



BTO 2017.090 | December 2017

## **BTO** rapport

### Eisen aan data voor in-line inspectie

Meetbehoefte en datakwaliteit



# BTO

## Eisen aan data voor in-line inspectie, meetbehoefte en datakwaliteit

BTO 2017.090 | December 2017

### Opdrachtnummer

400557-162

### Projectmanager

drs. P.G.G. (Nellie) Slaats

### Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Assetmanagement

### Kwaliteitsborger(s)

dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker

### Auteur(s)

Ir. R.H.S. (Ralph) Beuken

### Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

**Jaar van publicatie**  
2017

#### Meer informatie

Ir. Ralph Beuken  
T 0306069758  
E [ralph.beuken@kwrwater.nl](mailto:ralph.beuken@kwrwater.nl)

#### Keywords

leidingen, toestandsbepaling, in-line inspectie, kwaliteitseisen

Postbus 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)

The logo for KWR (Watercycle Research Institute) features the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font. The 'K' and 'W' are connected, and the 'R' is slightly separated.

Watercycle  
Research  
Institute

BTO 2017.090 | December 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

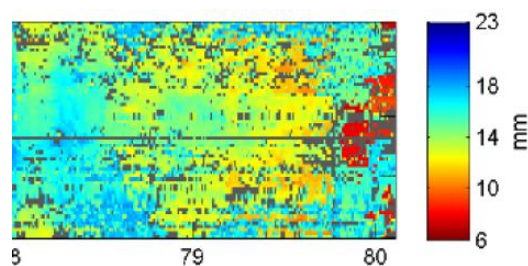
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# BTO Managementsamenvatting

## Eisen van waterbedrijven voor in-line inspectietechnieken voor leidingen geformuleerd

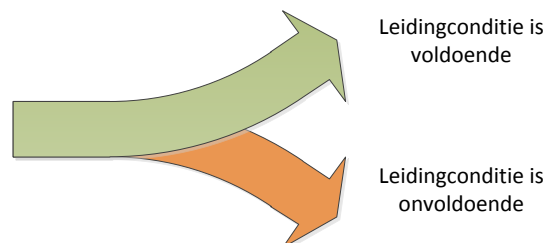
**Auteur(s)** ir. Ralph Beuken

Waterbedrijven maken gebruik van in-line inspecties om op een betrouwbare manier de toestand van leidingen te inventariseren en om beslissingen over beheer en vervanging te kunnen onderbouwen. Door te formuleren aan welke meetbehoefte en meetkarakteristieken de data die door in-line inspectietechnieken worden gegenereerd moeten voldoen, wordt duidelijker welke eisen waterbedrijven aan deze technieken stellen. Op basis van bestaand onderzoek is een expertoordeel gegeven welke kwaliteitseisen te hanteren. Voor de ontwikkeling van kostenefficiënte in-line inspectietechnieken is het belangrijk dat waterbedrijven duidelijk aangeven aan welke data zij behoefte hebben en aan welke eisen deze data moet voldoen.



Karakteristiek:

- Nauwkeurigheid
- Detectiegrens
- Meetdichtheid
- Locatienauwkeurigheid lengte
- Locatienauwkeurigheid omtrek
- Diversen



*Data uit in-line inspectietechnieken moeten aansluiten op de informatiebehoefte van assetmanagementbeslissingen door waterbedrijven*

### Belang: in-line inspectietechnieken moeten aansluiten op de behoefte van waterbedrijven

Voor een algemeen geldende en objectieve onderbouwing van saneringsbeslissingen hebben waterbedrijven betrouwbare en eenduidige informatie nodig over de toestand van het leidingnet. Voor leidingen met een diameter vanaf 300 mm kan hiervoor een beroep worden gedaan op in-line inspectietechnieken. Daarvan zijn verschillende mogelijkheden beschikbaar en nieuwe inspectietechnieken verschijnen regelmatig op de markt. Juist die diversiteit aan inspecties en aanbieders van technieken maakt het voor

waterbedrijven moeilijk om inspectieresultaten te vergelijken. Daarom zijn vanuit de sector gemeenschappelijk geformuleerde eisen nodig waaraan de resultaten moeten voldoen. Met die eisen krijgen ontwikkelaars van in-line inspectietechnieken een goede indruk van de richting die zij aan innovaties moeten geven. Vanuit deze achtergrond stelt dit onderzoek de meetbehoefte voor in-line inspectie van leidingen vast, inclusief de eisen waaraan de bijbehorende metingen moeten voldoen.

### Aanpak: eisen afgeleid van beslissingen over assetmanagement en kennis over degradatie

Doorgaans bepalen de mogelijkheden van een inspectietechniek hoe deze kan worden toegepast en wat de kwaliteit is van de meting. Dit rapport benadert deze kwestie andersom. Uitgangspunten zijn de wensen van het waterbedrijf en de besluitvorming die nodig is om leidingen te vervangen. Gevraagd is aan welke eisen inspectiedata moeten voldoen. Op grond van zeven aspecten in relatie met de geometrie van leidingen, en acht aspecten die verband houden met degradatie is de meetbehoefte vastgesteld. Aan welke eisen de data van deze aspecten moeten voldoen, is beschreven aan de hand van de volgende karakteristieken: nauwkeurigheid, detectiegrens, meetdichtheid, locatienauwkeurigheid lengterichting, locatienauwkeurigheid omtreksrichting en diversen. Invulling van specifieke eisen is enerzijds afgeleid van eerder uitgevoerd onderzoek, anderzijds gebaseerd op expertinschatting, mede ondersteund door experts van waterbedrijven. Bij het vaststellen van de informatiebehoefte is onder andere informatie hiervoor verkregen uit een handleiding voor de inspectie van stalen olie- en gasleidingen, uitgebracht door Pipeline Operators Forum.

### Resultaten: voorstel voor eisen

Eisen voor in-line inspectietechnieken zijn opgesteld vanuit het perspectief van saneringsbeslissingen en kennis over leidingdegradatie. Deze eisen zijn weergegeven in een tabel in het rapport. De meeste van deze eisen zijn kwantitatief nog moeilijk te onderbouwen. Zij zijn gebaseerd op het oordeel van een expert. Voor een aantal eisen geldt dat deze op basis van bestaand onderzoek zijn te kwantificeren.

### Implementatie: nadere uitwerking geeft waterbedrijven steeds meer zicht op eisen in-line technieken

De resultaten van dit onderzoek vormen een eerste aanzet om tot eisen te komen waaraan in-line inspectietechnieken voor drinkwaterleidingen moeten voldoen. In afstemming met waterbedrijven en door middel van praktijktoepassingen, is nadere uitwerking mogelijk. De in het rapport geformuleerde eisen zijn op uiteenlopende wijzen toetsbaar en verder aan te scherpen. Bij pilots met in-line technieken kunnen de eisen worden gehanteerd. De eisen kunnen worden gerelateerd aan inspectieresultaten. Evaluatie van de eisen is mogelijk in het besluitvormingsproces over beheer en vervanging van leidingen. Met deze brede aanpak krijgen waterbedrijven steeds meer inzicht in de voorwaarden waaraan resultaten van inspectiemetingen moeten voldoen en geven zij actief richting aan innovatie.

De eisen worden opgenomen in de uniforme beschrijvingen van plots van inspectietechnieken, opgenomen in de knowledge-base PIPE-works van KWR. De richtlijn van het Pipeline Operators Forum voor stalen olie- en gasleidingen is bruikbaar als voorbeeld om een vergelijkbaar document voor in-line inspectie van (drink-)waterleidingen op te stellen. Naast eisen voor meetresultaten kunnen hierin ook richtlijnen worden geformuleerd voor formats van reportages, de mate van detail, beschrijvingen van uitgevoerde validaties, eisen aan veiligheid, eisen aan apparatuur en veel meer.

### Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Eisen aan data voor in-line inspectie*, (BTO-2017.090).

# Inhoud

<b>Inhoud</b>	<b>2</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1 Aanleiding	4
1.2 Doel	4
1.3 Aanpak	5
1.4 Pipeline Operators Forum	6
1.5 leeswijzer	7
<b>2 Overzicht van leidingen en meetbehoefte</b>	<b>8</b>
2.1 Leidingen voor in-line inspectie	8
2.2 Meetbehoefte	9
<b>3 Datakwaliteit met betrekking tot leidinggeometrie</b>	<b>11</b>
3.1 Inleiding	11
3.2 Ligging (XYZ)	11
3.3 Wanddikte (bij aanleg leiding)	11
3.4 Vervormingen leidingmateriaal (deuken, plooiën, rimpels, etc)	12
3.5 Onrondheid	13
3.6 Afwijkingen t.o.v. bestaande registraties	13
3.7 Voegwijdte en hoekverdraaiing	14
3.8 Staat van appendages	15
<b>4 Datakwaliteit met betrekking tot leidingdegradatie</b>	<b>16</b>
4.1 Inleiding	16
4.2 AC	16
4.3 Beton	18
4.4 Gietijzer (grijs en nodulair), inclusief 'oud' staal	19
4.5 Staal, exclusief 'oud' staal	21
4.6 PVC	21
4.7 PE	22
4.8 Bekleding met cement (lining)	22
4.9 Lekkage	23
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>25</b>
5.1 Conclusies	25
5.2 Aanbevelingen	26
<b>6 Referenties</b>	<b>28</b>
<b>Bijlage I POF: beschrijving van anomalieën</b>	<b>30</b>
1. Metal loss	30
2. Dent	31

3. Gouge	31
4. Ovality	31
5. Buckle	32
6. Ripple/Wrinkle	32
7. Roof topping/peaking	33
8. Crack and crack-like	33
9. Crack colonies	34
10. Relevante eisen aan inspecties voor drinkwaterbedrijven	34
<b>Bijlage II Verschil tussen twee metingen effectieve wanddikte met thymolftaleïne</b>	<b>36</b>
<b>Bijlage III Voorgestelde wijze van meten en meetnauwkeurigheid project AIR</b>	<b>38</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De toestand, en daarvan afgeleid de conditie, van drinkwaterleidingen is van groot belang voor het onderbouwen van besluitvorming over de vervanging van leidingen. Drinkwaterbedrijven maken voor het uniformer en objectief onderbouwen van saneringsbeslissingen steeds meer gebruik van beslissingsondersteunende softwarepakketten. De belangrijkste kennisbehoefte voor een goede toepassing van deze pakketten zijn betrouwbare gegevens over de toestand van het leidingnet (Beuken en van Vossen, 2017). Deze gegevens zijn beperkt beschikbaar en de kosten van leidinginspectie zijn hoog. Dit betekent dat het voor bedrijven van belang is om op een zo kosteneffectieve wijze betrouwbare informatie te verkrijgen over de toestand van leidingen.

In het project 'Van leidingdata naar leidingkennis' is een conceptueel model ontwikkeld (UKNOW) waarin de samenhang en informatiestromen van verschillende onderdelen die een rol spelen bij een saneringsbeslissing zijn beschreven (Moerman et al., 2016). Er is beschreven hoe storingsdata en inspectiedata in samenhang geanalyseerd kunnen worden resulterend in kennisregels voor leidingdegradatie. Het softwarepakket COMSIMA kan hierbij een belangrijke rol spelen. Dit pakket berekent spanningen in de buiswand als gevolg van verschillende belastingsituaties. Hiermee kunnen leidingen geïdentificeerd worden waar ontoelaatbare spanningen kunnen leiden tot leidingbreuk. Voor het verzamelen van informatie over de toestand van leidingen is het echter noodzakelijk dat naast de uniforme registratie en verwerking van storingen zoals die plaatsvindt in USTORE, er ook aandacht komt voor de inzet van inspectieresultaten.

Er zijn diverse inspectietechnieken beschikbaar voor het meten van de toestand van leidingen, ook komen er regelmatig nieuwe technieken op de markt. De diversiteit van de inspecties en de vele aanbieders van inspectietechnieken, bemoeilijken het onderling vergelijken van inspectieresultaten en het daaruit abstraheren van kennisregels over degradatie van leidingen. Om de onderlinge objectieve vergelijking van verschillende inspecties te faciliteren is in het BTO project 'Tools voor kennisopbouw leidinginspecties' het kennissysteem PIPE-works opgesteld (Beuken, 2017-a). Een andere voorwaarde voor effectieve toepassing van inspectietechnieken zijn gemeenschappelijke eisen waaraan resultaten van inspecties moeten voldoen. Deze eisen zijn een afgeleide van de databehoefte van de drinkwaterbedrijven om te komen tot goed onderbouwde saneringsbeslissingen. Deze databehoefte is vast te stellen door combinatie van kennis van degradatie van leidingen en inzicht in de besluitvormingsprocessen voor leidingsaneringen.

## 1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de meetbehoefte voor in-line inspectie van leidingen, deze behoefte is uit te drukken in meetbare karakteristieken en deze karakteristieken zo veel mogelijk in te vullen voor de meest gangbare leidingmaterialen. Met dit rapport wordt beoogd een startpunt te geven aan een discussie over gemeenschappelijke eisen waaraan inspectieresultaten moeten voldoen.

In-line inspectie vindt met name plaats in leidingen met een diameter vanaf 300 mm. De focus van dit onderzoek richt zich daarom op transportleidingen vanaf 300 mm.



