



Kim van Daal, KWR Water Research Institute

Mirjam Blokker, KWR Water Research Institute / TU Delft

Petra Holzhaus, Waterleiding Maatschappij Drenthe

Dré Hendriks, Waterleiding Maatschappij Limburg

# Storingen als early warning systeem voor conditie van leidingnetten

**Storingen aan het leidingnet kosten geld, leiden tot ondermaatse leveringsminuten en kunnen het imago van een waterbedrijf schaden. Maar storingen leveren ook informatie over de conditie van het leidingnet; ze vormen als het ware een *early warning system*. Op basis van deze informatie kunnen waterbedrijven het onderhoud van het leidingnet beter inrichten. Storings- en leidingsgegevens van AC-hoofdleidingen in Drenthe en Limburg zijn gebruikt om bijvoorbeeld de relatie met weersomstandigheden, bodem en leeftijd van de leidingen te onderzoeken.**



Het drinkwaterdistributienet in Nederland heeft te maken met storingen die kunnen leiden tot ongewenste situaties, zoals onderbrekingen of drukverlies. Om deze storingen tegen te gaan of hun invloed te beperken, is het belangrijk te weten welke factoren hierbij een rol kunnen spelen. Uit materiaalonderzoek<sup>5)</sup> en onderzoek uit onder meer Canada aan de hand van storingsdatabestanden<sup>3)</sup> blijkt dat leeftijd, grondsoort (pH van de bodem) en weersfactoren (temperatuur, neerslag en

verdamping) een rol spelen bij het optreden van storingen in AC-leidingen.

Alle waterbedrijven registreren sinds een aantal jaren hun storingen, maar er worden nog weinig analyses uitgevoerd op de zo gevormde databanken. Binnen het bedrijfstakonderzoek van de waterbedrijven is onderzocht met welke analysemethoden meer te halen is uit de huidige storingsregistratie. Zes drinkwaterbedrijven hebben daarvoor een deel van hun storingsdata en

informatie over hun leidingnet beschikbaar gesteld. Hiermee is getest welke van de beschikbare analysemethoden toepasbaar zijn op de aangeleverde storingsdata en leidingnetinformatie.

Storingsanalyse kan op verschillende niveaus worden uitgevoerd. De beschikbare methoden hebben drie basismodellen: beschrijvende statistiek, regressieanalyse en kansberekeningsmodellen. De eerste twee typen modellen worden gebruikt voor groepen leidingen (ingedeeld bijvoorbeeld op basis van materiaal en diameter); het derde wordt gebruikt om uitspraken te kunnen doen over een individuele leiding.

Beschrijvende statistiek kan worden toegepast op elke onderzochte storingsdatabank en geeft bedrijfs- of regio specifieke informatie: welke groepen leidingen storen het meest? Wanneer treden de meeste storingen op en welke storingsoorzaak komt het vaakst voor? Regressieanalyse biedt meer informatie dan de beschrijvende statistiek en kan worden gebruikt om het storingsverloop van (groepen in) het leidingnet te voorspellen. Om regressieanalyse toe te kunnen passen op storingsgegevens, moeten deze gegevens wel aan enkele voorwaarden voldoen: de waarden van de variabelen moeten bij voorkeur in te delen zijn in standaard antwoordcategorieën en van alle variabelen waarover men uitspraak wil doen, moet bekend zijn wat de totale lengte is van leidingen met die specifieke

kenmerken of in die omstandigheden. Niet elke storingsdatank leent zich daarom voor het doen van regressieanalyse.

Kansberekeningsmodellen kunnen nu nog niet worden toegepast, omdat de achterliggende verouderingsmodellen nog niet bekend zijn en omdat geregistreerde storingen meestal niet aan individuele leidingen kunnen worden toebedeeld als gevolg van de wijze waarop wordt geregistreerd. Uit eerder onderzoek<sup>(2),(6)</sup> bleek dat regressieanalyse, indien toepasbaar, zeer bruikbare informatie geeft over het optreden van storingen in bepaalde groepen leidingen. In dit artikel gaan we in op de regressieanalyse van storingen in AC-leidingen met als verklarende factoren leeftijd en weersinvloeden.

