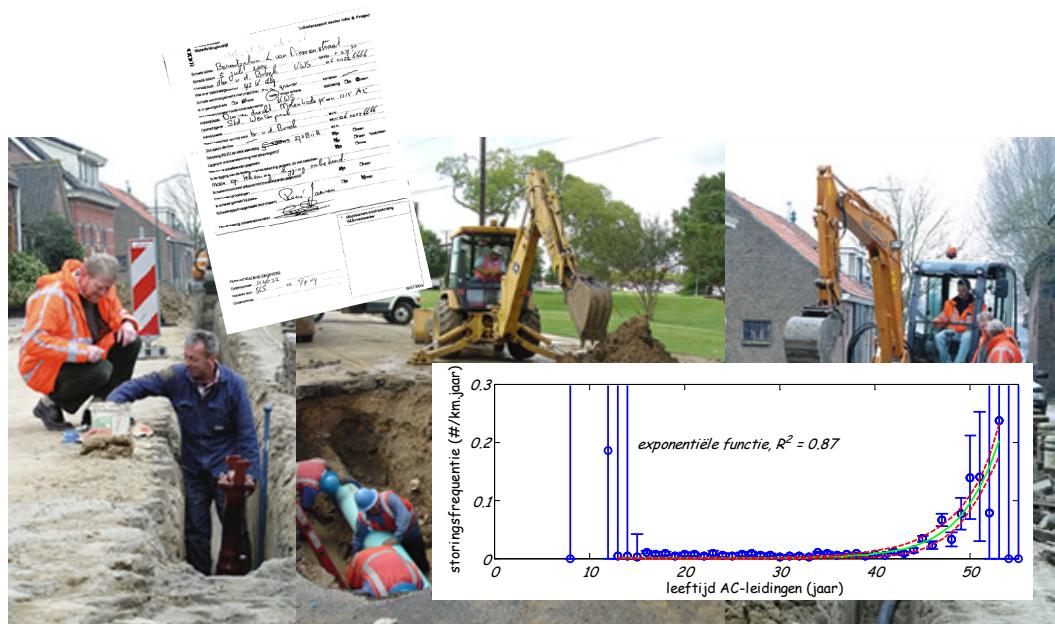


BTO 2007.043
Oktober 2007

Statistische storingsanalyse

De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie



BTO 2007.043
Oktober 2007

Statistische storingsanalyse

De mogelijkheden en beperkingen van de huidige
storingsregistratie

© 2007 Kiwa Water
Research
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.

Kiwa Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Tel. 030 606 95 11
Fax 030 606 11 65
www.kiwawaterresearch.eu

Colofon

Titel

Statistische storingsanalyse
De mogelijkheden en beperkingen
van de huidige storingsregistratie

Projectnummer

11.1533.100

Projectmanager

W.J.M.K. Senden

Opdrachtgever

CvO

Kwaliteitsborger

J.H.G. Vreeburg

Auteurs

I.N. Vloerbergh en E.J.M. Blokker

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Voorwoord

Voorliggend onderzoek is de tweede fase van het project *Implementatie landelijke storingsregistratie*. Het project is in 2004 van start gegaan met als projectomschrijving “Analyseer de knelpunten voor het invoeren van een uniforme storingsregistratie, onderzoek wat nodig is om deze weg te nemen en begeleid de implementatie van een uniforme storingsregistratie in de Nederlandse watersector”.

De **belangrijkste knelpunten** bij het invoeren van een uniforme storingsregistratie zijn het zichtbaar maken van *nut en noodzaak van storingsregistratie* en de randvoorwaarden die het gebruik van de storingsdata stelt aan de wijze van registreren. Om deze knelpunten weg te nemen zijn twee stappen gezet in het toepasbaar maken van de storingsregistratie.

- De eerste stap die gezet is, was de inzet van de storingsregistratie voor het meten van een goede prestatie-indicator ten behoeve van het leidingnetbeheer. In dit kader is de prestatie-indicator OLM (Ondermaatse Leveringsminuten) in 2004 ontwikkeld en ingevoerd. In 2006 is het onderdeel leveringsonderbrekingen van de OLM ook onderdeel van de VEWIN-benchmark.
- De tweede stap is de storingsregistratie ook in te zetten voor een prognose van het aantal storingen in de toekomst. De storingsanalyse die daarvoor ingezet kan worden en de beste wijze van het registreren van storingen voor dit doel zijn (deel)onderwerp van voorliggend rapport.
- Een uitbreiding van de tweede stap is om aan de hand van de storingsgegevens verklarende factoren te vinden voor optredende storingen. Hierbij is extra informatie nodig over bijvoorbeeld het klimaat en de ondergrond. Daarbij worden de storingsgegevens echter niet gebruikt door de waterleidingbedrijven, maar door een onderzoeksinstelling. De resultaten van een dergelijk onderzoek komen wel ten goede aan de waterleidingbedrijven. Deze uitbreidingsstap is het onderwerp van het project *Conditiebepaling, onderdeel faalmechanismen*.

Een **tweede knelpunt** was dat onduidelijk was waarom een *landelijk uniforme storingsregistratie* noodzakelijk is.

- Voor het bepalen van de OLM in de VEWIN-benchmark is het van belang dat alle waterbedrijven op gelijke wijze registreren hoeveel storingen er zijn en per storing wat de onderbrekingsduur is en hoeveel klanten (aansluitingen) getroffen worden. In het kader van de eerste fase van het project *implementatie landelijke storingsregistratie* is de invoering van de OLM, en dus het uniform registreren van een aantal onderdelen van de storingsregistratie, door middel van een pilot vormgegeven.
- In de tweede fase van het project (voorliggend rapport) worden aanbevelingen gedaan voor een goede storingsregistratie voor de

Nederlandse waterleidingbedrijven. De redenen voor aanpassingen zijn duidelijk gemaakt, het wordt echter aan de bedrijven zelf overgelaten of zij hun storingsregistratie aanpassen aan de aanbevelingen in dit rapport (dit heeft te maken met het derde knelpunt). Voor een waterleidingbedrijf is het noodzakelijk een uniforme storingsregistratie te hebben, maar de noodzaak tot een landelijk uniforme storingsregistratie is minder evident.

- Het samenvoegen van storingsgegevens van verschillende bedrijven heeft wel een meerwaarde, met name wanneer verklarende factoren voor storingen worden onderzocht. Om een dergelijk onderzoek te ondersteunen is een landelijk uniforme storingsregistratie, of tenminste een uniforme rapportage van de storingen wel belangrijk. Met storingsrapportage wordt bedoeld de wijze waarop de geregistreerde storingen aangeleverd worden.

Een **derde knelpunt** is dat niet alle waterleidingbedrijven hun storingsgegevens willen delen. Dit knelpunt kan niet in een onderzoeksproject worden weggenomen. Daarom is ook geen traject ingezet om landelijk een volledig uniforme storingsregistratie te implementeren.

Van de bedrijven die hun storingsgegevens wel hebben gedeeld, is gekeken in hoeverre de in 2001 voorgestelde parameters zijn geregistreerd en wat met de gerapporteerde gegevens gedaan kan worden. De terugkoppeling van de resultaten van de statistische analyse naar de kennisregels uit eerder materiaalonderzoek en het KSLB, maakt de cyclus compleet.

Samenvatting

Het ondergrondse kapitaal van de waterbedrijven veroudert. Degradatie van het leidingnet kan leiden tot leveringsonderbrekingen, drukverlies of verminderde waterkwaliteit. Omdat de infrastructuur ondergronds ligt, is inspectie lastig en daardoor duur. Een goedkoper alternatief om de te verwachten restlevensduur of storingsfrequentie van leidingen of leidinggroepen in te schatten en te voorspellen, is het gebruik maken van onderhouds- en storingsgegevens. Met behulp van statistische methoden kunnen trends in het storingsverloop opgespoord worden. Om statistiek toe te kunnen passen op storingsdata, moeten de geregistreerde parameters voldoende van kwaliteit en in aantal zijn en moeten de ingevulde waarden voldoende gedetailleerd zijn. Wat 'voldoende' is, hangt af van het doel van de registratie. In de praktijk is het echter vaak omgekeerd en bepaalt de beschikbaarheid van data de mogelijkheden. In 2001 is een voorstel gedaan voor een datamodel voor storingsregistratie, waarmee een aantal analyses kan worden gemaakt (Bijlage I, p. 119). In dit rapport is op verzoek van Nederlandse en Vlaamse waterbedrijven een inventarisatie gemaakt van de geregistreerde storingsgegevens van zeven waterbedrijven en is gekeken wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van deze gegevens voor het voorspellen van storingen.

En blik over de grenzen van de bedrijfstak, bij ProRail, Nedtrain, Gastec en Ksandr leert, dat de toegepaste statistische methoden sterk afhankelijk zijn van de karakteristieken van de assets en hun omgeving. De spoor-, gas- en elektrasectoren kennen een relatief lange geschiedenis van consequente registratie van onderhouds- en storingsgegevens. Voorbeelden van hun storingsanalyses laten zien dat registreren zinvol kan zijn voor asset management. Hierbij is het van belang vooraf het doel van de registratie helder voor ogen te hebben om de registratie daarop aan te passen.

Voor statistische analyse van storingsgegevens zijn drie basismodellen beschikbaar.

- *Beschrijvende statistiek* geeft een beeld van het huidige storingsgedrag van het leidingnet. Beschrijvende modellen zijn beperkt bruikbaar voor het opstellen van onderhouds- en vervangingsplannen, omdat ze enkel een beschrijving geven van de huidige situatie en dus geen uitspraken doen over de toekomst. Voor onderhouds- en vervangingsplannen op korte termijn kunnen deze modellen wel gebruikt worden. Beschrijvende modellen zijn eenvoudig op te stellen met een relatief beperkte hoeveelheid data. De storingsgegevens van één jaar zijn vaak al voldoende.
- *Regressiemodellen* geven een voorspelling van de storingsfrequentie van een groep leidingen. Regressie-analyse is een statistische techniek voor het analyseren van gegevens waarin (mogelijk) sprake is van een specifieke samenhang, aangeduid als regressie. Het verband kan bijvoorbeeld lineair of exponentieel zijn. Regressie-modellen zijn

bruikbaar voor globale onderhouds- en vervangingsplannen. De uitkomst geeft een voorspelling van de toekomstige faalfrequentie op het niveau per leidinggroep. Regressie-modellen zijn eenvoudig op te stellen en hebben, vergeleken met beschrijvende modellen een grotere databehoeft; met data geregistreerd gedurende minimaal drie jaar kan voor leidinggroepen waarvan het degradatieverloop een relatie heeft met leeftijd en metingen in de eindfase van de badkuipkromme regressie toegepast worden.

- *Kansberekeningsmodellen* geven voorspellingen van de faalkans op een bepaalde leeftijd van een individuele leiding. De modellen zijn goed bruikbaar voor het opstellen van onderhouds- en vervangingsplannen op het niveau van individuele leidingen, maar daarvoor is het wel nodig dat storingsgegevens gekoppeld zijn aan individuele leidingen en de storingsdata over de hele levensduur bekend zijn. De databehoeft van kansberekeningmodellen is het grootst van de genoemde drie typen statistiek. Geen van de deelnemende waterbedrijven had echter voldoende data om te kunnen zeggen hoeveel data nodig is om kansberekening toe te kunnen passen.

Welke statistische methoden toepasbaar zijn op de gerapporteerde data, en wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van de datasets, is bekeken aan hand van een serie hypothesen. De hypothesen zijn opgesteld op basis van eerder onderzoek uitgevoerd door Kiwa Water Research en TNO naar het degradatieproces van verschillende materialen. In Tabel 1 zijn de hypothesen weergegeven en het resultaat van de statistische analyse van de storingsdata van de deelnemende waterbedrijven. Door middel van een vinkje (✓) is aangegeven dat de data informatie bevatten over het in de hypothese gestelde verband. Een nul (0) geeft daarbij aan dat de data wel enig inzicht verschaffen over het verband, maar dat de hypothese niet verworpen, noch bevestigd kon worden. Een plus- of minteken (+ of -) betekent dat de hypothese (deels) bevestigd of verworpen kon worden met de aangeleverde data.

Tabel 1 De resultaten per hypothese van de van de statistische storingsanalyse van de deelnemende waterbedrijven.

✓: de storingsdata geven informatie over het in de hypothese gestelde verband.

+: de hypothese kon (deels) bevestigd worden met de aangeleverde data,

-: de hypothese kon (deels) verworpen worden met de aangeleverde data.

0: de hypothese kon niet bevestigd, noch verworpen worden.

Nr.	Invloeds-factor(en)	Hypothese	Resultaat
H1 ✓ +	Tijd	De conditie van leidingen neemt af in de tijd. Wanneer de conditie onder een bepaalde grenswaarde komt, neemt de kans op storingen toe.	Voor AC geverifieerd m.b.v. regressie analyse. Na 40 – 45 jaar is een exponentiele toename in de storingen te zien. Voor staal, gietijzer en PVC / PE is (nog) geen relatie tussen storingsfrequentie en leeftijd te zien.

Nr.	Invloeds-factor(en)	Hypothese	Resultaat
H2 √ +	Diameter	Voor diameters > 95 mm geldt, dat bij oplopende diameter de storingsfrequentie (het jaarlijkse aantal storingen per km) afneemt.	Geverifieerd met behulp van beschrijvende statistiek. De data van 5 van de 7 bedrijven gaven een bevestigend beeld, zij het met een ondergrens van 100 mm (vanwege een anders gekozen indeling was 95 mm niet te verifiëren).
H3	Bescherming	In- en uitwendige coating / bescherming verkleint de kans op storingen in leidingen.	Te weinig data beschikbaar om te verifiëren (sommige databases bevatten de parameter, maar consequente invulling ontbrak)
H4 √ 0	Bodemsoort	In zettingsgevoelige grond treden vaker storingen op dan in minder zettingsgevoelige grond. Bodemmateriaal in oplopende volgorde van zettingsgevoeligheid: zand, leem, klei, veen.	Uit de literatuur bleek dat de hypothese voor AC en GIJ geldig is; leidingen in klei vertonen vaker storingen dan in zand. Met behulp van een Box-Whiskerplot (gebaseerd op het aantal storingen, niet de storingsfrequentie) is aangetoond dat storingen in zand op jongere leidingleeftijd plaatsvonden dan in andere bodems. Er kon verder nauwelijks onderscheid gemaakt worden in het aantal storingen dat in klei en veen optrad.
H5 √ 0+	Materiaal (PVC)	Spontane storingen in PVC zijn vaker het gevolg van aanwijsbare materiaal-, aanleg-, of montagefouten, of uitwendige belasting dan veroudering of slijtage.	In de meeste databases waren de geregistreerde oorzaken niet voldoende onderscheidend ingevuld om hierover uitspraak te kunnen doen. Beschrijvende statistische analyse van één van de twee datasets waarbij wel duidelijk onderscheid mogelijk was, bevestigde de hypothese (DZH).
H6	Materiaal (AC) / bodem	AC-leidingen hebben een grotere kans op storingen in bodems met een lager kalkgehalte en/of pH dan in bodems met een hoger kalkgehalte en/of pH.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met GIS kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))
H7	Materiaal (GGIJ) / bodem	GGIJ-leidingen in verontreinigde bodems hebben een grotere kans op spontane storingen dan GGIJ-leidingen in niet verontreinigde bodems.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met GIS kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))
H8	Materiaal (AC) / grondwater	AC-leidingen in grondwater hebben een grotere kans op storingen dan AC-leidingen die niet in grondwater gelegen zijn.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Slechts 2 datasets bevatten de parameter, waarvan resp. 50 en 69 % zijn ingevuld. De totale lengtes in grondwater zijn niet bekend, er is dus geen uitspraak te doen over de kans op storingen.
H9	Materiaal (AC) / drinkwater	AC-leidingen met drinkwater met hogere S.I. hebben een grotere kans op spontane storingen dan leidingen met drinkwater met lage S.I.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met GIS kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))
H10	Materiaal (GGIJ) / drinkwater	GGIJ-leidingen met drinkwater met hogere C.I.-waarde hebben een grotere kans op spontane storingen dan leidingen met drinkwater met lagere C.I.-waarde.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met GIS kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))

Nr.	Invloeds-factor(en)	Hypothese	Resultaat
H11 √ -	Verkeers-belasting	Leidingen in de nabijheid van grotere verkeersbelasting (wegcategorieën voor zwaarder verkeer) hebben een grotere kans op storingen dan leidingen in de nabijheid van lichtere wegcategorieën.	Het resultaat van beschrijvende statistiek (Box-Whiskerplot) gebaseerd op de storingsdata verwerpt de hypothese. De leeftijd waarop leidingen onder hogere wegcategorieën storen ligt hoger dan die onder lager belaste wegcategorieën. Mogelijke verklaring kan zijn dat onder de hogere wegcategorieën grotere leidingen gelegen zijn die een grotere sterkte hebben, maar dit is met de huidige gegevens niet te verifiëren.
H12 √ 0	Bomen	Leidingen in de directe nabijheid van bomen (< 2 m) hebben een grotere kans spontaan te storen dan leidingen die niet in de directe nabijheid van bomen zijn gelegen.	Beschrijvende statistiek op basis van de storingsgegevens laat geen wezenlijk verschil zien tussen de leeftijd waarop storingen zijn opgetreden binnen of buiten een straal van 2 meter. De hypothese kan hiermee niet worden bevestigd, noch verworpen. Hoewel bekend is dat na storm meer storingen optreden door boomwortels, is dit moeilijk te bewijzen op basis van storingsdata.
H13 √ +	Grond-dekking	Leidingen met kleinere gronddekking hebben een grotere kans op storingen dan leidingen met grotere gronddekking.	Een Box-Whiskerplot (beschrijvende statistiek) van de storingsdata laat zien dat leidingen met een gronddekking < 1 m eerder storen dan leidingen met grotere gronddekking. Dit bevestigt de hypothese.
H14	Inwendige druk-variaties	Grotere inwendige drukvariaties vergroten de kans op storingen in leidingen.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combineren van de storingsdata met de gegevens van pompstations levert mogelijk meer informatie op over de validiteit van de hypothese.
H15	Afhankelijkheid eerdere storingen	Leidingsegmenten waarin zich al eerder storingen hebben voorgedaan, zullen vaker spontaan storen dan segmenten waarin nog nooit eerder storingen zijn opgetreden.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. De registraties zijn pas recentelijk (vanaf 2003) gestart. Om de hypothese te toetsen zijn gegevens over de hele levensduur nodig. De storingen zouden ook aan individuele leidingen gekoppeld moeten zijn. Door gebruik te maken van een leiding-ID kan dit in de toekomst wel geregistreerd worden.
H16	Materiaal (GIJ) / bodemsoort (klei) / bodemvocht gehalte	Voor gietijzeren leidingen in kleigrond is het bodemvochtgehalte bepalend voor het optreden van storingen.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd.
H17	Temperatuur / bodemvocht gehalte	Temperatuur beïnvloedt in combinatie met regenwatertekort de storingsfrequentie.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met data van het KNMI kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))

Uit de inventarisatie is gebleken, dat de storingsdatabases van de deelnemende waterbedrijven verschillen van opzet en inhoud. Een aantal bedrijven heeft de storingsregistratie gebaseerd op de in 2001 voorgestelde lijst van parameters. Op alle datasets kan beschrijvende statistiek toegepast worden. Regressie-analyse is alleen toepasbaar op de individuele dataset van WML, en de dataset waarin de data van meerdere bedrijven gecombineerd zijn. Kansberekening kan niet worden toegepast, omdat storingen niet aan individuele leidingen zijn gekoppeld.

Op basis van de lijst met te registreren parameters uit 2001 en nieuw verworven inzichten, is een nieuwe lijst met parameters en in te vullen waarden opgesteld (Tabel 33, p. 114 e.v.). Algemeen kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Waterbedrijven doen er goed aan storingsdata continu, consequent en accuraat te registreren, omdat de gegevens relevant zijn voor toekomstig beheer. Missende gegevens veroorzaken onzekerheid en ondermijnen de betrouwbaarheid van de conclusies. Door middel van een beperkt aantal keuzecategorieën op een standaard storingsformulier kan de volledigheid en eenduidigheid worden vergroot.
- Waar mogelijk moet de registratie betrekking hebben op waarnemingen, omdat die objectief meetbaar zijn en er dus geen beroep gedaan wordt op de subjectieve kennis en ervaring van de monteur.
- Om verschillende regio's met elkaar te kunnen vergelijken, zijn behalve de storings- en LIS-gegevens ook locatiegegevens nodig en is kennis vereist van in die periode opgetreden incidenten zoals hevige storm of drukproblemen op het pompstation.
- Via een leiding-identificatienummer kan een link worden gelegd met het LIS. Bijvoorbeeld materiaal, diameter en aanlegjaar kunnen dan later (automatisch) worden opgezocht. Een mogelijke manier van databeheer is een dataweb, waarin bijvoorbeeld leidingkenmerken, storingsdata, GIS, onderhoudsgegevens en -planning aan elkaar gekoppeld worden.

Voor de waterbedrijven is het van belang zich te realiseren met welk doel zij registreren, zodat zij hun inspanningen gericht kunnen aanwenden. Er is geen eenduidig antwoord op de vraag hoeveel storingen bekend moeten zijn voor zinvolle uitspraken; dat is onder andere afhankelijk van de kwaliteit van de registratie, de groepen waarover men iets wil weten en de mate van (on)zekerheid waarmee uitspraken gedaan (mogen) worden. Het belang van zorgvuldige registratie wordt vaak onderschat, omdat geldt:

De registratie van vandaag wordt pas relevant voor de managementbeslissingen van morgen.

Wachten met registreren tot er bekend wordt hoeveel data er moet zijn en waarom precies zal resulteren in een gebrek aan data op het moment dat het besef van de noodzaak doordringt.

Inhoud

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
	Inhoud	13
1	Inleiding	17
1.1	Achtergrond	17
1.2	Doel	18
1.3	Aanpak	18
1.4	Hypothesen	19
1.5	Leeswijzer	21
2	Statistiek voor storingsanalyse	23
2.1	De verdeling van storingen	23
2.2	Statistische modellen	24
2.2.1	Beschrijvend of voorspellend	24
2.2.2	Beschrijvende modellen	24
2.2.3	Regressiemodellen	25
2.2.4	Kansberekeningsmodellen	27
2.2.5	Databehoefte	28
2.3	Softwarepakketten	30
2.4	Statistiek voor de storingsgegevens van de waterbedrijven	30
3	Storingsanalyse waterleidingen in het buitenland	33
3.1	Spontane storingen	33
3.1.1	Factoren die het degradatieproces beïnvloeden	33
3.1.2	Statische invloedsfactoren	34
3.1.3	Dynamische invloedsfactoren	34
3.1.4	Operationele invloedsfactoren	36
3.2	Analyse met behulp van GIS	37
3.3	Bezwijkvormen en oorzaken	38
3.4	Conclusies	40
3.4.1	Bevindingen uit de internationale literatuur	40
3.4.2	Terugkoppeling hypothesen	41
3.4.3	Storingsregistratie	42
3.4.4	Analysemethoden	42
4	Storingsanalyse in andere sectoren	43
4.1	Ervaringen uit de vervoer-, gas- en elektriciteitssector	43
4.1.1	Een blik over de grenzen van de bedrijfstak	43

4.1.2	ProRail	43
4.1.3	NedTrain	44
4.1.4	Gastec	45
4.1.5	Ksandr	46
4.2	Belang voor de drinkwaterbedrijven	47
5	De storingsdata van Nederlandse waterbedrijven	49
5.1	Introductie	49
5.2	Brabant Water	52
5.2.1	LIS-gegevens	52
5.2.2	De storingsdatabase	53
5.2.3	Storingsanalyse	53
5.2.4	Conclusies	55
5.3	DZH	56
5.3.1	LIS-gegevens	56
5.3.2	De storingsdatabase	56
5.3.3	Storingsanalyse	57
5.3.4	Conclusies	61
5.4	Vitens Midden Nederland	62
5.4.1	LIS-gegevens	62
5.4.2	De storingsdatabase	63
5.4.3	Storingsanalyse	63
5.4.4	Conclusies	65
5.5	Oasen	67
5.5.1	LIS-gegevens	67
5.5.2	De storingsdatabase	68
5.5.3	Storingsanalyse	69
5.5.4	Conclusies	72
5.6	PWN	73
5.6.1	LIS-gegevens	73
5.6.2	De storingsdatabase	74
5.6.3	Storingsanalyse	74
5.6.4	Conclusies	76
5.7	WMD	78
5.7.1	LIS-gegevens	78
5.7.2	De storingsdatabase	78
5.7.3	Storingsanalyse	79
5.7.4	Conclusies	80
5.8	WML	81
5.8.1	LIS-gegevens	81
5.8.2	De storingsdatabase	82
5.8.3	Storingsanalyse	83
5.8.4	Conclusies	86
5.9	Conclusies storingsanalyse waterbedrijven	87
5.9.1	Storingsregistratie	87
5.9.2	Mogelijkheden en beperkingen statistische analyse	87
6	Statistische analyse van de gecombineerde dataset	91

6.1	Beschrijvende statistiek - externe factoren	91
6.2	Regressiemodel - leeftijd	102
6.2.1	AC-leidingen	102
6.2.2	PVC-leidingen	104
6.2.3	GIJ-leidingen	105
6.2.4	ST-leidingen	106
6.3	Conclusies m.b.t. de meerwaarde van het samenvoegen van datasets	107
7	Conclusies & aanbevelingen	109
7.1	Conclusies en aanbevelingen m.b.t. de (statistische) analyse	109
7.2	Conclusies en aanbevelingen m.b.t. de storingsdatabases	112
	Literatuur	117
I	Minimaal te registreren parameters - Aanbevelingen 2001	119
II	Statistiek – De Weibull verdeling	121
III	Minimaal te registreren elementen volgens InfraGuide & AwwaRF	123
IV	Bijlage bij hoofdstuk 5 – De storingsdata van de Nederlandse waterbedrijven	125
V	Memo “Aanbevelingen Storingsregistratie”	157
VI	Categorisering storingsdatabase Vitens MN	167
VII	Klantperceptie parameters	171

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Degradatie van het drinkwaterdistributienet kan leveringsonderbrekingen, drukverlies en afname van de waterkwaliteit veroorzaken. Om te weten wat de verwachte restlevensduur van delen van het leidingnet is, is inzicht nodig in de conditie van de leidingen en appendages en is kennis nodig over het verwachte degradatieverloop. Monitoren van de conditie van het leidingnet door middel van inspectie is echter relatief duur. Een goedkoper alternatief om de verwachte restlevensduur te bepalen, is het analyseren van storingsgegevens.

In 1985 is in het kader van Kiwa/VEWIN-onderzoek de relatie tussen kenmerken van het leidingnet en de leveringszekerheid onderzocht. Met behulp van beschrijvende statistiek zijn de storingsgegevens van één jaar (1985) van zes waterbedrijven geanalyseerd (Baggelaar & van Rotterdam, 1988). Uit het onderzoek bleek dat de meeste storingen plaatsvonden op AC, op leidingen van (toen) 20 – 30 jaar oud. De storingsfrequentie was het hoogst voor gietijzeren leidingen, terwijl deze voor AC, PVC en PE ongeveer gelijk was, en daalde bij toenemende diameter (vanaf 95 mm). Er werd aanbevolen om de storingsregistratie en verwerking van storingsgegevens voort te zetten om de invloed van tijd en andere factoren op storingen in een leiding te onderzoeken.

Een eerste aanzet tot het standaardiseren van de storingsregistraties van alle Nederlandse waterbedrijven werd in 2001 gegeven met de workshop 'Landelijke storingsregistratie', mede gebaseerd op de storingsregistratie in de energiesector. De workshop heeft geleid tot 'een lijst met parameters voor een goede storingsregistratie' (Trietsch, 2001 in Bijlage I), waarin storingen gedefinieerd zijn als ongeplande onderbrekingen van de waterlevering. In het onderhavige Storingsanalyse-rapport is gebruik gemaakt van deze definitie en is een inventarisatie opgenomen van de storingsregistratie van zeven Nederlandse waterbedrijven. De inventarisatie laat zien in hoeverre de huidige storingsregistratiepraktijk overeenkomt met de aanbevelingen uit 2001.

Eerder onderzoek naar degradatie van AC (Slaats en Mesman, 2003), PVC (Breen, 2006) en gietijzeren (Mesman en Slaats, 2004) leidingen heeft een aantal factoren aan het licht gebracht die het degradatieproces beïnvloeden. In het Kennissysteem Levensduurbepaling (KSLB) hebben Trietsch en Rosenthal (2004) de onderzoeksresultaten gebruikt om met behulp van de gevonden invloedsfactoren de levensduur van AC en gietijzeren leidingen te voorspellen. Aan de regels van het KSLB liggen een aantal veronderstellingen ten grondslag over verbanden tussen omgevingsfactoren en leidingkenmerken en het degradatieproces over de tijd. In het KSLB wordt uitgegaan van een jaarlijkse lineaire conditieafname, afhankelijk van de restlevensduur. Door met behulp van statistische analyse van de

storingsgegevens (in combinatie met informatie over bijv. leidingkenmerken en omgevingsfactoren) de veronderstelde verbanden te toetsen, kan een terugkoppeling worden gemaakt naar de kennisregels afkomstig van het materialenonderzoek.

1.2 Doel

In het onderhavige project *Statistische storingsanalyse* wordt onderzocht wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van de storingsregistratie van de Nederlandse waterbedrijven anno 2006 om:

- een idee te krijgen van de (relatieve) prestaties van groepen assets, trends en opvallende zaken te signaleren en hieruit eventueel hypothesen te destilleren;
- veronderstelde verbanden tussen leidingfactoren en degradatie uit eerder onderzoek te verifiëren;
- de levensduur van bepaalde leidinggroepen te voorspellen (bijvoorbeeld AC in klei);
- de faalkans van een specifieke leiding op een bepaald moment te berekenen.
-

Het project beperkt zich tot het formuleren en verifiëren van verbanden tussen leidingkenmerken en het degradatieverloop in de tijd. Eventuele verbanden met omgevingsfactoren worden slechts in beschouwing genomen voor zover ze in de storingsregistratie opgenomen zijn. In het project *Conditiebepaling* zal de invloed van omgevingsfactoren op het optreden van storingen uitvoeriger worden onderzocht.

1.3 Aanpak

Om een inventarisatie te kunnen maken van de storingsdata van de Nederlandse waterbedrijven is hen in een enquête verzocht hun storingsdatabase en leidingnetkarakteristieken ter beschikking te stellen voor analyse. Zeven bedrijven hebben geheel of gedeeltelijk aan dit verzoek gehoor gegeven, namelijk:

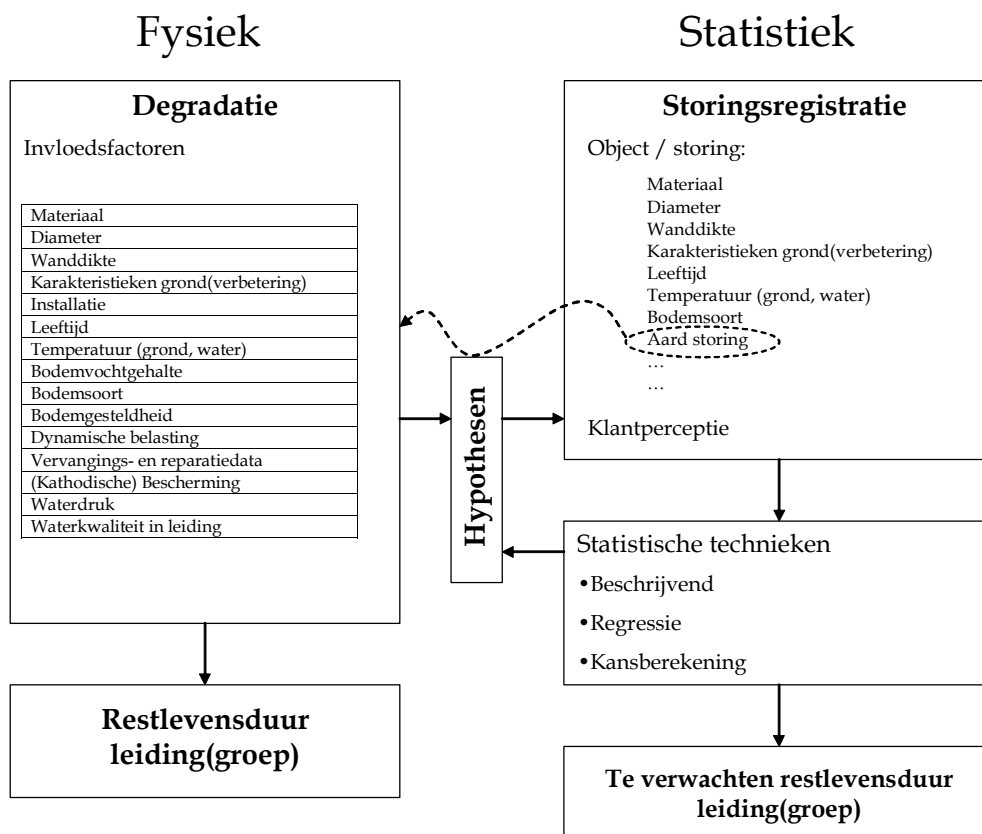
- Brabant Water
- Duinwaterbedrijf Zuid-Holland: DZH
- Hydron Midden Nederland (tegenwoordig onderdeel van Vitens)
- Oasen
- Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland: PWN
- Waterleiding Maatschappij Drenthe: WMD
- Waterleiding Maatschappij Limburg: WML

Elke database is apart geanalyseerd met behulp van statistische methoden om te kijken of er verbanden tussen storingen enerzijds en leidingkenmerken anderzijds geformuleerd of geverifieerd kunnen worden. Hiervoor worden hypothesen gebruikt die zijn opgesteld aan hand van de resultaten van eerder onderzoek; ze worden besproken in de volgende paragraaf. Een aantal

individuele datasets zijn bovendien gecombineerd tot één database om te zien of dit extra mogelijkheden biedt voor het trekken van conclusies.

1.4 Hypothesen

Eerder onderzoek uitgevoerd door Kiwa Water Research en TNO naar het degradatieproces van verschillende leidingmaterialen heeft geresulteerd in een aantal veronderstellingen over leiding- en omgevingsfactoren die het degradatieproces beïnvloeden. De (impliciete) veronderstellingen uit voorgaand materialenonderzoek zijn hier als hypothesen geformuleerd. In het materialenonderzoek wordt gesproken over conditie(afname); voor de hypothesen in dit rapport is dat vertaald naar het optreden van storingen, of storingsfrequentie.



Figuur 1 Door middel van statistische analyse van storingsgegevens kunnen hypothesen over het degradatieverloop worden getoetst en kunnen nieuwe hypothesen worden geformuleerd. Met voldoende relevante data kunnen uitspraken worden gedaan over o.a. te verwachten restlevensduur van (groepen) leidingen. Ter illustratie (zie stippellijn): wanneer de aard van de storing voldoende vaak is geregistreerd, kan een mogelijk verband met het optreden van storingen worden getoetst via een hypothese.

In Figuur 1 is weergegeven hoe statistiek van storingsgegevens zich verhoudt tot het fysieke degradatieproces en dat dit door middel van hypothesen getoetst kan worden. De gestippelde lijn illustreert hoe een geregistreerde parameter – indien voldoende vaak ingevuld – gebruikt kan worden om uitspraak te doen over een hypothese, die op zijn beurt betrekking heeft op het fysieke degradatieproces. Links staat het fysieke degradatieproces met de factoren die erop van invloed zijn weergegeven. Op een bepaald moment in de tijd kan het degradatieverloop of de toestand van de leiding(-groep) weergegeven worden door de rest levensduur. Rechts in de figuur staan mogelijke parameters in de storingsregistratie. Indien er voldoende gegevens geregistreerd zijn van een bepaalde parameter, kan met behulp van statistische methoden uitspraak worden gedaan over de huidige en toekomstige toestand van het leidingnet onderdeel. Met behulp van hypothesen kunnen veronderstelde verbanden worden aangetoond. Een statistisch verband hoeft echter niet overeen te komen met een oorzakelijke relatie in de fysieke wereld.

Tabel 2 Hypothesen opgesteld uit eerder onderzoek

Nr.	Invloedsfactor(en)	Hypothese
H1	Tijd	De conditie van leidingen neemt af in de tijd. Wanneer de conditie onder een bepaalde grenswaarde komt, neemt de kans op storingen toe.
H2	Diameter	Voor diameters > 95 mm geldt, dat bij oplopende diameter de storingsfrequentie (het jaarlijkse aantal storingen per km) afneemt
H3	Bescherming	In- en uitwendige coating / bescherming verkleint de kans op storingen in leidingen.
H4	Bodemsoort	In zettingsgevoelige grond treden vaker storingen op dan in minder zettingsgevoelige grond. Bodemmateriaal in oplopende volgorde van zettingsgevoeligheid: zand, leem, klei, veen.
H5	Materiaal (PVC)	Spontane storingen in PVC zijn vaker het gevolg van aanwijsbare materiaal-, aanleg-, of montagefouten, of uitwendige belasting dan veroudering of slijtage.
H6	Materiaal (AC) / bodem	AC-leidingen hebben een hogere kans op storingen in bodems met een lager kalkgehalte en/of pH dan in bodems met een hoger kalkgehalte en/of pH.
H7	Materiaal (GGIJ) / bodem	GGIJ-leidingen in verontreinigde bodems hebben een grotere kans op spontane storingen dan GGIJ-leidingen in niet verontreinigde bodems.
H8	Materiaal (AC) / grondwater	AC-leidingen in grondwater hebben een grotere kans op storingen dan AC-leidingen die niet in grondwater gelegen zijn.
H9	Materiaal (AC) / drinkwater	AC-leidingen met drinkwater met hogere S.I. hebben een grotere kans op spontane storingen dan leidingen met drinkwater met lage S.I.
H10	Materiaal (GGIJ) / drinkwater	GGIJ-leidingen met drinkwater met hogere C.I.-waarde hebben een grotere kans op spontane storingen dan leidingen met drinkwater met lagere C.I.-waarde.

Nr.	Invloedsfactor(en)	Hypothese
H11	Verkeersbelasting	Leidingen in de nabijheid van grotere verkeersbelasting (wegcategorieën voor zwaarder verkeer) hebben een grotere kans op storingen dan leidingen in de nabijheid van lichtere wegcategorieën.
H12	Bomen	Leidingen in de directe nabijheid van bomen (< 2 m) hebben een grotere kans op spontane storingen dan leidingen die niet in de directe nabijheid van bomen zijn gelegen.
H13	Gronddekking	Leidingen met kleinere gronddekking hebben een grotere kans op storingen dan leidingen met grotere gronddekking.
H14	Inwendige drukvariaties	Grotere inwendige drukvariaties vergroten de kans op storingen in leidingen.
H15	Afhankelijkheid eerdere storingen	Leidingsegmenten waarin zich al eerder storingen hebben voorgedaan, zullen vaker spontaan storen dan segmenten waarin nog nooit eerder storingen zijn opgetreden.

In dit onderzoek worden deze hypothesen getoetst, voor zover dit mogelijk is met de storingsdatabases en het LIS van de genoemde bedrijven. Met name hypothesen 1, 2, 3, 5 en 15 zullen hiermee worden onderzocht. Welke van deze, of de overige hypothesen getoetst kunnen worden, is afhankelijk van wat er in de storings- en leidingenregistratie is opgenomen.

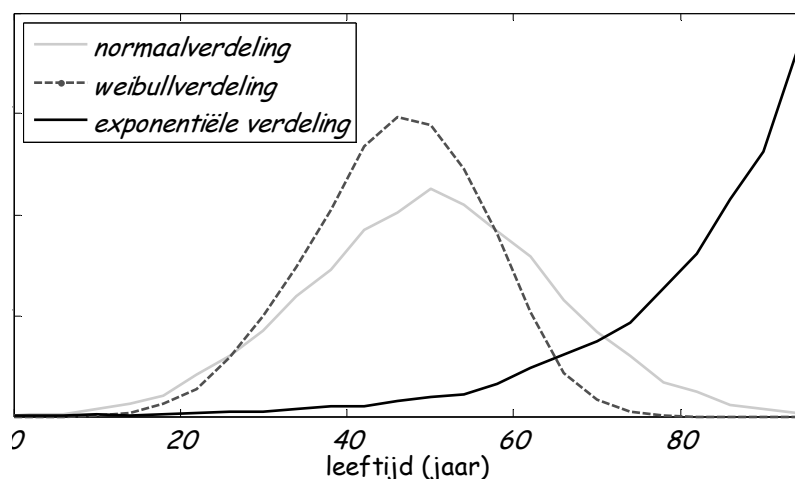
1.5 Leeswijzer

Om aan de hand van storingsanalyse te laten zien wat de mogelijkheden en beperkingen van storingsregistratie zijn, zijn drie onderdelen van belang: 1) kennis van statistische analyse, 2) de storingsgegevens en 3) de gegevens van het leidingnet (LIS). In het volgende hoofdstuk wordt een beknopt overzicht van relevante statistiek gegeven. Hoofdstukken 3 en 4 geven achtereenvolgens een samenvatting van internationaal literatuuronderzoek naar storingsanalyse van waterleidingen en nationaal onderzoek naar storingsanalyse in de vervoer-, gas-, en elektriciteitssectoren. In hoofdstuk 5 worden de beschikbaar gestelde storingsgegevens geïnventariseerd en geanalyseerd. Per waterbedrijf wordt gekeken welke statistische analyse technieken op de storings- en leidinggegevens toegepast kunnen worden. De resultaten van de statistische analyse worden gebruikt om de hypothesen uit de vorige paragraaf te toetsen en eventuele nieuwe relaties te formuleren. In hoofdstuk 6 wordt gekeken of door het combineren van databases meer kennis gegenereerd kan worden, of hypothesen met grotere zekerheid bevestigd of verworpen kunnen worden. In het laatste hoofdstuk wordt geconcludeerd in hoeverre de storingsregistraties overeenkomen met de aanbevelingen voor storingsregistratie uit 2001. De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie voor de waterbedrijven worden beoordeeld op basis van de waarde die de data hebben voor het toetsen van hypothesen, het aan het licht brengen van nieuwe verbanden en het voorspellen van de restlevensduur van (groepen) leidingen. Tot slot zullen aanbevelingen worden gedaan om de mogelijkheden van de storingsregistratie te vergroten en de beperkingen te verminderen.

2 Statistiek voor storingsanalyse

2.1 De verdeling van storingen

Bij het analyseren van storingsdata wordt uitgegaan van een bepaalde verdeling volgens welke de storingen optreden in de tijd. Vaak voorkomende verdelingen zijn normaal, exponentieel, of Weibull (zie Figuur 2). Door middel van statistische analyse kan bij de beschikking over voldoende data worden vastgesteld welke verdeling geldt.



Figuur 2 Voorbeeld van storingsverloop van een leidinggroep volgens een normale, exponentiële en Weibull verdeling

De normale verdeling in het voorbeeld laat zien dat de meeste storingen optreden bij een leeftijd van ongeveer 50 jaar. De verdeling is in het voorbeeld toegepast op de leeftijd waarop scheur optreedt in PVC. Na het optreden van scheur in PVC wordt het leidingdeel vervangen, waardoor er geen toename van het aantal scheuren in de tijd zal optreden. De exponentiële verdeling geeft het optreden van storingen in de tijd weer bij leidingen die gerepareerd in plaats van vervangen worden. De verdeling kan bijvoorbeeld toegepast worden op het optreden van storingen door gaten in gietijzeren leidingen in de tijd. De gaten worden gerepareerd, waarna dezelfde leiding weer functioneert, maar naarmate de tijd vordert, zullen steeds meer storingen korter na elkaar optreden. De Weibull verdeling lijkt qua verloop op een normale verdeling en wordt vaak toegepast voor storingsanalyse in andere sectoren. N.B. De aanloop van de normale en Weibull verdelingen lijken exponentieel. Een beknopte uitleg van de Weibull verdeling is gegeven in B Bijlage II.

In het geval onderdelen niet preventief onderhouden worden en vervanging plaatsvindt op het moment dat er falen optreedt, kan een statistische analyse uitgevoerd worden op de tussenliggende periode tussen twee storingen, of de storingsfrequentie. Dit vereist een database met daarin per leidingdeel of

appendage opgenomen de geschiedenis van onderhouds-, reparatie- en vervangingswerkzaamheden. Als er aantasting heeft plaatsgevonden, of als er enige vorm van onderhoud wordt gepleegd (bijvoorbeeld schoonmaken), dan wordt statistische analyse van de storingsdata bemoeilijkt, doordat er een onbekende wijziging in de situatie is opgetreden. De vraag is welke faaloorzaak dan maatgevend is en welke verdeling van toepassing is. In de literatuur uit de farmaceutische industrie geeft Christiaan (2005) een indicatie van verdelingen van storingsoorzaken (zie Tabel 3). De verdelingen die hij gebruikt, zijn de normale, de exponentiële en de Weibull verdeling.

Tabel 3 Verdeling van bepaalde faaloorzaken van farmaceutische apparatuur [Bron: D. Christiaan 2005, p. 48]

Faaloorzaak	Exponentieel	Normaal	Weibull
Deformatie			x
Breuk	x		
Corrosie			x
Kruip		x	
Vermoeiing			x
Erosie			x
Slijtage		x	x

2.2 Statistische modellen

2.2.1 Beschrijvend of voorspellend

Statistische analysemethoden van storingsdata kunnen worden onderverdeeld in beschrijvende en voorspellende modellen. Beschrijvende modellen kijken naar het heden, terwijl voorspellende modellen een poging doen om toekomstige storingen te voorspellen. De voorspellende modellen kunnen worden opgesplitst in regressie- en kansberekeningmodellen, waarbij regressie op een groep wordt toegepast en kansberekening op individuele leidingen.

2.2.2 Beschrijvende modellen

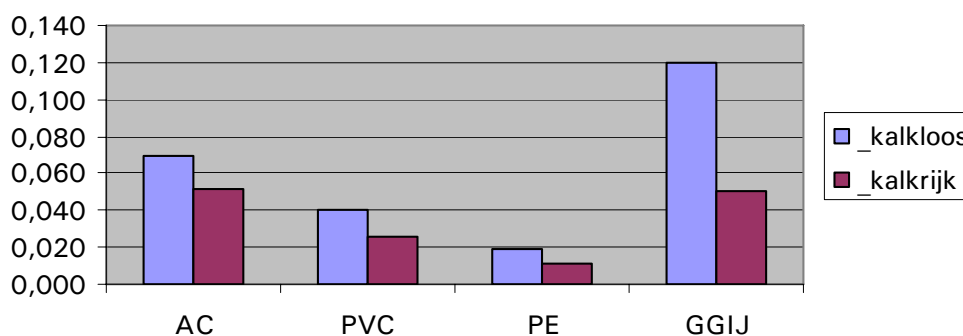
Beschrijvende modellen geven een beeld van het huidige storingsgedrag van het leidingnet. Vaak wordt het leidingnet opgedeeld in leidinggroepen waardoor factoren die een invloed op de faalkans hebben, kunnen worden geïdentificeerd. Uit een beschrijvende analyse kan bijvoorbeeld naar voren komen dat leidingen vaker storen bij ligging in agressieve grond of bij aanleg in een bepaalde periode of een combinatie van factoren. Een belangrijke succesfactor voor beschrijvende modellen is de beschikbaarheid van data. De geregistreeerde parameters bepalen de criteria op basis waarvan leidingen worden gegroepeerd.

Beschrijvende modellen zijn beperkt bruikbaar voor het opstellen van onderhouds- en vervangingsplannen, omdat ze enkel de huidige situatie

weergegeven en dus geen uitspraken doen over de toekomst. Voor onderhouds- en vervangingsplannen op korte termijn kunnen deze modellen wel gebruikt worden. Beschrijvende modellen zijn eenvoudig op te stellen met een relatief beperkte hoeveelheid data.

Een voorbeeld van de toepassing van beschrijvende statistiek op het distributienetwerk is weergegeven in Figuur 3. In de figuur is een staafdiagram te zien waarin de storingsfrequenties van verschillende materialen van een leidingnet zijn aangegeven. Per materiaal is aangegeven hoeveel storingen jaarlijks per km leiding in kalkloze en in kalkrijke grond optraden. Door de storingen per km per jaar van elk materiaal apart te bekijken, kunnen leidinggroepen worden geïdentificeerd (in dit voorbeeld gedefinieerd op basis van materiaal en ligging in kalkrijke, of -loze grond) die relatief vaak storen. Uit de figuur blijkt dat met name voor gietijzer en PE kalkgehalte een belangrijke factor in de storingsfrequentie is. Hoewel te verwachten is dat het grootste verschil zichtbaar is bij AC, kan het verschil voor gietijzer en PE verklaard worden door de ongelijke leidinglengtes waarin de storingen zijn opgetreden. In het geval van PE in kalkrijke grond is de storingsfrequentie gebaseerd op slechts één storing. Omdat er echter ook een relatief kleine lengte PE in kalkrijke bodem ligt, geeft dit een grotere onzekerheid. Dit is niet in de figuur aangegeven, maar hiermee moet bij het beschouwen van soortgelijke figuren wel rekening worden gehouden, bijvoorbeeld door het aangeven van foutmarges.

Storingsfrequentie in kalkloze en kalkrijke bodems



Figuur 3 Voorbeeld van de storingsfrequentie van materiaalgroepen in een leidingnet
[Bron: Data PWN 2003 t/m maart 2005, zie ook § 5.7]

2.2.3 Regressiemodellen

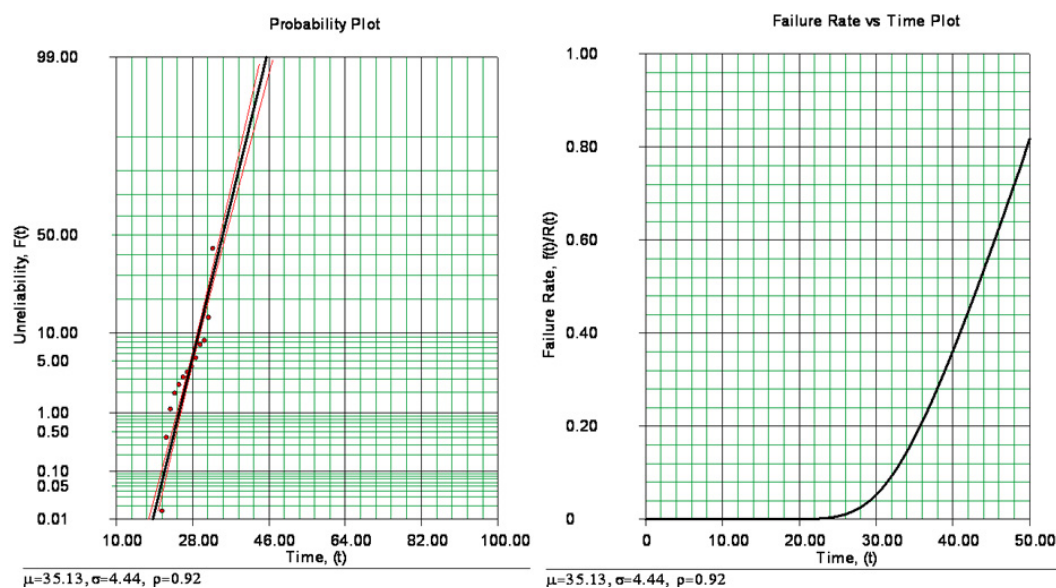
Een regressiemodel geeft een voorspelling van de storingsfrequentie van een groep leidingen. Regressie-analyse is een statistische techniek voor het analyseren van gegevens waarin (mogelijk) sprake is van een specifieke samenhang, aangeduid als regressie. Het verband kan bijvoorbeeld lineair of exponentieel zijn. Voor een leidingnet gaat het normaliter om het verband tussen storingsfrequentie en liggingduur. Door de relatie tussen

storingsfrequentie en bepaalde factoren te kwantificeren kan ook een uitspraak worden gedaan over toekomstige storingen.

Een variant op regressie-analyse is het 'counting process' model dat het verband bestudeert tussen het cumulatief aantal storingen en de leidingleeftijd. Dit verband geeft snel inzicht in een eventuele toe- of afname van de herhalingsstijd van een storing. Dit inzicht is vooral van belang bij een verloop van de storingsfrequentie van leidingen volgens de zogenaamde 'badkuip-kromme'. In de badkuip-kromme worden drie fasen weergegeven: 1) een aanloophase met een hoge storingsfrequentie door bijvoorbeeld bouwwerkzaamheden, 2) een stabiele fase met een relatief lage storingsfrequentie en 3) een verouderingsfase met een snel toenemende storingsfrequentie.

Regressie-modellen zijn bruikbaar voor globale onderhouds- en vervangingsplannen. De uitkomst geeft een voorspelling van de toekomstige faalfrequentie. Echter, de faalfrequentie wordt gegeven per leidinggroep. De resultaten kunnen daarom niet gebruikt worden voor onderhouds- en vervangingsplannen op het niveau van individuele leidingen, maar zijn wel geschikt voor capaciteitsplanning en investeringsprognose. Regressie-modellen zijn eenvoudig op te stellen en hebben, vergeleken met de in paragraaf 2.2.1 besproken beschrijvende modellen, een grotere databehoeft.

Een voorbeeld van de toepassing van regressie-analyse voor storingsdata is weergegeven in Figuur 4, waarin het verloop van de storingsfrequentie als functie van de levensduur per onderdelen-/leidinggroep te zien is. Door extrapolatie kan de toekomstige faalfrequentie worden voorspeld. In dit voorbeeld is in het linkerdiagram een plot gemaakt van de kans op storingen van een groep onderdelen uit het elektriciteitsnetwerk in de tijd.



Figuur 4 Voorbeeld van regressie-analyse in de E-sector: storingsfrequentie in de tijd van een groep onderdelen [Bron: Ksandr (2006), *Statistical failure analysis*]

Hieruit kan de storingsfrequentie uitgezet tegen de leeftijd worden afgeleid (rechterdiagram in Figuur 4). De storingsfrequentie van die groep onderdelen bij een bepaalde leeftijd kan dan worden afgelezen uit de grafiek.

