



Professioneel Afvalwatertransport ontwikkelt kennis voor het beheer van rioolgemalen en afvalwaterpersleidingen. Een belangrijke kennisvraag betreft de toepasbaarheid inline inspectie-instrumenten voor beoordeling van de conditie van afvalwaterpersleidingen. Deze publicatie beschrijft de aanpak en resultaten van een praktijkonderzoek. In de gemeente Arnhem zijn drie inspectietechnieken toegepast in een asbestcement afvalwaterpersleiding. De resultaten zijn vergeleken met nameting na opgraving van een aantal leidingdelen en met analyse van relevante stukken leidingwand in een CT-scan.

ISBN/EAN xx

Professioneel Afvalwatertransport
Beoordeling inspectie-instrumenten
voor persleidingen:
Praktijkonderzoek in Arnhem

Beoordeling inspectie-
instrumenten voor
persleidingen:
Praktijkonderzoek in
Arnhem

Samenvatting

Stichting RIONED en STOWA hebben samen met gemeente Arnhem en drie inline-inspectieveranciers de krachten gebundeld om drie inspectie-instrumenten, de Smartball (Xylem¹), de Acquarius (Acquaint) en de nog in ontwikkeling zijnde 500-UT-V1.0 (Rosenxt) te testen in de praktijk. De uitgevoerde inspecties waren succesvol ondanks uitdagingen zoals aangehechte afzettingen, inprikkende persleidingen, materiaalovergangen en enkele diameterveranderingen. Net als de meeste persleidingen was ook de onderzochte persleiding in Arnhem niet direct inspecteerbaar. De benodigde aanpassingen variëren per instrument. Een vuistregel is dat een instrument dat met minder typen metingen uitgerust is, eenvoudiger in te brengen is. In Arnhem is naast het rioolgemaal een lanceerinrichting gebouwd om de instrumenten in te brengen en is de ontvangstput aangepast om deze weer uit de leiding te halen.

De inspectiekwaliteit is op twee manieren beoordeeld. Voor een aantal toestandsaspecten is een controlemeting uitgevoerd om de nauwkeurigheid te toetsen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het opgraven van de leiding om de gerapporteerde leidingligging na te meten of het in de CT-scan nameten van leidingdelen die na inspectie uit bedrijf genomen zijn. Daarnaast is elke leverancier gevraagd de standaard inspectieprocedure tweemaal uit te voeren, om te zien of herhaalde inspecties dezelfde resultaten geven. Dit zegt iets over de reproduceerbaarheid van inspecties. Niet alle leveranciers hebben deze gegevens uiteindelijk aangeleverd.

Acquaint en Rosenxt kunnen beiden de wanddegradatie meten. De gemeten resterende wanddiktes komen goed overeen met de resultaten van de CT-scans, mits bij de vertaling van de ultrasone metingen de juiste originele wanddikte tijdens aanleg is gebruikt. Deze wordt doorgaans gemeten door op enkele plekken de buitenwandomtrek van de buis te meten. Acquaint was ook in staat de plekken waar de leiding verdikt was met cementspecie te signaleren.

Tussen de leveranciers (Xylem, Acquaint en Rosenxt) en de ingemeten ontgraven locaties, maar ook tussen inspecties met dezelfde inspectie-instrumenten onderling, zitten verschillen in de gemeten leidingligging die soms groter zijn dan de minimale nauwkeurigheidseis van de WIBON². De betrouwbaarheid van deze metingen is van belang om graafschade te voorkomen en te zorgen dat resultaten van toekomstige inspecties goed vergelijkbaar zijn.

De geïnspecteerde leiding in Arnhem wordt met een lage druk bedreven (≤0,7bar), waardoor de kunstmatig gecreëerde lekkages variërend van 0 – 1,8 l/min niet gedetecteerd zijn. De door Acquaint gemeten hoekverdraaiingen van de verbindingen vertonen een goede overeenkomst met de hellingshoekmetingen die verricht zijn toen een deel van de leiding was vrijgegraven en uit bedrijf genomen.

Voorwoord

Afvalwaterpersleidingen zijn belangrijke schakels in het afvalwatersysteem. Als slagaders transporteren de persleidingen het afvalwater vanuit de (eind)gemalen naar een volgende kern of naar de rioolwaterzuiveringsinrichting. Persleidingen in Nederland vertegenwoordigen een geschatte vervangingswaarde van circa drie miljard euro. Bij constructief falen van een persleiding is in bepaalde situaties sprake van een ernstige calamiteit. Op dit moment is er echter nauwelijks zicht op de actuele conditie en daardoor onvoldoende op de faalkans van afvalwaterpersleidingen. Uit al gedane inspecties blijken grote delen nog goed te zijn. Regelmatig blijkt echter ook dat specifieke delen op korte termijn vervangen moeten worden.

Inline-inspecties voor persleidingen worden steeds meer gemeengoed in de watersector. Nu steeds meer leidingen aan het einde van hun theoretische levensduur zijn, of daar al voorbij, groeit bij leidingbeheerders de behoefte aan inzicht in de constructieve toestand. Daarmee kunnen zij bepalen of het verantwoord is en welke maatregelen nodig zijn om de bestaande infrastructuur langer in bedrijf te houden. Gezien de gemoeide vervangingskosten en de potentiële gevolgen van een persleidingbreuk is het van belang dat de informatie van een inline-inspectie betrouwbaar is.

In 2024 zijn inspectietechnieken getest in een laboratoriumopstellen. De resultaten kunt u lezen in rapport “2024-07 Professioneel Afvalwatertransport - Beoordeling inspectie-instrumenten voor persleidingen: onderzoek in testopstelling”. Een onafhankelijke vergelijking van de toepassingsmogelijkheden en te bereiken nauwkeurigheden in de praktijk was nog niet beschikbaar.

Deze publicatie beschrijft een onderzoek naar de prestaties en het toepassingsbereik van innovatieve inspectietechnieken in de praktijk. Hierbij is gekozen voor een Ø500 mm persleiding uitgevoerd in asbestcement. Dat is een type leiding dat door gemeenten en waterschappen doorgaans als risicovol wordt gezien en dus de grootste inspectiebehoefte kent. Stichting RIONED en STOWA hebben Partners4UrbanWater en Akson opdracht gegeven de prestaties van de inspectie-instrumenten van de drie leveranciers te beoordelen aan de hand van controlemetingen.

Veel leesplezier en inspiratie.

Hilde Niezen, directeur Stichting RIONED
Mark van der Werf, directeur STOWA

November 2025

¹ In de periode na de inspectie heeft Xylem besloten alle inline-inspectieactiviteiten in Europa en Azië te stoppen.
² Wet Informatie-uitwisseling Bovengrondse en Ondergrondse Netten en Netwerken. In 2026 treedt een herziene WIBON in werking.

