

KWR 2017.003 | Januari 2017

# Overzicht en toepassing van lekopsporings- technieken



# Overzicht en toepassing van lekopspringstechnieken

KWR 2017.003 | Januari 2017

## Opdrachtnummer

401386-009

## Projectmanager

ir. A. (Andreas) Moerman

## Opdrachtgever

DPWE Stuurgroep

## Kwaliteitsborger(s)

dr. P. (Peter) van Thienen

## Auteur(s)

dr. J. (Jozanneke) van Vossen- van den Berg

## Verzonden aan

DPWE Stuurgroep

**Jaar van publicatie**  
2017

### Meer informatie

dr. Jozanneke van Vossen

T 030 60 69 598

E [Jozanneke.van.Vossen@kwrwater.nl](mailto:Jozanneke.van.Vossen@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

F +31 (0)30 60 61 165

E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)

I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)



KWR 2017.003 | Januari 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

# Managementsamenvatting

## Een overzicht van beschikbare technieken voor lekdetectie en – lokalisering en een strategie voor inzet van deze technieken

**Auteur(s)** dr. J. (Jojanneke) van Vossen- van den Berg

Om voor de netbeheerder inzichtelijk te maken voor welk type vraagstuk welk lekdetectie- en/of - lokalisatiesysteem kan worden ingezet, is een overzicht gemaakt van de beschikbare technieken en hun toepassingsmogelijkheden. Ook is een strategie opgezet voor de inzet van deze technieken gebaseerd op risicogestuurd beheer, dat wil zeggen het afstemmen van de strategie op kans op lekkage en het effect van lekkage. In Nederland zijn de lekverliezen relatief laag en de kosten van gelekt water zullen daarom op de meeste locaties geen reden zijn om een actieve lekopsporingstrategie op te stellen. Er zijn echter andere redenen om aan lekopsporing te doen, waarvan veiligheid, reputatie en voorkomen van kosten door gevolgschade de belangrijkste zijn. De sector heeft de ambitie om het huidige lage niveau van lekverliezen vast te houden in de toekomst, terwijl het netwerk verouderd en meer kans op lekkage geeft en daarnaast de omgeving steeds drukker wordt, zodat lekkages grotere effecten zullen hebben. Dit onderzoek geeft waterbedrijven de middelen om lekdetectie en –lokalisatietechnieken gericht in te zetten en voor elke situatie de beste techniek te kiezen.



*Lek op Boterdijk, de Kwakel, juni 2015 (Bron: rickfm.nl-Amstelland Nieuws)*

### Belang: lekverliezen ontdekken en lekken opsporen om met ouder wordend net prestaties te handhaven

De DPWE-bedrijven beschikken over belangrijke leidinginfrastructuur in grootstedelijke omgeving. Bij het leveren van water wordt dit systeem continu gemonitord op druk en hoeveelheid en bij grote afwijkingen, bijvoorbeeld door een significante storing, wordt de bedrijfsvoering (automatisch) aangepast. Vaak is het dan nog onduidelijk waar de calamiteit zich precies heeft voorgedaan en wat de consequenties zijn. Voor het signaleren van kleinere lekkages zijn de overkoepelende monitoringssystemen (of bewakingssystemen) minder geschikt.

De Nederlandse waterbedrijven hebben relatief lage lekverliezen, kostenbesparing zal daarom op de meeste locaties geen argument voor actieve lekopsporing zijn. Er zijn echter andere redenen om aan lekopsporing te doen. De sector heeft de ambitie om het huidige lage niveau van lekverliezen in ieder geval vast te houden in de toekomst, terwijl het netwerk verouderd. Betere lekdetectie en –lokalisatie dragen vooral bij aan beleidsdoelen als veiligheid, financiële gevolgschade, imago en reputatie.

De DPWE-bedrijven hebben allemaal ervaring met verschillende technieken voor het detecteren van lekverliezen en het lokaliseren van lekken, zoals de

binnen BTO ontwikkelde VLPV(+)-methode, stepflowanalyse, akoestisch of optisch onderzoek. Daarnaast kan er tijdelijk (mobiel) of permanent worden gemonitord.

Echter, momenteel komen er steeds meer mogelijkheden bij o.a. door ontwikkeling van in-pipe technieken, remote sensing en de mogelijkheden van monitoring met behulp van wiskundige algoritmes. De DPWE-bedrijven willen een overzicht van de mogelijkheden en een strategie om beter onderbouwde keuzes te maken, zodat zij in elke situatie kunnen kiezen voor de techniek(en) die de beste resultaten opleveren.

#### Aanpak: ervaringen en literatuurgegevens gebundeld

Op basis van de ervaringen van de DPWE-bedrijven en de beschikbare literatuur is een overzicht gemaakt van de beschikbare technieken voor lekdetectie- en/of -lokalisatiesystemen die worden gebruikt. Hiervoor is een factsheet ontwikkeld, dat de bedrijven hebben ingevuld voor de technieken waar ze ervaring mee hebben. Daarin zijn kenmerken vastgelegd als doel, sterke en zwakke punten en kosten om de toepassingsmogelijkheden van de technieken in te kunnen schatten. Op basis van dit overzicht is een strategie opgesteld om deze technieken effectief toe te passen en eventueel te combineren om de risico's van lekkage aanvaardbaar te houden.

#### Resultaten: inzicht, overzicht en strategie voor lekdetectie en -lokalisatie

De huidige beschikbare technieken voor het detecteren en lokaliseren van lekken en nieuwe ontwikkelingen in technieken, modellen en rekensnelheid bieden steeds meer mogelijkheden voor een actieve lekopsporingstrategie. Het is belangrijk om hierin bewuste keuzes te maken. Het onderzoek heeft het volgende opgeleverd:

- *Inzicht in de huidige prestaties van het Nederlandse drinkwaternetwerk.* Op basis van deze kennis kunnen beleidsdoelen worden geformuleerd voor een strategie op het gebied van lekverliezen.
- *Een overzicht van lekdetectie- en leklokalisatietechnieken.* Er is veel mogelijk, maar

veel gewenste informatie over technieken en ervaringen is nog niet aanwezig.

- *Een strategie voor de inzet van de technieken.* Deze strategie is opgesteld op basis van risicogestuurd beheer en bestaat uit:
  - het verminderen van de onzekerheid in de omvang van de reële lekverliezen door monitoring;
  - het bepalen van een risico op basis van beschikbare informatie over bijvoorbeeld storingen, inspectieresultaten en omgevingsrisico's;
  - het bepalen van de gewenste activiteiten op basis van het risicoprofiel.

#### Toepassing: aanbevelingen voor de toekomst

Op basis van dit onderzoek zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd:

1. Kwantificeer de risico's van lekkage.
2. Onderbouw de resulterende variatie in aanpak door het beheergebied heen en leg die vast.
3. Vergelijk monitoring van de waterbalans met de traditionele aanpak op basis van watermeterstanden om onzekerheden te vast te stellen.
4. Vul de factsheets aan en houdt ze actueel, aansluitend bij het lopende BTO-onderzoek naar *Tools kennisopbouw inspectietechnieken*, waarin een portal wordt ontwikkeld om kennis over inspectietechnieken te verzamelen en te ontsluiten.
5. Ontwikkel nauwkeurige, actuele modellen en gebruik nauwkeurige voorspellingen voor het verbruik.
6. Onderzoek de mogelijkheden en beperkingen van beschikbare technieken met potentie, zoals het gebruik van bestaande glasvezelnetwerken.

#### Rapport

Dit onderzoek is beschreven in KWR 2017.003 *Overzicht en toepassing van lekopsporingstechnieken*. De begeleidingsgroep bij dit DPWE-project bestond uit Piet Beers (PWN), Bart Bergmans (Evides), Dennis Gardien (Dunea) en Arne Bosch (Waternet).

# Inhoud

<i>Managementsamenvatting</i>	2
<b>Inhoud</b>	<b>4</b>
<b>1    <b>Introductie</b></b>	<b>5</b>
1.1    Aanleiding	5
1.2    Doel	5
1.3    Opbrengst	5
1.4    Leeswijzer	6
<b>2    <b>Lekverliezen</b></b>	<b>7</b>
2.1    Introductie	7
2.2    Definitie lekverlies	7
2.3    Prestatie netwerken	8
<b>3    <b>Overzicht technieken</b></b>	<b>11</b>
3.1    Introductie	11
3.2    Detectie	11
3.3    Lokalisatie	18
3.4    Duiding	23
<b>4    <b>Strategie</b></b>	<b>26</b>
4.1    Ambitie lekreductie	26
4.2    Mogelijkheden tot reductie van lekverliezen	26
4.3    Praktijk DPWE-bedrijven	29
4.4    Voorstel strategie	30
<b>5    <b>Conclusies en aanbevelingen</b></b>	<b>34</b>
5.1    Conclusie	34
5.2    Aanbevelingen	35
<b>Referenties</b>	<b>37</b>
<b>Bijlage I Eindpresentatie</b>	<b>41</b>
<b>Bijlage II Factsheet lekdetectie- en lokalisatietechnieken</b>	<b>49</b>
<b>Bijlage III Commercieel aangeboden lekdetectietechnieken op basis van algoritmes (Hoofdstuk 2.2 BTO 2015.064)</b>	<b>52</b>
<b>Bijlage IV Mechanismen ontstaan en groei lekkage</b>	<b>54</b>

# 1 Introductie

## 1.1 Aanleiding

DPWE-bedrijven beschikken over belangrijke leidinginfrastructuur in grootstedelijke omgeving. Bij het leveren van water wordt dit systeem continu gemonitord op druk en hoeveelheid en bij grote afwijkingen, bijvoorbeeld door een significante storing, wordt de bedrijfsvoering (automatisch) aangepast. Vaak is het dan nog onduidelijk waar de calamiteit zich precies heeft voorgedaan en wat de consequenties zijn. Voor het signaleren van kleinere lekkages zijn de overkoepelende monitoringssystemen (of bewakingssystemen) minder geschikt.

De DPWE-bedrijven hebben ervaring met een aantal lekdetectie en lekopsporingstechnieken, zoals de binnen BTO ontwikkelde VLPV(+)-methode, stepflowanalyse, akoestisch- of optisch onderzoek. Daarbij kan er tijdelijk (mobiel) of permanent gemonitord worden.

Al deze lekopsporingstechnieken hebben hun eigen specifieke doel en/of toepassingsgebied. De technieken vallen globaal uiteen in twee soorten: lekdetectie en leklokalisatie. Voor de netbeheerder is het niet altijd duidelijk of niet gemakkelijk om de geschikte lekopsporingstechniek te kiezen voor een type vraagstuk. Met een overzicht van beschikbare lekopsporingstechnieken, variërend van monitoringssystemen tot wiskundige technieken, is een scala aan technieken beschikbaar variërend van het bewaken van delen van het leidingnet op lekverlies tot het daadwerkelijk kunnen opsporen van lekkages (leklokalisatie) op een leiding of appendage om tot reparatie te kunnen overgaan. Vervolgens kunnen strategieën worden ontwikkeld om verschillende technieken in combinatie met elkaar in te zetten (bijvoorbeeld werken van grof naar fijn) om lekkages met in potentie grote impact op omgeving en/of klanten snel te identificeren en de juiste maatregelen te kunnen treffen. Lekopsporing kan één van de doelen zijn voor het inrichten van DMA's, onderwerp van een ander lopend DPWE-onderzoek.

## 1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is het voor de netbeheerder inzichtelijk maken voor welk type vraagstuk welk lekdetectie- en/of -lokalisatiesysteem kan worden ingezet.

## 1.3 Opbrengst

De opbrengst van dit project is uitgewerkt in 2 onderdelen:

- overzicht van de verschillende in gebruik zijnde lekdetectie- en/of -lokalisatiesystemen met kenmerken zoals doel, sterke en zwakke punten en kosten per methodiek;
- strategie hoe methodieken eventueel in combinatie met elkaar kunnen worden ingezet om zo effectief mogelijk de risico's van lekkages aanvaardbaar te houden.

Tijdens het startoverleg is besloten om de focus te leggen op het overzicht van technieken. Hiervoor is een literatuurstudie uitgevoerd en zijn ervaringen van de drinkwaterbedrijven gebruikt. Er is een factsheet ontwikkeld om per techniek de gewenste gegevens vast te leggen en deze is toegepast op de technieken waar de DPWE bedrijven ervaring mee hebben.

De resultaten zijn opgeleverd in:

- De eindpresentatie (Powerpoint)
- Een rapportage die dient als inhoudelijke ondersteuning van de presentatie

- De factsheet alsmede de ingevulde factsheets voor de verschillende technieken.

#### 1.4 Leeswijzer

De hoofdstukken bieden een inhoudelijke achtergrond en nadere uitwerking bij de presentatie en zijn daarmee ondersteunend. In Hoofdstuk 2 wordt een beeld gegeven van de prestatie van het Nederlandse drinkwaternet en de DPWE-bedrijven m.b.t. lekverliezen. In Hoofdstuk 3 wordt een overzicht van lekdetectie- en leklokalisatietechnieken gepresenteerd. In Hoofdstuk 4 staat een uitwerking van de mogelijkheden voor een strategie voor lekopsporing. Hoofdstuk 5 biedt conclusies en aanbevelingen.

In Bijlage I staat de eindpresentatie, in Bijlage II staat de ontwikkelde factsheet, in Bijlage III staan voorbeelden van lekdetectie- en lokalisatietechnieken voor hydraulische modellen en in Bijlage IV staan de mechanismen van lekvorming en lekgroei per materiaal toegelicht.



## 2 Lekverliezen

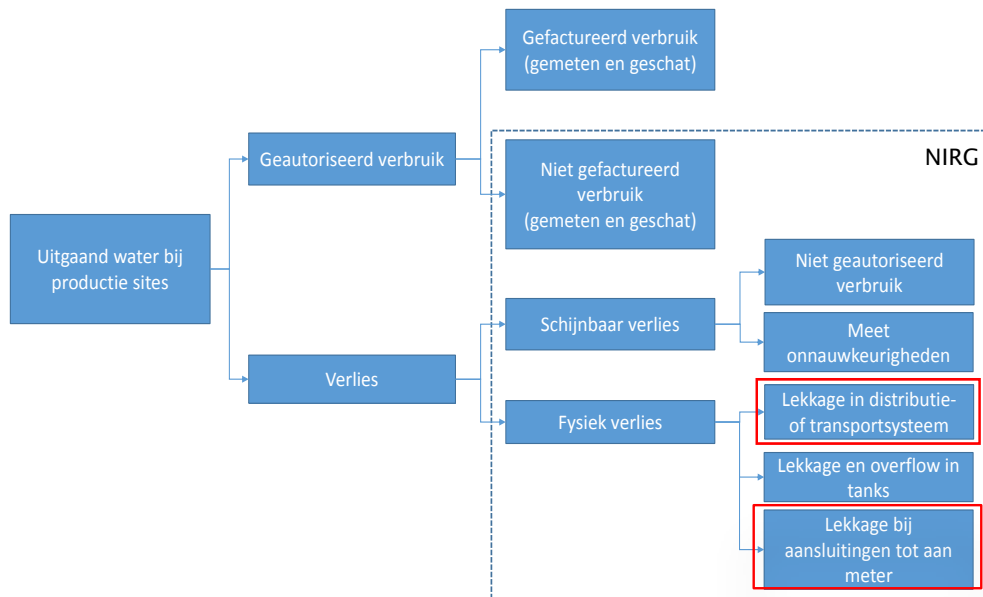
### 2.1 Introductie

Het huidige onderzoek gaat over lekopspring en lokalisatie. De eerste vraag die dan moet worden beantwoord is hoeveel lekverlies er is. Dit geeft een eerste inzicht in de prestaties van de waterleidingnetten en vormt een basis voor het verdere onderzoek. Zowel nationaal in de benchmark als internationaal worden de prestaties van netwerken op het gebied van lekverliezen bijgehouden, meestal in de vorm van een percentage lekverlies of een prestatie-indicator. De meest gebruikte zijn NIRG (Niet in Rekening Gebracht Water) en ILI (Infrastructureel Leakage Index). In dit hoofdstuk worden deze indicatoren toegelicht en uitgewerkt voor de DPWE-bedrijven.

Deze indicatoren zijn overigens maar één van de drijfveren voor lekopspring, maar dit wordt verder uitgewerkt in Hoofdstuk 4.

### 2.2 Definitie lekverlies

Al het water dat in het distributienet wordt gebracht, maar niet wordt gefactureerd aan klanten heet NIRG, oftewel niet in rekening gebracht water. Dit bestaat uit een aantal onderdelen, Figuur 2.1, namelijk niet-gefactureerd geautoriseerd verbruik, niet geautoriseerd verbruik, schijnbaar verlies door meetonnauwkeurigheden en fysiek verlies in het leidingnetwerk (distributie- en transportleidingen, tanks of aansluitleidingen) (Alegre et al., 2000; Farley and Trow, 2003; Wu et al., 2011). Deze rapportage richt zich op fysiek verlies van gedistribueerd water uit het transport- of distributiestelsel inclusief de aansluitleidingen.



FIGUUR 2.1 OVERZICHT VERLIEZEN IN DRINKWATERDISTRIBUTIE (ALEGRE ET AL., 2000).