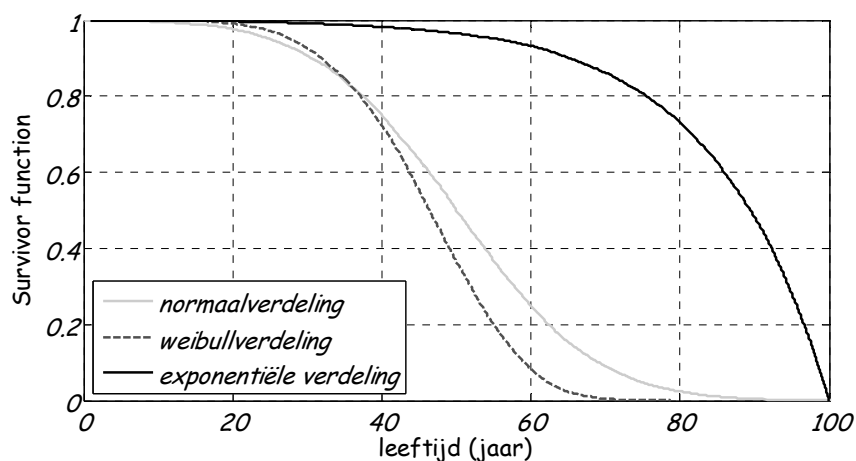
2.2.4 Kansberekeningsmodellen

Een kansberekeningmodel geeft een voorspelling van de faalkans op een bepaalde leeftijd van een individuele leiding (gegeven het storingsverleden van de leiding). Kansberekeningmodellen berekenen de kans dat een willekeurige leiding op een willekeurig tijdstip faalt en zijn daarom goed bruikbaar voor het opstellen van onderhouds- en vervangingsplannen op het niveau van individuele leidingen.

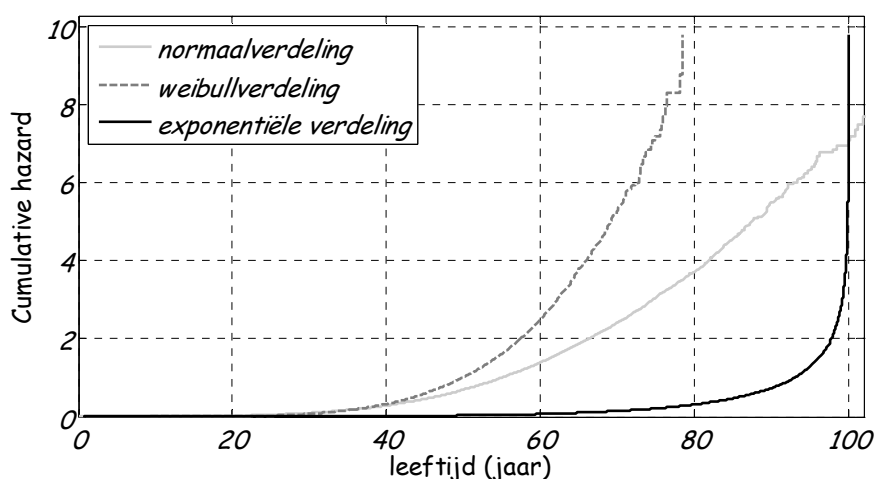
Twee veel gebruikte benaderingen bij het opzetten van een kansberekeningmodel zijn:

1. De survivorfunctie; geeft het percentage leidingen dat bij een bepaalde levensduur nog niet heeft gefaald. Bij de survivorfunctie wordt veelal gebruik gemaakt van een Weibullverdeling en een proportional hazard model (WPHM). Voor individuele leidingen ziet de survivorfunctie er uit zoals weergegeven in Figuur 5. Een voorbeeld van de cumulatieve hazardfunctie is weergegeven in Figuur 6 en zegt iets over een leiding van een bepaalde leeftijd, gegeven het feit dat deze tot die tijd nog niet is vervangen. Wanneer uitsluitend gekeken wordt naar leidingen die nog niet vervangen zijn, kan met de cumulatieve hazardfunctie de faalkans van een leiding van een bepaalde leeftijd beschreven worden. In het voorbeeld van Figuur 6 is te zien dat een leiding die de 70 jaar reeds heeft gehaald een grote kans om te falen heeft. Deze kans is echter niet gelijk aan de kans volgens de waarschijnlijkheidsverdeling. De feitelijke (instantane) faalkans wordt beschreven door de hazardfunctie(s).
2. Berekening van de kans op storingen met behulp van het Homogene Poisson Proces (HPP) en het Niet-Homogene Poisson Proces (NHPP). De Poissonverdeling is een discrete kansverdeling die van toepassing is op fenomenen die 0, 1, 2, 3... keer voorkomen gedurende een gegeven tijdsinterval, of in een bepaald gebied.

Het HPP heeft geen tijdcomponent en is daarom het meest geschikt voor het berekenen van de faalkans in de 'useful life period', het rechte stuk van de badkuipkromme. NHPP neemt wel de tijdcomponent in beschouwing en kan daarom ook gebruikt worden voor het berekenen van de faalkans van een leidinggroep waarvan de levensduur zich in de begin- of eindfase van de badkuipkromme bevindt.



Figuur 5 Survivorfunctie voor een normaal, exponentieel en Weibull verdeeld storingsverloop. Bij een normaalverdeling is de kans dat een leiding ouder dan 20 jaar wordt (de 'overlevingskans') bijna 100%, terwijl voor ouder dan 40 jaar de kans is gedaald tot 75% en voor ouder dan 60 jaar verder gedaald is tot 25%



Figuur 6 De faalkans van normaal, exponentieel of Weibull verdelingen beschreven door middel van een cumulatieve hazardfunctie

2.2.5 Databehoeftes

In Tabel 4 is de databehoeftes per statistisch model samengevat weergegeven. Voor kansberekeningmodellen is het bovendien nodig dat:

- storings gekoppeld zijn aan individuele leidingen;
- de storingsdata over de volledige levensduur beschikbaar zijn.

Voor storingsanalyse met een kansberekeningmodel moet een leidinggroep homogene leidingkenmerken en omgevingsfactoren bezitten. De lengte van leidingen in het LIS kan sterk variëren omdat deze voornamelijk wordt bepaald door de hydraulische knooppunten. Deze variatie kan problemen opleveren bij het opstellen van onderhouds- en vervangingsplannen op basis

van het aantal geregistreerde storingen. Uit onderzoek van Lei en Saegrov (1998) blijkt dat het aantal geregistreerde storingen van een leiding een belangrijke indicator is bij het voorspellen van storingskans. Korte leidingen met een hoge faalfrequentie kunnen door de variatie van de leidinglengte weinig geregistreerde storingen bevatten terwijl lange leidingen met een lage faalfrequentie meer geregistreerde storingen bevatten. Kortom, segmentering van leidingen voor storingsanalyse is anders dan voor bijvoorbeeld een hydraulisch model, of een administratief LIS. Het advies is zo lang mogelijke lengtes bij homogene kenmerken (leeftijd, materiaal, etc.). Op basis van welke kenmerken leidinggroepen gedefinieerd worden, blijkt uit de beschrijvende statistische analyse.

Tabel 4 Benodigde invoer per statistisch analysemodel

Model	Benodigde data	Variabelen
Beschrijvend	1 Storingen afgelopen jaar	Leidingkenmerken
		Datum
		Storingskenmerken
	2 LIS-gegevens (lengtes van leidingdelen hoofdgroepen)	
Regressie	1 Grote hoeveelheid storingen per leidinggroep, bij voorkeur tenminste 20 storingen per significante factor	Leidingkenmerken
		Incl. aanlegjaar
		Datum
		Storingskenmerken
	2 LIS-gegevens (lengtes van leidingdelen hoofd- en subgroepen)	
	3 Locatie / incidenten	
	4 Externe info	Weer / klimaat
		Waterkwaliteit / druk
		Omgevingskarakteristieken
		Etc.
Kansberekening	1 Alle storingen over de gehele levensduur per leidingsegment	Leidingkenmerken
		Incl. aanlegjaar
		Datum
		Storingskenmerken
		Gekoppeld aan ID
	2 LIS-gegevens (lengtes van leidingdelen in hoofd- en subgroepen)	
	3 Locatie / incidenten	
	4 Externe info	Weer / klimaat
		Waterkwaliteit / druk
		Omgevingskarakteristieken
		Etc.

2.3 Softwarepakketten

Het aantal generieke softwarepakketten voor statistische analyse is zeer groot. Er zijn tal van softwarepakketten beschikbaar, waaronder:

- Excel
- SPSS (o.a. toegepast in de sociale wetenschap en bedrijfskunde)
- SAS (breed pakket met een goede statistische module)
- GENSTAT
- Matlab

De meeste softwarepakketten worden toegepast voor statische analyse in brede zin, van het bepalen van de effectiviteit van een nieuw medicijn tot de analyse van een klantendatabase.

Softwarepakketten voor de analyse van waterleidingnetwerken bevatten in sommige gevallen ook een module voor de analyse van storingsdata van leidingen. Dit zijn onder andere:

- CARE-W FAIL (Saegrov, 2004)
- LCC AM/QM (S&G en Partners)
- PARMS (Burn et al, 2003)
- PIPES (Seattle Public Utilities)
- WARP (Rajani en Kleiner, 2001)

Deze pakketten hebben bijvoorbeeld Weibull Proportional Hazard Model (WPHM), of Non-Homogeneous Poisson Model (NHPM) ingebouwd en zijn soms met GIS geïntegreerd. In het rapport *Prestatie en kosten van distributie-assets* (C.F.T. Kivit en E.J.M. Blokker, 2006) worden bovenstaande softwarepakketten (met uitzondering van PIPES) nader beschouwd. Meer informatie over PIPES is te vinden op de website van Seattle Public Utilities.

2.4 Statistiek voor de storingsgegevens van de waterbedrijven

Beschrijvende modellen kunnen vrijwel altijd (meer of minder gedetailleerd) worden toegepast. Het is een geschikte vorm van statistiek om de analyse mee te beginnen, omdat het een globale indruk geeft van de opgetreden storingen en opvallende zaken aan het licht brengt. De storings- en LIS-gegevens van één jaar kunnen al voldoende zijn om een beeld te krijgen van de storingen in een regio. Beschrijvende statistiek is bovendien handig om gevoel te krijgen voor de belangrijke factoren op basis waarvan de leidingen in groepen ingedeeld kunnen worden.

In hoeverre regressie-analyse toegepast kan worden is afhankelijk van de kwaliteit en kwantiteit van de beschikbare data. In hoofdstuk 5 en 6 zal aan de hand van de beschikbaar gestelde data van de waterbedrijven gekeken worden of regressie-analyse mogelijk is. In de beschouwing wordt alleen naar interne factoren uit de storingsregistratie gekeken, dat wil zeggen dat de relatie met klimaat en bodem in dit rapport niet is bekeken. Voor een analyse van de relatie van storingsgegevens met omgevingsfactoren wordt verwezen

naar het rapport *Storingsanalyse omgevingsfactoren* (Van Daal en Van Baar, in voorbereiding).

Kansberekeningmodellen zijn niet toegepast, omdat storingen niet aan individuele leidingen zijn gekoppeld. Het vermoeden is bovendien dat bij het voorspellen van de kans dat een leiding op een bepaald moment faalt externe factoren van belang zijn (zie daarvoor de hypothesen in Tabel 2, pagina 20).

Specifieke software voor waterleidingnetwerken wordt enkel genoemd. Voor voorbeelden van toepassingen en uitgebreide informatie wordt verwezen naar andere rapporten (o.a. Kivit en Blokker, 2006; Beuken, 2006). In dit project is gebruik gemaakt van de basis software Excel en daarnaast van de generieke statistische pakketten SPSS en Matlab.

3 Storingsanalyse waterleidingen in het buitenland

3.1 Spontane storingen

3.1.1 Factoren die het degradatieproces beïnvloeden

In dit hoofdstuk worden resultaten uit de internationale literatuur op het gebied van storingsanalyse van drinkwaterinfrastructuur beschreven. De beschrijving richt zich op parameters die een invloed hebben op de storingsfrequentie en bezwijkvormen waarin falen zich uit.

Kettler en Goulter vonden in 1985 een lineair verband tussen storingsfrequentie en de leeftijd van de AC-leidingen. Uit recentere literatuur (o.a. Marshall, 2001; Kleiner & Rajani, 2002; Hu & Hubble, 2005) kan echter worden opgemaakt, dat leeftijd op zich niet bepalend hoeft te zijn voor de te verwachten levensduur van een (onder)deel van het leidingnet. Zo proberen Le Gat en Eisenbeis (2000) met behulp van WPHM (zie § 0) verklarende factoren te vinden voor het optreden van storingen. Zij delen groepen in op basis van materiaal, diameter en bodemsoort en bekijken de invloed van het type verbinding, de bodemgesteldheid, de verkeersbelasting en de interne druk. Uit het onderzoek blijkt, dat inachtnaam van omgevingsfactoren de nauwkeurigheid van voorspellingen verbetert. De invloedsfactoren op storingen van het hoofdleidingennet kunnen de fysieke buiskarakteristieken zijn (bijvoorbeeld buigsterkte, E-modulus), omgevingsfactoren (bijvoorbeeld grondsoort, temperatuur, grondwaterstand), of operationele karakteristieken (zoals het gebruik en onderhoud, herstel- en vervangingsprocedures). Deze factoren, of combinaties ervan kunnen storingen in het leidingnet beïnvloeden.

Canadees onderzoek naar storingen in AC-leidingen in Regina laat zien dat er verschillende factoren zijn die de storingsfrequentie beïnvloeden¹. In onderzoek uitgevoerd door Hu en Hubble (2005) voor National Research Council Canada (NRCC) wordt de correlatie tussen de storingsdata en omgevingsfactoren van AC-leidingen in Regina, Canada bekeken. Het onderzoek wijst uit, dat *leeftijd, diameter, klimaat (temperatuur en neerslag), grondsoort en aanleg- en onderhoudsmethode* allemaal van invloed zijn op het falen van AC-leidingen. De twee kritische invloedsfactoren bleken het weer en de conditie van omringende (klei)grond te zijn. Er moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat op het moment van falen als gevolg van een van de kritische factoren, de conditie van het leidingnet al verminderd was door de interactie van het materiaal met het drink- of grondwater. Dit kon in het onderzoek echter niet worden aangetoond, daar dit een vast gegeven was.

¹ In het onderzoek zijn 911 storingen die optraden in de periode 1994 tot 2003 op ca. 531 km leidingnet geanalyseerd.

Algemeen geldt, dat de invloedsfactoren zijn in te delen in tijdsafhankelijke (statische) en tijdsafhankelijke (ook wel dynamische of cyclische) factoren (Kleiner en Rajani, 2002). Statische invloedsfactoren hebben meestal betrekking op de buiskarakteristieken, terwijl dynamische factoren meestal betrekking hebben op de omgeving van de buis. Een uitzonderlijke statische factor is de bodemsoort, een constante omgevingsfactor. Temperatuur en verzadigingsgraad van de bodem daarentegen, zijn cyclisch van aard. Cyclische factoren kunnen fluctuaties in het aantal storingen veroorzaken, maar het effect van deze factoren wordt op de lange termijn afgevlakt. Wanneer slechts een korte periode in beschouwing genomen wordt, kunnen deze factoren dus voor een vertekend beeld zorgen. Behalve statische en dynamische factoren kan een derde categorie invloedsfactoren worden onderscheiden, namelijk operationele. Dit zijn factoren die met de bediening van het systeem te maken hebben, zoals de aan- of afwezigheid van KB, de waterdruk en of er vervangingsacties hebben plaatsgevonden op het betreffende leidingdeel (zie ook Tabel 5).

3.1.2 *Statische invloedsfactoren*

Guan (1995) en Mordak en Wheeler (1988) hebben aangetoond dat de storingsfrequentie van AC-leidingen omgekeerd evenredig is met de *leidingdiameter*. Dit bevestigt voor AC de hypothese H2, "Hoe groter de diameter, des te minder storingen". Een verklaring hiervoor is te vinden in de grotere buigstijfheid van buizen met grotere diameter. De buigstijfheid is echter ook afhankelijk van de wanddikte. Het bestaan van een (in)direct verband tussen het optreden van storingen en de wanddikte, moet nog nader onderzocht en bepaald worden. De overige hypothesen die betrekking hebben op statische invloedsfactoren zijn H3 (bescherming), H7 (bodemverontreiniging), H13 (gronddekking), en H6 (materiaal in combinatie met dynamische factor bodemgesteldheid). Voor deze hypothesen zal worden gekeken of de storingsgegevens meer duidelijkheid verschaffen.

3.1.3 *Dynamische invloedsfactoren*

Aantasting van AC als gevolg van *chemische beïnvloeding* door bijvoorbeeld het drink- of grondwater kan – vaak in combinatie met interne druk – resulteren in bezwijken. Chemische belasting kan het gevolg zijn van:

- de kwaliteit van het drinkwater dat door de buis wordt getransporteerd (agressiviteit en oplosbaar sulfaatgehalte)
- externe chemische belasting (bodemgesteldheid: zuurgraad en sulfaatgehalte)

Verdeling van storingen naar de tijd van het jaar laat zien, dat in zand- en grindbodems storingen willekeurig in het jaar optreden, terwijl in kleibodems een duidelijke piek te zien is in het aantal storingen in droge zomermaanden (hypothese H4). Evenals bij AC-leidingen in klei is in onderzoek uitgevoerd

door UKWIR² ook voor gietijzeren leidingen een *seizoensinvloed* aangetoond voor de buizen waarin rondbreuk opgetreden was. De storingsdata lieten een hogere storingsfrequentie zien vanaf de herfst met een piek in januari. De grondbeweging (volumeverandering in kleigrond) door veranderingen in het weer veroorzaken een externe belasting met rondbreuk tot gevolg.

Tabel 5 Factoren die van invloed zijn op het optreden van storingen en de hypothesen waarvan de veronderstelde verbanden getoetst kunnen worden. De hypothesenummers verwijzen naar Tabel 2, pagina 20.

Invloedsfactoren		Indicator	Eenheid	Hypothese
Statisch	Materiaal		AC, GGJ, NGJ, staal, PVC, PE, ...	3 / 6
	Diameter	Nominale diameter	[mm]	2
	Wanddikte		[mm]	
	Karakteristieken grond(verbetering)	Verontreiniging		4 / 7
	Installatie	Gronddekking, verdichting, aanleg-, montage, materiaal(fouten)		13
Dynamisch	Leeftijd	Aanlegjaar		1 / 5
	Temperatuur (grond, water)	Temperatuur	° C	8
		Vorstindex	FI	
	Bodemvochtgehalte	Regenwatertekort	SMD	
		Verzadigingsgraad	%	
		Elektrische geleidbaarheid bodem	EGV	
	Bodemsoort		Klei, leem, veen, zand	4
	Bodem gesteldheid	Chemische belasting	Zuurtegraad [pH], kalkgehalte, sulfaatgehalte	6
Operationeel	Dynamische belasting	Verkeer, grondwerking	N/mm ²	11 / 12
	Vervangings- en reparatiedata	Vervanging of reparatie	Datum en actie (oud / nieuw materiaal)	15
	(Kathodische) Bescherming	Bescherming aanwezig ja/ nee	KB, coating	3
	Waterdruk		kPa	14
	Waterkwaliteit in leiding	Agressiviteit	Zuurtegraad [pH], S.I.-gehalte	9
		Chemische belasting	C.I.-index [mmol/l] (waterstofcarbonaat, chloride en sulfaat)	10

² Marshall (2001), storingsanalyse op basis van data van 12 waterbedrijven in Engeland, 55 % van het leidingnet (160.000 km) beslaand. De kwaliteit en kwantiteit van de geregistreerde data verschilt sterk per bedrijf, evenals de periode van registratie

Voor één groot waterbedrijf (UK) is een correlatie aangetoond tussen de storingsfrequentie per kwartaal en het Soil Moisture Deficit (SMD), oftewel het regenwatertekort (als surrogaatmaat voor *bodemvochtgehalte*). Uit de data is gebleken, dat het regenwatertekort in het voorgaande kwartaal (dus met drie maanden vertraging) van invloed is op de storingsfrequentie. Een nieuwe hypothese kan dus geformuleerd worden die stelt dat voor gietijzeren leidingen in kleigrond het bodemvochtgehalte bepalend is voor het optreden van storingen. Ook Kleiner en Rajani (2002) vinden een sterke relatie tussen het regenwatertekort en het optreden van storingen. De 'vorst-index' geeft bovendien de relatie van *temperatuur* met leidingbreuk. Kleiner en Rajani veronderstellen dat na extreem droge zomers de vorst dieper in de grond doordringt, waardoor de belasting op de buizen toeneemt. Nieuw te formuleren hypothesen op basis van voorgaande beschrijven de veronderstelde relaties van temperatuur en regenwatertekort met het optreden van storingen.

UKWIR, AWWARF en CSIRO (2006) hebben gezamenlijk onderzoek opgezet om de faalfrequentie van PVC en PE te kunnen voorspellen. Omdat PVC en PE relatief nieuwe materialen zijn (op grotere schaal toegepast sinds de jaren '70), zijn er nog weinig historische storingsdata voorhanden. Om toch uitspraken te kunnen doen over de te verwachten levensduur is gekeken naar het faalgedrag van beide materialen. Bezwijken van PVC gebeurt hoofdzakelijk door brosse breuk, terwijl PE veel taaier is en daardoor vaker faalt als gevolg van uitgroeiende scheuren. Voor beide materialen is de levensduurverwachting geschat door gebruik te maken van Monte-Carlosimulatie. De schattingen van de levensduur, gebaseerd op een storingsdataset van 17 waterbedrijven in UK, geven slechts een schatting van de *leeftijd* zonder naar het eventuele effect van verschillen in diameter, inwendige druk, of uitwendige belasting te kijken.

3.1.4 Operationele invloedsfactoren

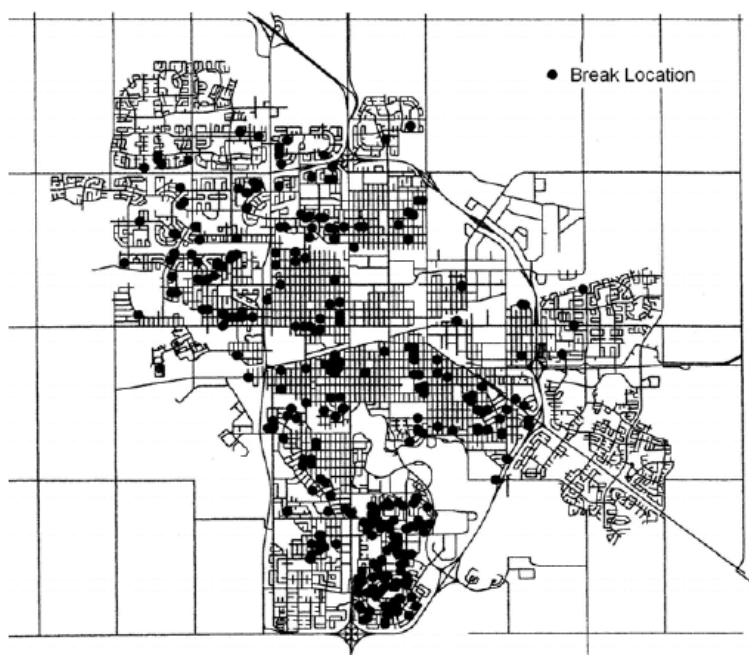
Aanleg- en reparatiemethoden kunnen ook leiden tot falen. Ongelijke ondersteuning door slechte verdichting kan bijvoorbeeld leiden tot te hoge buigspanningen. Voor zowel metaalachtige materialen als AC geldt dat omgevings- en operationele spanningen eerder tot falen leiden in buizen die onderhevig zijn aan aantasting of corrosie, degradatie, slechte aanleg, of product-/ of materiaalfouten.

Waterbedrijven wordt geadviseerd om in hun storingsdatabases de buiskarakteristieken op te nemen en informatie over het gepleegde onderhoud aan secties in het leidingnet (Goulter, Davidson en Jacobs, 1993). Nieuw-Zeelands onderzoek (Watson et al, datum onbekend) onderschrijft het belang van registratie van eerdere reparaties en vervangingen. Door de drinkwaterleidingen als 'repairable system' te definiëren kan de levensduur in de modellering aangepast worden aan de reeds uitgevoerde reparaties. Omdat de achtereenvolgende storingen op een stuk leidingnet niet dezelfde verdeling kennen en mogelijk onderling afhankelijk zijn kan voor het

modelleren niet gebruik gemaakt worden van conventionele levensduurverdelingen, maar moet gebruik worden gemaakt van counting process. Uit 'counting process' modellen van Lei en Saegrov (1998) blijkt dat leidingen met 2 of 3 storingen een grote kans hebben op falen (hypothese H16). Leidingen met meerdere storingen zitten in een fase met een korte herhalingsduur van storingen. Er moet daarom een onderscheid worden gemaakt tussen leidingen waarin gedurende de levensduur 1 of 2 storingen zijn opgetreden en leidingen waarin meer dan 2 of 3 storingen zijn opgetreden.

3.2 Analyse met behulp van GIS

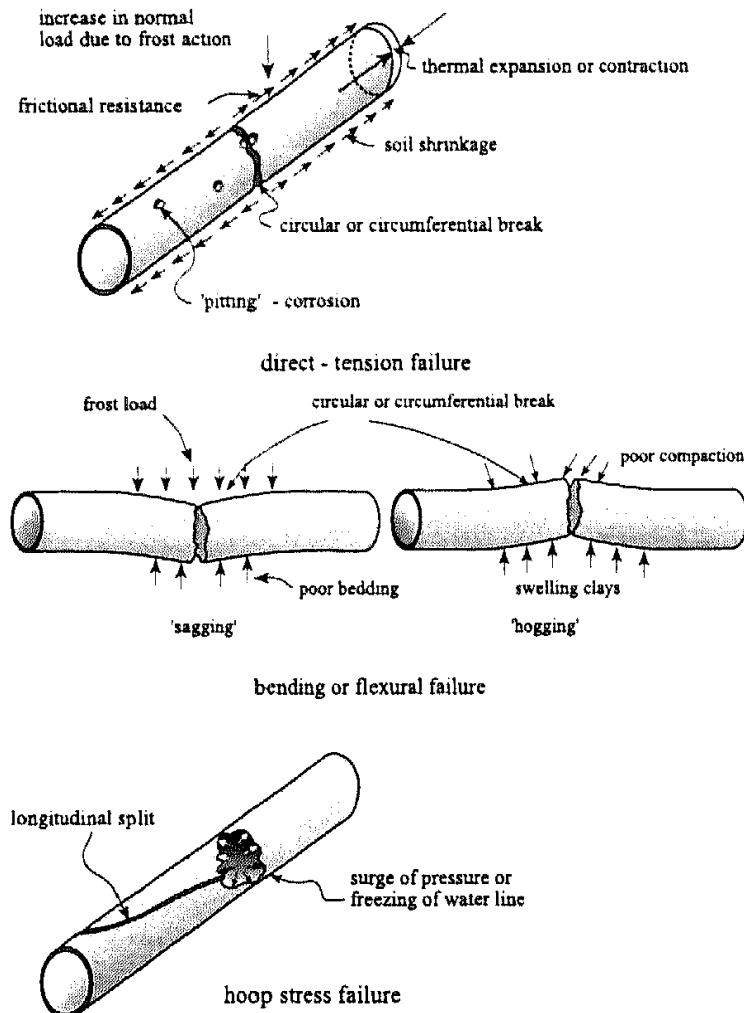
Een link met het GIS vergemakkelijkt het in kaart brengen van herstel- en vervangingsacties en het maken van complementaire analyses op het gebied van bijvoorbeeld waterkwaliteit, OLM, of lekverliezen. In het onderhavige rapport wordt door te kijken in welke straten zich meer dan eens storingen hebben voorgedaan, gekeken wat probleemgebieden zijn (z.g. 'hotspot-analyse'). Een link met het GIS geeft een overzicht van de ruimtelijke verdeling van storingen, waardoor probleemgebieden in één oogopslag te zien zijn (zie voorbeeld Figuur 7). In het rapport *Storingsanalyse omgevingsfactoren* (Van Daal en Van Baar, in voorbereiding) wordt een koppeling met omgevingsfactoren gemaakt door te kijken naar de relatie van storingsgegevens met het GIS.



Figuur 7 Locaties van storingen op hoofdleidingen weergegeven op de geografische kaart van Regina, Canada [Bron: Hu & Hubble 2005]

3.3 Bezwijkvormen en oorzaken

Van een aantal faaloorzaken bij bepaalde materialen of diametercategorieën is bekend welke bezwijkvormen deze tot gevolg hebben (zie Figuur 8). Kennis hierover kan behulpzaam zijn bij het interpreteren en analyseren van storingsdata.



Figuur 8 Voorbeelden van faalmechanismen met mogelijke bijbehorende oorzaken
[Bron: Rajani en Kleiner, 2001]

Te onderscheiden aard van de storingen:

1. Longitudinale breuk; breuk in lengterichting / lengtescheur
Meestal door interne druk of externe belasting (bodems van verschillende grondsoorten, belasting door bevriezen van grond en verkeersbelasting) (Hu en Hubble, 2006).
2. Rondbreuk; breuk loodrecht op as van de leiding
Typisch het gevolg van buigspanningen door zettingsverschillen of onheuse fundatie. Bij AC kan externe belasting in de vorm van een puntlast ook rondbreuk veroorzaken.

3. Gaten; scherven en ronde gaten
Primair door chemische belasting. Scherfbreuk vereist daarnaast nog interne druk, ronde gaten ontstaan enkel door chemische belasting.
4. Verbindingen; lekken, falen van lassen, losraken van verbindingen
5. Overig; bijvoorbeeld ten gevolge van werkzaamheden

Amerikaans onderzoek (Kelly O'Day, 1982) wijst uit, dat diameters van 150 – 200 mm meestal falen door rondbreuk. Vaak als gevolg van slechte aanleg, erosie van omringende grond of zettingen. Ook krimp van materiaal in combinatie met weinig bewegingsvrijheid en druk van buiten door bevriezing van de omliggende grond uit zich vaak in rondbreuk bij de kleinere diameters. Bij grotere diameters komen vaker lengtescheuren voor als gevolg van te grote uitwendige belasting, of scherfbreuk bij te grote inwendige belasting. Engels onderzoek (Marshall, 2001) naar de storingsgegevens van elf waterbedrijven laat hetzelfde zien voor gietijzer; kleine diameters falen voornamelijk door rondbreuk, terwijl in buizen met grotere diameters vaker lengtescheuren optreden.

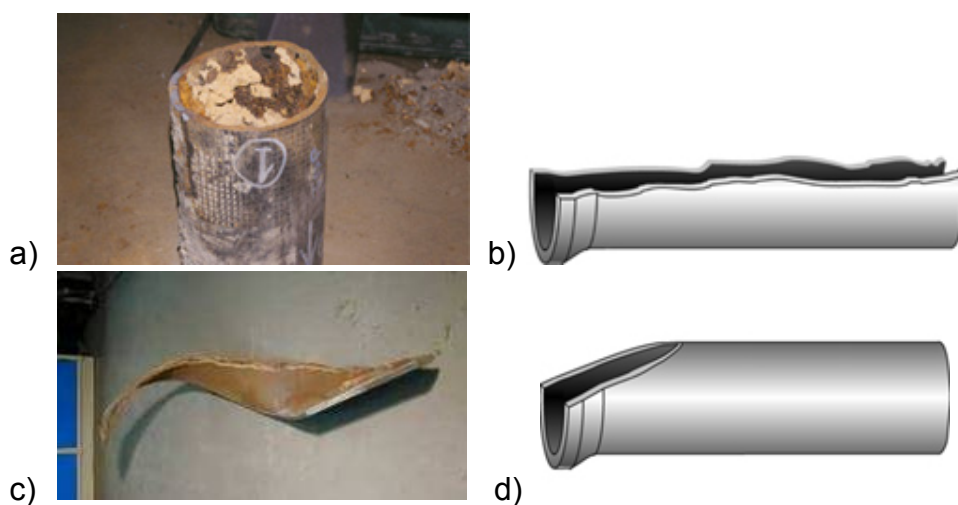
Bij AC zijn lekkages vaak te wijten aan slechte afdichting van verbindingen. Breuken treden bij AC op in de buizen en zijn meestal het gevolg van onverwachte spanningen door overbelasting (inwendig en uitwendig), temperatuurverschillen, product- of materiaalfouten, afname van de sterkte door degradatie, of een slechte fundering. Aantasting van AC als gevolg van chemische beïnvloeding door het drink- of grondwater is te herkennen aan ronde gaten of putten / verdunningen in de buiswand. In combinatie met interne druk kan dit leiden tot scherfbreuk (Slaats en Mesman, 2003). Falen van AC-leidingen in kleibodems uit zich vaak in rondbreuk (Hu en Hubble, 2005). Canadees onderzoek 2288 leidingbreuken op AC in de periode van 1980 tot 2004 wijst uit dat de meest voorkomende vorm van falen rondbreuk is (91,4 %). In Engeland zijn ongeveer 60 % van de storingen van AC gerapporteerd als rondbreuk en lengtescheuren en 15 % als gevolg van verbindingen. Bij een enkel bedrijf komen falende verbindingen vaker voor.

Evenals bij AC-leidingen in klei is in het UKWIR-onderzoek van Marshall (2001) ook voor gietijzeren leidingen een seizoensinvloed aangetoond voor de buizen waarin rondbreuk opgetreden was. Analyse van de data in combinatie met het weerpatroon wees de volumeverandering in kleigrond aan als meest waarschijnlijke oorzaak. De groundbeweging door veranderingen in het weer veroorzaken een externe belasting met rondbreuk tot gevolg.

Canadees onderzoek naar faalvormen van grijs gietijzer wijst uit, dat 80 % van de storingen in kleine diameters rondbreuken zijn (zie Figuur 9 a). Van de buizen waarin rondbreuk was opgetreden, was 90 % aangetast door corrosie. Gietijzeren buizen met middelgrote diameters (400 – 500 mm) bezwijken meestal in lengterichting (zie Figuur 9 b) en soms in een spiraalvormige scheur (zie Figuur 9 c). De spiraalscheur begint meestal als een dwarsscheur die een breuk tot gevolg heeft, waarna het bezwijken zich in de lengterichting van de buis voortplant. In grotere diameters, waarvan de buiswand normaliter te dik is om te bezwijken door rondbreuk, kunnen

wigvormige breuken ontstaan (zie Figuur 9 d). Deze bezwijkvorm treedt op bij een combinatie van hoge buigspanningen met aantasting door corrosie.

Resultaten van Engelse onderzoek (Marshall, 2001) laat zien dat PVC in de meeste gevallen bezwijkt door scheuren, terwijl bij PE meestal niet de buizen, maar de verbindingen bezwijken (m.n. elektrolyselassen). In PVC kunnen soms zeer kleine scheuren en gaten ontstaan (puntlekken), waardoor lekkage behalve in de aansluitingen, ook in de buizen kan optreden. Spanningen in de buiswand door in- of externe belasting kunnen deze kleine gaten vergroten met bezwijken door scheuren tot gevolg.



Figuur 9 Bezwijkvormen in grijs gietijzer: a) rondbreuk, b) lengte scheur, c) spiraalscheur, en d) wigvormige breuk

[Bron: http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ui/bu/grayfailuretype_e.html]

3.4 Conclusies

3.4.1 Bevindingen uit de internationale literatuur

In de internationale literatuur is beperkt informatie te vinden over de analyse van storingsdata om inzicht te krijgen in de degradatieprocessen van ondergrondse infrastructuur. De analyses van storingsdata gevonden in de literatuur beperken zich voornamelijk tot de beschrijvende statistiek. Conclusies die uit het literatuuronderzoek getrokken kunnen worden, hebben vooral betrekking op de factoren die het degradatieproces beïnvloeden en de vormen van bezwijken die daar het gevolg van kunnen zijn.

In Tabel 5 (p. 35) zijn factoren weergegeven waarvan op basis van onderzoek gebleken is of vermoed wordt dat ze het degradatieproces beïnvloeden. Een aantal beperkingen in de onderzoeken maken het echter onmogelijk uitspraak te doen over de zekerheid en de (relatieve) grootte van de invloed (welke maatgevend is), noch over de eventuele onderlinge invloed die de factoren hebben. Als voorbeeld kan het Canadese onderzoek naar AC worden

genoemd. Ondanks de omvang van het onderzoek, zijn de uitkomsten beperkt tot AC in kleigrond. Hoe andere materialen zich gedragen, of in andere grond, wordt niet bekeken. Een studie die wel een poging doet de invloed van meerdere factoren te bekijken, is het UKWIR-rapport uit 2001. De studie beperkt zich echter tot AC en gietijzer en vier tijdsafhankelijke invloedsfactoren. Storingen uitgezet tegen de tijd levert (conceptueel) een stijgende lijn die verstoord wordt door tijdsafhankelijke en cyclische factoren. Door tijdsafhankelijke factoren niet in de statistische analyse mee te nemen, kan een vertekend beeld ontstaan. Ook moet opgepast worden voor de invloed van cyclische factoren. Cyclische effecten zwakken af op de lange termijn, maar wanneer een korte dataset gebruikt wordt, kunnen deze effecten wel de analyseresultaten beïnvloeden.

3.4.2 Terugkoppeling hypothesen

Een aantal van de hypothesen uit paragraaf 1.4 zijn in het internationale literatuuronderzoek (deels) bewezen.

- Hypothese H2 *“Voor diameters > 95 mm geldt, dat bij oplopende diameter de storingsfrequentie afneemt”* is, zij het zonder de ondergrens van 95 mm, bevestigd voor AC. De hypothese kan worden aangescherpt tot: *“Voor AC leidingen bestaat er een omgekeerd (lineair) evenredig verband tussen de diameter en het aantal opgetreden storingen”*.
- Hypothese H4 *“In zettingsgevoelige grond treden vaker storingen op dan in minder zettingsgevoelige grond”* is deels voor AC en gietijzer te bevestigen. Er is aangetoond dat leidingen in klei vaker storingen vertonen dan in zandbodems.
- Hypothese H15 *“Leidingsegmenten waarin zich al eerder storingen hebben voorgedaan, zullen vaker spontaan storen dan segmenten waarin nog nooit eerder storingen zijn opgetreden”* is bewezen.

Andere hypothesen zijn ook aan bod gekomen, maar deze te bewijzen, dan wel te verwerpen op basis van de literatuur was niet mogelijk. Naar aanleiding van het literatuuronderzoek zijn een aantal nieuwe hypothesen geformuleerd (Tabel 6).

Tabel 6 Additionele hypothesen naar aanleiding van het literatuuronderzoek

Nr.	Invloedsfactor(en)	Hypothese
H16	Materiaal (GIJ) / bodemsoort (klei) / bodemvochtgehalte	Voor gietijzeren leidingen in kleigrond is het bodemvochtgehalte bepalend voor het optreden van storingen.
H17	Temperatuur / bodemvochtgehalte	Temperatuur beïnvloedt in combinatie met regenwatertekort de storingsfrequentie.

In dit onderzoek wordt alleen gekeken naar de data uit het LIS en de storingsregistratie, maar uit de literatuur is verder gebleken dat het combineren van LIS-data met GIS meerwaarde heeft voor het analyseren van storingsgegevens.

Voor de storingsregistratie is van belang te weten wat de maatgevende variabelen of omgevingsfactoren zijn die de levensduur beïnvloeden. Deze factoren moeten minimaal in de registratie worden opgenomen.

3.4.3 Storingsregistratie

In de internationale literatuur wordt de noodzaak tot continu, consequent en accuraat registreren van storingen benadrukt. Door verschillen in registratie binnen en tussen bedrijven kunnen slechts beperkte conclusies getrokken worden. Uitzondering hierop vormt het grootscheepse Canadese onderzoek naar AC-leidingen. In een artikel van Wood & Lence (2006) naar aanleiding van een Canadees en Amerikaans onderzoek naar het verzamelen van storingsdata bij verschillende bedrijven, is een lijst met minimaal te registreren data voorgesteld. De lijst is gebaseerd op de InfraGuide 2002 en onderzoek van AwwaRF (Deb et al, 2002) en is weergegeven in Bijlage III. De InfraGuide-lijst bevat de parameters uit de aanbevelingen van 2001 (Trietsch) die het getroffen object beschrijven, maar vraagt daarnaast om meer gegevens, onder andere over de conditie van de bodem en het leidingmateriaal. In de InfraGuide-lijst wordt in tegenstelling tot de lijst van Trietsch niet gevraagd naar het soort storing, de aard en de locatie. De InfraGuide-lijst geeft – indien volledig ingevuld – een compleet beeld van de situatie waarin de storing is opgetreden, maar vereist een zeer grote inspanning om alle data per storing in te vullen.

Op basis van de bezwijkvormen die geregistreerd zijn in de internationale literatuur kan voor AC en gietijzer de vermoedelijke faaloorzaak aangegeven worden. Voor andere materialen is dit lastiger, omdat daarover minder bekend is. Aan de vorm van bezwijken is echter niet altijd te zien wat de oorzaak was van de storing, omdat er vaak niet één oorzaak is aan te wijzen, maar een combinatie of keten van oorzaken die tot het falen leidt. Daarnaast is het mogelijk dat bij het opgraven of repareren van het leidingnet de oorspronkelijke bezwijkvorm niet meer waar te nemen is na de werkzaamheden die tot verdere vervormingen geleid hebben. Ook moet in gedachten worden gehouden dat één oorzaak in een materiaal tot verschillende bezwijkvormen kan leiden. Bij interpretatie van de storingsgegevens moet hiermee rekening gehouden worden. In hoofdstuk 2 is beschreven, dat op verschillende bezwijkvormen verschillende statistische verdelingsfuncties van toepassing zijn. In hoofdstuk 7 worden aanbevelingen gedaan met betrekking tot storingsregistratie op basis van de bevindingen uit de literatuur en de huidige registratie van de waterbedrijven.

3.4.4 Analysemethoden

Omdat een overtuigende verantwoording voor het gebruik van verschillende modellen in de literatuur ontbreekt, is ervoor gekozen om te beginnen met het toepassen van eenvoudige verdelingen zoals normale en exponentiële (zie hoofdstuk 5), en bijvoorbeeld niet Weibull Proportional Hazard Model.

4 Storingsanalyse in andere sectoren

4.1 Ervaringen uit de vervoer-, gas- en elektriciteitssector

4.1.1 Een blik over de grenzen van de bedrijfstak

Voor gericht beheer en onderhoud van de drinkwaterinfrastructuur is onderzocht wat er geleerd kan worden van andere sectoren die zich voor gelijksoortige problemen geplaagd zien als die zich voordoen in de drinkwatersector. Parallellen tussen verschillende soorten van infrastructuur maken de vervoer-, gas-, en elektrasectoren interessant om van te leren.

4.1.2 ProRail

ProRail is de beheerder van het spoorwegennet. Tot het spoorwegennet behoren behalve de rails ook onderbouw, bovenbouw en technische systemen zoals seinen en wissels, en de stations met alle daarbij behorende faciliteiten zoals rijwielstallingen, toiletten, perrons, etc. ProRail houdt zich voornamelijk bezig met aanleg en onderhoud, capaciteitsmanagement, verkeersleiding en communicatie van actuele reisinformatie.

De ervaring heeft ProRail geleerd, dat de economische levensduur van veel van de technische systemen (niet-civiele delen zoals bovenbouw, rails, wissels, etc) grotendeels afhankelijk is van het gebruik (soort treinen) en de treinintensiteit. Verkeer & Waterstaat en ProRail hebben geconstateerd dat de resterende levensduur van belangrijke technische systemen lager ligt dan het economische optimum. Laatstgenoemde wordt bereikt, wanneer vervangen financieel gezien beter is dan extra onderhoud plegen om het gewenste kwaliteitsniveau te waarborgen. Van de technische systemen wordt alleen de bovenbouw volgens plan vervangen, maar later dan het economisch optimum. Dit betekent dat er niet kostenefficiënt gewerkt wordt. De overige systemen worden ad hoc vervangen, wat tot extra kosten leidt ten gevolge van (onverwachte) uitval. Hogere kwaliteitseisen, toegenomen complexiteit en treinintensiteit en grotere nadruk op sociale veiligheid verkorten de restlevensduur van (de onderdelen van) het netwerk.

Om de technische staat van het spoorwegennet in kaart te brengen zijn ultrasone metingen gedaan aan de rails. Storingen zijn uitgedrukt in Treindienst Aantastende Onregelmatigheden (TAO's). Van de opgetreden TAO's is geregistreerd wat de oorzaak was (techniek, proces ProRail, derden, weer, of overig). De tijd die nodig is om de storing op te heffen is de FHT (Functie Herstel Tijd), welke gemiddeld en vermenigvuldigd met aantal TAO's een prestatie-indicator vormt voor ongeplande niet-beschikbaarheid, vergelijkbaar met OLM in de drinkwaterwereld.

In een branche-database (gezamenlijke applicatie van ProRail en de aannemers) worden onder meer storingen geregistreerd. De storingsanalyse is puur beschrijvend van aard; het aantal TAO's ten gevolge van een bepaalde oorzaak wordt vergeleken met hetzelfde aantal uit voorgaande jaren. In de

branche-database is – indien het storingsformulier volledig en zorgvuldig is ingevuld – een onderbouwing te vinden van de oorzaak of situatie die geleid heeft tot een TAO. De storingen worden geanalyseerd ter voorkoming van storingen en verbetering van het herstelproces van de infrastructuur.

4.1.3 NedTrain

NedTrain verzorgt onderhoud, reiniging en revisie van rollend treinmaterieel. Alle locomotieven, treinstellen, dubbeldekkers, etc. staan bij NedTrain geregistreerd. Uit een interview met twee assetmanagers³ is gebleken, dat van elk stuk materieel exact bekend is wat er aan onderdelen in zit en wat er aan reparaties, vervangingen en aan onderhoudsbeurten gedaan is. De gegevens zijn terug te vinden in de branche-database die hiervoor reeds genoemd is. De branche-database is een zogenoemd dataweb, dat gegevens van verschillende bronnen binnen een organisatie aan elkaar koppelt (Wood en Lence, 2006).

NedTrain werkt met vaste revisie- en onderhoudsintervallen. Onderhoud afgestemd op de gebruiksduur van onderdelen, wordt ook wel GAO (gebruiksduur afhankelijk onderhoud) genoemd. Het is gebleken dat de kosten die gemaakt worden door frequentere onverwachte storingen, (tijdelijk) onbruikbaar materieel en schade door onvoorziene incidenten hoger zijn dan de kosteninefficiëntie van het te vroeg vervangen van losse onderdelen. De ervaring heeft Nedtrain geleerd, dat het berekenen en maximaal (proberen te) benutten van de werkelijke levensduur van elk individueel onderdeel leidt tot meer storingen. De ketting is zo sterk als zijn zwakste schakel en wachten tot elke schakel het eind van zijn levensduur bereikt heeft, brengt grote risico's met zich mee. Tegenwoordig wordt een tussenweg bewandeld, waarbij de reparatie- en vervangingstermijnen bepaald worden op basis van kennisregels die opgesteld konden worden dankzij het uitgebreide datasysteem waar de branche-database toe behoort.

Wat de drinkwatersector hiervan kan leren, is dat het opbouwen en consequent invullen van een database noodzakelijk is om kennis op te bouwen over (het gedrag van) de assets in de tijd. Voor het opstellen van kennisregels moeten bekend zijn:

- de randvoorwaarden,
- karakteristieken van het materiaal of de groep leidingen, en
- de toepassingen en het risico op falen en de gevolgen daarvan.

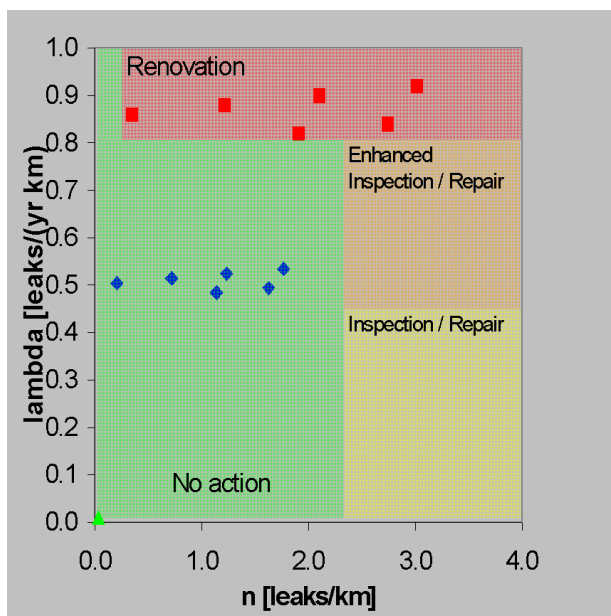
Behalve de noodzaak van een goede storingsregistratie is de ervaring van NedTrain, dat teveel focus op details en te weinig op het grote geheel tot hoge kosten leidt. Flexibel omgaan met vervangingstermijnen kan kosten besparen, maar wanneer alle onderdelen afzonderlijk van elkaar bekeken worden, kan het juist tot extra storingen leiden. De verschillende onderdelen moeten in synergie werken. Met werkzaamheden meegaan kan voor sommige delen van het leidingnet rendabeler zijn en moet daarom niet bij voorbaat als optie worden uitgewist.

³ 27 oktober 2006 te Eindhoven

4.1.4 Gastec

In de gassector is het verplicht volgens de KVGN-richtlijnen⁴ het gasnet elke vijf jaar op lekken te controleren. De gegevens die hieruit voortkomen moeten geregistreerd worden. Ook tussentijdse meldingen van lekken dienen geregistreerd te worden. De verplichte lekkenregistratie is een voordeel dat de gassector heeft, omdat het de aanvoer van data garandeert. Het evalueren van lekzoekgegevens bleef meestal beperkt tot het terugrekenen van het inspectieresultaat naar het aantal lekken per kilometer leidinglengte per materiaalsoort (gietijzer, staal, PVC, PE).

In 2004 is een eenvoudig toepasbare methode ontwikkeld om een kwaliteitsoordeel te geven van populaties gasleidingen op basis van lekzoekgegevens. De LFM (Leak Forecast Method) biedt bedrijven de mogelijkheid om met behulp van Excel evaluaties te maken. LFM verdeelt de in het net aanwezige leidingen in statistisch homogene categorieën, waarbij leeftijd en categorie (materiaal en druk) de enige grootheden zijn waarmee de kans op het ontstaan van een lek beschreven hoeft te worden. In Figuur 10 is een voorbeeld van een beoordelingsdiagram gegeven. Een punt in het diagram stelt de toestand van de afzonderlijke leidingsegmenten of de individuele aansluitleidingen op een bepaald tijdstip voor.



Figuur 10 Voorbeeld van een beoordelingsdiagram [Bron: C.J.A. Pulles, 2005]

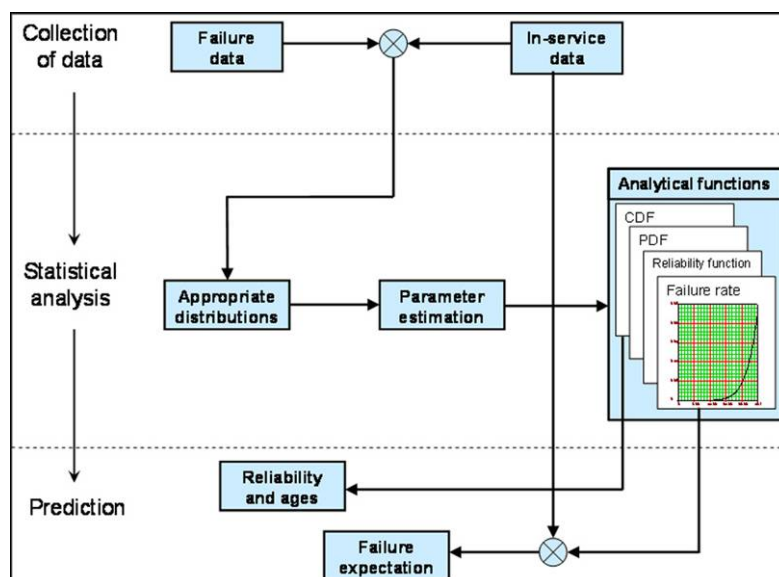
⁴ Richtlijnen voor gasdistributie, vervangen door de Nederlandse norm NEN 7244

4.1.5 Ksandr

Ksandr staat voor Knowledge Sharing and Research en is een onafhankelijke organisatie (voortgekomen uit de elektriciteitssector) die zich als voornaamste doel gesteld heeft “kennis over het gedrag van assets in de energie-(gas en elektra) en watersector te vergroten door het delen van kennis en uitwisselen van ervaringen”. Op dit moment concentreren de werkzaamheden zich nog op data van de elektriciteitssector. Ksandr biedt energiebedrijven uit binnen- en buitenland een platform waar zij kennis kunnen uitwisselen en contacten kunnen leggen met elkaar, sector-gerelateerde bedrijven, overheden en studenten. Het opbouwen van een sectorbrede database is mogelijk doordat verschillende bedrijven storings- en gebruiksdata aanleveren van onderdelen van het leidingnet.

Een voorbeeld uit de elektriciteitssector is storingsanalyse van verbindingen. Bij elke storing is geregistreerd in welk jaar de storing plaatsvond en wat het aanlegjaar van het betreffende onderdeel was. Met behulp van statistische methoden is vervolgens een diagram geconstrueerd waarin de storingsfrequentie (het aantal storingen per leeftijdsgroep) van het onderdeel uitgezet is tegen de tijd. Uit het diagram kan worden afgelezen wat de storingsfrequentie van het onderdeel is bij een bepaalde leeftijd. Het proces dat gevolgd wordt om te komen tot voorspellingen van storingen of levensduurverwachtingen is schematisch weergegeven in Figuur 11.

Ksandr laat, door statistische analyse van de gegevens van individuele bedrijven te vergelijken met die van meerdere bedrijven, duidelijk de meerwaarde van een gezamenlijke storingsdatabase zien. Zo kunnen met grotere betrouwbaarheid uitspraken worden gedaan over de te verwachten levensduur en kans op storingen.



Figuur 11 Procedure om te komen tot het voorspellen van storingen en levensduur

4.2 Belang voor de drinkwaterbedrijven

In de vervoer-, gas- en elektra-sectoren worden onderhoudsactiviteiten, waaronder storingen, geregistreerd en wordt actief gezocht naar optimale registratie-inspanningen. Dat het nut heeft te registreren, blijkt uit de data die over kortere perioden geregistreerd zijn en al inzicht geven in patronen of vermoedelijke oorzaken. Een groot verschil met de watersector is, dat de hiervoor beschreven infrastructuur (deels) bovengronds ligt. Voor sommige (delen van de) netten zijn er dus gemakkelijker inspectiegegevens te verkrijgen. De analyses van de storingsdata variëren van puur beschrijvend om dezelfde oorzaken in de toekomst te kunnen voorkomen tot regressie-analyse om uitspraak te kunnen doen over de te verwachte levensduur van assets. Het combineren van data in een dataweb geeft een overzicht met mogelijke koppelingen tussen belangrijke parameters.

Voor de waterbedrijven is het van belang zich te realiseren waartoe het registreren van storingen dient, want het doel bepaalt wat er geregistreerd moet worden.