Inhoud

6

Professioneel Afvalwatertransport - STOWA/Stichting RIONED 2025-38

1 Inleiding	7
2 Persleiding Vredenburg	8
2.1 Leidingbeschrijving	8
2.2 Toestand van de leiding	9
2.3 Benodigde aanpassingen rioolgemaal	10
2.4 Benodigde aanpassingen ontvangstlocatie	11
3 Inspectietechnieken	12
3.1 Smartball (Xylem)	12
3.2 Acquarius (Acquaint)	14
3.3 500-UT-V1.0 (Rosenxt)	17
4 Beoordelen resultaten inspectietechnieken	20
4.1 Werkwijze	20
4.2 Leidingligging	21
4.3 Lekkagedetectie	25
4.4 Wanddikte	27
4.5 Hoekverdraaiing	34
4.6 Voegwijdte	35
4.7 Detecteren appendages en reparaties	36
4.8 Overzicht	37
5 Conclusies	38
5.1 Aanbevelingen voor beheerders	38
5.2 Aanbevelingen voor Inspectiebedrijven	39
5.3 Reflecties deelnemers	39
6 Bronvermelding	41
Bijlage 1: Detecteerbare leidingeigenschappen en toestandsaspecten	42
Colofon	43

1 Inleiding

Gemeenten en waterschappen maken in toenemende mate gebruik van inline inspecties om inzicht te krijgen in de actuele conditie van transportleidingen. Dergelijke inspectietools zijn uitgerust met verschillende meetinstrumenten waarmee in één keer meerdere toestandsaspecten van binnenuit in de leiding worden gemeten. Inline tools zijn per uitstek geschikt voor persleidingen omdat deze mee stromen in de leiding en het dus niet nodig is deze droog te zetten om een inspectie uit te voeren.

De kwaliteit van inline inspecties is een aandachtspunt voor leidingbeheerders. Afwijkende inspectieresultaten kunnen enerzijds leiden tot onjuiste beslissingen en onnodige kosten wanneer bijvoorbeeld een leiding wordt vervangen die toch nog goed blijkt. Anderzijds kan een persleidingbreuk optreden wanneer de inspectie een te optimistisch beeld geeft en men besluit leidingvervanging uit te stellen. Het is van belang dat beheerders weten wat ze kunnen verwachten van een inline inspectie en onder welke omstandigheden nauwkeurige meetresultaten worden verkregen.

In 2024 is een eerste stap gemaakt om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van inline inspecties. Stichting RIONED/STOWA rapport 2024-07 (Scheperboer, 2024) beschrijft de resultaten van een testopstelling met een stuk persleiding met kunstmatige defecten waar verschillende inspectietechnieken zijn getest. Dit leverde veel waardevolle inzichten op, maar gaf geen volledig beeld omdat:

- De toegepaste materialen en kleinere diameters niet overeenkomen met de eigenschappen van leidingen die beheerders doorgaans met een ‘hoog risico’ beoordelen.
- Het niet mogelijk was alle typen meetinstrumenten te testen in een opstelling van beperkte grootte.
- Door de beperkte grootte van de testopstelling, de pomp en de vele bochten de nauwkeurigheid van sommige metingen mogelijk negatief beïnvloed werden.

Om inzicht te krijgen in de prestaties en nauwkeurigheid van de nieuwste generatie inline inspectietechnieken in de praktijk, zijn inspectie-instrumenten van drie leveranciers toegepast in één persleiding. De mate waarin toestandsaspecten correct worden gemeten is objectief vergeleken door voor elk type meting een onafhankelijke controlemeting uit te voeren en artificiële defecten te introduceren. Ook is elke leverancier gevraagd de standaard inspectieprocedure tweemaal uit te voeren, om te zien of herhaalde inspecties vergelijkbare resultaten geven.

1.1 Leeswijzer

Dit rapport start in hoofdstuk 2 met een introductie van de persleiding in Arnhem waar de verschillende inline-inspectietechnieken zijn toegepast. Naast een beschrijving van de onderzochte leiding en de belangrijkste eigenschappen, worden hier ook de benodigde aanpassingen voor een dergelijke inspectie behandeld. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de verschillende inspectietechnieken en wat deze meten. Hierbij worden ook praktijkervaringen gedeeld die van waarde kunnen zijn voor beheerders die nog beperkte ervaring hebben met inline-inspecties. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de vergelijking met de controlemetingen besproken. Hoofdstuk 5 sluit af met de conclusies en aanbevelingen.

2 Persleiding Vredenburg

Dit hoofdstuk beschrijft de persleiding Vredenburg in Arnhem waar de verschillende inspectietechnieken getest zijn. Het gaat om een relatief korte persleiding met een variatie aan leidingmaterialen en toestandsaspecten, die het een interessante casus maakt om inspectietechnieken te testen.

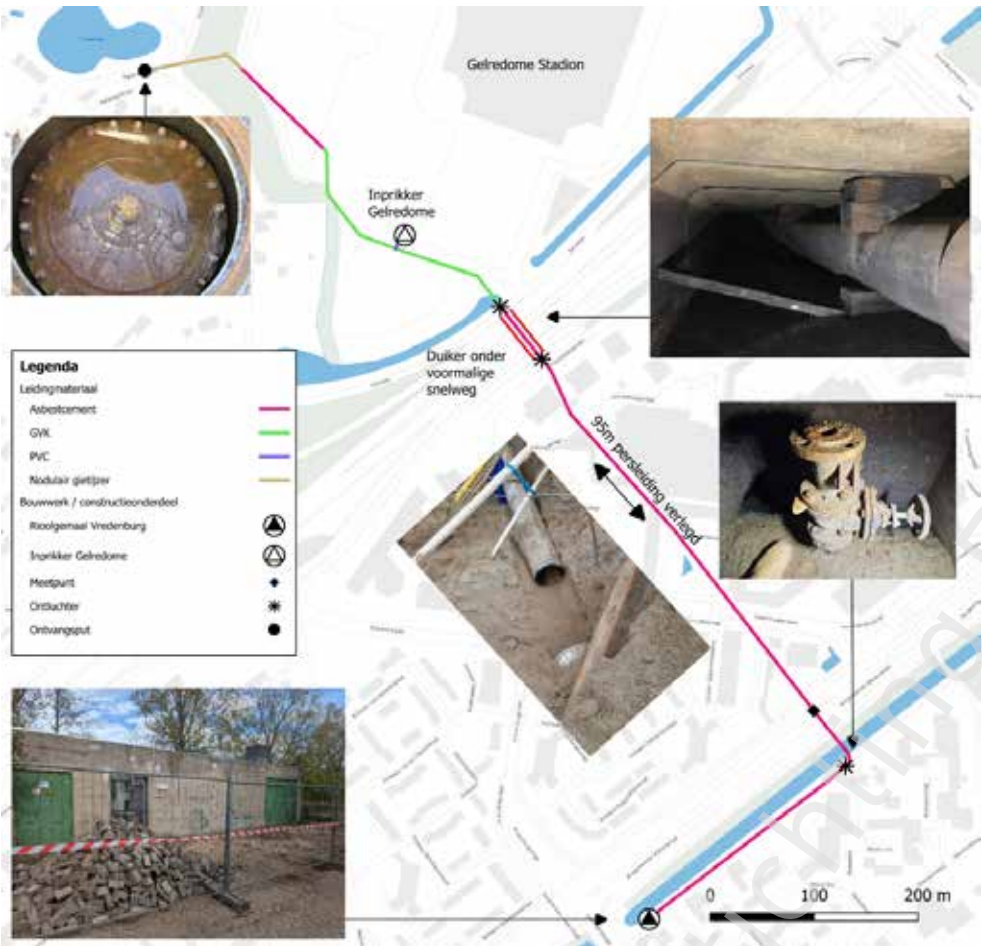
Om de leiding inspecteerbaar te maken waren aanpassingen aan het rioolgemaal en de ontgangstput nodig. Hoewel de benodigde aanpassingen voor een inspectie kunnen variëren per locatie, geeft deze casus een nuttige inzicht in de benodigde voorbereidingen die een leidingbeheerder mogelijk moet treffen bij het organiseren van een inspectie.