### 1.3 Aanpak

Het beschrijven van de toepassing van inspectietechnieken en de kwaliteit van de meting, vindt meestal plaats vanuit de mogelijkheden van de techniek. In dit rapport is de vraag andersom gesteld. Er is gedacht vanuit het perspectief van het drinkwaterbedrijf en de besluitvorming die daar plaatsvindt over het vervangen van leidingen. Op basis daarvan is de vraag gesteld aan welke eisen de inspectiedata moeten voldoen. Een lastig aspect hierbij is dat er verschillende doelen zijn te hanteren bij inspecties. Als een bedrijf een globaal beeld wil hebben van de toestand van een leiding, kan een minder gedetailleerde inspectie voldoen. Als de slechtste buizen (inclusief verbindingen) vervolgens nader geïnspecteerd zullen worden zal men dat met een nauwkeurigere inspectie willen uitvoeren. In dit voorbeeld kunnen beide inspecties verschillende kwaliteitseisen hebben. In dit rapport zijn die eisen gehanteerd die behoren bij het selecteren van individuele buizen en bijbehorende verbindingen die niet voldoen aan gestelde eisen.

De kwaliteit van een meting kan op verschillende manieren uitgedrukt worden. In dit rapport zijn verschillende faalmechanismen en bijbehorende meetbehoeften vastgesteld. De kwaliteit van de inspectie is te omschrijven volgens de karakteristieken in Tabel 1.

TABEL 1 KARAKTERISTIEKEN VOOR HET BESCHRIJVEN VAN DE KWALITEIT VAN DE MEETRESULTATEN VAN IN-LINE INSPECTIES. DE RESOLUTIE WORDT HIER BENOEMD MAAR NIET VERDER MEEGENOMEN.

#	Karakteristiek	Omschrijving
1	Nauwkeurigheid	toegestane afwijking van de gemeten waarde tot de daadwerkelijke waarde
2	Detectiegrens	de laagste waarde die met de inspectieapparatuur gemeten kan worden
	Resolutie	het kleinste onderscheid tussen twee meetwaarden, ook het onderscheidend vermogen genoemd
3	Meetdichtheid	het aantal metingen per lengte-eenheid in de lengterichting en in de omtrekriching van de leiding
4	Locatienauwkeurigheid lengte	de nauwkeurigheid van de gemeten locatie ten opzichte van het startpunt van de meting
5	Locatienauwkeurigheid omtrek	de nauwkeurigheid van de gemeten locatie in de omtrekriching van de leidingdoorsnede
6	Diversen	overige eisen te stellen aan de kwaliteit van de meetresultaten

In Tabel 1 is de resolutie omschreven, maar deze is niet meegenomen als afzonderlijke karakteristiek voor de kwaliteit van in-line inspecties. Bij een betrouwbare meting is de resolutie nooit kleiner dan de nauwkeurigheid. Het is onlogisch als de meetwaarde in bijvoorbeeld millimeters wordt uitgedrukt, terwijl de nauwkeurigheid in centimeters is.

Met betrekking tot bovenstaande karakteristieken zijn onderstaande opmerkingen te maken ter verduidelijking:

ad 1: De nauwkeurigheid is de graad van overeenstemming van een gemeten waarde met de daadwerkelijke waarde. De nauwkeurigheid kan worden uitgedrukt in de juistheid en de precisie. De juistheid is de mate van overeenstemming tussen de (gemiddelde) waarde die verkregen wordt uit een reeks waarnemingen en de werkelijke waarde. Dit zegt daarmee iets over de afwijking van de meetwaarde ten opzichte van de werkelijke waarde, oftewel de systematische fout. De precisie is de mate waarin de

verdere metingen of de berekeningen dezelfde resultaten zullen tonen. Dit zegt daarmee iets over de afwijking van een herhaalde reeks van dezelfde meetwaarden, oftewel de toevallige fout. De precisie is uit te drukken als standaarddeviatie. De uitsplitsing naar juistheid en precisie wordt in dit rapport niet gemaakt.

- ad 2: De detectiegrens is de laagste waarde die nog gemeten kan worden met een inspectieapparaat. De detectiegrens is alleen van toepassing op metingen die een waarde vergelijken met een nul-waarde. Dit is bijvoorbeeld de mate van uitloging ten opzichte van geen uitloging. De detectiegrens is daarom niet van toepassing op bijvoorbeeld de meting van de wanddikte.
- ad 4: De locatienauwkeurigheid in de lengterichting is van belang om de exacte locatie te kennen van een meting. In veel gevallen kan de nauwkeurigheid relatief laag zijn, bijvoorbeeld in het geval dat de locatie van een lek wordt aangegeven. In dat geval vindt een ontgraving plaats en is een nauwkeurigheid van een halve meter voldoende. Een hogere nauwkeurigheid kan van belang zijn als bijvoorbeeld meer gedetailleerde sterkteberekeningen worden gemaakt, waarbij de positie van inwendige en uitwendige corrosie bepaald moet worden in verschillende belastingsituaties.
- ad 5: De locatienauwkeurigheid in de omtrekriching is van belang om spanningen ten gevolge van een vervorming of aantasting te berekenen.

Het is niet voor alle meetbehoeften mogelijk een onderbouwing voor een kwaliteitseis te geven. De in dit rapport voorgestelde eisen zijn daarom indicatief en dienen als de start van een iteratief ontwikkelingsproces. De eisen kunnen verder verbeterd worden als:

- drinkwaterbedrijven meer inzicht krijgen op de besluitvorming en de benodigde informatie en zo betere specificaties kunnen opstellen van de data waaraan zij behoefte hebben en
- inspectiebedrijven door innovaties en verdergaande praktijkervaring beter weten wat hun apparatuur kan bieden.

In de praktijk kan het voorkomen dat in-line inspectieapparaten een hogere kwaliteit kunnen leveren dan vereist door bedrijven. Wellicht is dit een opmaat voor een minder exacte en goedkopere techniek. Ook kan het voorkomen dat met de huidige stand der techniek deze kwaliteit nog niet haalbaar is. In dat geval kan de eis als een behoefte voor ontwikkeling worden gelezen.

#### 1.4 Pipeline Operators Forum

Het Pipeline Operators Forum (POF) is een non-profit samenwerkingsverband van beheerders van olie- en gasleidingen met als doel het verbeteren van de kwaliteit van het beheer van leidingen, het beschermen van mensen en de omgeving. Voor meer informatie zie:

<https://www.pipelineoperators.org/>

Het POF heeft in 2016 de handleiding 'Specifications and requirements for in-line inspection of pipelines' uitgebracht, zie Pipeline Operators Forum (2016). Deze handleiding richt zich op de in-line inspectie van stalen leidingen voor het transport van chemische of petrochemische vloeistoffen of gassen. Deze leidingen zijn in het algemeen niet inwendig bekleed met een liner. In de handleiding staat het begrip anomalie centraal, dat wordt omschreven als 'een aanwijzing, gedetecteerd met in-line inspectie, van een onregelmatigheid of afwijking van de norm (standaard) van het leidingmateriaal, lasmateriaal of coating, die al dan niet kan duiden op een defect'. Voor een omschrijving van de

beschreven anomalieën, zie Bijlage I. In deze bijlage is ook een overzicht gegeven van voor drinkwaterbedrijven relevante eisen aan inspecties zoals gehanteerd in de handleiding.

De handleiding van het POF biedt inzichten die ook voor het inspecteren van drinkwaterleidingen van belang zijn. Voor het opstellen van voorstellen voor eisen aan in-line inspecties is zo veel mogelijk gebruik gemaakt van bestaand onderzoek en praktijkervaringen. Daarbij is dankbaar gebruik gemaakt van de handleiding die is opgesteld door het Pipeline Operators Forum.

### 1.5 leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een overzicht opgenomen van de leidinglengte waar in-line inspectie in principe kan worden toegepast. Voor de meest voorkomende leidingmaterialen is de meetbehoefte voor in-line inspectie aangegeven. In Bijlage I zijn de belangrijkste faalmechanismen die door de POF zijn omschreven nader uitgewerkt. In hoofdstuk 3 zijn kwaliteitseisen vertaald in karakteristieken voor kwaliteitseisen van geometrische afwijkingen en in hoofdstuk 4 voor materiaalspecifieke afwijkingen. Voor de karakteristieken van beide categorieën zijn waarden voorgesteld. Hoofdstuk 5 geeft conclusies en aanbevelingen.

## 2 Overzicht van leidingen en meetbehoefte

### 2.1 Leidingen voor in-line inspectie

Voor het project "Ontwikkeling Intelligente pigs voor drink- en afvalwaterpersleidingen" dat wordt gefinancierd door STOWA, RIONED, drie gemeenten en acht drinkwaterbedrijven heeft KWR een analyse uitgevoerd van de inspectiebehoefte van drinkwaterleidingen en afvalwaterpersleidingen in Nederland (Beuken, 2017-b). Hiervoor zijn alle leidingen geïventariseerd met een diameter vanaf 300 mm. Een overzicht van de leidingen van drinkwaterbedrijven is weergegeven in Tabel 2. Dit overzicht betreft drinkwater- en ruwwaterleidingen.

TABEL 2 LEIDINGLENGTE VANAF 300 MM (IN KM) VAN DRINKWATERBEDRIJVEN PER LEIDINGMATERIAAL, PERIODE VAN AANLEG EN DIAMETERKLASSE. COMBINATIES MET MEER DAN 100 KM ZIJN OMKADERD MET EEN DUNNE LIJN EN COMBINATIES MET MEER DAN 500 KM ZIJN OMKADERD MET EEN DIKKE LIJN. GRIJZE VELDEN BETREFFEN ONWAARSCHIJNLIJKE WAARDEN. TABEL AFKOMSTIG UIT BEUKEN (2017-B).

		AC	Beton	GIJ	staal	PVC	PE
voor 1940	300-499 mm	25	4	205	16	25	0
	500-999 mm	8	63	137	10	0	0
	≥ 1000 mm	0	0	0	1	0	0
1940 - 1959	300-499 mm	140	57	255	32	10	1
	500-999 mm	49	135	25	23	1	0
	≥ 1000 mm	0	84	0	14	0	0
1960 - 1979	300-499 mm	1.773	13	155	81	1.067	14
	500-999 mm	930	229	67	132	192	3
	≥ 1000 mm	4	434	0	152	0	0
1980 - 1999	300-499 mm	400	4	200	122	1.844	188
	500-999 mm	211	62	138	434	437	55
	≥ 1000 mm	0	53	4	74	0	0
vanaf 2000	300-499 mm	25	9	228	95	943	343
	500-999 mm	9	32	222	324	323	157
	≥ 1000 mm	0	8	1	84	0	1
Totaal		3.573	1.187	1637	1.595	4.842	762
Totaal alle leidingen							13.597
		26%	9%	12%	12%	36%	6%

Uit dit overzicht blijkt dat de totale leidinglengte die in principe in aanmerking komt voor in-line inspectie circa 13.500 km bedraagt. In werkelijkheid zal deze lengte minder zijn, aangezien inspectie niet voor alle leidingen haalbaar is ten gevolge van technische of bedrijfseconomische oorzaken.

Ongeveer de helft van deze lengte (48%) bestaat uit de categorieën :

- PVC, diameter: 300 –499 mm, periode van aanleg:1980 – 1999 (13,6%);
- AC, diameter: 300 –499 mm, periode van aanleg:1960 – 1979 (13,0%);
- PVC, diameter: 300 –499 mm, periode van aanleg:1960 – 1979 (7,8%);
- PVC, diameter: 300 –499 mm, periode van aanleg: vanaf 2000 (6,9%);
- PVC, diameter: 300 –499 mm, periode van aanleg:1980 – 1999 (6,8%);

## 2.2 Meetbehoefte

Leiding hebben faalmechanismen. In sommige gevallen zijn deze generiek van aard, in andere gevallen zijn deze afhankelijk van het toegepaste leidingmateriaal. De meetbehoefte zoals die hier is gehanteerd is de meetbare manifestatie van het optreden van het specifieke faalmechanisme. In het project intelligent pigging zijn de belangrijkste meetbehoeften benoemd van leidingen (Beuken, 2017-b). Tabel 3 geeft deze meetbehoefte weer voor drinkwaterleidingen. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen de meetbehoefte die zich met name richt op de geometrie van de leidingen en die zich richt op de toestand van het leidingmateriaal. In de meeste gevallen is de meetbehoefte van de geometrie generiek van aard en is de meetbehoefte voor de toestand afhankelijk van het degradatiemechanisme van het specifieke leidingmateriaal.

In Tabel 3 zijn de leidingmaterialen ingedeeld in zes categorieën. Hierbij is grijs gietijzer samengevoegd met nodulair gietijzer. In het geval de meetbehoefte specifiek geldt voor grijs gietijzer dan is de X vervangen door een G. Er is ook bij staal een onderscheid gemaakt tussen oud en nieuw staal, waarbij voor oud staal geldt dat dit leidingen zijn die zijn aangelegd voor 1960, met veelal een kleinere diameter en een mof-spieverbinding. Voor oud staal is de X vervangen door een O.

De meetbehoefte in Tabel 3 geeft aan welke informatie drinkwaterbedrijven nodig hebben om te komen tot betere besluitvorming over het saneren van leidingen. Niet in alle gevallen is deze informatie te meten met in-line inspectietechnieken. In sommige gevallen is nog geen techniek beschikbaar (bijvoorbeeld voor het meten van materiaalspanning in PVC) of kan alleen informatie worden verkregen door uitname en beproeving in een labomgeving (bijvoorbeeld voor het constateren of er sprake is van natuurrubber ringen). De items die in Tabel 3 grijs zijn gemarkeerd zijn beschreven in de hoofdstukken 3 en 4.

TABEL 3 BELANGRIJKSTE MEETBEHOEFTE VAN DRINKWATERLEIDINGEN VOOR IN-LINE INSPECTIE (AANGEGEVEN MET EEN 'X'). GELDT DE MEETBEHOEFTE ALLEEN VOOR GRIJS GIETIJZER DAN IS EEN 'G' GEGEVEN EN GELDT DEZE ALLEEN VOOR OUD STAAL DAN IS EEN 'O' GEGEVEN. DE ITEMS DIE GRIJS ZIJN GEMARKEERD ZIJN UITGEWERKT IN DE HOOFDSTUKKEN 4 EN 5.