Uit de blik over de granzen van de bedrijfstak is gebleken, dat de uitdaging voor de watersector enerzijds ligt in het op de juiste wijze definiëren van groepen voor statistische analyse en anderzijds in het zorgen voor voldoende grote datasets om met enige zekerheid uitspraken te kunnen doen over het gedrag van die groepen in de tijd. Dat er een grotere druk op correcte en volledige registratie rust om voldoende grote datasets te krijgen heeft mede te maken met hoe de groepen gedefinieerd zijn. In plaats van naar groepen op basis van enkel de leeftijd, zoals in het voorbeeld van de elektriciteitssector, zal gekeken moeten worden naar groepen op basis van bijvoorbeeld materiaal, diameter, leeftijd en bodemsoort. Dit levert meer groepen op en er zijn meer storingen nodig zijn om van één groep met een bepaalde zekerheid te kunnen voorspellen wat de storingsfrequentie op een bepaald moment in de tijd zal zijn. Hoeveel storingen nodig zijn om te kunnen voorspellen wat de storingsfrequentie op een bepaald moment zal zijn is dus afhankelijk van de definiëring van de groepen.

5 De storingsdata van Nederlandse waterbedrijven

5.1 Introductie

De waterleidingbedrijven Brabant Water, DZH, Hydron Midden Nederland (nu onderdeel van Vitens), Oasen, PWN, WMD en WML hebben storingsdata gerapporteerd van verschillende perioden tussen januari 2003 en februari 2006.

In dit hoofdstuk is per bedrijf een beknopt overzicht gegeven van de gerapporteerde

- LIS-gegevens, en
- storingsdatabases.

Met behulp van beschrijvende statistiek zijn de LIS- en storingsdata geanalyseerd en is gezocht naar verbanden tussen oorzaken van storingen, in welke materialen storingen optreden en op welke leeftijd dit het meest gebeurt. Waar mogelijk is regressie-analyse gebruikt om een beeld te krijgen van het storingsverloop gedurende de levensduur.

De LIS-gegevens zijn weergegeven in tabellen en met behulp van taartdiagrammen. De analyseresultaten van de storingsgegevens zijn weergegeven met behulp van tabellen, histogrammen, grafieken en box-whiskerplots⁵.

Bij de analyse van de storingsgegevens wordt onderscheid gemaakt tussen het *aantal* geregistreerde storingen en de *storingsfrequentie*.

Op basis van aantallen geregistreerde storingen kan bijvoorbeeld worden weergegeven hoeveel storingen per maand of seizoen optreden (seizoensinvloed), hoeveel per leeftijdscategorie, materiaalgroep of postcodegebied (hotspot-analyse), en welke oorzaken vaak voorkomen. Hotspots zijn locaties waar meer dan eens storingen zijn geregistreerd in een bepaalde periode en die dus gevoelig lijken te zijn voor storingen. De locaties kunnen door middel van postcode, adres, straatnaam, of coördinaten worden geïdentificeerd.

De storingsfrequentie is het aantal storingen per km van een bepaalde leidinggroep per jaar. Leidinggroepen kunnen op basis van verschillende eigenschappen gedefinieerd worden:

⁵ In een Box-whiskerplot geldt dat de rode lijn in het midden van de 'box' de mediaan is, de uiteinden van de 'box' zijn de 25- en 75-percentielen, de 'whiskers' (snorharen) geven de overige data aan, waarbij de rode '+' uitschieters zijn ten opzichte van de normaalverdeling. Bijvoorbeeld: het aantal storingen bij een bepaalde leeftijd is per materiaalsoort of diameterklasse in een box-whisker-plot uitgezet.

- Op basis van 2 factoren kunnen kruisrelaties tussen materiaal, diameter, oorzaak en onderdeel van de leiding gevonden worden. De storingsfrequentie is berekend op basis van het aantal kilometers leiding in de gekozen categorieën (meestal materiaal, soms diameter).
- Op basis van de leeftijd. De storingsfrequentie is dan berekend op basis van het aantal kilometers leiding per leeftijd(categorie) van een bepaald materiaal.

Per groep (bijvoorbeeld op basis van materiaal of diametercategorie) kan de relatieve prestatie weergegeven worden. De prestatie van de leidingnetonderdelen is omgekeerd evenredig met de storingsfrequentie; een materiaal dat vaak stoort presteert slechter dan een materiaal dat slechts sporadisch stoort.

De storingsfrequentie van leidinggroepen met korte lengten is minder betrouwbaar dan die van leidinggroepen met lange lengten. Eén storing meer of minder heeft bij een korte lengte een groter effect op de storingsfrequentie dan bij een grotere lengte. De betrouwbaarheid van de storingsfrequentie is berekend door te kijken wat het effect is van een wijziging van 10 km in de leidinglengte en van één storing in de registratieperiode.

De statistische analyse die gedaan is, hangt sterk samen met de data die beschikbaar is. In Tabel 7 is weergegeven welke analyses uitgevoerd zijn. Niet alle mogelijke analyse methoden zijn op de data van elk bedrijf toegepast. Het doel van de analyses is een idee te geven van de mogelijkheden van de storingsdatabases. De meest uitgebreide uitwerking is te zien in de paragraaf van WML. De paragrafen van DZH, Oasen en PWN geven een ongeveer even uitgebreid, maar alternatief scala aan mogelijkheden weer. De paragrafen van Vitens MN, WMD en Brabant Water zijn beperkter in hun uitwerking. Aan het eind van dit hoofdstuk is in Tabel 29 weergegeven welke databases de meeste mogelijkheden bieden ten opzichte van elkaar.

Tabel 7 Overzicht uitgevoerde analyses per waterbedrijf

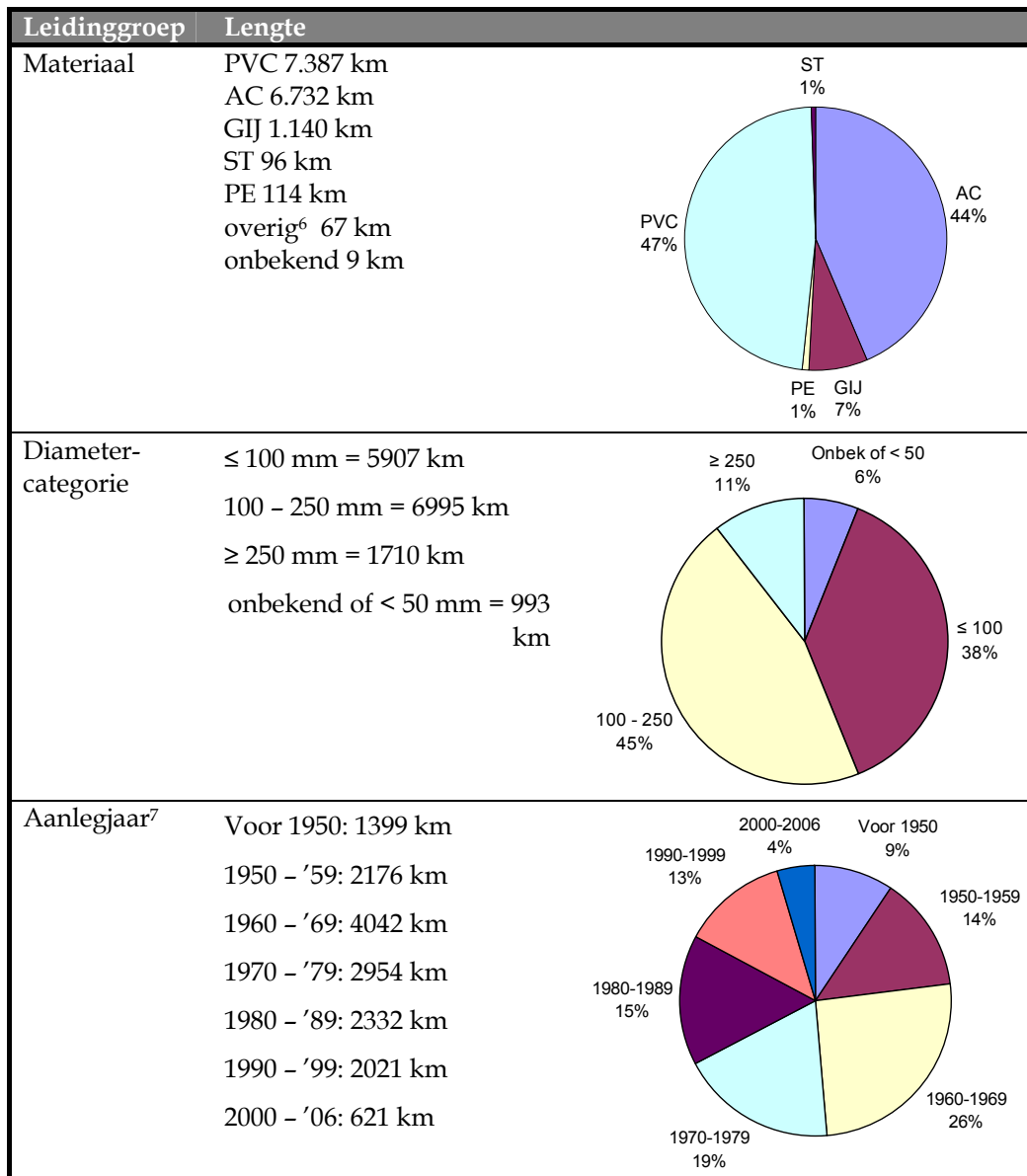
Analyse	Brabant Water	DZH	Vitens MN	Oasen	PWN	WMD	WML
LIS - Leidinglengte per materiaalgroep	X	X	X	X	X	X	X
LIS - Leidinglengte per diametercategorie	X	X	X	X	X		X
LIS - Leidinglengte per periode van aanleg	X		X	X	X		X
LIS - verdeling per aanlegjaar/periode				X	X		X
# storingen - materialen		X					
# storingen - diametercategorieën		X					
# storingen - oorzaken (en/of aard)	X	X					
# storingen - onderdelen		X					
# storingen - seizoensinvloed	X	X	X	X	X	X	X
# storingen - hotspots		X	X				
# storingen - leeftijd		X					
SF (storingsfrequentie) gemiddeld	X	X	X	X	X	X	X
SF materiaal x diametercategorie		X	X	X	X		X
SF materiaal x oorzaak (en/of aard)		X	X	X	X	X	X
SF onderdeel x oorzaak (en/of aard)		X	X	X	X		X
SF diametercategorie x oorzaak (en/of aard)		X	X	X	X		X
SF materiaal x leeftijd (of aanlegperiode)				X	X		X
SF diametercategorie x leeftijd (of aanlegperiode)						X	
SF per materiaalgroep		X	X	X	X	X	X
SF per diametercategorie		X	X	X	X		X
SF steilheid diagram materiaal x diameter		X					
SF steilheid diagram materiaal x aanlegperiode				X			
Lineaire regressie - storingsverloop in de tijd							X

5.2 Brabant Water

Brabant Water voorziet ruim 2,2 miljoen Brabanders van 180 miljoen m³ drinkwater. Via een leidingnet van 15.545 kilometer worden ca. 950.000 aansluitingen bediend.

5.2.1 LIS-gegevens

De LIS-gegevens uit 2006 zijn gegroepeerd op basis van materiaal, diameter en aanlegjaar.



⁶ overige materialen zijn beton, koper, GVB (glasvezel versterkte buis met epoxy hars), HZ (slagvast PVC, oorspronkelijk gebruikt voor gasleidingen) en RVS.

⁷ In het LIS het aanlegjaar per materiaal bekend. Voor de overzichtelijkheid is hier gegroepeerd in perioden van 10 jaar.

5.2.2 De storingsdatabase

Brabant Water registreert meldingen (waaronder klachten) om storingen in kaart te brengen voor leidingnetbeheer. De database betreft niet alleen ongeplande leveringsonderbrekingen, maar bijvoorbeeld ook meldingen van bruin water, te hoge of te lage druk, defecte watermeters, etc. In Tabel 8 zijn de karakteristieken van de gerapporteerde database weergegeven. Een uitgebreider overzicht van wat er geregistreerd is, is te zien in Bijlage IV - Tabel 1.

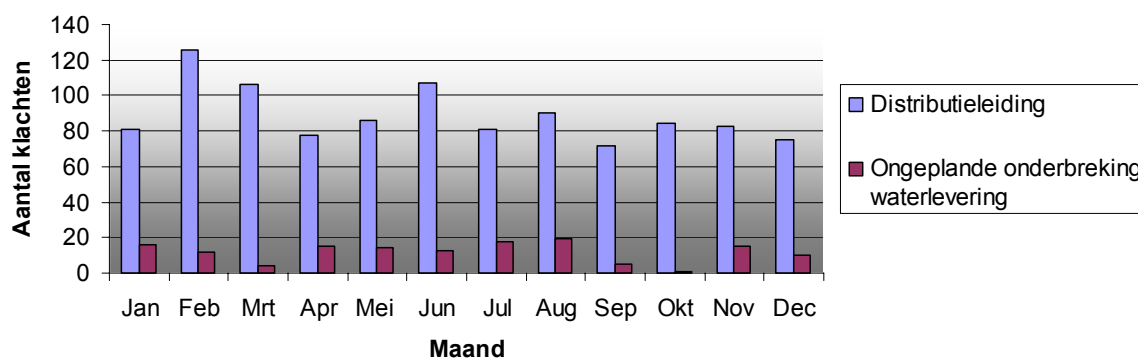
In de periode van januari t/m december 2005 zijn in totaal 15390 klachten geregistreerd, waarvan het probleem in 1069 gevallen gerelateerd was aan een distributieleiding. In de database zijn verder 142 klachten geregistreerd die betrekking hadden op ongeplande onderbrekingen van de waterlevering. In Figuur 12 is de verdeling van het aantal klachten dat betrekking had op distributieleidingen en op ongeplande leveringsonderbrekingen weergegeven. Hoeveel van de laatstgenoemde betrekking hadden op distributieleidingen kon niet uit de gerapporteerde database worden opgemaakt. Het is dus niet bekend hoeveel van de 1069 storingen op de distributieleidingen 'storingen' zijn zoals gedefinieerd voor dit project.

Tabel 8 Karakteristieken van de gerapporteerde database Brabant Water

Database Brabant Water		
Geregistreerd	Klachten	
Periode	2005	
Aantal klachten	Geregistreerd	15390
	Geanalyseerd	Onbekend
Aantal parameters	Geregistreerd	4
	Overeenkomstig aanbevelingen 2001	0
Waarden	Alleen vaste antwoordcategorieën in te vullen	

5.2.3 Storingsanalyse

Brabant Water beschikt over een klachtendatabase. Uit de database zoals aangeleverd voor dit project kon worden opgemaakt, dat niet alle geregistreerde klachten 'ongeplande onderbrekingen van de waterlevering' waren (zoals storingen voor dit project gedefinieerd zijn). Dubbele registratie van verschillende klachten over hetzelfde incident zijn niet geheel te ondervangen omdat het een klachtenregistratie betreft en geen storingsregistratie. Door storingen op bijvoorbeeld distributieleidingen zo spoedig mogelijk aan de afdeling Klantenservice door te geven, probeert men echter te voorkomen dat nieuwe klachten over hetzelfde incident opnieuw worden vastgelegd. In plaats van de storingsfrequentie kan in dit geval beter gesproken worden over klachtenfrequentie. Laatstgenoemde zal dus hoger zijn dan de storingsfrequentie, omdat ook klachten over bijvoorbeeld bruin water en geplande leveringsonderbrekingen meegenomen worden.



Figuur 12 Klachtenregistratie 2005: Voorkomende problemen

Op basis van het aantal klachten kan een overzicht worden gegeven van de storingsoorzaken. In Bijlage IV - Figuur 1 zijn de belangrijkste oorzaken (meer dan 50 keer geregistreerd, is ongeveer 0,3 %) van het *totaal* aantal klachten in een taartdiagram weergegeven. Opvallend is het grote aandeel slijtage / corrosie en het relatief kleine aandeel bodemzetting / wortelgroei. De oorzaken van alle klachten zijn bekeken, dus ook de klachten die te maken hadden met bijvoorbeeld de binneninstallaties en de waterkwaliteit. Wanneer alleen de klachten die betrekking hadden op distributieleidingen in beschouwing zou worden genomen, zou een ander beeld ontstaan dan nu weergegeven in Bijlage IV - Figuur 1.

De belangrijkste oorzaken zijn slijtage / corrosie, lekkage, netvervuiling, materiaalfouten en schade door derden. In Bijlage IV - Figuur 2 zijn de oorzaken van alle in 2005 geregistreerde klachten per maand weergegeven, om te kijken of er sprake is van een seizoensinvloed.

Bekijken we de totale klachtendatabase, dan zien we dat het aantal klachten als gevolg van slijtage/corrosie het hoogst is van februari tot april en in oktober en november (voor- en najaar). Netvervuiling wordt vaker als oorzaak genoemd in juni en juli.

Als we er vanuit gaan dat alle klachten die direct te maken hebben met het distributienet ook storingen waren, dan is de storingsfrequentie 0,069 [st/km/jr]. Kijken we alleen naar de ongeplande leveringsonderbrekingen, dan waren er in 2005 0,009 klachten/km/jaar. Bij de berekening van de storingsfrequentie dient te worden opgemerkt, dat de periode van de storingsdatabase en de periode waarin de LIS-gegevens zijn opgenomen, verschillen.

De klachten zijn niet aan de LIS-gegevens gekoppeld, waardoor het niet mogelijk was de storingen uit de klachten te filteren en te analyseren aan hand van de storingsfrequentie.

5.2.4 Conclusies

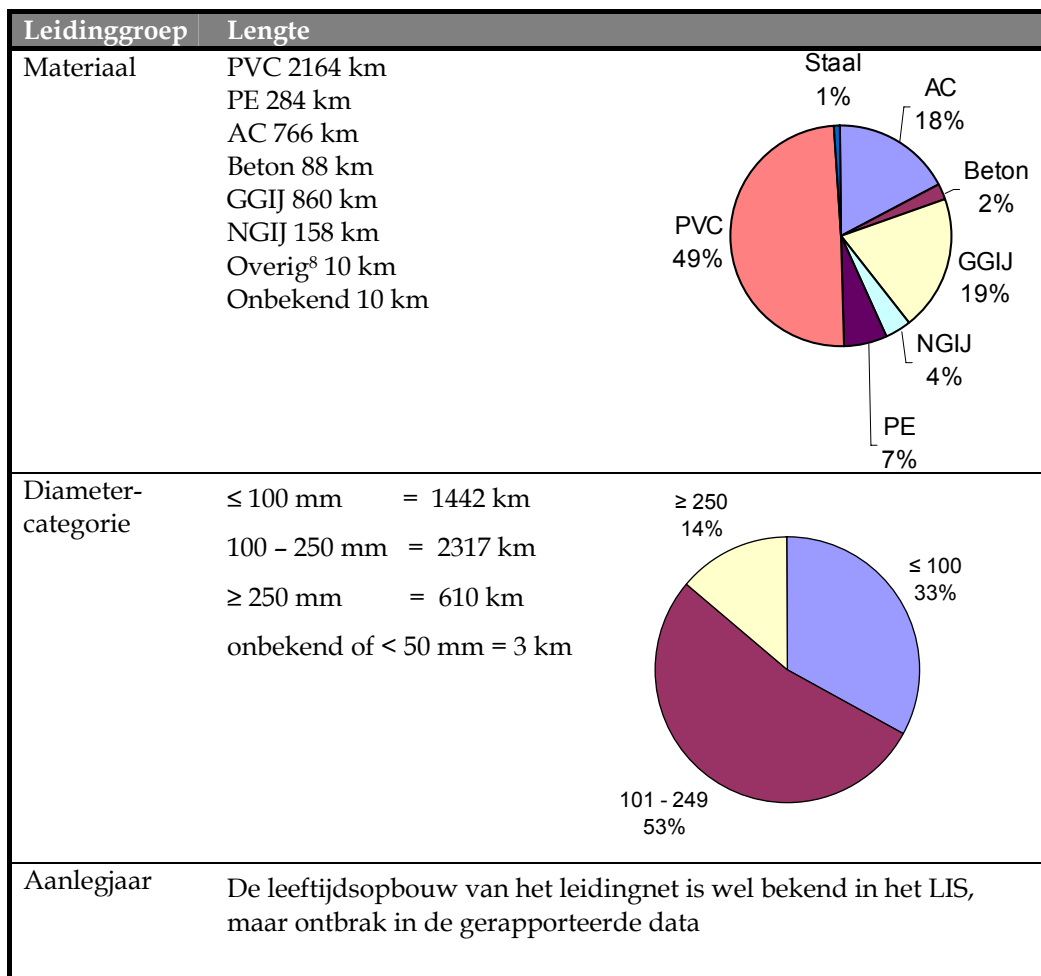
Het is niet mogelijk de storingen uit de klachtenregistratie van Brabant Water te filteren met de beschikbaar gestelde gegevens. De storingsfrequentie naar materiaal, diameter of leeftijdscategorie kon daardoor niet berekend worden. Uit de klachtenregistratie kon wel worden opgemaakt, dat de meeste klachten voortkomen uit problemen door slijtage / corrosie. Het voor- en najaar geeft het hoogste aantal klachten, wat erop kan duiden dat deze gebreken tot uiting komen bij temperatuurveranderingen. Een verband tussen weersomstandigheden en storingen kan echter pas onderzocht worden met gebruik van storingsdata in plaats van klachtenregistratie.

5.3 DZH

Duinwaterbedrijf Zuid-Holland (DZH) levert drinkwater aan 1,2 miljoen mensen in westelijk Zuid-Holland. Via een hoofdleidingennet van 4.371 km wordt jaarlijks ca. 73 miljoen m³ geleverd aan 535.000 aansluitingen.

5.3.1 LIS-gegevens

De totale lengte van de hoofdleidingen bedraagt 4.371 km. Iets meer dan 10 km leidingnet bestaat uit overige materialen. Van bijna 10 km leidingnet is niet bekend van welk materiaal het is. De LIS-gegevens zijn gegroepeerd naar materiaal en diametercategorie weergegeven.



5.3.2 De storingsdatabase

In de periode van januari 2004 t/m december 2005 zijn er in totaal 516 storingen geregistreerd. In Tabel 9 zijn de karakteristieken van de gerapporteerde database weergegeven. Een uitgebreider overzicht van wat er geregistreerd is, is te zien in Bijlage IV - Tabel 2.

⁸ Overige materialen zijn AluPE, RVS, koper (Cu).

Tabel 9 Karakteristieken van de gerapporteerde database DZH

Database DZH		
Geregistreerd	Storingen	
Periode	2004 en 2005	
Aantal storingen	Geregistreerd	516
	Geanalyseerd	252
Aantal parameters	Geregistreerd	18
	Overeenkomstig aanbevelingen 2001	15
Waarden	Gebruik van antwoordcategorieën	

5.3.3 Storingsanalyse

Na de gerapporteerde database te hebben gefilterd (zie Bijlage IV), zijn de overgebleven storingen geanalyseerd op basis van het aantal storingen:

- 1) seizoensinvloed (Bijlage IV - Figuur 3 en 4);
- 2) leeftijd van de gestoorde leidingen (Bijlage IV - Figuur 5);
- 3) locatie: hotspot-analyse (Bijlage IV - Tabel 3);
- 4) oorzaken per materiaal (Bijlage IV - Tabel 4).

Op basis van de storingsfrequentie:

- 5) storingsfrequentie per materiaal, diameter, leeftijd, en oorzaken (Bijlage IV - Figuur 6);
- 6) leidinggroepen met de hoogste storingsfrequentie (Tabel 12).

Als we kijken naar de seizoensinvloed op het storingspatroon van de verschillende materialen (Bijlage IV - Figuur 3), dan is er geen duidelijk verband te zien tussen het aantal storingen en de seizoenen. PVC stoorde iets vaker in de periode november tot april. Voor AC springen de hoge storingspercentages in oktober en november eruit.

Scheiden we de storingen naar oorzaak (Bijlage IV - Figuur 4), dan is te zien dat aantasting uitwendig (corrosie) voornamelijk in het najaar en de winter tot storingen leidde (van januari tot april en van september tot en met december).

Box-Whiskerplots op basis van het aantal storingen gegroepeerd naar oorzaken, onderdelen, diametercategorieën en materialen (Bijlage IV - Figuur 5) laten zien dat:

- PVC bij jongere leeftijd stoort (maar er zijn dan ook nauwelijks buizen van voor 1970);
- GIJ vooral stoort bij 65 jaar, maar heeft een grote spreiding;
- AC vooral stoort bij 46 jaar, in elk geval tussen 40 en 50 jaar;
- verbindingen gemiddeld genomen eerder stuk gaan dan buizen⁹;

⁹ In Rijswijk, Leidschendam en Voorburg komen relatief veel storingen voor bij verbindingen in AC-leidingen. Het is bekend dat aantasting van het natuurrubber in bepaald type mof in deze gebieden veel storingen heeft veroorzaakt.

- een aanlegfout rond 21 jaar aan het licht komt; storingen ten gevolge van uitwendige aantasting en zetting vaak pas jaren later;
- er maar weinig leidingen > 250 mm zijn; leidingen met kleine diameters storen eerder dan diameters 100-250 mm.

In Bijlage IV - Tabel 3 zijn de hotspots (in dit geval straten waar drie storingen of meer geregistreerd zijn in 2004 en 2005) in het verzorgingsgebied van DZH weergegeven. DZH heeft achteraf de lengtes van de hoofdleidingen in de betreffende straten doorgegeven.

De hotspots komen voornamelijk voor bij AC en GGIJ; de drie kunststof leidingen die in de lijst voorkomen, stoorden als gevolg van materiaal- of aanlegfouten. In de meeste gevallen gaat het om storingen ten gevolge van uitwendige belasting en grondzetting. Op de Hoeksekade in Bergschenhoek is de oorzaak van het falen specifiek wortelingroei. Dankzij de leidinglengtes is te zien, dat het Vredeoord in Den Haag de “hottest spot” is met drie storingen op 270 m.

Door regelmatig een hotspot-analyse uit te voeren, kunnen zwakke plekken in het netwerk geïdentificeerd worden, waardoor (tot op zekere hoogte) op storingen geanticipeerd kan worden.

De oorzaken van de storingen zijn van belang voor beheer van het leidingnet. In Bijlage IV - Tabel 4 is de verdeling van het aantal storingsoorzaken gegeven voor de materialen AC, GGIJ, PVC en PE. Bij AC en GGIJ zijn grondzetting en, op de tweede plaats, uitwendige belasting de voornaamste storingsoorzaken. Bij storingen op PVC en PE zijn aanleg- en montagefouten het meest als oorzaak genoemd.

De gemiddelde storingsfrequentie is 0,028 [st/km/jr]. Omdat de leeftijd van de leidingen niet bij de aangeleverde gegevens vermeld is, kan de storingfrequentie niet per leeftijd worden berekend en kan niet worden bepaald welke aanlegjaren relatief gevoelig zijn voor storingen (en dus mogelijk eerder aan vervanging toe zijn).

In Bijlage IV - Figuur 6 is de storingsfrequentie uitgezet tegen verschillende mogelijke verklarende factoren zoals diameter, materiaal, onderdeel en oorzaak. De grootste storingsfrequentie treedt op bij diameters t/m 100 mm, in GIJ en AC, ten gevolge van zetting. Verder is te zien:

- Van de kleine en middendiameters (tot 250 mm) presteert GGIJ het slechtst. De voornaamste oorzaak hiervan is grondzetting, gevolgd door uitwendige belasting en corrosie. Van de diameters ≤ 100 mm heeft PVC een hoge storingsfrequentie, in eerste plaats ten gevolge van grondzetting, maar daarnaast ook ten gevolge van aanleg-/montagefouten. PE heeft voor de diameters tot 250 mm ook hoge storingsfrequenties, meestal ten gevolge van aanleg-/montagefouten.
- Bij AC 200 is opvallend dat 6 van de 10 storingen het gevolg zijn van product-/materiaalfouten. Navraag bij DZH leert, dat dit vooral problemen met verbindingen zijn. Bij de grote diameters (≥ 250 mm)

komen als voornaamste oorzaken grondzetting en aanleg-/montagefouten voor.

Om te kijken welke groepen beter en welke slechter presteren, zijn de storingsfrequenties met elkaar vergeleken (Tabel 10 en Tabel 11). Nemen we de gemiddelde storingsfrequentie als ijkpunt, dan kunnen we door met plussen en minnen te waarderen in één oogopslag zien, welke materialen boven en welke beneden het gemiddelde presteren. In Tabel 11 is te zien, dat bij oplopende diameter de storingsfrequentie afneemt.

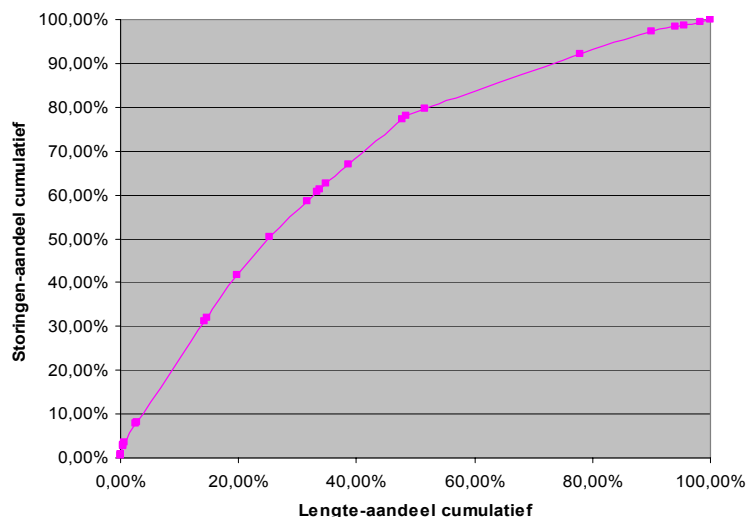
Tabel 10 Relatieve prestatie leidingmaterialen op basis van storingsfrequentie

Materiaal	Aandeel v.d. lengte	Storingen op HL	Aandeel v.d. storingen	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
AC	18 %	67	27 %	0,044	-
GGIJ	20 %	89	36 %	0,052	-
NGIJ	4 %	-	0 %	0	+
PE	6 %	13	5 %	0,023	0
PVC	50 %	79	32 %	0,018	+
Staal	1 %	1	0 %	0,016	+
Totaal	100 %	249	100 %	0,028	0

Tabel 11 Relatieve prestatie diametercategorieën op basis van storingsfrequentie

Diameter	Storingen op HL	Aandeel v.d. storingen	Aandeel v.d. lengte	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
≤ 100	126	51 %	33 %	0,044	-
101 - 249	113	45 %	53 %	0,024	0
≥ 250	10	4 %	14 %	0,008	+
Totaal	249	100 %	100 %	0,029	0

Leidinggroepen gedefinieerd op basis van materiaal en diameter kunnen worden geordend naar storingsfrequentie. In Figuur 13 is te zien, dat de helft van de storingen wordt veroorzaakt door een kwart van de lengte.



Figuur 13 Storingen per lengte (cumulatief) – groepen ingedeeld op basis van diameter en materiaal

De helft van de storingen wordt veroorzaakt door het type leidingen weergegeven in Tabel 12. De schuingedrukte materiaal-/diameter groepen (PVC 250, PE 90 en GGIJ 250), zijn gebaseerd op één storing. Deze incidentele storingen vonden plaats op leidinglengtes tussen 5 en 7,5 km, waardoor ze wel in de lijst terecht zijn gekomen (de eis was leidinglengtes > 5 km), maar geen uitspraak doen over frequent storende groepen. Voor PVC 250, PE 90 en GGIJ 250 is nader onderzoek niet nodig. In PE 200 zijn 2 storingen opgetreden, wat de groep ook een uitzonderingscategorie maakt waarvoor nadere beschouwing niet noodzakelijkerwijs prioriteit heeft. Nader onderzoek naar de leidingtypen AC 150, AC 200, GGIJ 100 en GGIJ 150 is gewenst op basis van hun storingsfrequentie en lengte.

Tabel 12 Meest storingsgevoelige leidingtypen (veroorzaken 50 % van de totale storingen DZH)

Materiaal diameter	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Aantal storingen	Lengte [m]
GGIJ 80	0,172	4	11.628
PVC 250	0,086	1	5.814
PE 90	0,076	1	6.612
AC 200	0,071	10	70.037
GGIJ 225	0,067	1	7.468
GGIJ 100	0,062	53	428.869
PE 200	0,061	2	63.776
AC 150	0,06	23	190.214
GGIJ 150	0,049	20	205.016

5.3.4 Conclusies

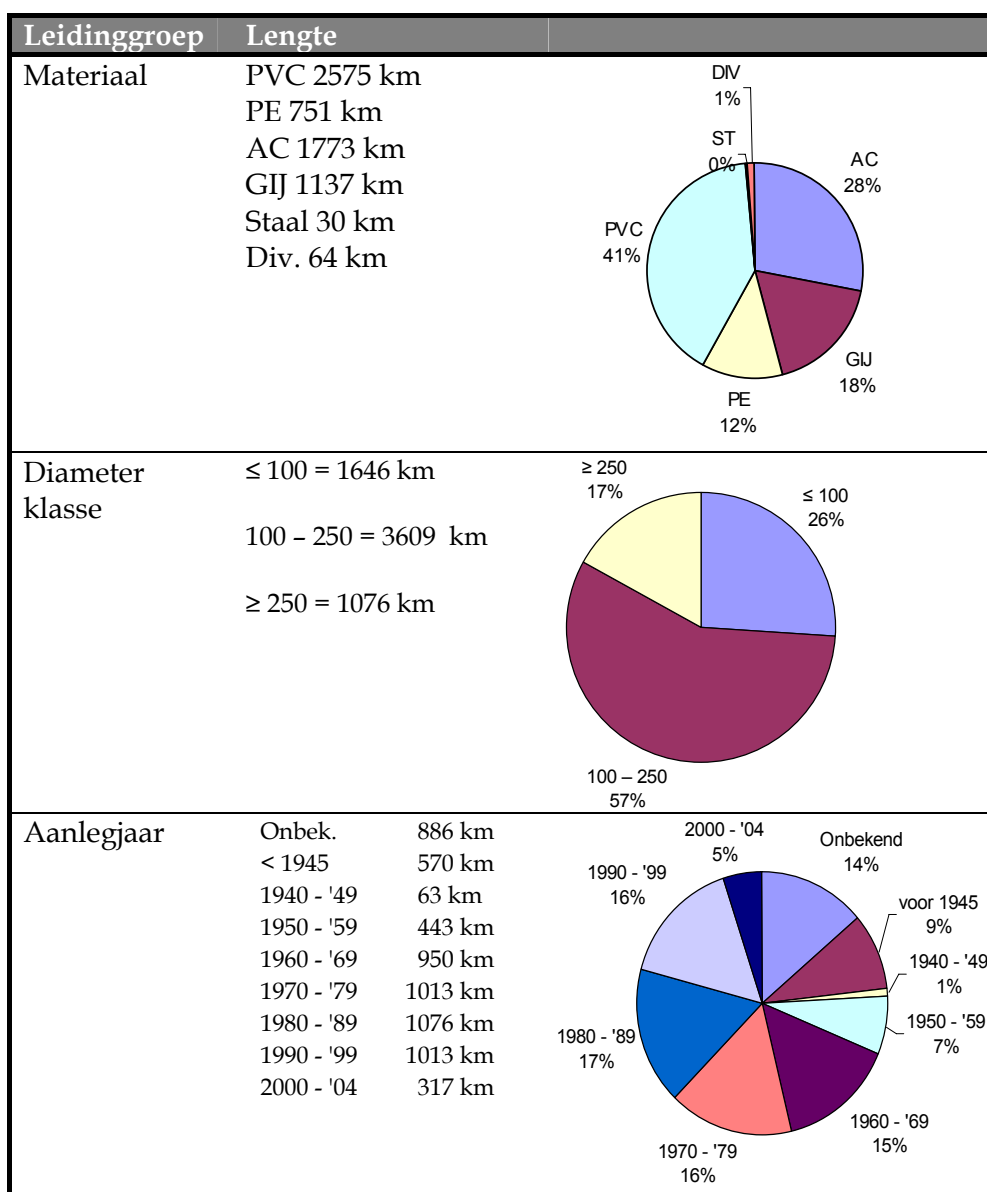
- Het grootste gedeelte (56 % van de lengte) van het hoofdleidingennet van DZH bestaat uit kunststof. Deze materialen (voornamelijk PVC en PE) presteren beter dan de oudere materialen GIJ (23 % waarvan voornamelijk GGIJ) en AC (18 %).
- De helft van de storingen op PVC en PE is veroorzaakt door aanleg- en materiaalfouten. Het resultaat bevestigt hypothese H5.
- Seizoensinvloed is niet met overtuiging vast te leggen, maar een enkel onderscheid kan wel worden gemaakt: PVC stoorde vaker in de maanden november tot april, AC in oktober en november.
- GGIJ stoort gemiddeld genomen bij een leeftijd van 65 jaar (wel met een grote spreiding) en AC stoort grofweg wanneer de leeftijd tussen de 40 en 50 jaar ligt. PVC en PE zijn nog niet zo lang in gebruik.
- De belangrijkste oorzaken die genoemd worden, zijn grondzetting en uitwendige belasting. Omdat moeilijk te beoordelen is wat het verschil is als het onderdeel eenmaal is bezwaken, kan overwogen worden deze categorieën samen te voegen, of te wijzigen in waarneembaar van elkaar onderscheidende categorieën (zie ook Bijlage IV).
- De leidingtypen AC 150, AC 200, GGIJ 100 en GGIJ 150 hebben voor een groot deel van de storingen gezorgd. Dit zijn de kleine en middencategorie diameters. Hypothese H2 kan met dit resultaat niet worden bevestigd, noch ontkracht.

5.4 Vitens Midden Nederland

De data voor het project *Statistische storingsanalyse* zijn door het toenmalige Hydron MN gerapporteerd. In de loop van het project is Hydron MN Vitens geworden. De data zoals aangeleverd door Hydron MN zijn hier nog gebruikt voor de analyse. Hydron MN leverde in 2004 ca. 79 miljoen m³ aan 545.666 aansluitingen in de provincie Utrecht (Uit: jaarverslag Hydron MN 2004). De totale lengte van de hoofdleidingen bedroeg 6331km¹⁰.

5.4.1 LIS-gegevens

De LIS-gegevens zijn weergegeven in leidinggroepen per materiaal, diameterklasse en aanlegjaar.



¹⁰ Trietsch & Rosenthal, 2004

5.4.2 De storingsdatabase

In Tabel 13 zijn de karakteristieken van de gerapporteerde database weergegeven. Een uitgebreider overzicht van wat er geregistreerd is, is te zien in Bijlage IV.

Tabel 13 Karakteristieken van de gerapporteerde storingsdatabase van Hydron MN

Database HMN		
Geregistreerd	Storingen	
Periode	1998 t/m 2004	
Aantal storingen	Geregistreerd	659
	Geanalyseerd	340
Aantal parameters	Geregistreerd	50
	Overeenkomstig aanbevelingen 2001	12
Waarden	Combinatie van vrij in te vullen en antwoordcategorieën	

De aangeleverde storingsdatabase (659 storingen) bevat storingen die zijn opgetreden in de jaren 1998 t/m 2004. Voor de analyse is echter alleen gebruik gemaakt van de storingen uit 2004, omdat in de andere jaren beduidend minder storingen geregistreerd waren, waardoor het vermoeden bestond dat hier slechts sporadisch geregistreerd was. Meenemen van deze storingen kan een vertekend beeld geven van onder andere de storingsfrequentie. In Bijlage IV is te zien welke filters zijn toegepast op de oorspronkelijke database en wat er uiteindelijk van het oorspronkelijk aantal storingen overgebleven is. Ook is een verantwoording gegeven van de indeling in categorieën om de gegevens uit de database geschikt te maken voor statistische analyse.

5.4.3 Storingsanalyse

Na filteren en categoriseren, zijn de overgebleven storingen geanalyseerd op basis van het aantal storingen:

1. seizoensinvloed (Bijlage IV - Figuur 7);
2. locatie (hotspot-analyse, zie Bijlage IV - Tabel 7).

Door de storingsdatabase te combineren met het LIS kunnen ook storingsfrequenties worden bepaald:

3. storingsfrequentie per periode van aanleg (Bijlage IV - Figuur 8 en Bijlage IV - Figuur 9);
4. storingsfrequentie per materiaal, diameter, onderdeel, en oorzaken (Bijlage IV - Figuur 10);
5. leidinggroepen met de hoogste storingsfrequentie (Tabel 14 en Tabel 15).

De datum van de storing geeft informatie over de seizoensinvloed (zie Bijlage IV - Figuur 7). In de eerste drie maanden van het jaar vertoonden verbindingen een verhoogd aantal storingen, terwijl 'kabels en leidingen' juist in de laatste drie maanden van het jaar als storingscategorie wordt genoemd. Buizen storen vooral in het najaar. Seizoensinvloed per materiaalcategorie is alleen voor GIJ te zien, dat in de wintermaanden een verhoogd aantal

storingen laat zien. Voor staal is het aantal storingen (3) en de leidinglengte (30 km) te klein om algemene uitspraken te doen. De overige factoren laten een minder duidelijk seizoenspatroon zien.

Voor de hotspot-analyse is gekeken naar straatnamen waar zich drie of meer storingen hebben voorgedaan in 2004. De hotspot-analyse kan het beste gedaan worden door iemand die het gebied kent en op de hoogte is van wat er in het (recente) verleden aan incidenten en werkzaamheden heeft plaatsgevonden. Door naar de omstandigheden van de storingen te kijken, kan voorkomen worden dat verkeerde conclusies getrokken worden. Bij dit project zijn de genoemde omstandigheden niet in beschouwing genomen. Een projectie van de storingen op een kaart van het gebied, of op postcode (6 karakters) geeft een beter beeld van werkelijke hotspots, maar deze gegevens waren niet voorhanden.

Het meest voorkomende materiaal in de hotspot-analyse is AC. Mogelijk veroorzaken storingen en reparaties aan dit materiaal nieuwe storingen (in zwakke plekken). GIJ komt een aantal keer voor en PVC sporadisch. In één straat kwamen vijf storingen op een buis PVC 110 voor. Omdat er vier van de vijf storingen in een tijdsbestek van twee dagen plaatsvonden, is waarschijnlijk dat er zich rond die data een incident heeft voorgedaan of werkzaamheden geweest zijn. Bij het trekken van conclusies over Bijlage IV - Tabel 7 is voorzichtigheid geboden, omdat de lengtes van de betreffende hoofdleidingen niet vermeld zijn.

In Bijlage IV - Figuur 8 is een Box-Whiskerplot gemaakt op basis van aantallen storende materialen en leeftijd. GIJ stoort bij hogere leeftijd dan AC en AC stoort bij hogere leeftijd dan PVC. Daarbij dient opgemerkt te worden dat er veel meer oude GIJ-leidingen liggen dan AC-leidingen en PVC-leidingen.

De gemiddelde storingsfrequentie is 0,054 [st/km/jr]. De storingen vertonen een bepaalde mate van leeftijdafhankelijkheid zoals te zien is in Bijlage IV - Figuur 9. Weergave van de storingsfrequentie per periode van aanleg laat zien dat het aantal storingen per km leiding hoger ligt bij oudere leidingen en lager bij recenter aangelegde leidingen.

In Bijlage IV - Figuur 10 is de storingsfrequentie voor verschillende factoren uitgezet. Hieruit kan worden geconcludeerd dat in de categorie diameters tot 100 mm GIJ een relatief hoge storingsfrequentie heeft en in de categorie diameters 100 - 250 mm AC en GIJ een relatief hoge storingsfrequentie hebben. De belangrijkste storingscategorieën zijn 'onbekend' en breuk. Bij gebrek aan gedetailleerdere informatie is de storingsfrequentie berekend op basis van een gelijke verdeling van 'buizen', 'verbindingen' en 'onbekende' onderdelen. In werkelijkheid zijn de 'onbekende' onderdelen meestal buizen.

De prestatie van leidingen op basis van materiaal en diameter staan in onderstaande tabellen. AC en GIJ presteren het slechtst, PVC en PE het best.

De prestatie per diametercategorie neemt boven de 100 mm af bij toenemende diametercategorie.

Tabel 14 Relatieve prestatie leidingmaterialen op basis van storingsfrequentie.

Materiaal	Aandeel v.d. lengte	Storingen op HL	Aandeel v.d. storingen	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
AC	28 %	153	45 %	0,086	-
GIJ	18 %	97	28 %	0,085	-
PVC + PE	53 %	87	26 %	0,026	+
Staal	0,5 %	3	1 %	0,100	-
Totaal	100 %	340	100 %	0,054	0

Tabel 15 Relatieve prestatie diametercategorieën op basis van storingsfrequentie.

Diameter	Aandeel v.d. lengte	Storingen op HL	Aandeel v.d. storingen	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
≤ 100	26 %	81	24 %	0,049	+ / 0
101 - 249	58 %	249	73 %	0,068	-
≥ 250	17 %	10	3 %	0,009	+
Totaal	100 %	340	100 %	0,054	0

5.4.4 Conclusies

- De open antwoordvelden in de registratie, waarbij de monteurs de vrije hand hebben in het invullen van de (soms onduidelijke) categorieën is nadelig voor de analyse. Achteraf ordenen van de gegevens in categorieën om vermoedelijke relaties tussen bijvoorbeeld materiaal en oorzaak aan te kunnen tonen, is een tijdrovende zaak die bovendien vertroebeling van de data tot gevolg heeft. Nauwkeurig onderscheid in de registratie tussen aard, oorzaak en onderdeel komt de analyse ten goede. Doordat bijvoorbeeld zowel in de categorie 'onderdeel' als in de categorie 'storingscategorie' als antwoord 'verbinding' is ingevuld, gaat nuttige informatie in de analyse verloren. Bovendien wordt het moeilijker conclusies te trekken, omdat de storingen verdeeld worden over meer categorieën.
- Een algemeen beeld van de leeftijdafhankelijkheid van storingen verschijnt bij het berekenen van de storingsfrequentie per aanlegperiode. De storingsfrequentie neemt toe bij oudere leidingen.

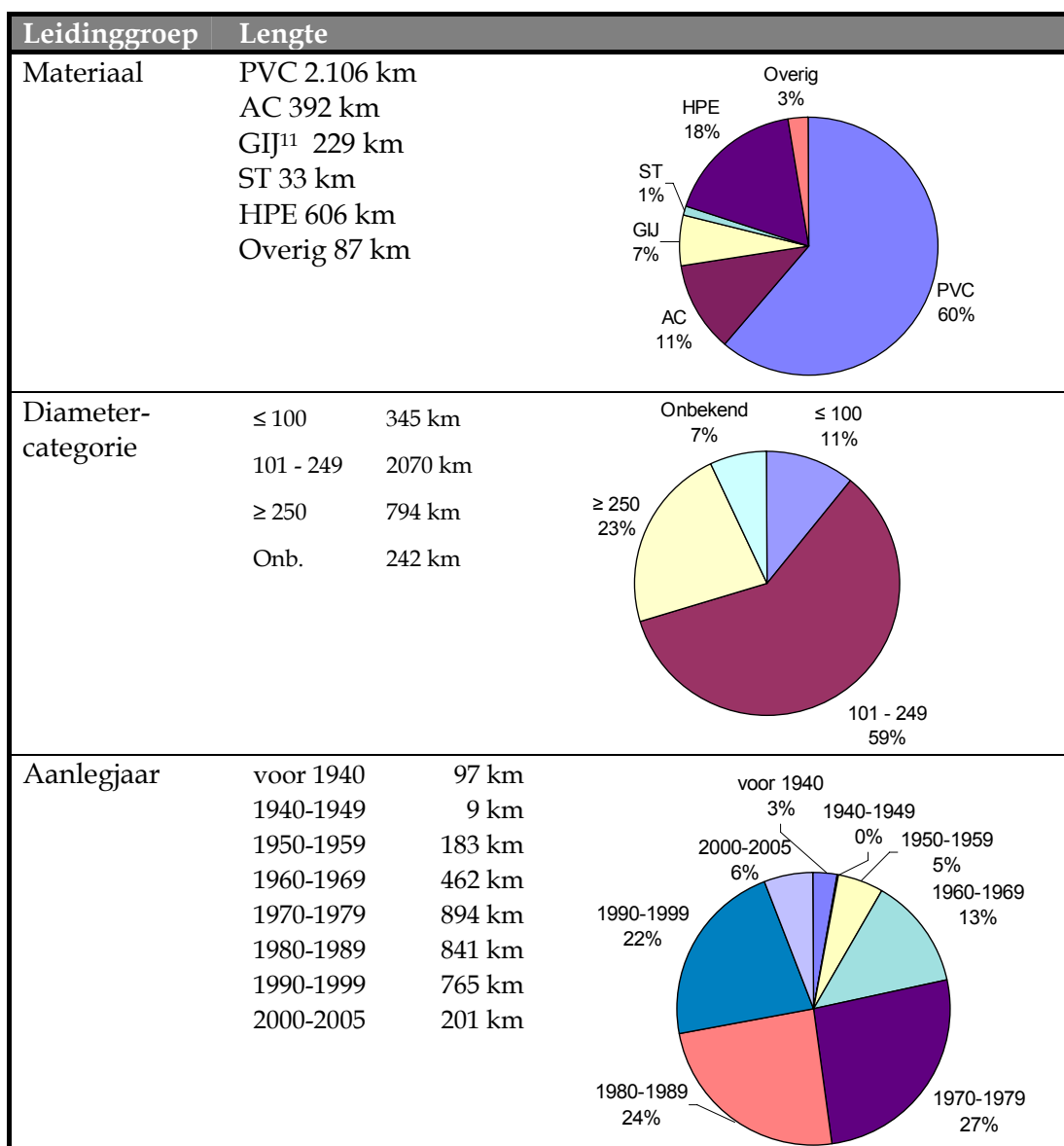
- GIJ stoort bij hogere leeftijd dan AC en AC stoort bij hogere leeftijd dan PVC. In de leeftijdsopbouw van het leidingnet is te zien dat er meer oude GIJ-leidingen dan AC-leidingen en PVC-leidingen liggen.
- Het aflopen van de storingsfrequenties bij oplopende diametercategorieën correspondeert met de bevindingen uit de literatuur (hypothese H2).
- Uit de hotspot-analyse komen een aantal straten naar voren waar meer dan drie storingen zijn opgetreden in 2004. In de meeste gevallen betreft het breuk in AC. Aan hand van de lijst kan gekeken worden wat storingsgevoelige plaatsen en materialen waren in het betreffende jaar, waarbij de omstandigheden waarmee die plaatsen te maken gehad hebben (incidenten, werkzaamheden, etc.) in de beschouwing dienen te worden meegenomen. De hotspot-analyse kan verder verbeterd worden door het uit te laten voeren door iemand die bekend is met het gebied. Op die manier kunnen storingen op dichtbij elkaar gelegen adressen (maar niet in dezelfde straat) toch herkend worden zonder dat de postcodes bekend zijn.
- De oudere materialen GIJ en AC presteren slechter dan de nieuwere materialen PVC en PE.
- Seizoensinvloed op het optreden van storingen is met de hier gebruikte indeling moeilijk te ontdekken. In buizen treden de storingen vaker in het najaar op dan in de rest van het jaar.

5.5 Oasen

Oasen levert drinkwater aan 750.000 mensen en 7.200 bedrijven in het oosten van Zuid-Holland. De drinkwaterafzet bedraagt gemiddeld 47 miljoen m³ per jaar, getransporteerd door een hoofdleidingennet van 3452 km.

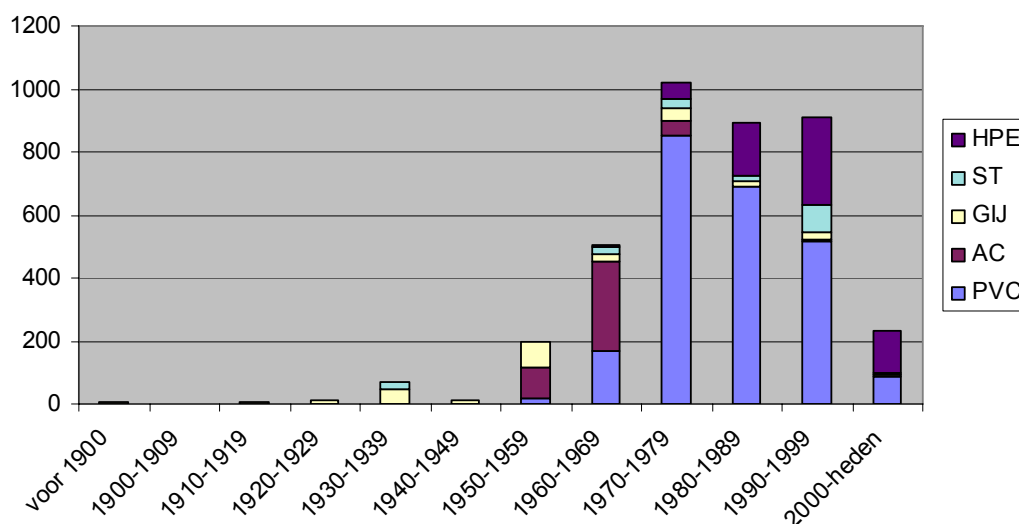
5.5.1 LIS-gegevens

Van de hoofdleidingen is per materiaalsoort bekend wat de lengtes zijn en in welke periode ze zijn aangelegd. Eind 2005 bedroeg de totale lengte van de hoofdleidingen 3.452 km en van transportleidingen 498 km.



¹¹ Oasen gebruikt 'GIJ' voor zowel 'GGIJ' als 'NGIJ'

Verdeeld naar aanlegjaar zag het leidingnet er eind 2005 uit zoals weergegeven in Figuur 14. De aanlegjaren zijn voor elk materiaal per periode van 10 jaar gegeven. Het materiaalgebruik komt overeen met het landelijke gebruik. De relatief grote lengte stalen leidingen die in de periode 1990 – 1999 gelegd is, betreft de slagader tussen de Alblasserwaard en Hazerswoude.



Figuur 14 Verdeling leidinglengtes per aanlegjaar per materiaal

5.5.2 De storingsdatabase

De storingsdatabase is een MS Excel bestand dat 992 storingen bevat, geregistreerd in de periode van 22 april 2004 tot en met 16 juni 2006 (ca. 2 jaar). In Tabel 16 zijn de karakteristieken van de gerapporteerde database weergegeven. Een uitgebreider overzicht van wat er geregistreerd is, is te zien in Bijlage IV - Tabel 8.