### Regressieanalyse

Regressieanalyse is een statistische techniek voor het analyseren van gegevens waarin (mogelijk) sprake is van een specifieke samenhang, aangeduid als regressie.

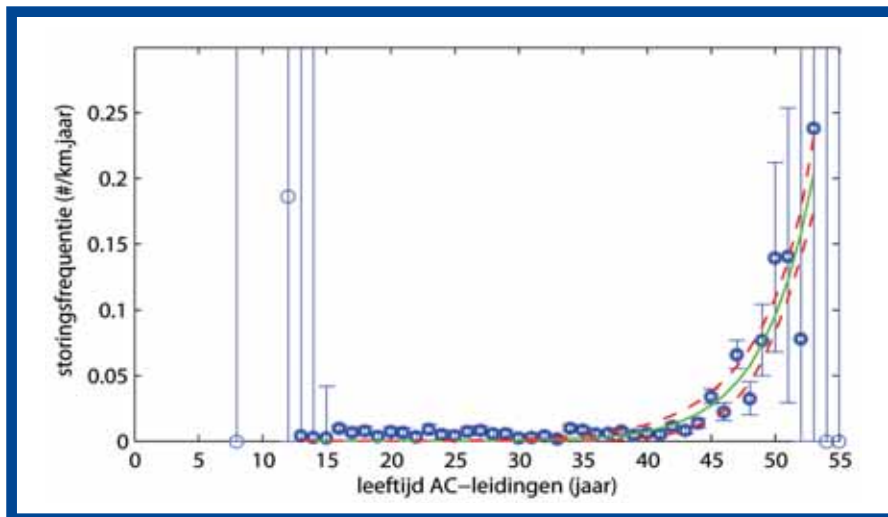
In eerste instantie is gekeken naar het statistische verband tussen storingsfrequentie en ligingsduur van de leidingen. Om de samenhang tussen storingen in het leidingnet enerzijds en temperatuur, neerslag, verdamping en wind anderzijds te bepalen, is tijdreeksanalyse gebruikt<sup>(1),(7)</sup>. In deze studie zijn tijdreeksanalyses gedaan met het programma Menyanthes<sup>(8)</sup>. Verschillende tijdreeksmodellen zijn gemaakt, waarbij gevarieerd is met het aantal verklarende factoren. Bij regressieanalyse betekent een verklaarde variantie van meer dan 70 procent dat uit een factor (of set van factoren) het optreden van storingen goed kan worden voorspeld.

### Storingsdata WML

De storingsdata van WML (900 spontane storingen op hoofdleidingen in de periode 2003 t/m 2006) lenen zich, in combinatie met de bijbehorende leidinginformatie, zeer goed voor regressieanalyse, omdat alle categorieën in de storingsdatabank consequent zijn ingevuld en omdat de lengte en het jaar van aanleg bekend zijn voor alle leidingen.

Een regressieanalyse op basis van leeftijd laat het volgende zien<sup>(6)</sup>:

- Bij AC-leidingen bestaat een duidelijke relatie met de leeftijd van de leiding. Na 40 jaar is er een exponentiële toename van de storingsfrequentie (zie afbeelding 1);
- Bij pvc-leidingen bestaat geen duidelijke relatie met de leeftijd. Pvc-leidingen zijn nog relatief jong (grotendeels jonger dan 40 jaar). Wellicht dat met de toename van de leeftijd ook de relatie tussen leeftijd en storingen duidelijker zal worden. De storingsfrequentie is lager dan 0,05 per kilometer per jaar;
- Bij gietijzeren en stalen leidingen is de relatie met de leeftijd niet helemaal duidelijk. Deels komt dit doordat de slechte leidingen al voor 2000 vervangen zijn zonder dat de informatie daarover in de storingsdatabank is beland. Ook is de kwaliteit bij aanleg niet altijd constant



