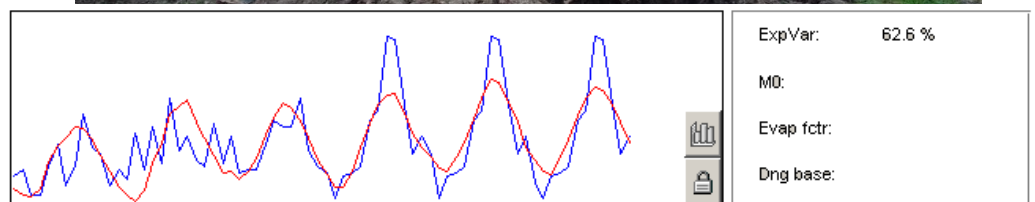


Relatie tussen storingen AC-leidingen en het weer

Tijdreeksanalyse van storingen in het leidingnet van WMD



Figuur 1. Tijdreeksanalyse met storingen op leidingen ouder dan 40 jaar

BTO 2008.006
juli 2008

Relatie tussen storingen AC-leidingen en het weer

Tijdreeksanalyse van storingen in het leidingnet van WMD

© 2008 Kiwa WR
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

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
www.kiwawaterresearch.eu

Colofon

Titel

Relatie tussen storingen AC-leidingen en het weer

Projectnummer

B111628

Projectmanager

Drs. P.G.G. Slaats

Kwaliteitsborger(s)

Dr. Ir. J.H.G. Vreeburg, Ir. E.J.M. Blokker

Auteur(s)

Drs. K.H.A. van Daal

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

In het drinkwaterdistributienet in Nederland treden storingen op. Om storingen tegen te gaan of de invloed van storingen te beperken, is het belangrijk te onderzoeken welke factoren een rol spelen bij het optreden van storingen. Er zijn vermoedens, o.a. bij monteurs, dat externe factoren als ondergrond en weersfactoren een belangrijke rol spelen in het falen van een leiding.

In dit project "Relatie tussen storingen AC-leidingen en het weer" is met behulp van statistische methoden onderzocht of op basis van de huidige storingsgegevens van WMD een relatie kan worden gevonden tussen spontane storingen in AC-leidingen en de weersfactoren temperatuur, neerslag, verdamping en wind. Daarbij is zowel gekeken naar de invloed van individuele factoren als naar de invloed van combinaties van factoren. Tevens is onderzocht of bij bepaalde type ondergrond of leeftijd van leidingen sprake is van een grotere gevoeligheid voor weersfactoren.

In dit onderzoek draait het om de vraag hoe goed en met welke weersfactoren storingen verklaard kunnen worden. Het streven is een zo hoog mogelijke verklaarde variantie te bereiken. Het percentage verklaarde variantie geeft aan hoe goed een storing voorspeld kan worden uit de weersfactoren. Wanneer de storingen niet worden ingedeeld in categorieën (van bijvoorbeeld leeftijd of diameter) dan wordt de hoogste verklaarde variantie bereikt door de vier factoren temperatuur, verdamping, neerslag en wind samen als verklaring voor een storing aan te dragen. De verklaarde variantie hierbij is 42,5%. Deze waarde zit ruim onder een acceptabele verklaarde variantie van 70% en wijst daarmee wel op een relatie, maar niet op eenduidige relatie. De storingen zijn in andere woorden slechts voor een klein deel toe te schrijven aan deze factoren. Grote uitschieters in storingen kunnen niet worden verklaard door de onderzochte weersfactoren. Dit komt waarschijnlijk doordat het systeem dat de storingsgevoeligheid van het leidingnet bepaalt niet lineair werkt.

De verklaarde variantie blijft laag wanneer de storingen gecategoriseerd worden naar ondergrond (zand en veen), en per categorie de variantie wordt bepaald. Leidingen in veen zijn dus niet gevoeliger voor weersfactoren dan leidingen in zand.

Na het categoriseren op leidingleeftijd komt een ander beeld naar voren. De storingen in de leeftijdscategorie van 30 tot 40 jaar hebben een (met door temperatuur, verdamping, neerslag plus wind) verklaarde variantie van 30,6% geen goede correlatie. Maar de storingen in leeftijdscategorie van 40 jaar en ouder hebben een verklaarde variantie van 62,6%. Deze varianties wijzen er op dat AC-leidingen jonger dan 40 jaar minder gevoelig zijn voor weersinvloeden dan AC-leidingen ouder dan 40 jaar en dat het weer inderdaad van invloed is op het optreden van storingen in oudere of zwakkere AC-leidingen.

Omdat de verklaarde variantie tussen storingen en de weersfactoren (temperatuur, neerslag, verdamping en wind) in alle gevallen nog steeds onder de 70% grens ligt, spelen ook andere factoren (al dan niet indirect gekoppeld aan weersinvloeden, zoals het waterverbruik) een rol bij het optreden van storingen.

Lage verklaarde varianties kunnen ook voortkomen uit slecht geregistreerde (weer)factoren of storingen. In het project “Landelijke uniforme storingenregistratie” wordt een centrale database ontwikkeld, waarin een groot aantal waterbedrijven uniform storingsgegevens gaan registreren. Door de uniformisering wordt de kwaliteit van geregistreerde gegevens enorm verbeterd en wordt statistisch onderzoek beter mogelijk.

Storingen bieden bedrijven echter wel handelingsinformatie. Wanneer de sterkte van een leiding afneemt en de belasting toeneemt zal een storing optreden. Een storing is daarmee een early warning systeem voor het afnemen van de kwaliteit van een leiding.

Inhoud

	Samenvatting	1
	Inhoud	3
1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Storingsgegevens WMD	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Literatuurstudie relatie storingen en externe factoren	7
2.1	Bevindingen uit internationale literatuur	7
2.2	Bevindingen bij Nederlandse waterbedrijven	8
3	Storingsanalyse bij WMD	9
3.1	Onderzoek AC-leidingen WMD	9
3.2	Storingsgegevens van WMD	9
3.3	Weersgegevens	9
3.4	Verbanden tussen weersinvloeden en storingen	10
4	Tijdreeksanalyse	17
4.1	Tijdreeksanalyse	17
4.2	Tijdreeksanalyse met één verklarende factor	18
4.2.1	Temperatuur	18
4.2.2	Neerslag	18
4.2.3	Verdamping	18
4.3	Tijdreeksanalyse met twee verklarende factoren	18
4.3.1	Temperatuur plus verdamping	18
4.3.2	Temperatuur plus neerslag	19
4.3.3	Neerslag plus verdamping	19
4.4	Tijdreeksanalyse met meer dan twee verklarende factoren	19
4.4.1	Temperatuur plus neerslag plus verdamping	19
4.4.2	Temperatuur plus verdamping plus neerslag plus wind	19
4.5	Conclusie	20
5	Geografische omgevingsfactoren	23
5.1	Invloed van omgevingsfactoren	23
5.2	Geocoderen	23
5.3	Verdeling storingen op ondergrond	24

6	Leeftijd leidingen	27
6.1	Storingen en leeftijd	27
6.2	Indelen van de storingsdataset	27
6.3	Tijdreeksanalyse	28
7	Discussie	31
8	Conclusies en aanbevelingen	33
8.1	Conclusies	33
8.2	Aanbevelingen	33
9	Referenties	35
Bijlage II	Tijdreeksanalyse week- en dagbasis	39
Bijlage III	Storingsdatabase	41
Bijlage IV	Statistiek	43

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het drinkwaterdistributienet in Nederland heeft te maken met storingen, die kunnen leiden tot ongewenste situaties zoals leveringsonderbrekingen of drukverlies. Om storingen tegen te gaan of de invloed van storingen te beperken is het belangrijk te weten welke factoren een rol kunnen spelen bij het optreden van storingen. Er zijn vermoedens dat externe factoren (zoals bodemsoort en weersfactoren) een belangrijke rol spelen bij het optreden van een spontane storing in een leiding (o.a. Marshall, 2001). Met spontane storingen worden de storingen bedoeld, die niet het gevolg zijn van graafschade of onderhoudswerkzaamheden.

1.2 Storingsgegevens WMD

Om een relatie te kunnen leggen tussen externe factoren (zoals weersinvloeden en ondergrond) en de faalkans van een leiding, wordt gebruik gemaakt van weersgegevens van het KNMI en Meteo Consult en van de storings- en leidinggegevens van de Waterleidingmaatschappij Drenthe (WMD). Er is gekozen voor de data van WMD, omdat WMD de gegevens direct, in het juiste formaat beschikbaar had. Ook zijn de storingsgegevens van WMD niet uitvoerig bekeken in andere projecten. Data van slechts één bedrijf gebruiken heeft bovendien als voordeel dat de data op een eenduidige manier ingewonnen is en er geen conversieproblemen ontstaan. Van een aantal andere Nederlandse Waterbedrijven zijn beperkt storingsgegevens gebruikt uit het BTO rapport "Statistische storingsanalyse; De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie" (Vloerbergh en Blokker, 2007). Verder wordt gebruik gemaakt van Geografische Informatie Systemen (GIS) voor het projecteren van locaties van storingen op kaartlagen (in dit geval de ondergrond).

1.3 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk wordt allereerst aandacht besteed aan bevindingen over faalkans en weersinvloeden uit de internationale literatuur en de bevindingen uit eerdere BTO rapporten. In hoofdstuk 3 worden storingsgegevens van WMD geanalyseerd. In hoofdstuk 4 is met een statistische analyse (de tijdreeksanalyse) onderzocht of een relatie bestaat tussen storingen en de weersfactoren temperatuur, neerslag, verdamping en wind. In hoofdstukken 5 en 6 zijn de storingen respectievelijk gecategoriseerd naar ondergrond en naar leeftijd van de leidingen, en is opnieuw onderzocht of een relatie bestaat tussen storingen en de weersfactoren. In het laatste hoofdstuk komen de conclusies aan bod en worden aanbevelingen gedaan.

2 Literatuurstudie relatie storingen en externe factoren

Uit internationale literatuur komt naar voren dat er mogelijk een verband bestaat tussen weer- en omgevingsinvloeden en storingen. In dit hoofdstuk worden resultaten uit de internationale literatuur en uit eerdere BTO rapporten kort beschreven.