Tabel 16 Karakteristieken van de gerapporteerde storingsdatabase van Oasen

Database Oasen		
Geregistreerd	Storingen	
Periode	22 april 2004 t/m 16 juni 2006	
Aantal storingen	Geregistreerd	992
	Geanalyseerd	593
Aantal parameters	Geregistreerd	36
	Overeenkomstig aanbevelingen 2001	12
Waarden	Combinatie van vrij in te vullen en antwoordcategorieën	

5.5.3 Storingsanalyse

De storingen die na filteren zijn overgebleven, zijn geanalyseerd op basis van het aantal storingen:

1. seizoensinvloed (Bijlage IV - Figuur 11);

Door de storingsdatabase te combineren met het LIS kunnen ook

storingsfrequenties worden bepaald:

2. storingsfrequentie per materiaal, diameter, onderdeel, en oorzaken (Bijlage IV - Figuur 12);
3. leidinggroepen met de hoogste storingsfrequentie (Tabel 17 en Tabel 18);
4. storingsfrequentie van de verschillende materialen, afhankelijk van de leeftijd (Bijlage IV - Figuur 13);
5. de groepen met de hoogste storingsfrequentie op basis van het aantal storingen en OLM (Tabel 19 en Tabel 20)

Voor de seizoensinvloed is in Bijlage IV - Figuur 11 het aandeel storingen per maand weergegeven voor verschillende groepen. De groepen zijn achtereenvolgens ingedeeld naar oorzaak, diametercategorie, materiaal en onderdeel. Er lijkt geen relatie te zijn tussen diameter en het seizoen van storingen te bestaan. Ook voor de oorzaken is nauwelijks een onderscheid te maken naar maand. Er kan hooguit worden opgemerkt dat in de periode februari - mei inwendige aantasting iets vaker tot storingen leidde dan gemiddeld genomen over de rest van het jaar. Verder is te zien dat verbindingen wat vaker in de maanden januari - maart stoorden en dat staal relatief vaak stoort in de maanden mei - juli.

In Bijlage IV - Figuur 12 is de storingsfrequentie tegen verschillende invloedsfactoren uitgezet. Vooral de kleinste diameters van staal storen relatief vaak. Uitwendige aantasting is bij alle materialen vaak de oorzaak van het storen, waaruit kan worden opgemaakt dat omgevingsfactoren die aantasting kunnen veroorzaken belangrijke invloedsfactoren zijn.

De gemiddelde storingsfrequentie is 0,069 st/km/jr. In Tabel 17 is te zien, dat vooral AC vaak stoort, gevolgd door GGIJ en staal.

Tabel 17 Relatieve prestatie leidingmateriaal op basis van de storingsfrequentie

Materiaal	Storingen op HL	Aandeel v.d. storingen	Aandeel v.d. lengte	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
AC	168	28 %	11 %	0,180	-
GGIJ	79	13 %	7 %	0,134	-
HDPE	28	5 %	16 %	0,021	+
PVC	270	46 %	59 %	0,054	+
Staal	47	8 %	5 %	0,120	-
Totaal	592	100 %	98 %	0,069	0

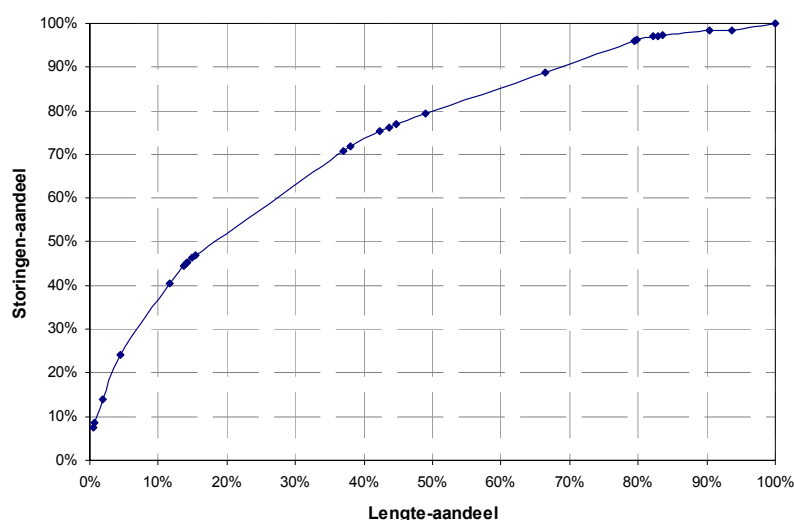
De relatieve prestatie van de verschillende diametercategorieën is weergegeven in Tabel 18. De kleinste diameterklassen presteren het slechtst per km, op grote afstand gevolgd door de middencategorie en de grootste diameterklassen storen het minst per km.

Tabel 18 Relatieve prestatie diametercategorieën op basis van de storingsfrequentie

Diameter	Storingen op HL	Aandeel v.d. storingen	Aandeel v.d. lengte	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
≤ 100	230	39 %	11 %	0,282	-
101 - 249	271	46 %	60 %	0,061	+
≥ 250	91	15 %	23 %	0,054	+
Totaal	592	100 %	94 %	0,080	0

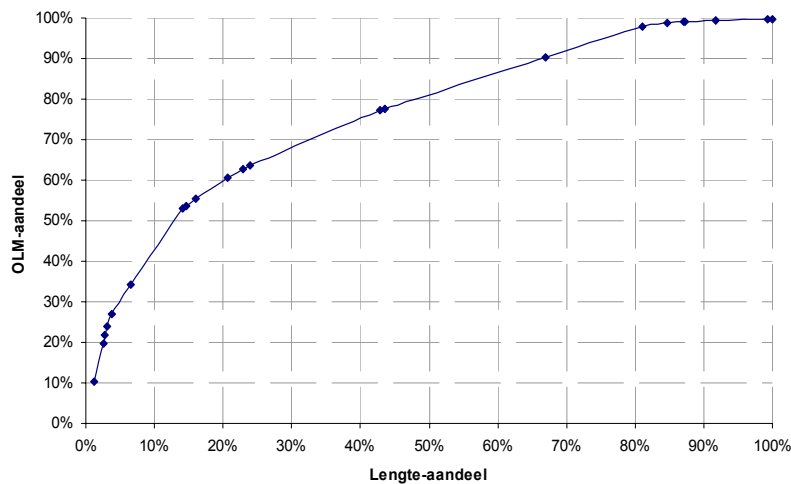
In Bijlage IV - Figuur 13 is de storingsfrequentie afhankelijk van de leeftijd weergegeven voor de verschillende materialen. Doordat de aanlegjaren alleen in perioden van 10 jaar bekend zijn is de relatie tussen leeftijd en storingsfrequentie niet duidelijk zichtbaar te maken.

Van de in het net aanwezige leidingtypen (ingedeeld naar materiaal en periode van aanleg) kan de storingsfrequentie berekend worden. Wanneer we het aantal storingen cumulatief uitzetten tegen de cumulatieve lengte, dan is de steilheid van de ontstane curve de storingsfrequentie (zie Figuur 15). In deze figuur is te zien, dat iets minder dan 20 % van de leidingen de helft van de storingen veroorzaakt.



Figuur 15 Cumulatief storings- en lengteaandeel, gesorteerd op aflopende storingsfrequentie

Als alternatieve mogelijkheid kan in plaats van het aandeel storingen ook het aandeel OLM per lengte-aandeel worden bekeken. In de registratie is het aantal aansluitingen opgenomen en het aantal minuten dat deze zonder water gezeten hebben. Hieruit kan worden berekend wat per leidingtype (materiaal en periode van aanleg) de OLM-frequentie is [OLM/km*jaar]. Wanneer we het cumulatieve OLM-aandeel tegen het cumulatieve lengte-aandeel uitzetten, krijgen we Figuur 16. Hierin is te zien, dat 50 % van de totale OLM veroorzaakt wordt door ca. 13 % van de leidinglengte.



Figuur 16 Cumulatief OLM- en lengteaandeel, gesorteerd op aflopende OLM-frequentie

De typen leidingen in Figuur 15 zijn de leidingen waarvan uit de storingsregistratie is gebleken dat zij verantwoordelijk zijn voor de helft van de storingen en dat zij relatief het meest storen. Ter vergelijking is in Figuur 16 weergegeven welke materialen per km lengte het meeste OLM veroorzaken en gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor de helft van de totale OLM. Vijf van de leidingtypen komen in beide lijsten voor:

- HDPE uit de periode 1960-1969
- GGIJ uit de periode 1920-1929
- Staal uit de periode 1930-1939
- AC uit de perioden 1950-1959 en 1960-1969

Tabel 19 De leidingtypes met de hoogste storingsfrequentie die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor 50 % van het totale aantal storingen

Materiaal	Periode	Lengte [km]
Staal	1930-1939	22,3
GGIJ	1940-1949	6,917
GGIJ	1930-1939	47,421
AC	1950-1959	98,6
AC	1960-1969	281,4
GGIJ	1950-1959	81,355
GGIJ	1920-1929	13,255
HDPE	1960-1969	10,1819
GGIJ	1960-1969	27,67
PVC	1950-1959	16,7

Tabel 20 De leidingtypes met de hoogste OLM per km die gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor 50 % van de totale OLM

Materiaal	Periode	Lengte [km]
AC	1970-1979	44,61
GGIJ	1930-1939	47,42
HDPE	1960-1969	10,18
GGIJ	1920-1929	13,26
Staal	1930-1939	22,30
AC	1950-1959	98,60
AC	1960-1969	281,40

5.5.4 Conclusies

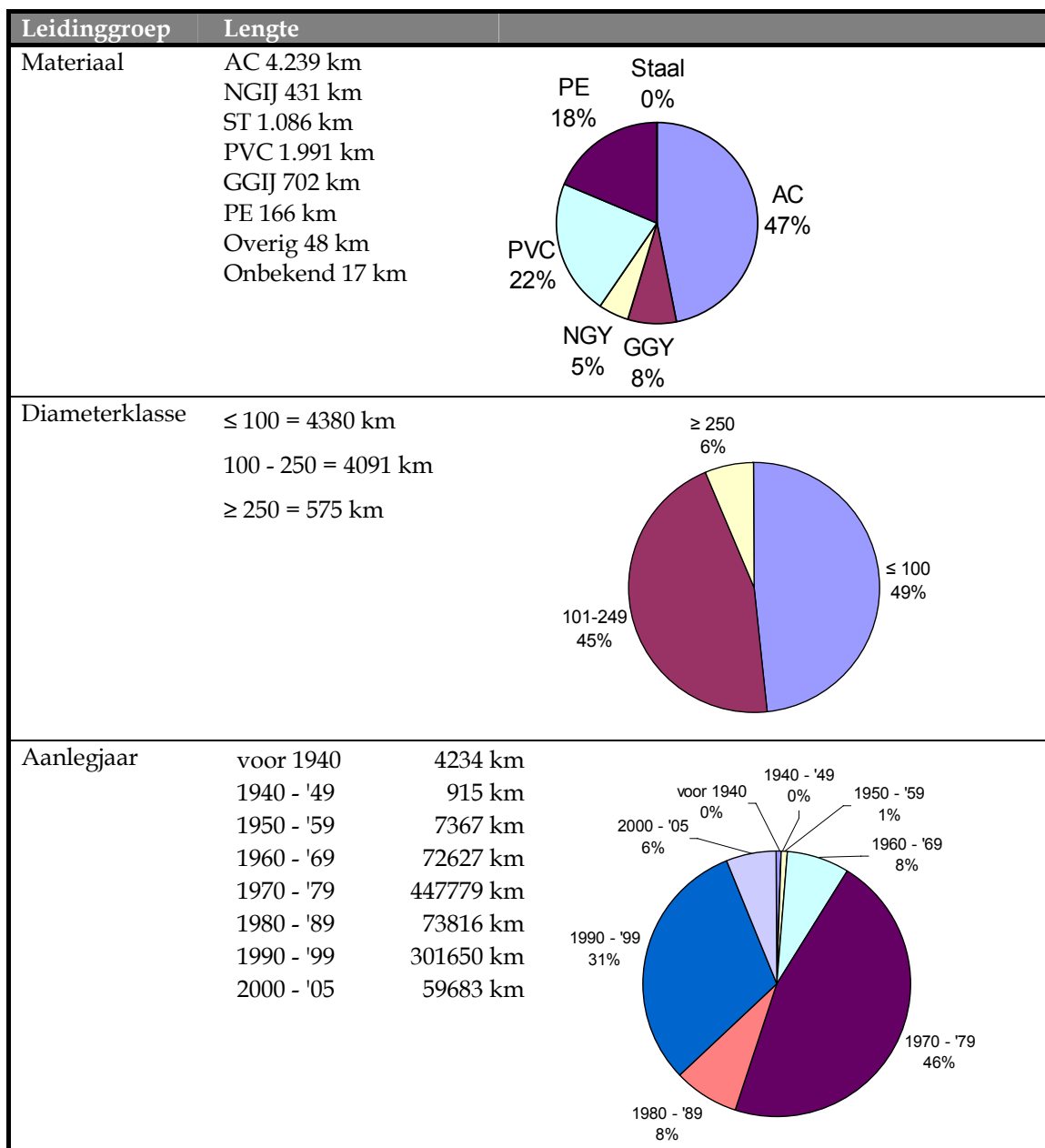
- Aantasting uitwendig wordt vaak als faaloorzaak genoemd. Verder onderzoek naar eventuele relaties van de storingen met specifieke omgevingsfactoren kan meer duidelijkheid bieden.
- AC, GIJ en staal vertonen vaker storingen per km dan PVC en PE.
- De storingsfrequentie is omgekeerd evenredig met de diametercategorieën, waarbij de bijzonder slechte prestatie van de kleinste diametercategorie opvalt (hypothese H2).
- Voor alle materialen geldt, dat naarmate de leeftijd vordert er hogere storingsfrequenties te zien zijn. Relaties zoals het storingsverloop in de tijd zijn echter moeilijk in kaart te brengen, omdat de leeftijd ingedeeld is in perioden van 10 jaar.

5.6 PWN

PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland levert jaarlijks 110 miljoen m³ drinkwater aan ruim 716 duizend aansluitingen via ca. 9.082 km hoofdleidingen (2005).

5.6.1 LIS-gegevens

De LIS-gegevens zijn weergegeven per materiaal, diameterklasse en aanlegjaar.



Het hoofdleidingnet van PWN was in 2005 ongeveer 9.082 km lang. In het LIS van 2003 en 2004 is de lengte van de leidingdelen bekend per materiaal, per diametercategorie en per aanlegperiode (Bijlage IV - Figuur 14).

5.6.2 De storingsdatabase

De storingsdatabase in de vorm van een MS Excel bestand bevat 1128 storingen. De registratie betreft de jaren 2003, 2004 en 2005. In Tabel 21 zijn de karakteristieken van de gerapporteerde database weergegeven. Een uitgebreider overzicht van wat er geregistreerd is, is te zien in Bijlage IV - Tabel 9.

Tabel 21 Karakteristieken van de gerapporteerde storingsdatabase van PWN

Database PWN		
Geregistreerd	Storingen	
Periode	2003, 2004 en 2005	
Aantal storingen	Geregistreerd	1128
	Geanalyseerd	711
Aantal parameters	Geregistreerd	37
	Overeenkomstig aanbevelingen 2001	15
Waarden	Combinatie van vrij in te vullen en antwoordcategorieën	

5.6.3 Storingsanalyse

In Bijlage IV staat beschreven welke filters zijn toegepast. De overgebleven storingen zijn geanalyseerd op basis van het aantal storingen:

1. seizoensinvloed (Bijlage IV - Figuur 15);

Door de storingsdatabase te combineren met het LIS kunnen ook storingsfrequenties worden bepaald:

2. storingsfrequentie per materiaal, diameter, onderdeel en oorzaken (Bijlage IV - Figuur 16);
3. leidinggroepen met de hoogste storingsfrequentie (Tabel 22 en Tabel 23);
4. storingsfrequentie van de verschillende materialen, afhankelijk van de leeftijd (Bijlage IV - Figuur 17);

In Bijlage IV - Figuur 15 zijn de storingen procentueel uitgezet tegen de maanden van het jaar om de seizoensinvloed te bepalen. Te zien is dat buizen en verbindingen in de storingsdatabase van PWN ongeveer hetzelfde patroon volgen; relatief weinig storingen in het voorjaar, maar in de periode vanaf juni tot februari falen de beide typen onderdelen vaker. AC vertoont een stijgende lijn in het aantal opgetreden storingen in de periode april tot september. De kunststoffen lijken iets vaker te storen in de tweede helft van het jaar (juni tot december). Bij GGJ is moeilijk een seizoensinvloed te ontwaren. De oorzaak hiervan kan zijn dat het een relatief klein aantal storingen betreft (38) die zijn verspreid over het hele jaar.

De storingsfrequentie van de belangrijkste materialen, diametercategorieën, onderdelen en oorzaken zijn weergegeven in Bijlage IV - Figuur 16. De diametercategorieën zijn ingedeeld in de categorieën ≤ 100 , $100 - 150$, $150 - 250$ en ≥ 250 . Reden hiervoor is de indeling van de beschikbare data van PWN. Deze indeling wijkt af van de bij de overige bedrijven gebruikte

indeling. In de categorie 100 – 150 zit de helft van de leidingen (zie paragraaf 5.6.1), die vanwege de omvang interessant is om op zichzelf te bekijken. PWN werkt met diameterklassen, dus niet met diameters in mm. De storingsfrequentie voor diameterklassen > 100 neemt af naarmate de diameterklasse toeneemt. De kleinste categorie (≤ 100) heeft niet – in overeenstemming met de literatuurbevindingen – de hoogste storingsfrequentie. In de storingsregistratie is zetting het meest aangegeven als oorzaak van falen, gevolgd door (in mindere mate) aantasting uitwendig. Er is weinig verschil te zien tussen de oorzaken van falen van buizen en die van verbindingen. Buizen stoorden iets vaker per km als gevolg van zetting en aantasting uitwendig, terwijl verbindingen iets vaker stoorden als gevolg van aanlegfouten. Dit kan ermee te maken hebben dat falen door aanlegfouten bij buizen minder voor de hand ligt dan bij verbindingen en het daarom minder vaak wordt aangegeven als oorzaak. De storingsfrequentie per diametercategorie verdeeld naar oorzaken komt overeen met de verdeling naar materialen en vertoont verder geen bijzonderheden.

In Tabel 22 is de storingsfrequentie van de belangrijkste materiaalgroepen berekend op basis van de gegevens van 2005 (dus niet alle beschikbare storingsdata zijn hierin meegenomen). Te zien is dat de relatief nieuwe materialen PVC en PE weinig stoorden. Staal heeft een bijzonder hoge storingsfrequentie, maar dat komt door de kleine lengte waarover we het hebben (er is namelijk slechts één storing opgetreden in 2005). Het kleine lengte-aandeel van staal maakt dat analyse hiervan minder zinvol is. AC presteert relatief het slechtst, op de voet gevolgd door GIJ. Nadere beschouwing van de storingsen op AC is gewenst vanuit het oogpunt van gericht beheer, omdat bijna de helft van het hoofdleidingennet uit dit materiaal bestaat.

Tabel 22 Relatieve prestatie leidingmaterialen op basis van storingsfrequentie

Materiaal	Aandeel v.d. lengte	Storingsen op HL	Aandeel v.d. storingsen	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
AC	47 %	447	63 %	0,030	-
GIJ	13 %	94	13 %	0,024	+
PVC + PE	40 %	170	24 %	0,023	+
Totaal	100 %	711	100 %	0,027	0

Tabel 23 geeft de storingsfrequenties per diametercategorie weer, gebaseerd op diameterklassen.

Tabel 23 Relatieve prestatie diametercategorieën op basis van storingsfrequentie.

Diameter klasse	Storingsen op HL	Aandeel v.d. storingsen	Aandeel v.d. lengte	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
≤100	76	11 %	21 %	0,011	+
100 - 150	357	50 %	50 %	0,022	0
150 - 250	213	30 %	22 %	0,030	-
≥ 250	65	9 %	7 %	0,029	-
Totaal	711	100 %	100 %	0,022	0

In Bijlage IV - Figuur 17 is de storingsfrequentie uitgezet tegen de leeftijd. AC vertoont vaker storingsen wanneer het ouder is dan 40 jaar. Voor PVC en PE is een stijging te zien na een leeftijd van ca. 35 jaar. De storingsdata voor PVC en PE ouder dan 50 jaar is op zijn minst twijfelachtig te noemen, omdat de materialen nog niet zo oud zijn. Aangeraden wordt de 'verdachte' storingsen nader te bekijken. Voor GIJ is geen duidelijk verband te ontdekken met de leeftijd.

5.6.4 Conclusies

- Bij de registratie valt op dat er veel geregistreerd is per storing en dat er erg veel antwoordcategorieën zijn die elkaar nu eens overlappen, en dan weer betrekking hebben op andere vragen. Deze vorm van vervuiling van de database komt de analyse niet ten goede.
- Het aantal storingsen per maand laat zien, dat zowel buizen als verbindingen hetzelfde patroon vertonen; er treden minder storingsen op in het voorjaar dan in de rest van het jaar. Het aantal storingsen op AC vertoont een stijgende lijn tussen april en september. Voor GGIJ is geen seizoensinvloed te ontdekken (vanwege het kleine aantal

storingen). PVC en PE lijken vaker te storen in de tweede helft van het jaar.

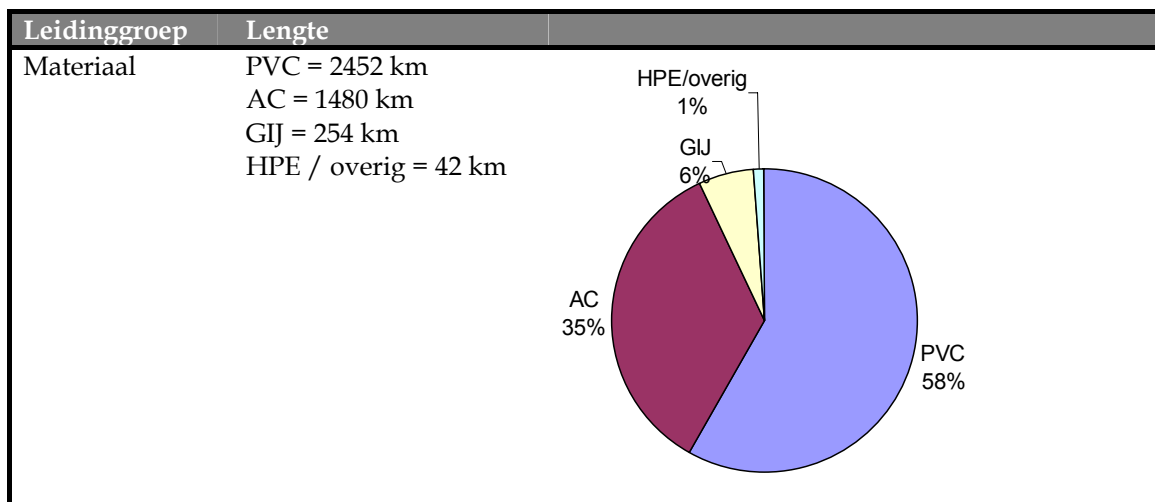
- In de storingsregistratie zijn zettingen het meest aangegeven als oorzaak van falen, gevolgd door aantasting uitwendig. Ook hier geldt, dat wanneer het leidingdeel eenmaal bezwiken is, het niet altijd duidelijk is of dit het gevolg was van zettingen, aantasting of een combinatie van beiden (en welke in dat geval doorslaggevend was).
- De materialen PVC en PE presteren het beste, wat ook verwacht mag worden vanwege hun lagere leeftijd. GGIJ en AC presteren het slechtst, waarbij nader onderzoek naar AC gewenst is gezien het grote aandeel van dit materiaal in het leidingennet.
- Bij oplopende diameterklasse ≥ 100 neemt het aantal storingen per km per jaar af (hypothese H2).
- Uitgezet tegen de leeftijd geven de storingsdata van AC duidelijk te zien, dat de storingsfrequentie toeneemt bij leeftijden ouder dan 40 jaar. Voor de andere materialen is het lastiger dit aan te geven. Bij PVC en PE lijkt hetzelfde te gebeuren na 35 jaar, maar gezien de korte leeftijd van dit materiaal is het onwaarschijnlijk omdat het hier om onvoldoende storingen gaat om uitspraken over te doen. Nader onderzoek is wenselijk.

5.7 WMD

Waterleidingmaatschappij Drenthe (WMD) in het Noordoosten van het land bedient ca. 186.000 aansluitingen van 32 miljoen m³ water per jaar via een leidingnet van ongeveer 4.228 km lang.

5.7.1 LIS-gegevens

De opbouw van het leidingnet van WMD is weergegeven in onderstaand taartdiagram. Bij de gerapporteerde gegevens waren de verdeling van de aanwezige diameters en aanlegjaren niet gegeven.



5.7.2 De storingsdatabase

In Tabel 24 zijn de karakteristieken van de gerapporteerde database weergegeven. Een uitgebreider overzicht van wat er geregistreerd is, is te zien in Bijlage IV - Tabel 10.

Tabel 24 Karakteristieken van de gerapporteerde database van WMD

Database WMD		
Geregistreerd	Storingen	
Periode	2003 t/m 2005	
Aantal storingen	Geregistreerd	1340
	Geanalyseerd	1174
Aantal parameters	Geregistreerd	10
	Overeenkomstig aanbevelingen 2001	3
Waarden	Combinatie van vrij in te vullen en antwoordcategorieën	

WMD heeft een registratiesysteem in MS Excel waarin gerapporteerd wordt welke werkzaamheden (gepland werk en storingen) zijn verricht aan het hoofdleidingnet (leidingen, brandkranen, afsluiters). Voor ieder jaar wordt

een MS Excel bestand gemaakt, met per maand een gevulde spreadsheet. In Bijlage IV wordt de registratie van WMD nader toegelicht.

5.7.3 Storingsanalyse

In Bijlage IV is beschreven welke filters zijn toegepast. De na filtering overgebleven storingen zijn geanalyseerd op basis van het aantal storingen:

1. seizoensinvloed (Bijlage IV - Figuur 18 en Bijlage IV - Figuur 19);

Door de storingsdatabase te combineren met het LIS kunnen ook storingsfrequenties worden bepaald:

2. storingsfrequentie per materiaal, en aard van de storing (Bijlage IV - Figuur 20);
3. storingsfrequentie naar leeftijd van de verschillende diametercategorieën (Bijlage IV - Figuur 21);
4. storingsfrequentie van de verschillende materiaalgroepen (Tabel 25);

Uit Bijlage IV - Figuur 18 blijkt dat er een beperkte seizoensinvloed is. GIJ-leidingen stoorden minder vaak in de zomermaanden; rondbreuken kwamen relatief vaak in de maanden juli-september voor. Uit Bijlage IV - Figuur 19 dat in AC-leidingen gemiddeld iets meer storingen optraden in de maanden juli-september; door de droge zomer van 2003 komt de seizoensinvloed extra sterk naar voren.

Uit Bijlage IV - Figuur 20 blijkt dat AC-leidingen een hogere storingsfrequentie hebben dan GIJ-leidingen en PVC-leidingen. AC-leidingen vertonen het vaakst een scheur of rondbreuk; GIJ-leidingen hebben een rondbreuk of een lekkende verbinding; PVC-leidingen scheuren meestal.

Bijlage IV - Figuur 21 geeft de storingsfrequentie van verschillende diametercategorieën AC weer, uitgezet tegen de leeftijd van de leidingnetonderdelen waarin storingen zijn opgetreden. De storingsfrequentie is berekend met de totale lengte van AC-leidingen (30 % ≤ 100 mm, 60 % 101 – 249, 10 % ≥ 250 mm) en dus niet per lengte van een bepaalde leeftijd.

Tabel 25 Relatieve prestatie leidingmaterialen op basis van storingsfrequentie.

Materiaal	Aandeel v.d. lengte	Storings op HL	Aandeel v.d. storings	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
AC	35 %	932	72 %	0,210	-
GIJ	6 %	85	5 %	0,112	-
PVC + PE	156	156	22 %	0,021	+
Overig	1 %	1	1 %	0,008	+
Totaal	100 %	1174	100 %	0,093	0

De storingsgegevens zijn niet gekoppeld aan adressen of aan het GIS¹², waardoor een hotspot-analyse niet mogelijk was.

Geregistreerde data met betrekking tot de toestand van de leidingen (uit de KSLB-DB) worden in een ander project, 'Conditiebepaling', geanalyseerd.

5.7.4 Conclusies

- Opvallend is het bijzonder grote aandeel van storingen op AC. Hoewel slechts een derde van de totale lengte van dit materiaal is, komen hierin wel bijna 80 % van de storingen voor.
- Voor de storingsfrequentie van AC geldt dat deze, in overeenstemming met bevindingen uit de literatuur, omgekeerd evenredig is met de diameter.
- Er zijn geen (vermoedelijke) oorzaken geregistreerd, waardoor hiervan geen verbanden onderzocht kunnen worden. Met behulp van een koppeling met GIS kunnen eventuele verbanden tussen bijvoorbeeld bodemsoort en aard van de storing onderzocht worden.
- AC faalt relatief vaker door scheur dan door rondbreuk, bij GIJ treedt rondbreuk het meest op. Het resultaat van AC is niet in overeenstemming met de bevindingen uit de internationale literatuur. In de literatuur wordt zowel voor AC als GIJ rondbreuk het meest als faalmechanisme gerapporteerd. Een oorzaak kan zijn afwijkingen in het leidingmateriaal, maar nader onderzoek is nodig hier uitsluitsel over te geven.
- De verbindingen van GIJ zijn relatief storingsgevoelig vergeleken met die van AC en PVC.
- In de zomer van 2003 zijn bovengemiddeld veel storingen opgetreden, evenals in de maanden oktober t/m december (hoewel het verschil met 2004 en 2005 in deze maanden iets minder was).

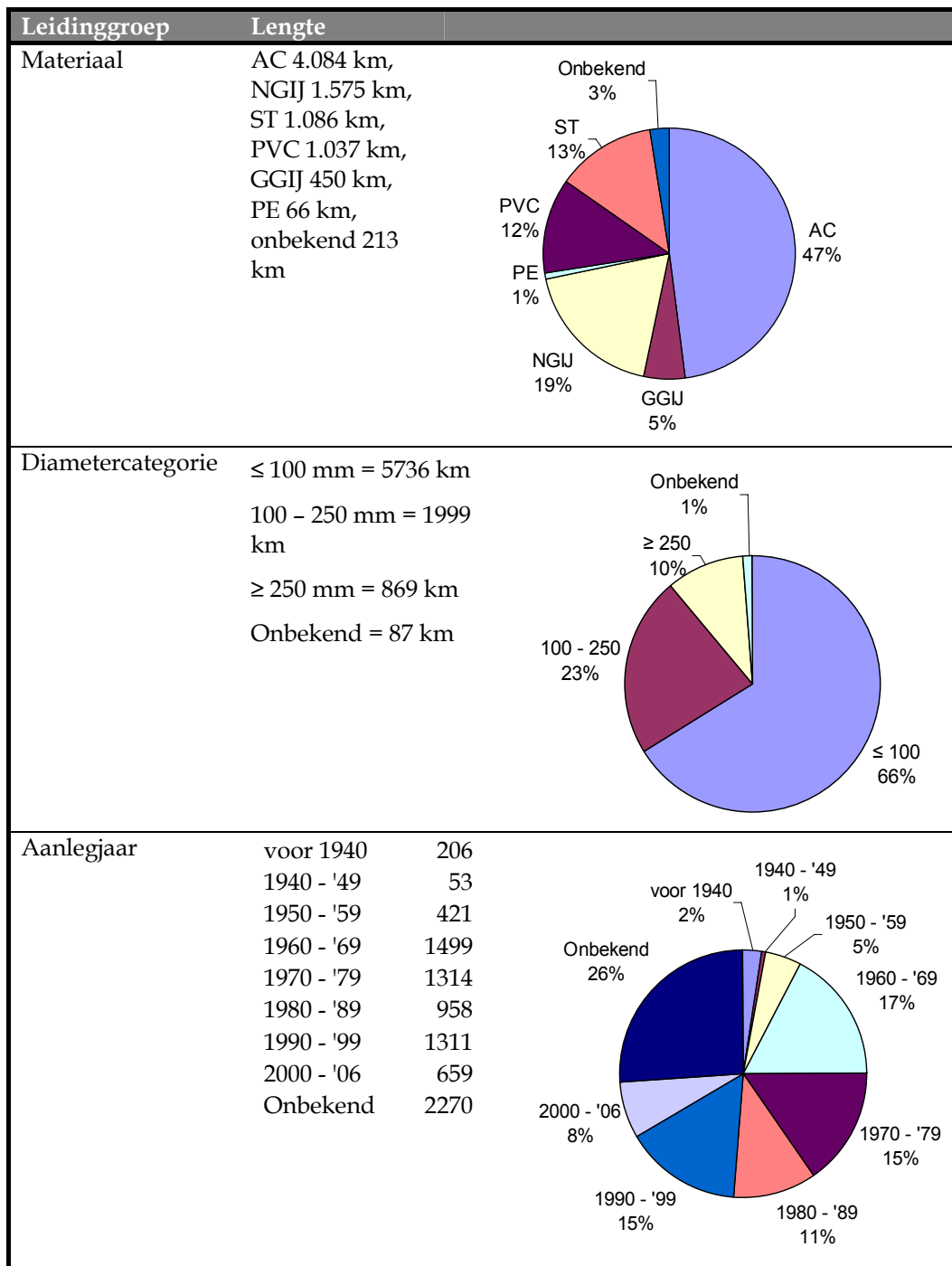
¹² Geografisch Informatie Systeem

5.8 WML

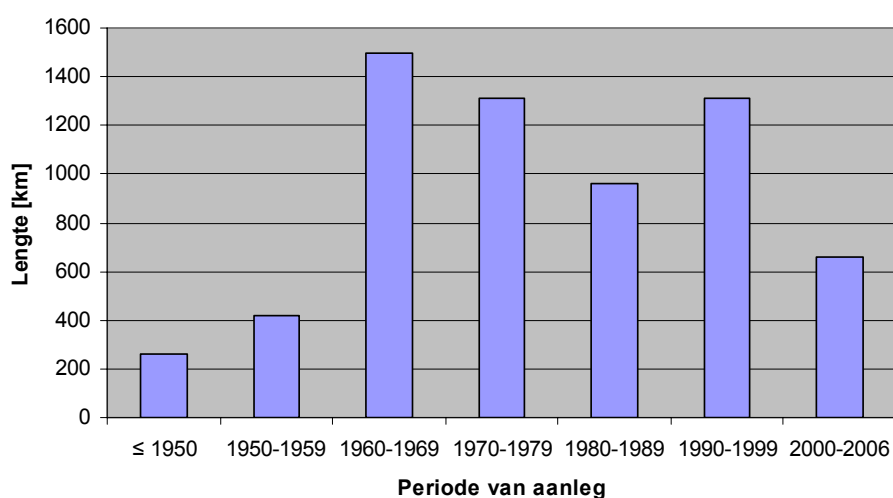
Waterleiding Maatschappij Limburg voorziet 516.783 aansluitingen in Limburg jaarlijks van bijna 73 miljoen m³ water. Het heeft voor de distributie van het water 8.691 km leidingnet ter beschikking (2004).

5.8.1 LIS-gegevens

De LIS-gegevens zijn verdeeld naar materiaal, diametercategorie en aanlegjaar.



Van een groot deel (75 %) van de totale leidinglengte is bekend wanneer deze aangelegd is. In de registratie is aangegeven wat het aanlegjaar is. Indien het aanlegjaar onbekend is tijdens het registreren, wordt bij het omzetten van papier naar digitaal gekeken in welke wijk het betreffende leidingnetonderdeel ligt. Per wijk wordt hetzelfde aanlegjaar aangehouden, wat mogelijk is omdat WML nog met de eerste vervangingsronde bezig is. Voor de overzichtelijkheid zijn perioden van tien jaar gemaakt om een indicatie te geven van de leeftijdsopbouw van het leidingnet (zie Figuur 17).



Figuur 17 Aangelegde lengte leidingnet WML per 10-jarige periode

5.8.2 De storingsdatabase

WML heeft een database vanaf 1995. De gegevens van vóór 2003 zijn echter niet in de analyse meegenomen. Vanaf 2003 is het aantal storingen ongeveer constant, maar voor 2003 zijn de storingsaantallen onrealistisch laag. Voor dit project is dus alleen gewerkt met de storingen van januari 2003 t/m februari 2006; in totaal gaat het om 2519 storingen. In Tabel 26 zijn de karakteristieken van de gerapporteerde database weergegeven. Een uitgebreider overzicht van wat er geregistreerd is, is te zien in Bijlage IV - Tabel 11.

Tabel 26 Karakteristieken van de gerapporteerde storingsdatabase van WML

Database WML		
Geregistreerd	Storingen	
Periode	Januari 2003 t/m februari 2006	
Aantal storingen	Geregistreerd	2519
	Geanalyseerd	1967
Aantal parameters	Geregistreerd	15
	Overeenkomstig aanbevelingen 2001	5
Waarden	Combinatie van vrij in te vullen en antwoordcategorieën	

5.8.3 Storingsanalyse

In Bijlage IV is beschreven welk filters op de database zijn toegepast. Het overgebleven aantal storingen is geanalyseerd op:

1. seizoensinvloed (Bijlage IV - Figuur 22);

Door de storingsdatabase te combineren met het LIS kunnen ook storingsfrequenties worden bepaald:

2. storingsfrequentie per materiaal, diameter en oorzaken (Bijlage IV - Figuur 23);
3. leidinggroepen met de hoogste storingsfrequentie (Tabel 27 en Tabel 28);
4. storingsfrequentie van de verschillende materialen, afhankelijk van de leeftijd (Bijlage IV - Figuur 24);

In Bijlage IV - Figuur 22 is de seizoensinvloed op het aantal storingen weergegeven (per oorzaak en per materiaal). Storingen ten gevolge van corrosie traden vooral op in de zomermaanden juni-augustus / september; voor de andere oorzaken is een minder duidelijke seizoensinvloed te zien. Gietijzer (zowel grijs als nodulair) stoorde met name in de wintermaanden januari-maart; stalen leidingen stoorden relatief vaak in de zomermaanden juni tot en met augustus / september. AC stoorde iets vaker in de maanden april t/m september. Het gevoel dat seizoensverandering met name bij AC extra storingen oplevert (klapbuizen) wordt niet duidelijk gestaafd met de cijfers. De totale curve geeft in de zomer een verhoogde storingsfrequentie te zien.

In Bijlage IV - Figuur 23 is de storingsfrequentie voor verschillende factoren te zien. Opvallend zijn de hoge storingsfrequenties van stalen leidingen met middelgrote en kleine diameters. Van GIJ en AC treden bij de diameters tussen de 100 en 250 mm de meeste storingen op per km¹³. Corrosie op stalen leidingen met een diameter < 100 mm draagt in belangrijke mate bij aan de

¹³ N.B. de storingsfrequentie van GIJ is onterecht verhoogd door een fout in de registratie; bij het vervangen van AC door NGIJ is op een bepaald moment NGIJ ingevuld als storend materiaal, hoewel dit AC had moeten zijn.

storingen (let op dat dit niet veroorzaakt wordt doordat bij stalen leidingen standaard corrosie wordt ingevuld als oorzaak). Storingen in GIJ-leidingen treden vooral op in de vorm van breuken, kunststof leidingen scheuren vaker.

Tabel 27 Relatieve prestatie leidingmaterialen op basis van de storingsfrequentie

Materiaal	Aandeel v.d. lengte	Storingen op HL	Aandeel v.d. storingen	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
AC	47 %	688	35 %	0,054	+
GIJ	24 %	125	6 %	0,020	+
PVC + PE	13 %	232	12 %	0,067	+
Staal	13 %	922	47 %	0,271	-
Totaal	100 %	1967	100 %	0,074	0

Tabel 28 Relatieve prestatie diametercategorieën op basis van storingsfrequentie.

Diameter	Aandeel v.d. lengte	Storingen op HL	Aandeel v.d. storingen	Storingsfrequentie [st/km/jr]	Prestatie
≤ 100	29 %	1577	74 %	0,186	-
100 – 250	50 %	441	21 %	0,030	+
≥ 250	21 %	102	5 %	0,070	+
Totaal	100 %	2120	100 %	0,072	0

Het totale aantal storingen in Tabel 27 en in Tabel 28 verschilt, doordat voor de laatste een eerder bewerkte database is gebruikt. Voor het berekenen van de storingsfrequentie is daarom het aantal storingen in elke categorie met 7 % verminderd. Dit zal geen groot verschil in resultaat geven voor een indicatie van de relatieve prestatie.

Wat opvalt in de database:

- Bij kleine diameters treden hogere storingsfrequenties op
- Hoge storingsfrequentie voor 80 mm (voornamelijk veroorzaakt door corrosie van stalen leidingen)

In Bijlage IV - Figuur 24 is de storingsfrequentie per leeftijd uitgezet. Met behulp van lineaire regressie is – waar mogelijk – het storingsverloop in de tijd van verschillende materialen aangegeven.

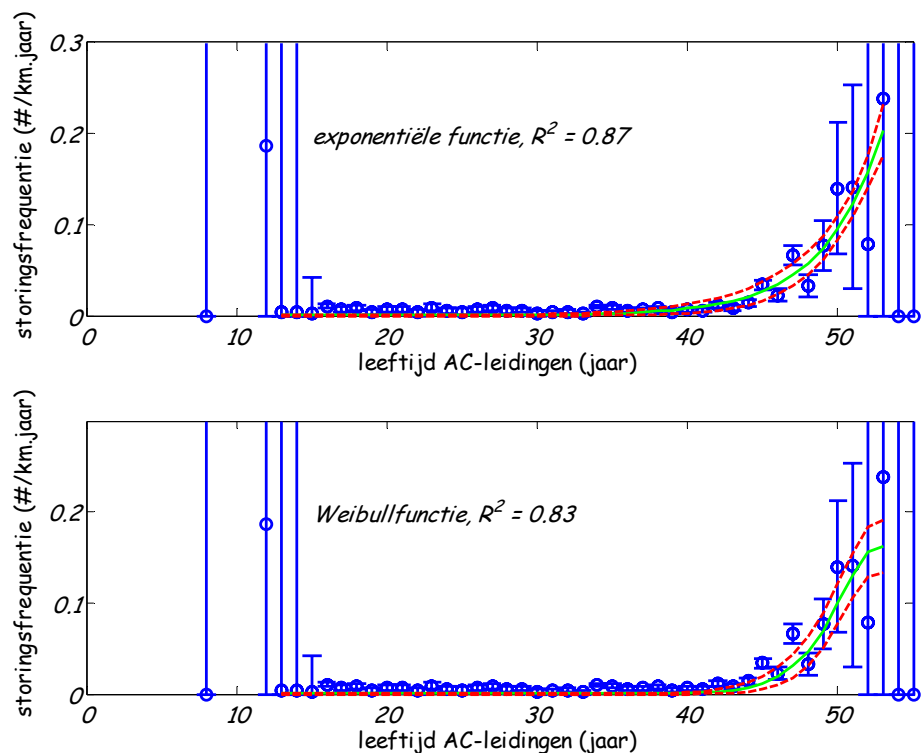
- Voor AC-leidingen is een duidelijke relatie met de leeftijd te zien: tot ca. 45 jaar is de storingsfrequentie stabiel en neemt daarna exponentieel toe. Na ca. 52 jaar is nauwelijks een storing meer gemeten. De figuur laat zien dat dit te maken heeft met de beperkte

leidinglengtes bij hogere leeftijden. Rond 70 jaar wordt een iets lagere storingsfrequentie waargenomen, echter AC van vóór 1953 is niet gelegd bij WML. Deze AC-leidingen die vermoedelijk GGJ zijn, vertekenen het beeld.

- Voor PVC-leidingen is (nog) niet zo'n duidelijke relatie met de leeftijd te zien. De storingsfrequentie is stabiel tot ca. 40 jaar, wat er na 40 jaar gebeurt zal in de komende jaren pas duidelijk worden. PVC ouder dan 50 jaar is niet gebruikt in het leidingnet van WML en zal dus net als AC van vóór 1953 uit de registratie geschrapt moeten worden.
- Voor stalen leidingen zijn twee perioden te zien waar de meting van de storingsfrequentie redelijk betrouwbaar is, namelijk 35-55 jaar en 70-80 jaar, dit lijken twee verschillende groepen te zijn. Er is geen duidelijke relatie tussen storingsfrequentie en leeftijd.
- Voor GIJ-leidingen zijn alleen betrouwbare storingsfrequenties tussen 35 en 60 jaar – er is geen duidelijke relatie met de leeftijd.

In de loop van het project zijn de storingsdata van 2006 ter beschikking gesteld. Door de 589 extra storingen die in de rest van dat jaar zijn opgetreden toe te voegen aan de database, kon Bijlage IV - Figuur 25 gemaakt worden. Het verschil met Bijlage IV - Figuur 24 is dat de onbetrouwbaarheid van AC en PVC minder is, en dat dus met grotere nauwkeurigheid het storingsverloop van deze materialen beschreven kan worden. Voor staal en GIJ is het ook met de extra data niet mogelijk een relatie met de leeftijd te ontdekken.

Voor AC kan dankzij het aantal geregistreerde storingen het verloop van de storingen over de leeftijd met behulp van een exponentiële of Weibull functie worden beschreven (zie Figuur 18).



Figuur 18 Storingsverloop als functie van de leeftijd. De rode lijnen geven de 95 % betrouwbaarheid aan.

5.8.4 Conclusies

- NGIJ heeft de laagste storingsfrequentie; GIJ presteert in zijn geheel beter dan de andere materialen. Er zijn echter alleen betrouwbare storingsfrequenties te vinden voor de leeftijd tussen de 35 en 60 jaar en er is dan ook geen relatie met leeftijd te ontdekken.
- Kleine diameters hebben een hogere faalfrequentie dan grotere diameters.
- Corrosie van staal heeft als enige storingsmechanisme een duidelijk seizoenspatroon en levert een belangrijke bijdrage aan het aantal optredende storingen (bijzonder hoge storingsfrequentie).
- Er is een duidelijke relatie tussen de leeftijd en de storingsfrequentie van AC; na 45 jaar is een exponentiële toename in het aantal storingen per km te zien.
- Door gedurende drie jaar consistent te registreren is het mogelijk Figuur 18 te maken. De relatief jonge leeftijd van PVC en PE staat een dergelijk nauwkeurige regressielijn (nog) niet toe, maar als er consequent geregistreerd wordt, is te verwachten dat ook in het storingsverloop van deze materialen meer duidelijkheid komt.

5.9 Conclusies storingsanalyse waterbedrijven

In de voorgaande paragrafen zijn de storingsgegevens van de waterbedrijven geïnventariseerd en geanalyseerd. Per bedrijf is gekeken wat er geregistreerd is en wat voor analyse op deze data mogelijk is. Tot slot zijn conclusies geformuleerd die uit de analyse getrokken konden worden.

5.9.1 Storingsregistratie

De storingsdatabases van de deelnemende waterbedrijven verschillen van opzet en inhoud. Een aantal bedrijven heeft de storingsregistratie gebaseerd op de in 2001 aanbevolen parameters. Sommige bedrijven hebben de lijst uitgebreid, andere hebben een aantal zaken weg gelaten. In het algemeen kan gesteld worden dat de basisparameters zoals materiaal, diameter, aanlegjaar, oorzaak en soort storing wel in het registratiesysteem zijn opgenomen. De invulling die de verschillende bedrijven er aan hebben gegeven verschilt echter sterk. Ook binnen de registratiesystemen van bedrijven zijn niet altijd duidelijke en eenduidige antwoorden gegeven. Bovendien zijn vaak niet alle antwoordcategorieën ingevuld, waardoor de mogelijkheden voor de analyse beperkt zijn.

5.9.2 Mogelijkheden en beperkingen statistische analyse

De statistische analyse van de storingsgegevens is gebaseerd op de aantallen storingen enerzijds (verdeling van oorzaken, onderdelen, etc., seizoensinvloed, hotspot-analyse en Box-Whiskerplots van leeftijden waarop storingen optreden) en storingsfrequentie anderzijds (relatieve prestatie van groepen leidingen en regressieanalyse op basis van leeftijden waarop storingen optreden).

Met betrekking tot de analyse is het duidelijk geworden dat de mogelijk toepasbare methoden voor de storingsdatabases van de waterbedrijven zich in de meeste gevallen beperken tot de beschrijvende statistiek. De voornaamste oorzaak van de beperkte mogelijkheden zijn de data zoals ze ter beschikking zijn gesteld. Bij een aantal van de aangeleverde datasets ontbraken de LIS-gegevens van bepaalde groepen die wel interessant zijn voor analyse. Door de meeste bedrijven waren wel de lengtes van de verschillende materialen en diameters aangeleverd, maar bijvoorbeeld de lengtes per aanlegjaar niet. Wanneer deze kennis ontbreekt, kan de storingsfrequentie niet berekend worden. Een uitzondering geldt voor factoren die alleen betrekking kunnen hebben op storingen, zoals de aard of oorzaak. Van deze groepen kan wel een storingsfrequentie berekend worden als de lengte van het leidingnet (eventueel uitgesplitst naar materialen) bekend is. In sommige gevallen waren de gegevens slechts in beperkte mate bekend, zoals in de databases waar niet het aanlegjaar bekend is, maar de periode van aanleg (perioden van 5 of 10 jaar). Dergelijke perioden van aanleg maken regressie-analyse moeilijk (of zelfs onmogelijk) bij beperkte hoeveelheid data. Tot slot zijn de (mogelijk) verklarende variabelen, zoals de

omgevingsfactoren, niet of slechts in de helft van de geregistreerde storingen ingevuld.

Tabel 29 geeft een overzicht van de karakteristieken van de gerapporteerde databases. De volgorde waarop de bedrijven in de tabel staan, geeft aan met welke databases de meest uitgebreide statistische analyse kunnen worden gedaan. Omdat de mogelijkheden van sommige databases vergelijkbaar zijn, is in de laatste kolom met een getal een waardering gegeven, waarbij 1 de meest uitgebreide aanduidt.

Tabel 29 Overzicht van de gerapporteerde databases van de bedrijven, in aflopende volgorde van mogelijkheden voor statistische analyse

Gerapporteerde databases									
Bedrijf	Lengte leidingnet [* 1000 km]	Geregistreerd	Periode	Aantal storingen		Aantal parameters		Ingevulde waarden	Waardering database voor statistische storingsanalyse
				Geregistreerd	Geanalyseerd	Geregistreerd	Volgens aanbevelingen 2001		
WML	8,7	Storingen	januari '03 t/m februari '06	2519	1967	15	5	Vrij ingevuld en antwoord-categorieën	1
DZH	4,4	Storingen	2004 & 2005	516	252	18	15	Antwoord-categorieën	2
Oasen	3,5	Storingen	22 april '04 t/m 16 juni '06	992	593	36	12	Vrij ingevuld en antwoord-categorieën	
PWN	9,1	Storingen	2003 t/m 2005	1128	711	37	15	Vrij ingevuld en antwoord-categorieën	
Vitens MN	6,3	Storingen	1998 t/m 2004	659	340	50	12	Vrij ingevuld en antwoord-categorieën	3
WMD	4,2	Storingen	2003 t/m 2005	1340	1174	10	3	Vrij ingevuld en antwoord-categorieën	4
Brabant Water	15,5	Klachten	2005	15390	Onb.	4	0	Antwoord-categorieën	5

Tijdens het analyseren van de storingsdatabases is een aantal leerpunten naar voren gekomen:

- De in het rapport gebruikte definitie voor een storing (zie p. 11), overgenomen uit Trietsch (2001), kwam voort uit de hinder die de klant ondervindt ten gevolge van de storing ten behoeve van OLM. Omdat dit project zich richt op degradatie van het systeem en niet op klantperceptie, is het van belang dat ook storingen die geen leveringsonderbreking tot gevolg hebben gehad, in de analyse worden meegenomen. Onderscheid tussen
 - klachten en falen van (onderdelen van) het leidingnet, en
 - spontane en veroorzaakte storingenmoet wel uit de registratie blijken.
- Voor de analyse van de storingsdata is het van belang dat storingen op hoofdleidingen onderscheiden worden van storingen op aansluitleidingen. Definities moeten worden opgesteld. In dit rapport is gesteld, dat hoofdleidingstoringen betrekking hebben op de buis en bijbehorende verbindingen. Ook appendages als brandkranen en afsluiters behoren hiertoe. Zadels, dienstkranen en overige attributen die worden aangebracht voor het maken van aansluitleidingen horen bij de registratie van de aansluitleidingen.
- De indeling van de diametercategorieën (≤ 100 ; $101 - 249$ en ≥ 250) bleek niet handig gekozen te zijn vanwege het grote aandeel $\varnothing 100$ mm en het verschil in nominale diameter bij de aanduiding van verschillende materialen. Geadviseerd wordt een aparte categorie te 'nominaal $\varnothing 100$ ' te maken.
- Met behulp van hotspot-analyse kunnen zwakke plekken in het leidingnet ontdekt worden, of aandachtsgebieden worden geïdentificeerd. Het koppelen van de storingsdata aan een locatie of gebied is lastig te doen wanneer de storingsregistratie alleen adresgegevens bevat, in het bijzonder voor iemand die het gebied niet kent. Het gebruik van postcodegebieden is een alternatieve mogelijkheid, maar als niet bekend is welke postcodes aan elkaar grenzen, levert dit weinig informatie op. Het gebruik van coördinaten en een leiding-ID vergemakkelijkt het doen van een hotspot-analyse, doordat bij grafische weergave de hotspots direct zichtbaar zijn.
- De incidenten / omgevingsfactoren / situationele factoren dienen altijd in beschouwing genomen te worden bij de analyse. Omdat dit achteraf altijd lastig is, is het beter om uitzonderlijke situaties zoals storm of een lek die grote neveneffecten heeft gehad, direct te noteren. Bijvoorbeeld bij storm gaan bomen bewegen, waardoor de wortels een dermate hoge belasting op leidingen kunnen uitoefenen, dat leidingwanden stuk gaan of gaan lekken. Dit is een valkuil voor het trekken van de conclusies. Het maandelijks of per kwartaal registreren van bijzondere gebeurtenissen heeft de voorkeur.
- De grafieken en tabellen die uit de analyses volgen zijn zeer geschikt om per regio te bekijken wat de oorzaken van storingen zijn (bij voorkeur elke 2 - 3 maanden, omdat na die tijd incidenten vaak vergeten worden). Voor landelijke analyse zijn de gekozen vormen echter minder geschikt vanwege regionale verschillen. Als voorbeeld

kan het verschil genoemd worden tussen de hoge storingsfrequentie van AC (80 % van de storingen op 30 % van de lengte) bij WMD en de hoge storingsfrequentie (47 % van de storingen op 13 % van de lengte) bij WML. Dit zonder meer op één hoop gooien veroorzaakt uitvlakken van karakteristieke verschillen. Het is bij gebrek aan gedetailleerde informatie over specifieke leidingneteigenschappen en omgevingsfactoren beter de resultaten te beschouwen in het licht van de regionale situatie, omdat men anders tot verkeerde conclusies kan komen.

Versillen en overeenkomsten tussen de analyseresultaten van de verschillende bedrijven zijn lastig te ontdekken, omdat de beschikbare data vaak niet overeenkomen. Het globale beeld laat zien, dat bij de meeste bedrijven AC en GIJ de hoogste storingsfrequenties hebben. Als oorzaken worden het vaakst genoemd grondzetting en uitwendige belasting / aantasting (inclusief corrosie). AC laat een duidelijke toename in de storingsfrequentie zien na ca. 40 – 45 jaar, bij GIJ ligt dit punt rond de 65 jaar.