**Afb. 1: Relatie tussen leeftijd van AC-leidingen en storingsfrequentie. De storingsfrequentie is berekend door het aantal storingen op leidingen van een bepaalde leeftijd te delen door het totaal aantal kilometers van die leeftijd (de cirkels) en door het aantal storingen +/- een storing te delen op het totaal aantal kilometers (de foutenmarges). De groene lijn is de gefitte exponentiële functie met in rood het 95% betrouwbaarheidsinterval. De verklaarde variantie is 87% en significant.**

geweest; er is bijvoorbeeld een verschil in storingsverloop tussen vooroorlogs en naoorlogs staal. De storingsfrequentie ligt lager dan 0,1 per kilometer per jaar.

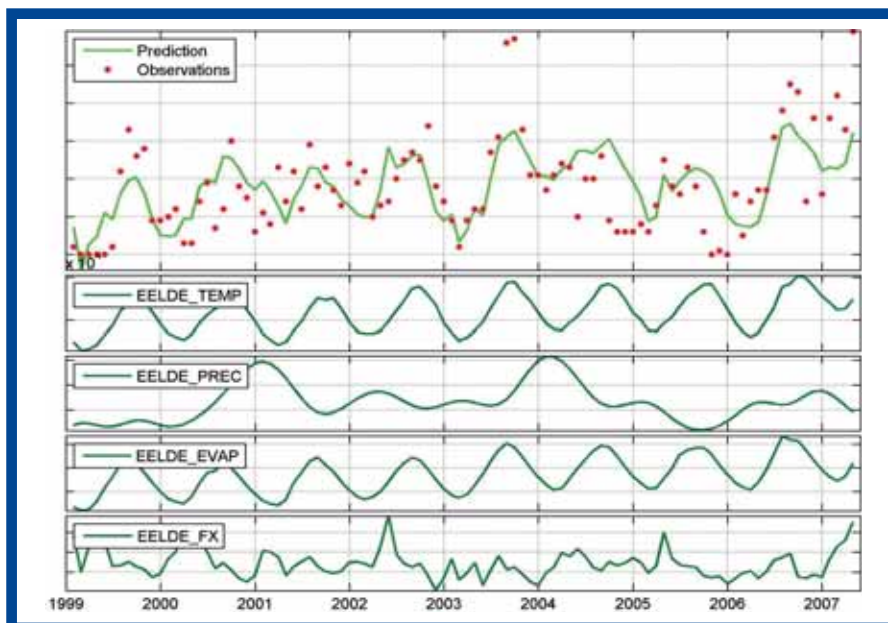
### Storingsdata WMD

WMD heeft de storingen op AC-leidingen sinds 2000 opgenomen in het Kennissysteem levensduurbepaling. Het gaat om 1.512 spontane storingen op AC-leidingen in de periode 2000 t/m 2006; dit zijn de storingen die niet door derden (bijvoorbeeld aannemers) zijn veroorzaakt. Voor de tijdreeksanalyse is gebruik gemaakt van daggegevens voor neerslag, verdamping, temperatuur en wind van waarnemingsstation Eelde, afkomstig van het KNMI (neerslag, temperatuur en wind) en Meteo Consult (verdampingsgegevens). Het betreft de maximumtemperatuur, de neerslag in een etmaal, de verdamping per dag en de hardste windstoot op een dag.

De regressieanalyse is gedaan met storingsgegevens op maandbasis. Van de weergegevens zijn de maandsommen genomen. De analyse laat het volgende zien<sup>(2)</sup>: op basis van één factor bedraagt de verklaarde variantie minder dan 30 procent, op basis van twee factoren minder dan 40 procent en op basis van vier factoren 42,5 procent (zie afbeelding 2).