2.1 Leidingbeschrijving

Het tracé Vredenburg is een 500 mm diameter, 1.245 meter lange persleiding die door de jaren heen meerdere keren is aangepast. Het merendeel is uitgevoerd in AC (asbestcement), een deel in GVK (glasvezelversterkt kunststof) en een klein deel nodulair gietijzer. Het AC gedeelte is uit 1971, het gietijzer uit 1968 en het GVK uit 1997. Een PE150 mm leiding van het Gelredome stadion prikt in op ongeveer driekwart van de leidinglengte. Figuur 2.1 toont het tracéverloop van het gemaal (zuidkant) tot de ontvangstput (noordkant), waar op een vrijvervalriool geloosd wordt. In het verlengde van de A325 onder de Nijmeegseweg bevindt de leiding zich in een duiker. Ook zijn op drie locaties ontluchters aanwezig die niet periodiek onderhouden zijn.

Gemaal Vredenburg verpompt het vuilwater van bemalingsgebied Vredenburg met daarin de wijken Kronenburg, Appelgaard, Vredenburg en Holthuizen. Daarnaast lost de persleiding van het verbeterd gescheiden stelsel van Rijkerswoerd nog op gemaal Vredenburg. De droogweerafvoer van gemaal Vredenburg is 253,8 m³/uur op basis van 20.340 inwoners. en 50,4 m³/uur aan bedrijfsmatige lozingen. De persleiding lost op het vrijverval transportriool van het bemalingsgebied Elden. De geïnstalleerde gemaalcapaciteit is 800 m³/uur, verdeeld over drie pompen. De pompen genereren een druk van 0,67 bar om de statische opvoerhoogte van 5,85 meter te overbruggen.

Wat deze leiding extra interessant maakt voor het beoordelen van persleidinginspectietechnieken is dat een deel van de leiding wordt verlegd voor de gebiedsontwikkeling rond Winkelcentrum Kronenbrug. Hierbij wordt 211 meter leiding verlegd, waarvan 95 meter (zie ook Figuur 2.1) binnen de looptijd van dit project is uitgevoerd. Dit biedt de kans een exit-controle uit te voeren op de vrijgekomen geïnspecteerde buisdelen uit het AC-deel van de persleiding.

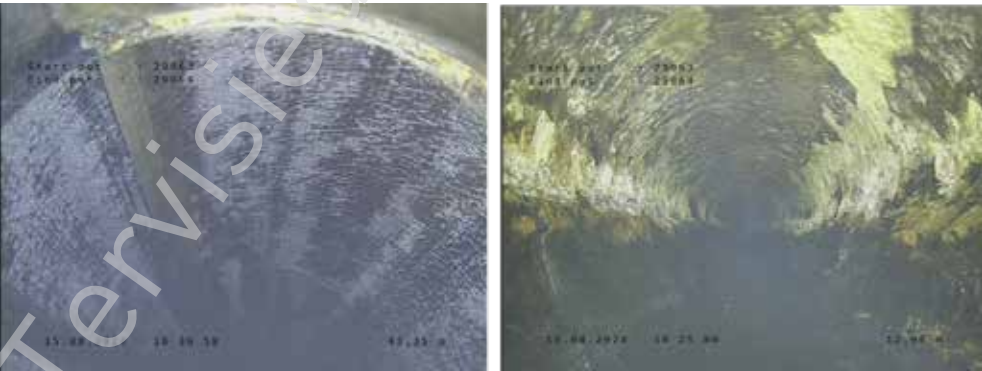


Figuur 2.1
Tracéverloop persleiding Vredenburg. Het tracé begint bij rioolgemaal Vredenburg in het zuiden en eindigt bij de uitstroomput in het noorden.

2.2 Toestand van de leiding

Over de leidingtoestand was voor de inspecties nog weinig bekend. Het vermoeden bestaat dat de leiding ooit met een camera visueel geïnspecteerd is bij het Croydonplein, halverwege het tracé. De leiding was toen toegankelijk via een breuk, dat later hersteld is met een reparatiekleem. De videobeelden hiervan zijn echter niet gevonden. Een medewerker van de gemeente herinnert zich dat een deel van de leiding ooit een tijd lang als vrijvervalleiding is gebruikt. Afhankelijk van de afvalwatersamenstelling en tijdsduur kan dit mogelijk tot aantasting hebben geleid.

In augustus 2024 is de laatste 48 meter van de persleiding alsnog met de camera visueel geïnspecteerd vanuit de ontvangstput. Hieruit bleek dat een deelliner aanwezig was die niet in het beheerbestand stond, zie ook de linker foto in Figuur 2.2. Ook was sprake van aangehechte afzettingen die voor een geschatte diameterafname van 15% zorgden (Figuur 2.2 rechts). Deze video-inspectie vond plaats nadat de inline inspecties uitgevoerd waren, en dus ook nadat de reinigingspigs door de leiding zijn geweest.