2.1 Bevindingen uit internationale literatuur

Le Gat en Eisenbeis komen tot de conclusie dat aan de hand van leidingspecifieke kenmerken er alleen een voorspelling gedaan kan worden welke groepen leidingen de grootste kans op storingen hebben. De precisie van de voorspelling verbetert indien omgevingsfactoren bij de analyse worden betrokken. Zij concluderen dat omgevingsfactoren, zoals zuurgraad van de bodem, bepalend kunnen zijn voor het falen van een leiding.

In Canada is door de National Research Council Canada (NRCC) onderzoek gedaan naar het falen van leidingen, in dit geval AC-leidingen in Regina. Uit dit onderzoek komt naar voren dat temperatuur, neerslag en grondsoort behoren tot de factoren die (statistisch gezien) van invloed zijn op het voorkomen van storingen bij AC-leidingen en dat deze zelfs als de kritische factoren worden gezien (Hu en Hubble, 2005).

Marshall laat voor verschillende type leidingen (AC en gietijzer in Engeland) zien dat er een seizoensinvloed is op storingen. In het onderzoek van het United Kingdom Water Industry Research (UKWIR) komt naar voren dat de verdeling van storingen in kleibodems een duidelijke seizoensinvloed hebben. De AC-leidingen laten een piek zien in de droge zomermaanden, terwijl de gietijzeren leidingen een piek in januari laten zien. Volgens het onderzoek is de oorzaak te vinden in volumeveranderingen in de kleigrond als gevolg van het weer (temperatuur en neerslagtekorten).

Kleiner en Rajani vinden ook een sterke correlatie tussen het vóórkomen van storingen en het neerslagtekort.

2.2 Bevindingen bij Nederlandse waterbedrijven

In het BTO rapport "Statistische storingsanalyse; De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie" (Vloerbergh en Blokker, 2007) zijn de storingsgegevens van zeven Nederlandse waterleidingbedrijven geanalyseerd, te weten:

1. Brabant Water
2. DZH
3. Hydron MN (tegenwoordig Vitens MN)
4. Oasen
5. PWN
6. WMD
7. WML

Het rapport beschrijft dat bij verschillende waterbedrijven een seizoensinvloed naar voren lijkt te komen. In het storingsverloop bij PWN lijkt een seizoensinvloed waarneembaar: relatief weinig storingen in het voorjaar (maart, april, mei), maar een groter aantal storingen vanaf juni tot februari. De gegevens van WML wijzen uit dat er meer storingen optreden in de periode van april t/m september. Dit zou kunnen duiden op de invloed van neerslagtekort.

Slaats en Mesman (2004) geven aan de naast uitloging verschillende andere factoren een rol spelen bij de storingsgevoeligheid van AC-leidingen. Deze factoren zijn onder meer de gevoeligheid voor vorst en de zettingsgevoeligheid van de bodem.

Zowel de internationale literatuur als Nederlands onderzoek wijst op invloed van het weer op storingen. Wel zijn de weersfactoren verschillend. Het ene onderzoek wijst op een relatie met temperatuur en andere onderzoeken wijzen op een relatie met neerslag.

3 Storingsanalyse bij WMD

3.1 Onderzoek AC-leidingen WMD

Uit de internationale literatuur komt naar voren dat er een relatie bestaat tussen weersomstandigheden en het optreden van storingen. Ook de storingsmonteurs van Waterleidingmaatschappij Drenthe (WMD) vermoeden dat het aantal storingen gerelateerd is aan het weer. WMD is verantwoordelijk voor circa 186.000 aansluitingen in het Noordoosten van het land. Het totale leidingnet is ongeveer 4228 km lang, 1480 km daarvan bestaat uit AC-leidingen. De storingsmonteurs berichten over een toename van storingen in de winter van 2005/2006 ten tijde van hevige neerslag. Ook de extreem droge julimaand met daaropvolgend een zeer natte augustusmaand van 2006 leidde gevoelsmatig tot een toename van de storingen. In dit rapport wordt onderzocht of er bij WMD een relatie bestaat tussen weersinvloeden (neerslag, verdamping, temperatuur en stormen) en storingen in AC-leidingen.

3.2 Storingsgegevens van WMD

WMD heeft een registratiesysteem waarin de geplande werkzaamheden en storingen betreffende het hoofdleidingbestand worden gerapporteerd, namelijk het Kennissysteem Levensduurbepaling (KSLB), dat binnen het BTO is ontwikkeld (BTO 2004.034). Dit onderzoek wordt gedaan met behulp van leidinggegevens van WMD en de storingsgegevens van AC-leidingen in de periode 2000 – 2007. Er wordt meestal gekeken naar de gegevens 2000-2006, omdat de gegevens van 2007 geen heel jaar omvatten. Er is voor gekozen alleen de storingsdata van WMD te gebruiken voor analyse, omdat deze gegevens direct, in het juiste formaat beschikbaar waren. Bovendien heeft het als voordeel dat de data op een eenduidige manier ingewonnen is en er geen conversieproblemen ontstaan. Voor de periode 2000-2006 bij WMD is verondersteld dat de totale leidinglengte ongeveer constant was en de analyse op basis van het aantal storingen (in plaats van de storingsfrequentie) geoorloofd is. Wanneer storingsgegevens van meerdere bedrijven samen worden geanalyseerd is een omrekening naar storingsfrequentie noodzakelijk.

3.3 Weersgegevens

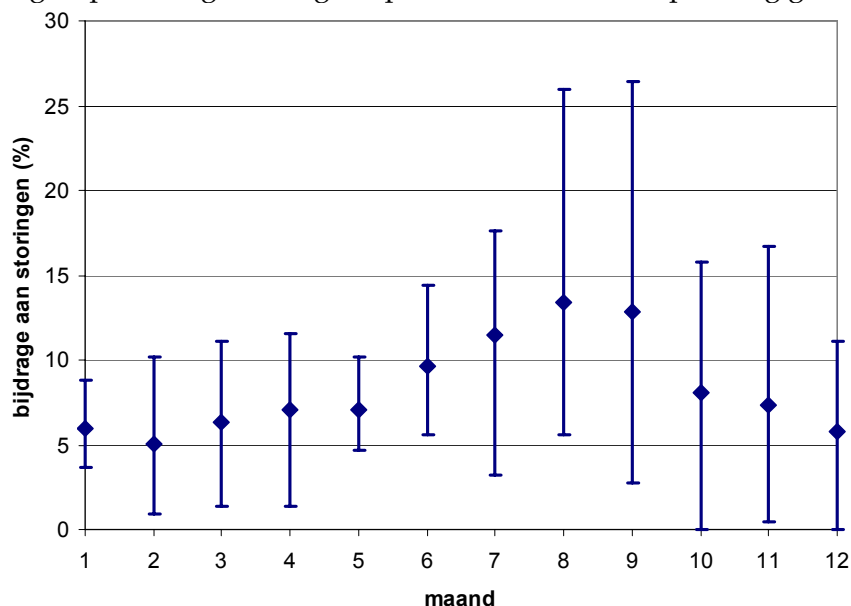
Voor dit onderzoek zijn daggegevens voor neerslag, verdamping en temperatuur gebruikt. Deze weersgegevens zijn afkomstig van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI; neerslag en temperatuur) en Meteo Consult (verdampingsgegevens). Er is gekozen voor de daggegevens van waarnemingsstation Eelde, omdat dit in de buurt ligt van Drenthe. Meer specifiek zijn de volgende gegevens gebruikt:

- Temperatuur: de maximum temperatuur in graden Celsius;
- Neerslag: de etmaalsom van de neerslag in millimeters;
- Verdampingsgegevens: de daggegevens in millimeters volgens Makkink;

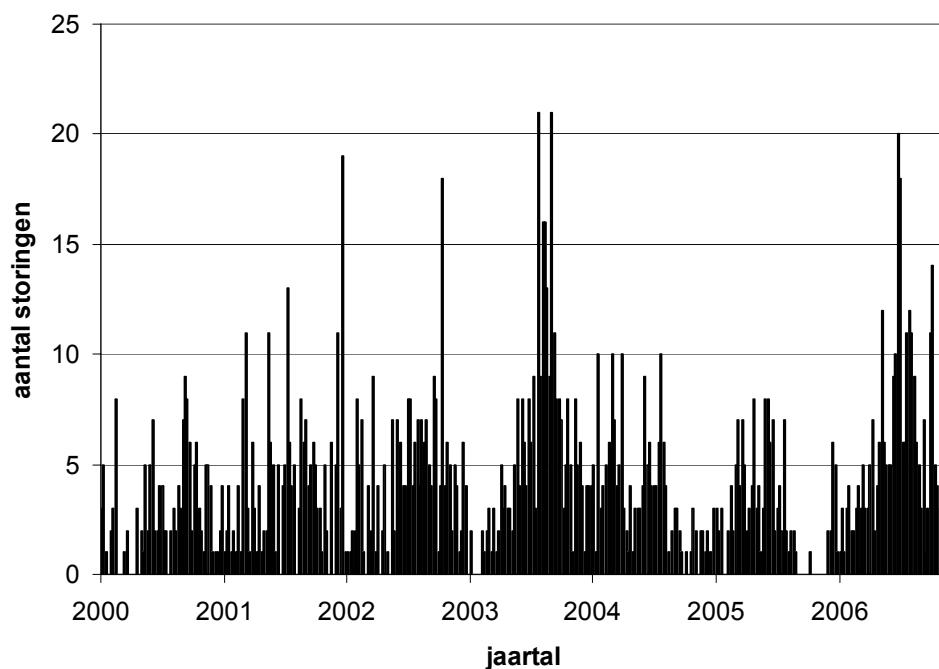
- Wind: hoogste windstoot meter per seconde

3.4 Verbanden tussen weersinvloeden en storingen

De storings- en weersgegevens zijn samengevoegd in een MS Excel bestand. In Figuur 1 is weergegeven hoeveel storingen (percentueel gezien) per maand optreden in de jaren 2000 t/m 2006. We zien dat in de zomermaanden het hoogste percentage storingen optreedt, maar dat de spreiding groot is.