Weersfactoren alleen verklaren het storingsverloop dus niet voldoende. De gevonden waarden zitten ruim onder een acceptabele verklaarde variantie van 70 procent en wijzen 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. Met name grote uitschieters in storingen kunnen niet worden verklaard door de weersfactoren. Dat geen directe relatie gevonden wordt tussen het optreden

**Afb. 2: Tijdreeksanalyse van storingen op AC-leidingen op basis van vier verklarende factoren: temperatuur, neerslag, verdamping en wind.**



van storingen en weersfactoren, wordt deels veroorzaakt doordat een niet-lineaire relatie bestaat tussen weersfactoren en storingen, maar kan ook het gevolg zijn van de indirecte invloed van het weer op storingen. Een hoge temperatuur leidt bijvoorbeeld tot hoger verbruik, wat een effect heeft op de druk waardoor mogelijk de interne belasting van de leiding te hoog wordt. Een ander deel van de beperkte verklaarde variantie van de weersfactoren is dat er ook nog andere zaken zijn die de storingen kunnen beïnvloeden, bijvoorbeeld bodemsoort, verkeersbelasting en leeftijd van de leiding(groep).

Uit de literatuur blijkt dat bodemsoort een belangrijke relatie heeft met de storingskans. In veen wordt een grotere mate van uitwendige aantasting (uitloging) van AC-leidingen verwacht dan in minder zure bodems. Daarnaast zijn in veen de zettingen van de grond groter dan in zand. De zettingen in veen hangen samen met inklinking; daarom wordt verwacht dat weersfactoren een grotere invloed hebben op storingen in leidingen in veen dan in zand. Dezelfde tijdreeksanalyse is daarom nogmaals uitgevoerd om de invloed van de bodem te onderzoeken. Daartoe zijn de storingen op basis van adreslocatie en een geografisch informatiesysteem ingedeeld op basis van bodemsoort. Dat leverde twee populaties op, namelijk voor storingen van leidingen in zand en in veen. Het aantal storingen van leidingen in klei bedroeg slechts drie en daarmee te weinig om verder te analyseren.

De regressieanalyse op basis van de vier weersfactoren + zandbodem leverde een verklaarde variantie op van 43,2 procent, die op basis van de vier weersfactoren + veenbodem 37 procent.

De verklaarde variantie ligt voor beide bodemsoorten onder de acceptabele verklaarde variantie van 70 procent. Bovendien is deze voor beide groepen vrijwel gelijk. Door de beperkte nauwkeurigheid

van de storingslocatie, waardoor de toegekende bodemsoort wellicht niet juist is, en het feit dat sleufverbetering kan zijn toegepast, zodat de leiding eigenlijk in een zandbed ligt, kan slechts een voorzichtige conclusie worden getrokken: mogelijk zijn leidingen in veenbodem niet gevoeliger voor weersinvloeden dan leidingen in zandbodem.

### Synthese

Uit de data van Waterleiding Maatschappij Limburg blijkt dat AC-leidingen ouder dan 40 jaar zwakker zijn. Om te testen of deze groep ook meer beïnvloed wordt door weersinvloeden, voeren we de tijdreeksanalyse op de data van Waterleiding Maatschappij Drenthe nogmaals uit, ditmaal op twee deelverzamelingen: leidingen tussen 30 en 40 jaar (112 storingen) en leidingen ouder dan 40 jaar (1.133 storingen). De kans op storingen bij leidingen jonger dan 30 jaar is gering. Bovendien zijn in deze klasse slechts 15 storingen geregistreerd, te weinig voor verdere analyse. Voor de twee deelpopulaties (leidingen tussen 30 en 40 jaar en leidingen ouder dan 40 jaar) is met tijdreeksanalyse gekeken naar een verband met neerslag, temperatuur, verdamping en wind<sup>2</sup>. Leidingen tussen de 30 en 40 jaar oud + regressieanalyse op basis van vier factoren leveren een verklaarde variantie op van 30,6 procent; leidingen ouder dan 40 jaar + regressieanalyse op basis van vier factoren 62,6 procent (zie afbeelding 3).