### 2.3 Prestatie netwerken

De Infrastructure Leakage Index (ILI) is geschikt voor systemen met meer dan 5000 aansluitingen en wordt gegeven door (Farley and Trow, 2003):

$$ILI = TRL/ORL,$$

waarbij TRL staat voor totale fysieke lekverliezen (CARL, ofwel Current Annual Real Losses) en ORL staat voor onvermijdelijke fysieke lekverliezen (UARL, ofwel Unavoidable Annual Real Losses). De TRL is meestal onbekend en wordt in deze studie benaderd door NIRG (er worden door de waterbedrijven vaak wel schattingen gemaakt, maar het inzicht en de aanpak verschilt per waterbedrijf en zijn in deze studie niet meegenomen, voorbeelden zijn schatting van verbruik door brandweer, brandkraanverbruik etc.), waarbij NIRG staat voor niet in rekening gebracht water. NIRG zal in de meeste gevallen (veel) groter zijn dan TRL, waardoor de bepaling van ILI een conservatieve schatting is. ORL is gedefinieerd als (Alegre et al., 2000):

$$ORL = 365 \cdot P \cdot (L \cdot C1 + N \cdot C2 + LN \cdot C3), \text{ waarbij}$$

P = Gemiddelde druk [mwk]

L = Netwerklengte [km]

N = Aantal aansluitingen [-]

LN = Lengte aansluitleidingen [km]

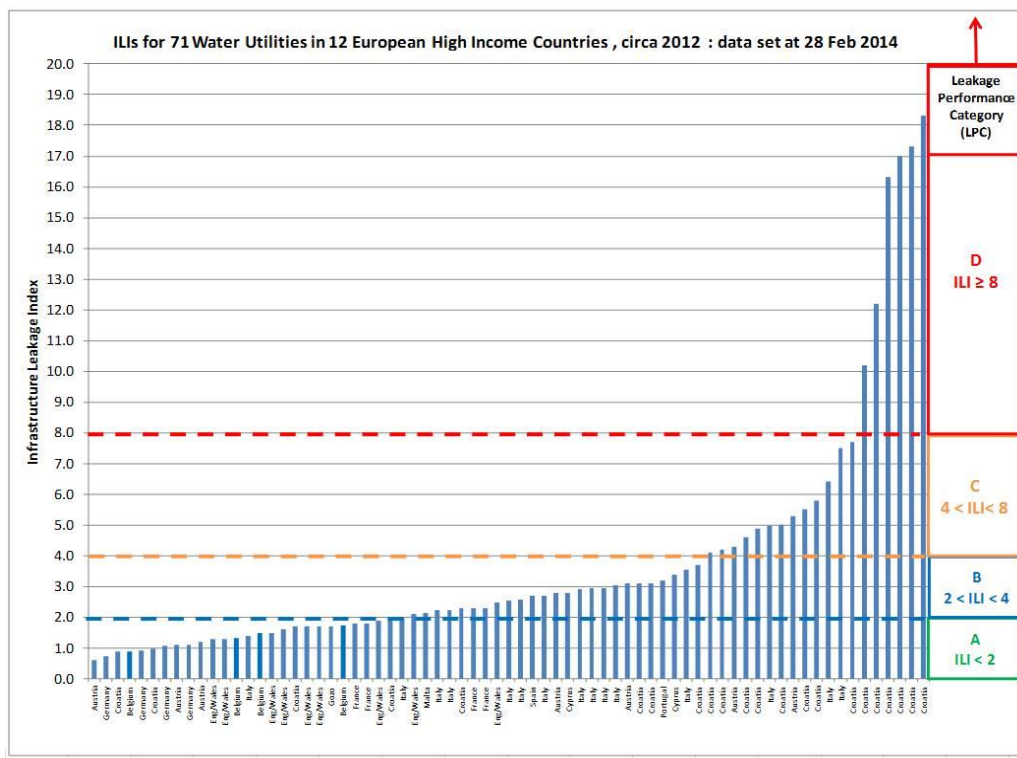
C1 = 18 [L/dag/k/mwk]

C2 = 0.8 [L/aansluiting/dag/mwk]

C3 = 25 [L/km aansluitleiding/dag/mwk]

Deze formule is de meest basale uitdrukking van een analyse van internationaal beschikbare gegevens van waterleidingnetten, gerapporteerde lekken en intensieve lekopspring (Lambert et al., 1999). De waarde van de ILI is een maat voor de prestatie van een netwerk, waarbij waarden van rond 1 staan voor een vrijwel perfect werkend netwerk. Figuur 2.2 laat

voor 2014 een overzicht zien van de ILI voor een aantal Europese waterbedrijven. Tabel 2.1 en Tabel 2.2 geven de ILI en NIRG voor het Nederlandse net als geheel en de DPWE bedrijven. Duidelijk is dat de Nederlandse drinkwaterbedrijven in de 'A-klasse' vallen binnen de resultaten van Figuur 2.2.



FIGUUR 2.2 OVERZICHT VAN ILI VOOR EEN AANTAL WATERBEDRIJVEN IN EUROPA (OOSTENRIJK, BELGIË, KROATIË, CYPRUS, ENGELAND, WALES, FRANKRIJK, DUITSLAND, ITALIË, MALTA, PORTUGAL EN ZWITSERLAND, UPDATE UIT 2014) (BRON: [HTTP://WWW.LEAKSSUITE.COM/GLOBAL-ILIS/EUROPEAN-ILIS-2/](http://www.leakssuite.com/global-ilis/european-ilis-2/)).

TABEL 2.1 ILI EN NIRG VOOR HET GEHELE NEDERLANDSE LEIDINGNET (BRON: VEWIN).

Jaar	ILI*	Lekverlies** (%)
2000	0,4-0,6	5,3
2010	0,4-0,5	5,0
2013	0,4-0,5	5,7
2014	0,4-0,6	6,1

\*Uitgaande van een gemiddelde druk van 30-40 mwk

\*\*Meestal benaderd door NIRG

TABEL 2.2 ILI EN NIRG VOOR DE DPWE-BEDRIJVEN VOOR DE JAREN 2010-2015.

Waterbedrijf	ILI	Lekverlies** (%)
PWN	0,6	5,6
Evides	0,8	7,7
Dunea	0,6*	4,5
Waternet	0,9	2,9

\*Gemiddelde druk is geschat als het gemiddelde van de overige DPWE bedrijven, namelijk 29,5 mwk (na afloop project is gebleken dat de werkelijke druk 29,2 mwk is, wat

vergelijkbare resultaten geeft).

\*\*Meestal benaderd door NIRG

Als de aansluitleidingen buiten beschouwing worden gelaten, dan gaan de waarden voor ILI in Nederland met 18-24% omhoog. De waarden blijven ook dan ruim onder de 2 (max. 1,1) en dit verschil is te vergelijken met de onzekerheid in de gemiddelde druk.

Volgens internationale standaarden is het lekverlies in Nederland laag. Daar zijn wel een aantal kanttekeningen bij te plaatsen:

- Het voordeel van ILI t.o.v. alleen afgaan op de waarde van NIRG of TRL (indien bekend) is dat ILI rekening houdt met verschillen in netwerkenmerken. De internationaal gehanteerde formule voor ORL is wellicht niet de beste formule voor de specifieke Nederlandse situatie. Alleen al het feit dat Nederlandse bedrijven ILI's lager dan 1 hebben, demonstreert dit (een ILI van 1 staat voor een systeem dat alleen de als onvermijdelijk beschouwde lekverliezen kent). Voor een internationale vergelijking is deze aanpak geschikt. Voor een inschatting van de prestatie van individuele netwerken en bepaling van wat economische grenzen voor investeringen zijn, is het de moeite waard om een specifiek "Nederlandse" formule af te leiden.
- De bepaling van de lekverliezen gebeurt met behulp van watermeterstanden die door klanten worden doorgegeven. Dit geeft een aantal onnauwkeurigheden, zie de beschrijving van de waterbalans in Hoofdstuk 3.2.
- Niet alleen het totale lekverlies is van belang, maar ook het type lekken. Kleine lekken zijn moeilijker te detecteren en te lokaliseren dan grote lekken en kunnen daardoor uiteindelijk voor grotere lekverliezen zorgen dan bijvoorbeeld grote lekken die onmiddellijk worden gedetecteerd en gelokaliseerd en daardoor snel gerepareerd worden. Ook kunnen onopgemerkte kleine lekken groeien tot grote lekken. Dit hangt samen met strategie voor de inzet van technieken en wordt daarom nader toegelicht in Hoofdstuk 4.

## 3 Overzicht technieken

### 3.1 Introductie

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de beschikbare detectie- en lokalisatietechnieken met daarbij een korte beschrijving van de meetprincipes en voorbeelden van gebruik.

Het overzicht in technieken is gemaakt op basis van de indeling in detectie-lokalisering-reparatie, waarbij we reparatie buiten beschouwing laten. Niet bij alle technieken is heel duidelijk of het om detectie- of lokalisatietechnieken gaat, omdat bijvoorbeeld beide karakteriseringen van toepassing zijn, afhankelijk van de toepassing of omdat het zowel detectie als lokalisatie is. In dat geval is een keuze gemaakt op basis van naar verwachting de dominante toepassing.

Deze inventarisatie vormt een momentopname. Technieken worden voortdurend ontwikkeld en het is dan ook aan te raden dit overzicht van tijd tot tijd te actualiseren. Bijvoorbeeld, rond intelligent pigging en robotica gaan de ontwikkelingen momenteel zeer snel, waardoor mogelijk binnen afzienbare tijd nieuwe mogelijkheden beschikbaar zijn.

In Bijlage I staat de eindpresentatie, waar ook de ervaringen van de drinkwaterbedrijven in zijn benoemd.

In dit project is ook een factsheet ontwikkeld met daarin de belangrijkste informatie die beschikbaar zou moeten zijn om technieken te kunnen beoordelen op lokale toepasbaarheid, zie bijlage II. Deze factsheet is ingevuld voor de technieken waar de waterbedrijven ervaring mee hebben; de ingevulde factsheets vormen daarmee een dataset met detailervaringen. Let wel:

- De factsheets zijn per techniek ingevuld; ieder waterbedrijf heeft een aantal technieken ingevuld in factsheets. Ervaringen van waterbedrijven kunnen echter onderling voor één techniek sterk wisselen. Het is dan ook aan te bevelen om de factsheets aan te vullen met meer ervaringen van verschillende bedrijven (niet alleen DPWE, maar de gehele sector en zelfs internationaal).
- De factsheets zijn lang niet voor iedere techniek volledig ingevuld. Veel gegevens van eerder uitgevoerde pilots zijn niet meer te achterhalen. De factsheets kunnen dan ook worden beschouwd als een handreiking voor het vastleggen van informatie uit toekomstige toepassingen van de verschillende technieken.

### 3.2 Detectie

Doel is het bepalen:

1. of er sprake is van lekkage en een inschatting maken van de hoeveelheid;
2. in welke regio de lekkage optreedt met een prioritering in hoeveelheid en omvang lekkages. Dit kan middels zonering in vaste regio's (bv. DMA's), maar ook mobiele regio's door het tijdelijk sluiten van afsluiters met (mobiele) meters of virtueel. Een virtuele DMA is een gebied waarbij alle in- en uitgaande stromen bemeterd zijn, waardoor de waterbalans kan worden opgesteld, zonder dat het gebied wordt geïsoleerd. Een combinatie kan ook.

Zones kunnen worden bepaald op een aantal gronden:

- Bron; bv. het gebruik van meters bij uitgaand water op productielocaties.
- Klanten; bv. het inrichten van DMA's op een gemiddeld aantal aansluitingen.
- Kritische locaties; bv. leveringszekerheidsleidingen, BEEL-locaties, of gebieden met kwetsbare objecten in de omgeving.
- Topografie van het net; "handige" plekken om gebieden op te splitsen, omdat er bv. maar 1 aanvoerleiding is, drukverschillen en dergelijke.
- Conditie van het net; gebieden met leidingen van soortgelijke conditie, materiaal, ouderdom en dergelijke.

Op basis van de zonering kunnen regio's worden geprioriteerd. Bovenstaande indeling is niet uitputtend en verschillende uitgangspunten kunnen ook worden gecombineerd. Indeling van een netwerk in DMA's gebeurt in veel gevallen nog altijd op basis van inzicht en ervaring, maar er zijn ook verschillende algoritmes beschikbaar, voor voorbeelden zie o.a. (Deuerlein, 2008; Di Nardo and Di Natale, 2010; Diao et al., 2013; Herrera et al., 2010; Izquierdo et al., 2011; Perelman and Ostfeld, 2010; Swamee and Sharma, 2008; Tzatchkov et al., 2006). Dit zijn algoritmes die bv. de zones van invloed van verschillende bronnen beschouwen, netwerktopologie en samenhang van gebieden. Binnen het DPWE project 'Inrichten van DMA's' wordt hier in meer detail naar gekeken. In dit project is o.a. een DMA-paspoort opgesteld dat is ingevuld door de Nederlandse drinkwaterbedrijven. In het project worden de DMA's die momenteel functioneren bij de waterbedrijven in kaart gebracht. Tot nu toe (peildatum januari 2017) zijn er 58 DMA's waarvan de kenmerken zijn geïnventariseerd.

In DMA's wordt gemonitord op volumestromen, maar daarnaast vinden nog meer vormen van monitoring op lekdetectie plaats. De meeste monitoring vindt plaats op:

- volumestromen;
- druk;
- geluid; zie ook paragraaf 3.3 Lokalisatie;
- temperatuur; zie ook paragraaf 3.3 Lokalisatie;
- multiparametermonitoring (meerdere parameters worden tegelijk bemeaten).

Metingen kunnen worden gelogd en eens in de zoveel tijd uitgelezen dan wel via telemetrie real-time worden verzonden naar een centrale database. Vervolgens zijn er verschillende opties voor het interpreteren van de gegevens. Metingen kunnen worden vergeleken met verwachtingen op basis van eerder gemeten gegevens of hydraulische modellen. De volgende indeling van technieken kan worden gehanteerd:

- waterbalans;
- alarmniveaus;
- data gedreven algoritmes;
- hydraulische model gedreven algoritmes.

Deze verschillende technieken worden hieronder toegelicht.

### **Waterbalans**

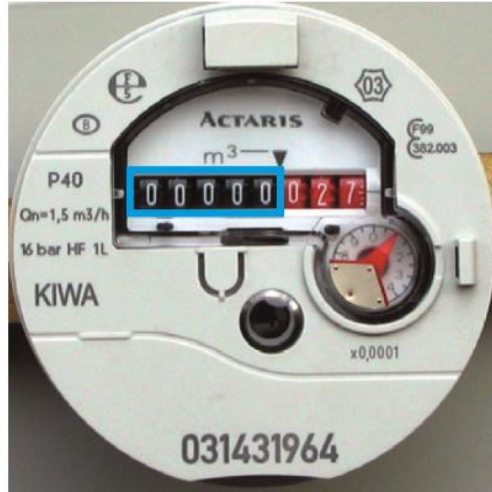
De waterbalans vormt een belangrijke basis onder het bepalen van lekverliezen (Alegre et al., 2000). Zonder sluitende waterbalans worden vals-positieven gegenereerd, oftewel indicaties voor lekkages die in werkelijkheid door andere aspecten van meten en netwerkeigenschappen worden gecreëerd. Een sluitende waterbalans om lekverliezen mee te bepalen (ook wel top-down methode voor lekverliesbepaling genoemd) is echter geen

vanzelfsprekendheid. Op basis van beschikbare metingen worden verschillende aanpakken gevolgd:

- In DMA's kan de balans worden opgesteld op basis van de beschikbare volumestroommeters. Naast de nauwkeurigheid van deze sensoren vormt de registratie van gegevens door sensoren een belangrijk element voor een sluitende waterbalans.
  - Hoe vaak wordt een meting geregistreerd? Bijvoorbeeld, één meting per dag geeft minder inzicht dan 1 meting per uur of per 10 minuten of zelfs minuut.
  - Wat wordt precies geregistreerd? Dataloggers kunnen momentane metingen opslaan, maar ook gemiddeldes, minimum waarde, maximum waarde of een totaal over een tijdsinterval.
  - Wanneer wordt geregistreerd? Dataloggers maken gebruik van een interne datum-tijd registratie. Bij het opstellen van een waterbalans is het essentieel dat de loggers goed zijn gesynchroniseerd. Problemen kunnen ook optreden met bijvoorbeeld de overgang van winter- naar zomertijd en terug.
- De meest gebruikte methode in Nederland is een vergelijking van aan het distributienet geleverde volumes met gefactureerde volumes op basis van meterstanden.
  - De watermeterstanden zijn jaarlijkse metingen, zonder specificatie binnen het jaar.
  - De watermeterstanden worden verspreid door het jaar doorgegeven (en niet voor iedere locatie altijd op hetzelfde moment). Er wordt voor deze spreiding gecorrigeerd, maar omdat specificatie door het jaar heen ontbreekt, zal dit altijd op een schatting berusten.
  - De watermeterstanden zelf hebben een zekere nauwkeurigheid, zie Figuur 3.1. Aan klanten wordt gevraagd het totaal aantal kubieke meter verbruikt water door te geven. De meter is meestal analoog, wat ook tot onnauwkeurigheden bij het aflezen leidt.

→ Welke cijfers van de watermeter moet ik invullen?

Vul de 5 cijfers in die op de zwarte vlakken van uw watermeter staan:



Sommige watermeters hebben 4 cijfers op zwarte vlakken. Vul in dat geval 4 cijfers in.