Terugkomend op de hypothesen uit paragraaf 1.4, p. 20 kan geconcludeerd worden dat met de individueel geanalyseerde storingsdata twee hypothesen deels bevestigend kunnen worden:

Hypothese H1.

Hoe ouder de leiding / het onderdeel, des te groter de kans op spontane storingen

Regressie analyse geeft voor AC na 45 jaar een toename in het aantal storingen te zien.

Hypothese H2.

Voor diameters > 95 mm geldt, dat bij oplopende diameter de storingsfrequentie (het jaarlijks aantal storingen per km) afneemt

Beschrijvende statistiek bevestigt aflopende storingsfrequentie bij oplopende diameter, maar vanwege de diameterindeling in categorieën was het voor hypothese H2 niet mogelijk de grens van 95 mm te verifiëren.

6 Statistische analyse van de gecombineerde dataset

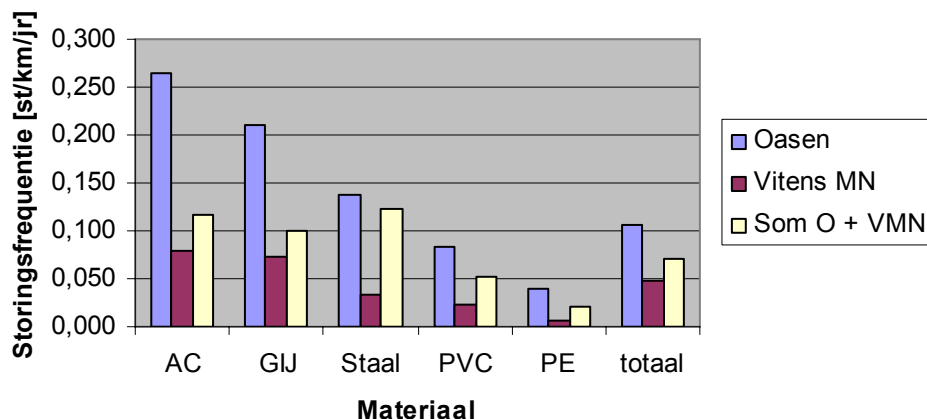
6.1 Beschrijvende statistiek - externe factoren

Vanwege de grote verscheidenheid aan beschikbare gegevens en geregistreerde onderwerpen en antwoorden tussen de bedrijven was het niet mogelijk alle data samen te voegen in één database om daar vervolgens statistiek op los te laten. Om de invloed van omgevingsfactoren op het optreden van storingen te bekijken, zijn de datasets gecombineerd die (ongeveer) dezelfde parameters en waarden in hun registratie hebben opgenomen. De databases van Oasen en Vitens MN zijn gecombineerd. Om bewerkingen uit te kunnen voeren zijn eerst in Excel de ingevulde waarden zoveel mogelijk samengevoegd. Daarnaast zijn LIS-gegevens gebruikt, waarin de lengtes van de materiaal-diametergroepen en de materiaal-leeftijdgroepen van alle aanwezige (dus ook de niet-storende) delen bekend zijn (2004). De LIS-gegevens zijn gebruikt om de storingsfrequenties van de genoemde groepen te kunnen berekenen.

De gecombineerde dataset bestaat uit 1202 storingen. Het aantal wijkt af van de som van de twee gebruikte datasets in hoofdstuk 5 (999 storingen), omdat een andere selectie is toegepast. In hoofdstuk 5 zijn een aantal storingen met waarden 'onbekend' uit de database gefilterd, die in de gecombineerde dataset in dit hoofdstuk wel zijn meegeteld. De volgende antwoordcategorieën zijn in de gecombineerde dataset opgenomen:

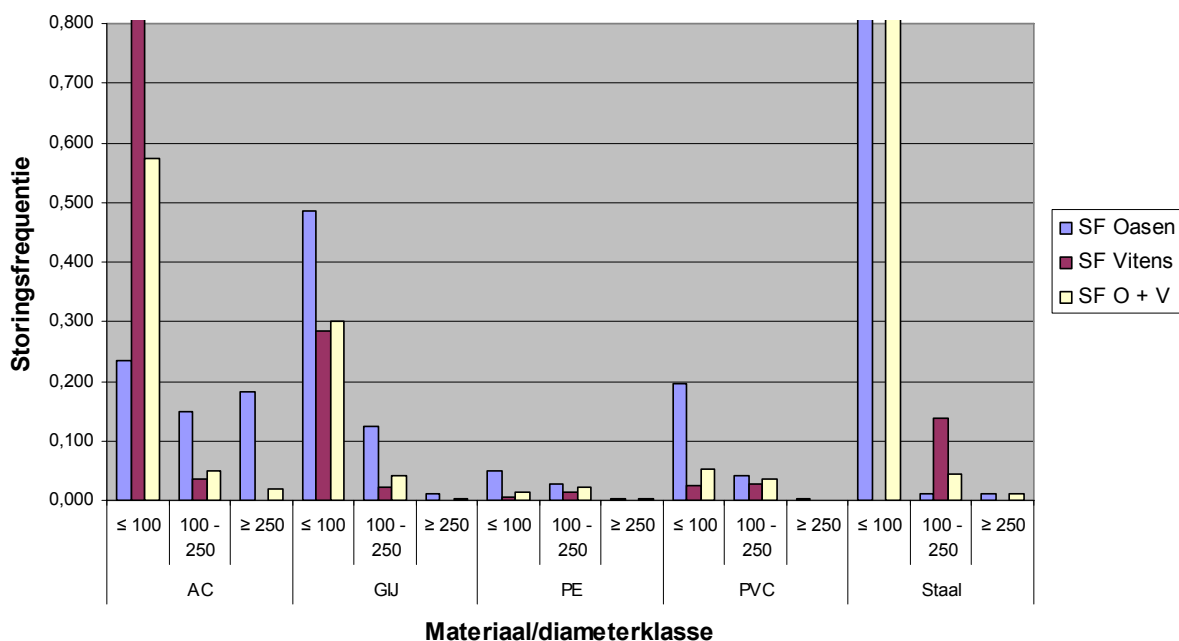
1. waterbedrijf
2. diameterklasse
3. aanlegjaar
4. materiaal
5. datum
6. schade oorzaak
7. getroffen onderdeel
8. aard storing
9. type verbinding
10. bodem
11. *verharding*
12. *verkeersbelasting*
13. *bomen binnen < 2 m*
14. *gronddekking*

De laatste vier categorieën met externe factoren zijn niet vaak ingevuld. De gegevens van Vitens MN en Oasen zijn gecombineerd om meer inzicht te krijgen in de opgetreden storingen. De storingsfrequenties van Oasen en Vitens MN kunnen met elkaar worden vergeleken (zie Figuur 19 en Figuur 20).

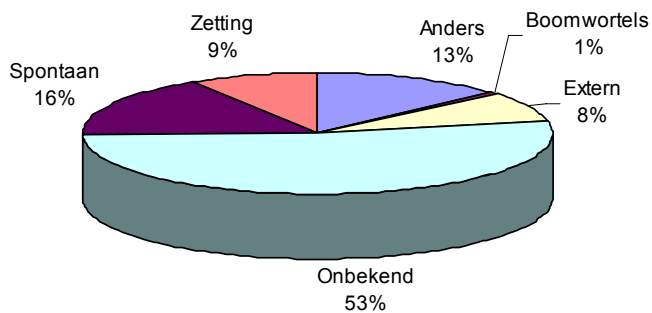


Figuur 19 Storingsfrequenties per materiaalklasse van Oasen en Vitens MN vergeleken

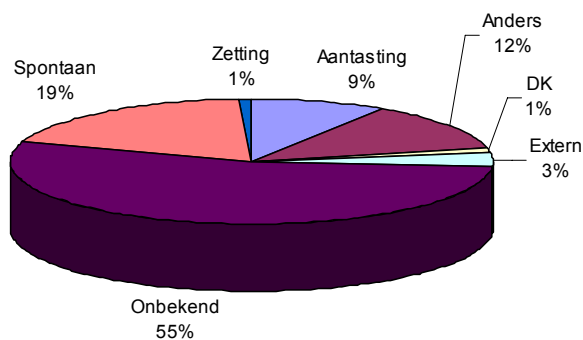
In Figuur 19 is te zien, dat er een groot verschil is tussen de storingsfrequenties van Oasen en Vitens MN. Nagegaan moet worden of de oorzaak hiervan bij de registratie ligt (zijn in beide gevallen alle storingen geregistreerd?). Als blijkt dat de registraties op dezelfde wijze hebben plaatsgevonden, dan kan de oorzaak voor de verschillende storingsfrequenties gezocht worden in verschillen in de omgevingsfactoren.



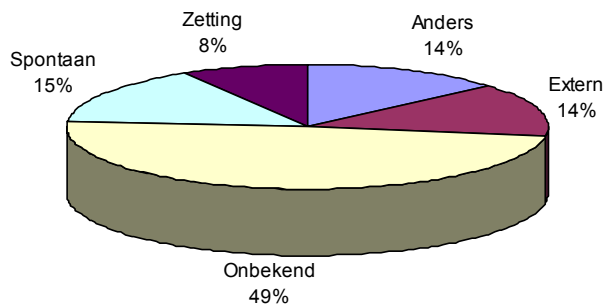
Figuur 20 Storingsfrequenties materiaal/diameterklassen Oasen en Vitens MN vergeleken



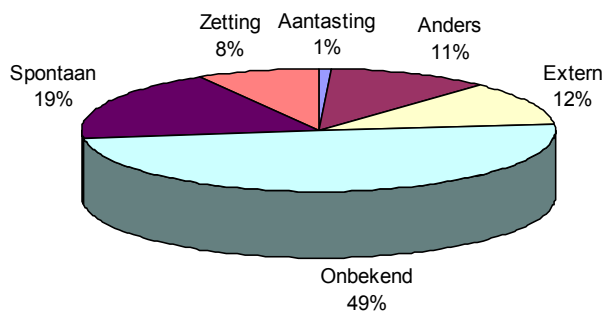
Figuur 21 Storingsoorzaken AC



Figuur 22 Storingsoorzaken GIJ



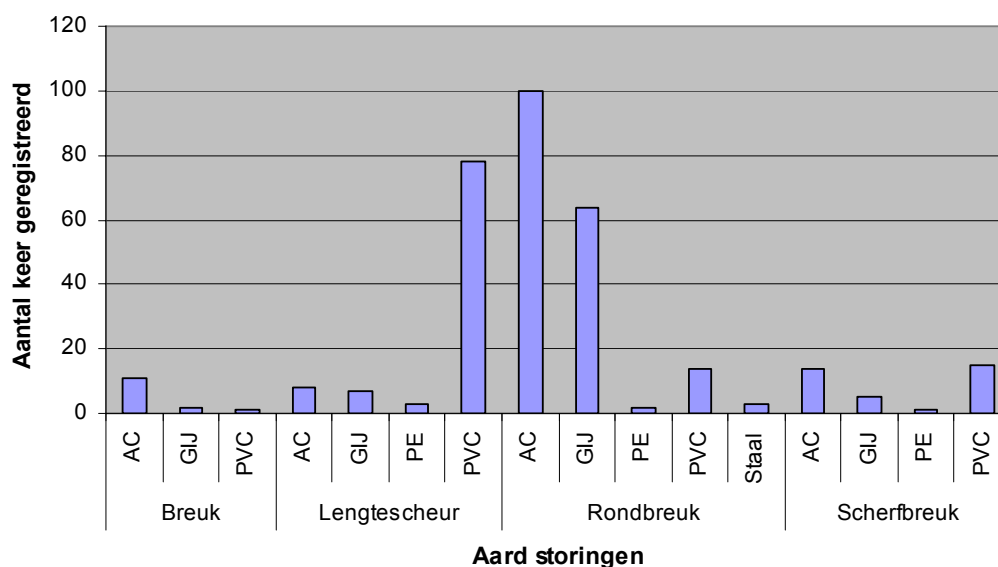
Figuur 23 Storingsoorzaken PE



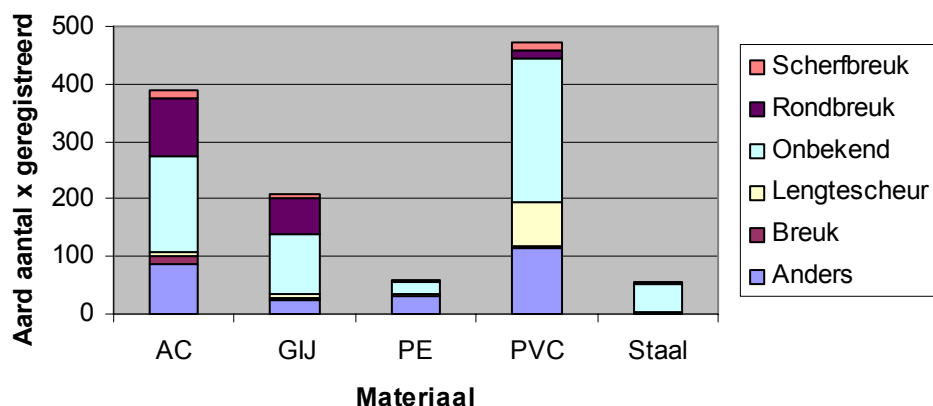
Figuur 24 Storingsoorzaken PVC

In Figuur 21 tot en met Figuur 24 zijn de meest voorkomende storingsoorzaken per materiaalcategorie aangegeven. In de figuren is te zien dat van een groot deel van de storingen de oorzaak niet bekend is. In de categorie 'anders' vallen bijvoorbeeld 'storm', 'verweking' en andere oorzaken die niet in de overige categorieën te vatten zijn. Wanneer de antwoordcategorieën 'onbekend' en 'anders' buiten beschouwing worden gelaten, is te zien dat 'spontaan' en 'zetting' de belangrijkste oorzaken van falen zijn. Bij GIJ wordt in plaats van 'zetting', 'aantasting' vaak genoemd. 'Spontaan' en 'zetting' (of 'aantasting' in het geval van GIJ) zijn samen goed voor ca. 25 % van de storingen. Onderzoek naar verbanden tussen de (omgevings-)factoren en deze storingen kan inzicht verschaffen in het degradatieproces.

In Figuur 25 is per geregistreeerde aard van de storingen weergegeven op welk materiaal dit van toepassing was. In overeenstemming met de bevindingen uit de literatuur (zie § 3.3, p. 38) treden lengtescheuren vaker op bij PVC, terwijl rondbreuk opvallend vaker bij AC en GIJ geregistreerd is. Per materiaal geldt echter, dat de aard van alle storingen in 60 tot 90 % van de geregistreeerde gevallen 'onbekend' of 'anders' is (zie Figuur 26).

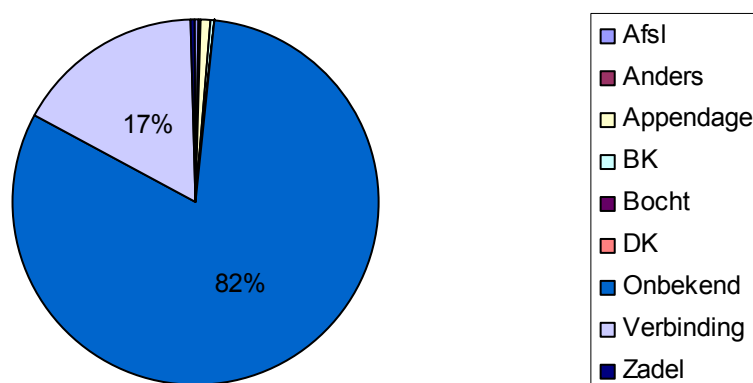


Figuur 25 Geregistreeerde aard van de storingen



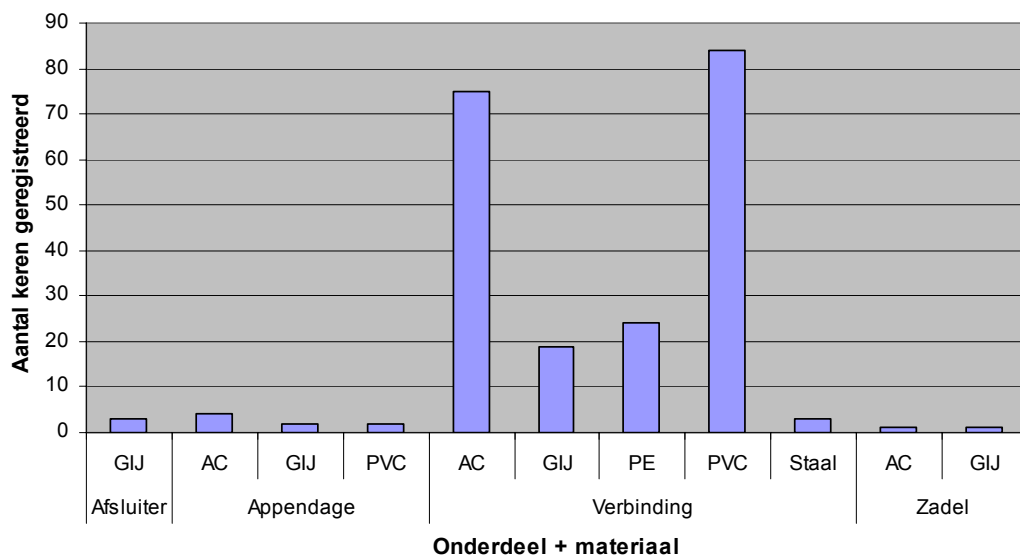
Figuur 26 Registratie van de aard van de storing weergegeven per materiaal

In Figuur 28 is van de onderdelen die in de storingsdatabase voorkomen, aangegeven welk materiaal bij de storing geregistreerd is. De figuur laat zien dat verbindingen het vaakst als storend onderdeel zijn geregistreerd. Bij het overgrote deel van de storingen (82 %) is echter geen onderdeel ingevuld (zie Figuur 27). Dit kan betekenen dat de storing heeft plaatsgevonden op de buis, maar dit is lastig achteraf in te vullen.



Figuur 27 Verdeling van de geregistreeerde storingsonderdelen

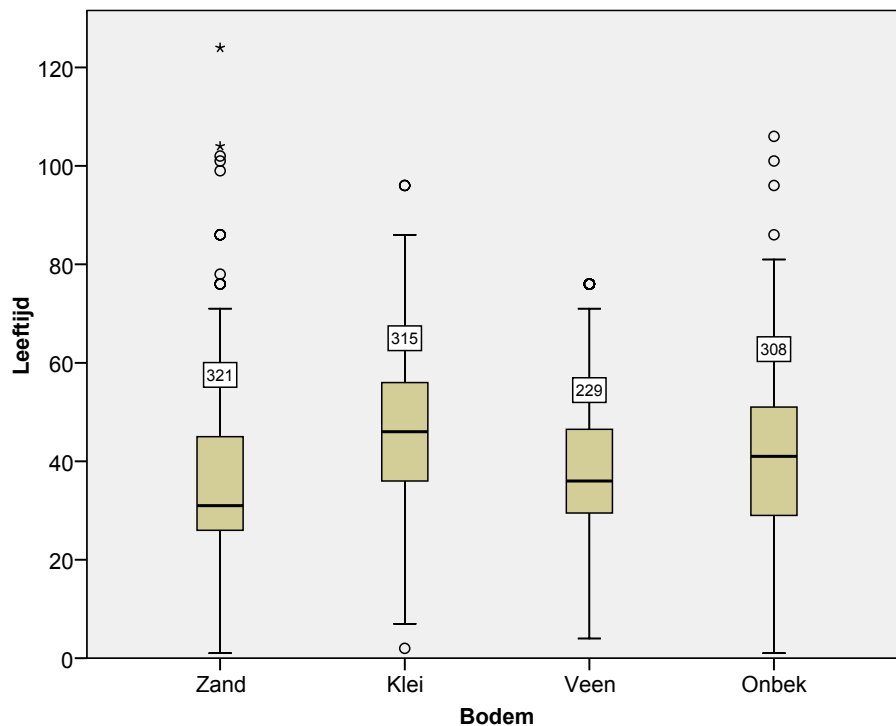
Hoewel de categorieën aard, oorzaak en onderdeel uitgedrukt mogen worden in de storingsfrequentie – wanneer alle storingen meegerekend worden, geldt voor deze categorieën immers dat ze opgeteld 100 % van het totaal, namelijk de storingen, vormen – is hiervoor niet gekozen. De reden hiervoor is het grote aandeel ‘onbekend’ en ‘anders’, waardoor een vertekend beeld kan ontstaan. De resultaten zouden dan gebaseerd zijn op slechts enkele storingen wat kan leiden tot het trekken van valse conclusies.



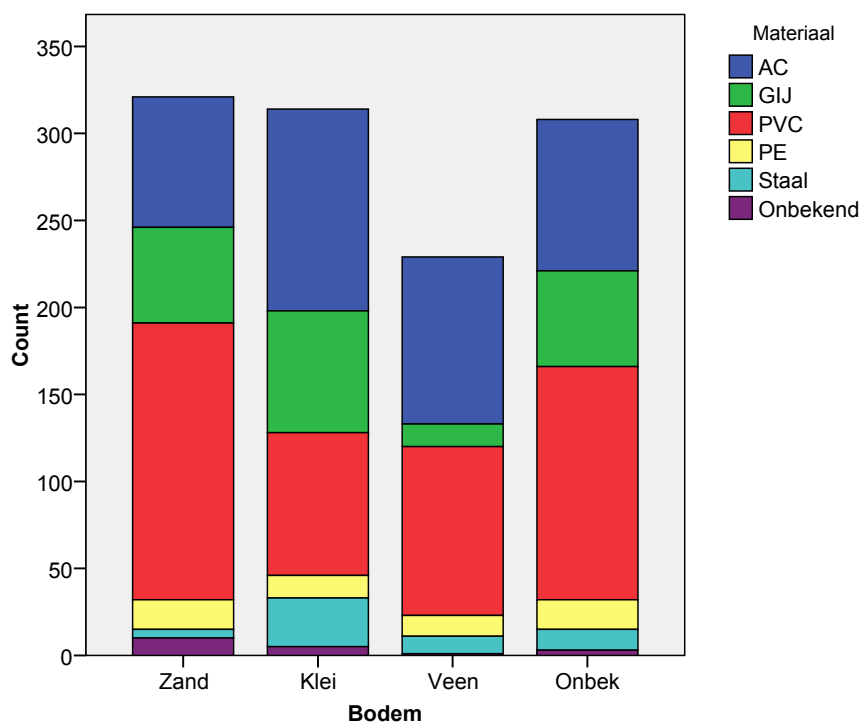
Figuur 28 Aantal geregistreerde storingen per onderdeel verdeeld naar materiaal

Het Excel-bestand, waarin de berekeningen gedaan zijn is bewerkt en geschikt gemaakt voor SPSS. Vervolgens is met SPSS gekeken of verbanden tussen storingen, omgevingskenmerken en leeftijd kunnen worden blootgelegd.

In Figuur 29 is een Box-Whiskerplot gemaakt van de bodemsoorten die in meer dan 5 % van de storingen geregistreerd zijn. Te zien is dat in zand gelegen leidingonderdelen op jongere leeftijd (mediaan op ca. 37 jaar) storen dan in klei of veen. In klei lijken de leidingen op latere leeftijd te storen (mediaan op ca. 43 jaar), veen zit er tussenin (mediaan op ca. 41 jaar). Op basis van hypothese H4 "In zettingsgevoelige grond treden vaker storingen op dan in minder zettingsgevoelige grond" mag verwacht worden, dat onderdelen in klei en veen eerder storen dan in zand. Omdat de Box-whiskerplots echter gebaseerd zijn op uitsluitend de storingen (en niet op de niet-storende onderdelen, er is dus niet bekend hoeveel procent van de leidingen in bijvoorbeeld zand ligt en hoeveel in klei), kan op basis van de beschikbare gegevens geen harde uitspraak worden gedaan over de validiteit van de hypothese. In Figuur 30 zijn in een staafdiagram de storingen weergegeven per materiaal in de verschillende bodemsoorten. Te zien is dat de meeste storingen in zand zijn opgetreden in de relatief jonge materialen PVC en PE, terwijl de in klei en veen opgetreden storingen merendeels in oudere materialen AC, GIJ en staal plaatsvonden. Een bodemkaart met daarop het leidingnet en de storingen geprojecteerd kan hier meer informatie verschaffen.

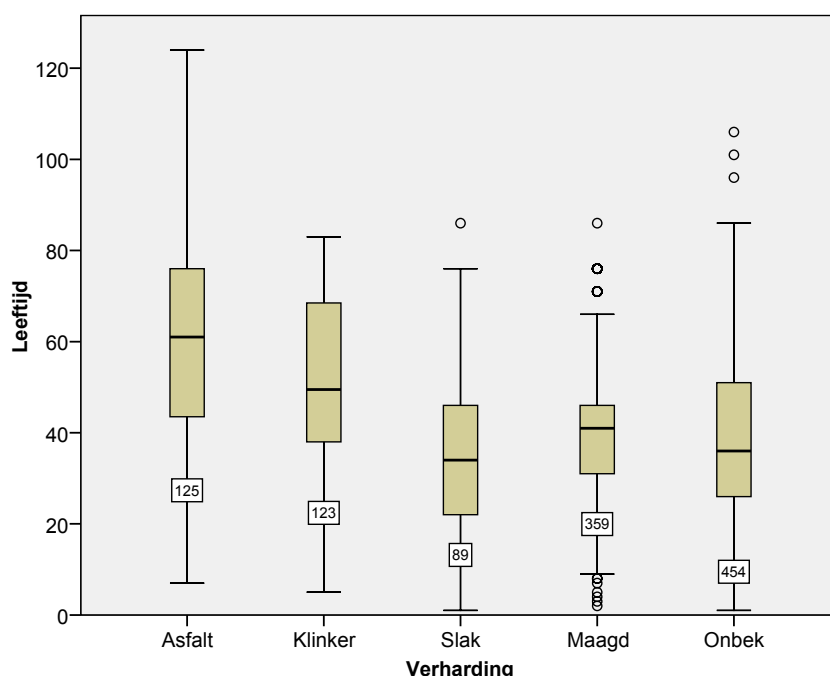


Figuur 29 Box-Whisker plot van de leeftijd waarop storingen optreden in verschillende bodemsoorten (per box is aangegeven op hoeveel storingen deze gebaseerd is)

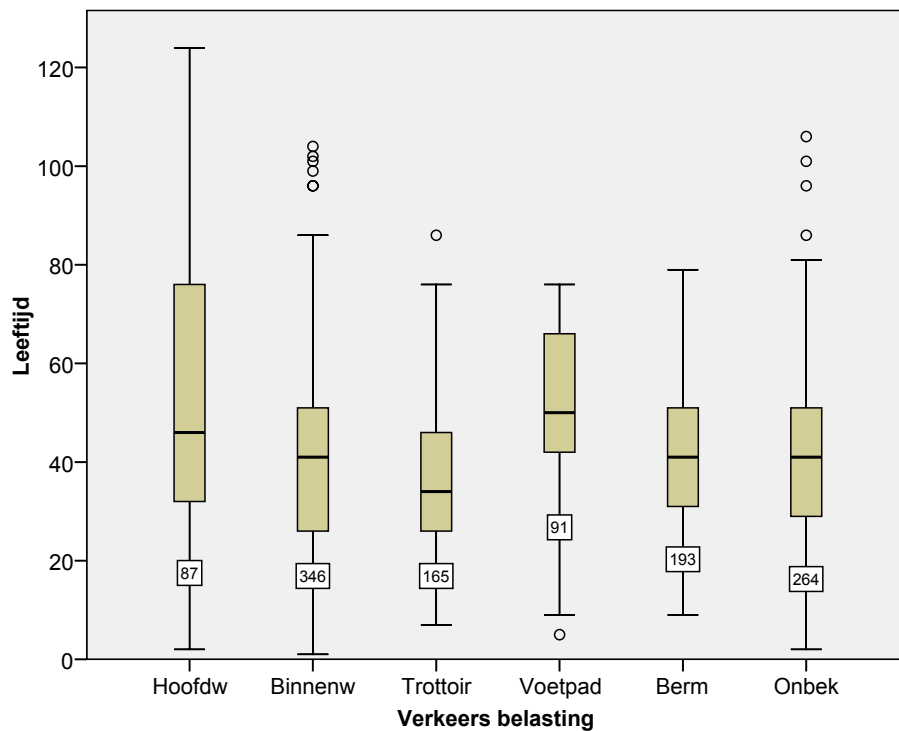


Figuur 30 Verdeling van de storingen per materiaal in verschillende bodemsoorten

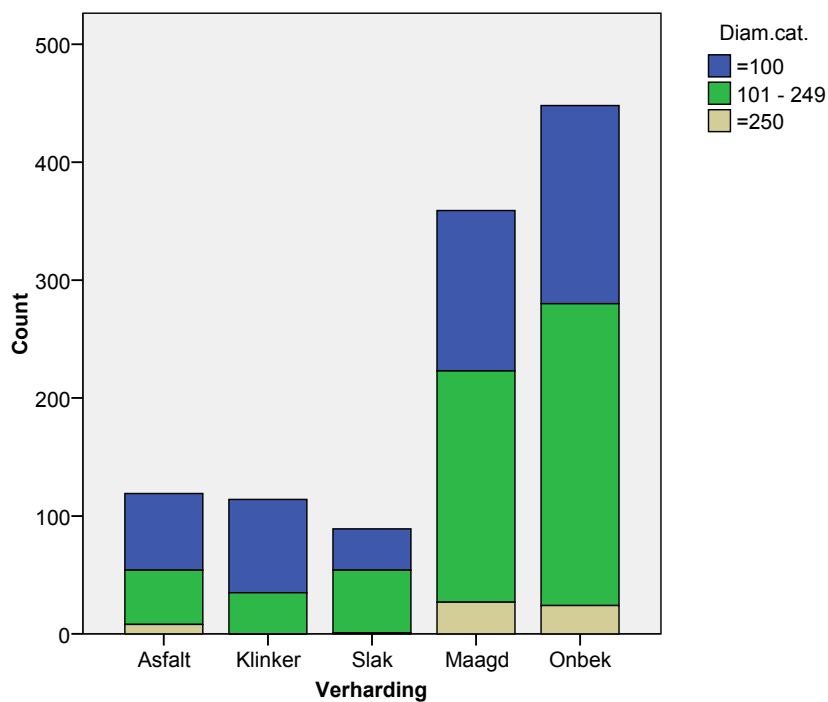
In Figuur 31 en Figuur 32 zijn de leeftijden waarop leidingonderdelen onder bepaalde verharding en onder bepaalde wegcategorieën stoorden, weergegeven. Opvallend is, dat de zwaarst belaste verhardingscategorie, asfalt, later stoort dan verhardingen waarvan verwacht mag worden dat deze minder zwaar belast worden. Hetzelfde beeld – zij het minder overtuigend – is te zien in Figuur 32, waarbij de leeftijd waarop leidingonderdelen storen onder hoofdwegen hoger ligt dan onder trottoir, binnenwegen of bermen. Hypothese H11 “Leidingen in de nabijheid van grotere verkeersbelasting (wegcategorieën voor zwaarder verkeer) hebben een grotere kans om te storen dan leidingen in de nabijheid van lichtere wegcategorieën” lijkt dus niet waar te zijn. Let wel, de plot is gebaseerd op het aantal storingsen. Voor een zuivere toetsing moet de storingsfrequentie bekend zijn. Een verklaring voor de latere storingsleeftijd bij zwaarder belaste wegen kan zijn, dat onder de hoofd- / asfalt wegen eerder de grotere diameters liggen, terwijl onder de lichtere wegcategorieën / verhardingen vaker de meer storingsgevoelige kleinere diameters liggen. In Figuur 33 en Figuur 34 zijn de storingsen in staafdiagrammen gezet, verdeeld per diametercategorie. In Figuur 33 is te zien dat er veel minder storingsen onder asfalt en klinkers plaatsvonden en meer, vooral de midden- en kleine diametercategorieën, onder slakken en maagdelijk terrein. Aangezien niet bekend is hoeveel van de totale leidingen onder welke verharding liggen kan echter geen uitspraak worden gedaan over een eventuele relatie tussen storende diametercategorieën en de verharding waaronder ze gelegen zijn. Hetzelfde geldt voor Figuur 34, waarin te zien is dat met name onder binnenwegen de kleine- en middencategorie diameters vaak stoorden.



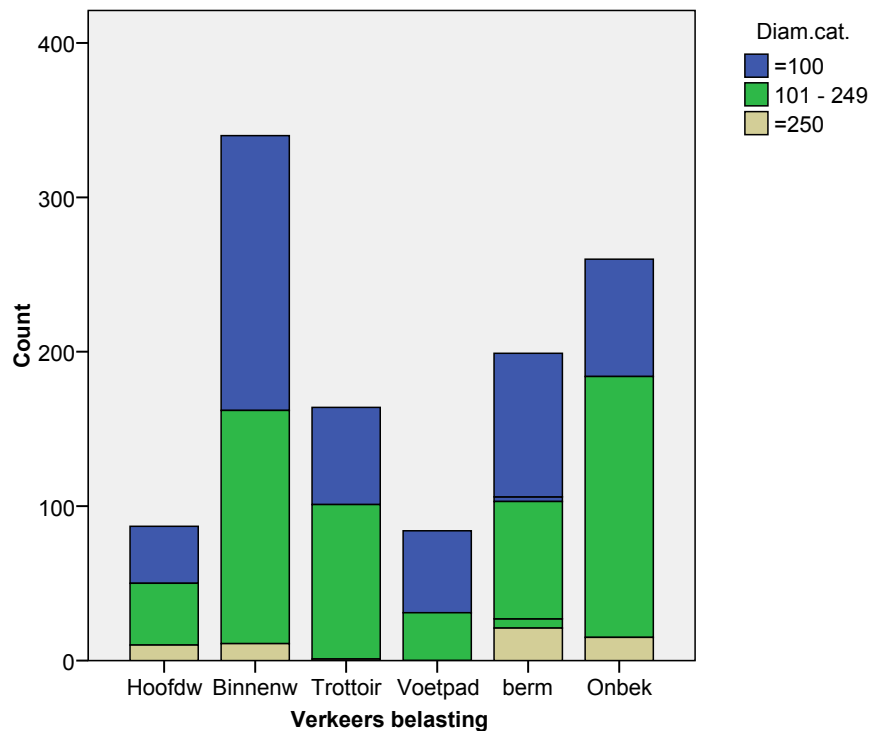
Figuur 31 Box-Whiskerplot van de leeftijd waarop leidingonderdelen onder bepaalde soorten verharding stoorden (alleen onderdeelcategorieën met > 5 % van de storingsen)



Figuur 32 Box-Whisker plot van de leeftijd waarop leidingonderdelen onder bepaalde wegcategorieën stoorden (> 5 % van de storingen)



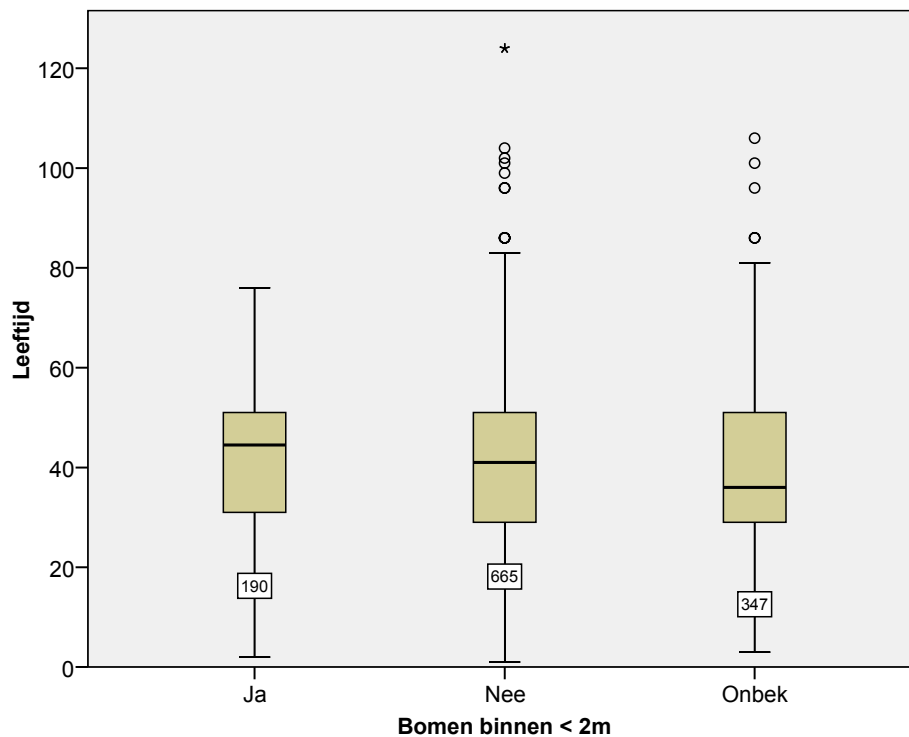
Figuur 33 Verdeling van de storingen onder bepaalde verhardingen naar diametercategorie



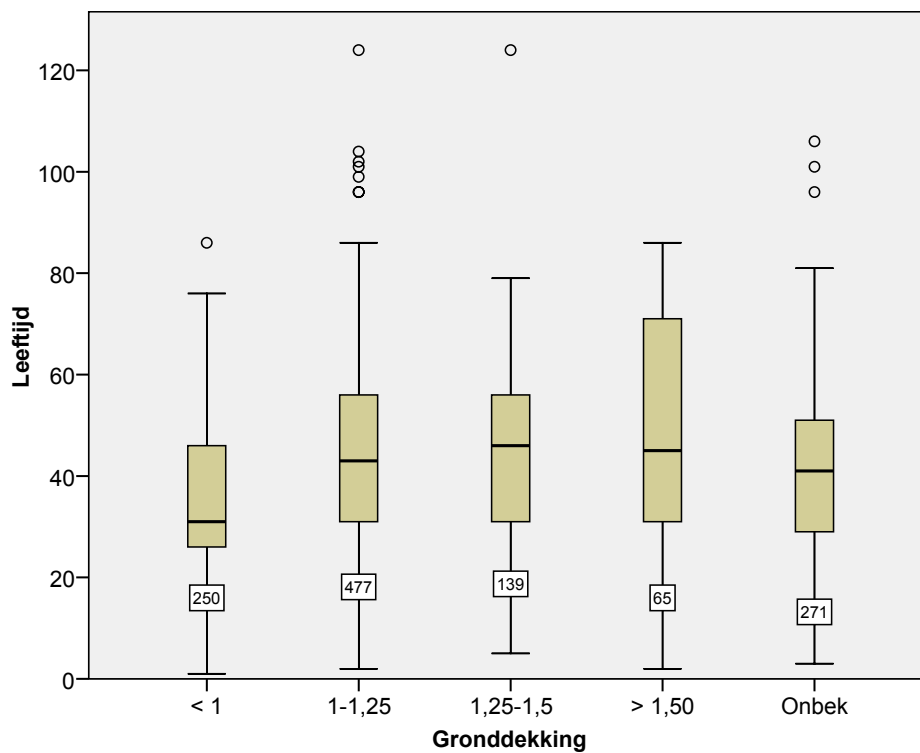
Figuur 34 Verdeling van de storingen onder bepaalde wegcategorieën naar diametercategorie

Tegen de verwachting in stoorden leidingnetonderdelen in de directe nabijheid van bomen op latere leeftijd dan onderdelen waarbij zich geen bomen binnen een straal van 2 m bevinden (Figuur 35). Dit spreekt hypothese H12 “Leidingen in de directe nabijheid van bomen (< 2 m) hebben een grotere kans op spontane storingen dan leidingen die niet in de directe nabijheid van bomen zijn gelegen” tegen. Wederom geldt, dat de hier weergegeven data alleen het aantal storingen betreft, niet de storingsfrequentie.

In lijn met de verwachting storen onderdelen eerder bij mindere gronddekking (Figuur 36). Het resultaat van de Box-Whiskerplot in de figuur bevestigt hypothese H13 “Leidingen met kleinere gronddekking hebben een grotere kans op storingen dan leidingen met een grotere gronddekking” voor gronddekking < 1 m.



Figuur 35 Box-Whisker plot van de leeftijd waarop leidingonderdelen storen in de nabijheid of afwezigheid van bomen



Figuur 36 Box-Whisker plot van de leeftijd waarop storingen optraden bij verschillende gronddekkingen

6.2 Regressiemodel - leeftijd

De data van Oasen, PWN en WML geven de mogelijkheid om de storingsfrequentie per leeftijd(categorie) te bepalen. Deze bedrijven hebben bij de storingen de leeftijden van de getroffen leidingen opgegeven en in het LIS een overzicht van de lengtes per aanlegjaar of periode van aanlegjaren. De data van WML is per jaar gegeven, van PWN per 5 jaar en van Oasen per 10 jaar.

De data van DZH en Vitens MN geven alleen een indicatie van de storingsfrequentie per leeftijd. De leeftijd van de leidingen die storen zijn wel gegeven, maar er is geen overzicht van de aanlegjaren van het gehele leidingenbestand.

De data van WMD en Brabant Water hebben geen aanknopingspunten om de leeftijdsafhankelijke storingsfrequentie vast te stellen.

6.2.1 AC-leidingen

De data van storingen op AC-leidingen van Oasen, PWN en WML zijn in Figuur 37 samengebracht. De storingsfrequentie per leeftijd(categorie) is bepaald door het aantal storingen per jaar bij een bepaalde leeftijd te delen op het aantal kilometers AC-leiding van die leeftijd. De foutenmarges zijn berekend door de lengtes op 10 kilometer nauwkeurig te veronderstellen en de fout in het aantal storingen op 1 te zetten en zijn in de figuur aangegeven met verticale lijnen (N.B. 1 storing over de gehele meetperiode, niet op 1 per jaar). Wanneer er slechts korte leidinglengtes van een bepaalde leeftijd zijn is de onzekerheid in de storingsfrequentie groot.

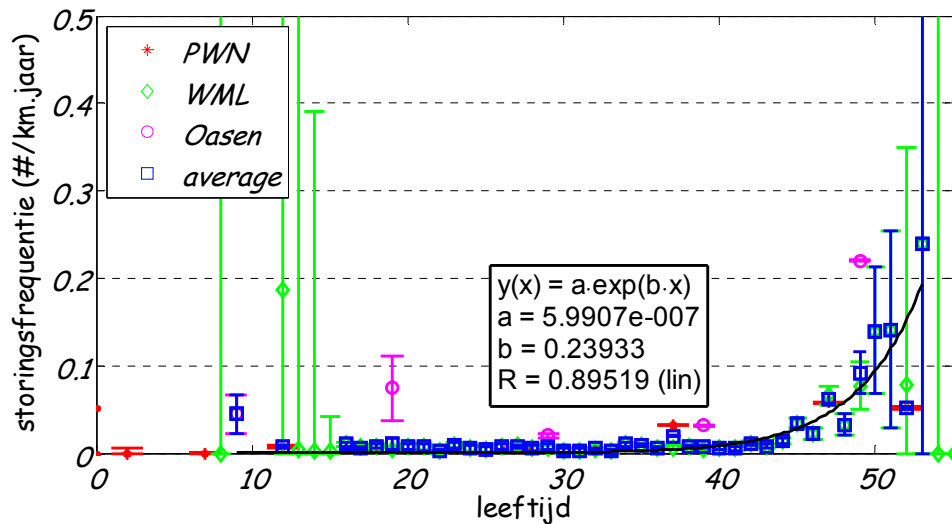
De data van WML is per jaar gegeven, van PWN per 5 jaar en van Oasen per 10 jaar. Het gemiddelde is berekend door de data van de drie bedrijven te wegen op basis van de totale lengte AC-leidingen. De data van WML is hier leidend, maar de data van PWN past goed bij het beeld van WML. De data van Oasen is lastiger te vergelijken doordat er slechts data per 10 jaar is.

Een regressie is gedaan op de data bij leeftijden tussen 10 en ca. 50 jaar; de hogere leeftijden geven te grote onzekerheid in storingsfrequentie. De komende jaren kan steeds meer storingsinformatie worden verzameld over de oudere leidingen en ook met een hogere betrouwbaarheid (tenzij de oudere leidingen massaal worden vervangen). Voor AC-leidingen is het mogelijk om een exponentieel verband vast te stellen tussen leeftijd en storingsfrequentie. De fit is behoorlijk goed ($R = 0,76$; $R^2 = 0,58$) en valt grotendeels binnen de betrouwbaarheidsmarges van de data.

Het is ook mogelijk om een storingsverloop volgens Walski (1987), zoals gebruikt in de tool IPL (Investeringsprognose Leidingen; Beuken, 2005), op te stellen. De formule veronderstelt een vaste storingsfrequentie (S_0) tot tijd T_0 , waarna de storingsfrequentie exponentieel toeneemt. Zie Tabel 30 voor de waarde van de parameters voor AC-leidingen.

Tabel 30 Waardes van de parameters in de IPL-formule voor AC-leidingen.

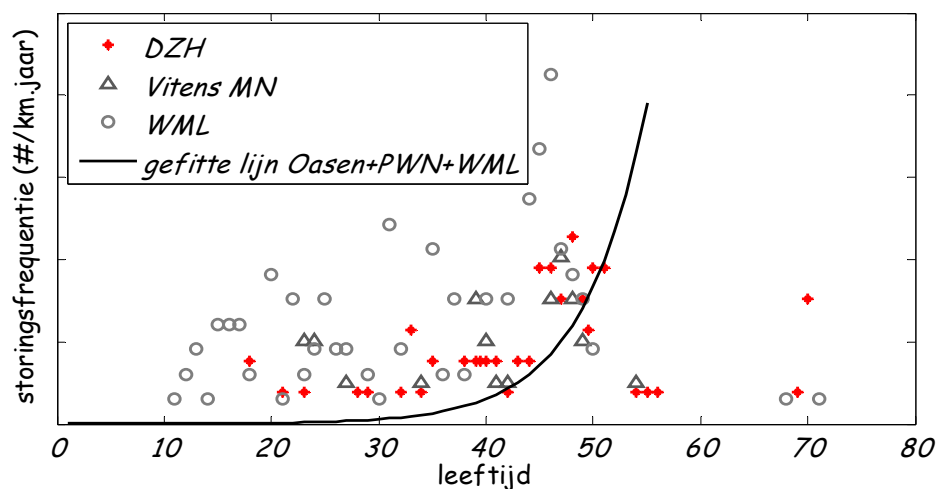
parameter	waarde	beschrijving
S_0	0,01 st/km.jaar	storingsfrequentie in vlakke gebied
T_0	40 jaar	maximale leeftijd bij $S = S_0$
T^*	42 jaar	leeftijd bij $S^* = 2 S_0$



Figuur 37 Storingsfrequentie afhankelijk van leeftijd AC-leidingen.

De storingsfrequentie van de data van DZH en Vitens MN is bepaald door het aantal storingen per jaar bij een bepaalde leeftijd te delen op het totaal aantal kilometers (AC-) leiding (Figuur 38). Hier is het niet mogelijk om aan te geven wat de foutenmarges zijn. De schaalverdeling van de storingsfrequentie is weggelaten in de figuur omdat de storingsfrequentie alleen indicatief is. Van de data van WML is op deze manier ook de storingsfrequentie bepaald en in de figuur gezet, zodat de data van DZH en Vitens MN vergeleken kan worden met de data van WML.

Het verloop van de storingen volgt wel enigszins de lijn die bepaald is op basis van de data van Oasen, PWN en WML. Zonder de aanlegjaren van het gehele leidingbestand blijft er weinig over van het beeld dat er een leeftijdsafhankelijk storingsverloop is.



Figuur 38 Storingsfrequentie afhankelijk van de leeftijd op basis van slechts de storingsdatabase.

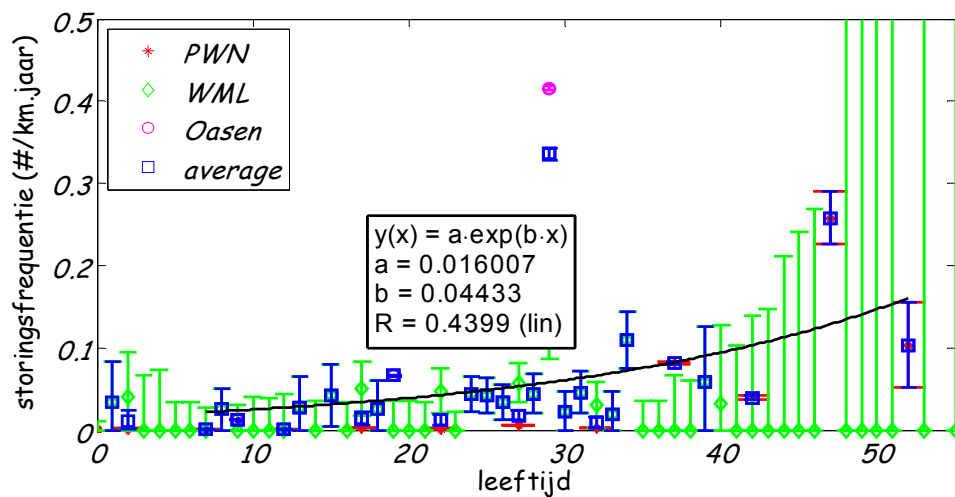
De data van alleen DZH geeft geen mogelijkheid om een goede lijn te fitten; de data past echter wel bij het beeld van de data van WML en geeft vertrouwen dat voor DZH eenzelfde verloop als bepaald in Figuur 37 geldig is.

6.2.2 PVC-leidingen

Voor PVC-leidingen is een zelfde figuur geconstrueerd als voor AC, zie Figuur 39. De exponentiële fit past hier veel minder goed. Tot ca. 40 jaar storen PVC-leidingen nog niet veel. Storingsgegevens die de komende jaren nog verzameld worden zullen het beeld moeten complementeren. De parameters van de IPL-formule kunnen ook nog niet goed worden vastgesteld.

Tabel 31 Waardes van de parameters in de IPL-formule voor PVC-leidingen.

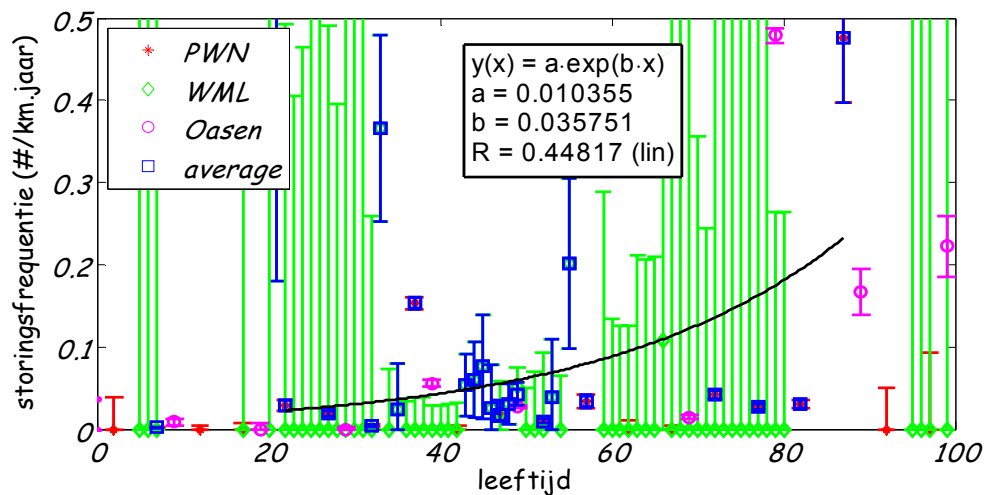
parameter	waarde	beschrijving
S_0	0,045 st/km.jaar	storingsfrequentie in vlakke gebied
T_0	≥ 42 jaar	maximale leeftijd bij $S = S_0$
T^*	??	leeftijd bij $S^* = 2 S_0$



Figuur 39 Storingsfrequentie afhankelijk van leeftijd PVC-leidingen.

6.2.3 GIJ-leidingen

Voor GIJ-leidingen is geen duidelijk verband tussen storingsfrequentie en leeftijd vast te stellen. Voor GGIIJ zijn er slechts storingsgegevens van leidingen die minimaal 35 jaar oud zijn. De storingsgegevens van leidingen ouder dan 60 jaar geven waarschijnlijk een vertekend beeld doordat de slechtste leidingen al vervangen zijn (zonder daarvan de storingsgegevens op te slaan).



Figuur 40 Storingsfrequentie afhankelijk van leeftijd GIJ-leidingen.

Mogelijk is de relatie tussen storingsfrequentie en leeftijd afhankelijk van de oorzaak van de storing: corrosie verloopt anders dan een breuk door zetting. In hoofdstuk 2 is gesuggereerd dat corrosie (van farmaceutische apparatuur) niet een exponentiële verdeling laat zien, maar een Weibull-verdeling. Omdat

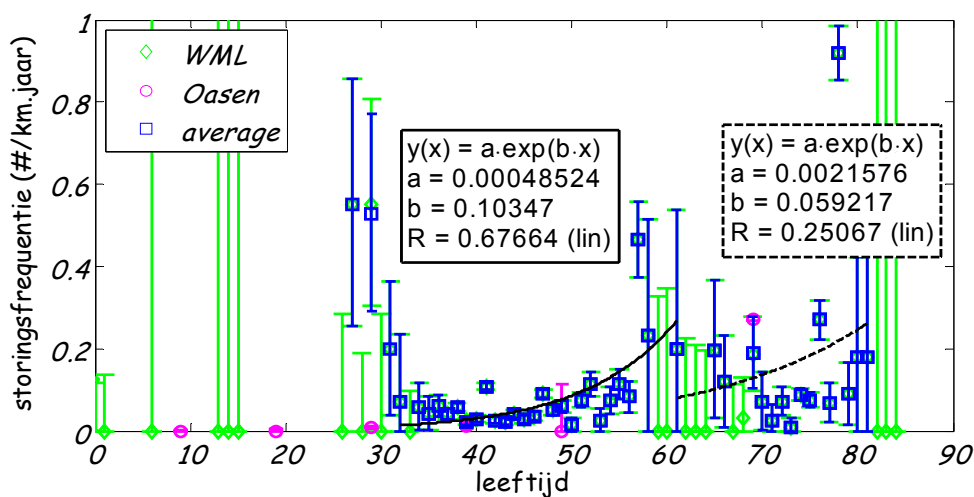
alle leidingen met veel storings reeds zijn verwijderd is het niet mogelijk om deze verdeling te fitten op de gegevens.