Meetbehoefte	AC	Beton	Gietijzer	Staal	PVC	PE
Geometrie:						
1. Ligging (XYZ)	x	x	x	x	x	x
2. Wanddikte	x	x	x	x	x	x
3. Vervormingen leidingmateriaal (deuken, plooiën, rimpels, etc)				x	x	x
4. Onrondheid				x	x	x
5. Afwijkingen t.o.v. registraties in GIS of op revisietekeningen	x	x	x	x	x	x
6. Voegwijdte en hoekverdraaiing	x	x	x	O	x	
7. Staat van appendages	x	x	x	x	x	x
Toestand:						
8. Lekkage	x	x	x	x	x	x
9. Scheuren (niet volledig) en krassen		x	x	x		x
10. Scheurontwikkeling					x	
11. Inwendige en uitwendige uitloging	x	x				
12. Inwendige en uitwendige corrosie			x	x		
13. Materiaalspanning					x	x
14. Kwaliteit inwendige liner		x	x	x		
15. aanwezigheid inwendige koolteer liner			G	O		
16. Kwaliteit rubber ring	x	x	G			
17. Herkennen van verbindingen van loodstriktouw			G	O		
18. Staat van verbindingen (lassen)		x		x		x
19. Draadbreuken (inclusief de dichtheid daarvan)		x				
20. Optreden van carbonatatie		x				

## 3 Datakwaliteit met betrekking tot leidinggeometrie

### 3.1 Inleiding

In Tabel 3 zijn de belangrijkste meetbehoeften weergegeven voor leidingen van drinkwaterbedrijven. Een aantal van deze behoeften heeft betrekking op de geometrie van de leidingen. In dit hoofdstuk worden deze vaak meer generieke factoren toegelicht en wordt aangegeven wat de gewenste kwaliteit is van data afkomstig van in-line inspectie. Van de te onderscheiden meetbehoeften zijn de relevante karakteristieken bepaald zoals beschreven in Tabel 1.

### 3.2 Ligging (XYZ)

In het informatiemodel IMKL2015 dat het kadaster hanteert voor de registratie van leidingen wordt een nauwkeurigheid vereist van de ligging in het horizontale en verticale vlak van 1 meter (Geonovum, 2017). Gesteld kan worden dat drinkwaterbedrijven voor een goed beheer van leidingen vanaf 300 mm een hogere nauwkeurigheid wensen. Het doel van een zwaardere eis is dat door in-line inspectie de positie van de leiding beter bekend is en dat er daardoor minder schade zal optreden bij graafwerkzaamheden. In het AIR-project is gesteld dat de vereiste nauwkeurigheid in het horizontale en verticale vlak 0,1 m is (zie Bijlage III). Dezelfde nauwkeurigheid is gewenst voor in-line inspectie. Een locatienauwkeurigheid in de lengterichting is gewenst van 0,1 m.

Opgemerkt wordt dat de gewenste nauwkeurigheid van 0,1 m voor de meting van de ligging met in-line inspectietechnieken een wens is van drinkwaterbedrijven en niet een nauwkeurigheid die zij kunnen en hoeven te garanderen aan het Kadaster in het kader van KLIC-meldingen.

Op basis van het voorgaande zijn onderstaande kwaliteitseisen opgesteld voor de meting van de ligging (X, Y, Z) met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: +/- 0,1 m te meten vanuit het hart van de leiding.
2. Detectiegrens: n.v.t.
3. Meetdichtheid: 1 m.
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 0,1 m.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: n.v.t.
6. Diversen: n.v.t.

### 3.3 Wanddikte (bij aanleg leiding)

De wanddikte staat voor de meeste leidingen vermeld in het assetregister. Dit betreft de wanddikte bij aanleg van de leiding en in veel gevallen zijn dit generieke waarden afkomstig uit catalogi. Voor veel materialen, met name voor AC en ouder GGJ, moet deze wanddikte als een minimum vereiste waarde worden gezien die de fabrikant aanhield tijdens het productieproces. Bij oudere GGJ en PVC leidingen geldt in veel gevallen dat het niet duidelijk is wat de drukklasse en bijbehorende wanddikte is. Bij het inrichten van het assetregister zijn hiervoor vaak schattingen gehanteerd. Om met behulp van in-line inspectie de drukklasse van een PVC leiding vast te stellen, moet de nauwkeurigheid dusdanig zijn dat het verschillen in wanddikte tussen de drukklassen kan meten. Een PVC leiding met een diameter van 315 mm en drukklasse 0,63 MPa heeft een wanddikte van 7,7 mm. Een

drukklasse 0,75 MPa heeft een wanddikte van 9,2 mm. Om dit verschil te kunnen meten dient de nauwkeurigheid van een in-line inspectie minimaal 1,5 mm te zijn. Om ook rekening te houden met de tolerantie van de wanddikte is een nauwkeurigheid van 1 mm gewenst. De verschillen bij grotere diameter en hogere drukklassen zijn groter.

Voor AC leidingen met een diameter van 300 mm geldt dat een leiding met een toelaatbare werkdruk van 1,0 MPa een wanddikte heeft van 20 mm en met een toelaatbare werkdruk van 1,2 MPa 25 mm (Eternit, 1980). Het verschil bedraagt derhalve 5 mm. De wanddikte van een AC wordt echter bepaald door het aantal wikkelingen die tijdens de fabricage zijn aangebracht. De dikte per wikkeling bedraagt circa 0,2 mm (Vewin, 1982).

De huidige conditie wordt bepaald door de oorspronkelijke wanddikte te vergelijken met de actuele wanddikte. Om die reden is voor AC, GGJ en staal een nauwkeurige berekening van de oorspronkelijke wanddikte van belang en dient deze dezelfde nauwkeurigheid te hebben als de berekening van de huidige effectieve wanddikte. Overigens vereist het POF voor de meting van de wanddikte een nauwkeurigheid van 0,1 mm (zie Bijlage I).

Omdat de wanddikte van een buis constant is over de lengte en de diameter, is er in principe slechts één meting per buisdeel noodzakelijk. In sommige gevallen kan het voorkomen dat ter plaatse van het spie-eind de wanddikte kleiner is, bijvoorbeeld in het geval van afgedraaide AC-buizen. In dat geval is een hogere meetdichtheid bijvoorbeeld 1 meting per 10 mm in de lengterichting. In het geval van horizontaal of verticaal gegoten gietijzeren buizen (pit cast iron, met name toegepast voor 1925) is het mogelijk dat de wanddikte niet gelijk is over de omtrek. In dit geval zijn er meerdere metingen over de omtrek noodzakelijk.

Op basis van het voorgaande zijn onderstaande kwaliteitseisen opgesteld voor de meting van de wanddikte met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: +/- 0,1 mm (AC, GGJ en staal).
1. Nauwkeurigheid: +/- 1 mm (beton, PVC en PE).
2. Detectiegrens: n.v.t.
3. Meetdichtheid: 1 meting per buis<sup>1</sup>.
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 1 m.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: n.v.t..
6. Diversen: n.v.t.

### 3.4 Vervormingen leidingmateriaal (deuken, plooien, rimpels, etc)

Vervormingen zoals deuken, plooien en rimpels kunnen voorkomen bij leidingmaterialen waar elastische of plastische vervorming mogelijk is, zoals bij staal PVC en PE. Het POF geeft duidelijke beschrijvingen van deze vervormingen (zie Bijlage I). Tevens is een nauwkeurigheid van de hoogte en breedte gegeven van 1 mm. Het lijkt niet logisch voor drinkwaterleidingen een zwaardere eis te hanteren dan het POF.

De locatie van vervormingen dient zo te worden vastgesteld dat deze goed is te lokaliseren en dat de lokale spanningssituatie goed in kaart gebracht kan worden. Hiervoor lijkt een locatienauwkeurigheid in de lengterichting van 100 mm voldoende en in de omtrekriching van 10°.

---

<sup>1</sup> Of 1 per 10 mm lengte in het geval van afgedraaide buizen, of zes metingen over de omtrek in het geval van horizontaal of verticaal gegoten gietijzeren.



Op basis van het voorgaande zijn onderstaande kwaliteitseisen opgesteld voor de meting van vervormingen met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: +/- 1 mm.
2. Detectiegrens: 1 mm.
3. Meetdichtheid: 1 mm.
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 100 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: +/- 10°.
6. Diversen: n.v.t.

### 3.5 Onrondheid

In de NEN3550-2 die betrekking heeft op stalen leidingen is een grenswaarde gegeven voor de kleinste middellijn van de geovaliseerde doorsnede van 85% van de diameter (Noot RB: geen aanduiding gegeven of dit binnen- of buitendiameter is). Dit wil zeggen een onrondheid van 15%. Tevens is in deze norm opgemerkt dat voor een goede doorvoer van in-line apparatuur de onrondheid niet meer dan 5% mag bedragen.

In de NEN3550-2 die betrekking heeft op kunststof leidingen is aangegeven dat bij het ontwerp van thermoharde kunststofbuizen een initiële vervorming (na aanleg of plaatsing), van maximaal 3% toelaatbaar is. Voor de langeduurvervorming is een vervorming van 6% toelaatbaar.

De onrondheid zal zich over een langere lengte voordoen. Daarom kunnen aan de meetdichtheid en de locatienauwkeurigheid relatief lage eisen worden gesteld.

Op basis van het voorgaande zijn onderstaande kwaliteitseisen opgesteld voor de meting van onrondheid met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: +/- 0,5%.
2. Detectiegrens: 0,5%.
3. Meetdichtheid: 100 mm.
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 100 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: n.v.t..
6. Diversen: n.v.t.

### 3.6 Afwijkingen t.o.v. bestaande registraties

In het assetregister is van elke leiding het materiaal en de diameter aangegeven. In sommige gevallen zijn hier ook wanddikten of drukklassen aangegeven. Bij voorkeur wordt bij in-line inspecties geverifieerd of deze leidingkarakteristieken correct zijn. Om dit te kunnen uitvoeren is het noodzakelijk dat in-line inspecties de diameter kunnen meten en de materiaalsoort kunnen herkennen, alsmede de locatie waar deze veranderingen zich bevinden. Hiermee is het ook mogelijk reparatiestukken en diameterreducties te detecteren, alsmede de positie van verbindingen.

Voorgesteld wordt om bij in-line inspectie voor de interne diameter een minimale meetnauwkeurigheid van 0,5 mm aan te houden.

Op basis van het voorgaande zijn onderstaande kwaliteitseisen opgesteld voor de meting met in-line inspectie van afwijkingen t.o.v. registraties:

1. Nauwkeurigheid herkenning binnendiameter: +/- 0,5 mm.
2. Detectiegrens: n.v.t.
3. Meetdichtheid: 100 mm.
4. Locatienauwkeurigheid lengte, diameter- en materiaalveranderingen en locatie verbindingen: +/- 100 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: n.v.t.
6. Diversen: voor herkenning van het leidingmateriaal (waaronder reparatiestukken) is het van belang om onderscheidende karakteristieken te kunnen meten, bijvoorbeeld de dichtheid of de voortplantingssnelheid van geluid. Ook is het van belang inzicht te hebben of er sprake is verandering van de inwendige diameter..

### 3.7 Voegwijdte en hoekverdraaiing

Door het bepalen van de voegwijdte kan de positie van het spie-einde van de buis ten opzichte van de stootring in de mof gemeten worden. Hierbij zijn als gevolg van verplaatsing twee faalwijzen van belang, namelijk:

1. lekkage door het uit de mof schieten van de buis;
2. ontoelaatbare materiaalspanningen als de mof en het spie-eind tegen elkaar drukken.

Het meten van verplaatsingen vindt meestal plaats met een visuele meting. Hiervoor is het noodzakelijk dat de beelden voldoende informatie geven over de buiswand, bijvoorbeeld door rondom te meten. Tevens dient men bij de metingen rekening te houden met troebelheid en luchtbellens. Ook moet de lichtgevoeligheid van de camera voldoende zijn of moet het inspectieapparaat voorzien zijn van lampen. Tevens is het wenselijk dat de visuele beelden gecombineerd kunnen worden met metingen, die de ruimte tussen het spie-eind en de stootrand nauwkeurig en op meerdere klokposities vastleggen.

Om een idee te krijgen van de benodigde nauwkeurigheid, is het van belang om onderstaande faaloorzaken nader te bekijken:

1. hoekverdraaiing;
2. bodembewegingen in de lengterichting van de leiding;
3. lengteverandering door druk- of temperatuurveranderingen.

De meting van de voegwijdte en hoekverdraaiing is vooral van belang bij PVC leidingen. Voor PVC leidingen geldt dat de ruimte tussen de stootring en de rubber afdichting, afhankelijk van de diameter en de fabrikant varieert van circa 150 tot 200 mm. In de catalogi zijn echter geen exacte waarden gegeven.

ad 1: Wols en van Laarhoven (2017) hebben met behulp van eindige-elementenberekeningen vastgesteld wat de toelaatbare hoekverdraaiing is voor PVC leidingen van verschillende diameter, materiaalklasse en type verbinding. De toelaatbare hoekverdraaiing varieert afhankelijk van de situatie tussen 6° en 17°. Arsenio (2014) beschrijft acht visuele in-line metingen waar over grotere lengte de hoekverdraaiing is gemeten. De maximum gemeten hoekverdraaiing trad op in een leiding met een diameter van 400 mm en bedroeg bijna 7°. Om de optredende hoekverdraaiing met voldoende onderscheidend vermogen te kunnen meten, wordt voorgesteld dat in-line metingen een nauwkeurigheid hebben van 0,5°.