FIGUUR 3.1 AFBEELDING VAN [HTTPS://MIJN.WATERNET.NL/METERSTAND-DOORGEVEN/](https://MIJN.WATERNET.NL/METERSTAND-DOORGEVEN/)

- Als voldoende nauwkeurige volumestroommetingen dan wel meterstanden ontbreken, wordt geschakeld naar schattingen op basis van voorspelde en gemeten minimum nachtstroomvolumes, dit wordt ook wel de bottom-up methode genoemd. Deze wordt verder uitgewerkt onder alarmniveaus. Ook hier is sprake van aanzienlijke onzekerheden, wat het moeilijk maakt om waterbalansen te vergelijken (zie ook (Beuken et al., 2005)).
- De nauwkeurigheid van de gemeten hoeveelheid uitgaand water bij productiestations is van groot belang.

Door verschillende methoden te combineren kunnen deze elkaar versterken en kunnen onzekerheden worden verkleind.

### Alarmniveaus

Hierbij wordt gemonitord op basis van verwachte volumestromen al dan niet vanuit een waterbalans. Als die over- of onderschreden worden, is dat een teken van mogelijke lekverliezen. Voorbeelden hiervan zijn:

- Vlakke alarmniveaus: als een bepaald niveau op basis van te verwachten minimum en maximum parameterwaarden worden alarmniveaus bepaald. Als deze worden over- of onderschreden, dan is er mogelijk sprake van lekverliezen.
- Minimum nachtstroomanalyse die is gebaseerd op nachtstroomvolumes in combinatie met variaties in druk; bij deze analyse wordt uitgevoerd bij nacht, omdat dan het verbruik minimaal (na aftrek eventuele specifieke (groot)verbruikers) en het aandeel lekvolume het grootst. Het dagelijks lekvolume wordt geschat met een formule (Cheung et al., 2010):

$$DV = F_{DN} * Q_{mn} \quad (1)$$



waarbij DV het dagelijks lekvolume is,  $Q_{\text{mn}}$  het minimum nachtelijk lekvolume in [ $\text{m}^3/\text{uur}$ ] (typisch tussen 1 en 4 of 1 en 6) en  $F_{\text{DN}}$  de dag-nachtfactor in [uur/dag] die wordt bepaald door

$$F_{\text{DN}} = \sum_{i=1}^{24} \left( \frac{P_i}{P_{3-4}} \right)^{N1} \quad (2)$$

Waarbij  $P_i$  de druk op een bepaald tijdstip is,  $P_{3-4}$  druk tussen 3 en 4 uur 's nachts (let op, dit is dus een andere periode dan de volumestroomanalyse) en N1 een exponent die gerelateerd is aan het verschil in volumestroom door een lek tussen 2 verschillende drukken (lokaal bepaald door bv. het sluiten van een afsluiter).

Experimenten in verschillende landen hebben een waarde opgeleverd van 0,5 voor metalen leidingen en 1,5-2,5 voor kunststof leidingen (Greyvenstein and van Zyl, 2007). Door het gebruik van de dag-nachtfactor in de vertaling van nachtelijk lekvolume naar dagelijks lekvolume wordt rekening gehouden met een verschil in lekverliezen door drukverschillen over de dag heen.

Als de nachtvolumes wijzen op toenemende lekverliezen of boven een bepaald niveau komen, dan volgt een alarm en vervolgactie.

Een minimum nachtvolumestroomanalyse kan ook bestaan uit een trendanalyse. Als minimum nachtvolumes in de loop der tijd veranderen, is dit een teken van lekkage.

- Dynamische alarmniveaus gebaseerd op voorspellingen. Deze voorspellingen kunnen gebaseerd zijn op data uit vergelijkbare periodes in het verleden, of gemaakt worden op basis van modelvoorspellingen. Een voorbeeld van deze dynamische alarmniveaus is de Dynamische Bandbreedte Monitor (Vitens) die op basis van historische data een voorspelling van de volumestromen genereert met een bandbreedte. Als deze bandbreedte wordt overschreden, volgt een melding (<https://github.com/jffitie/DBM>).

### Data gedreven algoritmes

Dit zijn algoritmes die op zoek gaan naar patronen in de gemeten data. In feite lijkt dit op de methodiek van de alarmniveaus, maar dan geavanceerder. Deze methoden hebben als voordeel dat ze niet afhangen van complexe modelsimulaties. Er komen steeds betere mogelijkheden om bijna real-time gegevens te verzamelen, wat data analyses aantrekkelijk maakt. Deze analyses maken gebruik van statistische eigenschappen van de gemeten data.

Er zijn veel algoritmes te vinden, waarvan een aantal commercieel beschikbaar (Bijlage III) en een aantal academisch, in onderstaande tabel staat een aantal voorbeelden die typisch zijn voor deze aanpak.

Methode	Referentie	Werking
Neurale netwerken	(Wu et al., 2016)	Historische data worden geanalyseerd op stationariteit en uitfilteren van afwijkende gebeurtenissen. Vervolgens worden verschillen tussen gemeten en voorspelde data geanalyseerd en geclassificeerd
Kalmanfiltering	(Ye and Fenner, 2011)	Extrapolatie van eerdere metingen en vergelijking met werkelijk gemeten waarde.
Principalcomponentanalyse (PCA)	(Palau et al., 2012)	In deze aanpak worden statistische modellen gegenereerd die normaal verbruik berekenen. Op basis hiervan kunnen anomalieën worden gedetecteerd en gelokaliseerd. De variabelen worden tot de minimum hoeveelheid

VLPV	(Thienen et al., 2012) ( <a href="https://www.watershare.eu/tool/network-flow-performance/">https://www.watershare.eu/tool/network-flow-performance/</a> )	teruggebracht om het grootste deel van de variabiliteit te verklaren met behulp van PCA. De uitdaging in deze methode is het ver genoeg reduceren van het aantal variabelen zonder teveel informatie te verliezen. Voordeel volgens de auteurs is snelheid en gebruiksgemak. Vergelijkbare periodes worden gesorteerd op volumes en tegen elkaar uitgezet. Afwijkingen tussen de 2 periodes geven afwijkingen in de 1:1 relatie, waarbij onderliggende mechanismen onderscheiden kunnen worden.
------	---	---

Aanvullende voorbeelden staan in Hoofdstuk 2.3 van Mesman en Van Thienen (2015), zie ook Bijlage III.

### Model gedreven algoritmes

Deze algoritmes gebruiken hydraulische modellen om volumestromen en/of drukken te voorspellen. Er zijn vervolgens verschillende technieken beschikbaar om de voorspellingen te vergelijken met de werkelijk gemeten waarde en lekken te **detecteren en lokaliseren**. Er zijn 2 grote stromingen:

- inversie van druk en/of volumestroommetingen;
- waterslaganalyse.

#### *Inversie*

Hierbij worden voorspellingen van een hydraulisch model voor bv. druk of volumestroom vergeleken met de gemeten waarden. Dit kan achteraf met een beschikbare dataset, maar ook real-time. Voorbeelden zijn te vinden in o.a. (Perez et al., 2011; Poulakis et al., 2003; Puust et al., 2006; Savic et al., 2005). In Nederland is een voorbeeld uitgewerkt door Janneke Moors (Oasen) gebaseerd op de methode van Quevedo et al. (2011) die gemeten drukken aan mogelijke lekken correleert. Deze methode wordt opgenomen in de applicatie OPIR-BurstAlert (RHDHV) (*Bron: persoonlijke communicatie Janneke Moors*).

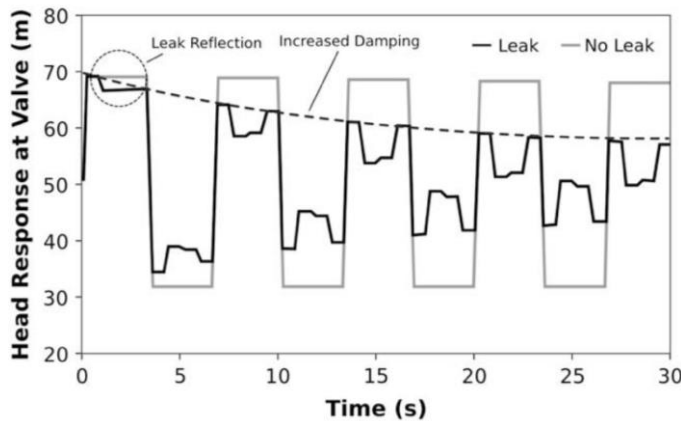
#### *Waterslag (transient) analyses (passief en actief)*

Hierbij worden gegevens van een waterslaggebeurtenis (een drukverschijnsel veroorzaakt door snelheidsverschillen) gebruikt; actief (zelf actief een waterslaggebeurtenis veroorzaken) of passief (gegevens gebruiken van meters waar een waterslaggebeurtenis is geconstateerd). Het voordeel van actieve analyses is dat de meters op de optimale locaties kunnen worden aangebracht, het nadeel is dat er bewust een potentieel leiding-beschadigende gebeurtenis wordt opgewekt. Als veilige gebeurtenissen worden in de literatuur suggesties gedaan als het openen of sluiten van afsluiters of brandkranen, o.a. (Savic et al., 2005). De werking van waterslaganalyse is gebaseerd op het hydraulische gedrag van een leidingnetwerk, zie ook Figuur 3.2;

- iedere verandering in de structuur van een netwerk, zoals splitsingen, materiaal- of diametertransities, maar ook leklocaties geven reflecties in het signaal van de drukgolf. Met een modelvoorspelling kunnen afwijkingen worden geïnterpreteerd.
- Als een drukgolf passeert, zorgt een lek voor demping. Ook hier kunnen modelvoorspellingen van druk worden geïnterpreteerd.

Een uitdaging bij dit type analyses is dat bij complexe systemen het moeilijk is om te bepalen welke signalen precies van leklocaties komen en welke van alle andere mogelijke

bronnen in het systeem (vergelijkbaar met de problemen met inverse analyses). In de literatuur wordt al sinds 1994 over dit onderwerp gepubliceerd, praktische toepassingen zijn tot op heden echter beperkt. Een overzicht van technieken is gegeven in o.a. (Colombo et al., 2009; Kim, 2005; Liggett and Chen, 1994; Meniconi et al., 2011; Saldarriaga, 2006; Vitkovsky et al., 2007).



FIGUUR 3.2 VERGELIJKING VAN DRUKGOLVEN IN LEIDINGEN MET EN ZONDER LEKKAGE (FIGUUR OVERGENOMEN UIT COLOMBO ET AL. (2009)).

In Bijlage III staat een overzicht van commercieel beschikbare pakketten die gebaseerd zijn op hydraulische modellen (overigens bevatten de meeste van deze pakketten ook methodieken gebaseerd op alarmniveaus en/of data gedreven algoritmes, lekdetectie wordt dan opgebouwd uit een combinatie van de beschikbare technieken in het pakket).

In Mesman en Van Thienen (2015) staan een aantal aanvullende voorbeelden, zie ook Bijlage III.

### 3.2.1 Duiding

In Nederland wordt de waterbalans opgesteld d.m.v. uitgaande volumestromen bij de productielocaties in combinatie met gegevens van watermeters. Daar zitten onzekerheden in, zoals aangegeven in dit hoofdstuk. Daarnaast zijn er in Nederland tenminste 58 DMA's ingesteld, waar de waterbalans middels volumestroommeters wordt bepaald. Het is aan te bevelen voor in elk geval een aantal DMA's de resultaten van verschillende aanpakken om de waterbalans te bepalen naast elkaar te leggen en daarmee de onzekerheden in de waterbalans vast te stellen. Dit geeft een beter inzicht in hoeveel lekkage er nu werkelijk is, zie ook Hoofdstuk 4.3.

Monitoring van druk, volumestromen, geluid en/of temperatuur kan waardevolle kennis over lekken verschaffen en er zijn ook methodes beschikbaar zowel academisch als commercieel die veelbelovende resultaten laten zien:

- Er komen steeds meer gegevens beschikbaar door groei van het aantal DMA's;
- Modellen en algoritmes kunnen steeds sneller worden doorgerekend, waardoor real-time toepassingen mogelijk worden.
- Een aantal drinkwaterbedrijven heeft al ervaring met monitoring op basis van volumestroommetingen in combinatie met algoritmes (bv. Vitens met de dynamische bandbreedte monitor, Evides met Takadu, Oasen met de methode 'Janneke Moors' en Dunea met BurstAlert). De ervaringen met deze monitoringsactiviteiten zijn bij veel

bedrijven nog in de leerfase, waarin vooral veel kennis wordt opgedaan van het functioneren van het leidingnet, de sensoren, de beste manier om DMA's te ontwerpen. Tot nu toe zijn er weinig lekken mee opgespoord die niet ook gemeld werden, maar de ervaringen zijn wel veelbelovend voor toekomstige verbetering.

Er zijn echter een aantal beperkingen en uitdagingen:

- De kalibratie van hydraulische modellen. Iedere fout in een model resulteert in een voorspelling die niet overeen zal komen met een gemeten parameter los van enig lekverlies.
  - Een beperking van alle modelgebaseerde aanpakken is dat alleen lekken die optreden nadat de kalibratie is uitgevoerd kunnen worden gedetecteerd. Algoritmes zullen deze verschillen interpreteren als lekverliezen.
  - Als afsluiters in het model open staan, terwijl ze in werkelijkheid dicht staan, is de werkelijke stroming in het net anders dan gedacht. Dit beïnvloedt interpretaties van meetgegevens en modelanalyses. In een eerder onderzoek is een veldmeting uitgevoerd waarbij zo'n 0,7% van de afsluiters in een andere stand dan verwacht bleek te zijn. Dit is een klein percentage, maar komt toch neer op mogelijk honderden afsluiters voor een drinkwaterbedrijf (Mesman, 2016).
- De afwijking van volumestromen t.o.v. het verwachte verbruik bepaalt of een lek wordt gemeld door een monitoringssysteem. Dat betekent dat de voorspelbaarheid van het verbruik in een gebied mede bepaalt welke lekken gedetecteerd kunnen worden. Dit geldt voor alarmniveaus, data gedreven algoritmes en hydraulische modelanalyses. Hoe beter voorspelbaar het verbruik, hoe smaller bandbreedtes zullen zijn in de voorspelling van het verbruik. Hydraulische modellen worden gedreven door het verbruik, hoe nauwkeuriger dit in het model zit, hoe beter lekdetectie zal zijn. Hierbij is het ook het inzicht in specifieke (groot)verbruikers belangrijk.
- Netwerkkennmerken bepalen de detectiemogelijkheden:
  - Druksignalen van een lek nemen snel af met afstand in vermaasde netten.
  - Lekken zijn vaak beter te detecteren bij hogere werkdrukken.
  - Hoe beter het inzicht over het verwachte verbruik in een gebied, hoe beter lekdetectie werkt. In de praktijk komt dit neer op inzicht in specifieke (groot)verbruikers en een beperkt aantal aansluitingen of leveringspunten
  - In het geval van waterslaganalyse: complexe netwerken met veel aftakkingen, splitsingen, afsluiters en andere obstakels genereren complexe druksignalen, waaruit lekken moeilijk terug te halen zijn.

### 3.3 Lokalisatie

Dit is het verder preciseren van de lekken naar secties tot het pinpointen van de exacte locatie van het lek. Overigens kunnen met lokalisatietechnieken ook lekken gedetecteerd worden.

#### 3.3.1 Akoestische technieken

Er zijn verschillende akoestische technieken beschikbaar die allemaal gebaseerd zijn op het feit dat een lekstroom geluid genereert dat zich voortplant door de leidingwand, de omliggende grond en verharding, maar voornamelijk door het water. Een aantal basisprincipes zijn relevant om inzet van de verschillende technieken te kunnen inschalen (Hamilton and Charalambous, 2013):

- De elasticiteit van het leidingmateriaal, diameter van de leiding en de wanddikte zorgen voor een lagere geluidssnelheid dan de standaard geluidssnelheid in water van ongeveer 1500 m/s.

$$v = \sqrt{\frac{1}{\rho \left( \frac{1}{K} + \frac{D\phi}{Ee} \right)}}$$

Waarbij

$v$  = Geluidssnelheid [m/s]

$\rho$  = dichtheid van water [kg/m<sup>3</sup>]

$K$  = bulk modulus van water [Pa]

$D$  = diameter leiding [m]

$\phi$  = leiding ondersteuningsfactor (kan een leiding vrij bewegen of niet?)

$E$  = Bulk modulus van leiding [Pa]

$e$  = wanddikte [m]

Bijvoorbeeld, voor metalen leidingen ligt de geluidssnelheid rond 1200 m/s, voor kunststof leidingen ligt deze rond 300-600 m/s. Onzekerheden in deze snelheid zorgen voor onzekerheden in de lokalisatie. Een lokale meting van de geluidssnelheid kan hierbij helpen.

- Het signaal dempt uit met de afstand, hogere frequenties eerder dan lage, waardoor op een zekere afstand het geluid van het lek wegvalt in de achtergrondruis, zoals verkeer, turbulentie in de leiding etc. Welke frequenties het snelst dempen is afhankelijk van de resonantiefrequentie van de leiding, dit is afhankelijk van het leidingmateriaal.
- Frequenties van leksignalen zijn over het algemeen erg laag, tegen de grens van het menselijk gehoor aan of lager. Daarbij gevoegd dat de hogere frequenties ook het eerst uitdoven, is duidelijk dat een leksignaal moeilijk waarneembaar is door het menselijk oor op een zekere afstand van het lek. PVC en PE bijvoorbeeld hebben typisch een lagere resonantiefrequentie dan metaal, waardoor lekken moeilijker waarneembaar zijn door het menselijk oor en waardoor signalen ook sneller dempen (zie vorige punt).
- Impedantie (schijnbare weerstand van een medium tegen het voortplanten van een golf): het impedantieverschil tussen media beschrijft welk deel van een geluidssignaal wordt gereflecteerd door een oppervlak en welk deel doorreist. Bijvoorbeeld, geluid onder water is boven water vrijwel niet waarneembaar door het grote impedantieverschil tussen lucht en water. Ieder obstakel (bv. een gesloten afsluiter of een brandkraan met insluitbeveiliging) in het leidingnet zal daarmee het voortplanten van de geluidsgolf hinderen.

