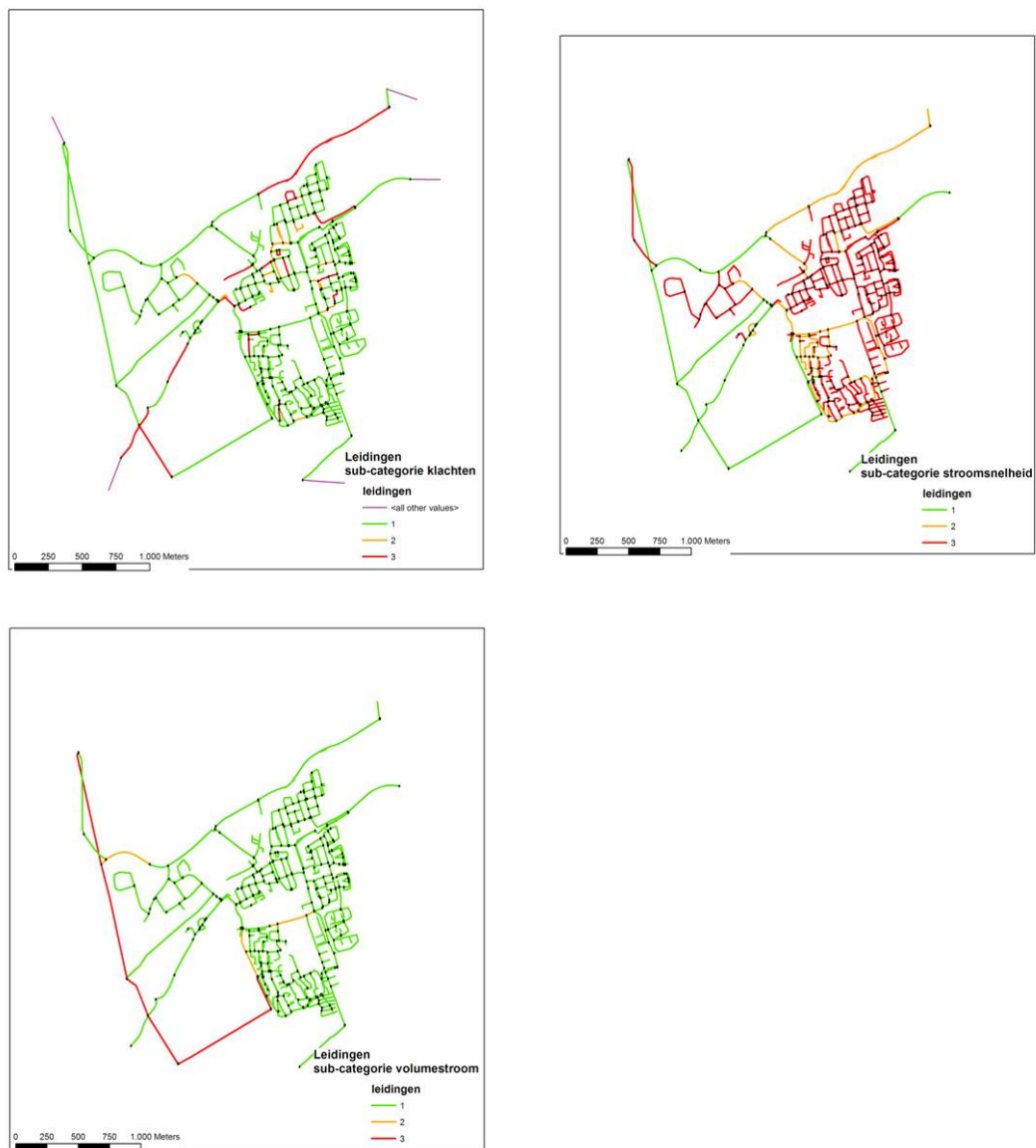
Figuur 19: Verdeling van afsluitersecties Montfoort binnen de risicomatrix voor het effectcriterium Ondermaatse druk.

### 5.5 Effect 3: Ondermaatse waterkwaliteit

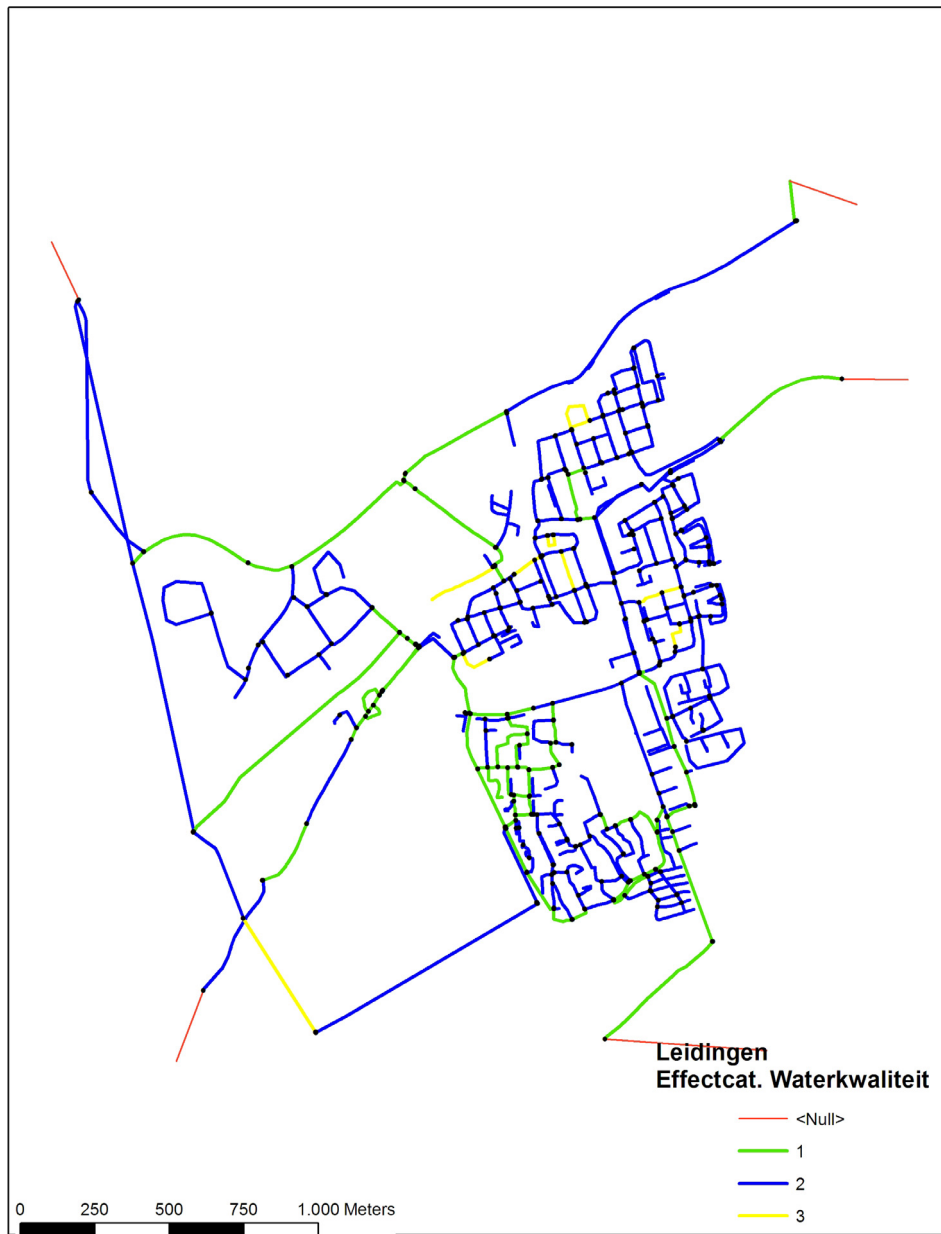
De bepaling van het effect van een leidingbreuk op de waterkwaliteit wordt uitgevoerd volgens de methode beschreven in paragraaf 3.4. De indeling in subcategorieën van de componenten waterkwaliteitsklachten, stroomsnelheid en volumestroom heeft op de onderstaande wijze plaatsgevonden (voor criteria, zie Tabel 2):

- De klachtenanalyse heeft plaatsgevonden met behulp van de geregistreerde klachten in de periode 1993 tot medio 2005. In deze periode zijn 351 klachten geanalyseerd die een relatie hebben met de waterkwaliteit. Dit komt overeen met 0,60 klachten per km per jaar of 8,3 klachten per 1000 aansluitingen per jaar. De klachten in Montfoort zijn geregistreerd op adres, met behulp van deze adressen zijn klachten handmatig toegewezen aan leidingen en vervolgens aan afsluitersecties. Per afsluitersectie is het aantal klachten per 1000 aansluitingen per jaar berekend. Bij het toewijzen van klachten aan leidingen treedt een fout op wanneer oude klachten worden toegewezen aan leidingen die ondertussen vervangen zijn. Daarvoor is bij deze analyse geen rekening gehouden.
- Met behulp van het leidingnetberekenningsprogramma ALEID zijn de minimum stroomsnelheid en de maximum stroomsnelheid bepaald voor een gemiddelde dag. Per sectie zijn gemiddelde waarden bepaald van de minimum en maximum snelheid.
- Met behulp van het leidingnetberekenningsprogramma ALEID is per sectie de leiding met de grootste volumestroom bepaald voor een gemiddelde dag.

In Figuur 20 zijn de effecten van een leidingbreuk weergegeven voor de componenten waterkwaliteitsklachten, stroomsnelheid en volumestroom. Per afsluitersectie wordt volgens de in Tabel 2 aangegeven wijze de effecten van de drie componenten toegekend aan de effectscore waterkwaliteit. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 21.



Figuur 20: Componenten voor bepaling effecten op waterkwaliteit ten gevolge van een leidingbreuk



Figuur 21: Geografisch overzicht effectcategorie ondermaatse waterkwaliteit

Op basis van de indeling in kanscategorieën en effectcategorieën kunnen de leidingsecties worden ingedeeld in een risicomatrix. In Figuur 22 is de risicomatrix weergegeven voor de afsluitersecties in Montfoort. Uit deze analyse blijkt dat 1 van de 297 zich bevindt in het kritische rode deel.

Effectcriterium		Faalkans				
		Categorie				
Cat.	Score	1	2	3	4	5
		<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	3 of 4	62	0	0	0	0
2	5 of 6	222	2	0	1	0
3	7	9	0	0	0	0
4	8	0	0	0	0	0
5	9	0	0	0	0	0

Figuur 22: Verdeling van afsluitersecties Montfoort binnen de risicomatrix voor het effectcriterium ondermaatse waterkwaliteit.