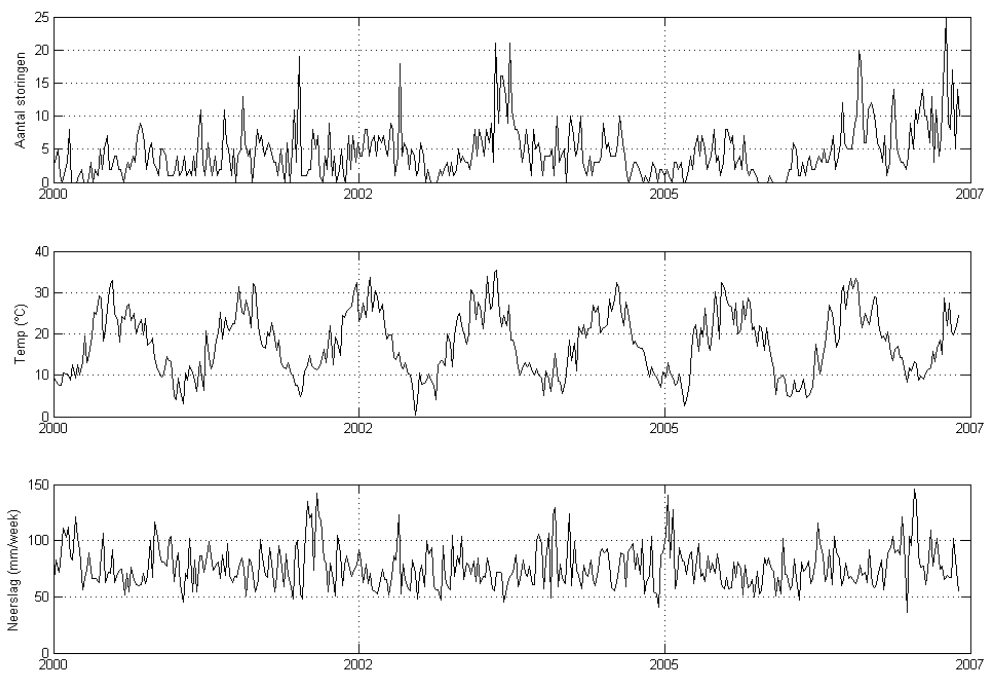
Figuur 1. Bijdrage aan storingen gerangschikt per maand, werkelijke percentages, minimum en maximum over de periode 2000-2006. In januari vindt gemiddeld 6% van de storingen plaats (minimaal 4% en maximaal 9%).



Figuur 2. Storingen in AC-leidingen gesommeerd per week over de periode 2000 - 2006

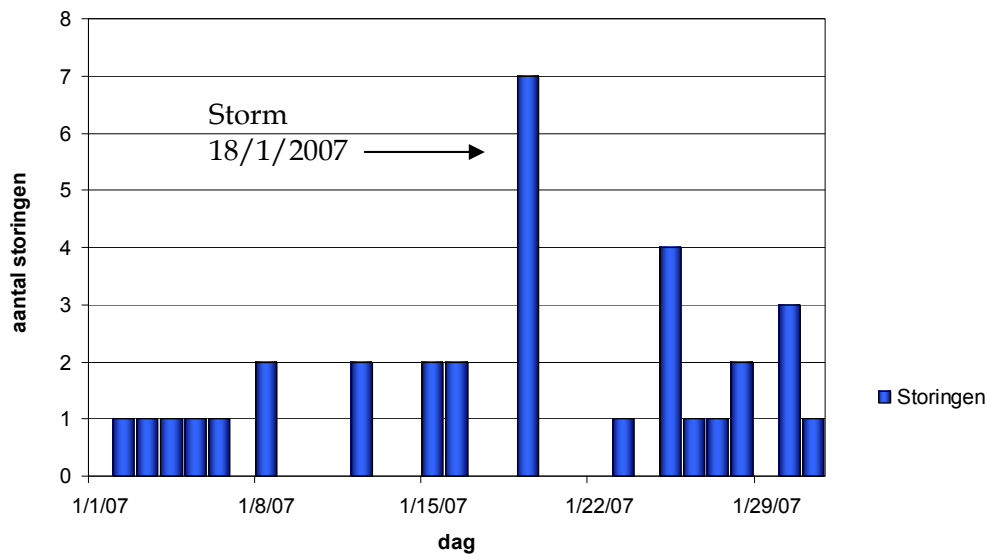
In Figuur 2 is de tijdreeks van het aantal storingen per week weergegeven. Uit deze tijdreeks lijken de storingen in de zomer toe te nemen en in de winter af te nemen. Uitzondering is een piek in de storingen die optreedt in de winter van 2001 op 2002. In Figuur 3 zijn de storingsfrequentie en de maximale dagtemperaturen weergegeven. De hogere temperaturen in de zomer lijken een relatie te hebben met het hoge aantal storingen.

In Figuur 3 is zowel de temperatuur als de hoeveelheid neerslag weergegeven. Een relatie tussen deze factoren en het optreden van storingen is niet duidelijk waarneembaar.



Figuur 3. Het aantal storingen in het leidingnet in relatie tot de mogelijk verklarende factoren maximum temperatuur en neerslag (weekfrequentie, KNMI station Eelde) voor de periode 2000-2007.

Er heeft een gesprek plaatsgevonden met een van de specialisten van het KNMI, Rob Sluijter. Sluijter houdt al enige jaren voor het KNMI een gedetailleerd dagelijks weerbericht bij. Samen met hem is gekeken naar de pieken in storingen en is gekeken of deze pieken te verklaren zijn door het weer. Verschillende pieken konden met hulp van Rob Sluijter worden verklaard. Oorzaken zijn bijvoorbeeld stormen: de hevige storm van 27 oktober 2002, maar ook die van 18 januari 2007 komen in de storingsdatabase duidelijk naar voren als een piek. Zie ter illustratie Figuur 4, waarin de storingen van januari 2007 zijn weergegeven.



Figuur 4. Storingen in januari 2007

Stormen veroorzaken het omwaaien van bomen, die op hun beurt met hun wortels leidingen kunnen beschadigen. Storm in combinatie met regen geeft volgens Rob Sluijter een nog grotere kans op schade. Allereerst betekent meer regen namelijk zwaardere kronen waardoor bomen topzwaar worden en eerder omgaan met zware wind. Bovendien gaan bomen (met name wanneer ze horizontale beworteling hebben) eerder om in natte bodems.

Stormen worden door waterleidingbedrijven ook vaak aangehaald als oorzaak voor storingen, zie het bericht op de nieuwssite nu.nl van 9 juli 2007 over een geknapte waterleiding in Ede (Figuur 5). Hieruit blijkt ook meteen een moeilijkheid van dit onderzoek. Storingen worden regelmatig pas één of meerdere weken na het optreden van de storing ontdekt en daardoor geregistreerd met een latere datum. Het is om deze reden niet eenvoudig een statistisch verband te leggen tussen storing en oorzaak. Regelmatige evaluatie van reeds geregistreerde data kan tijdig vergelijkbare, maar ook andere afwijkingen van de gewenste situatie aan het licht brengen (Vloerbergh en Blokker, 2007).

Voor verdere aanbevelingen voor het registreren van storingen wordt verwezen naar het rapport "Statistische storingsanalyse; De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie" (Vloerbergh en Blokker, 2007).

Geknapte waterleiding Ede aangetast door weer

Uitgegeven: 9 juli 2007 10:46

Laatst gewijzigd: 9 juli 2007 10:59

EDE - Weersomstandigheden hebben er naar alle waarschijnlijkheid toe geleid dat zondagmorgen vroeg een hoofdwaterleiding in Ede knapte. Door de storing hebben ruim 70.000 huishoudens in Ede, Bennekom en Lunteren urenlang zonder water gezeten.



Volgens woordvoerder Dick Jonker van waterbedrijf Vitens ligt de geknapte hoofdwaterleiding twee meter onder een groenstrook met een sloot en hele hoge bomen, die dus ook diep wortelen.

De kans is groot dat de leiding bij de grote storm van 19 januari van dit jaar al beschadigd is geraakt door boomwortels. De overvloedige regenval van de laatste tijd heeft de grond door en door verzadigd, waardoor de druk op de buis steeds groter is geworden.

Onzichtbaar scheurtje

Zondagmorgen werd een onzichtbaar scheurtje volgens Jonker binnen 3 seconden een hele grote scheur met alle gevolgen van dien. De storingsdienst van Vitens merkte het incident iets na 02.00 uur op.

Vrijwel meteen melden ook al verzorgingshuizen uit de omgeving en ziekenhuis Gelderse Vallei zich bij Vitens. Die hebben de daarop volgende uren gebruik gemaakt van een noodwatervoorziening.

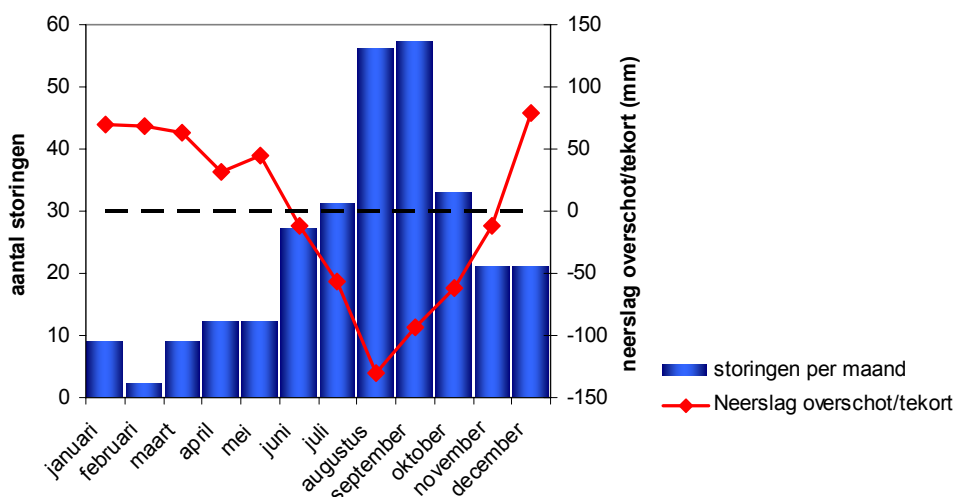
Brandweer

Vitens schakelde wegens de omvang van de storing ook gemeente, brandweer en politie in voor calamiteiten. Maar die hebben zich volgens Jonker nergens voorgedaan. Vanaf 10.00 uur zondag kregen de eerste aansluitingen weer water.