De hoekverdraaiing in het verticale vlak wordt berekend uit het verschil in de voegwijdte aan de bovenzijde en aan de onderzijde van de verbinding. Om de nauwkeurigheid van een hoekverdraaiing van 0,5° te kunnen meten in een PVC leiding met een diameter van 315

mm, moet de inspectieapparatuur in staat zijn om verschillen in voegwijdte tussen de boven- en onderzijde te kunnen meten van 2,7 mm. Voor een leiding met een diameter van 500 mm is dit 4,4 mm.

ad 2: Er is weinig informatie beschikbaar over de invloed van bodembewegingen in de lengterichting van de buis. In de praktijk zijn situaties bekend waar door horizontale bodembeweging de buis uit de verbinding is getrokken. Dit impliceert dat bewegingen van orde grootte tientallen millimeters mogelijk zijn. Het is zinvol als met in-line inspectie kritische situaties gemeten kunnen worden, te weten het bijna uit de mof schieten of het bijna tegen elkaar aandrukken van spie-eind en mof.

ad 3: Lengteverandering is mogelijk door drukverandering, met name bij PVC leidingen die een relatief lage elasticiteitscoëfficiënt hebben. De catalogus van Pipelife geeft aan dat in geval van vrije ligging (dus zonder grondpakket) een drukverschil van 0,5 MPa leidt tot een lengteverschil van 5 mm bij een buislengte van 10 m (Pipelife, 2012). Lengteverandering door temperatuurverandering is ook het meest van belang bij PVC leidingen, aangezien dit materiaal een relatief hoge uitzettingscoëfficiënt heeft (0,06 mm/m/°C). Een leiding met een lengte van 10 m heeft bij een temperatuurverschil van 10°C een uitzetting van 6 mm.

Het bovenstaande laat zien dat ter plaatse van een niet-trekvraste mof verplaatsingen van tientallen mm kunnen optreden. Voor de detectiegrens dient echter een lage waarde aangenomen te worden omdat er hoge spanningen kunnen optreden als het spie-einde (bijna) tegen de stoorring ligt. Omdat een lage detectiegrens van belang is, moet ook de nauwkeurigheid van gelijke orde grootte zijn. Deze waarden gelden ook voor AC en betonnen leidingen. Met in-line metingen zijn voegwijdten te meten met een nauwkeurigheid van 0,1 mm, zie o.a. van Vught Riolering (2017).

Op basis van het voorgaande zijn onderstaande kwaliteitseisen opgesteld voor de meting van de voegwijdte met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: +/- 0,1 mm.
2. Detectiegrens: 0,1 mm.
3. Meetdichtheid: 4 klokposities per verbinding.
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 100 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: +/- 5°.
6. Diversen: n.v.t.

### 3.8 Staat van appendages

In-line inspectietechnieken kunnen informatie verstrekken over appendages in het leidingnet, zoals de afsluitbaarheid van afsluiters en toegepaste richtingveranderingen in zinkers of mijterbochten. Deze informatie is bijvoorbeeld te verkrijgen uit visuele opnames met een camera, zie ook paragraaf 0.

Op basis van het voorgaande zijn onderstaande kwaliteitseisen opgesteld voor de meting van de staat van appendages met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: n.v.t.
2. Detectiegrens: n.v.t.
3. Meetdichtheid: n.v.t.
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 100 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: n.v.t.
6. Diversen: visuele opname van het staat van de appendage (bijvoorbeeld de stand van een afsluiter).

## 4 Datakwaliteit met betrekking tot leidingdegradatie

### 4.1 Inleiding

In Tabel 3 is de meetbehoefte voor in-line inspectie van leidingen vanaf 300 mm aangegeven en zijn de meest relevante meetbehoefte gemarkeerd. In onderstaande paragrafen zijn eisen voor deze geselecteerde meetbehoefte uitgewerkt. Paragrafen 4.2 tot en met 4.7 betreffen de leidingmaterialen genoemd in Tabel 3. Er is een motivatie gegeven waarom voor een bepaalde meetbehoefte is gekozen. De paragrafen 4.8 en 4.9 beschrijven respectievelijk inspectie van bekleding met cement en lekkage, die voor meerdere materialen van toepassing zijn.

### 4.2 AC

Voor AC is in Tabel 3 een materiaalspecifieke meetbehoefte aangegeven voor uitloging en de kwaliteit van de rubber ring. In deze paragraaf is uitloging uitgewerkt. Het meten van de kwaliteit van de rubber ring, oftewel het meten of er sprake is van natuurrubber, is momenteel niet mogelijk met in-line inspectie. Hiervoor is uitname noodzakelijk en beproeving met pyrolyse in een laboratorium.

Om de toestand van een AC leiding vast te stellen is het noodzakelijk dat een in-line inspectietechniek in staat is om de effectieve wanddikte te meten. Deze wordt bepaald door de totale wanddikte (zie paragraaf 3.3) te verminderen met de uitloging aan de binnenzijde en de buitenzijde van de leiding. Er zijn ook in-line technieken die de effectieve wanddikte rechtstreeks meten. De mate en verspreiding van de inwendige en uitwendige uitloging heeft een grote variatie. In Beuken (2016) is de effectieve wanddikte gemeten op 14 locaties in een AC leiding van 100 mm. Deze meting is uitgevoerd met thymolftaleine, waarna de effectieve wanddikte is bepaald voor de omtrek van de leiding op 36 punten (elke 10°). Van deze metingen zijn in Bijlage II alle meetpunten weergegeven en het verschil met de naastgelegen waarde (in de omtrekriching en met de klok mee). Deze waarden hebben een onderlinge afstand van 8,7 mm. Het blijkt dat het gemiddelde verschil van deze 504 meetwaarden 0,9 mm bedraagt. Het 99%-percentiel bedraagt 3,7 mm en het maximale verschil 6,1 mm. Dit geeft aan dat voor het meten van de maatgevende effectieve wanddikte de extreme waarden gemeten moeten worden en dat een hoge meetdichtheid vereist is. In dit onderzoek is ook de gemiddelde variatiecoëfficiënt in de horizontale en de omtrekriching met elkaar vergeleken. Deze zijn respectievelijk 0,12 en 0,15, wat aangeeft dat de variatie in beide richtingen van gelijke orde grootte lijkt te zijn. Om met inwendige inspectie dezelfde meetdichtheid te krijgen moet er elke 8,7 mm een meetsignaal verkregen worden. Er zijn geen aanwijzingen dat deze variatie in een 100 mm leiding afwijkt van de variatie in grotere diameters die geschikt zijn voor in-line inspectie.

Comsima kan spanningen in de leidingwand als gevolg van verschillende belastingcombinaties berekenen (Wols et al., 2015). Wols (2017) heeft de verouderingsmodule ontwikkeld, waarmee veranderende spanningen zijn te berekenen als gevolg van degradatie van het leidingmateriaal. Comsima normaliseert de berekende opgetreden spanning ten opzichte van de bezwijkspanning. Dat wil zeggen dat de waarde 1,0 betekent dat de optredende spanningen gelijk zijn aan de bezwijkspanning. Als we

aannemen dat drinkwaterbedrijven met een nauwkeurigheid van 10% willen weten wat de spanning is in de leiding ten opzichte van de bezwijkspanning, dan bepaalt dit de benodigde nauwkeurigheid van de meting. Dit is immers het verschil in wanddikte tussen een genormaliseerde spanning van 1,0 en van 0,9. De nauwkeurigheid van in-line inspectie moet dusdanig zijn dat dit verschil in wandspanning is te onderscheiden.

In Tabel 4 is met behulp van de verouderingsmodule de gevoeligheid weergegeven voor het bepalen van de nauwkeurigheid voor de parameters inwendige druk, verkeerslast en bodem. Het berekende verschil geeft informatie over de benodigde nauwkeurigheid. Deze factoren hebben de meeste invloed op de spanningen in de buiswand. Het blijkt dat de hoogste nauwkeurigheid benodigd is in een leiding met een lage inwendige druk, met een lage verkeerslast en een bodem van zand. Dit wil zeggen dat de spanningen als gevolg van de waterdruk de spanningen als gevolg van de bovenbelasting gedeeltelijk opheffen. Hier zijn de verschillen tussen de benodigde wanddikte het kleinst. Er blijkt dat voor het bepalen van de nauwkeurigheid situaties met een relatief lage belasting maatgevend zijn.

TABEL 4 BEPALING VAN DE ONGUNSTIGSTE BELASTINGSITUATIE VOOR DE NAUWKEURIGHEID VAN METINGEN MET IN-LINE INSPECTIE VOOR EEN AC LEIDING MET EEN DIAMETER VAN 500 MM.

Parameter	Benodigde effectieve wanddikte (mm) bij		Verschil (mm)
	100% van bezwijkspanning	90% van bezwijkspanning	
Inwendige druk: laag (0,25 MPa)	10,0 mm	10,8 mm	0,8 mm
Inwendige druk: hoog (0,6 MPa)	9,0 mm	10,4 mm	1,4 mm
Verkeerslast: laag (geen weg)	2,5 mm	3,0 mm	0,5 mm
Verkeerslast: hoog (snelweg)	11,7 mm	12,7 mm	1,0 mm
Bodem: zand	9,4 mm	10,5 mm	1,1 mm
Bodem: klei	8,8 mm	10,0 mm	1,1 mm
Bodem: veen	7,0 mm	8,6 mm	1,6 mm
Maatgevende combinatie: lage inwendige druk, lage verkeerslast en zandbodem	1,4 mm	1,7 mm	0,3 mm

*Noot: Voor de parameters waarvan de gevoeligheid niet wordt geëvalueerd zijn de volgende parameters aangehouden: inwendige druk: 0,45 MPa, verkeerslast: laag, bodem: zand. In alle gevallen geldt: geen zetting, leiding gelegen op 0 meter van weg en geen degradatie.*

In Tabel 5 is voor een leiding met een lage inwendige druk, een lage verkeerslast en een bodem van zand de wanddikte bepaald als basis voor de benodigde nauwkeurigheid van een in-line inspectie. Op basis van deze analyse blijkt dat voor een AC leiding van 300 mm de gewenste nauwkeurigheid het kleinst is, namelijk 0,18 mm.

TABEL 5 VERSCHIL IN BENODIGDE EFFECTIEVE WANDDIKTE VOOR EEN AC LEIDING TUSSEN EEN OPTREDENDE SPANNING VAN 100% EN VAN 90% VAN DE BEZWIJKSPANNING

Diameter	Benodigde effectieve wanddikte (mm) bij		Verschil (mm)
	100% van bezwijkspanning	90% van bezwijkspanning	
300	1,00 mm	1,18 mm	0,18 mm
400	1,12 mm	1,34 mm	0,22 mm
500	1,40 mm	1,68 mm	0,28 mm
600	1,70 mm	2,05 mm	0,35 mm
700	1,99 mm	2,42 mm	0,43 mm

*Noot 1: de benodigde wanddikte is bepaald voor een zandbodem, zonder zetting, gelegen op 0 meter van weg met lage verkeersbelasting, een inwendige druk van 0,25 MPa en geen degradatie.*

*Noot 2: De hier berekende effectieve wanddikte zijn relatief laag. Dit heeft als oorzaak dat door het effect van rerounding spanningen veroorzaakt door de inwendige druk tegengesteld werken aan de spanningen door de gronddruk. Dit effect wordt beschreven in Wols (2017).*

Overigens is het van belang te onderscheiden of de effectieve wanddikte rechtstreeks wordt gemeten of dat deze wordt afgeleid van de meting van de totale wanddikte en de optredende inwendige en uitwendige uitloging. De tweede bepaling is in feite afhankelijk van drie metingen, wat hogere eisen stelt aan de nauwkeurigheden van deze afzonderlijke metingen. Op basis van deze analyse is een nauwkeurigheid gewenst van 0,1 mm voor de meting van de effectieve wanddikte of van de inwendige en uitwendige uitloging.

De detectiegrens voor de meting van uitloging is van minder groot belang, aangezien de maximale waarden van uitloging maatgevend zijn. Het is echter wel van belang dat de positie van inwendige uitloging en van uitwendige uitloging correct ten opzichte van elkaar geïdentificeerd zijn.

Op basis van het voorgaande zijn onderstaande kwaliteitseisen opgesteld voor de meting van de effectieve wanddikte voor AC leidingen met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: +/- 0,1 mm.
2. Detectiegrens: 1,0 mm.
3. Meetdichtheid: 5 mm (in lengte- en omtrekriching).
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 10 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: +/- 5°.
6. Diversen: n.v.t.

### 4.3 Beton

Bij de conditiebepaling van voorgespannen betonnen buisdelen dient de focus te liggen op onderzoek naar draadbreek, corrosie en uitloging (van Eijk, 2014). Voor betonnen leidingen geldt dat deze zeer robuust zijn uitgevoerd, wat inhoudt dat er in de meeste gevallen een beperkt of enkel defect nog niet tot bezwijking leidt. Gezien de dekking van het beton van tientallen millimeters, zal uitloging niet gauw tot bezwijken leiden. Falen treedt in de meeste gevallen op als gevolg van meerdere en nabijgelegen draadbreken van voorgespannen wikkelingen, al dan niet in combinatie met degradatie van het omliggende beton.

Door Waternet worden regelmatig metingen uitgevoerd aan de toestand van de betonnen WRK-leiding. Hierbij ligt naast de meting van de voegwijdte, de nadruk op meting van het aantal draadbreken en de verspreiding hiervan. In een onderzoek dat is uitgevoerd voor de

Water Research Foundation bleek dat er weinig inzicht is in de relatie tussen de kans op leidingbreuk en de aantallen en de verspreiding van draadbreuken (WRF, 2012). Dit houdt in dat er geen onderbouwing is te geven van de benodigde kwaliteit van voorgespannen betonnen leidingen. Vanwege het beperkt aantal leidingbreuken is het op basis van USTORE-gegevens niet mogelijk om een statistische relatie te leggen tussen leidingbreuken en de mate van aantasting van de voorspanning. Ook het WRF rapport toont deze relatie niet aan. Het rapport beveelt nader onderzoek aan op dit onderwerp.

