

UKNOW: ondersteuning bij saneringsbeslissingen

Jojanneke van Vossen, Andreas Moerman, Ralph Beuken, Mirjam Blokker (KWR Watercycle Research Institute)

Een van de belangrijkste vraagstukken voor assetmanagement van het leidingnet is wanneer welke leiding vervangen moet worden. Een leiding in goede conditie te vroeg vervangen is een vorm van kapitaalvernietiging, een leiding in slechte conditie te laat vervangen kan een forse kostenpost veroorzaken. Daarom gebruiken drinkwaterbedrijven beslissingsondersteunende software. Deze software heeft informatie nodig over het risico van falen. De informatiearchitectuur UKNOW brengt overzicht in de beschikbare informatie, geeft de samenhang tussen verschillende databronnen weer en brengt onzekerheden in beeld. Hiermee kunnen drinkwaterbedrijven betere input voor beslissingsondersteunende softwarepakketten creëren, om beslissingen beter te kunnen onderbouwen.

Drinkwaterbedrijven stellen zich als doel een hoge prestatie tegen zo laag mogelijk maatschappelijke kosten. Een aanzienlijk deel van het leidingnet is naar verwachting de komende decennia aan vervanging toe, wat bij ongewijzigd beleid leidt tot een toename van saneringen. Om deze vervangingsopgave beheersbaar te houden ligt de focus steeds meer op de beheersing van kosten en een optimale prioritering van welke leiding wanneer wordt vervangen. Een leiding te vroeg vervangen is een vorm van kapitaalvernietiging, een leiding te laat vervangen kan leiden tot overlast voor klanten en forse kosten.

Drinkwaterbedrijven werken volgens het principe van risicogestuurd beheer, waar saneringsbeslissingen worden gekoppeld aan het risico op falende leidingen. Dit risico wordt berekend door de kans en het effect van leidingfalen te combineren. De kans op technisch falen van een individuele leiding wordt bepaald door de conditie van de leiding. Deze conditie is tot op heden moeilijk te kwantificeren. Er zijn te weinig metingen voor het bepalen van de conditie van iedere leiding in het netwerk en er is te weinig kennis van onzekerheden in de meetgegevens. Degradatieprocessen worden nog onvoldoende begrepen, waardoor modellen tekort schieten en gegevens van specifieke leidingen moeizaam kunnen worden vertaald naar andere leidingen. Het gevolg hiervan is dat er grote onzekerheden zitten in de schatting van wat het beste moment is om een leiding te vervangen [1]. Gezien de belangen bij het kiezen van het juiste saneringsmoment, is het belangrijk om deze onzekerheden te kwantificeren en te verkleinen.

De mogelijkheden om meer en betere data te verkrijgen groeien momenteel in snel tempo. Sinds 2009 worden storingen in distributieleidingen door 8 van de 10 drinkwaterbedrijven op een uniforme manier centraal geregistreerd. Er worden steeds meer (betaalbare) *in-line* inspectietechnieken ontwikkeld en de ontwikkeling van robotica biedt binnen afzienbare tijd de mogelijkheid om in delen van het net die voorheen nooit werden onderzocht, systematisch de conditie te bepalen. Ook geografische gegevens worden steeds beter, al dan niet gedreven door wetgeving. Dit biedt ongekende mogelijkheden voor het vergroten van het aantal rechtstreekse metingen en het combineren van data uit verschillende gegevensbronnen. Met de inzichten die hieruit voortvloeien kunnen de modellen