Rond 12.30 uur waren alle problemen voorbij. De geknapte hoofdwaterleiding wordt deze week gerepareerd, maar Vitens verwacht daardoor geen nieuwe storingen, aldus de woordvoerder.

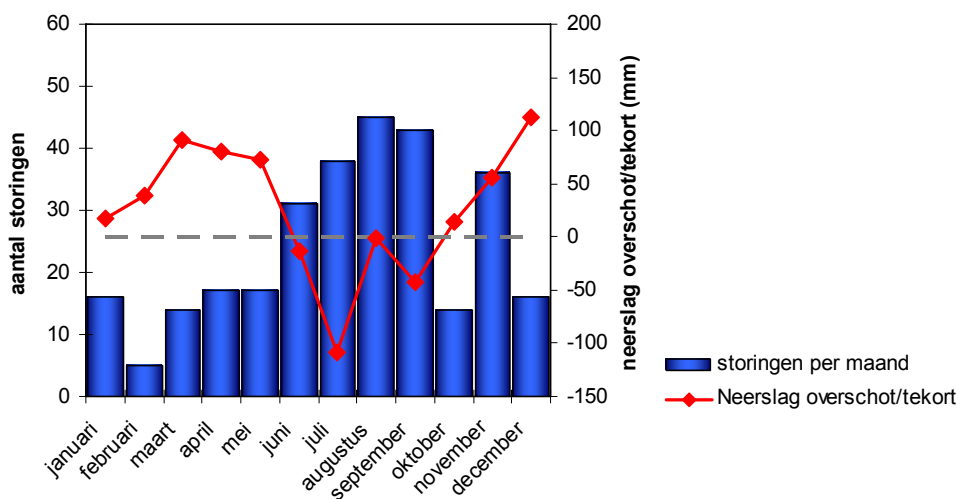
Figuur 5. Nieuwsbericht over een mogelijk verband tussen stormen en storingen

Een andere verklaring kan volgens Sluijter worden gezocht in perioden van grote droogte, zoals de zomer van 2003, vanwege het krimpen van de bodem. Zie ter illustratie Figuur 6 waar het cumulatief neerslagoverschot/-tekort (uitgaande van een nulsituatie op 1 januari) is uitgezet t.o.v. het aantal storingen per maand voor het jaar 2003.



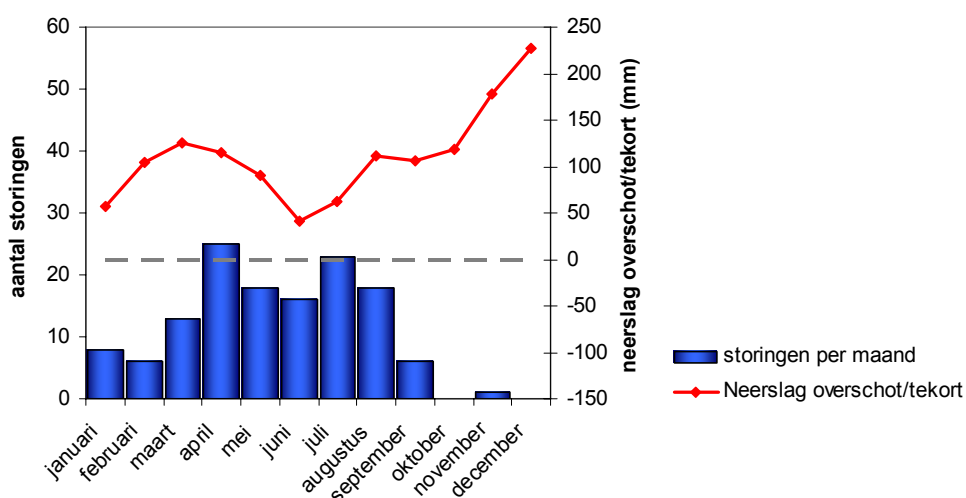
Figuur 6. Storingen t.o.v. neerslag overschot/tekort in 2003

Ook in 2006 (Figuur 7), met een droge julimaand en daaropvolgend een nattere augustus, neemt het aantal storingen toe in de zomer. Eén hypothese is dat het grote verschil in neerslagtekort/-overschot een oorzaak is voor storingen.



Figuur 7. Storingen t.o.v. neerslag overschot/tekort in 2006

Natte jaren hebben relatief minder last van storingen, zoals te zien in het jaar 2005 (zie Figuur 8).



Figuur 8. Storingen t.o.v. neerslag overschot/tekort in 2005

Bij een eerste inventarisatie van storingsgegevens en weersfactoren is er nauwelijks een waarneembaar verband tussen storingen en neerslag of tussen storingen en temperatuur. Wel lijkt het neerslagtekort (neerslag en verdamping) een rol te spelen bij het optreden van storingen. Ook stormen (wind) hebben invloed op het optreden van storingen.

In het volgende hoofdstuk zal met behulp van statistisch onderzoek gezocht worden naar een relatie tussen storingen en de weersfactoren die hier genoemd zijn (temperatuur, neerslag, verdamping en wind) om de uitkomsten van deze inventarisatie verder te kunnen onderbouwen.

4 Tijdreeksanalyse

4.1 Tijdreeksanalyse

Uit de eerste analyses en uit gesprekken met het KNMI lijken er relaties te bestaan tussen weersinvloeden en storingen. Verder onderzoek is gedaan met behulp van tijdreeksanalyse. Tijdreeksanalyse is een methode om verbanden aan te tonen tussen een tijdreeks en mogelijk verklarende variabelen (Bierkens, 1999). De meest gebruikte methoden voor tijdreeksanalyse is de Box-Jenkins methode. In deze studie is gebruik gemaakt van Menyanthes. Menyanthes is een programma voor tijdreeksanalyses op basis van Box-Jenkins modellen (Von Asmuth, 2008).

Tijdreeksanalyse wordt in dit onderzoek toegepast op storingen in het leidingnet met als verklarende variabelen: neerslag, verdamping, temperatuur en wind. Kenmerkend aan tijdreeksanalyse is dat deze uitgaat van lineariteit. Storingen zijn bij uitstek niet-lineair, er is z gezegd geen geleidelijke overgang van een werkende leiding naar een leiding die stuk is. Tijdreeksanalyse kan daarom niet zondermeer op individuele storingen worden toegepast, maar wel op storingen geclusterd in perioden van dagen, weken of maanden.

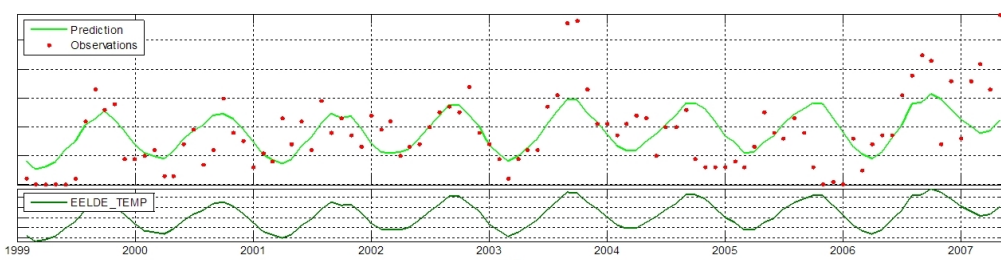
Met behulp van tijdreeksanalyse is onderzocht of er sprake is van een lineair verband tussen de verklarende variabelen en de storingsreeks. Verschillende tijdsreeksmodellen zijn gemaakt, waarbij gevarieerd is met het aantal verklarende factoren. Zo is er eerst gekeken wat de invloed is van één factor en vervolgens naar een combinatie van factoren. Indien uit een factor (of set van factoren) het optreden van storingen goed kan worden voorspeld, dan is er sprake van een hoge verklaarde variantie, uitgedrukt in een percentage van 0 tot 100%. Bij een verklaarde variantie van 70% of meer is er sprake van een duidelijke relatie tussen de onderzochte factor(en) en het optreden van storingen.

De tijdreeksanalyses zijn uitgevoerd met storingsgegevens op dag-, week- en maandbasis. De verschillende tijdschalen zijn gebruikt om een eventuele vertragingfactor mee te nemen. In vergelijking met tijdreeksmodellen op maandfrequentie laten de modellen op week- of dagbasis echter een slechtere verklaarde variantie zien. Daarom zijn voor de vervolganalyses storingsgegevens op maandbasis gebruikt. Ter illustratie wordt in Bijlage I het resultaat van een tijdreeksmodel van metingen op weekfrequentie en een op dagfrequentie weergegeven, waarbij temperatuur, verdamping en neerslag als verklarende factoren worden gebruikt.

4.2 Tijdreeksanalyse met één verklarende factor

4.2.1 *Temperatuur*

In Figuur 9 is het resultaat te zien van de tijdreeksanalyse met als enige verklarende factor temperatuur. De temperatuur laat een duidelijke jaarcyclus zien die ook naar voren komt in de gefitte modellijn. Deze komt in grove mate overeen met het verloop van de storingen (punten), maar de pieken kunnen niet verklaard worden. De hoge temperaturen komen, met uitzondering van de jaren 2004 en 2005, overeen met de storingspieken. De verklaarde variantie is echter slecht: slechts 28% van de storingen kan worden verklaard door temperatuursinvloeden.



Figuur 9. Tijdreeksanalyse met temperatuur als verklarende reeks

4.2.2 *Neerslag*

De neerslag vertoont in tegenstelling tot temperatuur en verdamping geen duidelijk patroon in jaarcyclus. De verklaarde variantie met gebruik van neerslag voor het verloop van de storingen is zeer slecht (< 25 %).

4.2.3 *Verdamping*

De verdamping laat net als de temperatuur een duidelijke jaarcyclus zien die in ruwe mate overeen komt met het verloop van storingen. De verklaarde variantie is nagenoeg gelijk aan die van de temperatuur, namelijk 28,5%.