De benodigde kwaliteit voor in-line inspectie van voorgespannen betonnen leidingen dient te worden gebaseerd op:

1. de locatie van enkele gebroken draden;
2. de locatie van clusters van gebroken draden;
3. het aantal gebroken draden per cluster.

Op basis van het voorgaande zijn onderstaande kwaliteitseisen opgesteld voor de meting toestand van voorgespannen wapening van betonnen leidingen met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: n.v.t.
2. Detectiegrens: n.v.t..
3. Meetdichtheid: 1 meting per wikkeling (voor Arkelbuizen is dit meestal 20 mm).
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 100 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: n.v.t.
6. Diversen: constateren dat een draad is gebroken.

Opgemerkt wordt dat bovengenoemde eisen voor betonnen leidingen nog verder uitgewerkt dienen te worden. Er is een groot aantal typen betonnen leidingen die verschillend van samenstelling zijn. Om de eisen verder uit te werken is een beter overzicht noodzakelijk van de detaillering van deze buizen, inclusief de toegepaste wapening, de zogenaamde kernbuizen en verbindingen.

#### 4.4 Gietijzer (grijs en nodulair), inclusief 'oud' staal

Voor gietijzer is in Tabel 3 een materiaalspecifieke meetbehoefte aangegeven voor corrosie, scheuren, de aanwezigheid van een bekleding met koolteer en de kwaliteit van de verbinding. In deze paragraaf is corrosie uitgewerkt. De meting van corrosie vindt plaats door het meten van de effectieve wanddikte. Hiermee wordt ook het afwezige materiaal gemeten als gevolg van scheuren. Voor het meten van de kwaliteit van de rubber ring, geldt hetzelfde als voor AC leidingen. Ook voor het vaststellen van de aanwezigheid van koolteer geldt dat dit (momenteel) niet mogelijk is met in-line inspectie, maar dat dit door uitname en laboratorium onderzoek vastgesteld dient te worden.

Voor gietijzeren leidingen zijn geen analyses uitgevoerd zoals omschreven in Beuken (2016) voor AC leidingen, die als basis kunnen dienen voor het bepalen van de benodigde meetdichtheid. Onderzoek dat in het verleden is uitgevoerd (Slaats en Mesman, 2003 en Mesman en Slaats 2004) liet zien de variatie van de aantasting in gietijzeren leidingen groter is dan die in AC leidingen. Waar voor AC een meetdichtheid is voorgesteld van 5 mm, lijkt het logisch om voor GGJ een dichtheid aan te houden van 2,5 mm. Dit mede omdat dat de mogelijkheid biedt om voortijdig puntlekken te detecteren, die afmetingen kunnen hebben van enkele mm's.

Op dezelfde wijze als beschreven voor AC leidingen is in Tabel 6 de gevoeligheid weergegeven voor het bepalen van de nauwkeurigheid voor de parameters inwendige druk, verkeerslast en bodem. Van deze factoren, die de meest invloed hebben op de spanningen in

de buiswand, blijkt hier dat de hoogste nauwkeurigheid benodigd is in een leiding met een lage inwendige druk, met een lage verkeerslast en een bodem van klei.

TABEL 6 BEPALING VAN DE ONGUNSTIGSTE BELASTINGSITATIE VOOR DE NAUWKEURIGHEID VAN METINGEN MET IN-LINE INSPECTIE VOOR EEN GGJ LEIDING MET EEN DIAMETER VAN 500 MM.

Parameter	Benodigde effectieve wanddikte (mm) bij		Verschil (mm)
	100% van bezwijkspanning	90% van bezwijkspanning	
Inwendige druk: laag (0,25 MPa)	8,1 mm	8,5 mm	0,4 mm
Inwendige druk: hoog (0,6 MPa)	8,4 mm	8,9 mm	0,5 mm
Verkeerslast: laag (geen weg)	5,4 mm	5,7 mm	0,3 mm
Verkeerslast: hoog (snelweg)	9,4 mm	9,9 mm	0,5 mm
Bodem: zand	8,3 mm	8,8 mm	0,5 mm
Bodem: klei	8,1 mm	8,5 mm	0,4 mm
Bodem: veen	7,5 mm	8,0 mm	0,5 mm
Maatgevende combinatie: lage inwendige druk, lage verkeerslast en kleibodem	5,1 mm	5,4 mm	0,3 mm

*Noot: indien de gevoeligheid niet wordt berekend worden de volgende parameters aangehouden: inwendige druk: 0,45 MPa, verkeerslast: laag, bodem: zand. In alle gevallen geldt: geen zetting, leiding gelegen op 0 meter van weg en er is geen sprake van degradatie.*

In Tabel 7 is voor een leiding met een lage inwendige druk, een lage verkeerslast en een bodem van klei de wanddikte bepaald als basis voor de nauwkeurigheid van een in-line inspectie. Op basis van deze analyse blijkt dat voor een GGJ leiding van 300 mm de gewenste meetnauwkeurigheid het kleinst is, namelijk 0,17 mm.

TABEL 7 VERSCHIL IN BENODIGDE EFFECTIEVE WANDDIKTE VOOR EEN GGJ LEIDING TUSSEN EEN OPTREDENDE SPANNING VAN 100% EN VAN 90% VAN DE BEZWIJKSPANNING

Diameter	Benodigde effectieve wanddikte (mm) bij		Verschil (mm)
	100% van bezwijkspanning	90% van bezwijkspanning	
300	2,96 mm	3,13 mm	0,17 mm
400	4,02 mm	4,25 mm	0,23 mm
500	5,11 mm	5,40 mm	0,29 mm
600	6,22 mm	6,59 mm	0,37 mm
700	7,38 mm	7,80 mm	0,42 mm

*Noot: de benodigde wanddikte is bepaald voor een kleibodem, zonder zetting, gelegen op 0 meter van weg met lage verkeerslast, een inwendige druk van 0,25 MPa en er is geen sprake van degradatie.*

Net als bij AC geldt dat het van belang is te onderscheiden of de effectieve wanddikte rechtstreeks wordt gemeten of dat deze wordt afgeleid van de meting van de totale wanddikte en de optredende inwendige en uitwendige corrosie. De tweede bepaling is in



feite afhankelijk van drie metingen, wat hogere eisen stelt aan de nauwkeurigheden van deze afzonderlijke metingen. Op basis van deze analyse is een nauwkeurigheid gewenst van 0,1 mm voor de meting van de effectieve wanddikte of van de inwendige en uitwendige corrosie.

Voorgesteld wordt om bij in-line inspectie voor de meting van de effectieve wanddikte bij GGJ leidingen een meetnauwkeurigheid van maximaal 0,1 mm aan te houden. Ook voor nodulair gietijzer en oud staal lijkt deze nauwkeurigheid gewenst. Deze nauwkeurigheid komt overeen met de voorgeschreven nauwkeurigheid in de POF, zie Tabel 9 in Bijlage I.

De detectiegrens voor de meting van corrosie is van minder groot belang, aangezien de maximale waarden van corrosie maatgevend zijn. Het is van belang dat de positie van inwendige corrosie en van uitwendige corrosie correct ten opzichte van elkaar geïdentificeerd zijn.

Voorstel voor kwaliteitseisen voor de meting van de effectieve wanddikte voor GGJ leidingen met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: +/- 0,1 mm.
2. Detectiegrens: 1,0 mm.
3. Meetdichtheid: 2,5 mm (in lengte- en omtrekriching).
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 10 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: +/- 5°.
6. Diversen: n.v.t.

#### 4.5 Staal, exclusief 'oud' staal

In het algemeen geldt dat de toestand van stalen leidingen in het Nederlandse leidingnet goed is, dit mede gezien het laag aantal storingen dat wordt geregistreerd in USTORE. Corrosie wordt beheerst door de toepassing van inwendige en uitwendige bekleding. Zie paragraaf 4.8 voor het inspecteren van de inwendige bekleding (liner genaamd). In de meeste gevallen geldt dat zolang de inwendige liner goed is er geen corrosie optreedt. Een inspectie van de liner is daarmee in de meeste gevallen een goede voorspeller voor de toestand van stalen leidingen. Bij HDD boringen die zijn uitgevoerd met stalen leidingen kan het voorkomen dat de bekleding die achteraf is aangebracht bij lassen bij het intrekken van de leiding 'opstroopt'.

De eisen die aan inspectie van stalen leidingen gesteld kunnen worden (exclusief liner), zijn te baseren op de POF:

1. Nauwkeurigheid: +/- 0,1 mm.
2. Detectiegrens: 0,1 mm.
3. Meetdichtheid: 5 mm (in lengte- en omtrekriching).
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 10 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: +/- 5°.
6. Diversen: eventueel de toestand van de uitwendige bekleding ter plaatse van lassen in HDD boringen.

#### 4.6 PVC

De toestand van PVC leidingen is voorsnog niet door middel van in-line inspectie vast te stellen. Het is wel mogelijk afwijkingen in de geometrie waar te nemen (zoals ovaliteit, deuken en hoekverdraaiing), zie hiervoor Hoofdstuk 3. Mesman (2015) beschrijft dat in PVC leidingen scheuren kunnen ontstaan als gevolg van verhoogde wandspanningen, waarbij initiatie van de scheur ontstaat rondom materiaalafwijkingen (vervuiling, verkoolde deeltjes, verglaasde deeltjes of grotere kristallen in het PVC). In veel gevallen hebben deze materiaalafwijkingen een kleine omvang (orde grootte 0,1 tot 1,0 mm) en zijn de afwijkingen

moeilijk te onderscheiden van het omliggende PVC. Het verloop van de scheurgroei is echter een langzaam verlopend proces, waarbij mogelijk scheuren die nog niet geheel ontwikkeld zijn vroegtijdig herkend kunnen worden. Het is onduidelijk of dit verloop dusdanig langzaam is dat scheuren met behulp van in-line inspectie vroegtijdig herkend kunnen worden.

Op dit moment vindt bij Wetsus onderzoek plaats naar de mogelijkheid van het meten van fysische veroudering van PVC met behulp van de non-collinear wave mixing techniek. Mesman en van Laarhoven (2018) geven aan dat de eerste resultaten van deze techniek op een set proefstukken waarvan een aantal eigenschappen bekend zijn, nog geen relatie heeft opgeleverd waarmee degradatie gemeten kan worden. Dit wil zeggen dat deze techniek nog nader verbeterd dient te worden voordat tot toepasbaarheid kan worden overgegaan.

Redenerend vanuit de noodzaak om fysische veroudering en scheurgroei vroegtijdig te herkennen, lijken aan een te ontwikkelen techniek voor de inspectie van PVC leidingen de volgende eisen gesteld te moeten worden:

1. Nauwkeurigheid: +/- 0,1 mm.
2. Detectiegrens: 0,1 mm.
3. Meetdichtheid: 0,1 mm (in lengte- en omtrekriching).
4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 10 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: +/- 1°.
6. Diversen: n.v.t.

#### 4.7 PE

Onder normale omstandigheden worden PE-leidingen niet aangetast vanuit de omgeving en voor grotere diameters is het aantal storingen relatief laag (Mesman, 2016). De behoefte aan inspectie van PE leidingen op basis van degradatie van het leidingmateriaal is zeer beperkt. Om die reden is er vooralsnog geen behoefte aan het opstellen van kwaliteitseisen.

#### 4.8 Bekleding met cement (lining)

Cementmortel wordt als liner gebruikt in lamellair gietijzeren, nodulair gietijzeren en stalen leidingen. De liner kan fabrieksmatig zijn aangebracht in nodulair gietijzeren en stalen buizen of in situ worden aangebracht in gietijzeren of stalen leidingen (Mesman et al., 2016). De beschermende werking van deze liner is tweeledig: het schermt het ijzer of staal af van het drinkwater en het creëert een hogere pH op het scheidingsvlak cementmortel-metaal.

Mesman et al. (2016) noemen voor bekleding met cement onderstaande parameters die met in-line inspectie gemeten kunnen worden:

- Dikte van de liner: De dikte is belangrijk voor de minimale sterkte van de laag en voor een langdurige bescherming van het onderliggende materiaal. Een cementmortel kan afhankelijk van de waterkwaliteit uitloggen.
- Hechting van de liner op de buiswand: Een cementmortelbekleding moet één geheel vormen met de stalen of gietijzeren buis. Omdat de elasticiteit en de stijfheid van de liner afwijkt van het buismateriaal treden bij vervorming van de buis tijdens productie, aanleg en beheer spanningen op tussen de liner en de stalen buis. Als de hechting tussen buis en liner onvoldoende is, laat de liner los van de buis.
- Aanwezigheid van scheuren in de liner: Vanwege de verschillende eigenschappen van de stalen leiding en de cementmortelbekleding kunnen er scheuren ontstaan in de cementmortelbekleding. De maximum scheurbreedte is gesteld op 1,5 mm onder drinkwateromstandigheden, mits de stabiliteit van de laag cementmortel niet wordt bedreigd. Deze scheurbreedte treedt pas op bij een uitzonderlijk grote vervorming van een leiding.