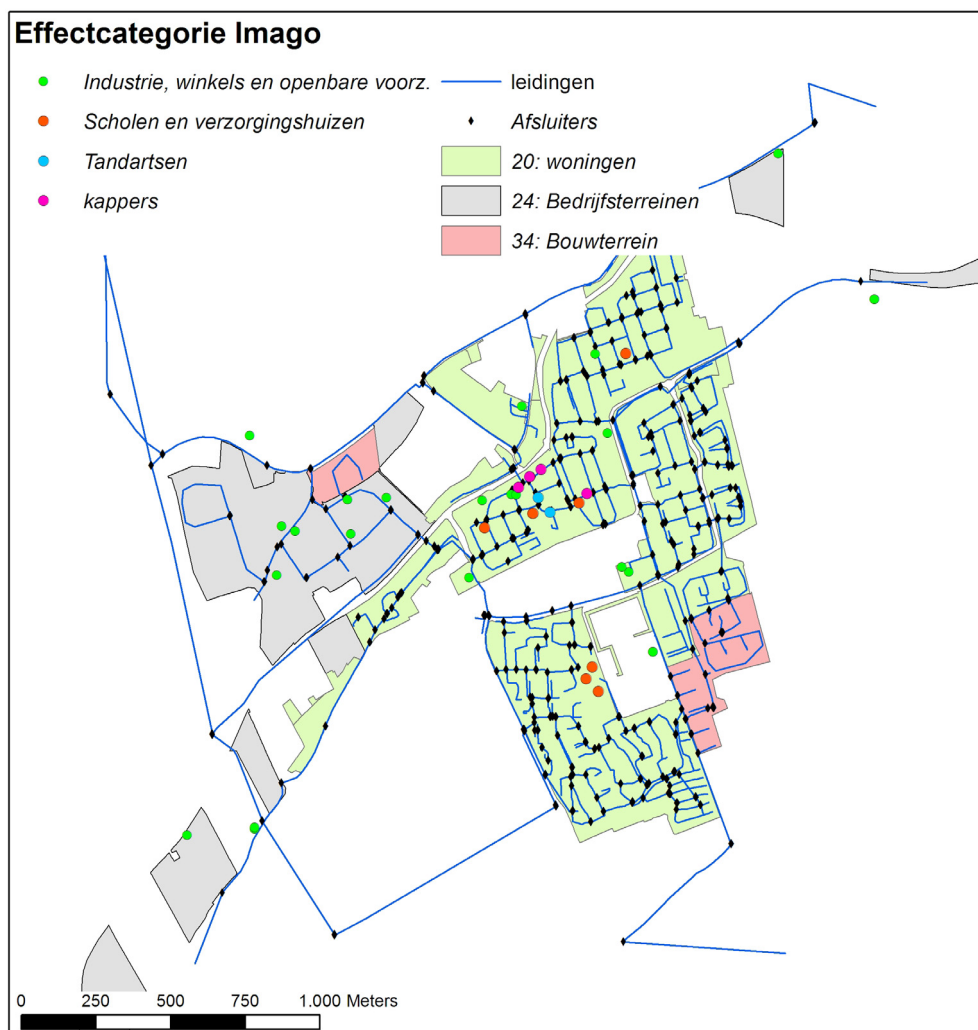
## 5.6 Effect 4: Imagoschade

De bepaling van het effect van een leidingbreuk op het bedrijfsimago wordt uitgevoerd volgens de methode beschreven in paragraaf 3.5. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Grondgebruikkaart van het CBS, de Risicokaart en de Gouden Gids, zie ook Figuur 23.

Met behulp van de Grondgebruikkaart van het CBS (versie 2000) zijn de leidingen geïdentificeerd die woningen of bedrijventerreinen voorzien of waar bouwterreinen staan gepland. Voor de bouwterreinen heeft een handmatige toewijzing plaatsgevonden naar woningen of bedrijventerreinen. Leidingen die woningen voorzien zijn in effectcategorie 1 ingedeeld, leidingen die bedrijventerreinen voorzien zijn in effectcategorie 2 ingedeeld.

Alle locaties die op de Risicokaart in Montfoort vermeld staan als kwetsbare objecten zijn geïdentificeerd. Dit zijn in het algemeen objecten waar veel mensen samen kunnen komen. Leidingen die kwetsbare objecten voorzien die staan vermeld in de Risicokaart hebben minimaal een effectcategorie 3 toegewezen gekregen, dit betreft 30 objecten. Aan kwetsbare objecten waar zich beperkt mobiele groepen ophouden zoals scholen en verzorgingshuizen is de effectcategorie 4 toegekend, dit betreft 8 objecten. Aan ziekenhuizen wordt de effectcategorie 5 toegekend. Er is echter in Montfoort geen ziekenhuis aanwezig.

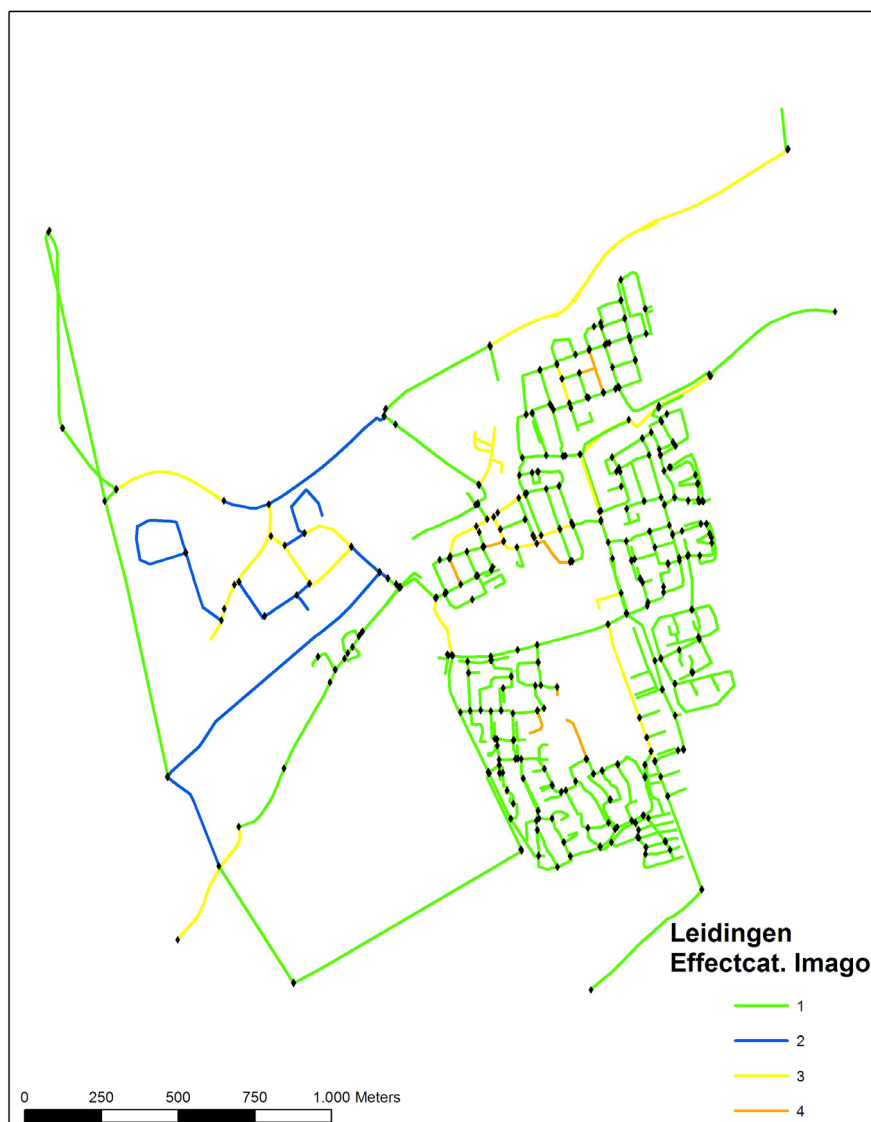
Met behulp van de Gouden Gids zijn in Montfoort kappers en tandartsen geïdentificeerd. Er zijn vier kappers geïdentificeerd en twee tandartspraktijken. De leidingen waarop zij zijn aangesloten, hebben een effectcategorie 3 toegewezen gekregen.



Figuur 23: Geografisch overzicht van imagobepalende aspecten

Voor de toedeling van de effectindeling van leidingen naar afsluitersecties geldt dat de leiding met de hoogste effectcategorie maatgevend is voor de gehele sectie. Voor een indeling van de leidingsecties in effectcategorie, zie Figuur 24.

Op basis van de indeling in kanscategorieën en effectcategorieën kunnen de leidingsecties worden ingedeeld in een risicomatrix. In Figuur 25 is de risicomatrix voor imago weergegeven voor afsluitersecties in Montfoort. Uit deze analyse blijkt dat 2 van de 297 afsluitersecties zich in het kritische rode deel bevinden en dat 259 van de 297 secties (87%) zich bevinden in de cel met het laagste risico.



Figuur 24: Geografisch overzicht effectcategorie imago.

Effectcriterium Imago		Faalkans				
		Categorie				
Cat.	Uitval levering voor kwetsbare afnemers	1	2	3	4	5
		<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	woningen	257	1	0	0	0
2	bedrijven	13	0	0	0	0
3	Risicokaart, tandartsen en kappers	18	0	0	1	0
4	Risicokaart: scholen en verz.tehuizen	6	1	0	0	0
5	ziekenhuizen	0	0	0	0	0

Figuur 25 Verdeling van afsluitersecties Montfoort binnen de risicomatrix voor het effectcriterium Imago

## 5.7 Effect 5: Kosten/Veiligheid

De bepaling van het effect van een leidingbreuk op de kosten en veiligheid wordt uitgevoerd volgens de methode beschreven in paragraaf 3.5. In Tabel 3 is een algemene opzet voorgesteld voor het bepalen van de effectcategorie Kosten/Veiligheid. In Tabel 10 is hiervoor een nadere uitwerking gegeven voor de situatie in Montfoort.

Tabel 10: Effectcategorieën voor te verwachten kosten en veiligheid (voor waterbedrijf en voor derden) van een leidingbreuk, gebaseerd op een globale inschatting.