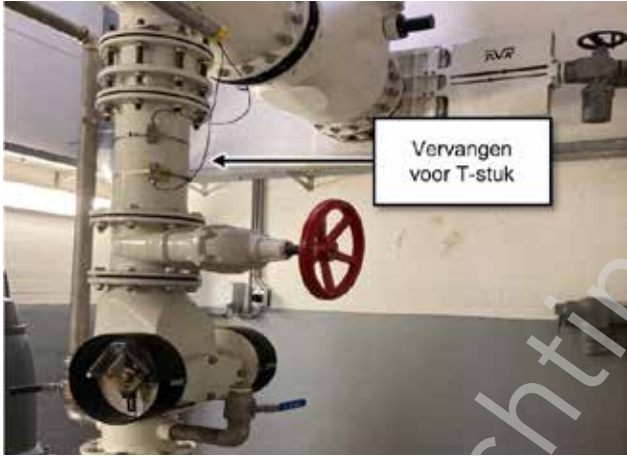


Figuur 2.2
Video-inspectie vanuit de ontvangstput waarbij een deelliner werd waargenomen (l) en een diameterreductie van 15% door aangehechte afzettingen over een lengte van 25 meter (r).

2.3 Benodigde aanpassingen rioolgemaal

In de meeste gevallen zal een rioolgemaal (tijdelijk) aangepast moeten worden om een inspectie uit te voeren. De benodigde aanpassingen variëren per inspectietechniek. Het kunnen regelen van de stroomsnelheid in de leiding is een vereiste voor alle van de hier toegepaste technieken.

De wijze waarop een inspectie-instrument ingebracht wordt varieert per techniek. Voor de Smartball van Xylem zou het vervangen van een flensbuis FF-stuk in het gemaal door een T-stuk al voldoende zijn om de Smartball in te brengen. Zie ook Figuur 2.3. Omdat de leiding in deze casus geschikt moest zijn voor alle inspectie-instrumenten, is uiteindelijk gekozen om een lanceerinrichting te maken.



Een lanceerinrichting is een sluisconstructie om reinigingspigs en inspectie-instrumenten in een persleiding in te brengen. Dergelijke constructies kunnen binnen of buiten een gemaal worden gemaakt, afhankelijk van de beschikbare ruimte. Gezien de beperkte ruimte binnen het gemaal is gekozen om de lanceerinrichting naast het gemaal te maken. Figuur 2.4 toont de lanceerinrichting en de aansluiting ervan op de persleiding. Wanneer de afsluiter benedenstrooms van de inrichting dicht staat, is de lanceerinrichting zelf drukloos en kan een inspectie-instrument worden ingebracht. Vervolgens wordt de flens van de lanceerinrichting bevestigd, de installatie gevuld en kan de afsluiter weer worden geopend. Via een tankwagen, of in dit geval een tijdelijke pompinstallatie (zie ook Figuur 2.5), wordt het inspectie-instrument de persleiding in geduwd.



Een aandachtspunt bij het ontwerp van de lanceerinrichting is de scherpte van de bochtstukken, ook wel de bochtstraal genoemd. Inspectie-instrumenten zoals de 500-UT-V1.0 van Rosenxt hebben een minimale bochtstraal van 1,35D, oftewel een bochtstraal van 1,35 x de diameter, aan ruimte nodig. De gietijzeren bochtstukken onder het maaiveld zijn daarom uitgevoerd in de flauwere 45 graden flensbochten in plaats van standaard 90 graden flens-



bochten. De 500-UT-V1.0 werd vervolgens direct verticaal ingebracht om het eerste 90 graden bochtstuk van de lanceerinrichting te omzeilen.

2.3.1 Kosten en praktijkervaringen

Voor het maken van een lanceerinrichting was een bedrag van 36.000 nodig. De tijdelijke pompinstallatie voor alle inspecties kostte € 7.500.

Tijdens het uitwerken van de lanceerinrichting wist een beheerder van de gemeente zich te herinneren dat de persleiding niet met een 90 graden bochtstuk op de uitgang van het gemaal aangesloten was, maar dat waarschijnlijk een T-stuk aanwezig was waar een tweede leiding op aangesloten is die al jaren buiten gebruik is. De rechterfoto in Figuur 2.4 toont de ligging van de tweede leiding nadat de lanceerinrichting is aangelegd. Wanneer de lanceerinrichting binnen in het gemaal was geïnstalleerd en een bochtstuk buiten het gemaal verondersteld was, had een inspectie-instrument rechtdoor in het begin van de afgesloten leiding kunnen belanden met alle gevolgen van dien.

Tijdens de graafwerkzaamheden voor de lanceerinrichting bleek een middenspanningskabel veel dicht bij het gemaal te liggen dan volgens tekening. Dankzij snel handelen van de netbeheerder konden de werkzaamheden na een minimale vertraging worden hervat. Voor de bronbemaling was een vergunning nodig.

2.4 Benodigde aanpassingen ontvangstlocatie

De inspectie-instrumenten werden opgevangen in de ontvangstput waar de persleiding loost op een vrijvervalriool. De afmetingen van de putdeksel en putschacht dienen voldoende groot zijn dat de inspectie-instrumenten kunnen worden uitgenomen. In dit geval waren deze beiden 700 mm groot, wat voldoende was om alle inspectie-instrumenten uit de leiding te halen.

2.4.1 Kosten en praktijkervaringen

De putrand en putdeksel moesten vervangen worden omdat de geknevelde afdekking uit Figuur 2.6 anders niet door de putrand kon. Voor het vergroten van de putrand, inclusief nieuw putdeksel en herstel van het straatwerk was een bedrag van € 10.000, - nodig. Dit bedrag is inclusief de benodigde verkeersmaatregelen.



Figuur 2.5
Tijdelijke pompinstallatie (l) met aansluiting op de lanceerinrichting (r).

Figuur 2.6
Ontvangstput met geknevelde afdekking (l), waarvan de putdeksel vergroot is zodat de afdekking door de putrand past en kan worden verwijderd (r)

3 Inspectietechnieken

Drie marktpartijen zijn gevraagd dezelfde persleiding tweemaal te inspecteren. Daarbij is afgesproken dat inspectieresultaten voor de verschillende runs apart gerapporteerd zouden worden. De instrumenten van Xylem en Acquaint zijn al praktijk-klaar. Voor Rosenxt was dit de eerste testinspectie met hun prototype voor asbestcement. Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende toegepaste inspectie-instrumenten en de praktijkervaringen in Arnhem tijdens de uitvoering in de zomer van 2024. Een samenvatting van de gerapporteerde leidingeigenschappen en toestandsaspecten voor het onderzochte asbestcement leidingdeel uit Hoofdstuk 2 is opgenomen in Tabel 3.1. Bijlage 1 geeft een breder overzicht van de typen metingen en opgegeven nauwkeurigheid voor andere materialen.

Tabel 3.1 Overzicht van de typen metingen die in dit project zijn uitgevoerd.