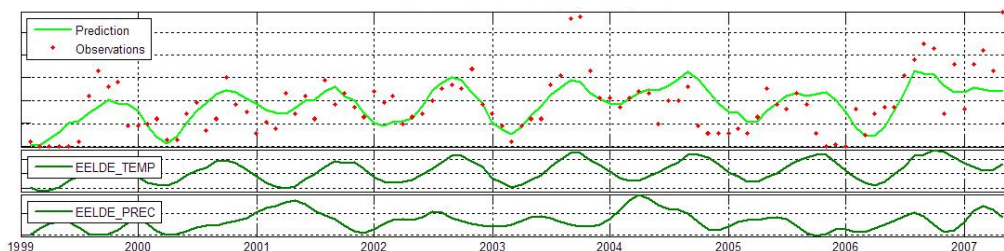
4.3 Tijdreeksanalyse met twee verklarende factoren

4.3.1 *Temperatuur plus verdamping*

Met temperatuur en verdamping als verklarende factoren wordt voor het oog een relatief passende fit bereikt. In de zomer van 2003 worden meer storingen waargenomen dan andere zomerperiodes. Deze extra grote piek is echter niet te verklaren met de temperatuur of verdamping; de pieken van deze factoren zijn ongeveer gelijk aan die van andere jaren. Slechts 29% van de storingen kan worden verklaard door temperatuur plus verdamping.

4.3.2 *Temperatuur plus neerslag*

De temperatuur plus neerslag als verklarende factoren geven een hogere verklaarde variantie dan bij temperatuur plus verdamping, namelijk 38,3%. De vorm van de curve komt in grove mate overeen met het verloop van de storingen (Figuur 10). Dit kan duiden op een relatie, maar geen eenduidige relatie, meerdere factoren spelen een rol.



Figuur 10. Tijdreeksanalyse met temperatuur plus neerslag als verklarende reeksen

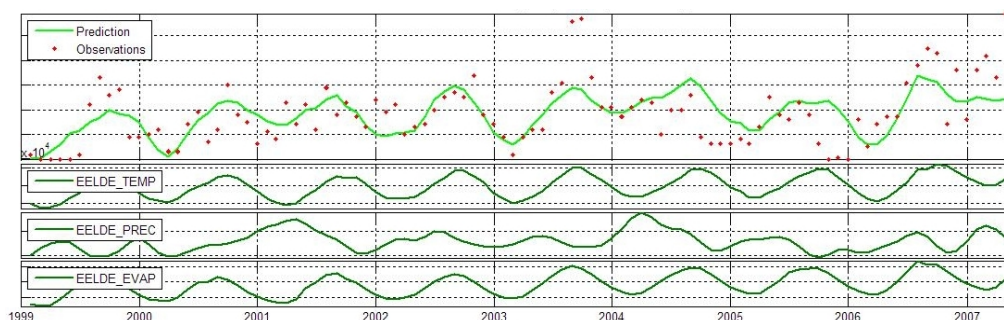
4.3.3 *Neerslag plus verdamping*

Neerslag plus verdamping, het neerslagoverschot of -tekort, als verklarende factoren geven een lage variantie, slechts 27,5% kan verklaard worden.

4.4 **Tijdreeksanalyse met meer dan twee verklarende factoren**

4.4.1 *Temperatuur plus neerslag plus verdamping*

Met drie factoren wordt een verklaarde variantie van 38,5 bereikt (Figuur 11). Dit is een kleine verbetering ten opzichte van de 2 factoren temperatuur en neerslag. Echter ook hier is de tijdreeks niet in staat alle pieken goed te verklaren. Er spelen blijkbaar ook andere factoren een rol.

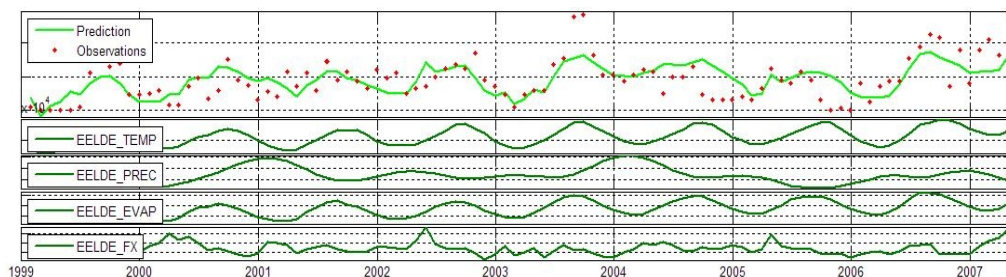


Figuur 11. Tijdreeksanalyse met drie verklarende reeksen (temperatuur, neerslag en verdamping)

4.4.2 *Temperatuur plus verdamping plus neerslag plus wind*

Vanwege het 'onderbuikgevoel' dat wind en stormen van invloed moeten zijn op storingen wordt wind toegevoegd als verklarende factor. De windgegevens zijn verkregen bij het KNMI. Er is gebruikt gemaakt van de

hoogste windstoot op een dag (in meter per seconde). Hiermee kunnen een aantal storingspieken worden verklaard, hetgeen ook blijkt uit de hogere variantie van 42,5% (Figuur 12). De variantie blijft echter nog steeds ruim onder de acceptabele verklaarde variantie van 70%.

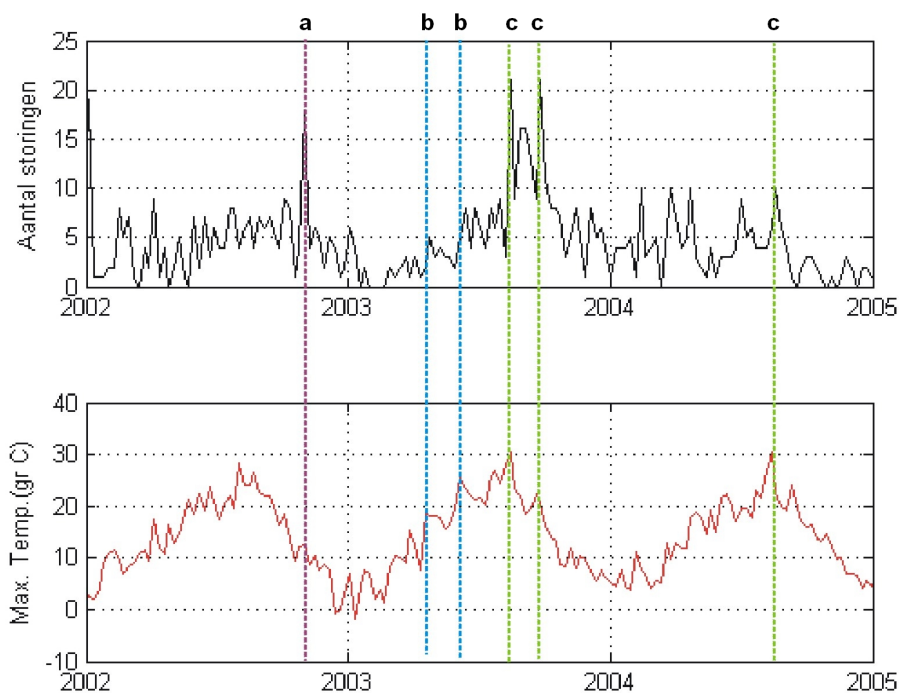


Figuur 12. Tijdreeksanalyse met behulp van temperatuur, verdamping, neerslag plus wind

4.5 Conclusie

Uit het resultaat van de tijdreeksmodellen komt naar voren dat factoren als maximum temperatuur, neerslag en verdamping slechts een beperkte invloed hebben op het verloop van de storingen. De grote uitschieters in storingen kunnen niet verklaard worden. De verklaarde variantie is bij alle tijdreeksmodellen beperkt. De hoogste verklaarde variantie (42,5%) wordt behaald door de vier weersfactoren temperatuur, verdamping, neerslag en wind samen als verklaring aan te dragen. Deze waarde blijft echter nog steeds ruim onder een acceptabele verklaarde variantie van 70%. Het optreden van storingen kan dus slechts gedeeltelijk worden verklaard uit de vier weersfactoren.

Het systeem dat de storingsgevoeligheid van het leidingnet bepaalt werkt waarschijnlijk niet lineair. Tijdens de grote storingspiek(en) van de zomer van 2003 wordt er geen evenredig hoge gemiddelde temperatuur- of verdampingspiek waargenomen. Van de zomer van 2003 is wel bekend dat deze een aantal hete perioden bevatte. In Figuur 13 is het storingsverloop (weekfrequentie) samen met de maximum temperatuur weergegeven. Enkele pieken in het storingspatroon komen overeen met de pieken in temperatuur (c). Dit patroon is echter niet consistent. Er zijn namelijk ook temperatuurpieken (b) die niet leiden tot een hoger dan gemiddelde storingsfrequentie of die slechts een heel klein storingspiekje laten zien. Ook vallen niet alle storingspieken samen met een hoge temperatuur; zie bijvoorbeeld in Figuur 13 de grote storingspiek van het najaar 2002 (a). Waarschijnlijk is deze piek het gevolg van de storm van oktober 2002.



Figuur 13. Storingsoverloop op weekfrequentie (bovenste figuur) en het verloop van de maximum temperatuur (onderste figuur). Lijn a representeert de grote storingspiek van het najaar van 2002. De lijnen gemarkeerd met een b zijn temperatuurpieken die niet leiden tot hogere dan gemiddelde storingsfrequentie en de lijnen met een c zijn pieken in temperatuurspieken die overeenkomen met pieken in het storingspatroon.

Er is zeer waarschijnlijk wel een causaal verband tussen (de omslag naar) een hoge temperatuur en het optreden van een storing, maar deze relatie is niet één op één lineair. Het stochastische karakter verklaart ook dat niet iedere extreme weersomstandigheid leidt tot extra storingen.

Het kan heel goed zijn dat indirecte factoren, die gekoppeld zijn aan een hoge temperatuur of een abrupte verandering in temperatuur, de oorzaak zijn van de storingen. Dit zou bijvoorbeeld het waterverbruik kunnen zijn, dat gedurende (het begin van) een warme periode toeneemt en voor grotere drukverschillen in het leidingnet kan zorgen.

5 Geografische omgevingsfactoren

5.1 Invloed van omgevingsfactoren

Een belangrijke oorzaak van het optreden van een storing kan liggen in geografische omgevingsfactoren. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan de soort ondergrond, omdat die van invloed is op de zettingsgevoeligheid. In dit hoofdstuk wordt gekeken of leidingen in verschillende soorten ondergrond een andere gevoeligheid voor weersfactoren vertonen. Er is niet gekeken naar een verschil in storingsfrequentie, omdat de gegevens over leidinglengte niet altijd beschikbaar waren.