Eff. Cat.	Kosten	Bestaande omschrijving (voorstel par. 3.6)	Voorgestelde omschrijving voor Montfoort
1	< € 5.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• onbebouwde omgeving,</li> <li>• trottoir</li> <li>• groenstrook</li> </ul>	overig
2	€ 5.000 - € 10.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eenvoudige weg</li> <li>• sierbestrating, beperkte schade</li> <li>• woningen</li> </ul>	verkeersader
3	€ 10.000 - € 25.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verkeersader, beperkte schade</li> <li>• woningen, funderingen op staal</li> </ul>	historische kern, historisch landschapselement
4	€ 25.000 - € 100.00	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verkeersader, aanzienlijke schade</li> <li>• spoorweg of snelweg</li> </ul>	provinciale weg
5	> € 100.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bijzondere bebouwing</li> <li>• monumenten</li> <li>• dijken</li> <li>• op talud gelegen wegen en spoorwegen</li> </ul>	dijk rijksmonument

Met behulp van geografische informatie zijn de locaties bepaald van de in Tabel 10 genoemde objecten. Nadat de objecten voor het toekennen van een effectcategorie zijn geselecteerd, moeten de aangrenzende leidingen worden geselecteerd. Hiervoor is het nodig de invloedszone van leidingen bij een leidingbreuk te bepalen. In de NEN 3651 wordt hiervoor de berekening van een erosiekrater voorgesteld, die met vergelijking 1 en 2 kan worden berekend.

$$R_B = 2 * \sqrt[8]{H^3 * D_i^5} \quad \text{indien geldt: } H^3 * D_i^5 < 40 \quad \text{[Vergelijking 1]}$$

$$R_B = 8 * \sqrt[8]{H^3 * D_i^5} \quad \text{indien geldt: } H^3 * D_i^5 \geq 40 \quad \text{[Vergelijking 2]}$$

waarin:  $R_B$  : de halve breedte van de erosiekrater [m]  
 $H$  : de maximale drukhoogte [mwk]  
 $D_i$  : de inwendige middellijn van de leiding [m]

Met behulp van bovenstaande vergelijkingen is voor een druk van 35 mwk de halve breedte van een erosiekrater berekend voor het distributienet in Montfoort, zie Tabel 11.



Tabel 11: Bepaling halve breedte erosiekrater  $R_B$  (in meters) bij een druk van 350 kPa.

Diameter	$H^3 * D_i^5$	vermenigvuldigingsfactor	$R_B$
100	0,4	2	1,8
150	3,3	2	2,3
200	13,7	2	2,8
250	41,9	8	12,8
300	104,2	8	14,3
400	439,0	8	17,1

Van de wegen en dijken zijn allen de coördinaten van de hartlijn bekend en van de monumenten allen één XY-punt. Aangezien de begrenzingen van de objecten maatgevend zijn en deze niet bekend zijn, is een bepaling met een erosiekrater niet mogelijk. Om deze reden wordt onderstaande bufferzone voorgesteld, die om praktische redenen onafhankelijk is van de leidingdiameter:

Verkeersader:	bufferzone van 7 m tot hart
Provinciale weg:	bufferzone van 10 m tot hart
Dijk:	bufferzone van 10 m tot hart
Rijksmonument:	bufferzone van 20 m tot hart

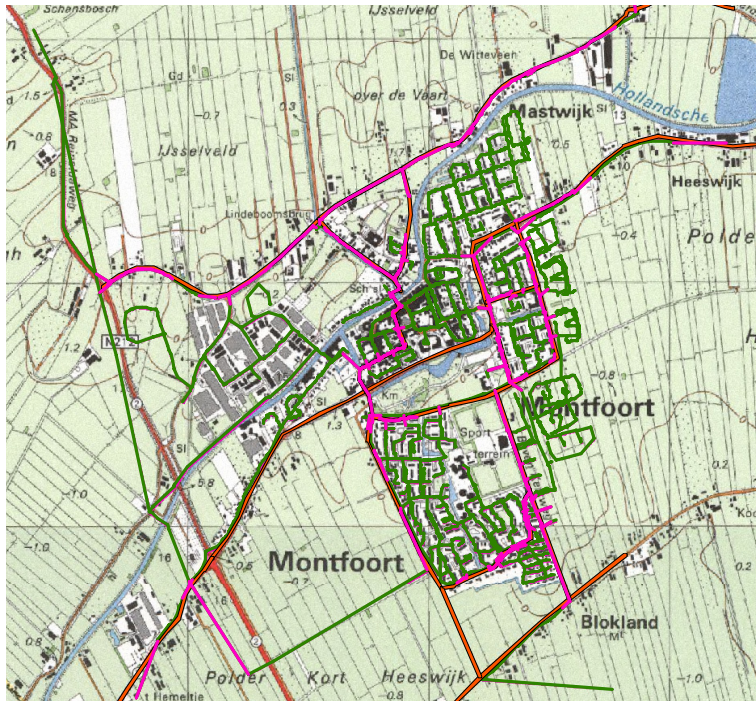
In eerste instantie zijn alle leidingen geplaatst in effectcategorie 1 ('Overig'). Vervolgens worden de elementen die in Tabel 10 zijn opgenomen geïdentificeerd voor de indeling in de effectcategorieën 2 t/m 5.

Voor effectcategorieën 2 zijn in Montfoort alle verkeersaders binnen de bebouwde kom geïdentificeerd, zie Figuur 26. Er waren binnen dit project geen gegevens voorhanden voor het definiëren van verkeersaders, om die reden is hiervan een eigen inschatting gemaakt met behulp van een stratenkaart. Alle afsluitersecties waarvan zich een leiding binnen een afstand van 7 meter van het hart van een verkeersader bevindt, zijn in deze categorie ingedeeld.

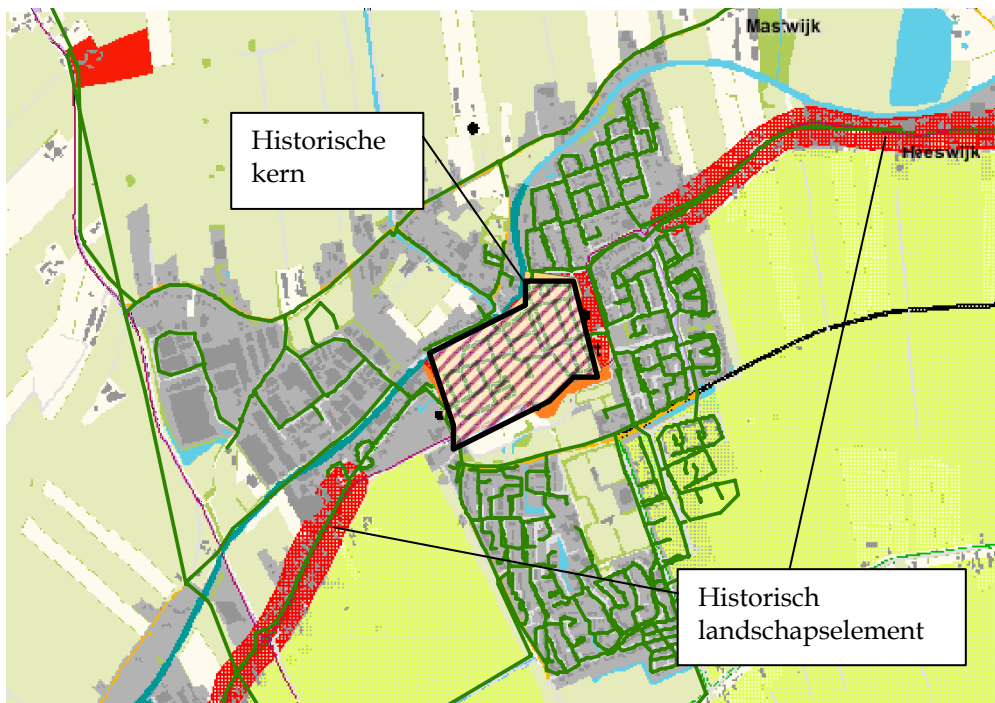
Voor effectcategorie 3 zijn de historische kern van Montfoort en de historische landschapselementen in de directe omgeving van Montfoort geïdentificeerd met behulp van de site van het KICH (KennisInfrastructuur Cultuurhistorie: [www.kich.nl](http://www.kich.nl)), zie Figuur 27. Alle leidingen die zich binnen de historische zones van Montfoort bevinden, worden tot effectcategorie 3 gerekend.

De leidingen die zich binnen een afstand van 10 meter van de provinciale weg N212 bevinden worden ingedeeld in effectcategorie 4, zie Figuur 28.

De leidingen die zich binnen een afstand van 10 m van het hart van een dijk bevinden en leidingen die zich binnen 20 m van het hart van een rijksmonument bevinden worden ingedeeld in effectcategorie 5, zie Figuur 29. De rijksmonumenten zijn geïdentificeerd met behulp van [www.kich.nl](http://www.kich.nl).

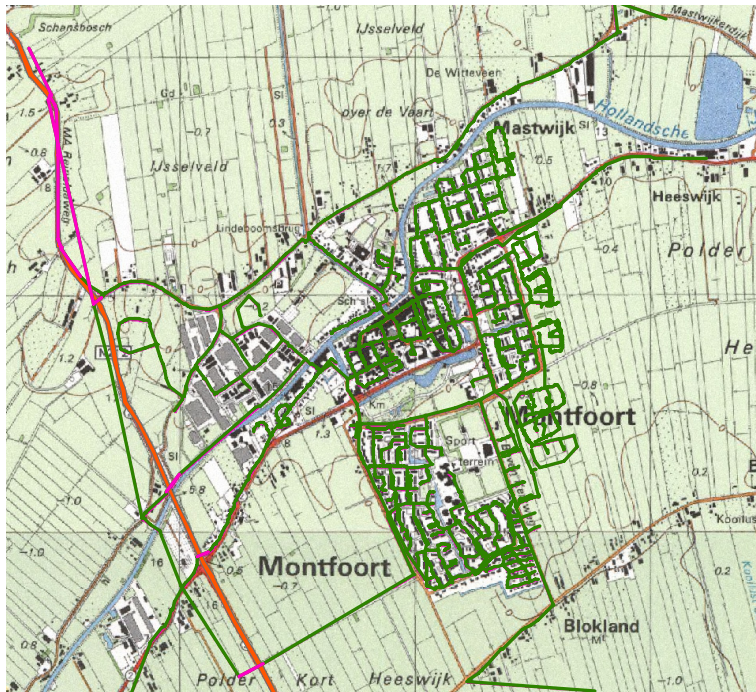


Figuur 26: Overzicht van verkeersaders in bebouwde kom van Montfoort

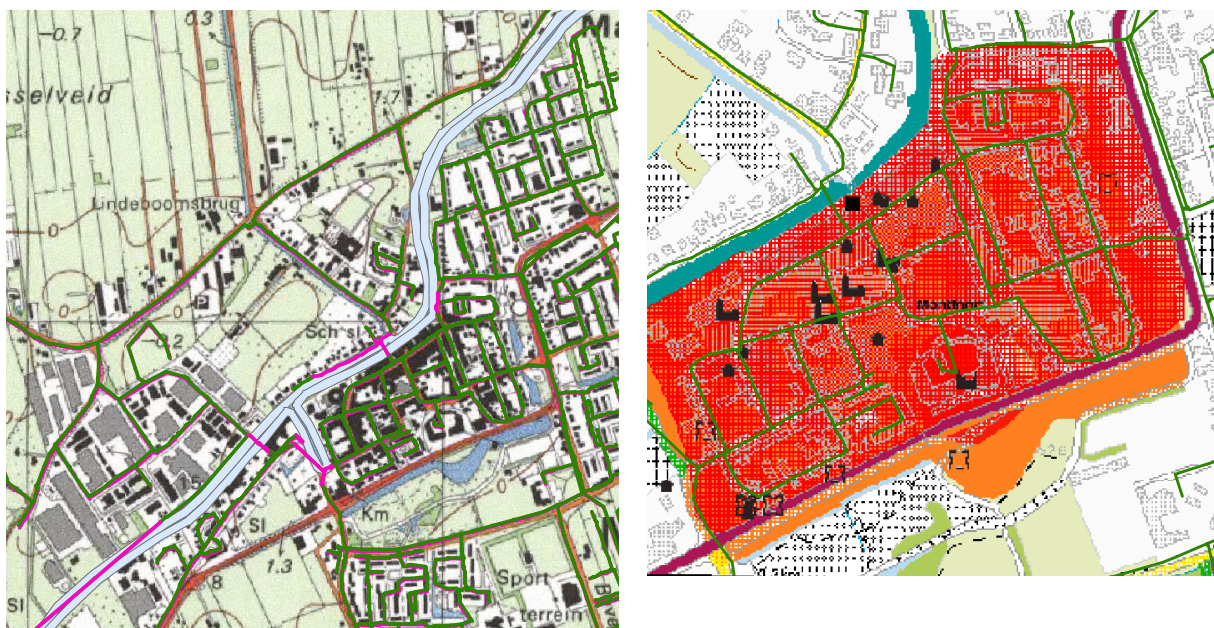


Figuur 27: Ligging van historische kern Montfoort en historische landschapselementen (bron [www.kich.nl](http://www.kich.nl)).