Firma	Xylem	Acquaint	Rosenxt
Inspectietool	SmartBall	Acquarius	500-UT-V1.0
Type meting			
Leidingligging (XYZ)	✓	✓	✓
Lekkages	✓	✓	✓
Gasophoping	✓	✓ ¹	✓ ¹
Wanddikte	✗	✓	✓
Hoekverdraaiing verbindingen	✗	✓	✗ ²
Voegwijdte verbindingen	✗	✓	✗ ²
Leidingmaterialen	✗ ³	✓	✓
Appendages en reparaties	✗ ³	✓	✓

¹ Deze instrumenten zijn in staat gasophoping te meten, maar door het reinigen met een reinigingspig vooraf is het mogelijk dat gasophopingen reeds uit de leiding zijn gedrukt.

² Metingen voor deze toestandsaspecten zijn nog in ontwikkeling

³ Xylem heeft aangegeven metalen appendages, aansluitingen of verbindingen te kunnen meten, maar heeft dit niet gerapporteerd.

Voor een aantal typen metingen geldt dat de instellingen of het sensortype buismateriaal-specifiek zijn. Wanneer een leiding bestaat uit delen waar verschillende materiaaltypen zijn toegepast wordt gekozen voor een focusmateriaal waar de sensoren op worden afge-steld. Dit kan betekenen dat voor de overige materialen meetresultaten minder nauwkeu-rig zijn. In overleg met de beheerder kan dan besloten worden meerdere inspectieruns uit te voeren waarin het focusmateriaal varieert, om zo de totale meetnauwkeurigheid te ver-groten. Voor dit project is asbestcement als focusmateriaal gebruikt. De in dit hoofdstuk besproken meetwijzen en praktijkervaringen zijn dan ook voornamelijk op asbestcement toegespitst.

3.1 Smartball (Xylem)

De Smartball onderscheidt zich van de andere toegepaste inspectietechnieken door de compacte vorm en functie. Het is een compacte 18 cm grote schuimbal met daarin een alu-minium kern met sensoren (zie ook Figuur 3.1). Na het inbrengen in de te inspecteren lei-ding rolt de Smartball over de buisbodem terwijl deze met de stroming wordt meegevoerd. Door de compacte vorm is een inspectie met de Smartball relatief eenvoudig uit te voeren en zijn diameterveranderingen, scherpe bochten of kleppen in de leiding doorgaans geen probleem. Daar staat tegenover dat dit inspectie-instrument niet in staat is de wanddikte te meten. Voor meer details over de specificaties wordt verwezen naar de rapportage van Stichting RIONED/STOWA 2024-07 bijlage A. Xylem heeft twee runs uitgevoerd met de reguliere Smartball en twee met een Smartball die was uitgerust met de nieuwste genera-tie sensoren voor het in kaart brengen van de leidingligging. In de periode na de inspectie heeft Xylem besloten alle inline-inspectieactiviteiten in Europa en Azië te stoppen.



Figuur 3.1
De Smartball (l) ingepakt in een
schuimmantel (r) zoals
ingebracht in de persleiding

3.1.1 Meetwijze

De Smartball is ontwikkeld voor het detecteren van lekkages en gasophopingen in leiding-en. Met een hydrofoon wordt het geluidsprofiel gemeten dat wordt gegenereerd door het drukverschil over het lek waar het water de leiding uitstroomt. Gasophopingen leiden tot turbulentie waarvan het akoestische signaal ook met een hydrofoon kan worden gemeten.

Het leidingtracé wordt in kaart gebracht met een combinatie van sensoren in de Smartball en externe ontvangers die op de leiding zijn aangebracht (zie ook Figuur 3.2). Xylem plaatst normaliter ongeveer elke 1200 meter een ontvanger. Van deze ontvangers zijn de liggingencoördinaten bekend. Deze ontvangers detecteren wanneer de Smartball passeert en worden achteraf bij het bepalen van de leidingligging ook gebruikt als referentiemarke-ring. Tussen deze bekende punten in wordt de leidingligging in horizontaal (XY) vlak bepaald door middel van de inertial measurement unit (IMU) in het inspectie-instrument. Deze bestaat uit een set van interne versnellingsmeters, gyroscopen en magnetometers die samen een beeld geven van onder andere de acceleratie en versnelling als gevolg van een richtingsverandering wanneer de leiding een bocht maakt. Het hoogteprofiel van de lei-ding, ofwel de leidingligging in het verticale (Z) vlak, wordt in kaart gebracht met behulp van een druksensor in de Smartball. Om tot een nauwkeurige leidingligging te komen zijn de inspectieresultaten van de Smartball altijd gebaseerd op ten minste twee runs. Zo kan gecorrigeerd worden voor onnauwkeurigheden wanneer het meetinstrument niet volledig langs de middenlijn van de leiding rolt.



Figuur 3.2
Ontvanger op de persleiding (l)
die gekoppeld is aan een
computer om het passeren van
de van de Smartball te
monitoren (r).

3.1.2 Praktijkervaringen

De Smartball is als eerste inspectietechniek toegepast in Arnhem, nog voordat de leiding gereinigd was met een reinigingspig. Eventueel aanwezige vervuiling in de leiding of gasophopingen die bij latere inspecties afwezig waren omdat de leiding vooraf gereinigd werd, waren hier dus nog aanwezig. Dit bleek geen belemmering voor de Smartball.

Figuur 3.3 toont hoe de Smartball wordt ingebracht via een sluis op het T-stuk van de lan-ceerinrichting. Een stabiel debiet werd gegenereerd door een tijdelijke pompinstallatie gevoed met oppervlaktewater. Voor de werking kan ook afvalwater als medium worden gebruikt. Het enige vereiste is dat de pompen toerental geregeld zijn, zodat de stroomsnel-heid in de leiding binnen het toepassingsbereik van inspectie-instrument valt. Voor deze leiding was gericht op een stroomsnelheid van 0,3 a 0,4 m/s.

Figuur 3.3
Inbrengen van de Smartball
via een sluis die op een T-stuk
van de lanceerinrichting is
gemonteerd



Langs het 1,2 km lange leidingtracé zijn door het team van Xylem bij de lanceerinrichting, de ontvangstput en op twee locaties langs het tracé bij ontluchters ontvangers geplaatst (zie ook Figuur 3.2). De maximale afstand tussen twee ontvangers was ongeveer 500 meter. Deze ontvangers fungeren als referentiemarkering om te monitoren wanneer de Smartball passeerde. Indien de leiding niet bereikbaar was bij de ontluchterputten zou het nodig zijn geweest om de leiding ergens vrij te graven.