6.2.4 ST-leidingen

Figuur 41 laat de relatie tussen storingsfrequentie en leeftijd zien voor stalen leidingen. Tussen ca. 30 en 60 jaar zijn veel (betrouwbare) gegevens beschikbaar, ook tussen ca. 70 en 80 jaar zijn goede gegevens beschikbaar. Rond de Tweede Wereldoorlog zijn weinig leidingen gelegd, waardoor storingsgegevens van ca. 65 jaar oude leidingen vrijwel ontbreken. De relatie tussen leeftijd en storingsfrequentie voor vooroorlogse leidingen lijkt anders te zijn dan voor naoorlogse leidingen. Een mogelijke verklaring is dat de slechtste leidingen in de oude populatie reeds verwijderd zijn. Voor de naoorlogse leidingen is het mogelijk om een exponentiële verdeling te fitten, en ook is het mogelijk om enkele IPL-parameters vast te stellen (zie Tabel 32).

Tabel 32 Waardes van de parameters in de IPL-formule voor ST-leidingen.

parameter	waarde	beschrijving
S_0	0,05 st/km.jaar	storingsfrequentie in vlakke gebied
T_0	ca. 50 jaar	maximale leeftijd bij $S = S_0$
T^*	??	leeftijd bij $S^* = 2 S_0$



Figuur 41 Storingsfrequentie afhankelijk van leeftijd stalen leidingen.

6.3 Conclusies m.b.t. de meerwaarde van het samenvoegen van datasets

Meerwaarde

Door de datasets van Oasen en Vitens MN te combineren om er vervolgens beschrijvende statistiek op los te laten, is om te beginnen inzicht verkregen in wat er *niet* aan data (parameters en waarden) is. De meerwaarde van het in kaart brengen van de missende gegevens is dat het duidelijk maakt waar extra inspanning nodig is. Van de oorzaken bijvoorbeeld is ongeveer de helft van de gevallen onbekend. Door consequent te registreren zou op dit gebied veel meer data bruikbaar zijn voor analyse. Datzelfde geldt voor de aard van de storing. Met de gecombineerde data begint nu al duidelijkheid te komen. Door consequent te registreren kan over een jaar of 2 duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen materialen en hun faalmechanismen en mogelijk ook verbanden gelegd met bijbehorende oorzaken.

Met de gecombineerde data van Oasen en Vitens MN kunnen Box-Whiskerplots worden gemaakt met groepen die voldoende groot zijn om een beeld te krijgen van de het storingsverloop van verschillende categorieën. Voor parameters met weinig mogelijke waarden, bijvoorbeeld 'ja' en 'nee' bij 'bomen binnen 2 m' ontstaat al een duidelijk beeld van te maken onderscheid tussen de groepen ook al zijn niet alle gegevens bekend.

Door de data van PWN en Oasen met die van WML te combineren, werd duidelijk dat de data van PWN en Oasen niet veel van die van WML afwijken, waardoor ook voor PWN en Oasen conclusies getrokken konden worden. Regressie-analyse heeft voor AC heeft geleid tot goede resultaten met betrekking tot het storingsverloop in de tijd. Voor PVC was dit minder goed mogelijk vanwege de jongere leeftijd van het materiaal. Bij GIJ was geen duidelijke lijn in het storingsverloop te ontdekken, omdat veel van de oude leidingen al vervangen zijn, wat tot grote onbetrouwbaarheid leidde. Voor staal kon voor het deel van de leidingen van na de Tweede Wereldoorlog een exponentiële verdeling gefit worden.

Beperkingen

Omgevingsinformatie afkomstig uit de storingsdatabases (bodemsoort, verharding, verkeersbelasting, bomen binnen 2 m en gronddekking) maakt het vaststellen van relaties tussen de genoemde factoren en het optreden van storingen niet mogelijk wanneer de gegevens van de niet storende onderdelen ook bekend zijn. Om uitspraken te kunnen doen over eventuele relaties van elk leidingsegment moet dus in het LIS bekend zijn wat de waarden van die parameters zijn. Een bijkomend probleem is dat de leidinglengte van veel leidingen in het LIS sterk varieert, waardoor de betrouwbaarheden van de verschillende storingsfrequenties ook sterk verschillen. Omdat korte leidingstukken bij een gelijk aantal storingen resulteren in een hogere storingsfrequentie, moet in feite een weging plaatsvinden om deze verschillen op te heffen. De storingsdata zijn slechts over een beperkt aantal jaren beschikbaar, niet over de gehele levensduur. Van de oudere leidingen is dus niet bekend of zij op jongere leeftijd al gefaald

hebben. Anderzijds is ook niet bekend welke leidingen nog nooit gefaald hebben, omdat in veel gevallen de storingen niet gekoppeld zijn aan een leiding-ID. Bovendien is er een groot aandeel 'onbekend' bij een aantal van de parameters, waardoor een vertekend beeld kan ontstaan indien hiermee geen rekening wordt gehouden.

7 Conclusies & aanbevelingen

7.1 Conclusies en aanbevelingen m.b.t. de (statistische) analyse

Uit het voorgaande is gebleken, dat beschrijvende modellen geschikt zijn om een globale indruk te krijgen van de opgetreden storingen en opvallende zaken aan het licht te brengen. Beschrijvende statistiek is bovendien handig gebleken om gevoel te krijgen voor de belangrijke factoren op basis waarvan de leidingen in groepen ingedeeld kunnen worden. Met de databases van de participerende waterbedrijven en aangeleverde LIS-gegevens kon beschrijvende statistiek worden toegepast om uitspraken te doen over het optreden van storingen in leidinggroepen op basis van materialen, diametercategorieën en onderdelen in relatie tot oorzaken, aard en locatie van de storingen. Voor het leggen van relaties met externe of omgevingsfactoren zoals bodemsoort en verkeersbelasting is de data minder geschikt, omdat de benodigde informatie hiervoor niet beschikbaar (gesteld) is. Om uitspraken te doen over groepen in een bepaalde omgeving is behalve kennis over de storende onderdelen ook kennis nodig over het niet storende gedeelte van het leidingnet (in het LIS). Andere mogelijkheden voor het identificeren van invloedsfactoren zijn het inzetten van GIS (wordt gedaan in het project 'Conditiebepaling') bij het analyseren van storingen, of regelmatige analyse van de storingsdata door een expert-team binnen de waterbedrijven. Het expert-team kan bijvoorbeeld per maand of per kwartaal de invloed van het weer of operationele zaken op het optreden van storingen bekijken (o.a. hotspot-analyse). Door de analyses regelmatig en lokaal / regionaal uit te voeren, gaat geen specifieke informatie verloren en kan worden voorkomen dat verkeerde conclusies getrokken worden.

Met beschrijvende statistiek konden uitspraken worden gedaan over een aantal van de hypothesen uit Tabel 2, p. 20.

H2	Voor diameters > 95 mm geldt, dat bij oplopende diameter de storingsfrequentie (het jaarlijkse aantal storingen per km) afneemt	De data van 5 van de 7 bedrijven gaven een bevestigend beeld, zij het met een ondergrens van 100 mm (vanwege een anders gekozen indeling was 95 mm niet te verifiëren)
H4	In zettingsgevoelige grond treden vaker storingen op dan in minder zettingsgevoelige grond. Bodemmateriaal in oplopende volgorde van zettingsgevoeligheid: zand, leem, klei, veen.	Uit de literatuur bleek dat de hypothese voor AC en GIJ geldig is; leidingen in klei vertonen vaker storingen dan in zand. Met behulp van een Box-Whiskerplot (gebaseerd op het aantal storingen, niet de storingsfrequentie) is aangetoond dat storingen in zand op jongere leidingleeftijd plaatsvond dan in andere bodems, maar verder kon nauwelijks onderscheid gemaakt worden in het aantal storingen dat in klei en veen optrad.

H5	Spontane storingen in PVC zijn vaker het gevolg van aanwijsbare materiaal-, aanleg-, of montagefouten, of uitwendige belasting dan veroudering of slijtage.	In de meeste databases waren de geregistreerde oorzaken niet voldoende onderscheidend ingevuld om hierover uitspraak te kunnen doen. Beschrijvende statistische analyse van één van de twee datasets waarbij wel duidelijk onderscheid mogelijk was, bevestigde de hypothese (DZH).
H11	Leidingen in de nabijheid van grotere verkeersbelasting (wegcategorieën voor zwaarder verkeer) hebben een grotere kans op storingen dan leidingen in de nabijheid van lichtere wegcategorieën.	Een Box-Whiskerplot gebaseerd op de storingsdata verwerpt de hypothese. De leeftijd waarop leidingen onder hogere wegcategorieën storen ligt hoger dan die onder lager belaste wegcategorieën. Mogelijke verklaring kan zijn dat onder de hogere wegcategorieën grotere leidingen gelegen zijn die een grotere sterkte hebben, maar dit is met de huidige gegevens niet te verifiëren.
H12	Leidingen in de directe nabijheid van bomen (< 2 m) hebben een grotere kans op spontane storingen dan leidingen die niet in de directe nabijheid van bomen zijn gelegen.	Op basis van de storingsgegevens is geen wezenlijk verschil te onderscheiden tussen de leeftijd waarop storingen zijn opgetreden binnen of buiten een straal van 2 meter. De hypothese kan hiermee niet worden verworpen, noch bevestigd. Hoewel bekend is dat na storm meer storingen optreden t.g.v. boomwortels, is dit moeilijk te bewijzen op basis van storingsdata.
H13	Leidingen met kleinere gronddekking hebben een grotere kans op storingen dan leidingen met grotere gronddekking.	Een Box-Whiskerplot van de storingsdata laat zien dat leidingen met een gronddekking < 1 m eerder storen dan leidingen met grotere gronddekking. Dit bevestigt de hypothese.

Regressie-analyse bleek slechts toepasbaar voor de individuele dataset van WML en de gecombineerde datasets. De mogelijkheden beperkten zich tot een bevestiging van hypothese H1 voor AC.

H1	De conditie van leidingen neemt af in de tijd. Wanneer de conditie onder een bepaalde grenswaarde komt, neemt de kans op storingen toe.	Voor AC geverifieerd m.b.v. regressie analyse. Na 40 – 45 jaar is een exponentiele toename in de storingen te zien. Voor staal, gietijzer en PVC / PE is (nog) geen relatie tussen storingsfrequentie en leeftijd te zien.
----	---	--

Drie jaar registratie bleek voldoende om een exponentieel verband tussen de leeftijd en de storingsfrequentie te kunnen vinden. Voor GIJ bleek dit niet mogelijk met de beschikbare data, omdat de registratie daarvoor te laat was begonnen; veel informatie over oude leidingen is reeds verloren gegaan bij het vervangen van de leidingen. Ook voor PVC / PE was het niet mogelijk een verband te ontdekken tussen de leeftijd en het optreden van storingen, in dit geval omdat het jonge materialen betreft. Door nu consequent door te gaan met registreren kan voorkomen worden dat over tien jaar hetzelfde gebrek aan data bestaat zoals nu met GIJ het geval is. Voor staal was voor de naoorlogse leidingen ook een exponentieel verband vast te stellen tussen leeftijd en storingsfrequentie.

De eventuele relatie tussen storingen en diameters (hypothese H2) is niet met regressie analyse getest, omdat er gewerkt is met diametercategorieën, niet met diameters. Voor de storingsdata van AC van WML kan wellicht per

diameter een lijn worden bepaald, maar Bijlage IV - Figuur 23 (p.154) suggereert geen verband. Om regressie toe te kunnen passen moeten de gegevens van de betreffende parameters (materiaal en diameter per leeftijd) in het LIS bekend zijn. De meeste aangeleverde datasets bevatten niet zulke complete LIS gegevens. Bovendien varieert de lengte van de verschillende segmenten in het LIS sterk, waardoor een eerlijke vergelijking van storingsfrequenties niet zonder meer mogelijk is. Regressie analyse is minder geschikt bij indeling in klassen, zoals bodem (klei, veen, zand, etc.) of diametercategorieën dan bij continue indeling zoals leeftijd of diameters.

Kansberekeningmodellen zijn niet toegepast, omdat storingen niet aan individuele leidingen zijn gekoppeld (bijvoorbeeld door middel van een LIS-ID). Bovendien zijn de storingsdata slechts over een beperkt aantal jaren beschikbaar, niet over de gehele levensduur. Aanbevolen wordt dit aan te passen in zowel het LIS als de storingsregistratie, zodat die koppeling in de toekomst wel gemaakt kan worden.

Hypothese H3 kon niet met de beschikbare data worden geverifieerd, omdat de betreffende parameters vaak niet, onjuist, of niet consequent geregistreerd waren.

H3	In- en uitwendige coating / bescherming verkleint de kans op storingen in leidingen.	Te weinig data beschikbaar om te verifiëren (sommige databases bevatten de parameter, maar consequente invulling ontbrak)
----	--	---

Over de overige hypothesen konden geen uitspraken worden gedaan, omdat de daarvoor benodigde gegevens in de registratie ontbraken. Combinatie van de gegevens met andere bronnen kan in deze gevallen meer inzicht verschaffen in mogelijke verbanden. Het project *Conditiebepaling* combineert storingsdata met GIS en weergegevens van het KNMI en kan wellicht (een aantal van) onderstaande hypothesen toetsen.

H6	AC-leidingen hebben een hogere kans op storingen in bodems met een lager kalkgehalte en/of pH dan in bodems met een hoger kalkgehalte en/of pH.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met GIS kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))
H7	GGIJ-leidingen in verontreinigde bodems hebben een grotere kans op spontane storingen dan GGIJ-leidingen in niet verontreinigde bodems.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met GIS kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))
H8	AC-leidingen in grondwater hebben een grotere kans op storingen dan AC-leidingen die niet in grondwater gelegen zijn.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Slechts 2 datasets bevatten de parameter, waarvan resp. 50 en 69 % zijn ingevuld. De totale lengtes in grondwater zijn niet bekend, er is dus geen uitspraak te doen over de kans op storingen.

H9	AC-leidingen met drinkwater met hogere S.I. hebben een grotere kans op spontane storingen dan leidingen met drinkwater met lage S.I.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met GIS kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))
H10	GGIJ-leidingen met drinkwater met hogere C.I.-waarde hebben een grotere kans op spontane storingen dan leidingen met drinkwater met lagere C.I.-waarde.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met GIS kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))
H14	Grotere inwendige drukvariaties vergroten de kans op storingen in leidingen.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combineren van de storingsdata met de gegevens van pompstations levert mogelijk meer informatie op over de validiteit van de hypothese.
H15	Leidingsegmenten waarin zich al eerder storingen hebben voorgedaan, zullen vaker spontaan storen dan segmenten waarin nog nooit eerder storingen zijn opgetreden.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. De registraties zijn pas recentelijk (vanaf 2003) gestart. Om de hypothese te toetsen zijn gegevens over de ehele levensduur nodig. De storingen zouden ook aan individuele leidingen gekoppeld moeten zijn. Door gebruik te maken van een leiding-ID kan dit in de toekomst wel geregistreerd worden.
H16	Voor gietijzeren leidingen in kleigrond is het bodemvochtgehalte bepalend voor het optreden van storingen.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd.
H17	Temperatuur beïnvloedt in combinatie met regenwatertekort de storingsfrequentie.	Kon niet met de beschikbare storingsdata worden geverifieerd. Combinatie van de storingsgegevens met data van het KNMI kan hierover meer informatie verschaffen (zie Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding))

Verder onderzoek naar de verbanden is nodig om inzicht te krijgen in het degradatie- en storingsproces van de verschillende materialen en onderdelen.

7.2 Conclusies en aanbevelingen m.b.t. de storingsdatabases

De storingsdatabases van de deelnemende waterbedrijven verschillen van opzet en inhoud. Een aantal bedrijven heeft de storingsregistratie gebaseerd op de in 2001 aanbevolen parameters voor storingsregistratie. De invulling die de verschillende bedrijven er aan hebben gegeven verschilt sterk. Er zijn niet altijd duidelijke en eenduidige antwoorden gegeven op het gevraagde. Bovendien zijn vaak niet alle antwoordcategorieën ingevuld, waardoor de mogelijkheden voor analyse beperkt zijn. In hoofdstuk 5 is per bedrijf een overzicht gegeven welke parameters geregistreerd zijn, welke waarde daarvoor zijn ingevuld en hoe vaak dit is gedaan (% van de totale database).

Voor de waterbedrijven is het van belang zich te realiseren met welk doel zij registreren; een beschrijvende analyse van de opgetreden storingen, regressie analyse van groepen leidingen, of kansberekening van een specifieke

leiding(groep). Het doel van de registratie bepaalt de benodigde nauwkeurigheid en hoeveelheid van de data.

Overeenkomstig de aanbevelingen van Wood & Lence 2006, die in 2006 onderzoek deden naar storingsdata verzameling in de VS en Canada, kunnen daar de volgende algemene aanbevelingen worden gegeven:

- Waterbedrijven doen er goed aan storingsdata continu, consequent en accuraat te registreren, omdat de gegevens relevant zijn voor toekomstig beheer. Het is noodzakelijk alle storingen te registreren om het gehele leidingnet te dekken. Missende gegevens veroorzaken onzekerheid en ondermijnen de betrouwbaarheid van de conclusies. Om de consistentie te vergroten wordt het gebruik van standaard procedures en formulieren aanbevolen (aanbevelingen voor de inhoud volgen verderop in deze paragraaf). Training van het personeel dat verantwoordelijk is voor de registratie (en eventueel de verwerking) is belangrijk. Regelmatige evaluatie van reeds geregistreerde data kan tijdig afwijkingen van de gewenste situatie aan het licht brengen.
- Een mogelijke manier van databeheer is een dataweb, waarin bijvoorbeeld leidingkenmerken, storingsdata, GIS, onderhoudsgegevens en -planning aan elkaar gekoppeld worden.

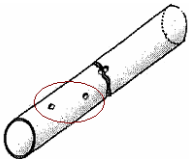
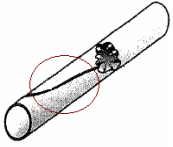
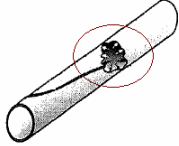
Op basis van de beschikbaar gestelde storingsregistraties, kunnen een aantal verbeterpunten aan de waterbedrijven gericht worden:

- Gebruik een beperkt aantal keuzecategorieën voor de antwoorden (om volledigheid en eenduidigheid te bevorderen)
- Werk met duidelijke bewoording en categorisering (om vervuiling en onbeantwoorde vragen te voorkomen)
- Waar mogelijk moet de registratie betrekking hebben op waarnemingen, omdat die objectief meetbaar zijn en er dus geen beroep gedaan wordt op de subjectieve kennis en ervaring van de monteur. In plaats van de monteur naar de oorzaak te vragen, kan beter gevraagd worden naar de wijze van bezwijken. Van een aantal materialen en oorzaken kan aan hand van de bezwijkvorm de vermoedelijke oorzaak al vastgesteld worden (zie § 3.3), maar consequente en nauwkeurige registratie is nodig om de kennis hierover uit te breiden.
- Voor hotspot-analyse en om verschillende regio's met elkaar te kunnen vergelijken, zijn behalve de storings- en LIS-gegevens ook locatiegegevens nodig en is kennis vereist van in die periode opgetreden incidenten zoals hevige storm of drukproblemen op het pompstation. Het is aanbevelenswaardig incidenten die invloed gehad kunnen hebben op het optreden van storingen in het leidingnet structureel (bijvoorbeeld per kwartaal) te registreren.
- Er is geen eenduidig antwoord op de vraag hoeveel storingen bekend moeten zijn voor zinvolle uitspraken; dat is onder andere afhankelijk van de kwaliteit van de registratie, de groepen waarover men iets wil weten en de mate van (on)zekerheid waarmee uitspraken gedaan (mogen) worden. In combinatie met het feit dat de registratie van vandaag pas relevant wordt voor de managementbeslissingen van

morgen, wordt het belang van zorgvuldige registratie vaak onderschat. Wachten met registreren tot er bekend wordt hoeveel data er nodig is en waarom precies zal resulteren in een gebrek aan data op het moment dat het besef van de noodzaak doordringt.

Aanbevelingen voor een verbeterde storingsregistratie worden gedaan in Tabel 33.

Tabel 33 Storingsregistratie: te registreren parameters en bijbehorende waarden / antwoordcategorieën

Storings-parameter	Waarde / antwoordcategorie	Toelichting
Soort / aard	Lekkage (appendages)	Slechte afdichting van verbinding of aansluiting
	Puntlek 	Klein gat of scheurtje in buis of appendage van PVC, PE, staal, gietijzer
	Rondbreuk (buizen) 	Scheur haaks op lengte-as buis, rondom
	Lengtescheur (buizen) 	Scheur / breuk in lengterichting van buis
	Scherfbreuk (buizen) 	Gat door scheuren in wand; scherp ontstaan
Locatie	(x;y)-coördinaten	Via een leiding-identificatienummer kan een koppeling worden gemaakt met het LIS.
	Grondverbetering ja/nee	
Oorzaak	Externe oorzaken / niet-spontaan	Werkzaamheden derden, vandalisme, diefstal
	Uitwendige belasting, namelijk...	Verkeersbelasting, grondzetting, temperatuursverschil, wortelingroei
	Aantasting uitwendig	Corrosie, slijtage, aantasting aan buitenzijde getroffen object (door omgeving, evt. bodemverontreiniging)
	Aantasting inwendig	Corrosie, slijtage, aantasting aan de binnenzijde van het getroffen object (door drinkwaterkwaliteit)
	Aanleg-, uitvoerings-, montage, of bedieningsfout	Aanleg-, uitvoerings-, montage, product-, bedienings-, materiaalfout. Bijv. onjuiste samenstelling of verdichting cunet, koppelingen niet volgens voorschriften gemonteerd, zwakke plekken door fabricageproces, onjuiste maatvoering
	Defect appendage/pomp	
	Anders, namelijk...	

Getroffen object parameter	Waarde / antwoordcategorie	Toelichting
Onderdeel leidingnet	Hoofdleiding	
	Appendage	Verbinding, bocht, t-stuk
	Aansluitleiding	
Component	Buis	
	Bocht	
	T-stuk	
	Verbinding	
	Afsluiter	
	Meter	
	Pomp	
	Brandkraan	
	Anders, namelijk...	
Leidingmateriaal	Grijs gietijzer	
	Nodulair gietijzer	
	AC	
	PVC	
	PE	HPE, HDPE, ZPE, AluPE
	Anders, namelijk...	Staal, beton
Bescherming	Geen bescherming	PVC en PE hebben nooit bescherming (m.u.v. mantelbuis), AC heeft meestal geen bescherming (m.u.v. mantelbuis)
	Mantelbuis	Materiaal registreren (GGIJ, NGIJ, AC, PVC, PE, anders)
	Kathodisch	Staal
	Inwendige coating	Gietijzer, staal
	Uitwendige coating	Gietijzer, staal, AC
	In- en uitwendige coating	Gietijzer, staal
Diameter		Zoals in fabrieksaanduiding
Aanlegjaar	Jaar van aanleg	
Reparatie-/ vervangingsactie	Reparatie: [uitgevoerde actie]	Uitgevoerde reparatie (wat is er precies gedaan om de storing op te lossen)
	Vervanging: [uitgevoerde actie]	Betreffende leidingonderdeel, afmetingen, oud en nieuw materiaal / appendage / ... (wat is er precies gedaan om de storing op te lossen)

Dit project heeft zich gericht op verklarende factoren van het degradatieproces, niet op de gevolgen voor de klant. De te registreren klantperceptie parameters zijn niet in dit project besproken. In Bijlage VII worden ze voor de volledigheid genoemd, omdat het wel een belangrijk onderdeel is van de storingsregistratie.

Literatuur

- Baggelaar, P.K & Rotterdam, J.J. van (1988), *Kenmerken van storingen in transport- en hoofdleidingnetten – Analyse van afsluitingen*, Kiwa N.V., Nieuwegein, Rapport SWE 88.002
- Beuken, R.H.S (2006), *Verkenning mogelijkheden praktijktoets CARE-W – Verslag conferentie eindgebruikers in Barcelona en evaluatie voor EPA*, Kiwa Water Research, Nieuwegein, rapport BTO 2006.072(s)
- Breen, J. (2006), *Expected lifetime of existing PVC water distribution systems – Management summary*, TNO Science and Industry, Eindhoven, MT-RAP-06-18693/mso
- Christiaan, D. (2005), *Ontwerp van een onderhoudsconcept binnen een farmaceutisch bedrijf*, Katholieke Hogeschool Kempen
- Daal, K. van & Baar, M. van (in voorbereiding), *Storingsanalyse omgevingsfactoren - Studie naar mogelijke relaties tussen omgevingsfactoren en storingen*, Kiwa Water Research, Nieuwegein
- Davis, P., Burn, S. & Zhang, J. (2006), *Long-term performance prediction for plastic water pipes – PVC and PE*, Drinking Water Research, January/February 2006
- Gat, Y. Le & Eisenbeis, P. (2000), *Using maintenance records to forecast failures in water networks*, Urban Water 2/2000, pp. 173 - 181
- Herz, R. (1998), *Exploring rehabilitation needs and strategies for water distribution networks*, J. Water SRT-Aqua 47, pp. 275 - 283
- Hu, Y. & Hubble, D.W. (2006), *Factors contributing to the failure of asbestos cement water mains*, NRCC, Regina, Canada
- Kelly O'Day, D. (1982), *Organizing and analyzing leak break data for making main replacement decisions*, Journal AWWA, November 1982, pp. 589 - 594
- Kivit, C.F.T & Blokker, E.J.M., (2006), *Prestatie en kosten van distributie-assets – Concretiseren van assetmanagement aan de hand van vier pilots*, Kiwa Water Research, Nieuwegein, Rapport BTO 2006.006
- Kleiner, Y. & Rajani, B. (1999), *Using limited data to assess future needs*, Journal AWWA, Vol. 91, Issue 7, pp. 47 - 61
- Kleiner, Y. & Rajani, B. (2002), *Forecasting variations and trends in water-main breaks*, Journal of Infrastructure Systems, v. 8, no. 4, Dec. 2002. p. 122-131, NRCC-44677
- Kleiner, Y. & Rajani, B. (2003), *Water main assets: From deterioration to renewal*, AWWA Annual conference, Anaheim, Ca., U.S.A., June 15-19, 2003, pp. 1-12
- Lei, J. & Saegrov, S. (1998), *Statistical approach for describing lifetimes of water mains*, Wat. Sci. Tech. Vol. 38, No. 6, pp. 209 - 217

- Marshall, P. (2001), *Understanding burst rate patterns of water pipes*, UKWIR, London, report ref. no.: 01/WM/02/16
- Mesman, G.A.M. en Slaats, P.G.G. (2004), *Conditiebepaling gietijzeren waterleidingen – wanddikte, belastingen*, Kiwa N.V., Nieuwegein, Rapport BTO 2003.038
- Moglia, M., Burn, S. and Meddings, S. (2006), *Decision support system for water pipeline renewal prioritization*, ITcon Vol. 11/2006, p.238
- ProRail (2004), *Plan van aanpak beheer en onderhoud spoorwegen – Herstelplan spoor*, ProRail
- Pulles, C.J.A. (2005), *Modellering Lekzoeken*, Gastec, Apeldoorn, Rapport GT 050074
- Roy F. Weston, Inc., and TerraStat Consulting Group, (1996), *Pipe Evaluation System (PIPES) -- Deterioration Model Statistical Analysis*, Internal report from consultants to Seattle Public Utilities
- Slaats, P.G.G. en Mesman, G.A.M. (2003), *Conditiebepaling asbestcement waterleidingen – wanddikte, belastingen*, Kiwa N.V., Nieuwegein, Rapport BTO 2003.039
- Trietsch, E.A. (2001), *Workshop landelijke storingsregistratie – Cluster onderzoek leidingnetmanagement*, Kiwa N.V., Nieuwegein, Rapport BTO 2001.195(c)
- Trietsch, E. A. en L. P. M. Rosenthal (2004). *Centraal Kennissysteem Levensduurbepaling; specificaties*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2004.035.
- Watson, T., Christian, C., Mason, A., Smith, M. (datum onbekend), *Maintenance of water distribution systems*, University of Auckland, NZ
- National Research Council Canada:
http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ui/bu/grayfailuretype_e.html
- Seattle Public Utilities (PIPES):
<http://gis.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to350/pap346/p346.htm>

I Minimaal te registreren parameters - Aanbevelingen 2001

Trietsch vermeldt in het verslag van de workshop *Landelijke storingsregistratie* een lijst met de minimaal te registreren parameters voor een goede storingsregistratie (Trietsch, 2001, p. 4):

Categorie / Item	Nadere uitleg bij item
Algemeen	
Bedrijfsnaam	
Storing	
Soort storing	'Breuk' of 'lekkage'; de werkelijke storing (bijv. waargenomen door monteur)
Locatie	Straat & huisnummer, Postcode, Plaats
Oorzaak	Reeks ¹ met mogelijk oorzaken, waaronder 'Anders, nl...'
Getroffen object	
Type component	Reeks met typen ('hoofdleiding', 'aansluitleiding', 'watermeter')
Component	Reeks afh. van type ('buis', 'bocht', 'verbinding', ...)
Beschermingsmaatregel	Reeks ('inw. coating', 'uitw. coating', 'kathodisch')
Leidingmateriaal	Reeks met materialen
Diameter	Reguliere leidingdiameter (bijvoorbeeld: GIJ = inwendig, PVC = uitwendig)
Aanlegjaar	
Capaciteit	In geval van een watermeter
Type watermeter	In geval van een watermeter
Klantperceptie	
Aantal getroffen aansl.	
Start onderbreking levering	(datum/tijd)
Einde onderbreking levering	(datum/tijd)
Gevoelig voor onderbreking levering	('niet', 'matig', 'behoorlijk', 'zeer')
Verkeershinder?	('geen', 'matig', 'ernstig', 'zeer ernstig')
Wateroverlast?	('geen', 'matig', 'ernstig', 'zeer ernstig')
Andere gevolgen?	Zo ja, toelichting...

II Statistiek – De Weibull verdeling

In de kansrekening en de statistiek is de **Weibull-verdeling** een continue kansverdeling met als kansdichtheidsfunctie

$$f(x; k, \lambda) = (k/\lambda)(x/\lambda)^{(k-1)} e^{-(x/\lambda)^k}$$

Voor de distributie geldt:

$$x \geq 0$$

$$k > 0 \text{ (de vormparameter)}$$

$$\lambda > 0 \text{ (de schaalparameter)}$$

De verdeling, genoemd naar Waloddi Weibull, wordt gebruikt om de breuksterkte van materialen te modelleren. Tegenwoordig wordt de verdeling vaak toegepast voor het modelleren van de betrouwbaarheid en de levensduur van technische apparaten. Weibull wordt ook gebruikt in de analyse van systemen met een zwakste schakel.

Met de vormparameter k wordt de plaats op de badkuipkromme aangegeven:

$k < 1$ is de aanloophase, waarin kinderziektes voorkomen

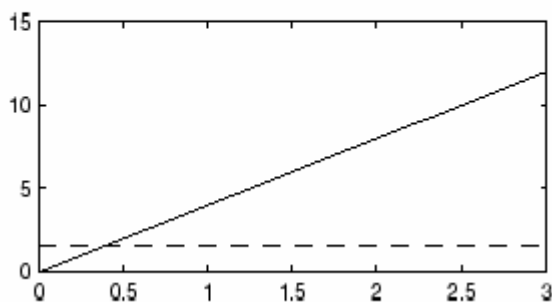
$k = 1$ is het rechte stuk, waarin falen willekeurig optreedt

$k > 1$ is de laatste fase, waarin door veroudering verhoogde kans op falen bestaat.

De vorm- en schaalparameters karakteriseren het apparaat.

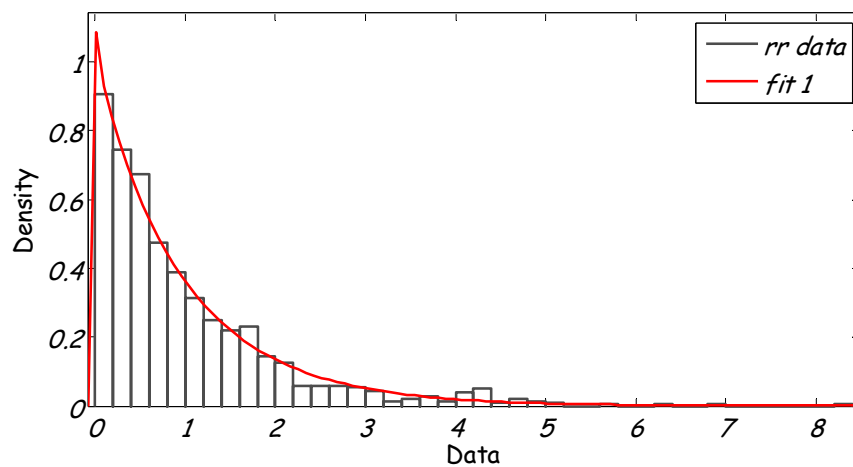
De Weibull functie is geschikt voor het inschatten van de levensduur van apparaten, omdat het de mogelijkheid heeft rekening te houden met verhoogde kans op falen (hazard rate) door veroudering. De exponentiele verdeling daarentegen kent een constante hazard rate. In de grafiek hieronder is dit weergegeven door een stippellijn (exponentiele verdeling) en een doorgetrokken lijn (Weibull verdeling) die toeneemt bij toenemende leeftijd.

```
t = 0:0.1:4.5;  
h1 = exppdf(t,0.6267) ./ (1-expcdf(t,0.6267));  
h2 = wblpdf(t,2,2) ./ (1-wblcdf(t,2,2));  
plot(t,h1,'-',t,h2,'-')
```

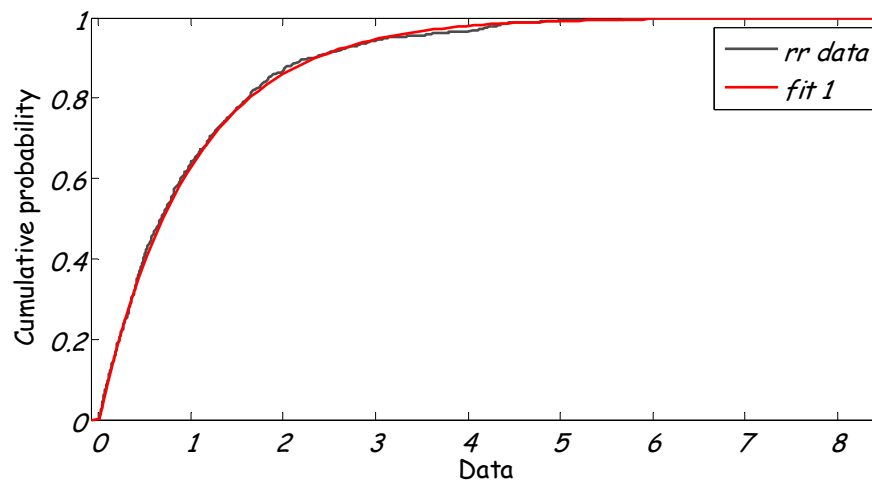


Weibull-verdeling, met parameters $k = 1$; $\lambda = 1$.

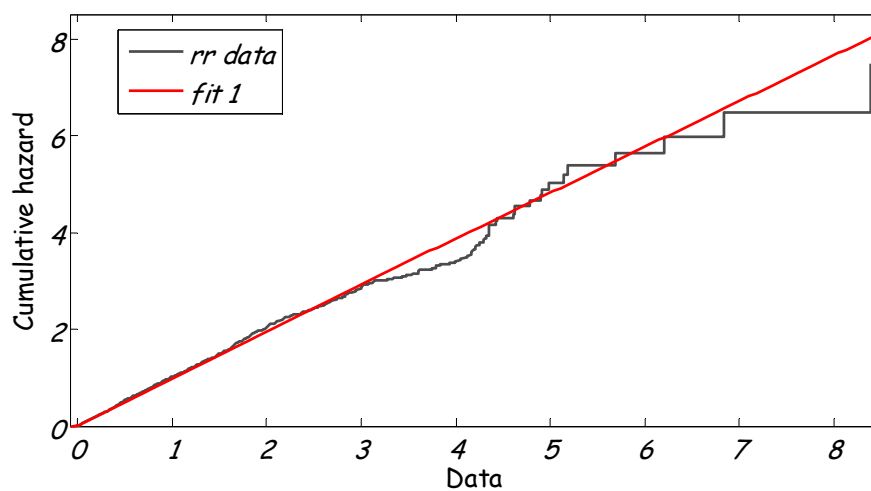
Waarschijnlijkheidsverdeling:



Cumulatief:



Cumulatieve 'hazard function'



III Minimaal te registreren elementen volgens InfraGuide & AwwaRF

Wood en Lence stellen in hun artikel de volgende elementen voor als minimaal noodzakelijk te registreren storingsdata (Wood & Lence 2006, Journal AWWA 98; 7, p.85)

Physical Data	Suggested Sources
Pipe diameter	In the field during break repairs and available from as-builts
Depth of cover	In the field during break repairs and available from as-builts
Pipe material	In the field during break repairs, available from as-builts and analyzed off-site (e.g., in a laboratory) for determining the different types of cast iron pipes
Condition of bedding	In the field during break repairs or obtained with extra field work
Category of native soil	In the field during break repairs but is better analyzed in a laboratory
Condition of unlined pipe interior	In the field during break repairs but is better analyzed in a laboratory
Condition of pipe exterior	In the field during break repairs but is better analyzed in a laboratory
Type of water service	In the field during break repairs or from other sources of information (e.g., land use plans)
Surface material	In the field during break repairs or from other sources of information (e.g., models)
Surface use (under boulevard or roadway)	In the field during break repairs or from other sources of information (e.g., models)
Traffic classification or type of road usage	In the field during break repairs or from other sources of information (e.g., transportation plan, traffic models)
Length of pipe segment containing the repair	In the field during break repairs or obtained with additional field work or from as-builts or geographic information systems
Bedding material	In the field during break repairs, may be available from as-builts and other sources and/or bundled with information gained from additional field work
Pipe protection (wrapped/anodes)	In the field during break repairs, may be available from as-builts and other sources and/or bundled with information gained from additional field work
Type of joint	In the field (bundled with information gained from additional field work or from other sources of information such as archives or construction inspection records)
Year of installation	From as-builts or other archival records such as construction inspection reports
Backfill material	From as-builts or other archival records such as construction inspection reports
Typical flow in area of break	Technical tools (e.g., models)
Normal operating pressure	Technical tools (e.g., models)
Condition of cement-lined pipe interior	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition
Pipe modulus of rupture	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition
Type of pipe lining	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition
Pipe wall thickness/classification	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition
Pipe fracture toughness	From as-builts and better analyzed in a laboratory for current condition

IV Bijlage bij hoofdstuk 5 – De storingsdata van de Nederlandse waterbedrijven

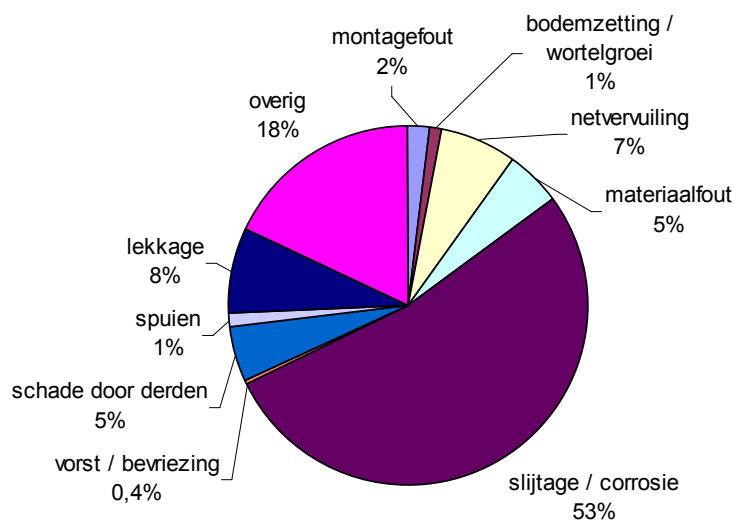
Deze bijlage is een aanvulling op hoofdstuk 5.

De inhoud van de storingsdatabase is per bedrijf in een tabel weergegeven waarin te zien is welke aspecten van storingen geregistreerd zijn (parameters) en welke waarden zijn ingevuld (antwoordcategorieën). In dezelfde tabel is aangegeven of het betreffende aspect in dit project gebruikt is en hoe vaak (%) het is ingevuld. De registratie-overzichtstabellen zijn een beknopt overzicht van de aangeleverde gegevens. Fouten in de weergegeven waarden, of missende gegevens zijn onverbeterd overgenomen uit de aangeleverde data en zijn dus aandachtspunten ter verbetering van de registratie.

Brabant Water

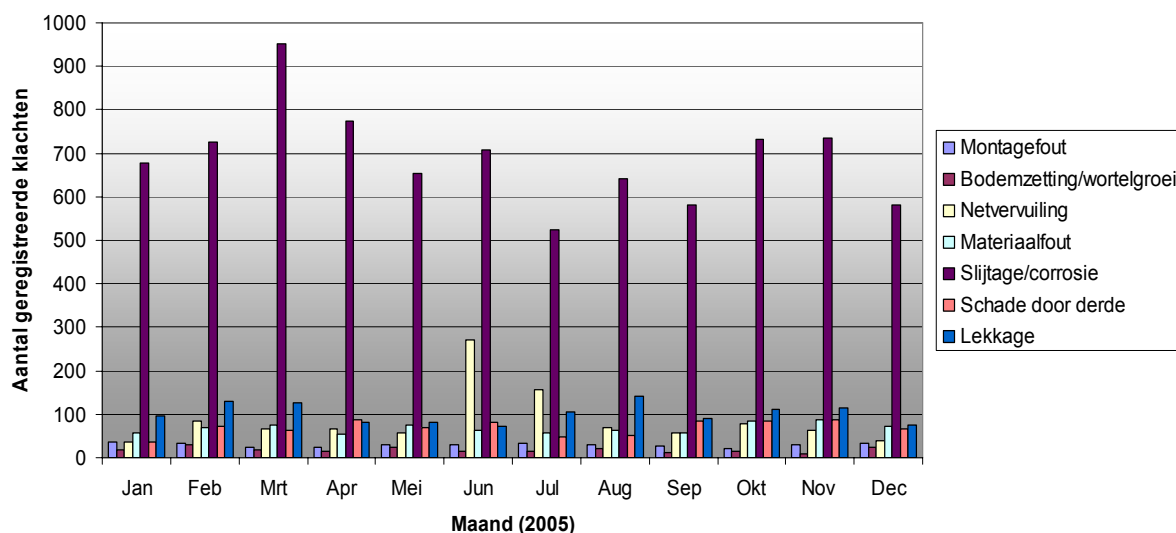
Bijlage IV - Tabel 1 De gerapporteerde storingen (parameters en waarden) van Brabant Water

Parameter	Ingevulde waarden	Gebruikt in dit project	% ingevuld
Klachten	Ontvangen, openstaand, afgehandeld	Nee	100
Rubricering klachten	Lekkage distributie-/aansluitleiding buitenshuis, meetgarnituur (bij klant zelf), bruin water, troebel/afwijkende kleur, afwijkende smaak en/of geur, vlekken in wasgoed, geen water, drukklacht, klacht n.a.v. werkzaamheden, werkzaamheden t.g.v. andere verzoeken, straatwerk	Ja	100
Probleem	Distributieleiding, aansluitleiding, watermeter/stopkraan/keerklep, afsluiter, brandkraan, te hoge druk, te lage druk, geplande leveringsonderbreking, ongeplande leveringsonderbreking, waterkwaliteit, binneninstallatie, overig	Ja	97
Oorzaak	Montagefout, bodemzetting/wortelgroei, netvervuiling, materiaalfout, slijtage/corrosie, vorst/bevriezing, schade door derden, spuien, lucht in het water, lekkage, niet voor BW, loos alarm, overig	Ja	97
Actie	Gerepareerd, vervangen, tijdelijke voorziening getroffen, geen actie nodig, gericht spuien, geen oplossing gevonden, voorlichting verstrekt, vervolgspraak gemaakt, bewoner niet aanwezig/kaartje weggelegd	Nee	97
Aantal klachten met onderbreking		Nee	100
Tijdsduur onderbreking		Nee	100



Bijlage IV - Figuur 1 Verdeling van het aantal geregistreerde klachten naar oorzaak

In Bijlage IV - Figuur 2 zijn in een staafdiagram de oorzaken per maand weergegeven. De oorzaken hebben betrekking op 15498 klachten, waaronder ook problemen met binneninstallaties, waterkwaliteit, afsluiters, drukproblemen, etc vallen. Van het totaal aantal klachten betreft ca. 7 % problemen op de distributieleidingen. Het is goed dit in gedachten te houden bij het bekijken van de figuur. Wanneer alleen de oorzaken van de klachten over problemen met de distributieleidingen in een staafdiagram weergegeven worden, ontstaat een ander beeld.



Bijlage IV - Figuur 2 Klachtenregistratie 2005: Aantallen van de meest voorkomende oorzaken van klachten per maand

Bijlage IV - Tabel 2 De gerapporteerde storingen (parameters en waarden) van DZH

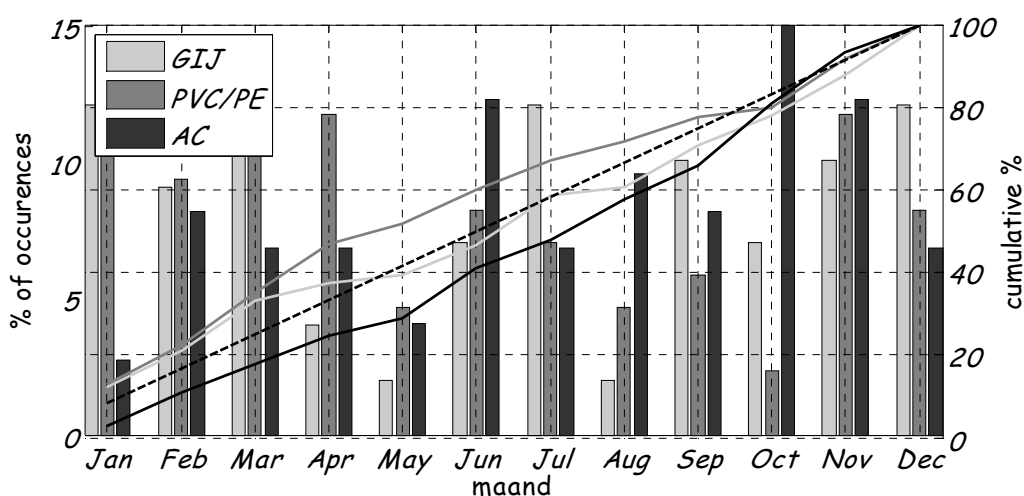
Geregistreerde parameters	Ingevulde waarden	Gebruikt in dit project	% ingevuld
Melddatum		Ja	100
Regio	HR, VR, RR, Oost, West	Nee	100
Component	Hoofdleiding	Ja	100
Straat		Ja	100
Huisnummer		Nee	100
Nadere aanduiding		Nee	n.v.t.
Postcode		Nee	100
Plaats		Nee	100
Onderdeel	Afsluiter, bocht, bk, buis, eindkap, t-stuk, verbinding, onbekend	Ja	100
Materiaal	AC, GGIJ, NGIJ, PVC, PE, Staal	Ja	100
Diameter	50 t/m 315 mm	Ja	100
Beschermwijze	Ja, nee, in./uitwendig, mantelbuis, onbekend	Nee	85
Aanlegjaar	Jaartal of 10-jaarlijks interval	Ja	96
LRS-code	?	Nee	100
Soort storing	Breuk, lekkage	Nee	100
Oorzaak storing	Aanleg-/montagefout, bediening, corrosie in./uitwendig, werkzaamheden derden, grondzetting, product-/materiaalfout, slijtage, uitwendige belasting, wortelingroei	Ja	100
Aantal getroffen aansluitingen	0 - 200, onbekend	Nee	98
Tijdstip start onderbreking		Nee	99
Tijdstip einde onderbreking		Nee	99
Gevoeligheid	Niet, matig, behoorlijk, zeer, onbekend	Nee	99
Verkeershinder	Geen, matig, ernstig, zeer ernstig, onbekend	Nee	100
Wateroverlast	Geen, matig, ernstig, zeer ernstig, onbekend	Nee	100
Andere gevolgen	Diversen	Nee	65

Storingen zijn voor dit project gedefinieerd als ongeplande onderbrekingen van de waterlevering.

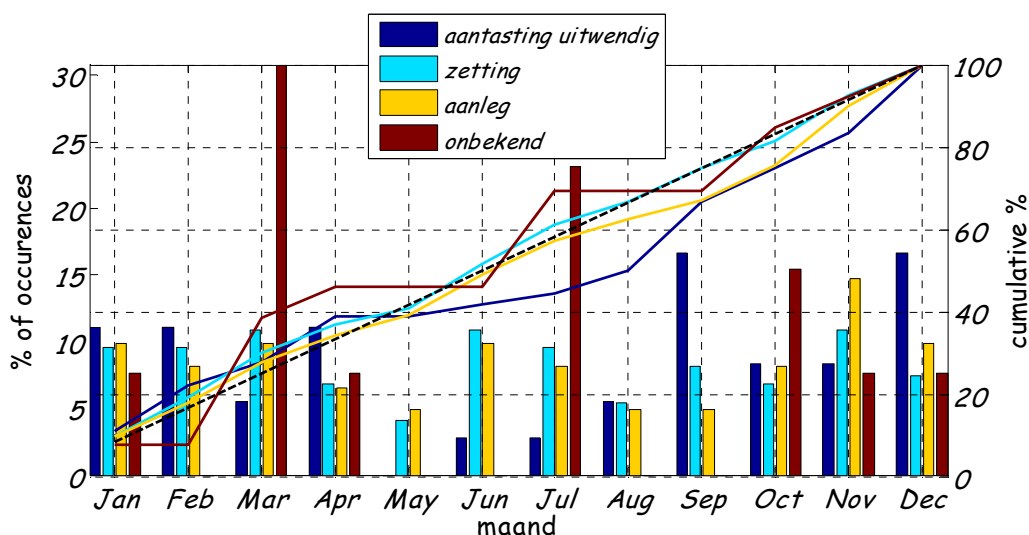
- Uit de storingsdatabase zijn daarom 55 storingen gefilterd die geen onderbreking van de waterlevering tot gevolg hadden. Na aftrek van de storingen zonder leveringsonderbreking blijven er 461 storingen over voor de analyse.
- Voor gericht beheer van het leidingnet zijn de spontane storingen van belang. Onder de niet-spontane storingen worden de storingen verstaan die het gevolg zijn van werkzaamheden aan, of in de buurt van het leidingnet, of vandalisme. Iets meer dan een derde van de storingen zijn niet-spontaan. Wanneer we deze uit de database filteren, blijven er nog 292 storingen over.

- Afsluiters en brandkranen zijn appendages die aparte beschouwing vereisen. Door hun complexiteit zijn er meer faaloorzaken mogelijk dan bij buizen en verbindingen. In de overgebleven lijst van 292 storingen, zijn er 10 op brandkranen en 25 op afsluiters. Van de afsluiters komt bijna de helft van de storingen (11 stuks) voor op GGJ en 10 storingen op PVC.
- Omdat alleen gekeken wordt naar hoofdleidingen met een diameter groter dan 50 mm, worden er nog eens 5 storingen uit de lijst gehaald. De resterende storingsdatabase bevat 252 storingen.

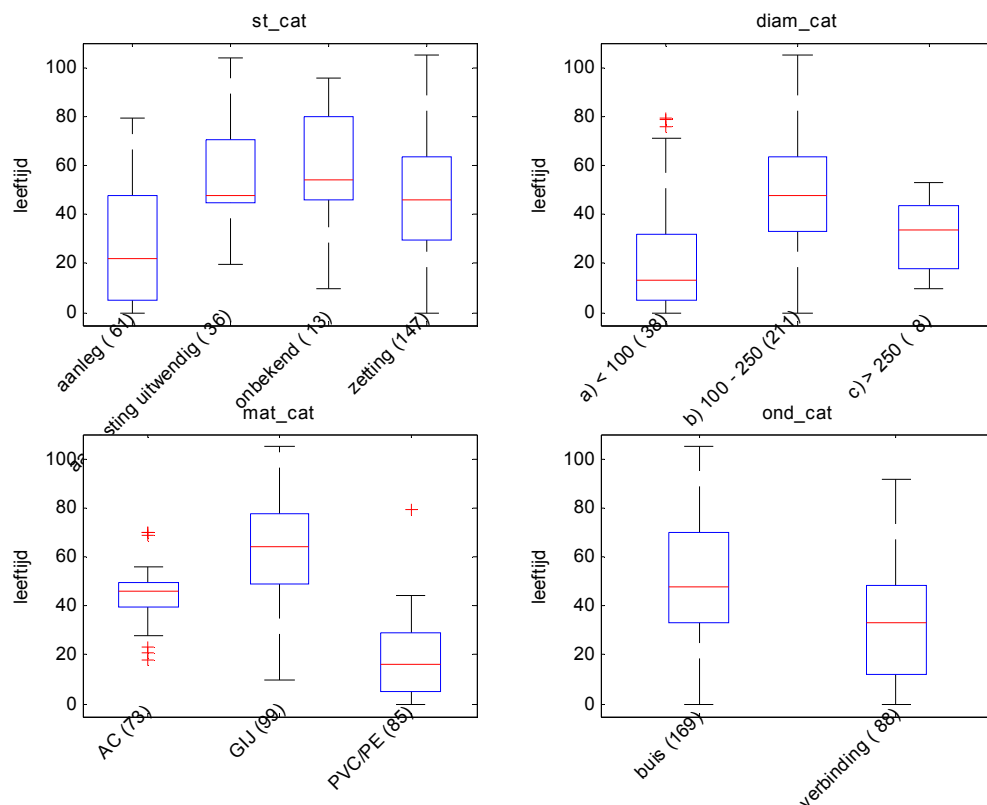
Het aantal storingen dat per maand in de onderscheiden materialen en storingsoorzaken optrad, is in staafdiagrammen weergegeven.