Voor de meting van de toestand van de liner met in-line inspectie zijn de dikte, het loslaten van delen van de liner en het optreden van scheuren in de liner van belang. Voor deze aspecten lijken onderstaande kwaliteitseisen voor de meting met in-line inspectie van de toestand de liner gesteld te moeten worden:

- Voor de dikte van de liner:
  1. Nauwkeurigheid: +/- 0,1 mm.
  2. Detectiegrens: 0,1 mm.
  3. Meetdichtheid: 100 mm (in lengte- en omtrekriching).
  4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 10 mm.
  5. Locatienauwkeurigheid omtrek: +/- 10°.
  6. Diversen: n.v.t.
- Voor het loslaten van de liner:
  1. Nauwkeurigheid: n.v.t.
  2. Detectiegrens: n.v.t.
  3. Meetdichtheid: 100 mm (in lengte- en omtrekriching).
  4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 10 mm.
  5. Locatienauwkeurigheid omtrek: +/- 10°.
  6. Diversen: correcte meting van gehecht of niet gehechte liner.
- Voor scheurbreedte in liner:
  1. Nauwkeurigheid: +/- 0,1 mm.
  2. Detectiegrens in de breedterichting van de scheur: 1,0 mm.
  3. Meetdichtheid: 10 mm (in lengte- en omtrekriching).
  4. Locatienauwkeurigheid lengte: +/- 100 mm.
  5. Locatienauwkeurigheid omtrek: +/- 10°.
  6. Diversen: n.v.t.

#### 4.9 Lekkage

Door het voorzien van een in-line inspectieapparaat met een microfoon is het mogelijk lekken op te sporen. Ook zijn er in-line meetinstrumenten die specifiek zijn ontworpen om lekken te meten (bijvoorbeeld de Smart Ball). Deze technieken zijn zo ver ontwikkeld dat afhankelijk van het leidingmateriaal, de waterdruk en het aanwezige achtergrondgeluid, lekken vanaf circa 0,1 l/minuut gedetecteerd kunnen worden. Het tijdig kunnen registreren van kleine lekken is voor drinkwaterbedrijven van belang omdat:

- kleine lekken na enige tijd kunnen uitgroeien tot grote lekken;
- een groot aantal kleine lekken invloed heeft op het totale lekverlies;
- kleine lekken kunnen leiden tot verhoogde waterspanning in bijvoorbeeld dijken, wat tot omgevingsschade kan leiden.

In het AIR project is aangegeven dat met robots lekken gedetecteerd moeten kunnen worden die groter zijn dan 25 l/min, zie Bijlage III. Deze detectiegrens wijkt aanzienlijk af van de detectiegrens van 0,1 l/min die hierboven is genoemd.

Voorstel voor kwaliteitseisen voor de meting van lekkage met in-line inspectie:

1. Nauwkeurigheid: +/- 1 l/min.
2. Detectiegrens: 0,1 l/min.
3. Meetdichtheid: 1 m.
4. Locatienauwkeurigheid lengte: 500 mm.
5. Locatienauwkeurigheid omtrek: n.v.t.
6. Diversen: n.v.t.

Voor de nauwkeurigheid van detectie van lekken geldt dat het vooral belangrijk is om kleine lekken te kunnen vinden. De exacte grootte van het lek is meestal minder van belang. Hier

zou ook gebruik gemaakt kunnen worden van een classificatie in kleine, middelgrote en grote lekken. Deze classificatie kan bijvoorbeeld gebaseerd zijn op de indeling klein (0,1 - 1 l/min), middelgroot (1 - 10 l/min) en groot (>10 l/min).

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

In dit onderzoek is nagegaan of het mogelijk is om op basis van kennis van saneringsbeslissingen en degradatiegedrag van leidingen kwaliteitseisen te formuleren voor in-line inspectie. Hiervoor is de meetbehoefte van zes leidingmaterialen vastgesteld, te weten AC, beton, GGJ, Staal, PVC en PE, alsmede voor algemene geometrische kenmerken. Voor die meetbehoefte waarmee met in-line inspectie de toestand is te bepalen, of waarmee die bepaling naar verwachting binnen enkele jaren op de markt komt, zijn voorstellen geformuleerd voor kwaliteitseisen waaraan inspectie zou moeten voldoen om saneringsbeslissingen te ondersteunen. Op basis van dit onderzoek zijn onderstaande conclusies te trekken.

1. Vanuit het perspectief van saneringsbeslissingen en kennis over de degradatie van leidingen zijn eisen op te stellen voor in-line inspectietechnieken. Voor de meeste eisen geldt dat deze nog moeilijk kwantitatief zijn te onderbouwen. Derhalve hebben de meeste eisen het karakter van een expertoordeel. De voorgestelde eisen aan metingen met in-line inspectie moeten daarom gezien worden als een startpunt voor discussie.
2. In dit project is een nadere definitie gegeven van de kwaliteit van inspectiedata, hiervoor is gebruik gemaakt van de volgende begrippen: nauwkeurigheid, detectiegrens, meetdichtheid, locatienauwkeurigheid lengte, locatienauwkeurigheid omtrek en diversen.
3. De belangrijkste meetbehoefte voor in-line inspectie van leidingen vanaf 300 mm is vastgesteld op onderstaande aspecten:
  - Met betrekking tot de geometrie:
    - Ligging (XYZ)
    - Wanddikte
    - Vervormingen leidingmateriaal (deuken, plooiën, rimpels, etc)
    - Onrondheid
    - Afwijkingen t.o.v. registraties in het assetregister
    - Voegwijdte en hoekverdraaiing
    - Staat van appendages
  - Met betrekking tot de toestand:
    - Inwendige en uitwendige uitloging AC
    - Draadbreuken (inclusief concentraties daarvan) beton
    - Inwendige en uitwendige corrosie GGJ en staal
    - Scheurontwikkeling PVC
    - Materiaalspanning PVC
    - Kwaliteit inwendige liner
    - Lekkage

Voor een overzicht van de kwaliteitseisen wordt verwezen naar Tabel 8.

4. Door het systematisch analyseren van de informatiebehoefte van drinkwaterbedrijven voor wat betreft de eisen aan saneringsbeslissingen kunnen zij

duidelijk aangeven op welke aspecten zij verbeteringen wensen. Hiermee kunnen inspectiebedrijven hun producten gericht verbeteren.

- Het Pipeline Operator Forum (POF) heeft een handleiding opgesteld waaraan inspecties van gas- en olieleidingen moeten voldoen. Met deze handleiding hebben zij een standaard voor de bedrijfstak opgesteld en kunnen zij gezamenlijke kwaliteitseisen afdwingen. Deze handleiding kan als voorbeeld dienen voor een vergelijkbaar initiatief voor drinkwaterleidingen.

TABEL 8. OVERZICHT VAN KWALITEITSEISEN VOOR IN-LINE INSPECTIE. EISEN DIE ONDERBOUWD ZIJN DOOR ONDERZOEK OF VANUIT PRAKTIJKERVARINGEN ZIJN AANGEGEVEN IN EEN WIT VELD. EISEN DIE ZIJN GEBASEERD OP MINDER GOED ONDERBOUWDE AANNAMEN ZIJN AANGEGEVEN IN EEN GRJS VELD.

Meetbehoefte	1: Nauwkeu- righeid	2: Detectie- grens	3: Meetdicht- heid	4: Loc.nauw- keurigheid lengte	5: Loc.nauw- keurigheid omtrek	6: Diversen
<b>Geometrie:</b>						
1. Ligging (XYZ)	+/- 0,1 m	-	1 m	+/- 0,1 m	-	-
2. Wanddikte	+/- 0,1 mm (AC, GGJ, staal) +/- 1 mm (beton, PVC, PE)	-	1 meting /buis	+/- 1 m	-	-
3. Vervormingen leidingmateriaal (deuken, plooiën, rimpels, etc)	+/- 1 mm	1 mm	1 mm	+/- 100 mm	+/- 10°	-
4. Onrondheid	+/- 0,5%	0,5%	100 mm	+/- 100 mm	-	-
5. Afwijkingen t.o.v. registraties in GIS of op revisietekeningen	+/- 0,5 mm	-	100 mm	+/- 100 mm	-	herkennen materiaal
6. Voegwijdte en hoekverdraaiing	+/- 0,1 mm	0,1 mm	4 klokposities/ verbinding	+/- 100 mm	+/- 5°	-
7. Staat van appendages	-	-	-	+/- 100 mm	-	staat appendage
<b>Leidingdegradatie:</b>						
1. AC	+/- 0,1 mm	0,5 mm	5 mm	+/- 10 mm	+/- 5°	-
2. Beton	-	-	1 meting / wikkeling	+/- 100 mm	-	draadbreek
3. Gietijzer (grijs en nodulair), inclusief 'oud' staal	+/- 0,1 mm	0,5 mm	2,5 mm	+/- 10 mm	+/- 5°	-
4. Staal, exclusief 'oud' staal	+/- 0,1 mm	0,1 mm	5 mm	+/- 10 mm	+/- 5°	-
5. PVC	+/- 0,1 mm	0,1 mm	0,1 mm	+/- 10 mm	+/- 1°	-
6. PE	-	-	-	-	-	-
7. Bekleding met cement (lining) a. dikte liner b. loslaten liner c. scheurenbreedte liner	+/- 0,1 mm - +/- 0,1 mm	0,1 mm - 1 mm	100 mm 100 mm 10 mm	+/- 10 mm +/- 10 mm +/- 100 mm	+/- 10° +/- 10° +/- 10°	- vaststellen loslaten -
8. Lekkage	3 categorieën	0,1 l/min	1 m	500 mm	-	-

## 5.2 Aanbevelingen

Op basis van deze studie zijn onderstaande aanbevelingen geformuleerd.

- Drinkwaterbedrijven wordt aanbevolen de hier geformuleerde eisen met elkaar te bespreken en deze als uitgangspunt te nemen om te komen tot een sectorstandpunt over eisen te stellen aan in-line inspectie van leidingen vanaf 300 mm.

2. Op basis van dit sectorstandpunt kunnen drinkwaterbedrijven een gezamenlijk eisenpakket aanbieden aan inspectiebedrijven.
3. Binnen het BTO is de kennisdatabase PIPE-works ontwikkeld, waarin inspectietools en praktijkervaringen overzichtelijk en objectief worden beschreven. Het verder invullen van PIPE-works, in combinatie met het verder ontwikkelen van kwaliteitseisen aan inspectiedata, biedt een goed uitgangspunt voor verdere ontwikkeling.
4. In PIPE-works zijn beschrijvingen opgenomen van kwaliteit van inspectiedata. Deze betreffen de nauwkeurigheid. Het is aan te bevelen de overige kwaliteitsparameters zoals aangegeven in dit onderzoek (detectiegrens, meetdichtheid, locatienauwkeurigheid lengte, locatienauwkeurigheid omtrek en diversen) in de beschrijving van technieken en in de evaluatie van implementaties toe te passen.
5. Het Pipeline Operators Forum heeft de richtlijn 'Specifications and requirements for in-line inspection of pipelines' opgesteld voor inspectie van stalen leidingen met name gericht op de olie-en gasindustrie. Drinkwaterbedrijven wordt aanbevolen om op nationaal niveau of op internationaal niveau een vergelijkbare richtlijn op te stellen voor de inspectie van (drink-) waterleidingen, bijvoorbeeld in het project Intelligent Pigging dat Sweco uitvoert voor drinkwaterbedrijven, waterschappen en gemeenten. Hierbij zouden ook eisen gesteld kunnen worden aan de wijze waarop inspectiebedrijven data aanleveren (zoals formats, lay-out, de mate van detail, beschrijvingen van uitgevoerde validaties, etc). Ook hiervoor kan de richtlijn van de POF als voorbeeld dienen.
6. Om eisen voor in-line inspecties verder te onderbouwen zijn onderstaande onderzoeken aan te bevelen:
  - a. Mechanisch onderzoek naar de impact van draadbreuken in betonnen leidingen op de sterkte.
  - b. Mechanisch onderzoek naar de invloed van de verspreiding uitloging en corrosie op de sterkte van een buis van respectievelijk AC of GGJ.
  - c. Onderzoek naar de snelheid van scheurvormig in PVC.
7. Voor het opstellen van eisen aan betonnen leidingen is er behoefte aan meer informatie over de verschillende typen leidingen die in Nederland zijn toegepast. Deze informatie is verspreid beschikbaar bij drinkwaterbedrijven en (voormalige) leveranciers. Drinkwaterbedrijven wordt aanbevolen informatie over betonnen leidingen centraal en digitaal beschikbaar te stellen. Deze aanbeveling geldt ook voor oudere gietijzeren en AC leidingen.

## 6 Referenties

- Beuken, R.H.S. (2016). *Exitbeoordelingen AC leidingen bij WML*. KWR 2016.094, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Beuken, R.H.S.,(2017-a). *PIPE-works, functioneel ontwerp en testversie*, KWR 2017.084, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Beuken, R.H.S., (2017-b). *Intelligent pigging, Inspectiebehoefte en technische randvoorwaarden*. KWR 2017.090, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Beuken, R. H. S., en J. van Vossen (2017). *Kwantitatieve vergelijking van beslissingsondersteunende software voor leidingsanering*, rapport BTO 2017.066, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Eijk, R. van (2014). *Betonnen leidingen: inventarisatie, conditiebepaling en onderhoud*, rapport BTO 2014.001, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Eternit (ca. 1980): *Catalogus AC buizen en appendages*, Eternit.
- Geonovum (2017). *IMKL2015 - Dataspecificatie Utiliteitsnetten*. Geonovum [http://register.geostandaarden.nl/informatiemodel/imkl2015/1.2RC1/IMKL2015\\_Dataspecificatie\\_1.2RC1.pdf](http://register.geostandaarden.nl/informatiemodel/imkl2015/1.2RC1/IMKL2015_Dataspecificatie_1.2RC1.pdf)
- Mesman, G.A.M, en P.G.G. Slaats (2003). *Conditiebepaling gietijzeren waterleidingen, wanddikten, belastingen*, rapport BTO 2003.038, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Mesman, G.A.M (2015). *Kennisregels PVC leidingen*, rapport BTO 2015.054, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Mesman, G.A.M (2016). *Kennisregels PE leidingen*, rapport BTO 2016.005, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Mesman, G.A.M., R.H.S. Beuken en M.A. Meerkerk (2016). *Conditiebepaling voor drinkwaterleidingen*, rapport PCD6: 2016, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Mesman, G.A.M en K.A. van Laarhoven (2015). *Kennisregels PVC leidingen, update 2017*, rapport BTO 2018.009, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Moerman, A., J. van Vossen en R.H.S. Beuken, (2016). *UKNOW*, rapport BTO 2016.031, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- NEN 3650-2 (2012). *Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal, NEN 3650-2 (nl)*. Normcommissie 310 004 "Transportleidingen", NEN, Delft.