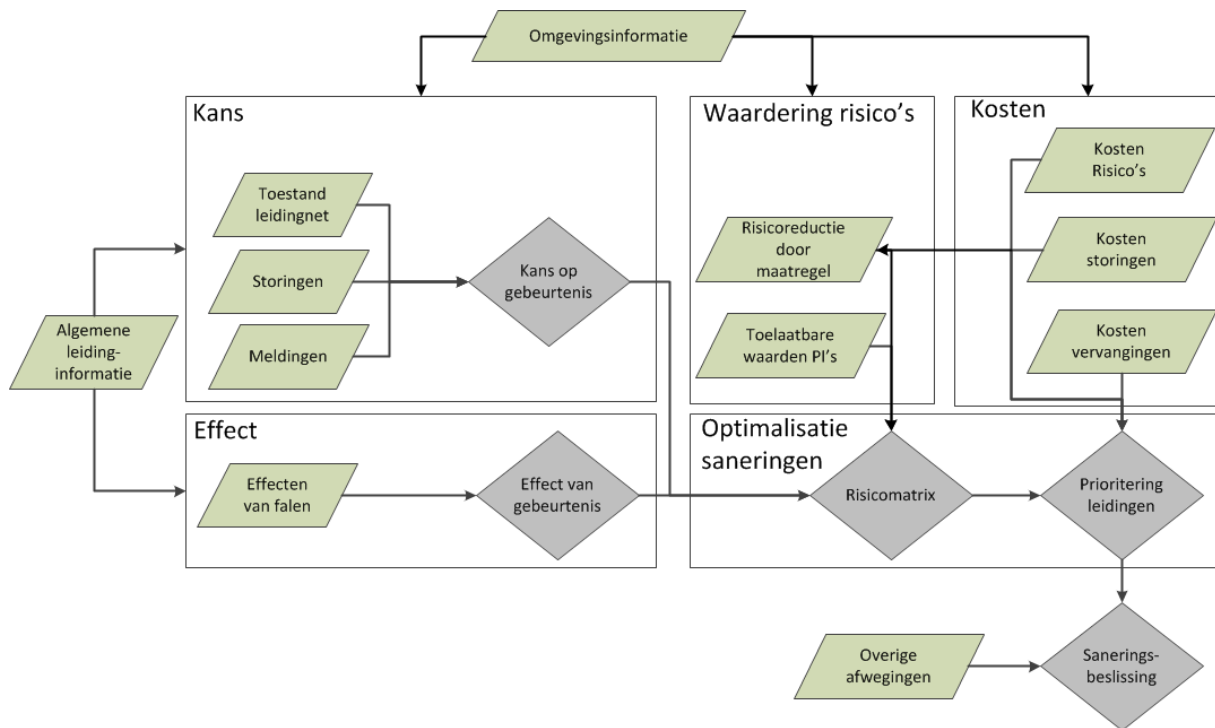
worden verbeterd die voorspellingen moeten doen over een deel van het netwerk en het verloop van de leidingconditie in de toekomst, zonder rechtstreekse metingen. Deze ontwikkeling kent ook uitdagingen, zoals het efficiënt omgaan met grote hoeveelheden data en het creëren van synergie uit de verschillende datasoorten.

Het antwoord op deze uitdagingen ligt in het overzichtelijk maken van alle informatiestromen, het expliciet in rekening brengen van de onzekerheden die horen bij alle informatiestromen, het waar nodig verkleinen van onzekerheden en het combineren van informatie. Hiervoor is UKNOW ontwikkeld.

KWR heeft het UKNOW-concept ontwikkeld [2] als beslissingsondersteunend instrument voor het assetmanagement van drinkwaterbedrijven. UKNOW is gericht op het bepalen van de kans op leidingbreuken. Het overzichtelijk bij elkaar brengen van informatiebronnen en het expliciet maken van onzekerheden in de verschillende databronnen en analysemethoden vormen hierbij de essentie. Met UKNOW kan de onzekerheid in de berekende faalkans in beeld worden gebracht en verkleind en wordt meerwaarde gehaald uit combinatie van informatiebronnen. Ook kan UKNOW worden gebruikt om 'witte vlekken' in kennis te verkleinen. UKNOW is opgezet als een informatie-architectuur en is modulair ontworpen, waardoor *tools* eenvoudig kunnen worden ingezet in de beslissingsondersteunende systemen van individuele waterbedrijven. In dit artikel wordt UKNOW nader toegelicht.