Bijlage IV - Figuur 3 Percentage storingen (y-as) per materiaal per maand (x-as)



Bijlage IV - Figuur 4 Percentage storingen (y-as) per oorzaak per maand (x-as)



Bijlage IV - Figuur 5 Box-Whisker-plot van het aantal storingen per leeftijd (tussen haakjes het aantal dat per categorie voorkomt)

Bijlage IV - Tabel 3 Hotspots in het verzorgingsgebied van DZH

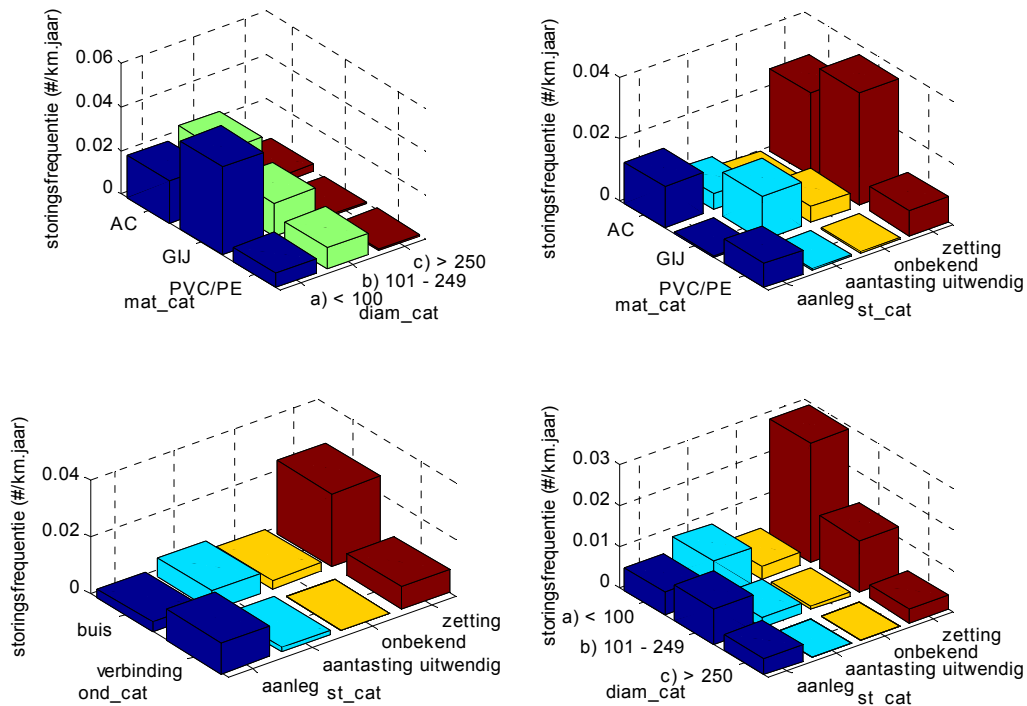
Plaats + adres	Storingen	Oorzaak
Bergschenhoek Hoeksekade 2.573 m	3 x AC 150 1 x PE 50	Wortelingroei Materiaalfout
Berkel en Rodenrijs Zuidersingel 1.700 m	3 x AC 100	Uitwendige belasting en grondzetting en wortelingroei
Den Haag Laan v. Eik en Duinen 890 m	3 x GGIJ 150 1 x GGIJ 80	Uitwendige belasting en grondzetting
Den Haag 2 ^e Schuytstraat 750 m	2 x GGIJ 100 1 x PVC 63	Uitwendige belasting en grondzetting Materiaalfout
Den Haag Vredeoord 270 m	3 x GGIJ 100	Corrosie uitwendig
Leidschendam Patrijslaan 823 m	2 x AC 150 1 x AC 100	Uitwendige belasting en grondzetting
Rotterdam Wollefoppenweg 1.285 m	3 x GGIJ 100 1 x PVC 250	Uitwendige belasting en grondzetting Aanlegfout

Bijlage IV - Tabel 4 Belangrijkste faaloorzaken per materiaal

Materiaal	1 ^e oorzaak	2 ^e oorzaak	3 ^e oorzaak	commentaar
AC	grondzetting (36 %)	uitwendige belasting (16 %)	product-/ materiaal- fouten (22 %)	onderscheid tussen falen ten gevolge van grondzetting en uitwendige belasting is niet altijd duidelijk
GGIJ	grondzetting (40 %)	uitwendige belasting (26 %)	corrosie (19 %)	
PE en PVC	aanleg-/ montage fouten (50%)	grondzetting (37 %)	uitwendige belasting (14 %)	

De storingsfrequentie drukt de prestatie van delen van het leidingnet met bepaalde kenmerken (bijvoorbeeld materiaal en diameter) uit in het jaarlijkse aantal storingen per km. Op het gehele leidingnet (exclusief brandkranen en afsluiters) van 4371 km lengte zijn 252 storingen opgetreden in een periode van 2 jaar. Het resultaat is een gemiddelde storingsfrequentie van 0,028 st/km/jr.

Om te voorkomen dat bij het bepalen van de storingsfrequentie incidentele storingen bij zeldzame buisdelen een vertekend beeld opleveren, worden alle storingen op dezelfde leidingtypes met lengtes korter dan 5 km uit de lijst gefilterd. Er zijn 3 storingen die betrekking hebben op materialen en diameters met lengtes kleiner dan 5 km, namelijk op AC 225, AC 250 en staal 150. Deze tellen wel mee voor de gemiddelde storingsfrequenties, maar niet voor het bepalen van de maximale storingsfrequentie per materiaal en diameter.



Bijlage IV - Figuur 6 Storingsfrequentie (z-as) per a) materiaal en diameter (x en y-as); b) materiaal en oorzaak; c) onderdeel en oorzaak; d) diameter en oorzaak. De storingsfrequentie is bepaald op basis van het aantal kilometers in de als eerste genoemde categorieën.

De storingsfrequenties die gebaseerd zijn op een enkele storing zijn niet expliciet vermeld. Wanneer gekeken is naar de gezamenlijke storingsfrequentie van meerdere groepen materialen zijn ze wel meegerekend. Hierbij dient te worden vermeld, dat ook in de gevallen waarbij het meer dan één storing betreft, nog altijd gesproken wordt over twee tot maximaal ca. twintig storingen. We hebben het dus over een klein aantal waarnemingen, wat statistisch gezien een beperkt betrouwbaar beeld oplevert.

Vitens MN

Bijlage IV - Tabel 5 De gerapporteerde storingen (parameters en waarden) van Vitens MN

Geregistreerde parameters	Ingevulde waarden	Gebruikt in dit project	% ingevuld
Regio	Noord, Centrum, Zuid	Nee	100
Plaats / Kern		Nee	84
Locatie / Adres		Nee	100
Huisnr.		Nee	63
Postcode		Nee	0
Gemeente	= regio	Nee	22
Storingsdatum		Ja	97
Storingsnr.		Nee	14
Werkbonnr.		Nee	46
Type leiding	Hoofd, aansluit, transport	Ja	58
Nom. Diam. in mm	(14 ; 600)	Ja	93
Lengte segment	(0,5 ; 700)	Nee	5
Materiaal	Lood, messing, koper, AC, PVC, PVC/HDPE, HDPE, PE, HPE, ZPE, C, GIJ nieuw, GIJ oud, anders, onbekend)	Ja	94
Oorzaak schade	Vrij in te vullen, resultaat is meer dan 180 verschillende antwoorden, waaronder: Aanl. DL, aansl. OWT put, afkapping, afsl. Gas + riool, bocht, boomwortels, breuk, brugleiding, corrosie, DK uit HL, mantelbuizen, machinaal, lood $\frac{3}{4}$, doorverb., drukke winkelstraat, PE, split, uitgezakt, spanning, etc., etc.	Ja	59
Soort beschadiging	Komeetmof, lengtescheur, mechanisch, rondbreuk, scherf, verbinding, verpotloding, anders	Ja	11
Andere storingen	Afsluiter, brandkraan, dienstkraan, flens, verbinding, zadel, anders	Nee	7
Leidingdeel uitgenomen	Ja, nee, n.v.t.	Nee	26
Tijdstip uit bedrijf		Nee	47
Tijdstip in bedrijf		Nee	47
Minuten uit bedrijf	(0 ; 48 uur)	Nee	53
Aantal drukloze aansluitingen	(1 ; 500)	Nee	45
Benodigde tijd isoleren lek	(0 ; 480)	Nee	22
Overlast, hinder derden	Laag, beperkt, aanzienlijk, hoog	Nee	48
Overlast, schade (kosten)	Ja, nee, n.v.t.	Nee	50
Kans op gevaarlijke situaties	Laag, beperkt, aanzienlijk, hoog	Nee	52
Toestand leiding	30 cm dek, slecht, matig, goed, uitstekend	Nee	80
% dichtgeslibd	0, 10, 20	Nee	2
Soort/ type verbinding/ koppeling	Flens, komeetmof, loodmof, PVC lijmverbinding, steekmof rubberglij,	Nee	11

Geregistreerde parameters	Ingevulde waarden	Gebruikt in dit project	% ingevuld
	steekmof rubberrol, anders		
Toest. verbinding / koppeling	Slecht, matig, goed, uitstekend	Nee	13
Toestand coating	Onbekend, slecht, goed, uitstekend	Nee	10
Buis in grondwater	Ja, nee, wisselend	Ja	50
Bodemmateriaal	Klei, klei/zand, leem, veen, zand	Ja	51
Verharding	Asfalt, beton, gras, grind, klinkers, slak/sintels, tegels	Nee	44
Verkeersbelasting	Berm, binnenweg, fietspad, hoofdweg, tuin, voetpad, weiland	Nee	51
Bomen binnen 2 m	Ja, nee	Ja	50
Gronddekking	< 1; 1 - 1,25; 1,25 - 1,50; > 1,50	Ja	51
Bereikbaarheid	1,70 dek, goed, grondwater, inbouw, matig, norm/matig, normaal, plan in aanl, slecht, onbekend	Nee	92
Aanlegjaar	(1882 ; 2001)	Nee	13
Water afkomstig van PS	Bilthoven, de Meern, Linschoten, Loosdrecht, Utrecht Stad	Nee	14
SI	> 0; -0,2 tot 0; -0,2 tot 2; -0,8 tot 0,2	Nee	13
Drukvariatie mwk		Nee	0
Kwetsbaarheid levering	Laag, beperkt, hoog	Nee	13
Gevoeligheid onderbreking	Laag, beperkt, hoog	Nee	13
Gevoeligheid onderbreking waterafhankelijke afnemers	Laag, beperkt, hoog	Nee	13
Schade derden	Laag, beperkt, aanzienlijk, hoog	Nee	13
Imago schade	Laag, beperkt, hoog	Nee	13
Storingsfrequentie [aant./km/jr]		Nee	0
AC wanddikte	(10 ; 45)	Nee	8
AC aantasting max. buitenkant	(0 ; 12)	Nee	8
AC aantasting binnenkant	(0 ; 8)	Nee	8
AC Restdikte %	(10 ; 100)	Nee	8
AC Kalktest waarneming opbruising	Kalkarm, kalkrijk, tussenklasse	Nee	6
AC type bodem	Klei, veen, zand	Nee	1
AC verontreiniging	Nee, onbekend	Nee	1

In Bijlage IV - Tabel 6 zijn de filters die op de database van Vitens MN zijn toegepast voor de analyse weergegeven.

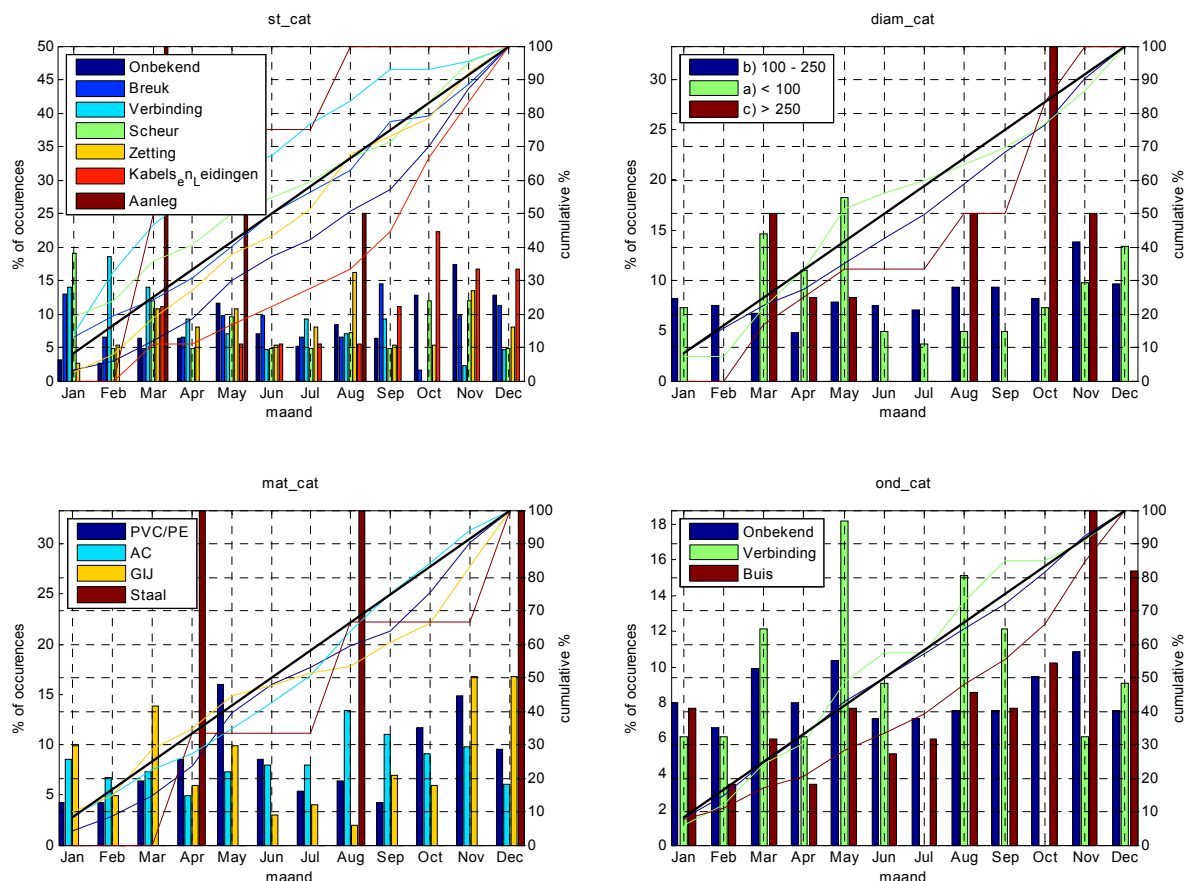
Bijlage IV - Tabel 6 Filters toegepast op de storingsdatabase van HMN

Uitsluiting storingsdatabase op basis van:		#
Onbekende diameter		50
Component:	Aansluitleiding of Onbekend	76
Jaar van storing	≠ 2004	1
Materiaal	Anders of Onbekend	21
Onderdeel	Anders	20
	Afsluiter	8
	Dienstkraan	14
	Brandkraan	13
Storingscategorie	Afsluiter	1
	Brandkraan	1
	Dienstkraan	10
	Derden	70
	Lek	6
	Corrosie	6
	Aanleg	4
	Kabels en leidingen	18
Totaal*	(659 - 319)	340

* Van dit totaal zijn 73 storingen met bekende leeftijd

In de kolommen met informatie over de storing is de monteurs de vrije hand gelaten. Om storingen te kunnen analyseren zijn de korte en soms vage omschrijvingen in een aantal categorieën (onderdeel, storingscategorie) ondergebracht. In bijlage IV is een verantwoording gegeven van het construeren van de categorieën 'onderdeel' en 'storingscategorie' uit de storingsregistratie. De volgende bewerkingen zijn gedaan om de data geschikt te maken voor de statistische analyse:

- ▶ Een aantal materialen is samen genomen in een categorie:
 - PVC: PVC, PE, HDPE, ZPE
 - AC: AC
 - GIJ: oud en nieuw gietijzer
 - Staal: staal
 - Anders: lood, koper, messing
- ▶ De diameterklassen zijn ingedeeld in drie categorieën:
 - < 100 mm
 - 100-250 mm
 - > 250 mm



Bijlage IV - Figuur 7 Seizoensinvloed op storingen voor verschillende invloedsfactoren (a) storingscategorie (b) diametercategorie (c) materiaalsoort (d) onderdeel

In Bijlage IV - Figuur 7 lijkt een aantal factoren een grote seizoensinvloed te hebben, maar dat wordt veroorzaakt door een klein aantal storingen waarop dit gebaseerd is:

- (a) storingscategorieën 'Aanleg' en 'Kabels en Leidingen' zijn gebaseerd op respectievelijk 4 en 18 storingen
- (b) diametercategorie '> 250 mm' is gebaseerd op 12 storingen
- (c) materiaalcategorie 'Staal' is gebaseerd op 3 storingen
- (d) de kleinste onderdeelcategorie ('Verbinding') is gebaseerd op 33 storingen (voldoende voor het trekken van conclusies).

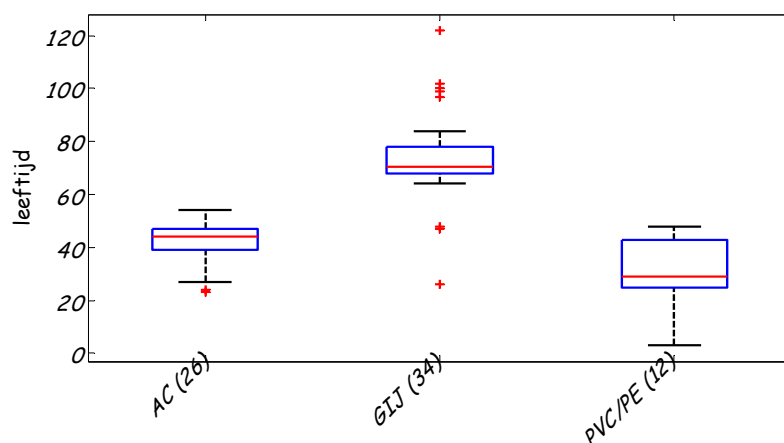
Bijlage IV - Tabel 7 Hotspot-analyse van straten met drie storingen of meer in 2004

Plaats	Straat	Diam.	Mat.	Datum	Opmerking
Abcoude	Haagwinde	110	PVC	02-06-2004	Oorzaak
				18-10-2004	onbekend.
				19-10-2004	Mogelijk verband
				19-10-2004	tussen storingen
				19-10-2004	in oktober.

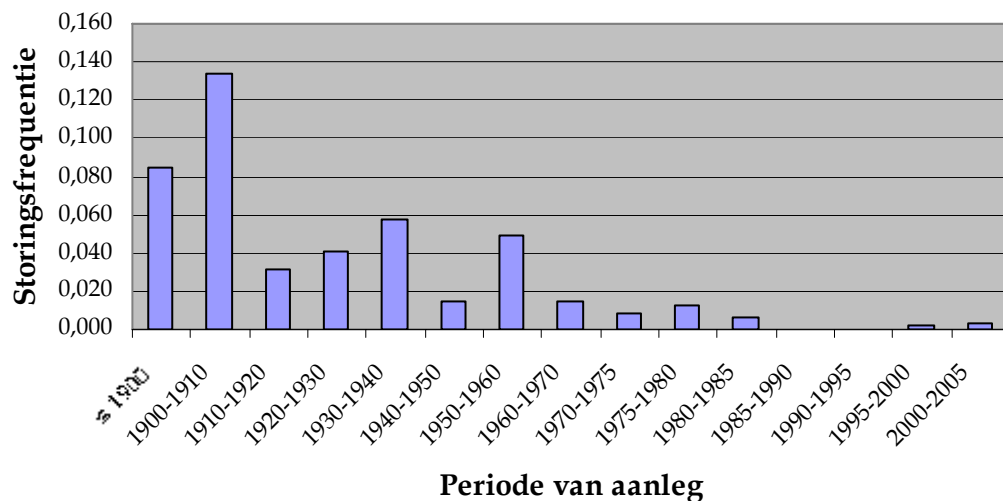
Achterveld	Emelaarseweg	100	AC	06-05-2004 06-09-2004 08-10-2004	Zetting 1 x, breuk 1 x.
Amersfoort	Calveenseweg	150	AC	14-05-2004 15-07-2004 04-08-2004 09-08-2004	Zetting 1 x, scheur 1 x, Scherf 2 x
	Heliumweg	100	AC	15-07-2004 21-07-2004 19-08-2004 23-08-2004 02-09-2004	Breuk 4 x
Baambrugge	Rijksstraatweg	125	GIJ	29-01-2004 29-03-2004 11-11-2004	Scherf 2 x
De Meern	t Zand	100	AC	09-07-2004 14-07-2004 14-07-2004	Loopzand door ontgraving Asfalteringswerkz aamheden 2 x
Harmelen	Haanwijk	80	GIJ	12-05-2004	Corrosie
		110	PVC	14-06-2004 25-06-2004	Inbouw 2 x
Loosdrecht	Nw Loosdrechtsedijk	?	PVC	29-02-2004	
		150	AC	04-01-2004	Breuk
		125	AC	05-11-2004 01-12-2004 04-12-2004	
Mijdrecht	Ringdijk 3e bedijking	90	PVC	30-06-2004	Split
		80	AC	15-01-2004 18-08-2004	Scheur
Nieuwegein	Richterslaan	200	AC	06-10-2004 21-10-2004 21-10-2004	Kabels
Nieuwer ter Aa	Oukoop	80	AC	15-05-2004 10-05-2004 11-02-2004	Breuk 1 x, scherf 1 x
Nigtevecht	Vreelandseweg	100	GIJ	19-04-2004 31-03-2004	Rondbreuk 1 x, putcorrosie 1 x
		80	GIJ	07-03-2004	
Utrecht	Prof Jordanlaan	100	AC	14-08-2004 15-08-2004 25-08-2004	Spanning, zetting
	Reactorweg nabij kruising Kernweg	100	AC	16-03-2004	Aanleg zinker nutstunnel, gericht onderzoek
		400	AC	19-03-2004	Aanleg zinker nutstunnel, gericht onderzoek
	Reactorweg	200	AC	19-02-2004	Reconstructie
Vinkeveen	Baambrugsezuwe	50		29-03-2004	Lengte scheur 1 x
		150	AC	30-03-2004 07-04-2004 01-09-2004	

	Groenlandsekade	150	AC	01-04-2004 ? 18-02-2004 19-02-2004 16-01-2004	Koppeling 3 x, scheur 2 x
	Vinkekade	100	AC	15-11-2004 28-10-2004 14-01-2004	
Waverveen	Botsholsedwars weg	80	AC	02-03-2004 ? 05-10-2004	Rondbreuk 1 x, breuk, 1 x
	Proosdijerdwars weg		AC	20-06-2004 19-06-2004	Breuk
		80	AC	15-06-2004 05-10-2004 29-12-2004 16-04-2004 10-08-2004	Rondbreuk 1 x, breuk 1 x

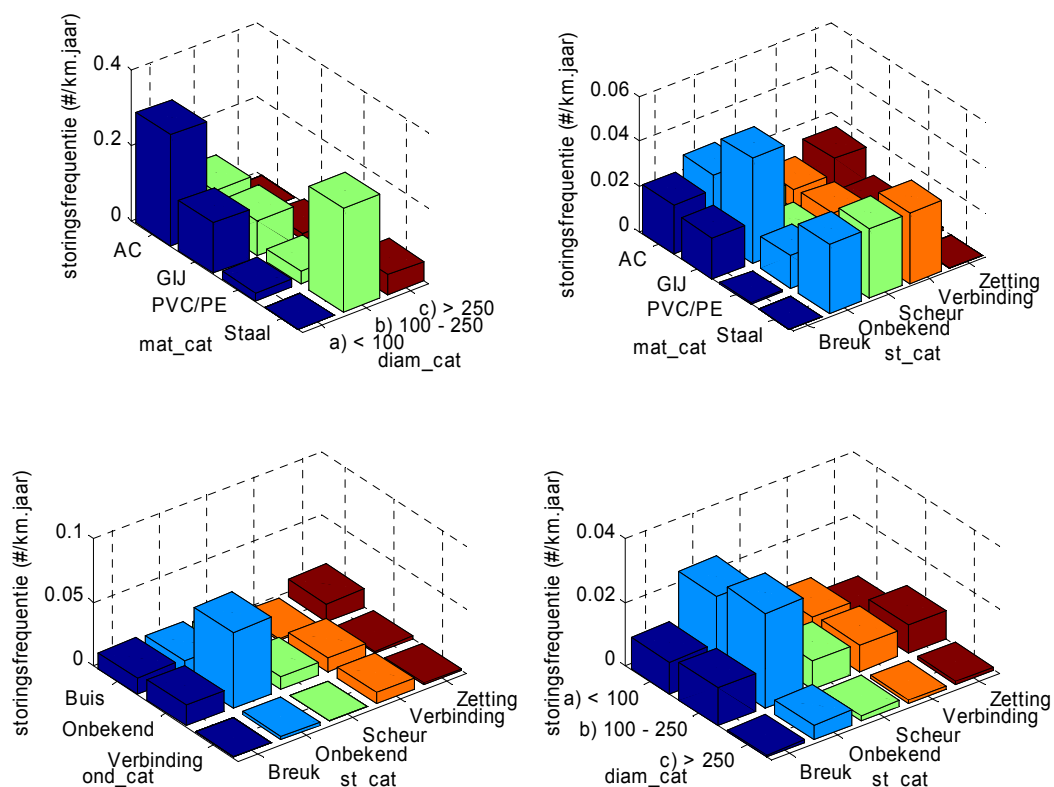
Het meest voorkomende materiaal in de hotspot-analyse is AC. Mogelijk veroorzaken storingen en reparaties aan dit materiaal nieuwe storingen (in zwakke plekken). De meest genoemde oorzaak bij storingen op AC uit de hotspot-analyse is breuk. Dit is feitelijk de aard van de storing, de oorzaak is hiermee niet zonder meer vast te stellen. GIJ komt een aantal keer voor (waaronder drie keer op de Vreelandseweg in Nigtevecht en even zo vaak op de Rijksweg te Baambrugge) en PVC sporadisch, met uitzondering van de Haagwinde in Abcoude, waar vijf storingen op een buis PVC 110 plaatsvonden. Omdat er vier van de vijf storingen in een tijdsbestek van twee dagen plaatsvonden, is het waarschijnlijk dat er rond die data zich een incident heeft voorgedaan, of dat er werkzaamheden geweest zijn. Bij het trekken van conclusies over Bijlage IV - Tabel 7 is voorzichtigheid geboden, omdat de lengtes van de betreffende hoofdleidingen niet vermeld zijn.



Bijlage IV - Figuur 8 Aantal storingen per leeftijd voor verschillende materialen



Bijlage IV - Figuur 9 Storingsfrequentie per aanlegperiode



Bijlage IV - Figuur 10 Storingsfrequentie (z-as) per a) materiaal en diameter (x en y-as); b) materiaal en oorzaak; c) onderdeel en oorzaak; d) diameter en oorzaak. De storingsfrequentie is bepaald op basis van het aantal kilometers in de als tweede genoemde categorieën.

Oasen

Bijlage IV - Tabel 8 De gerapporteerde storingen (parameters en waarden) van Oasen

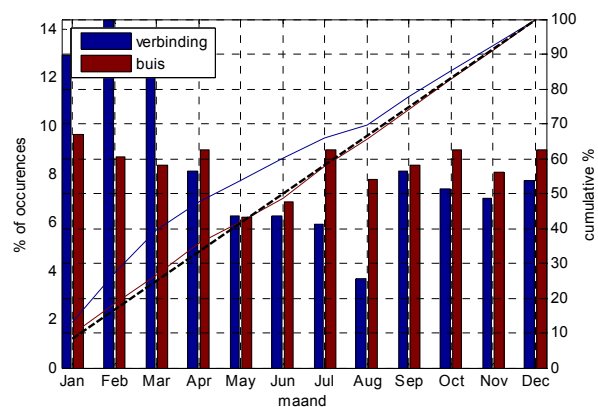
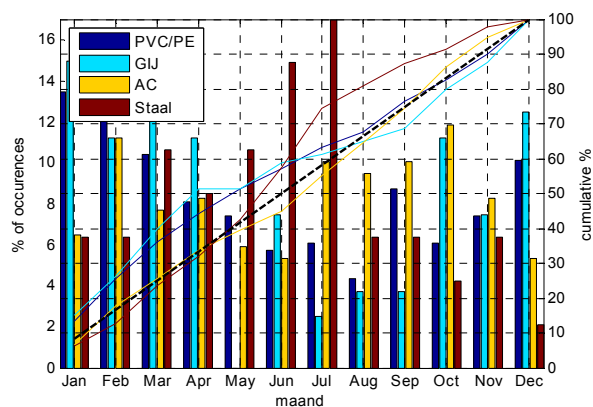
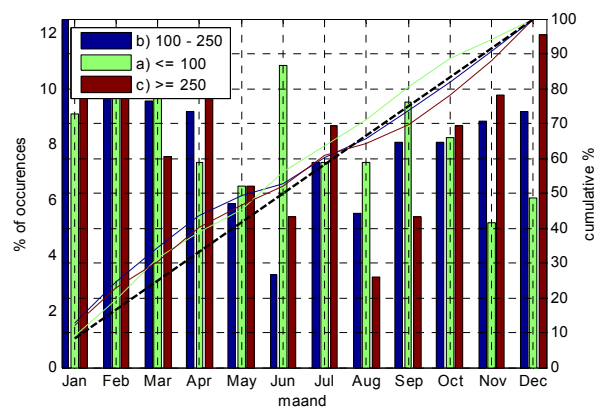
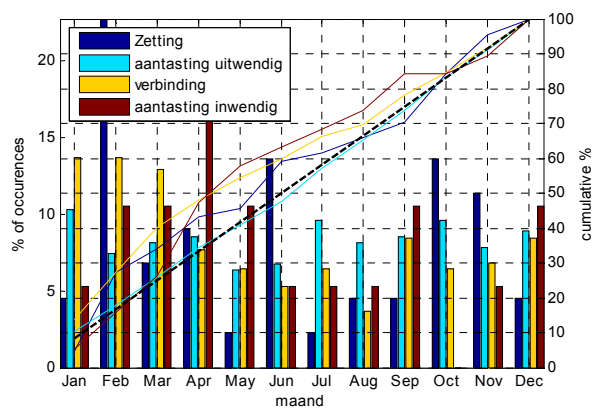
Geregistreerd	Antwoordcategorieën	Gebruikt in dit project	% ingevuld
Woonplaats c.q. Kern		Nee	100
Locatie of adres		Nee	100
Toevoeging op adres		Nee	n.v.t.
Regio	Noord, zuid	Nee	100
Accent nummer		Nee	100
Nominale diameter in mm	40 t/m 600	Ja	100
Type leiding	Aansluit-, hoofd-, transportleiding	Ja	100
Aanlegjaar		Ja	100
Materiaal	AC, GIJnieuw, GIJoud, HDPE, PVC, ZPE, Staal	Ja	100
Storingsdatum		Ja	100
Oorzaak storing	Mechanisch, spontaan, storm, zetting, anders	Ja	60
Soort beschadiging	Appendage, gescheurde bocht, HDPE verbinding, komeetmof, lasverbinding, lengtescheur, loodmof, mechanisch, PVC verbinding, rondbreuk, scherf, simplex, verbinding, verpotloding, verweking, anders, onbekend	Ja	76
Aantasting AC in mm	Wanddikte [mm], maximale aantasting buiten [mm of %], maximale aantasting binnen [mm of %]	Nee	5
Toestand leiding	Goed, matig, slecht, verweekt, onbekend	Nee	70
Uitwendige coating (soort & toestand)	Asfalt/bitumen, PE, geen, anders; slecht, matig, goed, uitstekend, onbekend	Nee	57; 6
Inwendige coating (soort & toestand)	Asfalt/bitumen, cement, PE, geen, anders; slecht, matig, goed, uitstekend, onbekend	Nee	
Dichtgeslibd	Ja / nee; % dichtgeslibd	Nee	41 ; 2
Toestand bereikbaarheid (+ oorzaak indien slecht)	Slecht, matig, normaal, onbekend		
KB aanwezig	Ja, nee, n.v.t.	Nee	70
Verbinding / koppeling (soort / type & toestand)	Combiflens, elektro-lasmof, flens, komeetmof, lijmverbinding, loodmof, PVC-lijm, simplex, spiegellas, steekmof, overig, anders; slecht, matig, goed, uitstekend	Nee	63 ; 47
Tijdstip uit bedrijf		Nee	58

Geregistreerd	Antwoordcategorieën	Gebruikt in dit project	% ingevuld
Tijdstip in bedrijf		Nee	57
Tijd uit bedrijf		Ja	57
Tijd isoleren lek		Nee	36
Aantal drukloze aansluitingen		Ja	52
Overlast voor derden	Laag, beperkt, aanzienlijk, hoog, onbekend	Nee	74
Schade (kosten)	Laag, beperkt, aanzienlijk, hoog, onbekend	Nee	71
Kans op gevaarlijke situaties	Laag, beperkt, aanzienlijk, hoog, onbekend	Nee	69
Buis in grondwater	Ja, nee, wisselend, onbekend	Ja	69
Sleufmateriaal (bodem)	Combi, klei, leem, veen, verontreiniging, zand, onbekend	Ja	69
Bedekking sleuf	Maagdelijk, puin/asfalt, slak/sintels, verontreiniging, yalibims, onbekend	Nee	57
Zuurgraad bodem	Niet ingevuld	Nee	1
Verkeersbelasting	Berm, binnenweg, hoofdweg, kade, trottoir, tuin, weiland, onbekend	Ja	74
Bomen binnen 2 m	Ja, nee, onbekend	Ja	65
Gronddekking (m)	< 1; 1 - 1,25; 1,25 - 1,50; > 1,50; onbekend	Ja	74
Fabrikant	Wavin, Polva, onbekend	Nee	1

Verdeeld naar aanlegjaar zag het leidingnet er eind 2005 uit zoals weergegeven in Figuur 14. De aanlegjaren zijn voor elk materiaal per periode van 10 jaar gegeven. Het materiaalgebruik komt overeen met het landelijke gebruik. De relatief grote lengte stalen leidingen die in de periode 1990 – 1999 gelegd is, betreft de slagader tussen de Alblasserwaard en Hazerswoude.

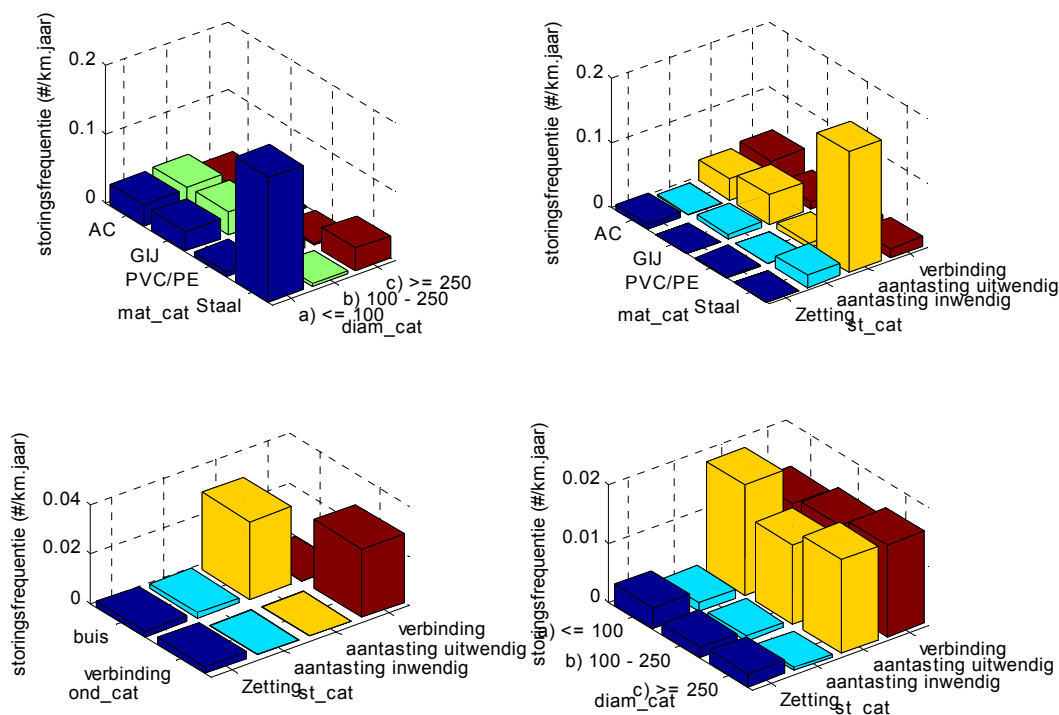
Uit de storingsdatabase worden de storingen op aansluitleidingen verwijderd, evenals de storingen op afsluiters, onbekende onderdelen, nieuw gietijzer (van nodulair gietijzer is één storing geregistreerd), materiaal onbekend en waarvan de oorzaak ‘mechanisch’ is (door derden). Na filteren blijven er 593 storingen op de hoofd- en transportleidingen over voor de analyse.

Om een eventuele seizoensinvloed te ontdekken, is het aandeel storingen per maand weergegeven voor verschillende groepen. De groepen zijn achtereenvolgens ingedeeld naar oorzaak, diametercategorie, materiaal en onderdeel .

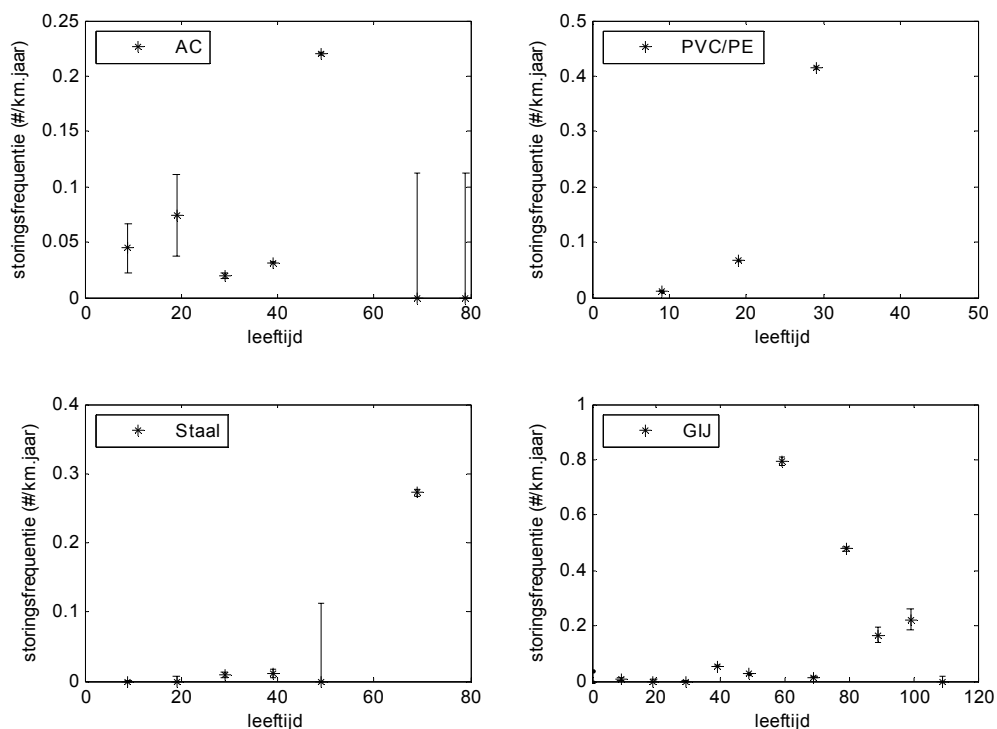


Bijlage IV - Figuur 11 Seizoensinvloed op de storingen van Oasen

De gemiddelde storingsfrequentie is berekend uit 592 storingen in 2,15 jaar, op een leidingnet van 3950 km en bedraagt 0,069 st/km/jr.

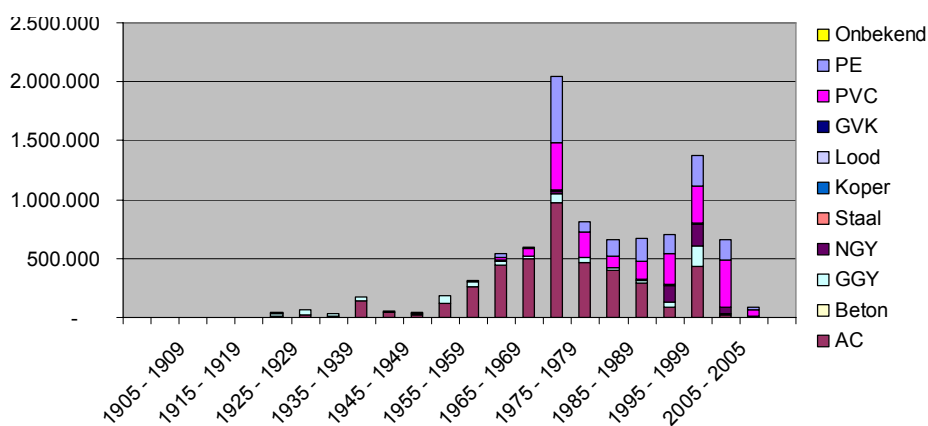


Bijlage IV - Figuur 12 Storingsfrequentie (z-as) per a) materiaal en diameter (x en y-as); b) materiaal en oorzaak; c) onderdeel en oorzaak; d) diameter en oorzaak. De storingsfrequentie is bepaald op basis van het aantal kilometers in de als tweede genoemde categorieën.



Bijlage IV - Figuur 13 Gemiddelde storingsfrequenties afhankelijk van leeftijd voor verschillende materialen. De verticale strepen geven de onzekerheid weer bij variatie met +/- één storing en +/- 10 km leidinglengte.

PWN



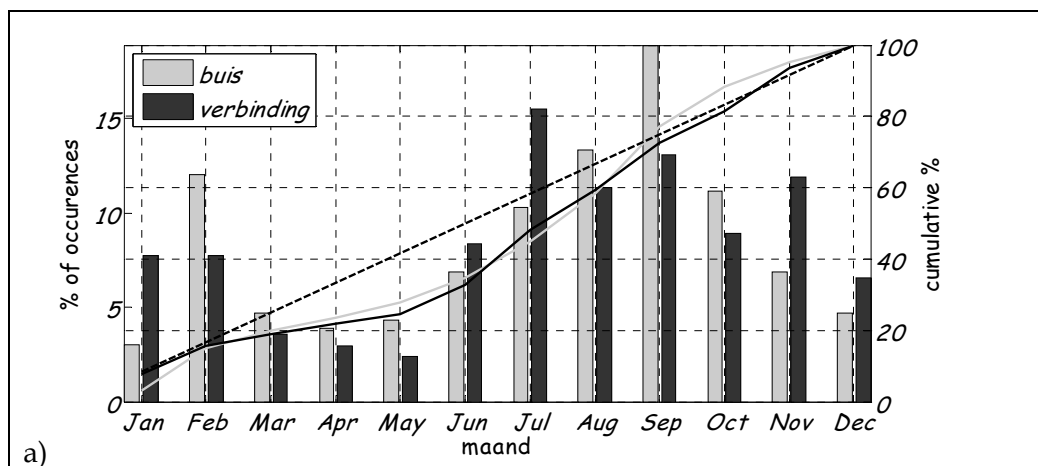
Bijlage IV - Figuur 14 Leidinglengtes per materiaal en periode van aanleg

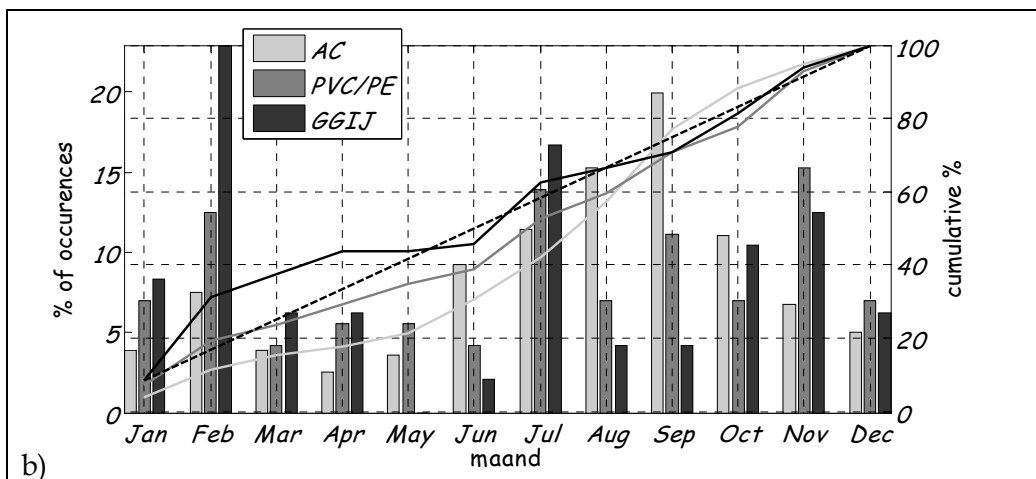
Bijlage IV - Tabel 9 De gerapporteerde storingen (parameters en waarden) van PWN

Geregistreerde parameters	Ingevulde waarden	Gebruikt in dit project	% ingevuld
Serviceordernummer		Nee	89
Positienummer		Nee	n.v.t.
SAP-nummer		Nee	50
Straat		Ja	99
Huisnummer		Nee	77
Postcode		Ja	68
Plaats		Ja	99
Monteur		Nee	88
Aanmaakdatum		Ja	58
Afsluiter #1 t/m #5		Nee	n.v.t.
Aard storing	Gat, lekkage, lengtescheur, scherfbreuk, storing, rondbreuk, anders	Ja	96
Betrokken leidingonderdeel	Afsluiters, brandkraan (B/O), buis, buis/verbinding, buiszadel/dienstkraan, onbekend, verbinding, anders	Ja	92
Oorzaak storing	Aanleg-/montagefout, aantasting in- en uitwendig, bedieningsfout, bodemverontreiniging, derden, grondzetting, onbekend, product-/materiaalfout, slijtage, slijtage brandkraan, storing, wortelingroei, anders	Ja	92
Materiaal	AC, AC/HPE, AC/PVC, ALU-PE, beton, GGJ, HPE, koper, NGIJ, PVC, PVC/HPE, staal, ZPE, anders	Ja	94
Diameter	{14; 600}	Ja	94
Jaar van aanleg	{1921 ; 2005}	Ja	45
Onderheing	{ja, nee, onbekend}	Nee	77
Sediment in leiding	Geen, ja rood/bruin, ja anders	Nee	62
Bescherming uitwendig	Bitumen, cement, PE, geen, anders	Nee	75
Bescherming inwendig	Bitumen, cement, geen, niet zichtbaar	Nee	30
Verbindingstype	Flens, las-/spiegellas, PVC-koppeling (wel of niet trekvast), PVC-lijmverbinding, Spiemof (wel of niet trekvast)	Nee	48
Aangroei	Ja, geen, {0 ; 125}	Nee	65
Proefstuk meegenomen	Ja, nee	Nee	70
Fenolftaleïnetest	Ja, nee	Nee	66
Wanddikte	{0 ; 1417}	Nee	56
Inwendige uitlogging	{0 ; 185}	Nee	56
Uitwendige uitlogging	{0 ; 185}	Nee	56
Tijdstip melding aan		Nee	59
Tijdstip monteur aankomst		Nee	99
Tijdstip monteur klaar		Nee	58
Waterlevering onderbroken	Ja, nee	Nee	99

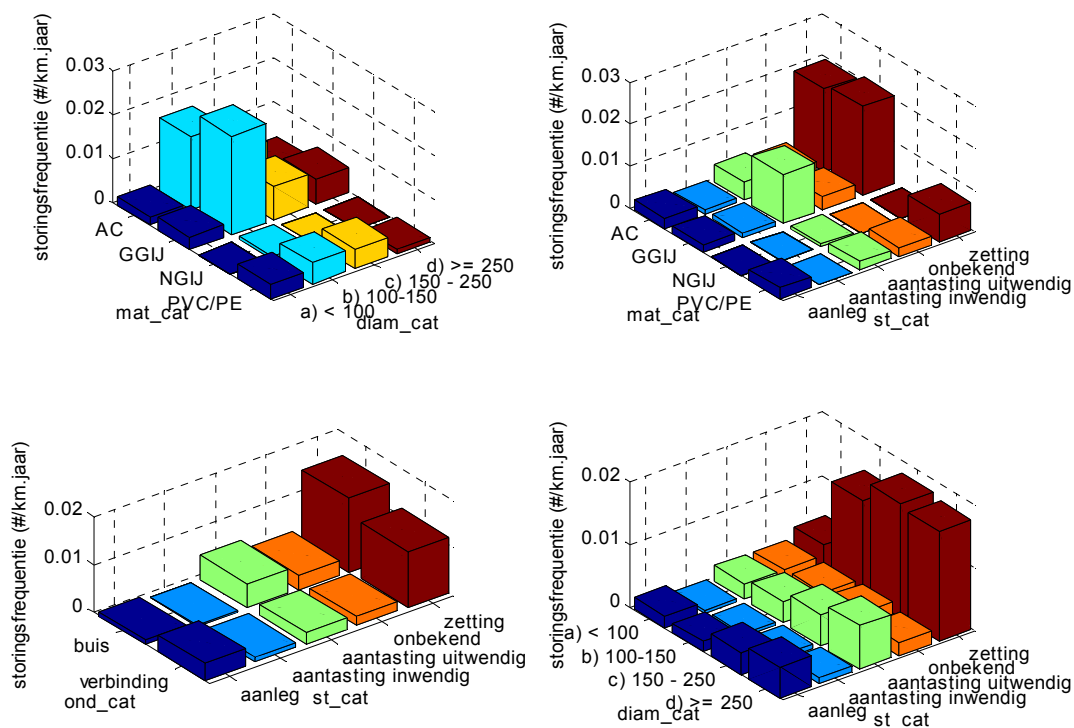
Geregistreerde parameters	Ingevulde waarden	Gebruikt in dit project	% ingevuld
Aantal getroffen aansluitingen	{0 ; 500}	Nee	100
Tijdstip waterlevering onderbroken		Nee	55
Tijdstip herstel waterlevering		Nee	55
Gevoeligheid	Geen, laag, beperkt, aanzienlijk, hoog	Nee	61
Verkeershinder	Geen, laag, beperkt, matig, aanzienlijk, hoog, ernstig, zeer ernstig	Nee	90
Wateroverlast	Geen, laag, beperkt, matig, aanzienlijk, hoog, ernstig, zeer ernstig	Nee	90
Arbo/ VGW	Aanzienlijk, hoog, beperkt, laag	Nee	61
Persoonlijk letsel	Geen, laag, aanzienlijk, hoog	Nee	39
Opmerkingen		Nee	n.v.t.

Voor de analyse zijn de storingen 'door derden' uit de lijst gefilterd, en storingen die niet op buizen, verbindingen (of: buis/verbinding) hebben plaatsgevonden. Vier storingen in de overgebleven database vallen buiten de periode 2003 - 2005 en zijn eruit gehaald. Alleen de storingen op AC, PVC, PE, GGIJ en NGIJ voor de analyse gebruikt. Na filteren van alle overige en onbekende materialen, blijven er nog 711 storingen over waar de analyse op gebaseerd is.

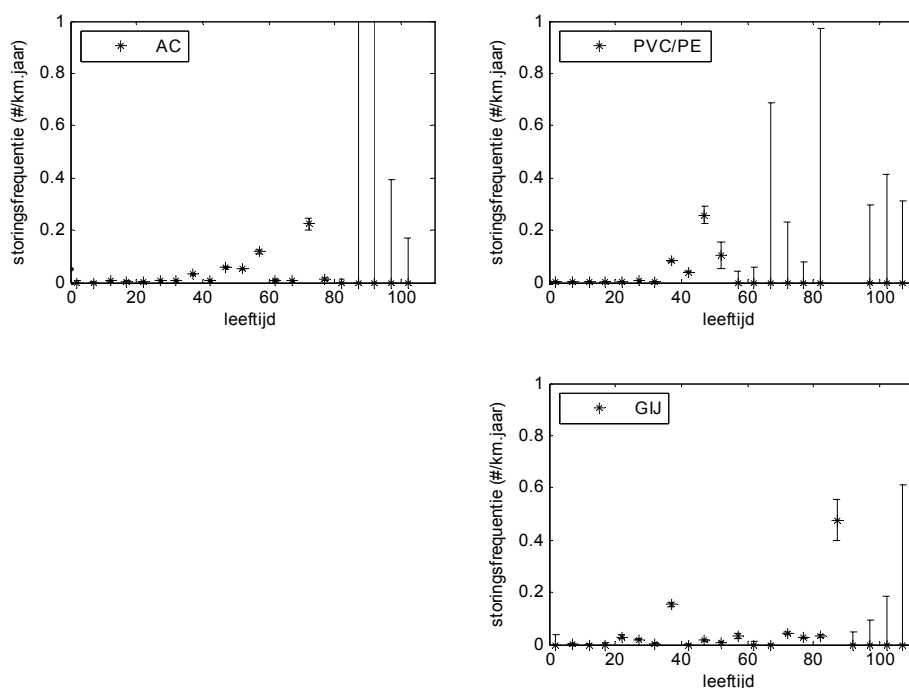




Bijlage IV - Figuur 15 Percentage storingen per maand a) voor verschillende onderdelen van de leiding; b) voor verschillende materialen.



Bijlage IV - Figuur 16 Storingsfrequentie (z-as) per a) materiaal en diameter (x en y-as); b) materiaal en oorzaak; c) onderdeel en oorzaak; d) diameter en oorzaak. De storingsfrequentie is bepaald op basis van het aantal kilometers in de als tweede genoemde categorieën.



Bijlage IV - Figuur 17 Storingsfrequentie over de leeftijd voor verschillende materialen; de foutenmarge is bepaald op basis van +/- 1 storing en +/- 10 km leiding van een bepaalde leeftijd.