- NEN 3650-3 (2012). *Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof, NEN 3650-3 (nl)*. Normcommissie 310 004 "Transportleidingen", NEN, Delft.
- Pipeline Operators Forum (2016). *Specifications and requirements for in-line inspection of pipelines - Version 2016*. <https://www.pipelineoperators.org/>
- Pipelife (2012). *PVC drukleidingen*, Pipelife Nederland B.V., [http://www.pipelife.nl/nl/media/pdfs/Brochure\\_PVCdrukleidingen\\_A6.pdf](http://www.pipelife.nl/nl/media/pdfs/Brochure_PVCdrukleidingen_A6.pdf)
- Slaats P.G.G. en G.A.M. Mesman (2003). *Conditiebepaling asbestcement waterleidingen, wanddikten, belastingen*, rapport BTO 2003.039, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Thienen, P. van, J.R.G. van Summeren en B.J.C. Bergmans (2017). *Verkenningen Autonome Inspectierobots 2017*, rapport BTO 2017.211(s), KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Van Vught Rioleringen (2017): <https://www.vanvughtrioeringen.nl/rioolinspectie/rijdende-camera-inspectie/voegwijdtemeting/>
- Vewin (1982) 'Hogere Waterleidingstechniek, 10 Distributie'.
- Wols, B. A., Moerman, A., en Vertommen, I. (2015). *Comsima: model voor spanningen op ondergrondse leidingen*, rapport BTO 2015.082, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Wols, B.A. en A. Moerman (2017). *Comsima verouderingsmodule*, rapport BTO 2017.074, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- WRF (2012). *Best Practices Manual for Prestressed Concrete Pipe Condition Assessment: What Works? What Doesn't?, What's Next?*, Water Research Foundation and U.S. Environmental Protection Agency, 2012.

# Bijlage I POF: beschrijving van anomalieën

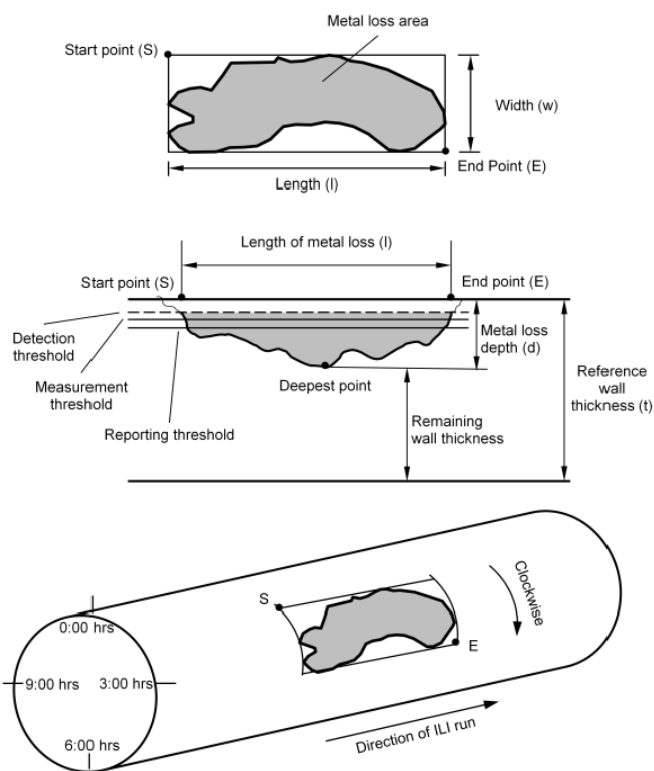
## 1. Metal loss<sup>2</sup>

De afmetingen en locatie van metal loss (zoals door corrosie) is weergegeven in Figuur 1. De afmeting van metal loss wordt weergegeven met de waarden:

- Plaatsing: binnenzijde of buitenzijde;
- l: Lengte in de axiale richting (mm);
- w: breedte in de omtrekringing (mm);
- d: diepste punt van de aantasting (mm).

Dit houdt in dat het metaalverlies wordt weergegeven als een rechthoek. De locatie wordt weergegeven met onderstaande waarden, te meten vanuit de voortbewegingsrichting van het inspectieapparaat en een kloksgewijze rotatie:

- S: startpunt van de anomalie (mm in lengterichting en uren-minuten in omtrekringing);
- E: eindpunt van de anomalie (mm in lengterichting en uren-minuten in omtrekringing).



FIGUUR 1 PARAMETERS VOOR HET BESCHRIJVEN VAN DE DIMENSIES EN LOCATIE VAN METAL LOSS.

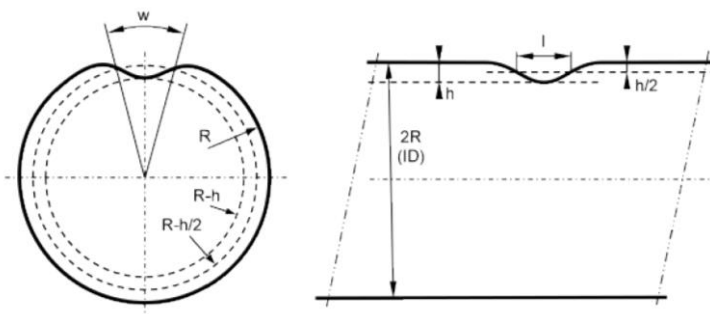
<sup>2</sup> Om zo veel mogelijk aan te sluiten bij internationale typering is in deze bijlage de Engelse naamgeving aangehouden.

## 2. Dent

Een dent is een plotselinge indeuking van de buis en kan beschreven worden met behulp van de waarden (zie ook Figuur 2):

- Plaatsing: binnenzijde of buitenzijde;
- l: Lengte in de axiale richting (mm);
- w: breedte in de omtrekring (mm);
- h: hoogte van de deuk (mm).

Voor de locatiebepaling van een Dent geldt de lengterichting vanaf het beginpunt van de meting (mm) en positie in de omtrekring (uren, minuten).



FIGUUR 2 PARAMETERS VOOR HET BESCHRIJVEN VAN EEN DENT.

Een Dent wordt uitgedrukt als percentage van de buitendiameter (OD).

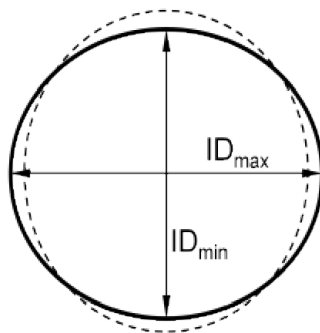
$$Dent = \frac{h}{OD} * 100\%$$

## 3. Gouge

Een Gouge (letterlijk vertaald guts) is een onregelmatigheid die verschillende vormen kan aannemen. De POF-handleiding geeft er geen schematische tekening van. De afmeting van een Gouge is op dezelfde wijze te beschrijven als Metal loss.

## 4. Ovality

Een Ovality (ovaliteit) is te beschrijven als de verhouding tussen twee loodrecht op elkaar staande inwendige diameters, zie ook Figuur 3.



FIGUUR 3 PARAMETERS VOOR HET BESCHRIJVEN VAN OVALITY

De Ovality wordt uitgedrukt als:

$$Ovality = \frac{ID_{max} - ID_{min}}{\frac{ID_{max} + ID_{min}}{2}}$$

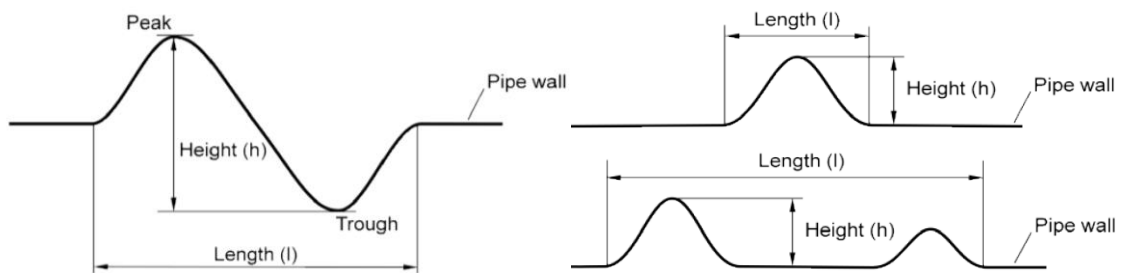
Voor de locatiebepaling van een ovality geldt de lengterichting vanaf het beginpunt van de meting (mm) en positie in de omtrekringing (uren, minuten).

### 5. Buckle

Een Buckle (letterlijk vertaald als knik) is omschreven als een lokale geometrische instabiliteit die resulteert in ovaliteit of afvlakking van de buis als gevolg van excessief buigen of compressie met waarschijnlijk abrupte veranderingen in de lokale kromming, wat kan leiden tot een lokale verzwakking. Een Buckle kan verschillende vormen aannemen. Er is geen schematische voorstelling van gegeven.

### 6. Ripple/Wrinkle

Een Ripple (te vertalen als een rimpel) of een Wrinkle (te vertalen als een kreuk) is een lokale plastische vervorming meestal in de omtrekringing aan de binnen en buitenzijde van de buis en veroorzaakt door buigspanning. Als de afstand tussen piek en dal relatief groot is dan spreekt men van een Wrinkle anders van een Ripple



FIGUUR 4 PARAMETERS VOOR HET BESCHRIJVEN VAN DE DIMENSIES VAN RIPPLES EN WRINKLES.

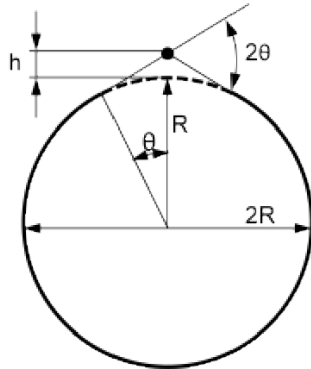
Een Ripple of Wrinkle is te omschrijven als

- l: Lengte in de axiale richting (mm);
- w: breedte in de omtrekringing (mm);
- h: hoogte (afstand piek tot dal) van een Ripple of Wrinkle (mm).

Voor de locatiebepaling van een Ripple of Wrinkle geldt de lengterichting vanaf het beginpunt van de meting (mm) en positie in de omtrekringing (uren, minuten).

### 7. Roof topping/peaking

Roof topping of peaking betreft de incorrecte vervorming van de ronding van de buis waardoor er een hoek ontstaat waarin zich een naad bevindt, zie ook Figuur 5.



FIGUUR 5 PARAMETERS VOOR HET BESCHRIJVEN VAN ROOF TOPPING EN PEAKING.

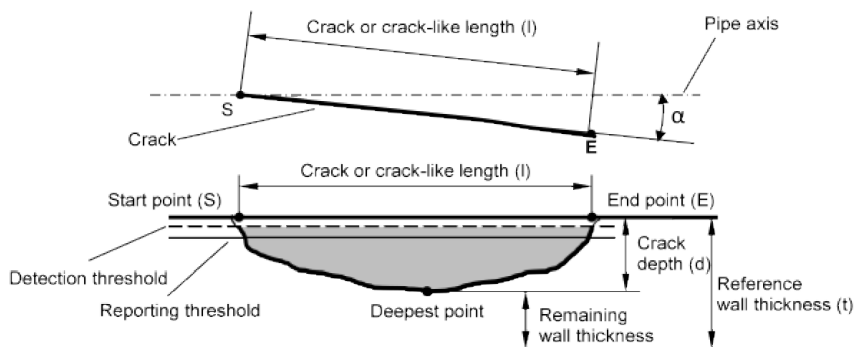
Roof topping of peaking is te beschrijven met de parameters:

- $h$ : hoogte van de topping buiten de omtrek (mm);
- $2\theta$ : hoek (graden).

Voor de locatiebepaling van Roof topping en peaking geldt de lengterichting de afstand vanaf het beginpunt van de meting tot aan de anomalie (mm) en positie in de omtrekriching (uren, minuten).

### 8. Crack and crack-like

Een Crack (scheur) kenmerkt zich als een tweedimensionale anomalie met een grote lengtebreedteverhouding. Er is sprake van een crack als de opening aan het oppervlak kleiner is dan 0,1 mm. Voor Crack-likes (scheurachtige) geldt dat de opening zich bevindt tussen 0,1 mm en 1 mm. Zie Figuur 6 voor een weergave van de beschrijvende parameters.



FIGUUR 6 PARAMETERS VOOR HET BESCHRIJVEN VAN DE DIMENSIES EN LOCATIE VAN CRACKS EN CRACK-LIKES.

De dimensie van een Crack of Crack-like kan omschreven worden met de waarden:

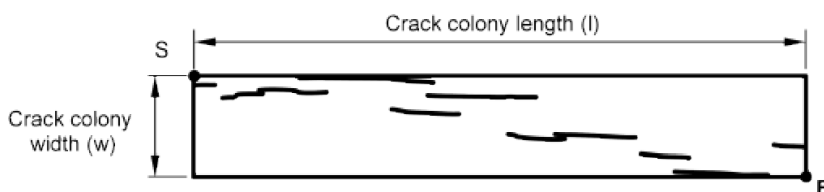
- Plaatsing: binnenzijde of buitenzijde;
- $l$ : Lengte in de axiale richting (mm);
- $d$ : diepste punt van de aantasting (mm);
- $\alpha$ : hoek crack of crack-like ten opzichte van de oriëntatie van de buis.