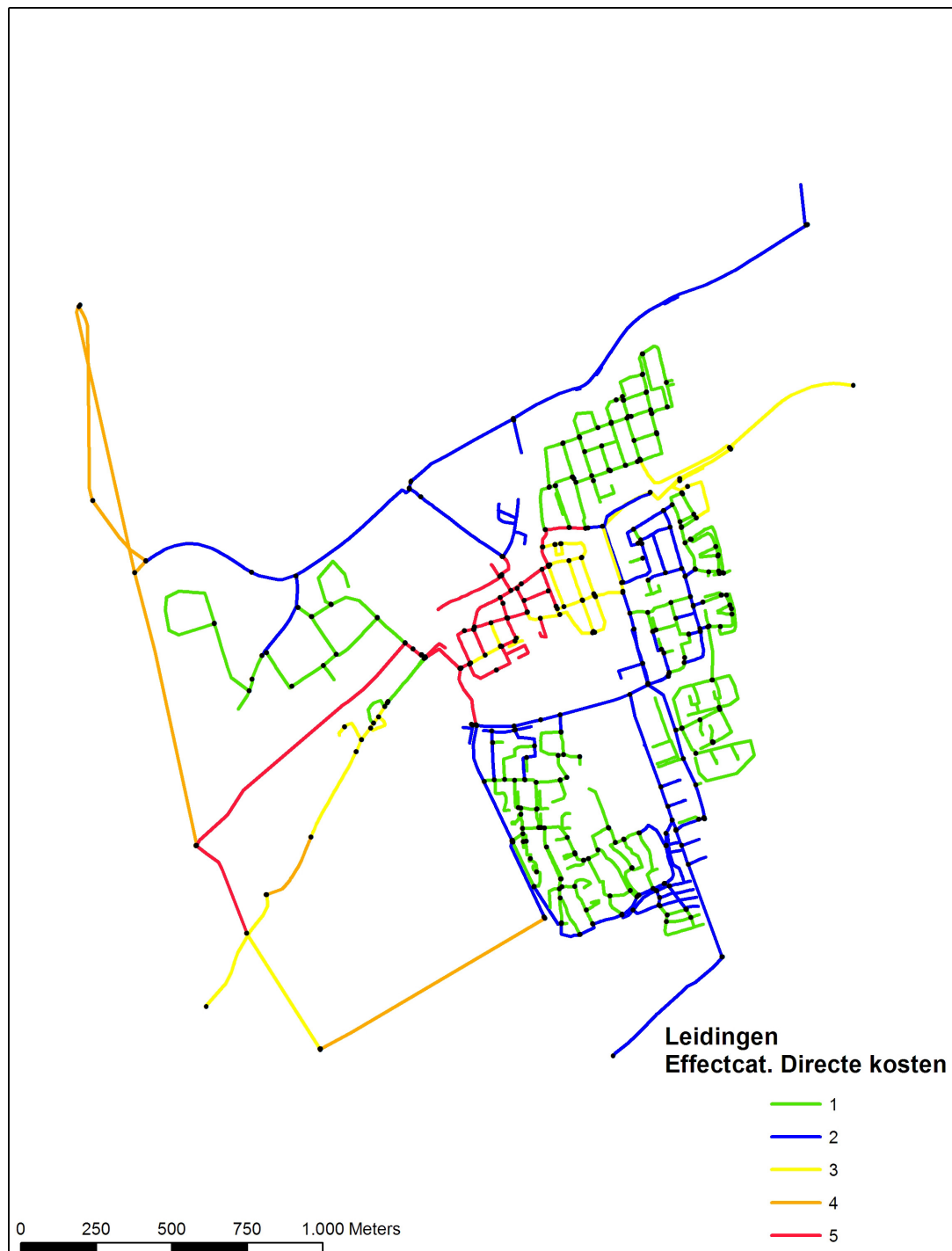


Figuur 28: Ligging van de Provinciale weg N212 nabij Montfoort



Figuur 29: Ligging dijken en rijksmonumenten in Montfoort

Voor de toedeling van de effectindeling van leidingen naar afsluitersecties geldt dat de leiding met de hoogste effectcategorie maatgevend is voor de gehele sectie. Voor een indeling van de leidingsecties in effectcategorieën, zie Figuur 30.



Figuur 30: Geografisch overzicht effectcategorie Kosten/Veiligheid

Op basis van de indeling in kanscategorieën en effectcategorieën kunnen de leidingsecties worden ingedeeld in een risicomatrix. In Figuur 31 is de risicomatrix voor Kosten/Veiligheid weergegeven voor de afsluitersecties in Montfoort. Uit deze analyse blijkt dat 33 van de 297 afsluitersecties zich in het kritische rode deel bevinden. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door 32 leidingsecties die in de laagste kanscategorie vallen en in de hoogste effectcategorie. Hieruit blijkt dat de indertijd voorgestelde indeling in groen (acceptabel) – rood (niet acceptabel) discussie behoeft. Het impliceert namelijk dat elke leidingsectie in de hoogste effectcategorie kritisch is.

Effectcriterium Kosten/Veiligheid		Faalkans				
		Categorie				
Cat.	In nabijheid van	1	2	3	4	5
		<0,2 /jr	0,2 - 0,5 /jr	0,5 - 1,0 /jr	1,0 - 2,0 /jr	>2,0 /jr
1	Overig	161	0	0	0	0
2	Verkeersader	63	1	0	1	0
3	Historische kern	32	1	0	0	0
4	Provinciale weg	6	0	0	0	0
5	Dijk, rijksmonument	32	0	0	0	0

Figuur 31: Verdeling van afsluitersecties Montfoort binnen de risicomatrix voor het effectcriterium Kosten/Veiligheid.

# 6 Risicobeoordeling

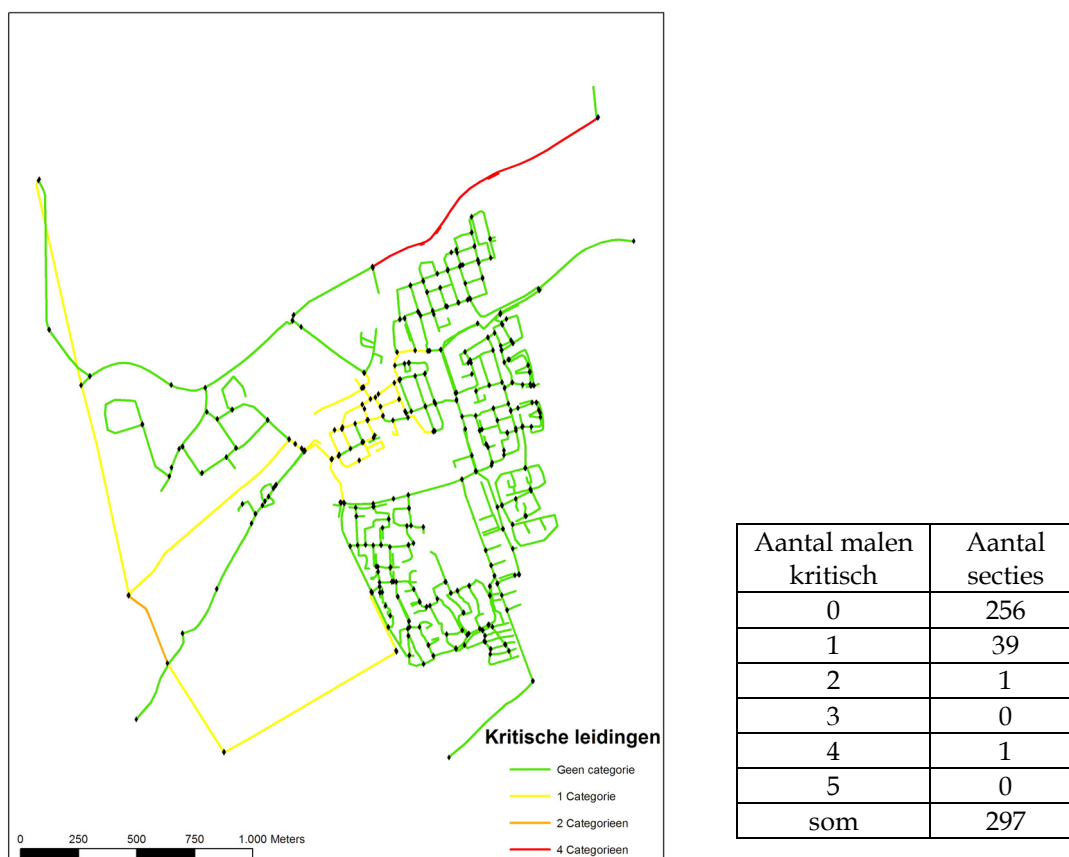
## 6.1 Consolideren van risicobeoordelingsmatrices

In de voorgaande paragrafen zijn vijf risicobeoordelingsmatrices opgesteld voor het leidingnet van Montfoort. De actie die daarop volgt is het samenvoegen van deze matrices, wat resulteert in een lijst met kritische leidingen of in een aantal risicocategorieën.

De wijze van consolideren van risicomatrices is typisch bedrijfsbeleid, aangezien het een afspiegeling is van de wijze waarop het bedrijf nadelige effecten waardeert. Dit geldt ook voor de wijze waarop kritische leidingen worden geïdentificeerd. In onderstaande sub-paragrafen worden een aantal voorbeelden gegeven voor het consolideren van risicobeoordelingsmatrices.