UKNOW

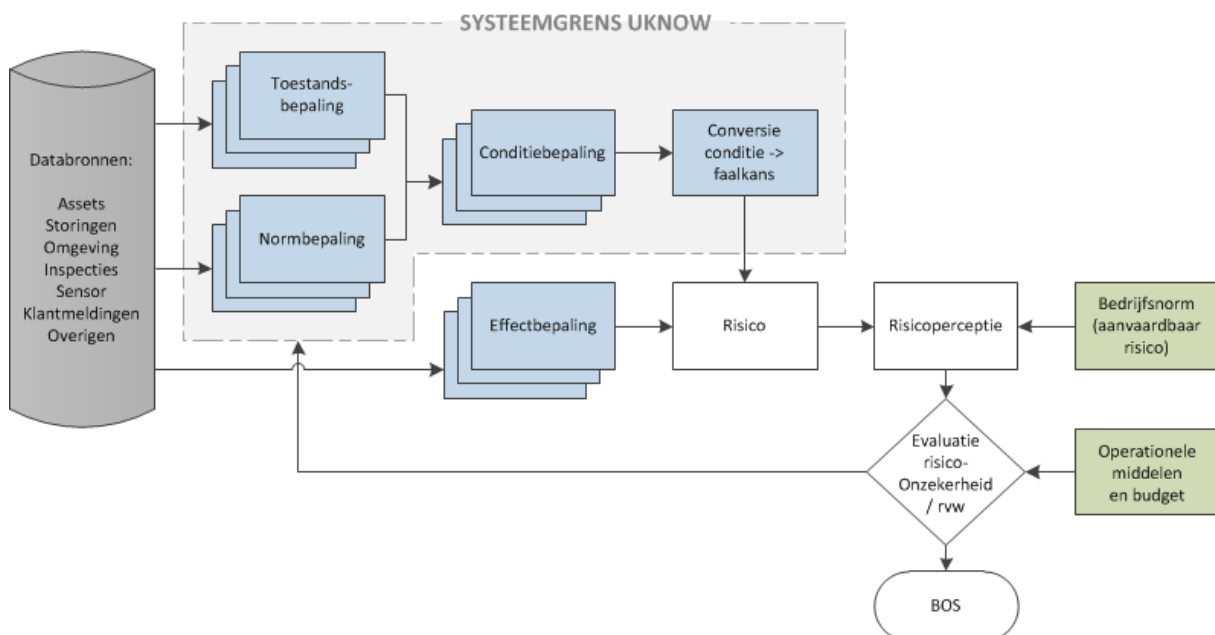
UKNOW sluit aan bij het risicogestuurd beheer van drinkwaterbedrijven. Afbeelding 1 laat een schematische weergave hiervan zien; met behulp van beschikbare gegevens over het leidingnet, zoals ligging, toestand en storingen, worden de kans op een gebeurtenis (bv. falen van een leiding) en het effect van die gebeurtenis bepaald. Kans en effect vormen samen het risico van die gebeurtenis. Vervolgens bepaalt het drinkwaterbedrijf hoe deze risico's worden gewaardeerd (hoe erg vinden we het als een leiding faalt?). De risico's en de waardering worden samengebracht in de risicomatrix. Met behulp van de risicomatrix in combinatie met kosten van vervangingen of reparaties kan dan een prioritering van vervanging worden gemaakt. Op basis van deze prioritering kan uiteindelijk een saneringsbeslissing worden genomen.



Afbeelding 1. Functionele weergave van risicogestuurd beheer bij drinkwaterbedrijven

Afbeelding 2 geeft een overzicht van het UKNOW-concept. UKNOW richt zich op de kans op een gebeurtenis, namelijk op het falen van een leiding. Dit is uitgesplitst in een aantal blokken:

1. Het bepalen van de fysieke toestand van een leiding;
2. Het bepalen van de norm;
3. Hieruit volgt de conditie: voldoet de toestand van de leiding aan de norm?
4. Hieruit wordt de faalkans berekend.



Afbeelding 2. Een overzicht van de informatiearchitectuur UKNOW, de samenhang tussen data, modellen en beslissingsondersteuning in assetmanagement. Rvw = randvoorwaarden, BOS = Beslissingsondersteunende Software

Ieder blok bestaat uit *tools* en modellen die de beschikbare databronnen benutten. Door de modulaire opzet kunnen drinkwaterbedrijven deze *tools* en modellen binnen hun eigen beslissingsondersteunende systemen inzetten.