Daarmee komt de verklaarde variantie voor de oudere leidingen in de buurt van de 70 procent. Dit wijst op een duidelijke invloed van weersfactoren op het storingsverloop.

### Discussie

Jongere AC-leidingen (< 40 jaar) storen relatief minder vaak en de weersfactoren temperatuur, neerslag, verdamping en wind hebben een zeer beperkte invloed op de storingen. AC-leidingen ouder dan 40 jaar storen vaker en vaker onder invloed van

weersfactoren. Een mogelijke verklaring is dat AC-leidingen onderhevig zijn aan het verouderingsmechanisme uitloging. Bij verzwakte leidingen kunnen hoge drukken in het leidingnet, bijvoorbeeld bij verhoogde afname bij hoge temperaturen, een belangrijke factor zijn bij het optreden van storingen<sup>5</sup>. Dat deze zwakkere leidingen vaker storen ten gevolge van (extreme) weersomstandigheden geeft de mogelijkheid om deze storingen te gebruiken als indicatie voor de afgenomen conditie van deze leidingen. 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, volgens het principe van een *early warning*-systeem. Leidingen die dicht bij bomen liggen en ten gevolge van hevige stormen gaan storen, kunnen zo informatie geven over soortgelijke leidingen die niet in de buurt van bomen liggen, maar in de tijd wel een gelijke conditieverandering hebben ondergaan ten gevolge van inwendige of uitwendige belasting. Nu de verschillende klimaatscenario's van het KNMI<sup>4</sup>) aangeven dat in 2050 de temperatuur in de winter en zomer toeneemt met respectievelijk 0,9 tot 2,3°C en 0,9 tot 2,8°C, is een dergelijk *early warning*-systeem geen overbodige luxe. De neerslag zal in de winter toenemen en in de zomer (volgens de meeste scenario's) waarschijnlijk afnemen. Daarmee neemt de potentiële verdamping in de zomer toe. Het totaal aantal stormen zal gelijk blijven, maar de zwaarte van zware stormen kan in de winter wel toenemen. Met een verouderend leidingnet en extremere weersomstandigheden kan ook de storingskans toenemen.

### LITERATUUR

- 1) Bierkens M., M. Knotters en F. van Geer (1999). Tijdreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meefrequenties. Wageningen Universiteit en Research Centrum.
- 2) Van Daal K. (2008). Relatie tussen storingen AC-leidingen en het weer. Tijdreeksanalyse van storingen in het leidingnet van WMD. Kiwa Water Research. BTO-rapport 2008.006.
- 3) Hu Y. en D. Hubble (2007). Factors contributing to the failure of asbestos cement water mains. Can. J. Civ. Eng. 34, pag. 608-621.
- 4) KNMI (2006). Klimaat in de 21e eeuw: vier scenario's voor Nederland.
- 5) Slaats N. en G. Mesman (2004). Conditiebepaling asbestcement waterleidingen -wanddikte, belastingen-. Kiwa Water Research. BTO-rapport 2003.039.
- 6) Vloerbergh I. en M. Blokker (2007). Statistische storingsanalyse, de mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie. Kiwa Water Research. BTO-rapport 2007.043.
- 7) Von Asmuth J., M. Bierkens en C. Maas (2002). Transfer function noise modeling in continuous time using predefined impulse response functions. Water Resources Research nr. 12, pag 23.
- 8) Von Asmuth J., C. Maas en D. Cirkel (2004). Tijdreeksanalyse van grondwaterstanden nu binnen ieders bereik. H<sub>2</sub>O nr. 24, pag. 31-33.

**Afb. 3:** Tijdreeksanalyse van storingen op AC-leidingen die ouder zijn dan 40 jaar op basis van vier verklarende factoren: temperatuur, neerslag, verdamping en wind.