De locatie wordt weergegeven met onderstaande waarden, te meten vanuit de voortbewegingsrichting van het inspectieapparaat en een kloksgewijze rotatie:

- $S$ : startpunt van de Crack of Crack-like, uitgedrukt in de lengterichting in de afstand vanaf het beginpunt van de meting tot aan de anomalie (mm) en positie in de omtrekriching (uren, minuten);
- $E$ : eindpunt van de Crack of Crack-like, uitgedrukt in de lengterichting in de afstand vanaf het beginpunt van de meting tot aan de anomalie (mm) en positie in de omtrekriching (uren, minuten).

### 9. Crack colonies

Een Crack colony is een groep van scheuren, variërend van enkele tot duizenden scheuren binnen een relatief beperkt gebied, zie ook Figuur 7.



FIGUUR 7 PARAMETERS VOOR HET BESCHRIJVEN VAN DE DIMENSIES EN LOCATIE VAN CRACK COLONIES.

De dimensie van een Crack colony kan omschreven worden met de waarden:

- Plaatsing: binnenzijde of buitenzijde;
- $l$ : lengte van de Crack colony in de axiale richting (mm);
- $w$ : breedte van de Crack colony loodrecht op de axiale richting (mm)
- $d$ : diepste punt van de aantasting in de Crack colony (mm);
- $\alpha$ : hoek crack of crack likje ten opzichte van de oriëntatie van de buis.

De locatie wordt weergegeven met onderstaande waarden, te meten vanuit de voortbewegingsrichting van het inspectieapparaat en een kloksgewijze rotatie:

- $S$ : startpunt van de Crack colony, uitgedrukt in de lengterichting in de afstand vanaf het beginpunt van de meting tot aan de anomalie (mm) en positie in de omtrekriching (uren, minuten);
- $E$ : eindpunt van de Crack colony, uitgedrukt in de lengterichting in de afstand vanaf het beginpunt van de meting tot aan de anomalie (mm) en positie in de omtrekriching (uren, minuten).

### 10. Relevante eisen aan inspecties voor drinkwaterbedrijven

In Tabel 9 staat een overzicht van de minimale nauwkeurigheid die volgens de POF voor in-line inspectie van metalen leidingen dient te worden aangehouden.

TABEL 9 MINIMALE NAUWKEURIGHEID VAN INSPECTIEWAARDEN (POF, 2016)

Parameter	Minimale nauwkeurigheid
Lengte tot referentiepunt	1 mm
Lengte en breedte van anomalie	1 mm
Diepte van anomalie	0,1 mm of 1%
Oorspronkelijke wanddikte	0,1 mm of 1%
Oriëntatie met betrekking tot omtrek	0,5° of 1 minuut
Snelheid van inspectietool	0,1 m/s
Temperatuur	1° C
Druk	0,01 MPa/0,1 bar
Positiebepaling	0,01 m

In de POF is aangegeven dat inspectietool moet voldoen aan de volgende specificaties:

- De Probability of Detection (POD) dient bekend te zijn. Deze geeft de zekerheid dat een aspect met een bepaalde afmeting gedetecteerd wordt door de inspectietool. Aanbevolen wordt om een POD 90% waarde te hanteren. Het is daarmee mogelijk om bijvoorbeeld voor een inspectietool de POD90% waarde aan te geven voor de diepte van corrosie (Metal loss). Deze waarde geeft aan welke diepte met een zekerheid van 90% is te meten. Voor alle te meten parameters dient dan een POD90% waarde bekend te zijn.
- De Probability of Inspection (POI) geeft aan wat de waarschijnlijkheid is dat de tool een kenmerk correct identificeert. Voor alle typen anomalieën dient aan gegeven te zijn wat de kans is op juiste identificatie, volgens de indeling:
  - Identificeerbaar:  $POI > 90\%$
  - Soms identificeerbaar:  $50\% \leq POI \leq 90\%$
  - Niet identificeerbaar:  $PO > 50\%$
- Voor de volgende anomalieën geeft POF aan wat de minimale afwijkingen zijn die gerapporteerd dienen te worden (opgemerkt wordt dat dit geen nauwkeurigheid betreft):
  - Voor magnetic flux leakage tools, metal loss met een diepte  $\geq 10\%$  van de wanddikte voor gelaste buizen
  - Voor ultrasoon tools, metal loss met een diepte  $\geq 1,0$  mm
  - cracks met een lengte  $\geq 25$  mm
  - dents, ripples /wrinkles met een hoogte  $\geq 1\%$  van de inwendige diameter
  - ovalities  $\geq 5\%$  van de inwendige wanddikte.

## Bijlage II Verschil tussen twee metingen effectieve wanddikte met thymolftaleïne

In onderstaande tabel zijn de verschillen weergegeven tussen twee naast elkaar gelegen metingen (in de omtrekriching en met de klok mee gemeten) met thymolftaleïne van de effectieve wanddikte. De metingen zijn uitgevoerd bij WML op 14 locaties, waarbij de effectieve wanddikte op 36 punten op de omtrek is gemeten. Uit deze tabel blijkt dat vanwege de hoge variatie voor het vaststellen van de effectieve wanddikte een hoge meetdichtheid noodzakelijk is.

Voor meer informatie, zie Beuken (2016). Deze tabel is gebaseerd op de data die is gebruikt in dit project. De tabel is als zodanig niet opgenomen in het rapport.



TABEL 10. VERSCHIL (MM) TUSSEN TWEE NAAST ELKAAR GELEGEN METINGEN VAN DE EFFECTIEVE WANDDIKTE, VOOR 14 LOCATIES WAAR EEN METING IS UITGEVOERD MET THYMOFTALÉINE OP EEN AC LEIDING.

°	effectieve wanddikte verschillen in langsgelegen metingen														aantal max gem	504 6,09 0,90 5,261172 4,243657 3,679172 2,346368 1,936769		
	Combi.1				Combi.2				Combi.1				Combi.2					
	W1-1	W1-2	W1-3	W1-4	W2-1	W2-2	W2-3	W2-4	W3-1	W3-2	W3-3	W3-4	W4-1	W4-2			W4-3	W4-4
0°	0,16	0,04	1,97	1,65	0,36	2,27	0,72	1,51	0,68	3,03	1,30	1,88	0,03	2,00	0,03	2,00		
10 h14	0,04	1,39	2,37	2,00	0,72	0,30	1,27	3,07	0,06	0,68	0,51	0,92	1,09	0,84	0,92	0,84		
20 h15	1,30	0,22	0,92	1,10	1,24	0,45	2,41	1,99	0,09	0,17	1,25	0,70	0,31	3,34	0,31	3,34		
30 h17	0,48	0,84	2,80	1,55	0,84	0,66	2,73	1,91	1,74	0,31	1,31	0,21	0,22	6,09	0,22	6,09		
40 h18	0,04	1,14	0,91	0,27	1,53	1,47	0,72	0,10	1,57	0,05	0,00	1,59	0,86	0,23	0,86	0,23		
50 h19	1,18	1,12	1,14	2,12	0,26	2,35	1,78	0,05	0,62	0,47	0,27	0,67	1,06	0,29	0,67	1,06		
60 h20	0,95	0,41	1,45	0,55	0,51	0,13	0,50	0,24	0,20	0,83	2,16	0,01	0,69	1,43	0,01	1,43		
70 h21	0,95	0,17	1,57	2,36	0,27	0,48	0,86	1,07	2,33	0,12	0,94	1,19	1,69	0,74	1,19	1,69		
80 h22	2,07	0,67	0,91	1,23	0,00	1,54	0,51	1,21	3,40	0,23	0,30	0,76	1,16	0,22	0,76	1,16		
90 h23	0,86	0,45	0,51	0,89	2,13	0,52	0,02	2,23	1,87	0,01	1,38	1,01	2,05	0,91	1,01	2,05		
100 h24	1,54	0,17	0,22	0,45	2,10	2,37	1,12	1,22	0,42	0,08	0,26	1,64	0,67	4,44	0,67	4,44		
110 h25	2,94	0,98	1,25	0,37	1,05	0,48	0,56	0,57	2,65	0,06	1,69	1,00	0,60	0,57	1,00	0,60		
120 h26	1,85	2,02	1,09	0,29	0,85	0,66	0,18	1,61	0,05	0,14	3,69	1,00	0,08	1,42	1,00	0,08		
130 h27	1,38	1,31	0,00	0,60	0,06	1,00	0,50	1,32	0,19	0,49	0,80	0,23	0,85	0,07	0,80	0,23		
140 h28	0,94	0,09	0,37	0,08	0,15	1,19	0,08	0,82	0,47	0,26	0,98	0,94	0,13	0,86	0,98	0,13		
150 h29	0,64	0,16	0,53	0,35	0,49	0,33	0,25	0,06	0,15	0,65	1,80	0,16	0,09	1,35	1,80	0,16		
160 h30	2,02	0,89	1,36	1,24	0,24	0,58	0,23	0,36	0,09	0,10	1,64	1,18	0,26	0,88	1,18	0,26		
170 h31	1,34	0,36	1,49	0,37	0,26	0,46	0,73	0,42	1,10	0,95	1,19	1,26	1,64	1,07	1,26	1,64		
180 h32	1,81	0,18	0,89	0,04	0,00	1,10	1,23	0,27	0,71	0,91	0,77	1,66	0,89	1,19	1,66	0,89		
190 h33	1,38	0,05	0,23	2,47	0,11	1,01	0,04	0,96	0,31	0,49	0,40	0,87	0,90	0,35	0,40	0,87		
200 h34	0,99	0,04	1,74	0,53	0,19	0,06	0,05	0,05	0,34	0,50	1,59	0,15	0,48	0,73	1,59	0,15		
210 h35	0,86	1,03	0,55	0,12	1,95	0,53	0,20	0,45	1,37	0,58	0,30	0,20	2,02	1,20	0,30	2,02		
220 h36	1,01	0,30	0,41	2,18	1,97	0,37	0,15	0,33	0,03	0,12	2,40	0,90	0,33	0,07	2,40	0,90		
230 h37	0,54	0,39	2,08	0,56	2,96	0,32	0,02	0,03	1,25	0,41	1,40	0,31	0,40	1,64	1,40	0,31		
240 h38	0,50	0,18	0,58	1,31	0,26	1,20	0,26	0,00	0,23	0,56	1,75	2,30	0,32	1,05	1,75	2,30		
250 h39	0,80	0,47	0,68	0,36	1,06	0,55	0,34	0,21	1,49	1,07	2,02	1,31	0,12	0,21	1,49	1,07		
260 h40	1,10	0,77	0,47	0,50	0,90	0,02	0,59	0,24	1,15	0,38	1,15	1,77	2,68	1,47	1,15	1,77		
270 h41	1,36	0,02	0,18	0,23	0,90	1,18	0,08	0,05	0,95	0,11	1,45	1,55	1,46	1,21	1,45	1,55		
280 h42	1,32	0,38	0,32	1,21	1,30	0,64	0,48	0,18	1,46	1,09	0,06	1,53	0,72	0,21	1,09	0,06		
290 h43	0,76	1,53	2,11	1,61	0,34	0,24	0,37	0,47	0,29	1,19	0,04	0,69	0,51	0,00	0,69	0,51		
300 h44	0,40	0,01	1,19	1,35	0,47	0,47	0,45	1,05	0,41	1,52	1,25	0,37	2,64	3,55	1,25	0,37		
310 h45	0,93	0,61	0,14	1,35	0,37	2,16	1,11	1,61	1,91	1,63	0,04	1,46	0,59	0,81	1,91	1,63		
320 h46	0,17	1,51	0,28	1,64	1,32	2,10	0,33	0,19	1,92	0,46	4,07	4,07	2,49	1,17	4,07	2,49		
330 h47	0,26	1,02	0,31	0,90	1,31	1,28	0,12	0,06	1,70	1,54	1,35	4,03	1,60	0,09	1,70	1,54		
340 h48	0,72	1,11	0,60	0,71	0,79	0,46	0,78	1,58	0,01	0,20	0,71	0,73	1,25	0,77	0,71	0,73		
350 h49	0,71	1,10	0,04	2,17	1,73	0,36	1,10	0,32	1,71	0,50	1,29	1,02	0,94	1,41	1,29	1,02		

## Bijlage III Voorgestelde wijze van meten en meetnauwkeurigheid project AIR

In het project AIR voor de ontwikkeling van een in-line inspectierobot voor leidingen tot 300 mm, is onderstaande resolutie (of nauwkeurigheid) van de metingen voorgesteld (van Thienen et al., 2017).

TABEL 10. OVEREENGEKOMEN RESOLUTIE IN HET PROJECT AIR.

Pipe material	Inspection parameter	Proposed observation principle	Resolution
PVC	material ageing	ultrasonic	measurements on 12 clock positions / 0.1 meter
AC	leaching	ultrasonic	measurements on 12 clock positions / 0.1 meter
AC / PVC	differential settlement	ultrasonic	gap width in mm on 4 clock positions / joint
cast iron	corrosion	ultrasonic / electromagnetic	measurements on 24 clock positions / 0.1 meter
all materials	location	accelerometer / gyroscope combined with known reference points	X,Y,Z-value / 0.1 meter
all materials	visual	180° camera	180° picture / 0.5m
all materials	leak detection	hydrophone	detect any leaks > 25 L/min