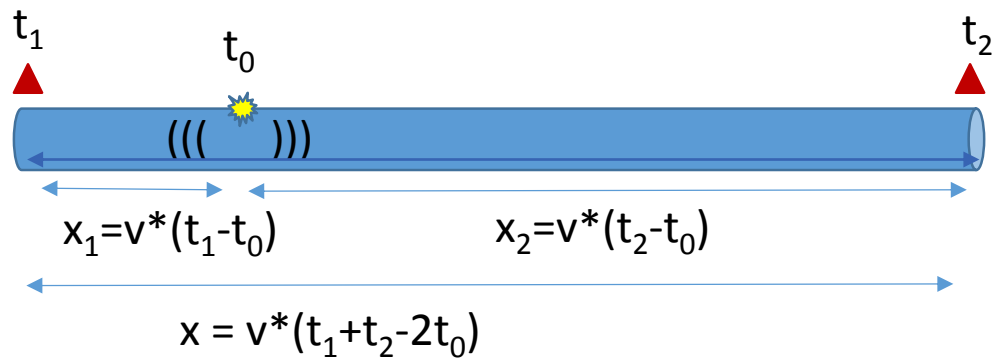
Er zijn verschillende technieken beschikbaar (Hamilton and Charalambous, 2013; Wu et al., 2011):

- Luisterstok (basis en elektronisch): plaatsen van een stok (metaal, hout, plastic) op een leiding, brandkraan e.d. en luisteren naar het geluid. Is geschikt voor bevestigen van een locatie die wordt aangewezen vanuit een andere test. De techniek werkt het best op metalen leidingen tussen 75 en 250 mm met drukken boven 100 kPa. Bij elektronische luisterstokken wordt het geluid versterkt.
- Grondmicrofoons worden tegen de grond gehouden. Nadeel is dat het geluidsniveau van de lekken erg zacht is t.o.v. het achtergrondgeluid, zeker in een drukke omgeving met veel infrastructuur.

- Geluidssensoren in het netwerk (vast of mobiel): Sensors zijn in de vorm van accelerometers (vibratiemetingen oftewel trillingen) of hydrofoons. Accelerometers zijn gevoeliger voor hogere frequenties en werken daarom het best voor metalen leidingen (Hamilton and Charalambous, 2013). Het voordeel is dat ze worden aangebracht aan de buitenkant van leidingen of fittingen. Hydrofoons worden rechtstreeks in het water aangebracht en zijn daardoor minder gevoelig voor achtergrondlawaai en gevoeliger voor laagfrequente signalen. Ze zijn daardoor geschikter voor niet-metalen leidingen en grote diameters. Obstakels verstoren het signaal, zoals afsluiters en terugslagkleppen bij brandkranen. Aangezien veel brandkranen voorzien zijn van een dergelijke beveiliging kan dit een serieuze belemmering vormen voor het vinden geschikte toepassingslocaties. Er zijn:
  - Geluidsloggers: bij deze techniek worden de signalen van de sensoren gelogd en uitgelezen op bepaalde tijden of via telemetrie verzameld in een centrale database. Door naar de signalen van verschillende sensoren te kijken, kunnen lekken gelokaliseerd worden. Het gaat dan om geluidsniveau en verspreiding over het sensornetwerk. Voordeel van deze techniek is dat de loggers automatisch kunnen worden geprogrammeerd om op bepaalde tijden te meten zonder dat op die locaties en op dat moment personele capaciteit benodigd is. De sensoren kunnen uren achter elkaar meten.
  - Correlatie (noise correlation): deze techniek werkt door het vergelijken van het geluidssignaal op 2 locaties. Het geluid van een lek tussen deze locaties moet een afstand afleggen naar de beide sensoren. Uit het verschil in aankomsttijden ( $t_1$  en  $t_2$ , zie Figuur 3.3) kan de locatie van het lek worden afgeleid. Variaties in de geluidssnelheid (bv. door materiaal- en/of diameterovergangen, zeker onbekende) zorgen voor onzekerheden in de locatiebepaling. Metingen op meerdere locaties en/of lokale metingen van geluidssnelheid kunnen deze onzekerheden verminderen.

Door het combineren van loggers met correlatietechnieken (correlerende loggers) kunnen netwerken van meerdere sensoren permanent of mobiel worden toegepast, waardoor:

- gemeten kan worden op de gunstigste tijden met weinig achtergrondruis, hoge druk en weinig verbruik, over het algemeen dus 's nachts;
- meerdere metingen van verschillende sensoren op verschillende tijden kunnen worden gecombineerd;
- verdachte gebieden in één meetsessie kunnen worden gescand.



FIGUUR 3.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN WERKING CORRELATORS.

- In-pipe metingen: bij de techniek wordt een hydrofoon ingebracht in de leiding, waarna deze met de stroom meebeweegt. De techniek kan ook worden gecombineerd met een camera. Deze metingen komen in 2 vormen, namelijk
  - aangeliind, waarbij locatiebepaling plaatsvindt middels de kabel;
  - vrij zwemmend (bv. Smartball), waarbij de metingen worden gelogd en middels steunpunten op de route de locatie wordt bepaald. De sensor drijft mee of rolt over de bodem met de stroming en gezien de maximale meettijd van het instrument (17 uur per meting voor Smartball) zijn de metingen dus het gunstigst in snelstromend water waardoor met één maal inbrengen van de sensor een grote afstand kan worden afgelegd. Deze metingen zijn dus juist niet 's nachts als de stroomsnelheden in het distributienet erg laag liggen. Omdat de sensoren worden ingebracht in het water en de sensoren door het netwerk reizen, zijn de resultaten minder afhankelijk van demping en kan de techniek ingezet worden voor ieder materiaal.

Tenzij gebieden om één of andere reden zijn aangewezen als gebied om proactief te onderzoeken, geldt voor inzet van alle akoestische technieken dat de locatie van een lek al bekend moet zijn op sectieniveau. De precieze schaal hangt af van achtergrondniveau, druk, complexiteit van het netwerk (materiaal-, diameterovergangen, obstakels en dergelijke), materiaal, diameter en wanddikte.

Een optie om het rendement van akoestische metingen te verbeteren is om te meten in periodes van verminderd achtergrondlawaai (bv. 's nachts of in het weekend).

### 3.3.2 Remote sensing

Remote sensing technieken zijn technieken waarbij de leiding van buitenaf wordt bemeaten (zonder de leiding zelf te gebruiken). Dit kan door metingen:

- op het oppervlak;
- vanuit een drone;
- vanuit helikopters;
- vanuit vliegtuigen;
- vanuit satellieten.

Het betreft hier meestal metingen in een specifiek deel van het elektromagnetisch spectrum.

- Visueel: dit zijn de meldingen van zichtbaar water aan het oppervlak.

- Infrarood: alle media zenden temperatuur-afhankelijke warmtestraling uit. Een infraroodmeting meet die straling en geeft daarmee een beeld van anomalieën. Of die anomalieën worden veroorzaakt door een lek moet volgen uit gedetailleerde analyse van deze beelden. Een infraroodmeting wordt boven een leiding uitgevoerd, waarbij de hoogte de resolutie bepaald. Hoe lager, hoe beter de resolutie. De techniek werkt het best in omgevingen waar er weinig objecten rond en boven de leidingen aanwezig zijn en wanneer de temperatuurverschillen groot zijn (bv. in de winter bij vorst).
- Ground Penetrating Radar (GPR): meten van reflecties van uitgezonden radargolven. Deze golven dringen een klein stukje in de grond door (typisch maximum 3-5 meter in ideale omstandigheden (Hamilton and Charalambous, 2013)). Reflecties ontstaan bij overgangen in de grond, zoals aarde/water, aarde/lucht, aarde/metaal en dergelijke. De resultaten laten bijvoorbeeld zien waar grond is weggespoeld of waar de grond verzadigd is met water. Of deze techniek in staat is om lekken op te sporen hangt dus af van de structuur en samenstelling van de ondergrond, de hoeveelheid kabels en leidingen in de directe omgeving, de grondwaterstand en de grootte van het lek.
- Breedbandmeting: een voorbeeld hiervan is Utilis (Hydromax and Utilis). De satelliet zendt een elektromagnetisch signaal uit dat wordt gereflecteerd door het oppervlak. Er worden microgolven gebruikt (0,3-300 GHz), waaruit een specifieke frequentie wordt geselecteerd. Deze reflectie wordt weer opgevangen door de satelliet. De mate van reflectie is frequentie-afhankelijk en ieder type oppervlak heeft een andere signatuur. Waterverzadigde grond heeft dus een andere signatuur dan onverzadigde grond. In een pilot in 2016 met 4 waterbedrijven in het westen van Nederland (PWN, Dunea, Evides en Oasen) is gebleken dat de hoge grondwaterstand in grote delen van het beheergebied er voor zorgt dat er geen goede informatie uit de pilot is gekomen.

### 3.3.3 Overige technieken

- Meldingen: dit is de meest gebruikte techniek om een lek te detecteren en in veel gevallen ook te lokaliseren en afhankelijk van het type en omvang van het lek ook de locatie nauwkeurig vast te stellen.
- Step-flow analyse: deze analyse bestaat uit:
  - Indicatie voor lekverliezen op DMA niveau vanuit een waterbalans of nachtstroomanalyse;
  - Aan- en afschakelen van secties met een redelijk voorspelbaar verbruik.
  - Een DMA is middels afsluiters opgedeeld in secties. Van deze secties kan een verwachting van het verbruik worden bepaald. Door het isoleren van secties valt het daadwerkelijke verbruik uit de meting binnen een DMA. Als dit verbruik hoger is dan de verwachte verbruik voor die sectie is aannemelijk dat er een lek zit, wat met meer gedetailleerde technieken verder kan worden gelokaliseerd.

Zie voor een gedetailleerde beschrijving en toepassing o.a. (Mesman and van Thienen, 2015).
- Gasinjecties: het injecteren van gas in een lege of volle leiding. Het gas ontsnapt door het lek en kan worden bemeten aan het oppervlak.
- Glasvezel: sensing via optische glasvezelkabels kan informatie over lekkage geven (Slaats et al., 2012; van der Gaag et al., 2011). Een laserpuls die de optische glasvezelkabel wordt ingestuurd zal verstrooien en terugkaatsen. Verschillende omgevingsfactoren bij een glasvezelkabel hebben invloed op de wijze van verstrooiing, zoals bijvoorbeeld temperatuur en geluid. In theorie zijn zowel glasvezelkabels die bij nieuw aan te leggen leidingen worden aangebracht bruikbaar als bestaande netwerken die tot nu toe niet zijn gebruikt (zogenaamde dark fibres). In van der Gaag et al. (2011) zijn een aantal beperkingen van bestaande netwerken benoemd, zoals de afstand tot en de representativiteit van metingen voor



waterleidingen. Ook de mogelijkheid voor het doen van metingen is niet op voorhand duidelijk. Hier zijn geen toepassingen van bekend. Oasen en Evides hebben in 2014 een pilot uitgevoerd in Moordrecht, waarbij door temperatuurverschillen te meten (tot 0,1 °C) kunstmatige lekken zijn opgespoord.

- Druktest: het onder hogere druk dan de reguliere werkdruk plaatsen van een leiding en monitoren of en hoeveel water toegevoerd moet worden om de druk in stand te houden. Als er water moet worden toegevoerd, dan is er sprake van lekkage, hoeveel water er moet worden toegevoerd bij die druk bepaalt de omvang van het lek. Een risico hierbij is dat de leiding springt, waardoor in feite een lek gecreëerd wordt.
- Lokale volumestroommeters die de volumestroom voor en na een leiding meten. Dit werkt het beste op leidingen waar geen verbruik op aanwezig is, een verschil in volumestroom tussen de beide meters is dan een indicatie voor een lek. Resultaten zijn afhankelijk van de lokale druk- en volumestroom.

### 3.4 Duiding

De ervaringen van de DPWE-bedrijven met lokalisatietechnieken zijn sterk wisselend, zie ook presentatie. Per techniek zijn de ervaringen niet gelijk, zo heeft Evides positieve ervaringen met akoestische technieken en PWN negatieve, zie ook Bijlage I. De beschikbare gegevens per techniek zijn echter meestal onvoldoende gespecificeerd om uit te zoeken hoe dit komt. Bijvoorbeeld, voor de akoestische sensoren kan dit te maken hebben met:

- materiaal van leiding;
- diameter van leiding;
- wanddikte van leiding;
- werkdruk;
- omgevingsgeluid;
- aanwezigheid van applicatielocaties voldoende dicht bij mogelijke lekken (brandkranen, afsluiters).

Remote sensing technieken zijn erg afhankelijk van:

- aanwezigheid van andere ondergrondse infrastructuur;
- grondwaterstanden;
- obstakels bovengronds.

Daarom is niet bij voorbaat te zeggen welke techniek op welke locatie de beste resultaten zal geven. Alle benoemde technieken hebben afhankelijk van lokale condities goede mogelijkheden en lokaal maatwerk zal de beste oplossing geven.

Er kunnen wel globale uitspraken worden gedaan. Hamilton en Charalambous (2013) hebben een overzicht gemaakt van welke methodiek bruikbaar is in welk leidingsysteem:

- Distributienet: drukken hoger dan 10 mwk, met brandkranen en afsluiters tussen 200 en 500m afstand.

Diameter	mm	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000+
	inches	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	28	32	36	40+
<b>Material</b>																
Metallic all	A,B, C,D, F,G	A,B, C,D, F,G	A,B, C,D, F,G	A,B, C,D, F,G	A,B, C,D, F,G	A,C, D,E, F,G	A,C, D,E, F,G	A,C, D,E, F,G	C,D, E D, E	C,D,E	C,D,E	D,E	D,E	E	E	E
Concrete all	A,C,D	A,C,D	A,C,D	A,C,D	A,D	A,D,E	A,D,E	A,D,E	E	E	E	E	E	E	E	E
Asbestos Cement	A,C,D	A,C,D	A,C,D	A,C,D	A,D	A,D,E	A,D,E	A,D,E	E	E	E	E	E	E	E	E
GRP	A,D	A,D	A,D	A,D	A,D	A,D,E	A,D,E	A,D,E	E	E	E	E	E	E	E	E
PVC	A,D	A,D	A,D	A,D	A,D	A,D,E	A,D,E	A,D,E	E	E	E	E	E	E	E	E
Polyethylene all	A,D	A,D	A,D	A,D	A,D	A,D,E	A,D,E	A,D,E	E	E	E	E	E	E	E	E

Method A Gas Injection  
 Method B Traditional Techniques with Manual Listening Stick  
 Method C Non-Intrusive Acoustic Techniques that is Standard Correlator, Correlating Noise Loggers (Accelerometers)  
 Method D Intrusive Acoustic Techniques that is Standard Correlator or Correlating Noise Loggers (Hydrophones)  
 Method E Inline Inspection Techniques (Tethered & Free-swimming)  
 Method F Noise Loggers (Non-Correlating), Non-Intrusive Magnetic Connection  
 Method G Electronic Amplified Listening Ground Microphone

- Aansluitingen: aansluitingen tussen 10 en 50 meter

Diameter	mm	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000+
	inches	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	28	32	36	40+
<b>Material</b>																
Metallic all	A,B,C, D,F,G	A,B,C, D,F,G	A,B,C, D,F,G	A,B,C, D,F,G	A,B,C, D,F,G	A,C,D, E,F,G	A,C,D, E,F,G	A,C,D, E,F,G	C,D,E, F,G	C,D,E, F,G	C,D, E	C,D, E	D,E	D,E	D,E	D,E
Concrete all	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,D	A,D	A,D,E	A,D,E	A,D,E	E	E	E	E	E	E	E	E
Asbestos Cement	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,C, D	A,C, D	A,D, E	A,D, E	A,D, E	E	E	E	E	E	E	E	E
GRP	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,C, D	A,C, D	A,D, E	A,D, E	A,D, E	E	E	E	E	E	E	E	E
PVC	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,D	A,D	A,D, E	A,D, E	A,D, E	E	E	E	E	E	E	E	E
Polyethylene all	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,C, D,F,G	A,D	A,D	A,D, E	A,D, E	A,D, E	E	E	E	E	E	E	E	E

Method A Gas Injection  
 Method B Traditional Techniques with Manual Listening Stick  
 Method C Non-Intrusive Acoustic Techniques that is Standard Correlator, Correlating Noise Loggers (Accelerometers)  
 Method D Intrusive Acoustic Techniques that is Standard Correlator or Correlating Noise Loggers (Hydrophones)  
 Method E Inline Inspection Techniques (Tethered & Free-swimming)  
 Method F Noise Loggers (Non-Correlating), Non-Intrusive Magnetic Connection  
 Method G Electronic Amplified Listening Ground Microphone

Gezien de ontwikkelingen bij in-pipe conditiebepaling is de verwachting dat de mogelijkheden om met meerdere sensoren in één in-pipe sessie wanddikte en lekkage te detecteren en lokaliseren de komende jaren sterk zullen toenemen (zie het parallel aan deze studie lopende i-PIGS project). Hetzelfde geldt voor de ontwikkeling van robotica (zie het AIR-project dat parallel aan deze studie loopt).