### 6.1.1 Aantal malen kritisch

Per afsluitersectie is nu bekend hoeveel effectcategorieën in het kritische (rode) deel van een matrix valt. In Figuur 32 is aangegeven welke afsluitersecties één of meerdere malen als kritisch zijn beoordeeld. Volgens deze beoordelingsmethode zijn 41 afsluitersecties als kritisch beoordeeld, waarvan 39 voor 1 effectcategorie, 1 voor 2 effectcategorieën en 1 voor 4 effectcategorieën.



Figuur 32: Kritische secties gebaseerd op het aantal maal dat een sectie in de kritische (rode) zone viel.

### 6.1.2 Gemiddeld risico

In de voorgaande paragraaf vindt de risicobeoordeling plaats op basis van de onderverdeling van de individuele beoordelingsmatrices in twee groepen: kritisch (rood) en niet-kritisch (groen). Een andere benadering is om een risicoprofiel te maken dat een gemiddelde is van de vijf individuele risicomatrices. Hiervoor wordt eerst een risicoscore bepaald per individuele risicobeoordelingsmatrix. In Figuur 33 is hiervan een voorbeeld gegeven. De afsluitersecties in de linkerbovenhoek vertegenwoordigen hierbij het

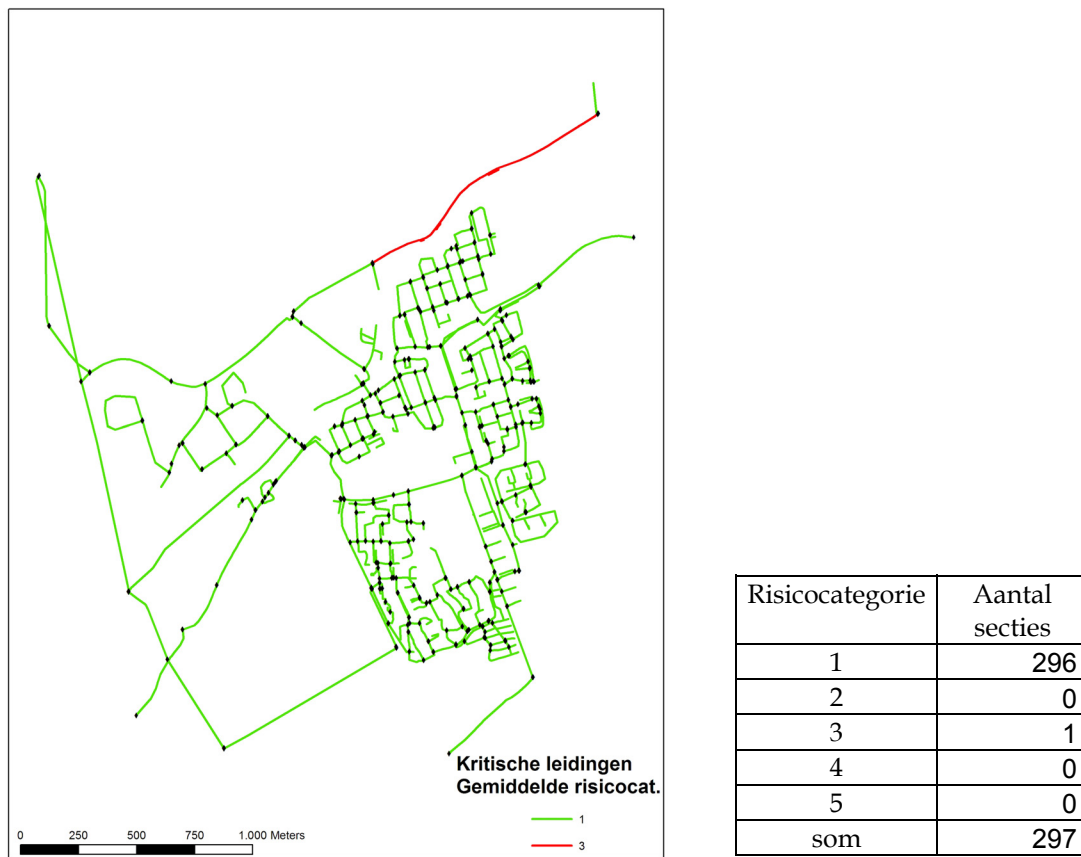


laagste risico (2 punten) en afsluitersecties in de rechter onderhoek het hoogste risico (10 punten). De gezamenlijke risicoscore van de 5 matrices wordt bepaald door de gemiddelde waarde te nemen van de scores van de individuele risicobeoordelingsmatrices. Deze gemiddelde score kan vervolgens worden omgezet in 5 risicocategorieën.

	Kans cat. 1	Kans cat. 2	Kans cat. 3	Kans cat. 4	Kans cat. 5	
Eff. cat. 1	2	3	4	5	6	<4.5 risico categorie 1
Eff. cat. 2	3	4	5	6	7	<5.5 risico categorie 2
Eff. cat. 3	4	5	6	7	8	<6.5 risico categorie 3
Eff. cat. 4	5	6	7	8	9	<7.5 risico categorie 4
Eff. cat. 5	6	7	8	9	10	>7.5 risico categorie 5

Figuur 33: Onderverdeling risicobeoordelingmatrix in vijf risicocategorieën.

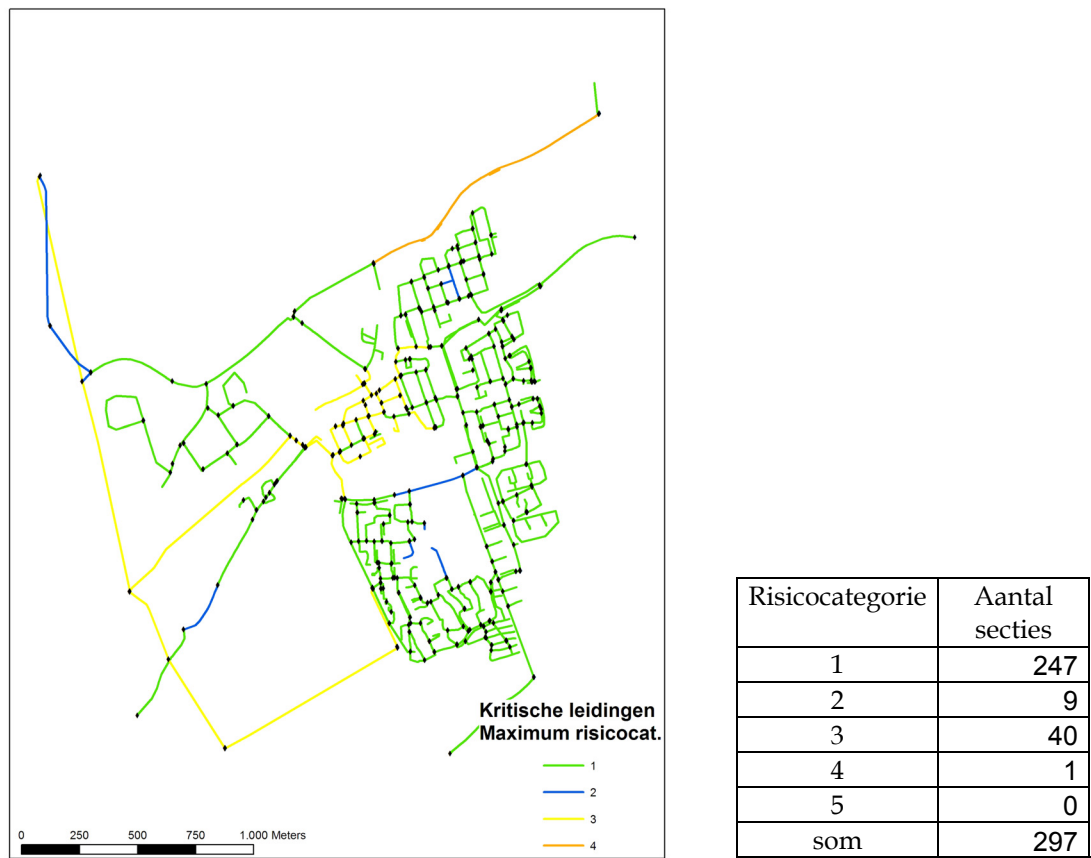
In Figuur 34 is per afsluitersecties de gemiddelde risicoscore aangegeven. Volgens deze beoordelingsmethode vallen 296 afsluitersecties in de laagste risicocategorie en slechts 1 in risicocategorie 3.



Figuur 34: Kritieke leidingen op basis van gemiddelde risicoscore.

### 6.1.3 Maximum risico

De beoordeling van kritieke afsluitersecties kan ook plaatsvinden door niet de gemiddelde score van de verschillende effectcategorieën aan te houden maar de maximum score. Hiermee wordt per afsluitersectie de meest maatgevende effectcategorie geselecteerd. In Figuur 35 is per afsluitersectie de maximum risicoscore aangegeven. Volgens deze beoordelingsmethode vallen 247 afsluitersecties in de laagste risicocategorie, 9 in risicocategorie 2, 40 in risicocategorie 3 en 1 in risicocategorie 4.

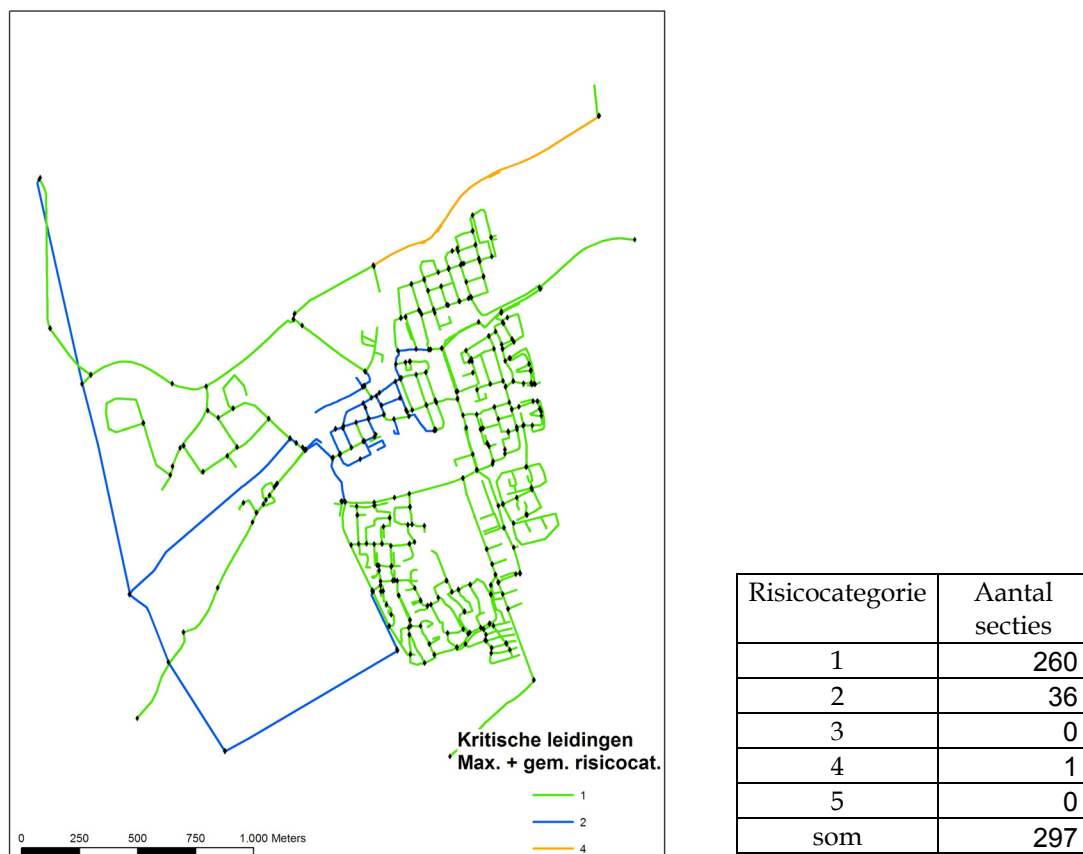


Figuur 35: Kritieke leidingen op basis van maximum risicoscore.