5.2 Geocoderen

Voor het bepalen van geografische omgevingsfactoren is een zo nauwkeurig mogelijke locatie van de storing gewenst. In het storingsbestand van WMD wordt (zoals bij de meeste waterleidingbedrijven) echter alleen een globale locatieaanduiding bijgehouden. Momenteel zijn voor een storing alleen (beperkte) adresgegevens beschikbaar te weten: gemeente, woonplaats, straatnaam en eventueel huisnummer. In Bijlage II is de opbouw van de WMD storingendatabase weergegeven.

De locatie van een storing is daardoor in veel gevallen slechts een globale indicatie, waardoor een koppeling met omgevingsfactoren wordt bemoeilijkt.

Om de storingslocaties te converteren naar X- en Y-coördinaten zijn de adresgegevens gegeocodeerd. Een deel van de storingslijst, met gegevens van 2000 t/m 2005, is hiervoor omgezet en opgeschoond door foutief geschreven adresgegevens zoveel mogelijk te corrigeren en eventuele huisnummering (indien geregistreerd) toe te voegen. Aan het bedrijf Bridgis is gevraagd in hoeverre deze adressenlijst is om te zetten naar X- en Y-coördinaten.

In totaal bestaat de storingslijst uit 1347 registraties. Op basis van de onderstaande selectiecriteria zijn de volgende toewijzingen te behalen:

Selectie	Regels
• Gemeente + woonplaats + straatnaam + huisnummer	109
• Gemeente + straatnaam + huisnummer	128
• Gemeente + woonplaats + straatnaam	613
• Gemeente + straatnaam	197
• Gemeente	300
----- +	
Totaal	1347

Er zijn 300 storingregistraties waaraan geen X- en Y-coördinaat is toe te kennen, omdat de straatnaam niet wordt herkend door het systeem. Dit zal vooral komen door een foutieve of alternatieve schrijfwijze. Veel straatnamen zijn bijvoorbeeld niet uitgeschreven, maar bestaan uit namen met

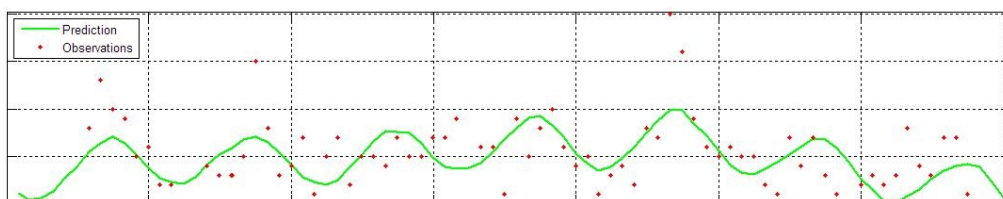
toevoegingen als 'Vaart ZZ' waarmee 'Vaart Zuidzijde' wordt bedoeld. Bridgis heeft de niet herkenbare straatnamen doorgegeven. Omdat correctie van deze adressen zeer arbeidsintensief is, is besloten deze storingregistraties niet mee te nemen.

5.3 Verdeling storingen op ondergrond

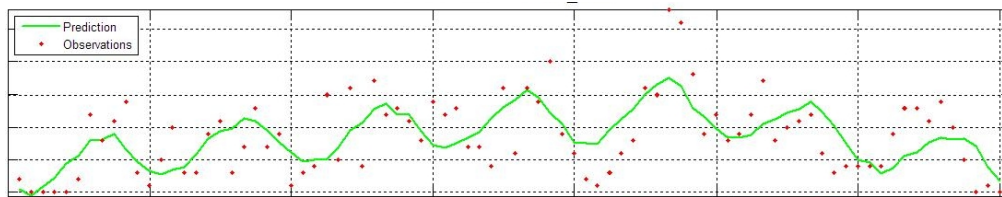
Aan alle storingregistraties waarin minimaal de combinatie gemeente, woonplaats en straatnaam is opgenomen, is door het bedrijf Bridgis een xy-coördinaat aan toegekend. Deze storingen zijn vervolgens met behulp van een Geografisch Informatie Systeem (GIS) ingedeeld naar ondergrond. Voor 497 storingen was het niet mogelijk een voldoende gedetailleerde XY locatie toe te kennen.

De populaties storingen op zand- en veengrond blijken groot genoeg om verder te analyseren. De populatie klei is met 3 storingen te klein om verdere analyse op uit te voeren. Voor de populaties zand en veen is het aantal storingen geclusterd per maand en daarna is met tijdreeksanalyse gekeken naar een verband met neerslag, temperatuur, verdamping en wind. Voor storingen op veen wordt een hogere variantie verwacht, omdat veenbodems in tegenstelling tot zandbodems gevoelig zijn voor inklinking. Inklinking kan er voor zorgen dat er spanning op de leiding komt te staan en kan daardoor leidingbreuk tot gevolg hebben.

De resultaten van de tijdreeksanalyse zijn te zien in Figuur 14 en Figuur 15. In tegenstelling tot de verwachting leveren de storingen op zandgrond een hogere variantie dan de storingen op veen (43,2% respectievelijk 37%). Voor de storingen op zandgrond betekent dit een iets grotere verklaarde variantie dan voor de set van alle storingen (Figuur 12). Beiden hebben echter nog steeds een variantie onder de acceptabele verklaarde variantie van 70%. N.B. deze verklaarde varianties zijn niet zonder meer te vergelijken met de verklaarde variatie van 42,5% uit §4.4.2 omdat in de analyse met bodem veel minder storingen zijn betrokken (namelijk slechts 63% van de storingen uit de periode 2000-2005).



Figuur 14. Tijdreeksanalyse met storingen op veen met behulp van temperatuur, verdamping, neerslag plus wind



Figuur 15. Tijdreeksanalyse met storingen op zandgrond met behulp van temperatuur, verdamping, neerslag plus wind

De beperkte variantie kan te maken hebben met de nauwkeurigheid van de geocodering. Nu is de locatie vaak slechts bekend op straatniveau. Voor verdere analyse is een zo nauwkeurig mogelijke storingslocatie gewenst. De voorkeur gaat uit naar exacte GPS-coördinaten. Eventueel kan ook gebruik gemaakt worden van 6-posities postcode + huisnummer. De 6-posities postcode heeft de voorkeur boven gemeente, woonplaats, straatnaam, omdat er minder kansen zijn op schrijffouten en daarmee resulteert in snellere dataverwerking, maar kan wel zorgen voor fouten indien het een hoekwoning betreft (leidingen voor en naast het huis).

Een andere complicatie is dat er sleufverbeteringen kan zijn toegepast. De leiding ligt dan in een andere soort grond dan de bodemkaart aangeeft. Bijvoorbeeld AC-leidingen die nu in een zandbedje liggen in plaats van in zure klei.

Een derde oorzaak is de mogelijkheid van een indirecte oorzaak die het optreden van storingen veroorzaakt. Of te wel: leidingen in veen zijn dus niet gevoeliger voor weersinvloeden dan leidingen in zand.

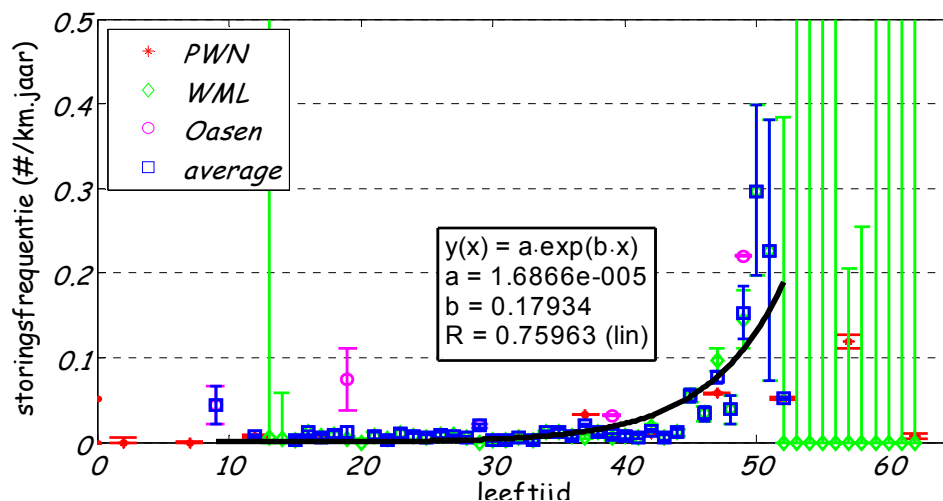
6 Leeftijd leidingen

6.1 Storingen en leeftijd

Kettler en Goulter vonden in 1985 een lineair verband tussen storingsfrequentie en de leeftijd van de AC-leidingen. Uit meer recente literatuur (Marshall, 2001, Kleiner & Rajani, 2002 en Hu & Hubble, 2007) blijkt echter, dat leeftijd niet bepalend hoeft te zijn voor de te verwachten levensduur van een (onder)deel van het leidingnet. Hu en Hubble (2005) laten in hun onderzoek zien dat leeftijd één van de factoren is, die een rol speelt bij het optreden van storingen in AC-leidingen.

Het onderzoek wijst verder uit dat ook andere factoren van invloed zijn op het falen van AC-leidingen, namelijk diameter, klimaat (temperatuur en neerslag), grondsoort en aanleg- en onderhoudsmethode.

Vloerbergh en Blokker hebben in het rapport "Statistische storingsanalyse; De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie" data van de Nederlandse drinkwaterbedrijven bekeken. Door de individuele datasets van Nederlandse waterbedrijven te combineren, kon regressieanalyse worden toegepast. Met de regressieanalyse hebben ze een exponentieel verband tussen leeftijd en storingsfrequentie voor AC leidingen aangetoond met een correlatie van 76% en een verklaarde variantie van 58% (zie Figuur 16).



Figuur 16. Storingsfrequentie afhankelijk van leeftijd AC-leidingen. Overgenomen uit Vloerbergh en Blokker (2007)

6.2 Indelen van de storingsdataset

Van de WMD storingsgegevens voor het jaar 2000-2005 zijn ook het jaar van aanleg van de leiding bekend. De storingen op een leiding zonder (of met een onrealistisch) jaar van aanleg zijn verwijderd. Dit zijn bijvoorbeeld storingen

op leidingen, die na 1994 zouden zijn gelegd, omdat er na 1994 naar alle waarschijnlijkheid geen asbestcement meer gelegd is.