Voor het invullen van deze informatieblokken worden verschillende informatiebronnen gebruikt, zoals gegevens uit het leidinginformatiesysteem (denk aan ligging, materiaal, ouderdom, diameter), maar ook inspectiegegevens, storingsregistraties, omgevingskenmerken, klantmeldingen en online sensorgegevens. Rekenmodellen worden gebruikt om data om te zetten in de gewenste grootheden of toestand, en op basis hiervan de conditie en faalkans af te leiden.

UKNOW heeft als doel meerwaarde te halen uit de combinatie van alle beschikbare gegevens. Bij het gebruik van data en rekenmodellen wordt expliciet gemaakt hoe informatiebronnen samenhangen en hoe deze kunnen worden gecombineerd. Essentieel hierbij is het rekening houden met de onzekerheden in de informatiebronnen.

Samenhang in data: de meerwaarde van combineren

Elke informatiebron is anders en voor een optimaal gebruik is het belangrijk de uitgangspunten goed te kennen.

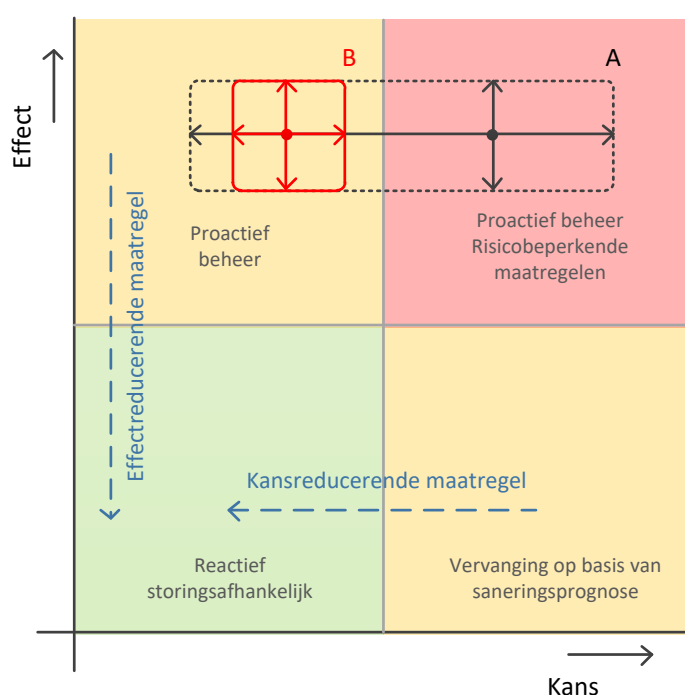
Voorbeeld: een thymolfthaleïne-test is op dit moment één van de meest gebruikte databronnen voor kennis van de fysieke toestand van een asbestcement- (AC)-leiding. Deze test geeft een indicatie van de mate van degradatie van het leidingmateriaal door uitloging van calciumhydroxide, de stof die AC mede zijn sterkte geeft. Deze test is een puntmeting van de effectief overblijvende wanddikte van de leiding. Voordelen van de test zijn de lage kosten, de gemakkelijke toepassing en heldere interpretatie van de uitkomst. Nadelen heeft de test echter ook. Zo is de test alleen toepasbaar bij de uitname van een leidingsegment, waardoor bij gebruik in saneringsbeslissingen een extrapolatie nodig is van de uitkomsten naar leidingen die nog operationeel zijn. En dat blijkt moeilijk omdat de kwaliteit van AC erg variabel is, niet alleen tussen verschillende locaties, maar zelfs binnen een enkele leiding [3].

De laatste jaren komen er nieuwe mogelijkheden bij in de vorm van *in-line* inspecties die over een tracé van honderden meters of zelfs kilometers meten. Een voorbeeld is het gebruik van akoestiek, waarbij uit de geluidssnelheid en demping van geluid eigenschappen over de toestand van de leidingwand kunnen worden afgeleid. Het voordeel van deze technieken is dat er gemeten wordt in leidingen die nog operationeel zijn en dat een beeld ontstaat van de toestand van een leiding over langere tracés, wat nodig is voor een onderbouwde saneringsbeslissing. Maar de interpretatie van deze gegevens is vaak lastiger dan bij de bekende thymolfthaleïne-test.