#### 6.1.4 Weging gemiddeld en maximum risico

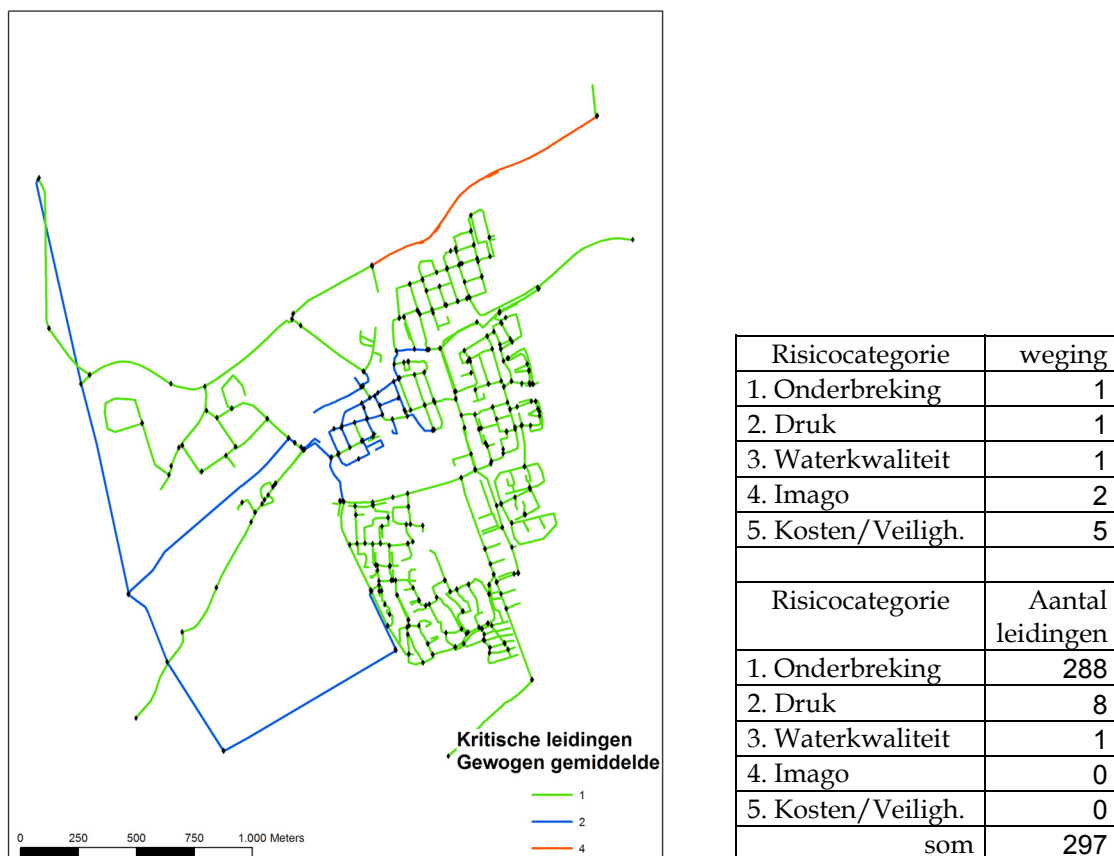
De beoordeling van kritieke afsluitersecties kan ook plaatsvinden door zowel de gemiddelde score als de maximum score mee te wegen. In dit rekenvoorbeeld worden de gemiddelde en de maximum score beide voor 50% gewogen. In Figuur 36 is per afsluitersecties de gewogen gemiddelde en maximum risicoscore aangegeven. Volgens deze beoordelingsmethode vallen 260 afsluitersecties in de laagste risicocategorie, 36 in risicocategorie 2 en 1 in risicocategorie 4.



Figuur 36: Kritieke leidingen op basis van weging gemiddelde en maximum risicoscore.

### 6.1.5 Gewogen gemiddeld risico

In de vorige subparagrafen zijn risicomatrices op diverse manieren samengevoegd waarbij de vijf effectcategorïën een even zware weging hebben gekregen. Bedrijven kunnen er ook voor kiezen verschillende gewichten toe te kennen aan de effectcategorïën. In Figuur 37 is een risicobeoordeling weergegeven waarbij de effectcategorïën verschillende weging hebben gekregen. In dit voorbeeld is gekozen de Kosten/Veiligheid (categorie 5) een weging van 5 te geven, imago een weging van 2 en de overige effecttypen een weging van 1. Volgens deze beoordelingsmethode vallen 288 afsluitersecties in de laagste risicocategorie, 8 in risicocategorie 2 en 1 in risicocategorie 3.



Figuur 37: Kritieke leidingen op basis van een gewogen gemiddelde risicoscore.

## 6.2 Toetsing resultaten aan de praktijk

In de voorgaande paragrafen zijn methoden aangegeven voor het consolideren van risicobeoordelingsmatrices wat resulteert in een overzicht van kritische afsluitersecties. Nadat de kritische afsluitersecties zijn geïdentificeerd, wordt aanbevolen na te gaan uit welke soorten leidingen deze secties bestaan en of het effect op de sectie in zijn geheel van toepassing is of op delen daarvan. Na afronding van de risicoanalyse is het belangrijk de resultaten aan de praktijk te toetsen. De resultaten van deze casestudie zijn voorgelegd aan twee direct betrokkenen bij het leidingnetbeheer van Montfoort<sup>2</sup>. Beiden gaven aan dat de resultaten van deze risicoanalyse goed overeenstemmen met hun beeld van de kritische leidingsecties. Het feit dat het grootste deel van de leidingsecties zich in de linkerbovenhoek bevindt, stemt overeen met de verwachting. Ook gaven zij aan dat het nuttig is om een kwantitatieve onderbouwing te hebben van wat de kritische leidingen zijn. Dit geldt dan niet zo zeer voor de evident slechte leidingen, maar vooral voor de leidingen met een middelgrote storingskans en een groot effect bij falen.

<sup>2</sup> Gesprek met Jan van Dijke en Wil Arentse van Vitens op 11-04-08.



## 7 Discussie

Bij het beheer van leidingen door waterbedrijven is een verschuiving zichtbaar van aandacht van het voorkomen van storingen naar het reduceren van de gevolgen van storingen. Tevens maakt het beheer van leidingen een verandering door van ervaringgestuurd (gebaseerd op ervaringen van direct betrokkenen) naar informatiegestuurd (gebaseerd op formele informatiesystemen). Bij beide veranderingen speelt het systematisch en objectief beoordelen van risico's een belangrijke rol. Deze veranderingen worden ondersteund door technologische ontwikkelingen zoals de verbetering van informatiesystemen en rekenmodellen en de verdergaande koppeling van systemen. Met het verder beschikbaar komen van geografische informatie kunnen leidingen in relatie tot hun omgeving worden beschouwd. Dit betekent dat zowel de invloed van de omgeving op de conditie van leidingen kan worden meegewogen, als het effect van falen van de leiding op die omgeving. Deze ontwikkelingen maken het mogelijk dat met nieuwe kennis en analyses meer informatie over het leidingnet beschikbaar komt zodat activiteiten en geld gericht kunnen worden ingezet voor leidingen die het hoogste risico vertegenwoordigen.

Binnen dit onderzoek is nagegaan of een kwantitatieve risicoanalyse voor een leidingnet leidt tot zinvolle resultaten. Deze studie toont aan dat dit inderdaad het geval is. Het blijkt tevens dat een dergelijke analyse niet eenvoudig uit is te voeren. Er moet goed nagedacht worden over welke risico's het bedrijf wil minimaliseren en hoe deze risico's zijn te kwantificeren. Vervolgens moet een oordeel worden gevormd over welke maat van risico's men aanvaardbaar vindt (welke drempelwaarden bepalen of een leiding kritisch of niet-kritisch is). Dit proces is tijdrovend maar zal bijdragen aan een bewustwording over risico's en kan een middel zijn om kennis samen te voegen die op meerdere afdelingen of personen verspreid is.

De beoordeling van afsluitersecties als kritisch of niet-kritisch houdt nauw verband met de consolidatie van de verschillende matrices naar één eindmatrix. In dit rapport zijn een aantal methoden voor consolidatie gepresenteerd. Leidingsecties die als kritisch aangemerkt worden, komen nadat een toetsing aan de praktijk heeft plaatsgevonden, in aanmerking voor een actief beheerregime. Onder een actief beheerregime kunnen activiteiten worden verstaan zoals het vervangen van een leiding, onderhoud aan afsluiters, gerichte conditiebepaling of netwerk modificaties

In deze studie is een risicomatrix gehanteerd die bestaat uit twee vlakken, kritisch en niet-kritisch. Het is ook mogelijk een verdere detaillering te maken van een risicomatrix, voor een voorbeeld zie Figuur 38. Hierbij wordt het resultaat van een risicoanalyse zoals bijvoorbeeld uitgevoerd in Hoofdstuk 5, direct gerelateerd aan mogelijke beheeractiviteiten.

Risico-evaluatie	Faalkanscategorie				
	1	2	3	4	5
Effectcategorie					
1					
2					
3					
4					
5					

Figuur 38: Voorbeeld van een risicobeoordelingsmatrix waarin het resultaat van een risicoanalyse wordt gepresenteerd en die als basis kan dienen voor de planning beheeractiviteiten:

- groen: in principe niet vervangen,
- geel: alleen vervangen als er een externe mogelijkheid zich voordoet,
- oranje: als geel, met een zwaarder beheerregime,
- rood: vervangen op eigen initiatief.