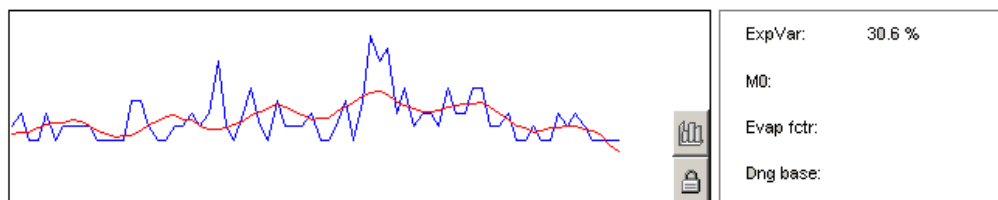
De uiteindelijke set van storingen is gecategoriseerd op leeftijd, met het jaar 2000 als referentiejaar. Volgens literatuur treden AC-storingen op wanneer de leeftijd circa tussen de 40 en 50 jaar ligt (Vloerbergh en Blokker, 2007). Er is daarom gekozen voor de volgende indeling:

<i>Leeftijd</i>	<i>Jaar van aanleg</i>	<i>Aantal storingen</i>
Jonger dan 30 jaar	1970-1994	15
30 - 40 jaar	1960-1969	112
Ouder dan 40 jaar	1939-1959	1133

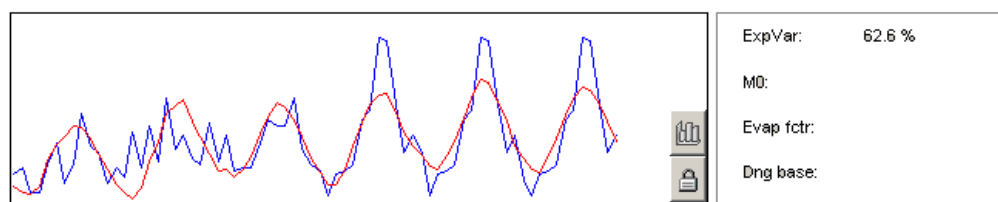
6.3 Tijdreeksanalyse

Zoals te zien in Figuur 16 is de kans op storingen bij leidingen met een leeftijd jonger dan 30 jaar gering. Bovendien bevat deze klasse slechts 15 storingen en is daarmee te klein voor verdere analyse. Voor de twee andere populaties is het aantal storingen geclusterd per maand en daarna is met tijdreeksanalyse gekeken naar een verband met neerslag, temperatuur, verdamping en wind.

Omdat de kans op storingen voor AC-leidingen het grootst is tussen de 40 en 50 jaar is deze groep ook het grootst. Wellicht zijn oudere leidingen gevoeliger voor weersinvloeden dan jongere leidingen. Hiervan uitgaande wordt dus een hogere correlatie verwacht voor de set leidingen ouder dan 40 jaar.



Figuur 17. Tijdreeksanalyse met storingen op leidingen tussen de 30 en 40 jaar oud



Figuur 18. Tijdreeksanalyse met storingen op leidingen ouder dan 40 jaar

De resultaten van de tijdreeksanalyse zijn te zien in Figuur 17 en Figuur 18.

Zoals verwacht leveren de storingen in leidingen ouder dan 40 jaar een hogere verklaarde variantie dan de storingen jonger dan 40 jaar. De

verklaarde variantie mag met 62,6% zeer redelijk genoemd worden, maar zit nog steeds onder de 70%. De storingen in leidingen tussen de 30-40 jaar hebben met een verklaarde variantie van 30,6% geen goede correlatie.

Deze varianties kunnen erop wijzen dat leidingen jonger dan 40 jaar minder gevoelig zijn voor weersinvloeden dan leidingen ouder dan 40 jaar. Andersom wijst de variantie van 62,6% erop dat het weer inderdaad van invloed is op het optreden van storingen in leidingen ouder dan 40 jaar. Mogelijke oorzaak hiervan is het verouderingsmechanisme uitlozing. Wanneer de leiding onderhevig is aan dit verouderingsmechanisme kunnen hoge drukken in het leidingnet, bijvoorbeeld als gevolg van mooi weer, een belangrijke factor zijn bij het optreden van storingen (Slaats en Mesman, 2004). Ook kan de omgeving van leidingen ouder dan 40 jaar sneller leiden tot een storing. Een voorbeeld daarvan is dat de kans op boomwortels rondom oudere leidingen groter is dan rondom jonge(re) leidingen, waardoor het omgaan van een boom sneller leidt tot een storing.

7 Discussie

Zonder categorisering van de storingsen blijft de verklaarde variantie bij alle tijdreeksmodellen beperkt. Door de vier factoren temperatuur, verdamping, neerslag en wind als verklaring aan te dragen wordt de hoogste verklaarde variantie behaald (42,5%). Verdamping draagt maar zeer beperkt bij. Aan het totaal. Deze waarde van 42,5% blijft echter nog steeds ruim onder een acceptabele verklaarde variantie van 70% en wijst daarmee wel op een relatie, maar niet op eenduidige relatie.

Wanneer de storingsen worden gecategoriseerd naar ondergrond (zand en veen) blijft de variantie beperkt. De oorzaak hiervoor kan liggen aan de nauwkeurigheid van de geocodering. De locatie van een storing is vaak slechts bekend op straatniveau. Voor analyse is een zo nauwkeurig mogelijke storingslocatie gewenst. De voorkeur gaat uit naar exacte GPS-coördinaten. Eventueel kan ook gebruik gemaakt worden van 6-posities postcode + huisnummer. De 6-posities postcode heeft de voorkeur boven gemeente, woonplaats, straatnaam, omdat er minder kansen zijn op schrijffouten en daarmee resulteert in snellere dataverwerking, maar kan wel zorgen voor fouten indien het een hoekwoning betreft (leidingen voor en naast het huis).

Sleufverbetering kan een oorzaak zijn voor het beperkte verschil in verklaarde variantie door weersfactoren voor zand en veen. Wanneer sleufverbetering is toegepast ligt de leiding in een andere soort grond dan de bodemkaart aangeeft. Bijvoorbeeld AC-leidingen die nu in een zandbedje liggen in plaats van in zure klei. Wanneer in een vervolgonderzoek gebruik gemaakt wordt van gegevens over ondergrond is het van belang dat gegevens over sleufverbetering meegenomen worden. Deze gegevens zijn nu niet in het LIS of storingsdatabase opgenomen.

Omdat de verklaarde variantie tussen storingsen en het weer (temperatuur, neerslag, verdamping en wind) in alle gevallen nog steeds onder de 70% grens ligt, zou het kunnen dat ook indirecte factoren die gekoppeld zijn aan weersinvloeden een rol spelen bij het optreden van storingsen. Dit zou bijvoorbeeld het waterverbruik kunnen zijn, dat gedurende (het begin van) een warme periode toeneemt en voor grotere drukverschillen in het leidingnet kan zorgen. De verbruiksgegevens en drukgegevens op dagbasis van verschillende pompstations kunnen worden toegevoegd als verklarende factoren in de tijdreeksanalyse.

Wanneer de storingsen worden gecategoriseerd naar leeftijd van leidingen is er een variantie van 62,6%. Dit wijst er op dat leidingen jonger dan 40 jaar minder gevoelig zijn voor weersinvloeden dan leidingen ouder dan 40 jaar. Mogelijke oorzaak hiervoor zijn uitloging en langere invloed van omgevingsfactoren door de grotere tijdspanne (zoals meer wortelvorming en meer grondverzakking). Uit eerder onderzoek is gebleken dat AC-leidingen ouder dan 40 jaar zwakker zijn (vaker storen). Dat deze zwakkere leidingen vaker storen ten gevolge van (extreme) weerstandigheden geeft de

mogelijkheid om deze storingen als waarschuwing te gebruiken. Wanneer AC-leidingen in de buurt van bomen bij stormen blijken te storen geeft dit een aanwijzing voor de verzwakking van soortgelijke leidingen die mogelijk niet in de buurt van bomen liggen. Voor leidingen van andere materiaalsoorten (waar leeftijd minder duidelijk een relatie met de conditie van de leiding heeft) kunnen dit type storingen ook helpen om de zwakkere leidingen te identificeren.

Omdat storingen regelmatig pas één of meerdere weken na het optreden van de storing ontdekt en geregistreerd worden is het niet eenvoudig een statistisch verband te leggen tussen storing en oorzaak. Regelmatige evaluatie van reeds geregistreerde data kan tijdig vergelijkbare, maar ook andere afwijkingen van de gewenste situatie aan het licht brengen en daardoor het onderzoek verbeteren.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Zonder categorisering van de storingsen naar ondergrond of leeftijd blijft de verklaarde variantie tussen storingsen in AC-leidingen en weersfactoren (temperatuur, neerslag, verdamping en wind) bij alle tijdreeksmodellen beperkt tot 42,5%. Wanneer de storingsen worden gecategoriseerd naar ondergrond (zand en veen) blijft de variantie beperkt; leidingen in veen zijn niet gevoeliger voor weersinvloeden dan leidingen in zand. Wanneer de storingsen worden gecategoriseerd naar leeftijd van leidingen is er wel een duidelijk verschil in variantie; dit wijst er op dat leidingen jonger dan 40 jaar minder gevoelig zijn voor weersinvloeden dan leidingen ouder dan 40 jaar.

De verklaarde variantie tussen storingsen en het weer (temperatuur, neerslag, verdamping en wind) ligt in alle gevallen onder de 70%. Dit kan duiden op invloed van andere factoren, zoals waterverbruik.

Storingsen bieden bedrijven belangrijke informatie over de status van het leidingnet. Een storing is daarmee een *early warning* systeem voor het afnemen van de kwaliteit van een leiding.

8.2 Aanbevelingen

Gebruik de informatie die storingsen bieden. Gebruik storingsen als een *early warning* systeem voor de kwaliteit van het leidingnet.