WMD

Bijlage IV - Tabel 10 De gerapporteerde storingsen (parameters en waarden) van WMD

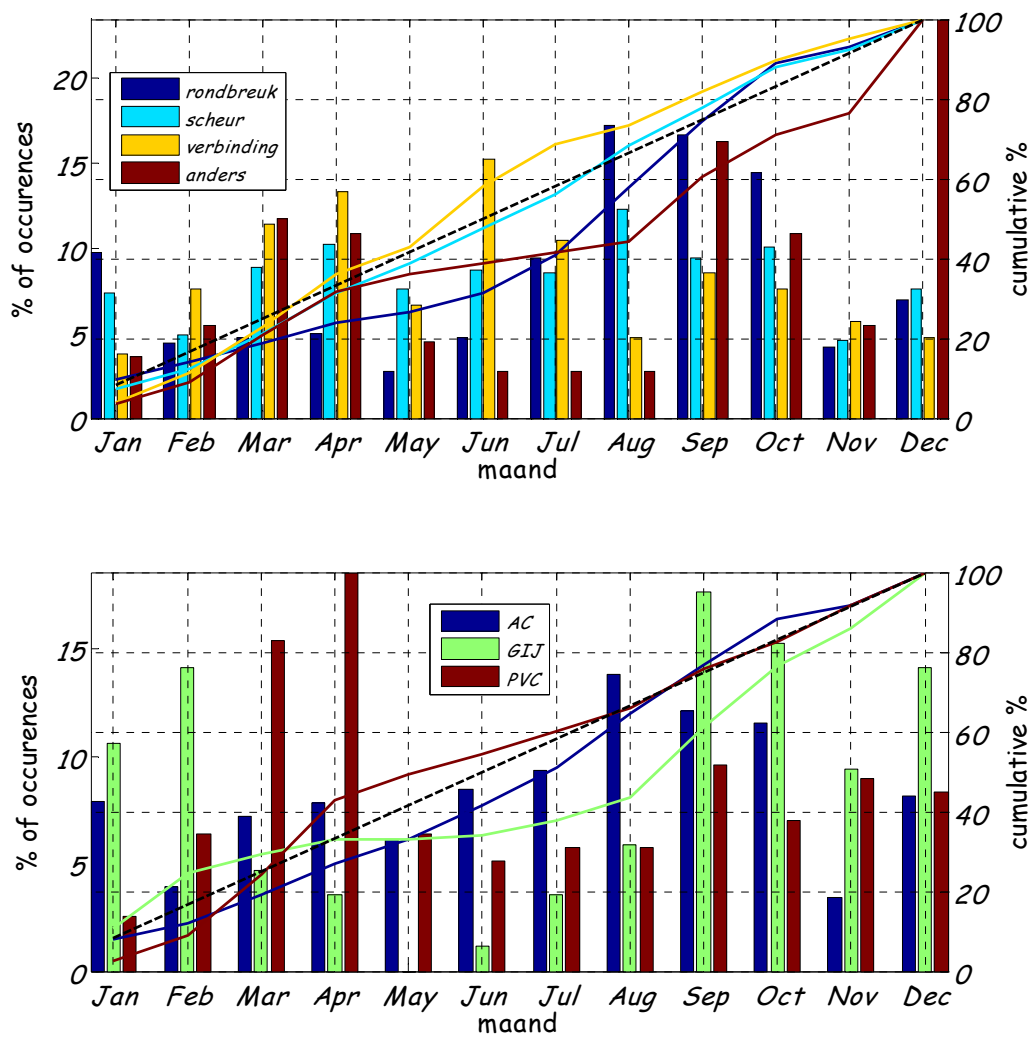
Geregistreerd	Antwoordcategorieën	Gebruikt in dit project	% ingevuld
Rapportnr.		Nee	99
Datum		Ja	99
Project		Nee	100
Deelproject		Nee	100
Adres		Nee	100
Plaats		Nee	100
Onderwerp	O.a. aanleg, aanleg combi, controle bk, HL lek, vervanging, kleine reconstructie, nota gemeente Aa en Hunze, omnummeren, reconstructie, reparatie DL, reparatie HL, reparatie afsl., verplaatsen br.kr., etc. etc.	Nee	60
Opmerkingen		Nee	n.v.t.
Monteur / toezicht		Nee	99
Materiaal	AC, PVC, GIJ, diversen	Ja	56
Aard v.d. lekkages	Rondbreuk, scheur, verbinding, anders	Ja	56

WMD heeft een registratiesysteem in MS Excel waarin gerapporteerd wordt welke werkzaamheden (gepland werk en storingen) zijn verricht aan het hoofdleidingnet (leidingen, brandkranen, afsluiters). Voor ieder jaar wordt een MS Excel bestand gemaakt, met per maand een gevulde spreadsheet. Hierin wordt per datum bij 'lekkages' aangegeven welk materiaal het betrof ('AC', 'PVC', 'GIJ' of 'Div.') en het type storing ('rond', 'scheur', 'mof' of 'div'); o.a. de leidingdiameter, leidingonderdeel en jaar van aanleg worden niet genoteerd.

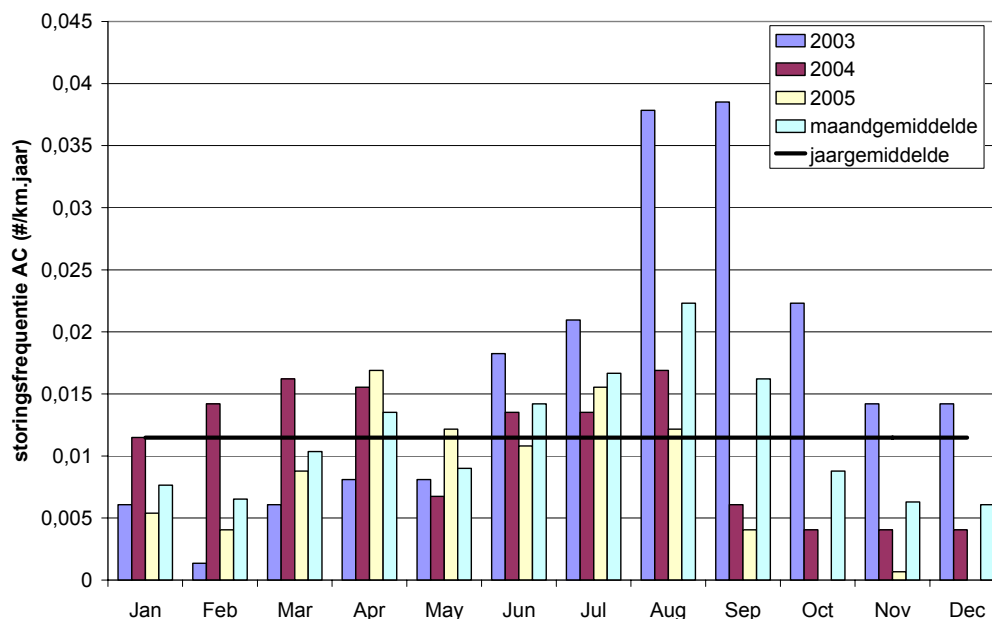
De gegevens van 2003 t/m 2005 van de regio's Zuidwest en Noordoost zijn geanalyseerd; het betreft 1340 storingen. De materiaalsoort 'div' is niet meegenomen (103 stuks) en ook materiaal onbekend is niet meegenomen (63 stuks); in totaal zijn 1174 storingen geanalyseerd waarvan materiaal (932 maal AC) en aard van de storing en de datum van de storing bekend zijn.

WMD doet tevens een onderzoek naar de storingen van AC-leidingen (alleen de leidingen, geen verbindingen): de fenolftaleïne-test wordt ingezet om de effectieve diameter te bepalen. Deze onderzoeken worden geregistreerd in de (MS Access) database van het Kennissysteem Levensduurbepaling (KSLB, o.a. rapport BTO 2004.035); in de database is een datum van het onderzoek opgenomen (dit kan uit een eerdere versie van de DB geconverteerd zijn), de oorzaak van de storing ('spontaan', 'geen' of 'door derden'), het leidingmateriaal (vrijwel alleen AC), de diameter van de leiding, het jaar van aanleg.

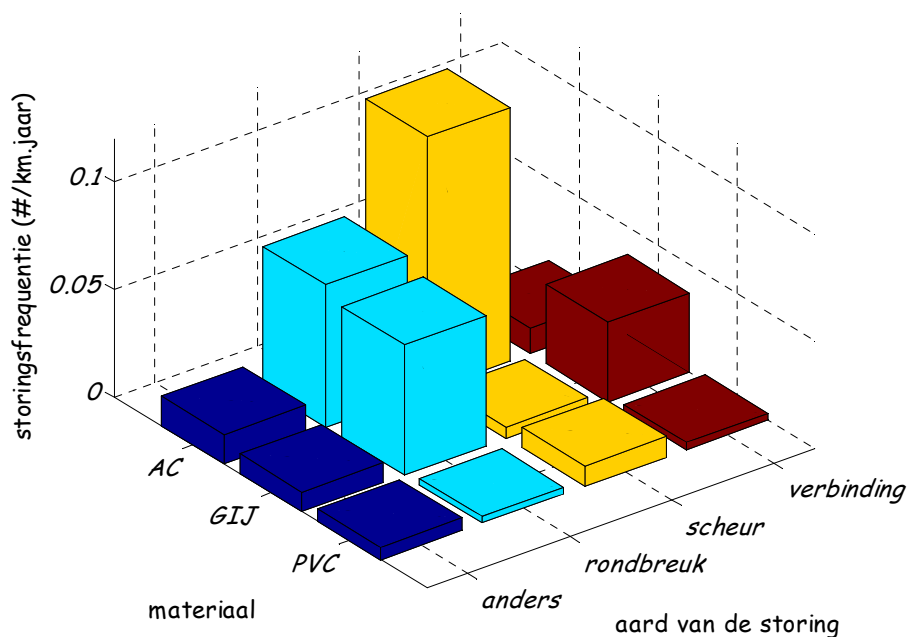
Tussen 1999 en 2005 zijn 1396 onderzoeken geregistreerd. Voor de vergelijking met de MS Excel-rapportages is gekeken naar de spontane storingen op AC-leidingen in 2003 t/m 2005 (waaruit onderzoeken op gelijke leidingen op gelijke data zijn uitgefilterd): 611 storingen zijn geschikt voor analyse. Blijkbaar zijn naar aanleiding van 611 storingen onderzoeken ingevoerd, de overige (932-611=) 321 storingen gaven blijkbaar geen aanleiding tot onderzoek.



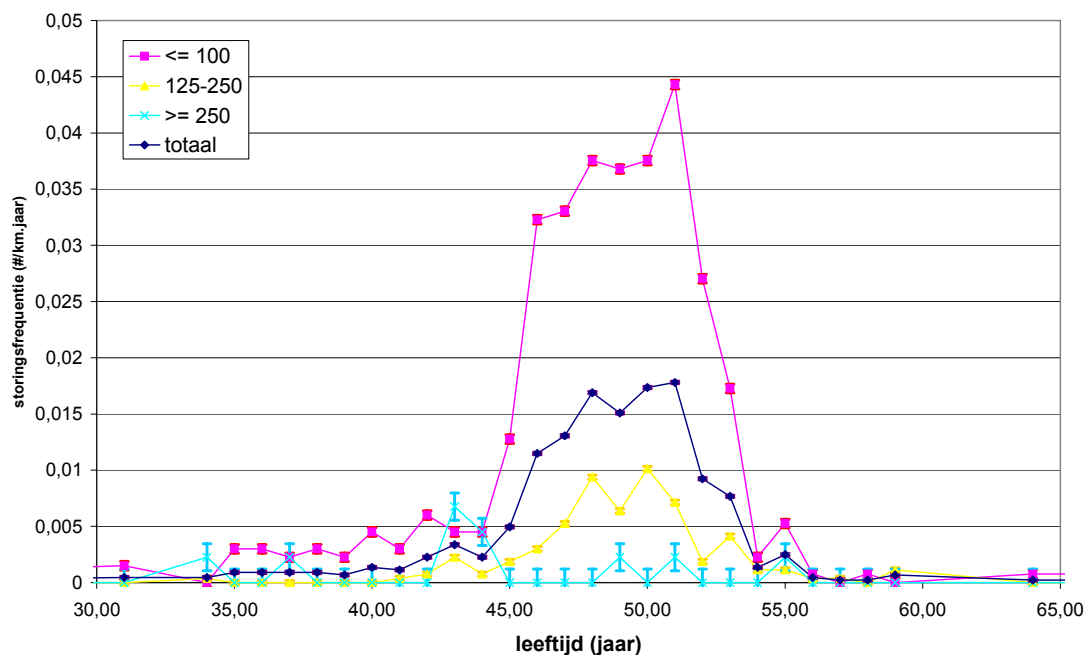
Bijlage IV - Figuur 18 Seizoensinvloed in relatie tot (a) aard van de storing; (b) materiaal. Bepaald uit de MS Excel-registratie.



Bijlage IV - Figuur 19 Storingsfrequentie AC-leidingen per maand. Bepaald uit de KSLB-DB



Bijlage IV - Figuur 20 De relatie tussen materiaal, aard van de storing en storingsfrequentie (de storingsfrequentie is bepaald op basis van het aantal km leiding per materiaal). Bepaald uit de MS Excel-rapportage.



Bijlage IV - Figuur 21 Storingsfrequentie naar leeftijd voor verschillende diametercategorieën van AC-leidingen op basis van 3 jaar storingen (2003-2005) uit KSLB-DB. De variatie in de storingsfrequentie is bepaald door een fout in aantal storingen van +/- 0,5 storing te veronderstellen en een fout in de lengte van +/- 10 km.

WML

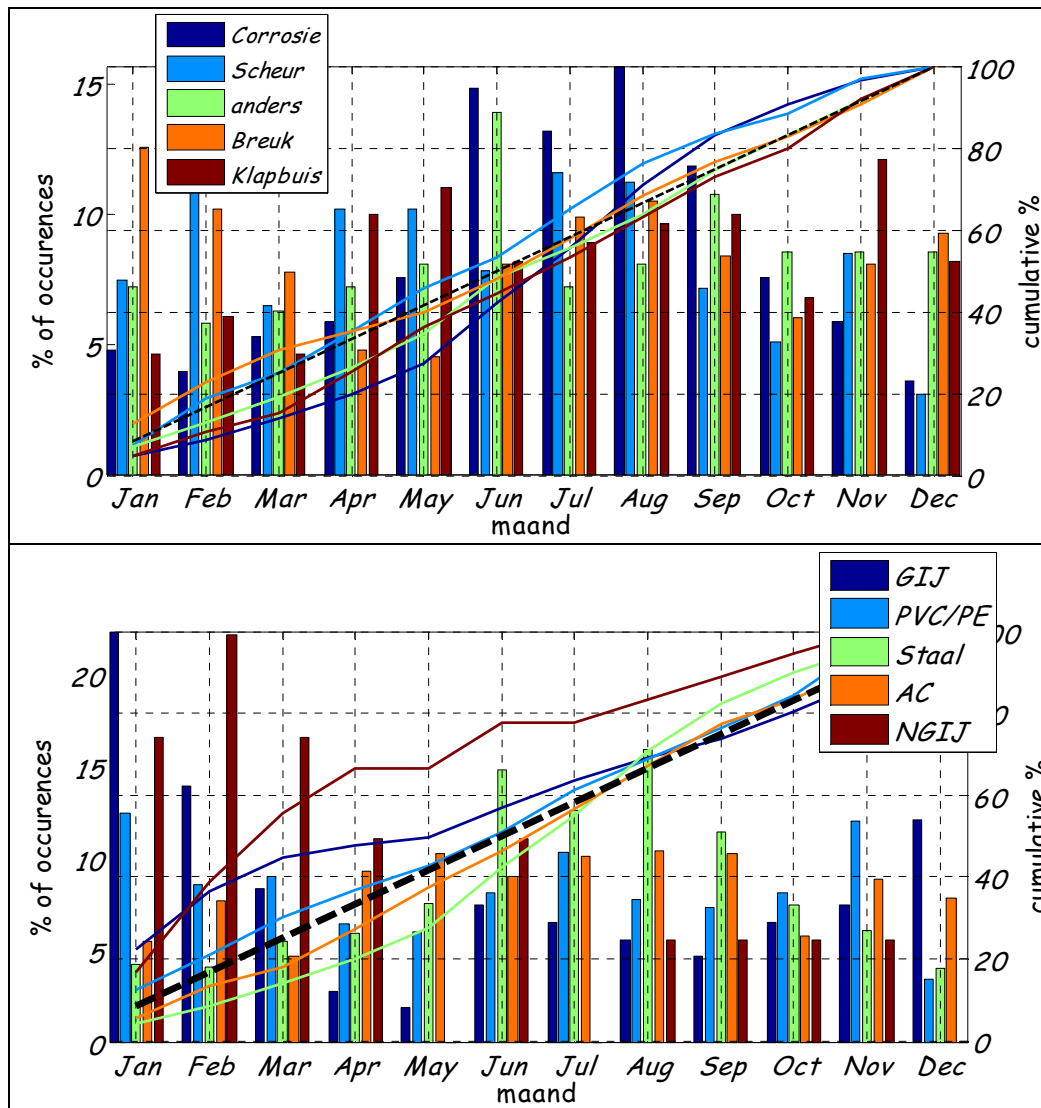
Bijlage IV - Tabel 11 De gerapporteerde storingen (parameters en waarden) van WML

Geregistreerde parameters	Inge vulde waarden	Gebruikt in dit project	% ingevuld
ID		Nee	100
Datum lekkage		Ja	100
Plaats		Ja	100
Straat		Ja	100
Huisnummer		Nee	87
Postcode		Ja	98
Ligging leiding onder gesloten verharding	Ja, nee	Nee	100
Dekking > 1,50 m	Ja, nee	Nee	100
Leiding op eigendom derden	1	Nee	0
Bomen op de leiding	Ja, nee	Nee	100

Geregistreerde parameters	Ingevulde waarden	Gebruikt in dit project	% ingevuld
Type leiding	Hoofdleiding, aansluitleiding	Ja	100
Materiaal	AC, GGIJ, NGIJ, HPE, PVC, koper, staal	Ja	100
Nominale diameter	{20 ; 500}	Ja	100
Aanlegjaar	{1904 ; 2005}	Ja	25
Toestand leiding	o.a. breuk, corrosie, scheurvorming, door derden, (geen) verpotloding, goed, incurante maat, lijmverbinding, ok, permeatie, prima, wortelingroei, zacht, zadel, onbekend	Nee	88
Oorzaak	Breuk, corrosie, andere verbinding, dienstkraan, door derden, klapbuis, lijmverbinding, scheur, zadel	Ja	100
KLIC-aanvraag door schadeveroorzaker	Ja, nee	Nee	100
Opmerkingen		Nee	100

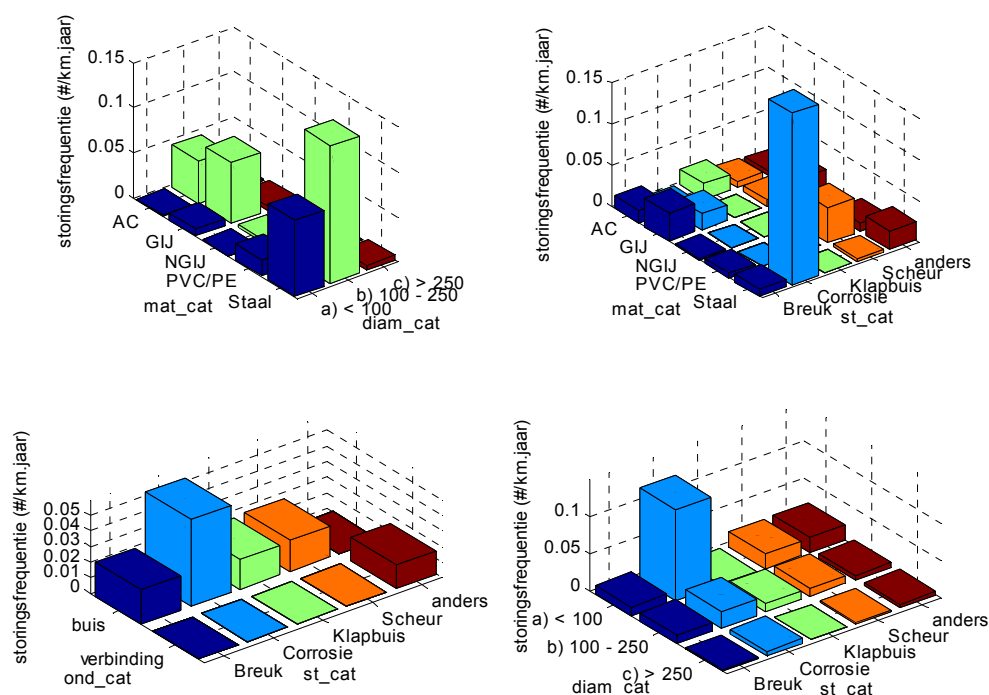
Uit de database met 2519 storingen vanaf 2003 zijn alleen storingen op de hoofdleidingen en daarvan de onderdelen met status 'in gebruik' in beschouwing genomen. In de analyse zijn alleen de storingen met als oorzaak 'niet door derden' betrokken. Leidinggroepen met lengtes kleiner dan 5 km zijn niet meegenomen in de berekening van de storingsfrequenties, omdat deze een verkeerd beeld kunnen opleveren (extreem hoge storingsfrequentie bij een enkele storing).

Na het filteren van bovengenoemde storingen uit de database, blijven er 1967 storingen over.



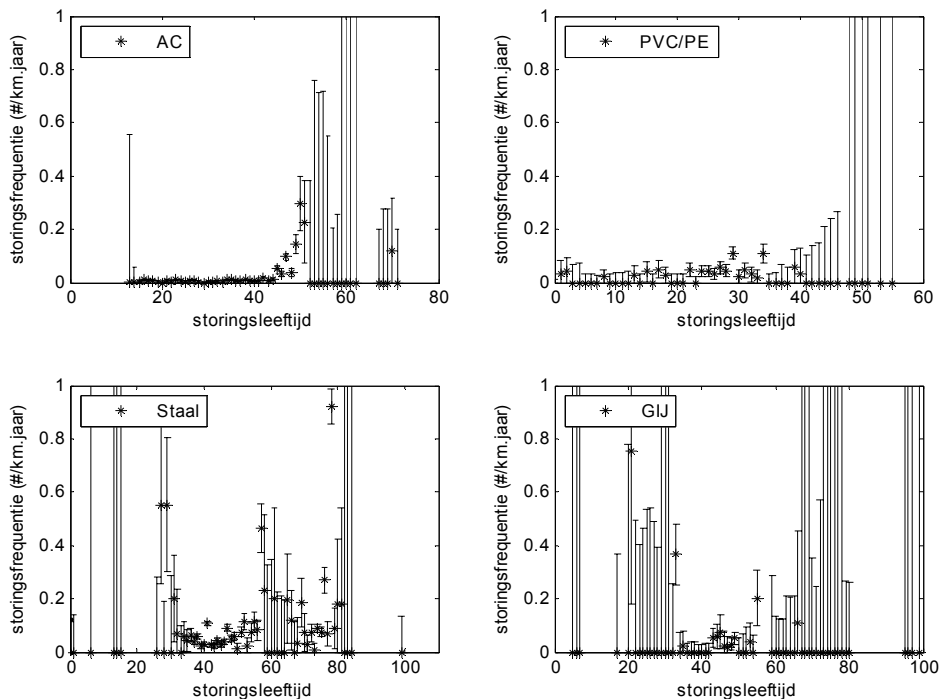
Bijlage IV - Figuur 22 Percentage storingen per maand a) naar oorzaak; b) per materiaal

Storingen die optraden in de periode van 1 jan. '03 t/m 17 feb. '06 zijn verspreid over 3,13 jaar. Dit is van belang voor de storingsfrequentie, omdat dat het aantal storingen per km per jaar aangeeft.

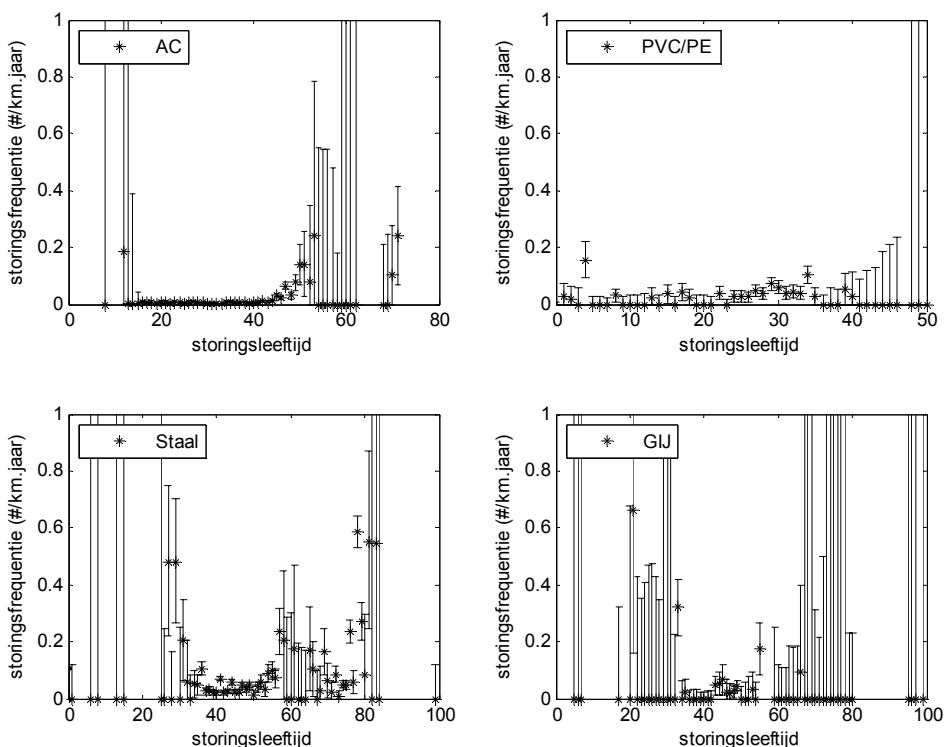


Bijlage IV - Figuur 23 Storingsfrequentie (z-as) per a) materiaal en diameter (x en y-as); b) materiaal en oorzaak; c) onderdeel en oorzaak; d) diameter en oorzaak. De storingsfrequentie is bepaald op basis van het aantal kilometers in de als tweede genoemde categorieën.

De buizen met diameter 100 mm zijn voor het maken van dit diagram in de middengroep geplaatst. Leidingen met diameter 100 mm beslaan meer dan de helft van de lengte van het leidingnet en hebben een storingsfrequentie die iets boven het gemiddelde ligt, waardoor het duidelijk verschil maakt voor de groep waar het bij geteld wordt.



Bijlage IV - Figuur 24 Storingsfrequentie over de leeftijd voor verschillende materialen; de foutenmarge is bepaald op basis van +/- 1 storing en +/- 10 km leiding van een bepaalde leeftijd. Registratieperiode jan.'03 t/m feb.'06.



Bijlage IV - Figuur 25 Storingsfrequentie over de leeftijd voor verschillende materialen; de foutenmarge is bepaald op basis van +/- 1 storing en +/- 10 km leiding van een bepaalde leeftijd. Registratieperiode jan.'03 t/m dec. '06

V Memo “Aanbevelingen Storingsregistratie”

Gebaseerd op de memo “Aanbevelingen Storingsregistratie” d.d. 20 oktober 2006.

Gewijzigd naar nieuwe inzichten d.d. 27 februari 2007.

Aanbevelingen voor verbeterde storingsregistratie

De workshop Landelijke storingsregistratie uit 2001 heeft geleid tot een lijst met storingsparameters als eerste aanzet voor een landelijke uniforme registratie van storingen (zie rapport BTO 2001.195(c)). Een aantal waterbedrijven heeft de storingsregistratie aangepast op basis van de uitkomst van de workshop. Bij inventarisatie van de verschillende storingsdatabases is echter gebleken dat de betrouwbaarheid en relevantie van de geregistreerde data voor verbetering vatbaar zijn.

Voor gericht beheer van het leidingnet is inzicht in de levensduur en het gedrag van de assets nodig. Storingsgegevens van leidingen en appendages kunnen een adequaat hulpmiddel zijn om een inschatting te maken van het conditieverloop van assets in een bepaalde omgeving en hun te verwachten levensduur. Afhankelijk van hoeveel storingen er geregistreerd zijn en wat er per storing geregistreerd is, kunnen met behulp van statistische analyse verbanden worden beschreven, of voorspellingen worden gedaan over de te verwachten levensduur van (groepen) leidingen.

Voor de analyse van storingen zijn drie typen bestanden interessant, te weten: de storingsdatabase, het LIS en het GIS. In de huidige situatie zijn bij de meeste waterbedrijven de LIS-gegevens bekend, maar zijn de storingsgegevens hier niet aan gekoppeld. Een gevolg is dat van een storing die in een buisdeel optreedt niet automatisch bekend is wat het lengteaandeel van dit buisdeel is. Koppeling van LIS-gegevens aan het GIS wordt nog nauwelijks gedaan, waardoor het (nog) niet mogelijk is te zien en of er zich reeds eerder storingen in (de buurt van) het betreffende onderdeel hebben voorgedaan.

De registratie van storingen gebeurt door de monteurs die in de eerste plaats de taak hebben een gemelde storing te verhelpen. De cruciale rol van de monteurs in de registratie staat in contrast met het ondergeschikte belang van de registratie in hun takenpakket. Het door de monteurs in te vullen storingsregistratieformulier dient duidelijk en overzichtelijk te zijn, zodat het invullen ervan zo min mogelijk tijd en inschattingsvermogen vergt. Een goed opgesteld formulier dient te bestaan uit een beperkt aantal vragen, waarbij voor elke vraag uit een aantal duidelijke en eenduidige antwoordcategorieën

gekozen kan worden. Waar mogelijk moet de registratie betrekking hebben op waarnemingen, omdat die objectief meetbaar zijn en er dus geen beroep gedaan wordt op de subjectieve kennis en ervaring van de monteur.

1. Storingen

- a. **Soort**
- b. **Locatie**
- c. **Oorzaak**

Ad 1.a: Soort (of aard) storing

Er zijn globaal twee soorten storingen te onderscheiden; lekkage en breuk. Bij AC zijn de lekkages meestal te wijten aan slechte afdichting van verbindingen. Breuken treden bij AC op in de buizen en zijn meestal het gevolg van onverwachte spanningen door overbelasting (inwendig en uitwendig), temperatuurverschillen, product- of materiaalfouten, afname van de sterkte door degradatie, of een slechte fundering. Voor andere materialen zoals staal, gietijzer, PVC en PE is het genoemde onderscheid niet zo gemakkelijk te maken. In deze materialen kunnen soms zeer kleine scheuren en gaten ontstaan (puntlekken), waardoor lekkage behalve in de verbindingen, ook in de buizen kan optreden. Elk materiaal heeft specifieke bezwijkvormen die veelal kenmerkend zijn voor de verschillende oorzaken. Bij AC bijvoorbeeld duiden gaten in buizen en appendages op chemische aantasting. Scherfbreuk kan daar indirect ook het gevolg van zijn, maar vereist tevens een interne druk, of externe belasting om de scherf te doen ontstaan. Rondbreuk is typisch het resultaat van buigspanning (bezwijken van een buis) ten gevolge van grondzetting, -beweging of slechte fundering. Lengtescheuren worden voornamelijk veroorzaakt door interne druk of een externe belasting (bodems van verschillende grondsoorten, belasting door bevriezen van grond en verkeersbelasting)¹⁴. Voor de materialen staal, gietijzer, PVC en PE moeten de definities van de verschillende soorten storingen die kunnen optreden nog vastgesteld worden.

Aan het soort bezwijken is echter niet altijd te zien wat de oorzaak was van de storing, omdat er vaak niet één oorzaak is aan te wijzen, maar een combinatie of keten van oorzaken tot het falen leidt. Een stalen buis die normaliter niet zou bezwijken door de uitwendige belasting die er op werkt, kan wel bezwijken als de wanddikte van de buis verminderd is door het corrosieproces. Daarnaast is het mogelijk dat bij het opgraven of repareren van het leidingnet de oorspronkelijke bezwijkvorm niet meer waar te nemen is na de werkzaamheden die tot verdere vervormingen geleid hebben. Ook moet in gedachten worden gehouden dat voor verschillende materialen verschillende bezwijkvormen bestaan bij dezelfde oorzaak. Zelfs bij een en dezelfde materiaalsoort komen als gevolg van eenzelfde oorzaak verschillende bezwijkvormen voor. Bij interpretatie van de storingsgegevens moet hiermee rekening gehouden worden. Een foto van de situatie en het

¹⁴ Hu, Y. & Hubble, D.W. (NRC Canada): "Failure conditions of asbestos cement water mains in Regina", June 2005

getroffen object kan als aanvulling dienen op de antwoordcategorieën van het storingsregistratieformulier.

De categorieën om de soort (of aard) van de storing aan te geven zijn nog niet compleet, maar moeten in elk geval omvatten:

- 1) lekkage (appendages)
- 2) puntlek (PVC, PE, staal, gietijzer buizen en appendages)
- 3) rondbreuk (buizen)
- 4) lengtescheur (AC-buizen)
- 5) scherfbreuk (AC-buizen)

Ad 1.b: Locatie

Dankzij de locatiemarkers van storingen kan een verband worden gelegd tussen de storingen en de omgevingsfactoren. Een voorbeeld hiervan is een 'hotspot-analyse', waarbij plaatsen met veel storingen nader beschouwd worden. De locatie van een storing kan het beste worden beschreven met de (x;y)-coördinaten. De coördinaten geven de locatie nauwkeuriger weer dan een postcode of adres met toevoeging (bijvoorbeeld: 'tegenover', of 'nabij'). Bovendien wordt het koppelen van de storingsgegevens aan het GIS een stuk eenvoudiger met gebruik van (x;y)-coördinaten en is er geen extra vertaalslag nodig. Omdat leidingen vaak in een cunet met grondverbetering worden aangelegd, is het wel van belang aan te geven of daar sprake van is of niet. Sommige omgevingskenmerken die in het GIS bekend zijn, zoals bodemsoort en zuurgraad, hebben dan namelijk geen directe invloed op de toestand van de leiding.

Een andere mogelijkheid om de storingen aan hun omgevingskenmerken te relateren, is het toevoegen aan de storingsregistratie van enkele parameters die de omgeving beschrijven. Om de eenduidigheid te waarborgen, en om statistische bewerking te vergemakkelijken, kan ook hier het beste met antwoordcategorieën worden gewerkt. Het is niet wenselijk de registratie te vervuilen met uitgebreide toestandbeschrijvingen. Interessante parameters zijn de grondsoort, of de leiding nat of droog ligt, of deze onder verharding ligt en of er bomen in de directe omgeving staan. De antwoordcategorieën moeten zo objectief mogelijk zijn. Registratie van de (x;y)-coördinaten en wel of geen grondverbetering verdient echter de voorkeur, omdat het lastig is duidelijke en eenduidige antwoordcategorieën te maken voor een omschrijving van de omgeving en het de monteur tijd en moeite bespaart.

Ad 1.c: Oorzaak storing

In de workshop Landelijke storingsregistratie in 2001 zijn de volgende oorzaakcategorieën voorgesteld:

- aanleg/montagefout
- bedieningsfout
- bodemverontreiniging
- corrosie uitwendig
- corrosie inwendig
- (graaf)werkzaamheden derden

- grondzetting
- product-/ materiaalfout
- slijtage
- uitval pompstation/opjager
- uitwendige belasting
- vandalisme
- gebruiker
- vermissing/diefstal
- vorst/bevriezing
- wortelingroei

Samenvoegen van sommige categorieën kan verwarring bij de monteur en onnodige splitsing van gegevens voorkomen. Een goed voorbeeld van verwarring is te zien bij de data van WML, waar in de categorie 'oorzaak' behalve 'door derden' en 'corrosie', ook bijvoorbeeld 'scheur' en 'zadel' ingevuld zijn. In 60 % van de storingen is geen oorzaak ingevuld, maar de wijze van falen of het getroffen onderdeel, waardoor die storingen niet kunnen worden meegenomen in de analyse.

Ook HMN (nu Vitens) heeft in de oorzaakcategorie behalve oorzaken, tevens soorten van falen (bijv. lengtescheur, breuk) en andere zaken (bijv. 'inbouw', 'loopzand') opgenomen. De regio's Centrum en Noord hebben respectievelijk 35 en 36 verschillende 'oorzaken', regio Zuid maar liefst 130.

De keuzecategorieën moeten derhalve zo opgesteld worden dat ze voor elk materiaal eenduidig en zoveel mogelijk uitputtend zijn, en door de monteur te onderkennen. Belangrijk hierbij is dat keuzecategorieën t.a.v. storingen die het gevolg zijn van falende appendages niet vergeten worden.

Bij het opstellen van de oorzaakcategorieën voor het storingsregistratieformulier moet het doel van de registratie in gedachten worden gehouden. Voor gericht beheer is het minimaal noodzakelijk een onderscheid te maken tussen spontane storingen en niet-spontane storingen. Spontane storingen zijn van belang voor het zoeken naar verbanden tussen storingen en leidingneteigenschappen. Niet-spontane storingen zijn storingen met een externe oorzaak, bijvoorbeeld werkzaamheden door derden, vandalisme of diefstal. Een aparte keuzecategorie voor laatstgenoemde groep is noodzakelijk, omdat op deze storingen niet geanticipeerd kan worden met gericht beheer.

Het onderscheid tussen de oorzaken corrosie uitwendig, bodemverontreiniging en slijtage is soms moeilijk te maken. Voorgesteld wordt om voor deze oorzaken de categorie "*aantasting uitwendig*" te kiezen. Corrosie inwendig en slijtage van de binnenzijde kan het beste vervat worden in de term "*aantasting inwendig*". Met de twee hier voorgestelde categorieën wordt kwaliteitsvermindering van het leidingnet aangegeven.

Uitwendige fysieke belasting kan verkeersbelasting zijn, maar ook graafwerkzaamheden, grondzetting, veranderd bodemgebruik, temperatuurwisseling en wortelingroei zijn vormen van "*uitwendige belasting*".

Grondzetting is een belangrijke oorzaak die desondanks geen eigen categorie krijgt. Reden hiervoor is dat bij een storing moeilijk uitsluitel te geven is over de werkelijke oorzaak. Bijvoorbeeld verkeersbelasting kan ook tot zettingen leiden die leidingbreuk tot gevolg hebben. Daarbij worden leidingen vaak in een cunet gelegd. De grondsamenstelling van het cunet kan ervoor zorgen dat de werkelijke omgeving van het leidingnet gevoeliger is voor zettingen dan de omringende (en dus in GIS bekende) ondergrond. De feitelijke oorzaak is dan een *uitvoerings- of aanlegfout*.

Fouten bij de aanleg en montage van het leidingnet behoren ook tot de categorie *aanleg-/uitvoerings-/en montagefouten*. Product- en materiaalfouten van buisdelen en appendages kunnen net als aanleg-/ uitvoerings-/ en montagefouten tot storingen leiden die waarschijnlijk niet waren opgetreden als de aanleg, montage, uitvoering, het product, of materiaal van de bij het ontwerp veronderstelde kwaliteit waren geweest.

Bedieningsfouten horen vanwege hun karakter ook in deze categorie thuis. Het probleem hierbij is echter, dat alleen aanleg-, uitvoerings- en montagefouten onderscheiden kunnen worden. Bezwijken als gevolg van product- en materiaalfouten is met het blote oog niet te herleiden en is dus ook niet aan te geven door de monteur (kan eventueel later, na materiaalonderzoek, aan de storingsregistratie worden toegevoegd).

Storingen door defecten aan appendages, meters en pompen moeten in een aparte categorie geregistreerd kunnen worden ("*defect appendage/pomp*"), zodat er onderscheid gemaakt kan worden met lekkages.

De lijst van oorzaken ziet er dan als volgt uit:

- 1) externe oorzaken / niet-spontaan (werkzaamheden derden, vandalisme, diefstal)
- 2) aantasting uitwendig (corrosie, aantasting, slijtage buitenzijde, bodemverontreiniging)
- 3) aantasting inwendig (corrosie, aantasting, slijtage binnenzijde, waterkwaliteit)
- 4) uitwendige belasting, namelijk... (verkeersbelasting, grondzetting, wortelingroei)
- 5) aanleg-, uitvoerings-, montage, bedieningsfout
- 6) defect appendage/pomp
- 7) anders, nl...

Een storing kan worden veroorzaakt door een combinatie van meerdere factoren. Het zou daarom mogelijk moeten zijn meerdere opties aan te vinken.

2. Getroffen object

- a. Type component
- b. Component
- c. Bescherming
- d. Leidingmateriaal
- e. Diameter
- f. Aanlegjaar
- g. Capaciteit / type watermeter
- h. Reparatie-/vervangingsactie

Ad 2.a: Type component → Onderdeel leidingnet

De bedoeling is het getroffen object aan te duiden. In eerste plaats zal dus onderscheid gemaakt moeten worden in het onderdeel van het leidingnet dat getroffen is. Voor de duidelijkheid zal het ook zo aangegeven moeten worden op het storingsregistratieformulier.

De onderdelen van het leidingnet die getroffen kunnen zijn en bij dit project in beschouwing worden genomen:

- 1) Hoofdleiding
- 2) Appendage
- 3) Aansluitleiding

Een derde categorie “aansluitleidingen” is toegevoegd, zodat deze vóór de analyse uit de database gefilterd kan worden. Een aparte categorie voor storingsen op aansluitleidingen voorkomt vervuiling van de database voor de analyse van storingsen op hoofdleidingen.

Ad 2.b: Component

Het getroffen leidingonderdeel wordt verder gespecificeerd door onderscheid te maken tussen de componenten:

- 1) Buis
- 2) Bocht
- 3) T-stuk
- 4) Verbinding
- 5) Afsluiter
- 6) Meter
- 7) Pomp
- 8) Brandkraan
- 9) Anders, namelijk...

Ad 2.c: Bescherming

Voor de analyse van storingsgegevens kan in het geval van aantasting, corrosie of slijtage van belang zijn welke bescherming is aangebracht. Het heeft echter alleen zin de bescherming te registreren wanneer van alle leidingen in een bepaald gebied bekend is van wat voor bescherming ze voorzien zijn. Wanneer niet bekend is hoe de leidingen en appendages beschermd zijn, kan geen uitspraken gedaan worden over de effectiviteit van de bescherming. Er zal immers een vergelijking gemaakt moeten worden tussen de storingsen in de leidingen die wel voorzien zijn van bescherming en de leidingen waarbij dit niet het geval is. Registratie kan gewenst zijn in een

later stadium, maar vooralsnog heeft deze categorie niet de hoogste prioriteit. Van de datasets die aangeleverd zijn voor het project *Statistische storingsanalyse*, hebben slechts drie bedrijven geregistreerd of er bescherming aanwezig is. Bij DZH is in 85 % van de storingen iets ingevuld, waarbij van de ingevulde waarden 99 % 'geen bescherming' was en in slechts drie gevallen wel bescherming aanwezig was (0,6 % van het totaal aantal storingen). Wat voor bescherming het betrof is niet aangegeven. Oasen heeft bij 57 % van de storingen aangegeven of er bescherming aanwezig was, waar ook in 90 % van die gevallen 'geen bescherming' aangegeven was. Oasen heeft als enige een aparte categorie om aan te geven of er KB aanwezig is. In 2,3 % van alle storingen is KB aanwezig geregistreerd, wat ongeveer overeen komt met het landelijke aandeel van de stalen leidingen dat kathodisch beschermd is. PWN heeft onderscheid gemaakt in bescherming uitwendig en inwendig. In gemiddeld 67 % van de storingen is ingevuld of er in- of uitwendige bescherming aanwezig is. Daarvan geldt wederom voor 90 % dat er 'geen bescherming' aanwezig was. In de overige gevallen is wel aangegeven wat voor soort bescherming aanwezig was (bitumen, cement, PE of 'anders'). Aanbevolen wordt de categorie-indeling zoals voorgesteld in de workshop Landelijke storingsregistratie aan te houden, maar deze materiaalafhankelijk te maken:

- 1) Geen bescherming (PVC en PE hebben nooit bescherming, AC heeft meestal geen bescherming)
- 2) Kathodisch (Staal)
- 3) Inwendige coating (gietijzer, staal)
- 4) Uitwendige coating (gietijzer, staal, AC)
- 5) In- en uitwendige coating (gietijzer, staal)

De beste plaats om hiernaar te vragen, is direct na het aangeven van het materiaal.

Ad 2.d: Leidingmateriaal

De meest voorkomende leidingmaterialen zijn AC, PVC, PE, grijs gietijzer en nodulair gietijzer. Dit zijn tevens de categorieën waaruit gekozen kan worden, aangevuld met een categorie "anders, namelijk...". In de laatstgenoemde categorie kunnen o.a. staal en beton worden geschaard.

Ad 2.e: Diameter

De diameter is een basisgegeven dat verplicht ingevuld dient te worden. Per materiaal gelden andere regels voor het aanduiden van de doorsnede en wanddikte, maar gevraagd worden de nominale diameters (de diameter zoals gebruikt wordt door de leverancier, bijvoorbeeld PVC 315 of NGIJ 100).

Ad 2.f: Aanlegjaar

Het jaartal waarin een leiding gelegd is, is een basisgegeven dat verplicht ingevuld dient te worden.

Ad 2.g: Capaciteit / type watermeter

Deze categorie kan vóór de statistische analyse verwijderd worden uit de storingsregistratie. Mogelijk zijn deze gegevens wel interessant voor het waterbedrijf en zullen ze dus wel op het storingsformulier staan, maar deze

informatie hoeft niet meegenomen te worden in de analyse van de leidingstoringen.

Ad 2.h: Reparatie-/vervangingsactie

Om zicht te krijgen in het storingsgedrag van groepen leidingen en appendages is het noodzakelijk dat uitgevoerde reparaties en vervangingen geregistreerd worden. Uit de reparatie- en vervangingshistorie kan namelijk kennis verkregen worden die van belang is voor de storingsanalyse. Het is voor gericht beheer immers relevant te weten of een leiding al meerdere malen gerepareerd is, en wanneer een leiding(onderdeel) vervangen is (in verband met de leeftijd).

Voorgesteld wordt het volgende aan te geven:

- 1) Reparatie (tevens in aparte kolom kort aangeven wat er gedaan is om de storing op te heffen)
- 2) Vervanging (tevens in aparte kolom kort aangeven wat er gedaan is om de storing op te heffen, wat er eventueel veranderd is aan onderdelen, materiaal, afmetingen, etc.)

3. Klantperceptie

In het project *Statistische storingsanalyse* wordt in de eerste plaats gekeken naar de *oorzaken* van storingen, nog niet naar de *gevolgen voor de klant*.

Aanbevelingen ter verbetering van de registratie op het gebied van klantperceptie worden hier daarom nog niet gedaan.

Samengevat komt voorgaande neer op de storingsgegevens en keuzecategorieën zoals weergegeven in de volgende twee tabellen.

Storing	Categorie	Toelichting
Soort / aard	Lekkage (appendages)	Slechte afdichting van verbinding of aansluiting
	Puntlek	Klein gat of scheurtje in buis of appendage van PVC, PE, staal, gietijzer
	Rondbreuk (buizen)	Scheur haaks op lengte-as buis, rondom
	Lengtescheur (buizen)	Scheur / breuk in lengterichting van buis
	Scherfbreuk (buizen)	Gat door scheuren in wand; scherf ontstaan
	Gat (buizen en appendages)	Rond gat, lijkend op boorgat of geperforeerd
	??	Nog te definiëren
Locatie	(x,y)-coördinaten	
	Grondverbetering ja/nee	
Oorzaak	Externe oorzaken / niet-spontaan	Werkzaamheden derden, vandalisme, diefstal
	Uitwendige belasting, namelijk...	Verkeersbelasting, grondzetting, temperatuursverschil, wortelingroei
	Aantasting uitwendig	Corrosie, slijtage, aantasting aan buitenzijde getroffen object (door omgeving, evt. bodemverontreiniging)
	Aantasting inwendig	Corrosie, slijtage, aantasting aan de binnenzijde van het getroffen object (door drinkwaterkwaliteit)
	Aanleg-, uitvoerings-, montage, of bedieningsfout	Aanleg-, uitvoerings-, montage, product-, bedienings-, materiaalfout. Bijvoorbeeld onjuiste samenstelling of verdichting grond in cunet, koppelingen niet volgens voorschriften gemonteerd, gietfouten, zwakke plekken door fabricageproces, onjuiste maatvoering
	Defect appendage/pomp	
	Anders, namelijk...	

Getroffen object	Categorie	Toelichting
Onderdeel leidingnet	Hoofdleiding	
	Appendage	Verbinding, bocht, t-stuk
	Aansluitleiding	
Component	Buis	
	Bocht	
	T-stuk	
	Verbinding	
	Afsluiter	
	Meter	
	Pomp	
	Brandkraan	
	Anders, namelijk...	
Leidingmateriaal	Grijs gietijzer	
	Nodulair gietijzer	
	AC	
	PVC	
	PE	HPE, HDPE, ZPE, AluPE
	Anders, namelijk...	Staal, beton
Bescherming	Geen bescherming	PVC en PE hebben nooit bescherming, AC heeft meestal geen bescherming
	Kathodisch	Staal
	Inwendige coating	Gietijzer, staal
	Uitwendige coating	Gietijzer, staal, AC
	In- en uitwendige coating	Gietijzer, staal
Diameter		Zoals in fabrieksaanduiding
Aanlegjaar	Jaartal waarin de leiding gelegd is	
Reparatie-/vervangingsactie	Reparatie: [uitgevoerde actie]	Uitgevoerde reparatie (wat is er precies gedaan om de storing op te lossen)
	Vervanging: [uitgevoerde actie]	Betreffende leidingonderdeel, afmetingen, oud en nieuw materiaal / appendage / ... (wat is er precies gedaan om de storing op te lossen)

Eventueel kan via een leiding-identificatienummer een link worden gelegd met het LIS. Bijvoorbeeld materiaal, diameter en aanlegjaar kunnen dan later (automatisch) worden bijgezocht.

VI Categorisering storingsdatabase Vitens MN

In de storingsregistratie van Vitens MN is bij een aantal voor de analyse essentiële groepen zoals onderdeel en soort storing de monteurs de vrije hand gelaten bij het invullen van het formulier. Het gevolg hiervan is dat voorafgaand aan de analyse de gegeven antwoorden onderverdeeld moesten worden in categorieën. Voor de onderdelen is dat gedaan in tabel IV-1. In tabel IV-2 zijn de voor de analyse gebruikte storingscategorieën vastgesteld.

Vanuit de kolommen 'Soort beschadiging' en 'Soort storing (voor regio Zuid)' zijn de onderdelen geconstrueerd:

Tabel IV-1 Vaststellen van onderdeel

Omschrijving in storingsdatabase		Onderdeel
Soort beschadiging	Niets ingevuld	Onbekend
	Komeetmof	Verbinding
	Lengtescheur	Buis
	Scheur	Buis
	Rondbreuk	Buis
	Verpotloding	Buis
	Scherf	Buis
	Mechanisch	Buis
	Anders	Anders
	Lek	Buis
	Breuk	Buis
	Corrosie	Buis
	Derden	Buis
Soort storing (voor regio Zuid)	Afsl. Nr. 523	Afsluiter
	Afsl. Nr. 319	Afsluiter
	Afsl./Flens	Afsluiter
	Afsl. Vervangen	Afsluiter
	Afsl.	Afsluiter
	Aansl.Pe25	DK (Dienstkraan)
	Aansluiting	DK
	Dienstkraan los	DK
	Dienstkraan	DK
	DKr. + Koppeling	DK
	DKr.afgebroken	DK
	DK	DK
	DL.+buiszadel gepl.	DK
	DL	DK
	Aanl.dl	DK
	Oude aansl.wegn.	DK
	Oude aansl.	DK

Omschrijving in storingsdatabase	Onderdeel
Wegnemen aansl.	DK
(Glij)verbinding	Verbinding
Kom. Mof	Verbinding
Doorverb.	Verbinding
Doorverbinding	Verbinding
Loodmof	Verbinding
Komeetmof	Verbinding
PVC niet in Sok	Verbinding
BK/(Glij)verb.	Verbinding
Klinkverb.	Verbinding
Koppeling	Verbinding
Flens	Verbinding
Mof	Verbinding
Uit elk. gezakt	Verbinding
Sok gescheurd	Verbinding
Reparatieklem	Verbinding
Overg.kopp	Verbinding
Brandkraan nr.75	BK (Brandkraan)
BK vervangen	BK
Tst.verw/BKgep	BK
BK	BK
T-stuk11/4	Anders
2afsl.weggen.	Anders
Afkapping	Anders
Bocht 450	Anders
Knie	Anders
Opkapping	Anders
T.stuk wegn.	Anders
Tileen stuk	Anders
Zadel defect	Anders
Zadel	Anders
Zinker lekt	Anders
Zinker	Anders

Omschrijving in storingsdatabase	Onderdeel
T-stuk	Anders
Meetk.Hydron	Anders
HL PE 40 geraakt	Derden
Mech. beschadig.	Derden
Inbouw	Derden
Putcorrosie	Corrosie
Lekonderz.	Lek
Rondbr./Lengtesch.	Scheur
Scherf/Verpotloding	Scheur
Lengtesch/Scherf	Scheur
Lengtescheur	Scheur
Lengtesch.	Scheur
Scherf	Scheur
Lengtescheur	Scheur
Verpotloding	Scheur
Verweking	Scheur
Rondbreuk	Breuk
Rondbr.	Breuk
HL doormidd.	Breuk
Buis	Breuk
Proefstuk HL	Breuk

Vanuit de kolommen 'Oorzaak schade' en 'Soort storing (voor regio Zuid)' zijn de storingscategorieën geconstrueerd: (voor 'Soort storing (voor regio Zuid)' zie Tabel IV-2)

Tabel IV-2 Vaststellen van storingscategorie

(deel van) omschrijving in storings-database	(uitleg bij deel omschrijving)	Storings-categorie
Dienstk	Dienstk of dienstk(raan)	Dienst-kraan
DK		
DL		
Aansl		
Afsluiter = defect, geen lek		Afsluiter
Spindel Afsl. Defect		
afsl.		
BK		Brand-kraan
zetting		
wortel		
verkeer		
Gr.zakking		
drukke winkelstr.		
asfalt	onder asfalt betekent misschien verkeer	
bomen	Nabijh. v. bomen	
Uitgezakt		
Spanning		
wegkruising	rest deel GIJ wegekruising	Aanleg
Aanl		
Bout		
Corrosie		Corrosie
Putcorr		
Verpotlod		
Graaf		Derden
Heipaal		
Werkz		
geraakt		
Riool		
reconstructie		
derd		
Lood		
Plaatsen		
Planning		
Loopzand	loopzand door ontgraving	
Machinaal		
Mechanisch		
OWT	geen idee	
Inbouw		
Schade		
Stuk	stukgetrokken	
Steen	Steen heeft gat in pijp gedrukt	

Vervolg Tabel IV-2 Vaststellen van storingscategorie

(deel van) omschrijving in storings-database	(uitleg bij deel omschrijving)	Storings-categorie
leid	leidingen	Kabel s en leid.
kabel		
Ldg+kbl		
koppeling		Verbinding
mof		
Mof		
verb	verbinding	
Sok		
Bocht		
Soldering		
zinker		
T-stuk		
Breuk		Breuk
Rondbreuk		
gebr.	door midden gebroken	
Spontaan	spontaan	Scheur
Lengte	Lengtescheur	
lengtesch		
gesch.	uit elk.gesch.	
Scheur		
Scherf		
Slijtage		Lek
Lek		
lekte		
Gaatje		
zacht		
Zacht		
verweking		Onbekend
?		
Geen		
Invoer		
GIJ/PVC		
Slakken		
Split		
Kiwa		
Opkapping		
Maatvoering Opkapp		
Afkapping		
Grondwater		
Mantelbuizen		
Verjongen		
Zandpakket		
Spui weggenomen		
eindkap losgeschoten		
opnw. aangedraaid		
gr.boring		
St.bouten		
Bet.steunp.		
HB oversteek def		
Hfdl zeer diep		
onbekend		
Ontzinking		

VII Klantperceptie parameters

Voorstel te registreren klantperceptie parameters (Uit: Trietsch, 2001):

Klantperceptie parameter	Waarde / antwoordcategorie
Aantal getroffen aansluitingen	
Start onderbreking levering	Datum + tijd
Einde onderbreking levering	Datum + tijd
Gevoelig voor onderbreking levering	Niet
	Matig
	Behoorlijk
	Zeer
Verkeershinder	Geen
	Matig
	Ernstig
	Zeer ernstig
Wateroverlast	Geen
	Matig
	Ernstig
	Zeer ernstig
Andere gevolgen	Zo ja, toelichting