Voor het plaatsen van leidingen in de categorieën van kans en effect, moet worden bepaald op welke wijze kwantificering plaatsvindt. In dit rapport is de kans uitgedrukt in storingsfrequenties die per afsluitersectie zijn vastgesteld met behulp van de storingsregistratie. Voor het effect ondermaatse druk is gebruik gemaakt van hydraulische berekeningen met het leidingnetberekeningsmodel InfoWorks®. Dit pakket heeft de mogelijkheid voor het uitvoeren van een critical link analyse, waarbij de druk kan worden bepaald in de knopen rondom een lek veroorzaakt door een leidingbreuk. Het is echter aan de gebruiker om een realistische waarde in te schatten voor dit lek. Het is vanzelfsprekend dat de kwaliteit van de analyse voor een groot deel bepaald wordt door de waarheidsgetrouwheid en nauwkeurigheid van de gebruikte rekenmodellen. Binnen de risicoanalyse is het in het BTO ontwikkelde programma CAVLAR® ingezet om de onderbrekingsduur te berekenen. Het is gebleken dat als een gedetailleerd leidingnet beschikbaar is, de inzet van CAVLAR leidt tot bruikbare rekenresultaat. CAVLAR is makkelijk in het gebruik en biedt voldoende vrijheid om specifieke situaties door te rekenen.

Geografische data komt steeds meer beschikbaar. Deze informatie is in sommige gevallen openbaar of in andere gaven beschikbaar via gespecialiseerd instituten. In dit onderzoek is alleen gebruik gemaakt van openbare informatie van bijvoorbeeld het KICH voor het identificeren van rijksmonumenten of van de Risicokaart en de Gouden Gids voor het identificeren van kwetsbare gebruikers. In de toekomst zal naar verwachting meer geo-informatie beschikbaar komen. De identificatie van kwetsbare gebruikers op basis van de Gouden Gids heeft zich beperkt tot tandartsen en kappers. Waterbedrijven kunnen dit desgewenst uitbreiden met nierdialysepatiënten, zwembaden, sauna's, etc.

Waterbedrijven hechten aan het introduceren van negatieve effecten op het bedrijfsimago in een risicoanalyse. Om die reden is dit effect als één van de vijf effecten van een leidingbreuk opgenomen. In de praktijk blijkt imago niet vooraf te kwantificeren. Het is dan aan te bevelen het criterium imago te omschrijven als gevoelige gebruikers en imago te beschouwen als een afgeleide van alle vijf mogelijke effecten.

In het geval risicoanalyses van het leidingnet op grotere schaal worden toegepast, zal het zinvol zijn data te ontsluiten die niet publiek toegankelijk is, zoals nauwkeurige topografische kaarten (vaak hebben waterbedrijven hierover al beschikking) of specifieke kaarten waarop bijvoorbeeld de verkeersintensiteiten zijn vermeld. Voor het uitvoeren van een risicoanalyse bij bedrijven is het dan ook aan te bevelen een inventarisatie te maken van beschikbare informatie. Hieruit zal waarschijnlijk naar voren komen dat er discrepanties zijn tussen de informatiebehoefte en het beschikbare

informatieaanbod. Ter illustratie is in Kader 1 een uitwerking gegeven van aandachtspunten om het effect van een leidingbreuk op een nabijgelegen weg nader te onderzoeken.

*Kader 1: Uitwerking van mogelijke kosten van leidingbreuk voor een nabijgelegen weg*

Om een correcte bepaling te kunnen maken van bijvoorbeeld de mogelijke schadekosten aan een nabijgelegen wegen geval van een leidingbreuk, is het van belang antwoord te vinden op de volgende vragen:

1. Wat is het te verwachten breukgedrag bij een leidingbreuk?
2. Treedt hierbij ontgroning op en wat is de omvang van de te verwachten ontgrondingskuil en de mogelijke invloedzone waarin verzakkingen kunnen optreden?
3. Wat is de afstand van een leiding tot de zijkant van een weg? Deze vraag is van belang omdat van wegen vaak alleen de hartlijnen bekend zijn.
4. Wat is de te verwachten schade aan een wegdek? Dit is afhankelijk van het type wegdek, de aard van de constructie, de aanwezigheid van auto's en de aanwezigheid van overige infrastructuur zoals riolering, kabels etc.
5. Wat is de te verwachten directe gevolgschade in geval van een wegafsluiting? Dit is afhankelijk van de verkeersintensiteit van de weg en de mogelijkheden voor wegomleidingen.

In verband met een beperkt aanbod van informatie en kennis zijn de in Kader 1 gestelde vragen in dit onderzoek niet nader uitgewerkt. Er is gekozen voor een vereenvoudigde benadering waarbij voor bijvoorbeeld directe kosten aan provinciale wegen, alle leidingen zijn geselecteerd die zich bevinden binnen 10 m van de hartlijn. Bij het in de toekomst verder beschikbaar komen van geografische gegevens zal een meer realistische benadering mogelijk zijn. Ook nader onderzoek naar het bepalen van het breukgedrag van leidingen en het bepalen van de grootte van een ontgrondingskuil is in dit perspectief zinvol.

Op basis van dit onderzoek zijn de volgende vragen opgesteld die kunnen dienen als toetsingskader bij het verzamelen van informatie:

1. In hoeverre is de benodigde kennis direct aanwezig (bijvoorbeeld storingsgegevens) of moet er gebruik worden gemaakt van afgeleide informatie (zoals gevoelige gebruikers als basis om het imago in the schatten)?
2. Met name als gebruik wordt gemaakt van afgeleide informatie, in hoeverre is deze toepasbaar en wat zijn de gehanteerde aannamen?
3. Is de aangeboden informatie volledig (voor het hele gebied, over voldoende tijd verzameld)?
4. Is de aangeboden informatie voldoende betrouwbaar en actueel?
5. Is de aangeboden informatie benaderbaar, gedefinieerd als object, met voldoende mate van detail (is van een weg alleen de hartlijn bekend of ook de breedte van het wegvlak) en in een toegankelijk format?

Bij het inzetten van geografische informatie is het belangrijk een controle uit te voeren op de kwaliteit van de informatie. In Figuur 39 is een voorbeeld gegeven van informatie uit twee gegevensbestanden die niet overeenkomen. Daarnaast is het ook raadzaam een analyse uit te voeren van de gevoeligheid van de gemaakte aannamen voor het resultaat van de analyse.



*Figuur 39: Voorbeeld van foute geografische data, in dit figuur is een topografische kaart weergegeven, waarop een rivier staat aangegeven (in lichtblauw). In fel blauw is informatie over dezelfde rivier weergegeven zoals verkregen van een ander databestand.*

Voor het ondersteunen van de implementatie van risicoanalyse en risicobeheer van een leidingnet is in Bijlage I een stappenplan opgenomen.

Naar aanleiding van deze studie verdienen de volgende vragen nadere aandacht:

1. Hoe kan de hier voorgestelde methode voor risicoanalyse meer efficiënt worden uitgevoerd?
2. Wat is de beschikbare informatie, wat is de kwaliteit van deze data in het licht van het voorgestelde toetsingskader en hoe kan deze informatie zo efficiënt mogelijk toegepast worden?
3. Wat is de vereiste kwaliteit van de leidinggegevens?
4. Wat is de gevoeligheid van de gebruikte data voor het eindresultaat?
5. Is het mogelijk om de effecten van een leidingbreuk op de waterkwaliteit en de directe omgeving beter te kwantificeren? Op dit moment zijn zij niet te modelleren, in deze studie daarom gebruik gemaakt van vereenvoudigde en afgeleide informatie.

# 8 Conclusies en aanbevelingen

## 8.1 Conclusies

In dit onderzoek is nagegaan of een kwantitatieve risicoanalyse voor een leidingnet een goed hulpmiddel is voor het identificeren van kritische leidingen. Hierbij is gebruik gemaakt van zeven risicobeoordelingsmatrices die zijn opgesteld in het project Risicoanalysemethoden (van den Boomen, 2006). De toepasbaarheid van de matrices is getoetst aan de hand van een praktijktoets op het distributienet van Montfoort (Vitens). Op basis van deze praktijktoets kunnen onderstaande conclusies getrokken worden.

1. Het is mogelijk kritieke leidingen te identificeren door middel van een kwantitatieve risicoanalyse van een leidingnet. Het uitvoeren van deze risicoanalyse is mogelijk door gebruik te maken van verschillende informatiesystemen en rekenmodellen.
2. De resultaten van de casestudie zijn voorgelegd aan direct betrokkenen bij het leidingnetbeheer van Montfoort. Zij gaven aan dat de resultaten van deze risicoanalyse goed overeenstemmen met hun op ervaring gebaseerde beoordelingen.
3. In van den Boomen (2006) zijn zeven risicomatrices geïdentificeerd die in het voorliggende onderzoek op hun toepasbaarheid getoetst zijn. Deze matrices hebben een as voor de kans op een negatieve gebeurtenis en het mogelijke effect. Met betrekking tot de matrices kunnen onderstaande conclusies getrokken worden.
  - a. Leveringsonderbreking door leidingbreuk: een risicobeoordeling is mogelijk door een combinatie van een analyse van de geregistreerde storingen (kans) en de met CAVLAR® berekende duur en het aantal getroffen klanten bij een leidingbreuk (effect).
  - b. Ondermaatse druk door leidingbreuk: een risicobeoordeling is mogelijk door de combinatie van een analyse van de geregistreerde storingen (kans) en de met een leidingnetberekeningsprogramma berekende drukken in omliggende knooppunten bij een leidingbreuk (effect).
  - c. Ondermaatse levering kwaliteit door leidingbreuk: de voorgestelde indeling van effecten (in bruin water, niet-acute gezondheidskundige parameters) is bruikbaar voor het achteraf registreren van incidenten maar niet voor het vooraf voorspellen van effecten. Om die reden is de risicoanalyse uitgevoerd met een indeling die zich baseert op geregistreerde parameters (waterkwaliteitsklachten) en te berekenen parameters (stroomsnelheid en volumestroom). De kans op een leidingbreuk wordt bepaald met een analyse van de geregistreerde storingen.
  - d. Ondermaatse levering kwaliteit door processen in leidingnet: bij de formulering van de risicobeoordelingsmatrices werd gedacht dat het mogelijk was om een aparte risicoanalyse uit te voeren voor deze ongewenste gebeurtenis. Dit blijkt in dit onderzoek niet mogelijk te zijn. Aangezien de matrix 'Ondermaatse levering kwaliteit door leidingbreuk' ook hydraulische processen analyseert, zijn beide matrices samengevoegd.
  - e. Imagoschade door leidingbreuk: de voorgestelde indeling van effecten op basis van de mate van negatieve publiciteit is niet vooraf te kwantificeren. Om die reden is een risicoanalyse uitgevoerd die imagoschade baseert op de gevolgen van een leveringsonderbreking voor kwetsbare gebruikers (bedrijven, scholen, verzorgingstehuizen en ziekenhuizen). Voor het lokaliseren van kwetsbare gebruikers is gebruik gemaakt van geografische informatie. De kans op een leidingbreuk wordt bepaald met een analyse van de geregistreerde storingen.