In totaal heeft Xylem vier runs uitgevoerd, verdeeld over twee dagen. Met een dag voorbereiding was het team van Xylem in totaal drie dagen op locatie aanwezig. Twee inspecties zijn uitgevoerd met de reguliere Smartball en twee met een Smartball met verbeterde IMU. Bij de eerste inspectierun bleek dat de Smartball af en toe meedreef in plaats van over de bodem mee te rollen. Nadat het debiet bij de pompinstallatie teruggeschroefd werd, trad dit niet meer op. Bij alle runs kwam de Smartball probleemloos bij de ontvangstput aan. Figuur 3.4 toont hoe de Smartball met de stroming meevoer en bij een tijdelijk rooster werd opgevangen. Met een telescopische haak werd de bal handmatig uit de ontvangstput getrokken, waarna de data uitgelezen werd.

Figuur 3.4
Smartball komt aan bij de
ontvangstput, waar deze
wordt opgevangen door een
tijdelijk geïnstalleerd rooster



3.2 Acquarius (Acquaint)

De basis van de Acquarius is een gemodificeerde schuim-reinigingspig die is uitgerust met sensoren om verschillende toestandsaspecten te meten, terwijl deze in de leiding mee stroomt. Figuur 3.5 toont een foto van de Acquarius na inspectie. De vorm van een reinigingspig helpt bij het centreren van het inspectie-instrument in de leiding, wat de stabiliteit van de sensoren ten goede komt, terwijl het voldoende veerkrachtig is om scherpe bochten te nemen. Voor meer details over de specificaties wordt verwezen naar de rapportage van Stichting RIONED/STOWA 2024-07 bijlage A.



Figuur 3.5
Acquarius na extractie bij de
ontvangstput

3.2.1 Meetwijze

Het hart van de Acquarius is een set ultrasone sensoren die voegwijdtes in de verbindingen en veranderingen in de wanddikte meten. Door de reflectietijd van een puls te meten is het mogelijk de wanddikte af te leiden. Ter verificatie van de afgeleide wanddiktes is op minimaal één locatie een omtrekmeting van de buitenkant nodig (zie ook Figuur 3.6). Boorkerngegevens zijn welkom, maar het nemen ervan is geen onderdeel van een standaard inspectieproject. In dit project is de nieuwste generatie Acquarius toegepast waarbij het aantal ultrasone sensoren is uitgebreid van 16 naar 32, waarmee een hogere dekkingsgraad langs de buisomtrek wordt verkregen.



Figuur 3.6
Voorbeeld van een
omtrekmeting aan de buitenkant
van de buis, waaruit de originele
wanddikte bij aanleg is afgeleid

Om het leidingtracé in kaart te brengen en de metingen op de juiste positie te projecteren worden gegevens gecombineerd van een bovengrondse tracker die meeloopt (zie ook Figuur 3.7), een hodometer en een inertial measurement unit (IMU). Een IMU is een set van interne versnellingsmeters, gyroscopen en magnetometers die samenwerken om o.a. veranderingen in richting en acceleratie te meten. Daarnaast wordt de IMU ook gebruikt voor het bepalen van de hoekverdraaiing en de aanwezigheid van reparatieklemmen of appendages. De hodometer werkt net als de kilometerteller in een auto. Tijdens de inspectie loopt een medewerker bovengronds mee met een tracker die het signaal dat de Acquarius uitzendt kan opvangen. Uit dit signaal wordt zowel de leidingpositie als de diepteligging bepaald. Op gezette punten wordt een vlaggetje op het maaiveld geplaatst die later met een GNSS (Global Navigation Satellite System) meetstok met RTK (Real-Time Kinetic positioning) wordt ingemeten.

Figuur 3.7
Tracker waarmee de
Acquarius bovengronds
gevolgd wordt



Een hydrofoon wordt gebruikt om lekkages en gasophopingen te detecteren aan de hand van het akoestische signaal dat deze veroorzaken. Doordat voorafgaand aan een inspectie de leiding wordt gereinigd met reinigingspigs kunnen aanwezige gasophopingen al verwijderd zijn.

3.2.2 Praktijkervaringen

Om de Acquarius in de persleiding te brengen is een lanceerstation naast het rioolgemaal gemaakt en een tijdelijke pompinstallatie aangelegd om met oppervlaktewater een langdurig stabiel debiet te genereren, zie Figuur 3.8. De details van de lanceerinrichting zijn in Hoofdstuk 2.3 uitgewerkt. Wanneer oppervlaktewater niet nabij is, is het ook mogelijk afvalwater in het stelsel te bufferen en de Acquarius met een prop schoon water uit een tankwagen te lanceren om daarna het gemaal in te schakelen. Daarvoor dient het gemaal over voldoende sturingsvrijheid te beschikken om een stroomsnelheid te genereren die binnen het toepassingsbereik van de Acquarius ligt. Voor deze inspectie zijn de pompen ingesteld op een snelheid van 0,30 – 0,45 m/s

Figuur 3.8
Lanceerinrichting nadat de
Acquarius is ingebracht,
inclusief de toevoerslangen
van de tijdelijke
pompinstallatie



Als voorbereiding op de inspectie heeft Acquaint meerdere runs met een reinigingspig uitgevoerd, met als doel aangehechte afzettingen en bezinksels te verwijderen en te controleren of de leiding geschikt is om te inspecteren. De reinigingspigs zijn na gebruik mogelijk verontreinigd met asbest en worden gezien als asbesthoudende afvalstoffen, wat gepaard gaat met extra afvoerkosten.

Na de tweede reinigingspig is een testdummy vanaf de lanceerinrichting verstuurd die qua stijfheid en onderdelen sterk overeenkomt met de Acquarius. Tijdens deze dummy run zijn onderweg de dummy-meetkop en centreerschijf afgebroken en in de leiding achtergebleven. In overleg met Acquaint, Gemeente Arnhem en externe adviseurs is snel geschakeld en zijn de volgende scenario's uitgewerkt en uitgevoerd:

1. een nieuwe reinigingspig is ingebracht om de afgebroken onderdelen richting de ontvangstput te duwen.
2. Nadat deze pig niet langs een markerpunt kwam, is het debiet verder opgevoerd binnen de grenzen van wat mogelijk was en verantwoord werd geacht.

3. Toen de reinigingspig verderop opnieuw vastliep bij de overgang van AC naar nodulair gietijzer, is gekeken of met een video-inspectie vanuit de ontvangstput de situatie in beeld kon worden gebracht. Omdat deze overgang zich in het verdronken deel van de leiding bevond, lukte dit niet.
4. Vervolgens is besloten nog een reinigingspig in te brengen om extra stuwing te creëren, waarmee het gelukt is alle onderdelen uit de leiding te verwijderen, zie ook Figuur 3.9. Gemeente Arnhem heeft aangegeven zeer tevreden te zijn met hoe de betrokken partijen zijn omgegaan met deze onverwachte situatie.