Step-flow analyses kunnen goed worden gecombineerd met bijvoorbeeld spuiprogramma's.

Recente resultaten met pilots met glasvezel zijn dusdanig interessant, dat het een aanbeveling is om gedetailleerder in kaart te brengen wat de mogelijkheden en beperkingen van bestaande netwerken zijn voor het opsporen van lekkage.

Ook is aan te bevelen om de ervaringen met verschillende technieken te registreren middels de in dit project ontwikkelde factsheets. Op deze wijze kunnen ervaringen gemakkelijker worden gedeeld en kan naar een keuzematrix worden toegewerkt wanneer welke techniek het beste werkt.

## 4 Strategie

### 4.1 Ambitie lekreductie

De Nederlandse lekverliezen zijn internationaal gezien laag. De Vewin heeft in 2014 in een position paper (Vewin, 2014) de ambitie van de Nederlandse drinkwatersector als volgt verwoord:

“Lekverliezen van de Nederlandse drinkwatersector bevinden zich op een laag en maatschappelijk verantwoord niveau. Benchmarkindicatoren (lekverlies en ondermaatse levering) geven goed zicht op prestaties van het net. De Nederlandse drinkwatersector stelt zich tot doel de hoge prestaties van het drinkwaternet toekomstgericht te garanderen.”

Lekverliezen kunnen in principe tot een minimum hoeveelheid onvermijdelijk lekverlies worden teruggedrongen, Figuur 4.1, maar in praktijk is er een niveau waarop een economisch, sociaal en duurzaam acceptabel lekverlies is bereikt. Er is dan een balans tussen het behalen van beleidsdoelen van de waterbedrijven en de kosten die daarmee gepaard gaan. De waarde van de ILI is in Nederland zeer laag, daarnaast hebben Beuken et al. (2005) uitgerekend dat het in de meeste gevallen economisch niet rendabel is om actief lekken op te sporen (lokaal kan deze analyse anders uitpakken en dit staat los van de monetarisering van beleidsdoelen, zoals ook gebruikt in de risicomatrix van de waterbedrijven of dat “grote klappers” zijn voorkomen). Er kunnen echter andere redenen zijn om te kiezen voor het opsporen van lekken. Deze worden in dit hoofdstuk verder uitgewerkt.

Gezien de ambities van de sector is het belangrijk om de beschikbare technieken bewust en onderbouwd in te zetten. In dit hoofdstuk wordt daarom een strategie voor de inzet van lekdetectie- en lokalisatietechnieken gepresenteerd.

### 4.2 Mogelijkheden tot reductie van lekverliezen

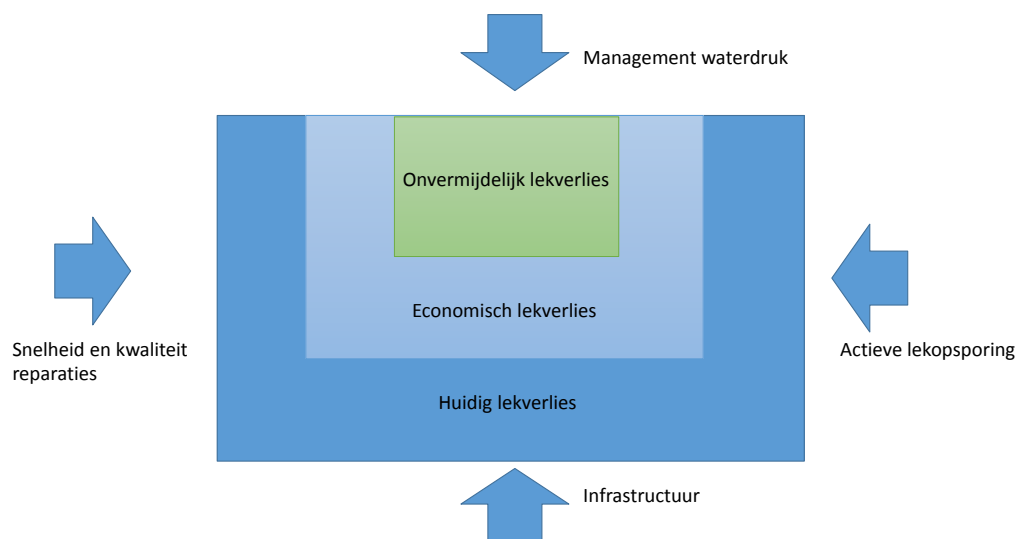
Figuur 4.1 laat de mogelijke strategieën zien voor het reduceren van lekverliezen. Deze methode wordt ook wel het “squeezing the box” principe genoemd (EU, 2015). Er wordt van uitgegaan dat het huidige niveau lekverlies hoger is dan het onvermijdelijk lekverlies. Dit gewenste, lage niveau kan worden bereikt door van alle kanten de box te verkleinen, met inzet van vier basisstrategieën:

- Verlaging van waterdruk: het werken met lagere drukken in het leidingnet is een bewezen techniek om lekverliezen te reduceren.
- Snelheid en kwaliteit van reparaties: hoe sneller en hoe beter lekken worden gerepareerd, hoe minder lekverlies er optreedt.
- Infrastructuur: keuzes als onderdeel van assetmanagement voor reparatie dan wel vervanging, kwaliteit van installatie, monitoren van zones, pomptimalisatie, telemetriefaciliteiten voor monitoring en real-time control (rtc).
- Actieve lekopspringing: toepassing van technieken om lekken op te sporen voor er meldingen van klanten komen.

In het EU referentiedocument (EU, 2015) wordt gesuggereerd dat bij een  $ILI < 2$  de prioriteiten liggen bij verlaging van waterdruk, snelheid en kwaliteit van reparaties, actieve lekopspringing

(introduceren, verbeteren, maar ook het economische interventie interval), en eerst het vaststellen van het economische lekverlies.

In deze studie ligt de focus op actieve lekopspring, maar een strategie voor lekreductie zal in het algemeen elementen uit meerdere basisstrategieën bevatten. Zo moet voor het monitoren van nachtstroomvolumes in een DMA de benodigde infrastructuur aanwezig zijn. Als een lek gelokaliseerd is, hangt het van de kwaliteit en snelheid van de reparatie af of het probleem effectief kan worden opgelost. In Nederland wordt al met een lage druk in het netwerk gewerkt. Echter, als een reparatie niet direct kan worden uitgevoerd is het tijdelijk verlagen van de druk in een deel van het netwerk een methode om verdere schade en lekvolumes te beperken en alsnog zoveel mogelijk mensen van water te blijven voorzien.

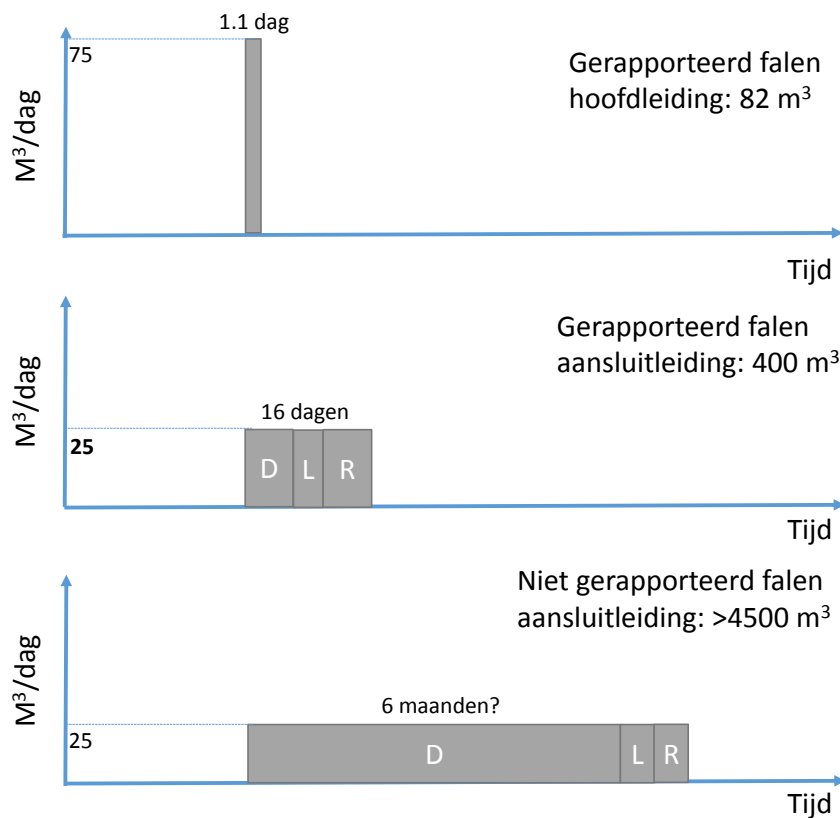


FIGUUR 4.1 MOGELIJKHEDEN VOOR BEHEERSING VAN LEKVERLIES (FIGUUR UIT EU REFERENTIEDOCUMENT).

Het actief reduceren van lekken kan worden opgesplitst in drie elementen:

- detectie;
- lokalisatie;
- reparatie.

Figuur 4.2 geeft een voorbeeld van de invloed van de verschillende componenten op lekvolumes (EU, 2015). Grote lekken die snel worden gedetecteerd, gelokaliseerd en gerepareerd kunnen minder totaal lekvolume geven dan kleine lekken die lange tijd niet gedetecteerd worden. Detectie en lokalisatie van kleine lekken is over het algemeen moeilijker dan van grote lekken.



FIGUUR 4.2 VOORBEELD VAN INVLOED VERSCHILLENDE COMPONENTEN VAN LEKVERLIEZEN, DETECTIE (D), LOKALISATIE (L) EN REPARATIE (R). FIGUUR UIT EU REFERENTIEDOCUMENT (EU, 2015).

De volgorde van strategie voor systemen met meer dan 30.000 aansluitingen kan worden benoemd als (EU, 2015):

1. Inzicht in lekverliezen d.m.v. regionale waterbalans of analyse van nacht volumestromen.
2. Bepalen van te monitoren prestatie-indicatoren, zoals ILI, volume per aansluiting of volume per kilometer leiding.

De eerste 2 stappen geven inzicht in de belangrijkste hoeveelheden en veroorzakers van lek volumes. Om te bepalen welke regio's het belangrijkste zijn kan het netwerk worden opgedeeld in sectoren. Daarnaast kunnen verschillende strategieën worden uitgewerkt voor transportleidingen, distributieleidingen, reservoirs en aansluitleidingen.

3. Analyseren van gegevens, bepalen van verder benodigde gegevens en bepalen prioriteiten.
4. Stel een doel.

Opvallend is dat de strategie voor inzet en combineren van lekopspringstechnieken pas als laatste aan bod komen in dit stappenplan, wat suggereert dat voordat daar een zinvolle uitspraak over gedaan kan worden eerst het inzicht en de prestaties voldoende duidelijk moeten zijn. In Nederland stellen de bedrijven lekverliezen op en bepalen volume lekverlies, NIRG en ILI. De doelstellingen per bedrijf verschillen en lopen uiteen van passief reageren op

meldingen tot actief lekkages opsporen. In de volgende paragraaf wordt verder uitgewerkt waarop doelstellingen kunnen worden vastgesteld.

### 4.3 Praktijk DPWE-bedrijven

Voor een effectieve en efficiënte strategie voor lekopsporing is van belang dat er inzicht is in de voornaamste veroorzakers van lekverliezen, (hiermee kan beter worden geschat of er sprake is van kleine, langdurende lekkage of grote, kortdurende lekkages, zie voor het belang ook Figuur 4.2 en de vorige paragraaf).

Tabel 4.1 geeft een overzicht in de aangeleverde gegevens van de lekverliezen van de DPWE-bedrijven. Niet alle bedrijven kunnen aangeven waar in het stelsel de meeste lekverliezen voorkomen. De genoemde lekverliezen zijn daadwerkelijk opgespoorde of gemelde lekkages; er is geen schatting van het totaal. Alleen PWN geeft een schatting van (ordegrootte) volumes en hier vormen de opgespoorde lekken zo'n 0,2% van het NIRG. Dat betekent dat van meer dan 99% van het verloren water de oorzaak onbekend is. Dit kan werkelijk lekverlies zijn ergens in het systeem, maar ook administratief verlies door bijvoorbeeld onnauwkeurigheden in metingen of in de waterbalans door spreiding in afleesmomenten, zie de analyse in Hoofdstuk 3.2. Als het om werkelijk lekverlies gaat, zijn ook de locaties waar lekkage is onbekend alsmede of het om kleine of grotere lekken gaat.

TABEL 4.1 OVERZICHT VAN GEVONDEN LEKKEN IN DE STELSLS VAN DE DPWE-BEDRIJVEN.

Type	Gemiddelde Lekgrootte	Totaal verlies	Hoeveelheid lekkages	Techniek
Transport	-	-	616 (Evides)	Melding
	100 m <sup>3</sup> /lek	2400 m <sup>3</sup>	24 (PWN)	Visueel
Distributie	10 m <sup>3</sup> /lek	9110 m <sup>3</sup>	911 (PWN)	Visueel
Aansluitingen	-	-	2235 (Evides)	Melding
	0,5 m <sup>3</sup> /lek	282 m <sup>3</sup>	564 (PWN)	Visueel
<b>Totaal</b>		12000 m <sup>3</sup> (PWN ≈ 0,2 % NIRG*)		

\*Alle benoemde lekken zijn gemeld in 1 jaar

De DPWE-bedrijven werken volgens het concept van risicogestuurd beheer. Hiertoe worden risicomatrices opgesteld waarin per beleidsdoel risico's zijn benoemd met het hoogst acceptabele niveau. Deze beleidsdoelen zijn voor de meeste bedrijven zaken als:

- Waterkwantiteit: het 24 uur per dag leveren van voldoende water met voldoende druk aan alle klanten in het beheergebied. Dit wordt o.a. uitgedrukt in OLM (ondermaatse Leverings Minuten)
- Waterkwaliteit: het 24 uur per dag leveren van water van goede kwaliteit aan alle klanten in het beheergebied. Ook dit kan worden uitgedrukt in OLM.
- Reputatie en imago (bij klanten).
- Milieu en duurzaamheid.
- Veiligheid.
- Financiële gevolgschade: voorkomen of beperken van kosten.

Deze aspecten zijn ook onderdeel van de benchmark, de bedrijfsvergelijking die de drinkwaterbedrijven uitvoeren (Vewin, 2013).

Gezien de lage lek volumes die we in Nederland hebben vergeleken met andere landen is in overleg met de werkgroep geconcludeerd dat de belangrijkste bepalende elementen zijn voor de lekopsporingstrategie:

- veiligheid;
- financiële gevolgschade;
- reputatie en imago.

Dit komt neer op het voorkomen van grote klappers, oftewel het vinden van kleine lekken voordat het grote lekken worden (zie voor een overzicht van lekdynamiek voor verschillende materialen Bijlage IV). Andere mogelijkheden voor het voorkomen van grote klappers zijn bijvoorbeeld keuzes in materiaal (zie ook Bijlage IV) en verbindingen. Daarnaast zijn uitgangspunten:

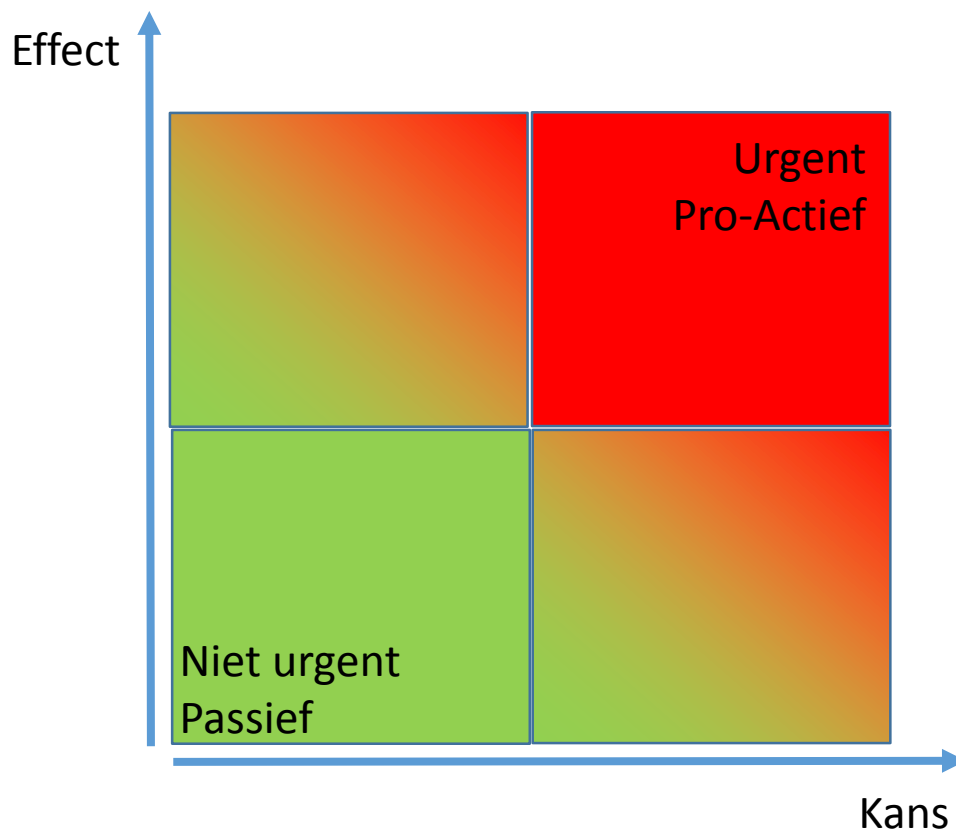
- Indien er lekken worden gemeld, wordt ook actie ondernomen; dat is reparatie of vervanging indien nodig voorafgegaan door lokalisatie van het lek.
- Voorkomen of beperken van hinder voor de omgeving. Hierbij kan gedacht worden aan:
  - Het aanpassen van werktijden als er secties drukloos moeten worden gezet, bijvoorbeeld naar de nacht of juist overdag als werkzaamheden herrie opleveren.
  - Snelle en effectieve reparatie.
  - Goede communicatie.