- f. Directe kosten door leidingbreuk: een risicobeoordeling is mogelijk door een combinatie van een analyse van de geregistreerde storingen (kans) en geografische informatie van objecten waar een leidingbreuk kan leiden tot directe kosten, zoals wegen, dijken en gebouwen (effect).
  - g. Veiligheid door leidingbreuk: In de praktijk blijkt dat voor het kwantificeren van veiligheidseffecten van dezelfde elementen gebruik wordt gemaakt als bij Directe kosten (wegen, dijken, etc.). Om die reden zijn beide matrices samengevoegd tot de matrix Kosten/Veiligheid.
4. Het uitvoeren van een risicoanalyse voor een distributienet zoals uitgevoerd in dit verkennend onderzoek is tijdsintensief, met name door de vele handmatige rekenslagen. Dit komt voort uit de aard van het onderzoek dat een verkenning is naar de mogelijkheid van een kwantitatieve risicoanalyse van het leidingnet. Implementatie van de hier voorgestelde concepten binnen bestaande bedrijfsprocessen en automatisering van de rekenstappen zal een aanzienlijke efficiencyverbetering opleveren.
  5. Bij het uitvoeren van risicoanalyses blijkt dat er discrepanties zijn tussen de informatiebehoefte en het beschikbare informatieaanbod. De kwaliteit van een analyse houdt nauw verband met de kwaliteit van de beschikbare informatie. Aangezien er aanzienlijke verbeteringen zijn te verwachten van de beschikbaarheid en de kwaliteit van (met name de geografische) informatie, zullen risicoanalyses van het leidingnet in de toekomst steeds nauwkeuriger kunnen worden.

## 8.2 Aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

1. Waterbedrijven hechten steeds meer waarde aan het systematisch en objectief beoordelen van risico's. In dit onderzoek is gebleken dat het mogelijk is een kwantitatieve risicoanalyse uit te voeren voor een leidingnet. Verdergaande ontwikkelingen op het gebied van informatisering en informatiesystemen kunnen de hier geconstateerde tekortkomingen oplossen. Bedrijven wordt aangeraden risicoanalyses toe te passen voor hun toekomstige onderhouds- en vervangingsplannen.
2. Door toenemende mogelijkheid van koppeling van informatiesystemen wordt het gebruik van databases (zoals storingen, klachten, waterkwaliteitsmonsters, etc.) steeds interessanter. In dit onderzoek blijkt de waarde van informatie van bijvoorbeeld storingen en klachten voor het kwantificeren van risico's. Bedrijven wordt aangeraden verder aandacht te besteden aan het vullen van informatiesystemen.
3. De in dit onderzoek uitgevoerde analyse heeft zich gericht op de vraag of een risicoanalyse voor het leidingnet mogelijk is. Aanbevolen wordt een vervolgonderzoek uit te voeren waarin nader wordt ingegaan op welke wijze een dergelijke analyse het meest efficiënt is uit te voeren.
4. De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op de beschikbare data en aannamen om een vertaalslag te maken van beschikbare data naar benodigde data. Aangeraden wordt om in een vervolgonderzoek een gevoeligheidsanalyse uit te voeren waarin het effect wordt getoetst van de kwaliteit van de data en de gemaakte aannamen op het resultaat van de analyse.
5. Voor het uitvoeren van een risicoanalyse bij bedrijven is het aan te bevelen een informatiescan te maken, waarbij een vergelijking plaatsvindt tussen informatiebehoefte en informatieaanbod. Tevens wordt aanbevolen een toetsingskader toe te passen om de kwaliteit van de beschikbare informatie te controleren.
6. Voor het uitvoeren van een risicoanalyse is het van belang inzicht te hebben in de directe impact van een leidingbreuk op de omgeving. Aanbevolen wordt nader onderzoek uit te voeren naar

het breukgedrag van leidingen en de directe effecten van een leidingbreuk op de omgeving, zoals de bepaling van de grootte van ontgrondingskuil.

7. Externe informatie voor risicoanalyses wordt veelal op nationaal niveau aangeboden. De beoordeling van de geschiktheid van deze data is voor alle waterleidingbedrijven gelijksoortig, zie het toetsingskader in Hoofdstuk 7. De waterbedrijven wordt aanbevolen hier gezamenlijk op te trekken.
8. De ontwikkeling van informatiesystemen en aanbod van informatie ontwikkelt zich in een hoog tempo. Om deze ontwikkeling te blijven volgen wordt aanbevolen deze ontwikkelingen nauwlettend te blijven volgen. Dit kan plaatsvinden door een soortgelijk onderzoek nogmaals uit te voeren over enkele (2-4) jaren.

### **8.3 Relevantie onderzoek en mogelijkheden voor implementatie**

In dit onderzoek zijn de mogelijkheden verkend voor het uitvoeren van een risicoanalyse van het distributienetwerk. Hierbij is gebruik gemaakt van risicomatrices die zijn opgesteld in een voorafgaand onderzoeksproject (van den Boomen, 2006). Deze matrices zijn gekwantificeerd door gebruik te maken van rekenmodellen en geografische informatie. Dit onderzoek toont voor de waterbedrijven aan dat het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse voor het leidingnet mogelijk is. Voor een efficiënte toepassing zijn nadere inspanningen nodig voor het versnellen van het analyseproces en voor het verbeteren van data.

Waterbedrijven kunnen de mogelijkheden van een kwantitatieve risicoanalyse onderzoeken door het opzetten van een bedrijfsspecifieke pilot. Voor implementatie hiervan kan de gekozen opzet in dit onderzoek een belangrijke leidraad zijn. Er kan gebruik worden gemaakt van het in Bijlage I opgenomen stappenplan. Uitvoering van een pilot zal ook meer inzicht geven in de kosten/baten verhouding van een risicoanalyse. De baten van deze analyse zijn gelegen in het afstemmen van beheeractiviteiten op die leidingsecties die het hoogste risico vertegenwoordigen. Dit onderzoek heeft aangetoond dat deze baten realiseerbaar zijn.

Dit onderzoek geeft een beeld van de mogelijkheden van een kwantitatieve analyse van het leidingnet. Het wil daarbij bijdragen aan het vormgeven van kaders waarmee technologische ontwikkelingen zoals computermodellen en geografische informatiesystemen kunnen leiden tot beter leidingnetbeheer.



## 9 Literatuur en internetverwijzingen

Boomen, M. van den, 2006: 'Risicogestuurd onderhoud van distributie-infrastructuur', BTO 2006.001 (s), Kiwa Water Research, Nieuwegein.

Centraal Bureau voor de Statistiek, 2003: 'Productbeschrijving Bestand Bodemgebruik', <http://www.cbs.nl>

Risicokaart, 2007: <http://www.risicokaart.nl>

Gouden gids, 2007: <http://www.goudengids.nl/>

Geodan 2001: Topografische referentiebestanden, Wegen referentieset Nederland, <http://www.geodan.nl/producten/geografische-data/producten/wegen-referentieset-nederland/>

KennisInfrastructuur CultuurHistorie, 2007: <http://www.kich.nl>

NEN, 2003: 'Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken, NEN3651', NEN, Delft.

Trietsch, E. A., P. G. Schaap, et al., 2006: 'Betrouwbaarheid van afsluiters en sectie-isolatie', BTO 2006.016; Kiwa Water Research, Nieuwegein.

Vloerbergh, I. N., and Blokker, E. J. M., 2007: 'Statistische storingsanalyse; De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie', BTO 2007.043, Kiwa Water Research, Nieuwegein.



# I Stappenplan voor risicoanalyse en - beheer leidingnetten

Op basis van de ervaringen uit dit onderzoek is onderstaand stappenplan opgesteld.

1. Stel vast wat de doelstelling is 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 vast welke ongewenste gebeurtenissen worden geanalyseerd. In dit onderzoek was dat een leidingbreuk
3. Stel vast welke ongewenste effecten kunnen optreden. In dit onderzoek waren dat leveringsonderbreking, ondermaatse druk, ondermaatse waterkwaliteit, imago en Kosten/Veiligheid.
4. Stel het aantal en de afbakening van de categorieën vast voor kans en effect. In dit onderzoek is gekozen voor 5 categorieën.
5. Stel per risicobeoordelingsmatrix vast wat kritisch en niet-kritisch is.
6. Stel voor het leidingnet het analyseniveau vast. In dit onderzoek is gekozen voor analyses op het niveau van afsluitersectie.
7. Onderzoek welke gegevens noodzakelijk zijn voor het kwantificeren van de risicobeoordelingsmatrices.
8. Voer de risicoanalyses uit.
9. Vertaal de resultaten van de analyses naar risicobeoordelingsmatrices.
10. Consolideer de verschillende matrices tot één matrix die aangeeft welke leidingen kritisch zijn
11. Controleer of de kritische leidingen op correcte wijze zijn geïdentificeerd. Evalueer of de geïdentificeerde kritische leidingen overeenkomen met praktijkervaringen.
12. Indien nodig, stel de analyse bij.
13. Stel een voorlopig actieplan op met beheermaatregelen.
14. Onderzoek de technische haalbaarheid en de kosten van de beheermaatregelen. Schat in wat de risicoreductie is na de invoering van de beheermaatregel.
15. Stel een aangepast actieplan op met beheermaatregelen.
16. Voer beheermaatregelen uit.
17. Evalueer de stappen 1 t/m 16 en stel indien nodig verbeteringen voor.
18. Herhaal de risicoanalyse na enige tijd, bijvoorbeeld 2 à 4 jaar.



## II Projectgroep

Het voorliggende rapport maakt onderdeel uit van het BTO-project 'Risicoanalyse en risicobeheer leidingnetten'. Dit project is een voortzetting van het BTO-project 'Risicoanalysemethoden'. Binnen het project Risicoanalysemethoden is het rapport 'Risicogestuurd onderhoud van distributie-infrastructuur' (BTO 2006.01) verschenen. Het voorliggende rapport is een voortzetting van dat onderzoek. De resultaten van beide rapporten zijn tot stand gekomen in nauwe samenwerking met de leden van de projectgroepen.

Aan de projectgroep namen deel:

- binnen het project Risicoanalysemethoden
  - Henk Jacobs, WML
  - Edwin Blaauwgeers, Vitens
  - Henk Harmens, Hydron Midden-Nederland
  - Arie Haasnoot, Oasen
  - Geert Kloosterman, Brabant Water
  - Werner Bisschop, Pidpa
  - Martine van den Boomen, Colibri Advies
  - Ralph Beuken, Kiwa Water Research
- binnen het project Risicoanalyse en risicobeheer leidingnetten
  - Henk Jacobs, WML
  - Edwin Blaauwgeers, Vitens
  - Siegfried Scheffler, Evides
  - Bart Schultz, Oasen (tot december 2007)
  - Jos Dekker, PWN
  - Geert Jan van Heck, Waternet
  - Ralph Beuken, Kiwa Water Research