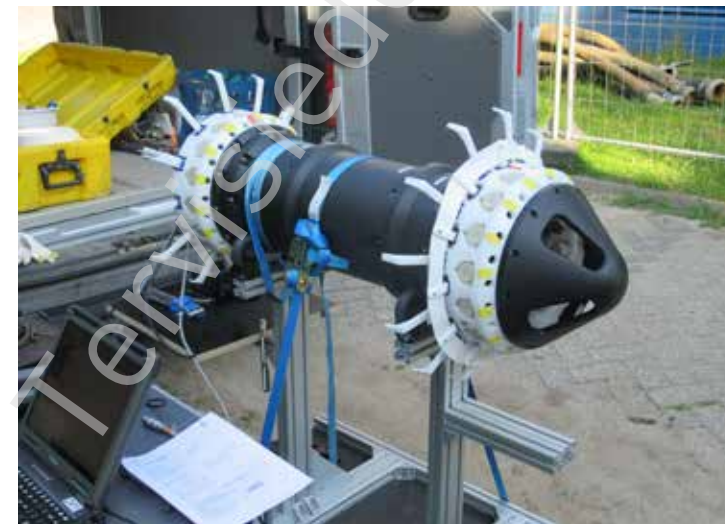


Figuur 3.9
Reinigingspig komt aan bij de
ontvangstput met daarvoor de
vervormde reinigingspig en
afgebroken centreerschijf (l).
Rechts de centreerschijf

Ter controle is een tweede dummy run uitgevoerd met een aangepaste centreerschijf, die zonder problemen in de ontvangstput aankwam. Hypothese van Acquaint is dat bij de overgang van AC naar nodulair gietijzer aangehechte afzettingen aanwezig waren en dat de oorspronkelijke centreerschijf te star was om hierlangs te manoeuvreren. Na de tweede succesvolle dummy run zijn twee inspectieruns met de Acquarius uitgevoerd. Bij de ontvangstput werd het meetinstrument middels een kraan uit de leiding gehesen. In totaal was het team van Acquaint vier dagen op locatie bezig met het voorbereiden, uitvoeren en afronden van twee inspectieruns.

3.3 500-UT-V1.0 (Rosenxt)

Het inspectie-instrument van Rosenxt, de 500-UT-V1.0 is specifiek voor deze inspectie geassembleerd, maar de technologie zit volgens het bedrijf in de laatste fasen van ontwikkeling. Een belangrijke drijfveer voor Rosenxt om met het onderzoek mee te doen is om ervan te leren en aan de hand van de resultaten hun prototype verder te verbeteren. Deze leverancier heeft gekozen voor een vrijzwemmend concept waarbij de 500-UT meevoert met de stroming in de leiding en door middel van vinnen aan de voor- en achterkant gecentreerd blijft, zie ook Figuur 3.10. Deze vinnen zijn flexibel en kunnen hun stand aanpassen, wat van pas komt wanneer de te inspecteren leiding bestaat uit delen die in verschillende diameters zijn uitgevoerd. Voor meer details over de specificaties wordt verwezen naar de rapportage van Stichting RIONED/STOWA 2024-07 bijlage A.



Figuur 3.10
De 500-UT-V1.0 op een
standhouder voor de inspectie

3.3.1 Meetwijze

De 500-UT-V1.0 is uitgerust met 32 ultrasone sensoren, verdeeld over twee sensorringen, zie figuur 3.10. Deze sensoren versturen een geluidspuls en meten hoe lang deze erover doet om na reflectie terug te keren. Tezamen met kennis over de geluidssnelheid in verschillende materialen kan zo de mate van degradatie worden afgeleid. Per geïnspecteerde leiding is het nemen van enkele boorkernen onderdeel van de standaardprocedure om de afgeleide wanddegradatie te verifiëren. Figuur 3.11 toont een voorbeeld van een boorkern.

Figuur 3.11
Eén van de asbestcement boorkernen van dit project



Voor de leidingligging plaatst Rosenxt normaliter elke 300 meter een ontvanger op het maaiveld zoals getoond in Figuur 3.12. De ontvangers dienen als referentiemarkering en om te detecteren wanneer het inspectie-instrument passeert. De liggingcoördinaten van deze ontvangers zijn bekend. Tezamen met de sensoren in de 500-UT, een hodometer en inertial measurement unit (IMU) wordt zo het leidingtracé in kaart gebracht en worden de inspectieresultaten op de juiste positie geprojecteerd. De IMU van Rosenxt bestaat uit een set van interne versnellingsmeters en gyroscopen die samenwerken om veranderingen in richting en acceleratie te meten. De hodometer meet de afgelegde afstand op eenzelfde manier als de kilometerteller in een auto.

Figuur 3.12
Ontvanger waarmee het
passeren van de 500-UT-V1.0
kan worden geregistreerd.



Een hydrofoon detecteert lekkages en gasophopingen door geluidsgolven als gevolg van turbulentie en drukveranderingen te meten. Het is mogelijk dat normaal aanwezige gasophopingen niet aanwezig zijn tijdens de inspectie omdat voorafgaand de leiding altijd gereinigd wordt met reinigingspigs.

3.3.2 Praktijkervaringen

De 500-UT-V1.0 is via het verticale deel van het lanceerstation naast het gemaal ingebracht (zie ook Figuur 3.13). Vervolgens werd het inspectie-instrument door middel van een glasvezel duwstang enkele meters vooruitgeduwd tot aan de afsluiter in het laatste horizontale deel van de lanceerinrichting. De details van de lanceerinrichting zijn in Hoofdstuk 2.3 uitgewerkt. Een stabiel debiet werd gegenereerd door een tijdelijke pompinstallatie gevoed

met oppervlaktewater. Net als bij de Acquarius van Acquaint is het ook mogelijk afvalwater in het stelsel te bufferen en het inspectie-instrument met een prop schoon water uit een tankwagen te lanceren, waarna het gemaal wordt ingeschakeld om het debiet op gang te houden. Als randvoorwaarde geldt dan wel dat de pompen toerentalgeregeld zijn, zodat de stroomsnelheid in de leiding kan worden aangepast binnen het bereik van de 500-UT. Voor deze inspectie zijn de pompen ingesteld op een stroomsnelheid van 0,35 m/s.



Figuur 3.13
Inbrengen van de 500-UT-V1.0
in het verticale gedeelte van de
lanceerinrichting

Langs het 1,2 km lange leidingtracé zijn door het team van Rosenxt op 11 locaties ontvangers (Figuur 3.12) op het maaiveld geplaatst met 100 – 250m tussenruimte. Deze dienen als referentiemarkering om de 500-UT te volgen. Op locaties waar de leidingligging bekend was, zoals bijvoorbeeld bij ontluchters, werd één ontvanger geplaatst. Op andere locaties werden meerdere ontvangers geplaatst met enkele meters ruimte ertussen zodat altijd wel één nabij de leiding zou moeten zijn.