Naast het kwantificeren van hoeveel lekkage er nu werkelijk is en waar in het net deze plaatsvindt, is het dus ook van belang om relevante aspecten rond veiligheid, gevolgschade en reputatie te kwantificeren. Bijvoorbeeld de omvang van gevolgschade t.g.v. lekkages en het aantal lekkages dat wordt gemeld, maar niet direct kan worden gelokaliseerd (dit zijn bij uitstek geschikte lekkages om de looptijd van lekken mee te onderzoeken en de totale omvang van lek volumes).

#### 4.4 Voorstel strategie

De inzet van strategie in deze rapportage wordt gekoppeld aan risicogestuurd beheer. Risico is de vermenigvuldiging van kans en effect. In gebieden met een lage kans op lekken in combinatie met beperkt effect op de omgeving of financiën als er toch een lek optreedt, kan worden volstaan met wachten op een melding. In gebieden met een grote kans dat er een lek optreedt in combinatie met een groot effect op de omgeving of financiën wil je een lek zo snel mogelijk detecteren, lokaliseren en repareren. In deze gebieden is wachten op een melding niet afdoende en zal proactief beheer noodzakelijk zijn. Er tussenin zal afhankelijk van specifieke risico's, beleidsdoelen en kosten een keuze tussen de 2 uitersten worden gemaakt. Het is dus goed mogelijk dat binnen het beheergebied van 1 waterbedrijf verschillende strategieën worden gehanteerd.





FIGUUR 4.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN SPECTRUM RISICOGESTUURD BEHEER.

In de uitwerking van de strategie voor lekreductie volgen we de basisstrategie zoals geformuleerd in het EU referentiedocument (EU, 2015). Vertaald naar de Nederlandse situatie, komt dit neer op:

1. Het verbeteren van inzicht in de omvang van lekverliezen en de veroorzakers.
  - a. Inzicht in de gebieden met het grootste risico op lekverliezen en schade voor de beleidsdoelen.
  - b. Vermindering van onnauwkeurigheden in de bepaling van de reële lekverliezen, zie ook Beuken et al. (2005).
2. Inzet van detectie en lokalisatietechnieken op basis van risico en kosten (o.a. Farley en Trow, 2003).
  - a. Waar moet welke techniek worden ingezet?
  - b. Hoe vaak moet een techniek worden ingezet?
  - c. Op welk moment is een gebied afdoende onderzocht?

#### 4.4.1 Verbeteren van inzicht in de omvang van lekverliezen en veroorzakers

In de vorige paragraaf is geconstateerd dat er op basis van de gegevens te weinig inzicht is in de bronnen van NIRG, zijn er teveel onnauwkeurigheden in de bepaling van het NIRG of wordt slechts een zeer beperkt deel van de lekken gevonden? Hier is meer inzicht in nodig om te kunnen bepalen hoe technieken het meest effectief kunnen worden ingezet. Vermindering van onnauwkeurigheden in de bepaling van reële lekverliezen kan door het bemeten van DMA's met behulp van volumestroommeters. De waterbalans van deze DMA's is nauwkeuriger te bepalen (afhankelijk van de gebruikte volumestroommeters) dan een

balans op basis van doorgegeven watermeterstanden en de volumestroommeters op het uitgaande water bij de productiestations.

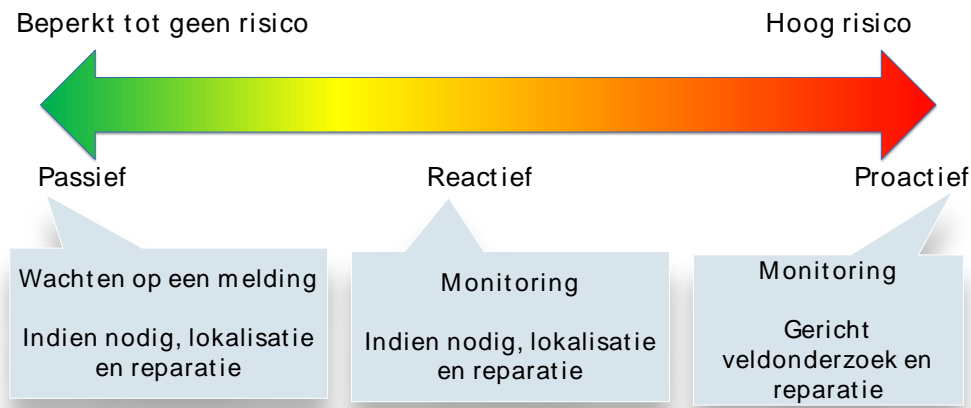
Een bedrijf kan er voor kiezen om het gehele beheergebied in DMA's op te delen, maar gebieden kunnen ook worden geselecteerd op basis van risico (inclusief economisch rendement). Het bepalen van dit risico kan met behulp van andere informatiebronnen, zoals:

- gebieden met hoge storingsfrequenties (kans);
- gebieden met leidingen van hogere leeftijd (kans);
- gebieden met inspectiegegevens die duiden op slechte conditie (kans);
- gebieden met een hoog omgevingsrisico (effect, bv. BEEL-locaties).

Voor de toekomst wordt het wellicht ook mogelijk om met slimme watermeters een nauwkeuriger waterbalans te bepalen. Op dit onderwerp wordt in 2017 een DPWE-project uitgevoerd, 'Toepassingsmogelijkheden intelligente watermeters voor netbeheer en klant'.

#### 4.4.2 Inzet van detectie- en lokalisatietechnieken

Afhankelijk van het vastgestelde risico is een actieve of een passieve houding het meest effectief, Figuur 4.4, waarbij in de meest passieve strategie alleen actie wordt ondernomen bij een melding. In de meest actieve strategie worden niet alleen DMA's gemonitord, maar worden er ook gericht gebieden onderzocht met leklokalisatietechnieken. Welke technieken dit zijn, hangt af van het gebied in kwestie. Hiervoor kunnen de eigenschappen en factsheets worden gebruikt, zoals opgesteld in dit onderzoek (Hoofdstuk 3). Ook het schaalniveau waarop monitoring plaatsvindt, zal afhangen van de risicobeoordeling, in de meest passieve vorm zal monitoring zich beperken tot productiegebied, terwijl in de reactieve en proactieve vorm monitoring zal plaatsvinden op DMA niveau of zelfs in lokale gevallen leidingniveau.



FIGUUR 4.4 SPECTRUM VAN HANDELINGSMOGELIJKHEDEN AFHANKELIJK VAN RISICOBEOORDELING.

Er kunnen gebieden zijn waar gezien het risico onvoldoende mogelijkheden bestaan om snel en nauwkeurig lekken te lokaliseren, bijvoorbeeld:

- gebieden met een te groot effect te snel na het ontstaan van een lek;
- gebieden met kunststof leidingen of gebieden met beperkte mogelijkheden om akoestische sensoren te plaatsen;
- gebieden met een drukke ondergrondse infrastructuur waardoor remote sensing technieken beperkt toepasbaar zijn.

In dat geval kunnen ook kans- en effect-reducerende maatregelen worden uitgevoerd. Dit type maatregelen valt niet binnen de scope van dit rapport en staat in meer detail beschreven in van Vossen and Beuken (2016). Voorbeelden zijn:

- het gebruik van leidingmaterialen waar lekken gemakkelijker kunnen worden opgespoord;
- het gebruik van mantelbuizen, lekverklikkers en water-op-vloer-melders.

De meerwaarde van maatregelen volgen uiteindelijk uit een balans tussen kosten en opbrengsten. Dit zal in de vorm van beleid met behulp van de risicomatrix per bedrijf moeten worden bepaald.

Afhankelijk van de snelheid waarmee een lek moet worden gevonden kunnen technieken om lekken te detecteren en lokaliseren worden ingezet. Bij meldingen van grote lekken moet er snel worden ingegrepen en zal geen step-flow-test worden ingezet. Bij actieve lekopspringing zonder voorafgaande melding zijn er meer mogelijkheden en kunnen gebieden worden geselecteerd op basis van bijvoorbeeld:

- gebieden die naar voren komen in de risicoanalyse;
- aansluiten bij spuiprogramma's (bijvoorbeeld bij step-flow-tests, zie Mesman en van Thienen, (2015)).

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusie

Om voor de netbeheerder inzichtelijk te maken voor welk type vraagstuk welk lekdetectie- en/of -lokalisatiesysteem kan worden ingezet, is een overzicht gemaakt van de beschikbare technieken en hun toepassingsmogelijkheden. Ook is een strategie opgezet voor de inzet van deze technieken gebaseerd op risicogestuurd beheer, dat wil zeggen het afstemmen van de strategie op kans op lekkage en het effect van lekkage. In Nederland zijn de lekverliezen relatief laag en de kosten van gelekt water zullen daarom op de meeste locaties geen reden zijn om een actieve lekopsporingstrategie op te stellen. Er zijn echter andere redenen om aan lekopsporing te doen, waarvan veiligheid, reputatie en voorkomen van kosten door gevolgschade de belangrijkste zijn. De sector heeft de ambitie om het huidige lage niveau van lekverliezen vast te houden in de toekomst, terwijl het netwerk veroudert en meer kans op lekkage geeft en daarnaast de omgeving steeds drukker wordt, wat een groter effect van lekkages geeft. Gericht inzetten van lekdetectie en -lokalisatietechnieken en de beste techniek kiezen voor elke situatie zorgen voor betere lekopsporing en een betere inzet van middelen.

Specifiek zijn de volgende zaken onderzocht:

#### **De prestatie van het Nederlandse waterleidingnet.**

Het Nederlandse waterleidingnet heeft een ILI <1. Dat wil zeggen dat de lekverliezen minder zijn dan wat internationaal gezien als onvermijdelijk wordt geacht. Ondanks onzekerheden in de bepaling van de lekverliezen mag de conclusie worden getrokken dat in Nederland de lekverliezen relatief laag zijn en dat kosten van gelekt water alleen voor de meeste bedrijven geen reden zal zijn om een actieve lekopsporingstrategie op te stellen. Echter, de ambitie van de sector is om dit niveau vast te houden richting de toekomst en dat vraagt investeringen in een verouderend netwerk. Daarnaast zijn er andere beleidsdoelen op basis waarvan een (actievare) lekstrategie gewenst is, zoals voorkomen van kosten door gevolgschade, imago en veiligheid.

#### **Overzicht van lekdetectie- en leklokalisatietechnieken**

In dit document is een overzicht gegeven van lekdetectie- en leklokalisatietechnieken. Dit overzicht is gebaseerd op een literatuuronderzoek gecombineerd met de ervaringen van de drinkwaterbedrijven. Hiervoor is een factsheet ontwikkeld waarin de benodigde informatie is opgenomen om de toepassingsmogelijkheden van technieken in te schatten. De ervaringen met het invullen van deze factsheets hebben laten zien dat het uitwisselen van ervaringen tussen bedrijven waardevolle informatie biedt, zeker als de factsheets worden aangevuld door de verschillende bedrijven. Echter, de gewenste gegevens van uitgevoerde pilots zijn vaak niet tot nauwelijks te achterhalen en met een aantal interessante technieken is nog niet tot nauwelijks ervaring opgedaan.

#### **Strategie inzet technieken**

Gegeven de lage lekverliezen in Nederland is geconcludeerd dat de belangrijkste gerelateerde beleidsdoelen veiligheid, imago, reputatie en financiële gevolgschade zijn. Ook is geconcludeerd dat er op basis van het NIRG en de meldingen van lekken te weinig inzicht is hoeveel reële lekkage er daadwerkelijk is, waar deze voorkomt en hoe groot de lekken zijn.

Er is een strategie ontwikkeld voor de inzet van deze technieken gebaseerd op risicogestuurd beheer, dat wil zeggen het afstemmen van de strategie op kans op lekkage en het effect van lekkage. De strategie bestaat uit:

- het verminderen van de onzekerheid in de omvang van de reële lekverliezen door monitoring op DMA-niveau in elk geval in gebieden die als risicovol zijn aangeduid in aanvulling op gebiedsbrede monitoring;
- het bepalen van een risico op basis van beschikbare informatie over bv. storingen, inspectieresultaten, omgevingsrisico en dergelijke;
- het bepalen van de gewenste activiteiten op basis van het risicoprofiel;
- het bepalen of additionele beheermaatregelen om effecten te reduceren noodzakelijk zijn.

## 5.2 Aanbevelingen

### Strategie voor inzet technieken

- Vergroten van inzicht in omvang lekverliezen: bemeten van DMA's in elk geval die gebieden waar lekkage wordt vermoed. Voor een efficiënte inzet van technieken is het van belang om de onzekerheden in de waterbalans te verkleinen. Het is aan te bevelen om de waterbalansen voor deze gebieden te vergelijken met de traditionele wijze van berekenen met behulp van watermeterstanden.
- Bijhouden van financiële gevolgschade als gevolg van lekken en onderzoeken van situaties met meldingen waar niet direct een lek kan worden gelokaliseerd.
- Risico's van lekkage moeten worden gekwantificeerd en gemonetariseerd om te kunnen bepalen welke strategie in welk deelgebied gewenst is.
- De voorgestelde invulling van de strategie zal in de meeste gevallen neerkomen op diversiteit in het beheergebied. In het ene gebied zal een veel actievere lekopspring worden ingesteld dan in andere gebieden. Dit vraagt om een goede onderbouwing en vastlegging.
- Gebruik alle beschikbare gegevens voor bepalen risico's, dus ook leidingnetkenmerken, storingsgegevens etc.

### Aanvullen ervaringskennis

- Aanvullen van de factsheets: de factsheets zijn in dit onderzoek ingevuld door één waterbedrijf per techniek. Ervaringen van waterbedrijven per techniek zijn sterk wisselend. Het zou dus waardevol als deze gegevens werden aangevuld, niet alleen door de andere DPWE-bedrijven, maar door alle drinkwaterbedrijven.
- Actualiseren van de factsheets: de ontwikkelingen op het gebied van inspectie, detectie en lokalisatietechnieken gaan snel. Het is daarom aan te bevelen om de factsheets regelmatig te actualiseren. Daarbij kan worden aangesloten bij lopend BTO onderzoek naar 'Tools kennisopbouw inspectietechnieken' waarin een portal wordt ontwikkeld om kennis over inspectietechnieken te verzamelen en te ontsluiten.

### Ontwikkelingen lekdetectie en leklokalisatie algoritmes

Een aantal drinkwaterbedrijven maakt momenteel gebruik van monitoringssoftware, zoals Takadu, BurstAlert of eigen software. De ervaringen zijn tot nu toe redelijk beperkt tot het opdoen van inzichten over ontwerp van DMA's, inzicht in het netwerk, eisen aan sensoren en sensorregistraties. De meeste ontdekte lekken tot nu toe worden ook gemeld. De verwachting is dat deze algoritmes steeds sneller en effectiever worden. Dat vraagt het volgende:

- Inzetten op goed gekalibreerde, actuele modellen. Detectie met behulp van hydraulische modellen staat of valt met de kwaliteit van het model. Afsluiterstanden moeten bv. kloppen. Een real-time gekalibreerd, actueel model is bij de meeste waterbedrijven niet aanwezig.
- In te zetten op nauwkeurige voorspellingen van verbruik. Dit kan door bv. SIMDEUM te gebruiken, maar ook door goed naar de patronen uit het verleden te kijken.
- In de te monitoren gebieden goed gedimensioneerde, gesynchroniseerde en nauwkeurige sensoren plaatsen.

#### **Ontwikkelingen overige interessante technieken**

In een eerder DPWE-project (Slaats et al., 2012) is een pilot om met glasvezeltechnologie metingen uit te voeren niet doorgegaan vanwege kosten. Dit ging echter om het meten van geluid, temperatuur, druk en xyz-variatie. Het is interessant om de mogelijkheden voor specifiek lekdetectie beter in kaart te brengen, zeker ook gezien de resultaten van een pilot bij Oasen in 2014. Gezien de ontwikkelingen sinds 2012 in het glasvezelnet in Nederland is het daarnaast interessant om de mogelijkheden van dark fibres beter in kaart te brengen.