Ondanks de toegenomen hoeveelheid data zullen er altijd delen van het leidingnet blijven waar geen inspectiegegevens over zijn. Dit betekent dat er altijd extrapolaties nodig zijn van delen met metingen naar delen van het net zonder metingen. In UKNOW wordt in beeld gebracht hoe gegevens samenhangen. Zo geven bijvoorbeeld zowel thymolfthaleïne-tests als *in-line* akoestische inspecties als uitkomst een effectieve wanddikte. Verschillen ontstaan door het verschil tussen punt- en tracémetingen, systematische afwijkingen in beide meetmethodes en verschillen in nauwkeurigheid. Met bijvoorbeeld statistische analyses van de databronnen kunnen de uitkomsten van deze bronnen worden gekoppeld. De onzekerheden in de data zijn daarbij essentieel.

Onzekerheden meenemen betekent betere saneringsbeslissingen

Afbeelding 3 geeft een schematische weergave van risicogestuurd beheer [4]. Op de assen staan kans en effect, de vier kwadranten vertegenwoordigen het risico met bijbehorend verschillend beheer. Stel, de kans op falen is bepaald met methode A, met een uitkomst die de leiding in het hoogste risicogebied plaatst. Zonder rekening te houden met onzekerheden zal de beheerder deze leiding dus voorzien van risicobeperkende maatregelen. De onzekerheid in de uitkomst blijkt echter zo groot, dat de leiding ook in een lager risicogebied kan liggen, waardoor veel minder zware (en dure) maatregelen vereist zijn. Omdat de onzekerheden de assetmanagementbeslissing beïnvloeden, is het belangrijk om de onzekerheden te verkleinen.



Afbeelding 3. Schematische weergave van effect van informatie op beheer. Op de assen staan kans en effect. De 4 kwadranten zijn resulterend risico, wat leidt tot het genoemde beheer

Stel, kans en effect van falen worden met twee methoden bepaald (A en B). Uit methode A volgt dat er een groot risico is. Uit methode B volgt dat de kans op falen niet zo groot is, waardoor het risico beperkt is. Welke methode heeft 'gelijk'?

Als de onzekerheden worden meegenomen, ontstaat een ander beeld. De onzekerheid in methode A is veel groter dan die van methode B. De uitkomst van methode B valt binnen de onzekerheid van methode A. Het verschil in de uitkomsten is daarmee verklaard. Door de onzekerheden expliciet in beeld te brengen is aannemelijk te maken dat het beeld vanuit de combinatie van de twee aanpakken betrouwbaarder is dan het beeld van elk van de afzonderlijke aanpakken. Om dat toe te lichten gaan we even uit van het omgekeerde: stel dat de uitkomsten van beide methoden niet in elkaars onzekerheidsmarge zouden liggen? Dat zou het vertrouwen in beide methoden verlagen. Dit principe vormt de essentie van de UKNOW-aanpak.

Ook kan worden geanalyseerd welke onzekerheden kunnen worden verkleind met bijvoorbeeld meer data of een nauwkeuriger model, waardoor investeringen voor verbeteringen gericht kunnen worden op de grootste effectiviteit. Mogelijk is de onzekerheid in methode A bijvoorbeeld sterk te verkleinen

met een aantal veldtesten, terwijl de onzekerheid van methode B alleen te verkleinen is door middel van jaren onderzoek. Dan zal, ondanks de schijnbaar betere uitgangspositie van de kleinere onzekerheid in methode B de voorkeur toch uitgaan naar het verkleinen van de onzekerheid in methode A.

In iedere vorm van informatie zitten onzekerheden. Een model is per definitie een vereenvoudiging van de werkelijkheid en bevat daarom onzekerheden. Ook de data waarmee een model gevoed wordt bevatten onzekerheden.

Onzekerheden kunnen op hoofdlijnen ingedeeld worden in twee groepen: inherente en subjectieve onzekerheden. Inherente onzekerheden zijn onvermijdelijk zijn en kunnen alleen op basis van aannamen of hypothesen worden bepaald. Een voorbeeld is de kwaliteit van de leiding toen die de grond in ging, als dit nergens is vastgelegd. Subjectieve onzekerheden zijn onzekerheden die kleiner worden met meer gegevens, betere meetmethoden, meer kennisopbouw van processen en dergelijke. Afbeelding 4 geeft een overzicht van de mogelijke onzekerheden in data en modellen, waarbij blauw staat voor subjectieve onzekerheden en groen voor inherente onzekerheden.