Wanneer in een vervolgonderzoek gebruik gemaakt wordt van gegevens over ondergrond is het van belang dat gegevens over sleufverbetering meegenomen worden. Voor verdere analyse is het van belang zo nauwkeurig mogelijk de locatie van de storing te weten. De voorkeur gaat uit naar exacte GPS-coördinaten. Eventueel kan ook gebruik gemaakt worden van 6-posities postcode + huisnummer.

In een vervolgonderzoek is het interessant om meer te concentreren op indirecte factoren als oorzaak voor het falen van leidingen. Voorbeelden voor vervolgonderzoek kunnen zijn het aantonen van een relatie tussen storingsen en waterverbruik of tussen storingsen en druk in het leidingnet.

Regelmatige evaluatie van geregistreerde storingsdata kan tijdig afwijkingen aan het licht brengen en daardoor het onderzoek verbeteren. Voor verdere aanbevelingen voor het registreren van storingsen wordt verwezen naar het rapport "Statistische storingsanalyse; De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie" (Vloerbergh en Blokker, 2007). Door eens per kwartaal een zogenaamde hot-spot-analyse te doen kunnen storingsen ten gevolge van stormen of andere bekende oorzaken gemakkelijker in de storingsdatabase worden opgenomen.

9 Referenties

Bierkens, Knotters & Geer, van (1999); "Tijdreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meetfrequenties"; Wageningen University and Researchcenter, Wageningen, The Netherlands; Download via: http://library.wur.nl/wasp/bestanden/LUWPUBRD_00311286_A502_001.pdf

Gat, Le & Eisenbeis (2000); "Using maintenance records to forecast failures in water networks"; *Urban Water*, Volume 2, Number 3, pp. 173-181;

Hu & Hubble (2007); "Factors contributing to the failure of asbestos cement water mains"; National Research Council Canada, Regina, Canada;

Kettler, A. J. & Goulter, I. C. (1985) – "An analysis of pipe breakage in urban water distribution networks"; *Canadian Journal of Civil Engineering*, Volume 12, pp. 286-293;

Kleiner, Y. & Rajani, B. (1999); "Using limited data to assess future needs"; *Journal of the American Water Works Association (AWWA)*, Volume 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

Marshall (2001); "Understanding burst rate patterns of water pipes"; United Kingdom Water Industry Research (UKWIR), London, England; report ref. no.: 01/WM/02/16;

Slaat en Mesman (2004); "Conditiebepaling asbestcement waterleidingen – wanddikte, belastingen-"; BTO-rapport 2003.039, Kiwa N.V., Nieuwegein, The Netherlands

Vloerbergh en Blokker (2007); "Statistische storingsanalyse; De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie"; BTO-rapport 2007.043, Kiwa Water Research, Nieuwegein, The Netherlands

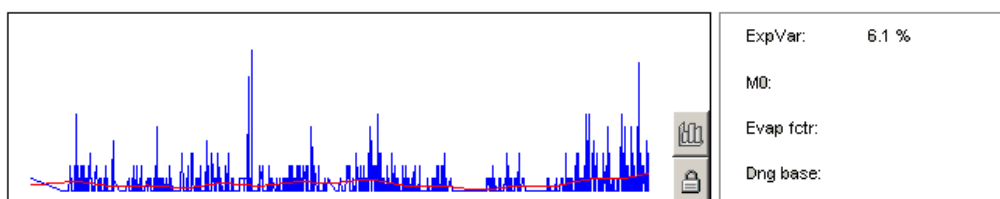
Von Asmuth (2008); "Kiwa waterware presenteert: Menyanthes" (Leaflet); Kiwa Water Research, Nieuwegein, The Netherlands

Bijlage I Lijst van Figuren

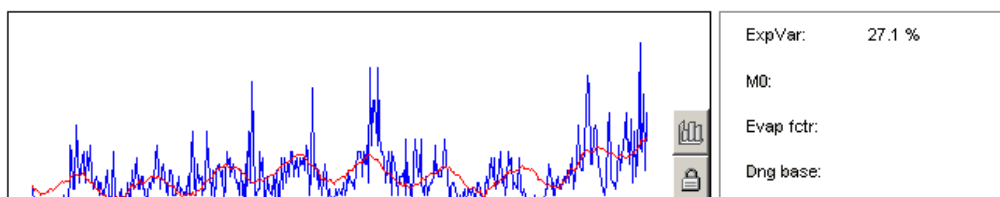
Figuur 1. Bijdrage aan storingen gerangschikt per maand, werkelijke percentages, minimum en maximum over de periode 2000-2006. In januari vindt gemiddeld 6% van de storingen plaats (minimaal 4% en maximaal 9%).	10
Figuur 2. Storingen in AC-leidingen gesommeerd per week over de periode 2000 - 2006	11
Figuur 3. Het aantal storingen in het leidingnet in relatie tot de mogelijk verklarende factoren maximum temperatuur en neerslag (weekfrequentie, KNMI station Eelde) voor de periode 2000-2007.	12
Figuur 4. Storingen in januari 2007	13
Figuur 5. Nieuwsbericht over een mogelijk verband tussen stormen en storingen.	14
Figuur 6. Storingen t.o.v. neerslag overschot/tekort in 2003	15
Figuur 7. Storingen t.o.v. neerslag overschot/tekort in 2006	15
Figuur 8. Storingen t.o.v. neerslag overschot/tekort in 2005	16
Figuur 9. Tijdreeksanalyse met temperatuur als verklarende reeks.	18
Figuur 10. Tijdreeksanalyse met temperatuur plus neerslag als verklarende reeksen	19
Figuur 11. Tijdreeksanalyse met drie verklarende reeksen (temperatuur, neerslag en verdamping)	19
Figuur 12. Tijdreeksanalyse met behulp van temperatuur, verdamping, neerslag plus wind.	20
Figuur 13. Storingsverloop op weekfrequentie (bovenste figuur) en het verloop van de maximum temperatuur (onderste figuur). Lijn a representeert de grote storingspiek van het najaar van 2002. De lijnen gemarkeerd met een b zijn temperatuurpieken die niet leiden tot hogere dan gemiddelde storingsfrequentie en de lijnen met een c zijn pieken in temperatuurspieken die overeenkomen met pieken in het storingspatroon.	21
Figuur 14. Tijdreeksanalyse met storingen op veen met behulp van temperatuur, verdamping, neerslag plus wind	25
Figuur 15. Tijdreeksanalyse met storingen op zandgrond met behulp van temperatuur, verdamping, neerslag plus wind	25
Figuur 16. Storingsfrequentie afhankelijk van leeftijd AC-leidingen. Overgenomen uit Vloerbergh en Blokker (2007)	27
Figuur 17. Tijdreeksanalyse met storingen op leidingen tussen de 30 en 40 jaar oud	28
Figuur 18. Tijdreeksanalyse met storingen op leidingen ouder dan 40 jaar	28
Figuur 19. Tijdreeksanalyse op dagbasis	39
Figuur 20. Tijdreeksanalyse op weekbasis	39

Bijlage II Tijdreeksanalyse week- en dagbasis

Hieronder staan de resultaten van een tijdreeksmodel van metingen op weekfrequentie en één op dagfrequentie weergegeven. Voor deze reeksen zijn temperatuur, verdamping en neerslag als verklarende reeksen gebruikt. De verklarende variantie (ExpVar) is voor storingen op dag- en weekbasis respectievelijk 6,1% en 27,1%. Ter vergelijking: de verklarende variantie van storingen op maandbasis is 38,5%.



Figuur 19. Tijdreeksanalyse op dagbasis



Figuur 20. Tijdreeksanalyse op weekbasis

Bijlage III Storingsdatabase

Hieronder staat een deel van het storingsbestand zoals aangeleverd door WMD.

Segment					
SG_ID	SG_Locatie	SG_Diameter	SG_Aanleg	SG_Lengte	SG_Toelichting
1966	Elp, Schoonloerweg, Midden Drenthe	100	1957	2256	
1967	Hooghalen, Asserstraat, Midden Drenthe	125	1957	2730	
1968	Beilen, Smalbroek, Midden Drenthe	200	1956	2398	
1969	Beilen, Violenstraat, Midden Drenthe	200	1960	200	
1970	Witteveen, J.B. Kanweg, Midden Drenthe	100	1955	3000	
1971	Mantinge, Steendervalsweg, Midden Drenthe	100	1955	2000	3-9-1999 / lg 2850 mtr
1972	Hijken, Vorrelveenseweg, Midden Drenthe	100	1961	4674	
1973	Beilen, Patrijslaan, Midden Drenthe	100	1969	154	Vervangen tussen 2000 - 2004
1974	Hooghalen, Laaghalerstraat, Midden Drenthe	125	1957	344	
1975	Hooghalen, De Drift, Midden Drenthe	100	1957	131	
1976	Hooghalen, Hoofdstraat, Midden Drenthe	125	1957	760	
1977	Koekange, Ruinerweg, De Wolden	100	1957	3480	nabij nr. 55
1978	Weerwille, Weerwilleweg, De Wolden	200	1953	922	23-5-2000 /
1979	De Wijk, Commissieweg, De Wolden	150	1953	2380	1-9-2000 / nabij 7

Bijlage IV Statistiek

In het onderzoek is gebruik gemaakt van tijdreeksanalyse. Het gebruikte resultaat van een tijdreeksanalyse is het percentage verklaarde variantie. In veel onderzoeken draait het om de vraag hoe goed en met welke variabelen je Y kunt voorspellen. Het percentage verklaarde variantie geeft aan hoe goed de Y kan worden verklaard uit X. Het streven is daarom naar een zo hoog mogelijke verklaarde variantie.

Een hoge verklaarde variantie betekent dat variaties in het optreden van storingen goed verklaard voor een groot deel zijn toe te schrijven aan de gebruikte factoren, en dat er weinig andere invloeden zijn.

Een lage verklaarde variantie betekent dat het optreden van storingen slechts voor een klein deel zijn toe te schrijven aan de gebruikte factoren, en dat er buiten de gebruikte verklarende factoren andere factoren zijn die het proces beïnvloeden. Lage verklaarde varianties kunnen ook voortkomen uit slecht geregistreerde factoren (X) of storingen (Y).

In dit onderzoek is aangenomen dat een verklaarde variantie boven de 70% goed is; dat wil zeggen dat een eenduidige relatie bestaat tussen de verklarende factoren en de storingen.