# Referenties

- Alegre, H., Baptista, J. M., Jr, E. C., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., and Parena, R., 2000, Manual of best Practice: Performance Indicators for Water Supply Services, IWA Publishing, London, UK.
- Beuken, R., Schaap, P., and Kivit, C., 2005, Lekverlies bij DPW en Oasen: De Nederlandse situatie bekeken met Engelse know-how, Kiwa N.V. Water Research, KWR 05.010, Nieuwegein.
- Beuken, R. H. S., and Mesman, G. A. M., 2011, Kennissysteem Levensduurbepaling Versie 2.0, KWR, Nieuwegein, pp. 40.
- Breen, J., and Scholten, F., 2013, De invloed van restspanning op de weerstand van pvc-buizen tegen RCP, *H2O-online*.
- Cheung, P. B., Girol, G. V., Abe, N., and Propato, M., 2010, Night flow analysis and modeling for leakage estimation in a water distribution system, in: *Integrating water systems* (Boxall, and Maksimovic, eds.), Taylor & Francis Group, London, UK.
- Colombo, A. F., Lee, P., and Karney, B. W., 2009, A selective literature review of transient-based leak detection methods, *Journal of Hydro-environment Research* 2:212-227.
- Deuerlein, J. W., 2008, Decomposition model of a general water supply network graph, *J. of Hydraulic Engin.* 134(6).
- Di Nardo, A., and Di Natale, M., 2010, A design support methodology for district metering of water supply networks, in: *Water Distribution System Analysis (WDSA)*, Tucson, AZ, USA.
- Diao, K., Zhou, Y., and Rauch, W., 2013, Automated Creation of District Metered Area Boundaries in Water Distribution Systems, *J. Water Resour. Plann. Manage.* 139:184-190.
- EU, 2015, EU Reference Document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Farley, M., and Trow, S., 2003, Losses in water distribution networks: a practitioner's guide to assessment, monitoring and control, IWA Publishing, London, UK.
- Greyvenstein, B., and van Zyl, J. E., 2007, An experimental investigation into the pressure-leakage relationship of some failed water pipes, *J. Water Supply: Res. Technol. AQUA* 56(2):117-124.
- Hamilton, S., and Charalambous, B., 2013, Leak Detection: technology and Implementation, IWA Publishing, London, UK.
- Herrera, M., Canu, S., Karatzoglou, A., Perez-Garcia, R., and Izquierdo, J., 2010, An approach to water supply clusters by semi-supervised learning, in: *Int. Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting*, Ottawa, Canada.

Hydromax, and Utilis, Brochure: pinpoint leak-related water loss with new cutting-edge satellite scanning technology.

Izquierdo, J., Herrera, M., Montalvo, I., and Pérez-García, R., 2011, Division of Water Supply Systems into District Metered Areas Using a Multi-agent Based Approach, in: *Software and Data Technologies: 4th International Conference, ICSOFT 2009, Sofia, Bulgaria, July 26-29, 2009. Revised Selected Papers* (J. Cordeiro, A. Ranchordas, and B. Shishkov, eds.), Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 167-180.

Kim, S. H., 2005, Extensive Development of Leak Detection Algorithm by Impulse Response Method, *Journal of Hydraulic Engineering* 131(3):201-208.

Lambert, A. O., Brown, T. G., Takizawa, M., and Weimer, D., 1999, A review of performance indicators for real losses from water supply systems, *J. Water SRT-Aqua* 48(6):227-237.

Liggett, J. A., and Chen, L. C., 1994, Inverse Transient Analysis in Pipe Networks, *Journal of Hydraulic Engineering* 120(8):934-955.

Meniconi, S., Brunone, B., Ferrante, M., and Massari, C., 2011, Potential of transient tests to diagnose real supply pipe systems: what can be done with a single extemporaneous test, *J. of Water Resources Planning and Management* 137(2):238-241.

Mesman, G. A., 2015, FaalmechanismenPVC leidingen, KWR, Nieuwegein.

Mesman, G. A., and van Thienen, P., 2015, Lekzoeken met hydraulische modellen, KWR, Nieuwegein, pp. 43.

Mesman, G. A. M., 2016, Automatische registratie afsluiterstanden, KWR, Nieuwegein, pp. 34.

Palau, C. V., Arregui, F. J., and Carlos, M., 2012, Burst detection in water networks using principal component analysis, *J. of Water Resources Planning and Management* 138(1).

Perelman, L., and Ostfeld, A., 2010, Bayesian networks for estimating contaminant source and propagation in water distribution system using cluster structure, in: *Water Distribution System Analysis (WDSA)*, Tucson, AZ., USA.

Perez, R., Puig, V., Pascual, J., Quevedo, J., Landeros, E., and Peralta, A., 2011, Methodology for leakage isolation using pressure sensitivity analysis in water distribution networks, *Control Engineering Practice* 19(10):1157-1167.

Poulakis, Z., Valougeorgis, D., and Papadimitriou, C., 2003, Leakage detection in water pipe networks using a Bayesian probabilistic framework, *Probabilistic Engineering Mechanics* 18:315-327.

Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D., and Koppel, T., 2006, Probabilistic leak detection in pipe networks using the SCEM-UA algorithm, in: *8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium (WDSA)*, Cincinnati, Ohio, USA.

Quevedo, J., Cuguero, M., Perez, R., Nejjari, F., Puig, V., and Mirats, J., 2011, Leakage location in water distribution networks based on correlation measurement of pressure sensors, in: *IWA Symposium on Systems Analysis and Integrated Assessment*, San Sebastian, Spain.



Saldarriaga, J. G., 2006, Implementation of the hydraulic transient and steady oscillatory flow with genetic algorithms for leakage detection in real water distribution networks, in: *8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium*, Cincinnati, Ohio, USA.

Savic, D., Lambert, A., and Kapelan, Z., 2005, Water losses management and leakage detection techniques for water distribution systems, *Water & Sewerage Journal* 2:25-27.

Slaats, N., Arsenio, A., Wielinga, M., Blokker, E. J. M., Dignum, M., and Hekhuizen, E., 2012, Pilot sensoren – praktijkervaringen, KWR, Nieuwegein, pp. 45.

Swamee, P. K., and Sharma, A. K., 2008, Design of water supply pipe networks, John Wiley & Sons.

Tetzner, 2003, Model-based Pipeline Leak Detection and Localization, *3R international* 42(7):455-460.

Thienen, P. v., Pieterse-Quirijnse, I., Kater, H. d., and Duifhuizen, J., 2012, Nieuwe lekverliesbepalingsmethoden voor het drinkwaterdistributienet, *H2O*.

Thomson, J., and Wang, L., 2009, Condition Assessment of Ferrous Water Transmission and Distribution Systems, in: *State of technology review report*, US EPA, Battelle.

Tzatchkov, V. G., Alocoer-Yamanaka, V. H., and Ortiz, V. B., 2006, Graph theory based algorithms for water distribution network sectorization projects, in: *8th Water Distribution System Analysis Symposium (WDSA)*, Cincinnati, Ohio.

van der Gaag, B., Beuken, R., and Brandt, A., 2011, Toepassing sensortechnologie in het distributienet, KWR, Nieuwegein, pp. 64.

van Vossen, J., and Beuken, R. H. S., 2016, Beheerkader en technische maatregelen voor het beheer van risicovolle leidingen, KWR, Nieuwegein.

Vewin, 2013, Water in zicht 2012: bedrijfsvergelijking drinkwatersector, Vewin nr. 2013 / 119 / 6281, Den Haag.

Vewin, 2014, Position paper Lekverliezen bij de drinkwatervoorziening (Vewin, ed.), Den Haag.

Vitkovsky, J. P., Lambert, M. F., Simpson, A. R., and Liggett, J. A., 2007, Experimental Observation and Analysis of Inverse Transients for Pipeline Leak Detection, *J. of Water Resources Planning and Management* 133(6):519-530.

Wu, Y., Liu, S., Wu, X., Liu, Y., and Guan, Y., 2016, Burst detection in district metering areas using a data driven clustering algorithm, *Water Research* 100:28-37.

Wu, Z. Y., Farley, M., Turtle, D., Kapelan, Z., Boxall, J., Mounce, S., Dahasahasra, S., Mulay, M., and Kleiner, Y., 2011, Water loss reduction, Bentley Institute Press, Exton, Pennsylvania, USA.

Ye, G., and Fenner, R. A., 2011, Kalman Filtering of Hydraulic Measurements for Burst Detection in Water Distribution Systems, *J. of Pipeline Systems Engineering and Practice* 2(1):14-22.



# Bijlage I Eindpresentatie

A close-up photograph of a blue microscope slide with white markings. The slide is tilted, and the numbers '1500' and '1000' are visible. The background is blurred.

Bridging science to practice 1

## Eindoverleg DPWE lekopspring

Jojanneke van Vossen (KWR), Arne Bosch (Waternet), Dennis Gardien (Dunea), Piet Beers (PWN) en Bart Bergmans (Evides)

KWR Watercycle Research Institute

Bridging science to practice 2

## Projectplan

Doel van dit onderzoek is het voor de netbeheerder inzichtelijk maken voor welk type vraagstuk welk lekdetectiesysteem kan worden ingezet.

1: Overzicht van de verschillende in gebruik zijnde lekdetectie-systemen met kenmerken zoals doel, sterke en zwakke punten en kosten per methodiek.

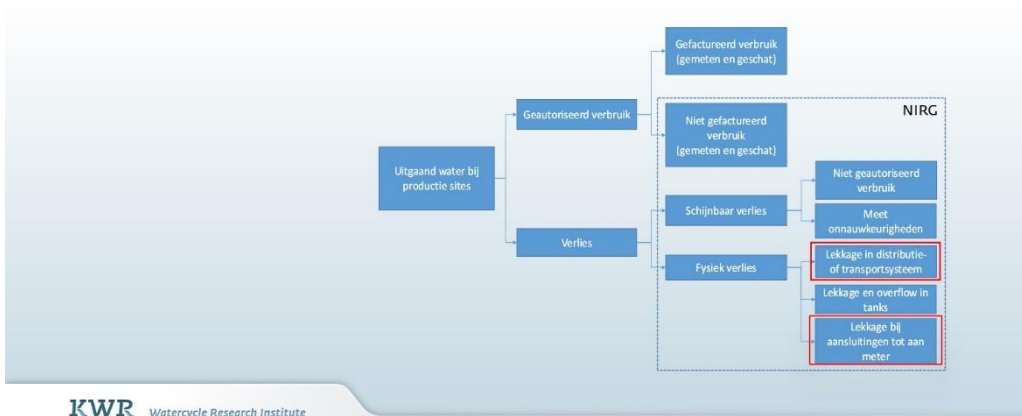
2: Strategie hoe methodieken eventueel in combinatie met elkaar kunnen worden ingezet om zo effectief mogelijk de risico's van lekkages aanvaardbaar te houden

Rapport en managementsamenvatting (zie voorstel)

Powerpoint presentatie, die de projectleden kunnen presenteren in hun eigen bedrijf

## Definitie lekverliezen

### Scope van het project



## Omvang lekverliezen

### ILI

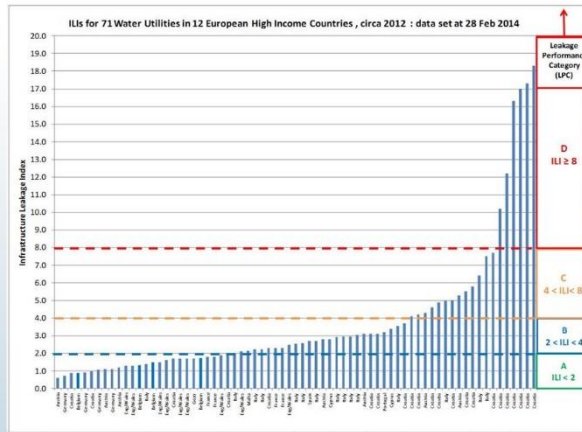
NL	Jaar	ILI <sup>o</sup>	Lekverlies (%) <sup>oo</sup>
	2000	0,4-0,6	5,3
	2010	0,4-0,5	5,0
	2013	0,4-0,5	5,7
	2014	0,4-0,6	6,1

Waterbedrijf	ILI <sup>oo</sup>	Lekverlies (%) <sup>oo</sup>
PWN	0,6	5,6
Evides	0,8	7,7
Dunea	0,6	4,5
Waternet	0,9	2,9

<sup>o</sup>30-40 mwk

<sup>oo</sup> Benaderd door NIRG

<sup>ooo</sup> Werkelijke druk: gemiddeld 29,5 mwk



Bron: www.leakssuite.com

## Overzicht technieken

### Detecteren: DMA niveau

#### Doel detectie:

- 1: Is er sprake van lekverlies?
- 2: Welke omvang heeft het lekverlies?
- 3: In welke regio treedt het lekverlies op?

#### Monitoring meestal op:

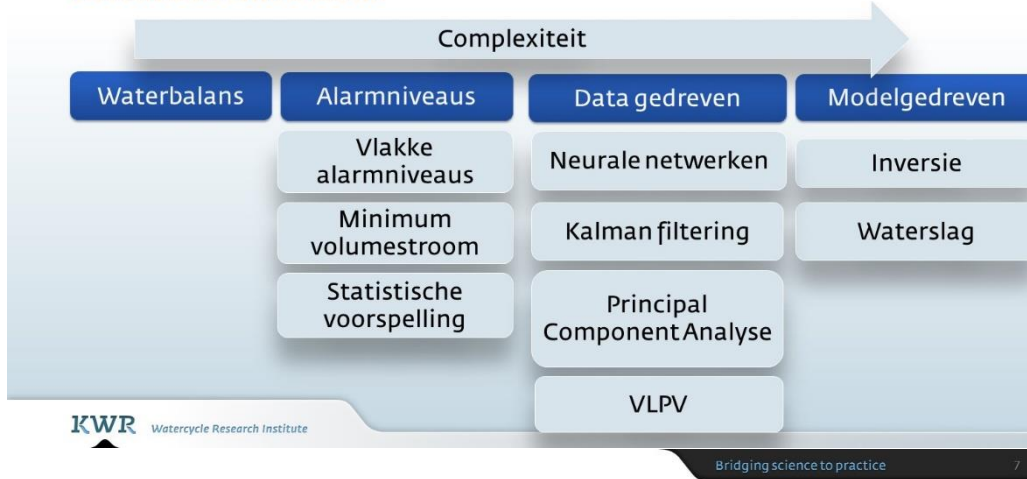
- 1: Volumestromen
- 2: Druk
- 3: Geluid
- 4: Combinatie

#### Belangrijke afwegingen bij monitoring:

- Indeling in DMA's
  - Vast, mobiel of virtueel
  - Omvang
- Gegevensregistratie
  - Frequentie
  - Gemiddeld, momentaan of maximum
  - Synchroniteit sensoren

## Overzicht technieken

### Detecteren: DMA niveau



## Ervaringen: alarmniveaus

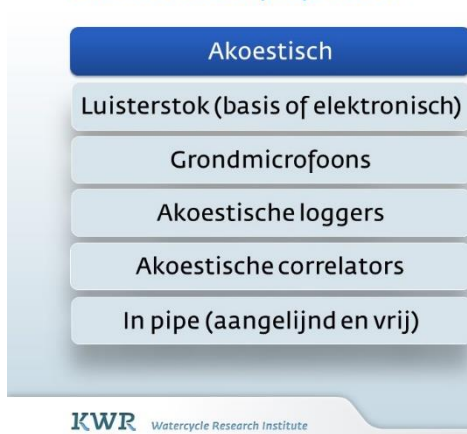
DMA monitoring	Dunea	PWN	Evides	Waternet
Vaste DMA's	😊		😊 😞	😊
Mobiele DMA's	😞			
Virtuele DMA's				

Ervaring groeit, belang van DMA grootte, inleerperiodes, maar lijkt veelbelovend. Mobiel is arbeidsintensief en foutgevoelig.

- Vitens: dynamische bandbreedtemonitor, nachtverbruikmonitor, lekmonitor 😊
- Oasen: minimum nachtvolume en methode Janneke Moors 😊

## Overzicht technieken

### Lokaliseren en pinpointen



### Achtergrond

2 soorten akoestische loggers en correlators:

- Accelerometers (vibraties):
  - Aanbrengen op leiding of appendage
  - Toepasbaar op metaal, kleine diameters
- Hydrofoons:
  - Aanbrengen in water
  - Minder gevoelig voor materiaal, diameter
  - Gevoelig voor obstakels



Lek moeilijker te lokaliseren in niet-metalen leidingen, grote diameters en kleine wanddikte

## Ervaringen

Bridging science to practice

9

Akoestisch	Dunea	PWN	Evides	Waternet
Correlators				
Loggers				
Hydrofoons				
Grondmicrofoons				
In-pipe				

- Slechte ervaringen met kunststof en vinden geschikte locaties voor plaatsen sensoren

Bridging science to practice

10

## Overzicht technieken

### Lokaliseren en pinpointen

Remote sensing

Infrarood

GPR (radio)

Visueel

Breedbandspectrum

### Achtergrond

Meten van buitenaf:

- Aan oppervlak
- Drones
- Helikopter
- Vliegtuig
- Satelliet

Gebruik maken van verschillende frequenties elektromagnetische golven

Bridging science to practice

11

## Ervaringen

Overige	Dunea	PWN	Evides	Waternet
Visueel				
Breedbandspectrum satelliet				

- Sterk wisselend beeld: zeer lokale oplossingen

## Overzicht technieken

### Lokaliseren en pinpointen



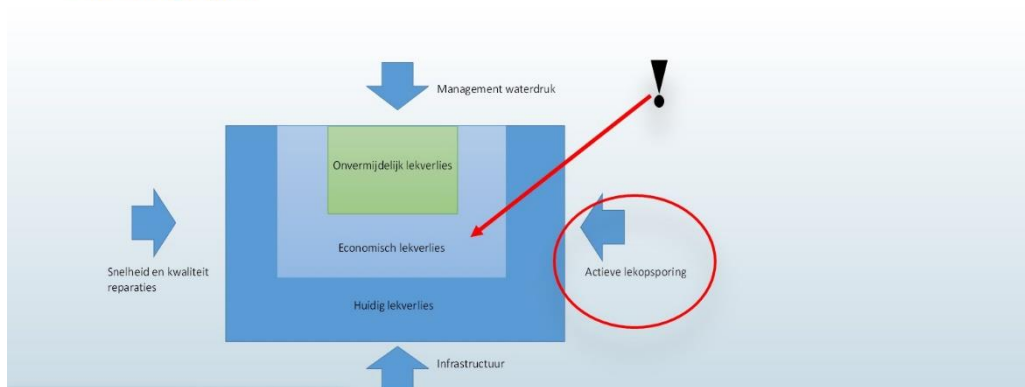
## Ervaringen

Overige	Dunea	PWN	Evides	Waternet
Gasinjecties		☹️	😊	
Druktest		😊	😊	
Lokale volumestroommeters		😊		
Meldingen	😊	😊	😊	😊

- Sterk wisselend beeld: zeer lokale oplossing
- Oasen: slimme drukmeters binnen DMA 😊

## Strategie inzet technieken

### Overwegingen



## Strategie inzet technieken

### Overwegingen



## Strategie inzet technieken

### Beleidsdoelen

- Waterkwantiteit: het 24 uur per dag leveren van voldoende water met voldoende druk aan alle klanten in het beheergebied. Dit wordt o.a. uitgedrukt in OLM (ondermaatse Leverings Minuten)
- Waterkwaliteit: het 24 uur per dag leveren van water van goede kwaliteit aan alle klanten in het beheergebied. Ook dit wordt uitgedrukt in OLM.
- Reputatie en imago (bij klanten)
- Milieu en duurzaamheid
- Veiligheid
- Financiële gevolgschade: voorkomen of beperken van kosten.