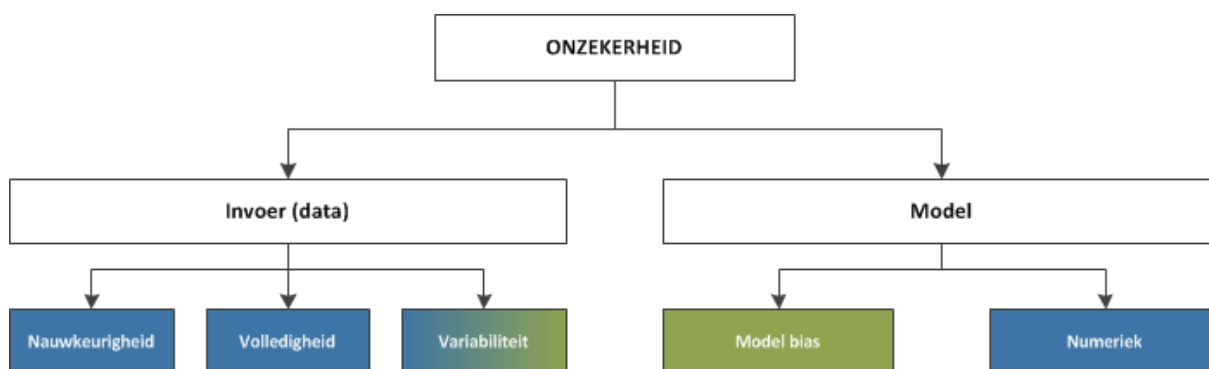
In de data zitten onzekerheden door:

- Nauwkeurigheid van gegevens; dit hangt samen met meetmethoden, precisie van instrumenten, afrondingen en fouten bij vastlegging.
- Volledigheid; dit hangt samen met het ontbreken van gegevens, zoals bijvoorbeeld het uitvallen van sensoren, waardoor gaten vallen in tijdreeksen, en het ontbreken van gegevenstypes (denk bijvoorbeeld aan de noodzaak van het bekend zijn van aanwezigheid van bodemvervuiling, terwijl daar geen metingen van zijn gedaan).
- Variabiliteit: bekendheid van gegevens op de gewenste schaal. Bijvoorbeeld: een puntmeting van de wanddikte is bekend, terwijl een saneringsbeslissing over de gehele leiding gaat en de kans aanzienlijk is dat de kwaliteit van de leiding varieert.

Ook in modellen zitten onzekerheden:

- Bias; dit is een onzekerheid door tekortkomingen in kennis van processen.
- Numeriek; onzekerheden die volgen uit de gebruikte algoritmes en het gebruik van discrete oplossingen voor continue problemen. Sommige algoritmes zijn snel, maar minder nauwkeurig. Een model kan bijvoorbeeld op een *grid* van 10 of 100 meter zijn berekend, een stroming kan met tijdstappen van één minuut of van één uur zijn bepaald.

Door onzekerheden in modellen expliciet uit te werken, kan worden bepaald hoe groot de onzekerheden van een aanpak zijn en of deze onzekerheden kunnen en moeten worden verkleind.



Afbeelding 4. Overzicht onzekerheden in informatie, waarbij groen staat voor inherente en blauw voor subjectieve onzekerheden

We grijpen terug naar het voorbeeld met de thymolfthaleïne-test versus de *in-line* akoestische inspectie. De onzekerheid van de uitkomsten van een thymolfthaleïne-test wordt bepaald door nauwkeurigheid (aflezen van resultaten, is de uitname recht gezaagd? etc.), volledigheid en variabiliteit. Nauwkeurigheid is te verbeteren door bijvoorbeeld altijd een foto van de uitgenomen ring met test bij de resultaten te bewaren. Lang niet voor alle AC-leidingen zijn metingen beschikbaar. Er zitten dus veel gaten in de dataset. Daarnaast is er meestal slechts één puntmeting aanwezig voor een parameter met een grote variabiliteit. Deze onzekerheden zijn deels subjectief: door meer metingen te doen worden de gaten in de dataset verkleind en daarmee de onzekerheden. Maar er zullen nooit voldoende data komen om de onzekerheid door variabiliteit te elimineren.