## Strategie inzet technieken

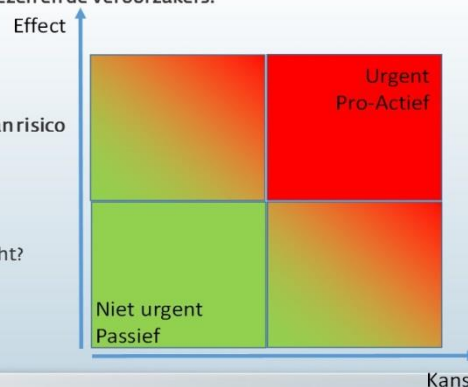
### Risicogestuurd beheer

Het verbeteren van inzicht in de omvang van lekverliezen en de veroorzakers.

- Inzicht in de gebieden met het grootste risico
- Vermindering van onnauwkeurigheden

Inzet van detectie en lokalisatietechnieken op basis van risico en kosten

- Waar moet welke techniek worden ingezet?
- Hoe vaak moet een techniek worden ingezet?
- Op welk moment is een gebied afdoende onderzocht?





## Strategie inzet technieken

### Bepalen risico en verminderen onnauwkeurigheid

- Monitoring volumestromen en/of druk op DMA niveau

Waar?

- Gebieden met hoge storingsfrequenties (kans);
- Gebieden met leidingen van hogere leeftijd (kans);
- Gebieden met inspectiegegevens die duiden op slechte conditie (kans);
- Gebieden met een hoog omgevingsrisico (effect, bv. BEEL-locaties).

## Basisstrategie

Beperkt tot geen risico

Hoog risico



Passief

Reactief

Proactief

Wachten op een melding  
Indien nodig, lokalisatie  
en reparatie

Monitoring  
Indien nodig, lokalisatie  
en reparatie

Monitoring  
Gericht  
veldonderzoek en  
reparatie

Daarnaast: effectreducerende maatregelen

## Conclusies

- Prestatie Nederlands netwerk: ILI<1. Op meeste plaatsen kostenbesparing geen doel voor lekopspring
- Overzicht lekdetectie en lokalisatietechnieken.
  - Factsheets ontwikkeld en gevuld voor zover mogelijk
- Strategie op basis van risicogestuurd beheer:
  - Monitor DMA's om omvang en aard lekkages beter in zicht te krijgen
  - Strategie op basis van risico lekkages (verschilt per gebied)
  - Gebruik alle informatie voor risicobepaling, zoals
    - Storingsgegevens
    - Leidingnetkenmerken

## Aanbevelingen

- **Strategie inzet technieken:**
  - Bemeten van DMA's om schatting lekverliezen te verbeteren
  - Vergelijk waterbalans DMA met watermeterstanden
  - Kwantificeer en monetariseer risico's, bepaal economisch niveau
  - Onderbouw en leg vast waarom aanpak per gebied verschilt
  - Gebruik alle beschikbare gegevens voor risicobepaling
- **Vul factsheets aan en actualiseer ze**
  - Alle (Nederlandse) (drink)waterbedrijven
  - Sluit aan bij portal uit BTO project 'tools kennisopbouw inspectietechnieken'
- **Ontwikkelingen lekdetectie en lokalisatie algoritmes:**
  - Zet in op actuele, gekalibreerde modellen
  - Zet in op betrouwbare schattingen verbruik (met behulp van modellen zoals vb. SIMDEUM)
  - Plaats goed gedimensioneerde, betrouwbare, gesynchroniseerde sensoren

## Aanbevelingen

- Voer pilot uit met glasvezel en breng mogelijkheden 'dark fibres' in kaart

## Bijlage II Factsheet lekdetectie- en lokalisatietechnieken

De ingevulde factsheets zijn als Word documenten opgeleverd. Er zijn factsheets ingevuld voor:

Naam techniek/aanbieder:	Ingevuld door bedrijf:
Echologics Leak finder ST	Evides
Esders-Hunter H2	Evides
Gutermann Aquascan TM2	Evides
HWM Pamer-touch Pro	Evides
Inventec PipeAlert	Evides
Primayer Eureka3	Evides
TaKaDu	Evides
Utilis	Evides
vonRoll Hydro Terralog	Evides
BurstAlert	Dunea
Dunea-nachtmeten	Dunea
Pipe-inspector	PWN
Drukmetingen PWN	PWN
Schmidt Watertechniek-Infrarood thermografie	Waternet
Pure Technologies Smartball	Waternet
S.P. Luftbild GmbH	Waternet
Waterbalans	Waternet
VLPV	KWR
Oasen-Moors	KWR (in overleg met Oasen)
Stepflow	KWR

Techniek	<i>Vul naam techniek in</i>	
Ingevuld door, datum	<i>Naam en bedrijf, datum</i>	
Leverancier		
Fabrikant		
<b>Korte beschrijving werking</b>		
<i>Meetprincipe, meetparameters, operationele aspecten (toegang tot leiding).</i>	<i>Foto of figuur</i>	
Vereiste hardware	<i>Beschrijving inclusief resolutie, nauwkeurigheid</i>	
Vereiste software		

<b>Status</b>	<i>Kies uit: onderzoek, prototype, commercieel (evt. onderscheid NL en internationaal maken)</i>
<b>Toepassingsmogelijkheden</b>	<i>Diameter</i>
	<i>Materiaal</i>
	<i>Lengte (per toepassing)</i>
	<i>Diepte leiding</i>
	<i>Aansluitingen (ja/nee/maximum aantal/km)</i>
	<i>Vereiste toegang tot leiding (bv. brandkranen)</i>
	<i>Werkdruk</i>
	<i>Toepassing onder druk mogelijk ja/nee (in geval van in pipetoepassingen)</i>
<b>Toepassingsmethode</b>	<i>Specificeer werkstappen voor uitvoering en data interpretatie (welke stappen van data naar leidingkenmerken)</i>
<b>Prestatie-kenmerken</b>	<i>Detectielimiet</i>
	<i>Nauwkeurigheid</i>
	<i>Ruimtelijke schaal (Leiding, sectie, DMA, netwerk)</i>
	<i>Detectietijd (Online, offline na periode dag/week/maand/jaar)</i>
	<i>Doorlooptijd product</i>
<b>Kosten</b>	<i>Enmalige kosten en operationele kosten in €/meter inclusief overzicht welke onderdelen zijn meegenomen. Specificeer referentiejaar en bron/onderbouwing.</i>
	<i>Uurbestedingen intern</i>
<b>Ervaringen</b>	<i>Diameter</i>
	<i>Materiaal incl. conditiebeschrijving</i>
	<i>Lengte</i>
	<i>Diepte leiding</i>
	<i>Aansluitingen (aantal)</i>
	<i>Toegangspunten tot leiding</i>
	<i>Werkdruk</i>
	<i>Toepassing onder druk ja/nee</i>
	<i>Netwerkbijzonderheden (zoals bochten, aftakkingen, kunstwerken, brandkranen, afsluiters)</i>
	<i>Uitvoeringsjaar</i>
	<i>Leverancier en evt. versie van de techniek.</i>
	<i>Welke lekken zijn gevonden (specificeer aantal, aantal/km, omvang lekken in m<sup>3</sup>/uur)?</i>
	<i>Vals-positieven (ja/nee en zo ja, beschrijving)</i>
	<i>Hoe was de algehele ervaring met de techniek (moeilijk, eenvoudig toe te passen (door bedrijf zelf of door specialist) met toelichting)</i>
	<i>Waren er bijzonderheden in de toepassing? (bv. leveringsonderbrekingen, aanbrengen apparatuur)</i>
	<i>Wat is specifiek geconcludeerd over deze meting, m.n. voor wat betreft de toepassing</i>
	<i>Op welke wijze konden de meet/analyseresultaten worden ingezet in beheer activiteiten. (aard data, kwaliteit data, bruikbaarheid resultaten)</i>
<i>Geef een voorbeeld van de resultaten.</i>	
<b>Voordelen</b>	
<b>Beperkingen</b>	<i>Bv. maximum lengte in combinatie met beschikbaarheid leidingtoegang, benodigde betrouwbaarheid model,</i>

	<i>beperingen door netwerktopologie (zoals gelust of getrap, aantal aftakkingen e.d.)</i>
<b>Referenties en links</b>	
<b>Overige opmerkingen</b>	

## Bijlage III Commercieel aangeboden lekdetectietechnieken op basis van algoritmes (Hoofdstuk 2.2 BTO 2015.064)

Er worden methoden voor het lokaliseren van lekken commercieel aangeboden. Commercieel aangeboden methoden gebaseerd op numerieke modellen zijn weergegeven in tabel .

De GALILEO-methode van Krohne (Tetzner, 2003) maakt gebruik van een drietal metingen van volumestroom, druk en/of temperatuur aan het begin en/of het eind van een pijplijnsegment. Deze dienen als randvoorwaarden voor het oplossen van een stelsel vergelijkingen (impuls, energie, en continuïteit), waaruit de omvang en locatie van een lek in het segment volgen. De benadering is geschikt voor compressibele en incompressibele media. In het laatste geval (incompressibel), in praktische zin ook van toepassing op drinkwater in leidingen, vereenvoudigt de benadering tot een simpele volumestroombalans, zoals deze reeds in de drinkwatersector wordt toegepast, waarbij alleen de omvang wordt vastgesteld en niet de locatie.

TaKaDu maakt gebruik van statistische/wiskunde modellen om afwijkingen in het functioneren van een leidingnet te detecteren. Het gaat daarbij om mogelijke lekken, afwijkende verbruiken, afwijkende drukken, niet goed functionerende sensoren en dergelijke. Door tevens gebruik te maken van een hydraulisch model is TaKaDu in staat in het geval van een lek een subgebied van de betreffende DMA aan te wijzen waar het lek zich waarschijnlijk bevindt. Evides werkt reeds enige tijd met dit bedrijf en de ervaring is dat wat die laatstgenoemde functionaliteit betreft, kleine lekken in een overgedimensioneerd leidingnet moeilijk zijn te lokaliseren. Ook is de ervaring van Evides dat in grote DMA's (veel groter dan de door TaKaDu aanbevolen DMA-omvang van 5.000 aansluitingen) zelden lekken worden gevonden die niet ook al door de klant zijn gemeld. Evides is nu proeven gestart met kleine DMA's.

In Singapore heeft men ervaring opgedaan met het detecteren en lokaliseren van lekken op basis van kortstondige druksignalen (Visenti, zie ook foldermateriaal beschikbaar op [www.visenti.com](http://www.visenti.com)), die opgevangen worden door een dicht netwerk van sensoren. Hierbij rapporteert men een hoge nauwkeurigheid van de plaatsbepaling van 20 m in het distributienet.

Ten slotte is het WaterGEMS™, de hydraulische rekensoftware van Bentley Systems, voorzien van functionaliteit om lekken op basis van metingen van druk en volumestroom te lokaliseren. Deze functionaliteit is gebaseerd op optimalisatietechnieken (Wu, 2008).

Tabel III.1: Overzicht van commercieel aangeboden leklokalisatiemethoden gebaseerd op numerieke modellen.

<i>methode</i>	<i>referentie</i>	<i>beschrijving</i>	<i>praktijkervaring en toepasbaarheid</i>
GALILEO	Krohne oil and Gas, Tetzner (2003)	set van modelgebaseerde technieken voor bepalen en vinden van lekken in pijpleidingen – gradient intersection method voor lokalisatie	in pijpleidingen voor koolwaterstoffen
TaKaDu	TaKaDu	koppeling van metingen van druk en volumestroom aan een hydraulisch model voor de detectie van anomalieën, waaronder lekken – hiervan kan de omvang en de globale locatie worden bepaald	diverse plaatsen ter wereld in drinkwater-distributienetwerken toegepast – mate van succes voor lokalisatie is onbekend
LeakIntel™	Visenti	analyse van kortstondige druksignalen die gepaard gaan met het ontstaan van een lek, gecombineerd met filters o.b.v. machine learning	toegepast in het distributienetwerk van Singapore, gerapporteerde nauwkeurigheid van de bepalingen is 20 m; alleen voor lekken ontstaan tijdens het meten.
Darwin Calibrator in WaterGEMS™	Bentley Systems	leklokalisatie op basis van een inversie van druk- en volumestroommetingen	distributienetwerk van ca. 840 knopen in Engeland

## Bijlage IV Mechanismen ontstaan en groei lekkage

De dynamiek van een lek hangt sterk samen met het materiaal. Bij alle materialen kunnen grote lekken zowel direct ontstaan als groeien vanuit kleine lekken in de loop van de tijd. In deze bijlage worden Asbestcement, GGJ en PVC besproken, omdat dit de meest voorkomende materialen in het Nederlandse leidingnet, dan wel de materialen die in Nederland de meeste storingen geven.

### *Asbestcement*

Degradatie van AC-leidingen vindt plaats door uitloging van calciumhydroxide uit de buiswand, waardoor de buis sterkte verliest. Dit kan plaatsvinden aan de binnenzijde, hetgeen samenhangt met de kwaliteit van het drinkwater. Door conditionering van het drinkwater is de inwendige uitloging van calciumhydroxide sterk afgenomen in de loop van de tijd. Uitwendige uitloging is afhankelijk van de agressiviteit van de grond waarin de leiding zich bevindt. De mate van uitloging varieert sterk van locatie tot locatie. Een degraderende leiding bereikt op een gegeven moment de minimaal benodigde sterkte, en factoren als zetting of uitwendige belasting zorgen ervoor dat de ene leiding eerder breekt dan de andere.

Bij oudere verbindingen in AC is natuurrubber gebruikt dat in de loop van de tijd degradeert. Bij niet-natuurrubber is dit geen probleem. De belangrijkste reden van lekkende verbindingen is zettingsverschillen die hoekverdraaiingen geven en uitschuiven bij niet-trekvast verbindingen. Bij trekvast verbindingen treden dezelfde zettingen op, maar deze geven dan aanleiding tot verhoogde spanning in het materiaal, wat tot breuken kan leiden.

### *GGJ*

Grijs gietijzer degradeert door corrosie. Dit kan leiden tot waterkwaliteitsklachten ('bruin water'), maar ook tot lekkage en uiteindelijk tot constructieve problemen. Lekkage beperkt zich vaak tot geïsoleerde puntlekken, bij constructieve problemen (bijvoorbeeld bij toegenomen belasting door zetting of uitwendige belasting) kan de leiding ook breken.

Lekken in AC en gietijzer kunnen klein beginnen en door verweking van de omliggende grond plotseling open scheuren. Bij gietijzer kan hier jaren overeen gaan maar het kan ook een dag later gebeuren.

### *PVC*

Storingen in PVC worden veroorzaakt door een hoge materiaalspanning in combinatie met een lage weerstand tegen scheurinitiatie en scheurgroei. Of snelle scheurgroei (rapid crack propagation) optreedt, hangt naast inwendige waterdruk af van de eigenschappen van de leiding, zoals elasticiteit, wanddikte, diameter en restspanning in het materiaal. In het algemeen zijn leidingen met hogere waterdruk, grote diameters en kleine wanddiktes gevoeliger voor doorscheuren, net als leidingen met een hoge restspanning. Deze restspanning hangt samen met het productieproces, bijvoorbeeld de extrusiesnelheid en afkoelsnelheid (Breen and Scholten, 2013).



Als de scheur stopt ontstaat er over een lengte van enkele cm tot enkele decimeters een scheur die een beperkte volumestroom doorlaat. Afhankelijk van de ligging en de ondergrond komt een dergelijk lek direct boven of niet. Lekken op verbindingen en aanboringen zijn vaak beperkt en kunnen jaren doorlopen met een beperkte volumestroom maar met een hoog volume (na enkele jaren). Ook die lekken kunnen de buiswand doen eroderen en op die wijze het gat vergroten. Ook een plotselinge belasting kan een scheur doen doorscheuren (denk aan graafwerkzaamheden, toename in verkeersbelasting door bv. een verkeersomleiding of een storm die naastgelegen bomen ontworteld). Het kan enkele jaren duren voordat dit type lekken bovenkomt.

Voor referenties zie o.a. (Beuken and Mesman, 2011), (Mesman, 2015) en (Thomson and Wang, 2009).