De onzekerheden bij *in-line* inspecties worden voornamelijk bepaald door nauwkeurigheid en volledigheid. Doordat het om tracémetingen gaat, en daarmee om gemiddelde wanddiktes over een afstand, is de interpretatie complexer dan bij thymolfthaleïne-tests. Ook hier zijn gaten in de dataset, omdat niet elke leiding bemeten is. Deze gaten kunnen worden verkleind door meer data toe te voegen, maar zullen nooit helemaal verdwijnen. De onzekerheden door variabiliteit zijn bij deze data veel kleiner dan bij thymolfthaleïne-tests.

Met deze analyse van onzekerheden is in één klap de meerwaarde van de combinatie duidelijk. Gegevens verkregen met beide technieken zijn meestal op verschillende locaties beschikbaar, maar soms ook op dezelfde locaties. Door het combineren van beide datasets:

- wordt de onzekerheid door onvolledige data kleiner, omdat meer locaties bemeten zijn.
- worden de individuele onzekerheden van de methodes kleiner door de aanvulling. De onzekerheid door grote variabiliteit bij thymolfthaleïne-tests wordt verminderd door de toevoeging van de kleine onzekerheid op dit vlak van *in-line* inspecties. Omgekeerd verkleint de kleine onzekerheid bij interpretatie van thymolfthaleïne-tests de grote onzekerheid op dit vlak bij *in-line* inspecties. De locaties waar metingen met beide methodes beschikbaar zijn, kunnen hiervoor worden gebruikt en ook de statistische eigenschappen van beide datasets (bv. het vergelijken van gemiddelden en varianties).

Beide datasets versterken en complementeren elkaar.

UKNOW naar de toekomst

UKNOW wordt gebruikt als beslissingsondersteunend instrument voor assetmanagementbeslissingen. Het geeft de drinkwaterbedrijven, met name op het vlak van het bepalen van kans op storingen, een set *tools* en rekenmodellen waarmee:

- verschillende databronnen en analysemethoden in samenhang kunnen worden gezien en daarmee optimaal gecombineerd.
- de onzekerheden van informatiebronnen in beeld zijn.
- een duidelijk beeld ontstaat van nog ontbrekende informatie en hoe deze informatie kan worden verkregen (bv. door meer data te verzamelen, en zo ja, waar en welke data, aanvullende rekenmodellen etc.). UKNOW geeft daardoor richting aan nieuwe ontwikkelingen en benodigd onderzoek.

UKNOW is hiermee een belangrijk instrument in de onderbouwing van saneringsbeslissingen bij drinkwaterbedrijven. UKNOW is echter breder toepasbaar dan de drinkwatersector. De methode sluit ook goed aan bij de werkwijze voor rioleringsbeheer bij gemeenten en waterschappen. Ook zonder de UKNOW-instrumenten kunnen drinkwaterbedrijven, gemeenten en waterschappen vandaag al

beginnen met het combineren van meerdere informatiebronnen en het meenemen van onzekerheden in assetmanagementbeslissingen.

Een voorbeeld van een toepassing van de UKNOW-systematiek dat in 2017 wordt uitgewerkt, is het verbeteren van de voorspelling van toekomstige storingsfrequenties door een statistische extrapolatie van storingen in leidingen te combineren met de kennis van veroudering van leidingen. De verouderingskennis wordt gebruikt om de onzekerheden in de extrapolatie te verkleinen. Dit zorgt voor een beter onderbouwde vervangingsprioritering.

Referenties

1. Beuken, R.H.S. (2013). *Beslissingsondersteunende softwaremodellen voor leidingsaneringen*, KWR 2013.051, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.
2. Moerman, Vossen, A., J. van en Beuken R.H.S. (2016). *UKNOW*. BTO 2016.01, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.
3. Beuken, R.H.S. (2016). *Exitbeoordelingen AC leidingen bij WML*, BTO 2016.094, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.
4. Kater, H. de, Beuken, R.H.S. en Vogelaar, A, (2010). *Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten*, BTO 2010.013, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.