Omdat de inspectie door Rosenxt binnen enkele weken na Acquaint is uitgevoerd, was het niet nodig wederom reinigingsruns uit te voeren om eventueel aanwezige vervuilingen te verwijderen en te controleren of de leiding geschikt is voor inspectie. Bij een inspectie in een nieuwe leiding is het wel standaardprocedure om de leiding vooraf te reinigen met een reinigingspig. De 500-UT kwam zonder problemen aan bij de ontvangstput, waar deze met behulp van gereedschap handmatig uitgenomen is (zie ook Figuur 3.14) en uitgelezen. Een tweede run is een week later uitgevoerd omdat bij het uitlezen van het inspectie-instrument een storing optrad, waardoor een tweede run die dag niet mogelijk was. De storing had wellicht te maken met het uitzonderlijk warme weer. Na een aanpassing van het prototype is alsnog een tweede run uitgevoerd. Uiteindelijk waren beide inspectieruns succesvol.



Figuur 3.14
Ophalen van de 500-UT-V1.0 bij
de ontvangstput

4 Beoordelen resultaten inspectietechnieken

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de leidingligging, lekkagedetectie, wanddikte, hoekverdraaiingen en voegwijdtes voor de drie inspectietechnieken. Bij het beoordelen van de inspectiekwaliteit is zowel gekeken naar afwijkingen ten opzichte van controlemetingen als verschillen tussen inspecties van dezelfde leverancier.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de inspectieresultaten met verwijzing naar de paragraaf van dit hoofdstuk waarin de resultaten van de betreffende type meting zijn toegelicht.

Tabel 4.1

Type meting	Controlemeting	Hoofdstuk	Leverancier		
			Smartball (Xylem)	Acquarius (Acquaint)	500-UT-V1.0 (Rosenxt)
Horizontale leidingligging (XY)	Opgraven en inmeten leiding	4.2.1	3 v/d 6 inmetingen afwijking < 1 meter	8 v/d 12 inmetingen afwijking < 1 meter	2 v/d 12 inmetingen afwijking < 1 meter
Diepteligging (Z)	Opgraven en inmeten leiding	4.2.2	0 v/d 6 inmetingen afwijking < 0,15 meter	6 v/d 12 inmetingen afwijking < 0,15 meter	4 v/d 12 inmetingen afwijking < 0,15 meter
Lekkages	Creëren lekkages bij ontlueters	4.3	Aanpassing ontlueters nog niet gereed tijdens inspectie	Niet gedecteerd, mogelijk door lage leidingdruk (<0,7 bar)	Niet gedecteerd, mogelijk door lage leidingdruk (<0,7 bar)
Wanddikte	CT-scan	4.4.1	n.v.t.	Goed, mits juiste gekozen originele wanddikte	Goed, mits juiste gekozen originele wanddikte
	Lokaal verdikken wand met cementspecie	4.4.2	n.v.t.	3 v/d 3 verdikkingen correct gemeten	1 v/d 3 verdikkingen gemeten, maar dikte wijkt af van aangebrachte laag
Hoekverdraaiing verbindingen	Hellingshoekmeting	4.5	n.v.t.	Komt goed overeen, meetonzekerheid ±0,41°	Niet in voldoende detail gerapporteerd
Voegwijdte verbindingen	Video-inspectie	4.6	n.v.t.	Lijkt goed overeen te komen, meetonzekerheid ±1,89mm	Niet in voldoende detail gerapporteerd
Appendages en reparaties	Detecteren appendages & reparaties	4.7	Niet gerapporteerd	6 v/d 7 gerapporteerd	5 v/d 7 gerapporteerd

4.1 Werkwijze

Bij het beoordelen van de inspectiekwaliteit zijn de volgende aspecten in beschouwing genomen:

- Nauwkeurigheid: de mate waarin de meetwaarde van een inspectie overeenkomt met de werkelijkheid. Hoe kleiner de afwijking tussen bijvoorbeeld een gemeten wanddikte en de echte wanddikte, hoe groter de nauwkeurigheid
- Reproduceerbaarheid: de mate waarin inspecties bij herhaling dezelfde meetwaardes geven. Hiervoor is met alle leveranciers vooraf afgesproken dat minimaal twee inspecties uitgevoerd zouden worden en de resultaten afzonderlijk gerapporteerd.

Inspecties zijn alleen nuttig als informatiebron voor een leidingbeheerder als zowel de nauwkeurigheid als reproduceerbaarheid op orde zijn. Figuur 4.1 toont het voorbeeld van een dartbord. Als de reproduceerbaarheid slecht is, komt elke nieuwe pijl op een andere plek. Voor een inspectiemeting over de leidingligging kan dit betekenen dat bij een herhaalinspectie de afgeleide ligging steeds anders is. Bij alleen een lage nauwkeurigheid liggen de pijlen wel dicht bij elkaar, maar zijn deze geen van allen in de buurt van het midden. Voor wanddiktemeting zou een lage nauwkeurigheid betekenen dat de gemeten wanddikte systematisch afwijkt van de echte wanddikte.



Figuur 4.1
De twee aspecten die de inspectiekwaliteit bepalen gevisualiseerd aan de hand van een dartbord.

De rest van dit hoofdstuk gaat over de controlemetingen die zijn uitgevoerd om de kwaliteit te beoordelen. Tabel 4.1 geeft een beknopt overzicht van hoe per type meting de nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid is bepaald.

Type meting	Toetsen inspectiekwaliteit	
	Nauwkeurigheid	Reproduceerbaarheid
Leidingligging (XYZ)	Opgraven en inmeten leiding	Herhalingsinspectie
Lekkages	Creëren tijdelijke lekkages met bekende debieten bij ontlueters	
Wanddikte	CT-scan	Herhalingsinspectie
	Lokaal verdikken wand met cementspecie	Herhalingsinspectie
Hoekverdraaiing verbindingen	Hellingshoekmeting	Herhalingsinspectie
Voegwijdte verbindingen	Video-inspectie	Herhalingsinspectie
Appendages en reparaties	Detecteren reparaties	Herhalingsinspectie

Tabel 4.2
Overzicht van de controlemetingen die zijn uitgevoerd om de inspectiekwaliteit te beoordelen

4.2 Leidingligging

Op meerdere locaties langs het tracé is de leiding vrijgegraven en ingemeten om te verifiëren of de ligging overeenkomt met die volgens de inline-inspectie. De resultaten hiervan zijn uit gespecificeerd naar horizontale ligging (XY-locatie) en diepteligging (Z locatie).

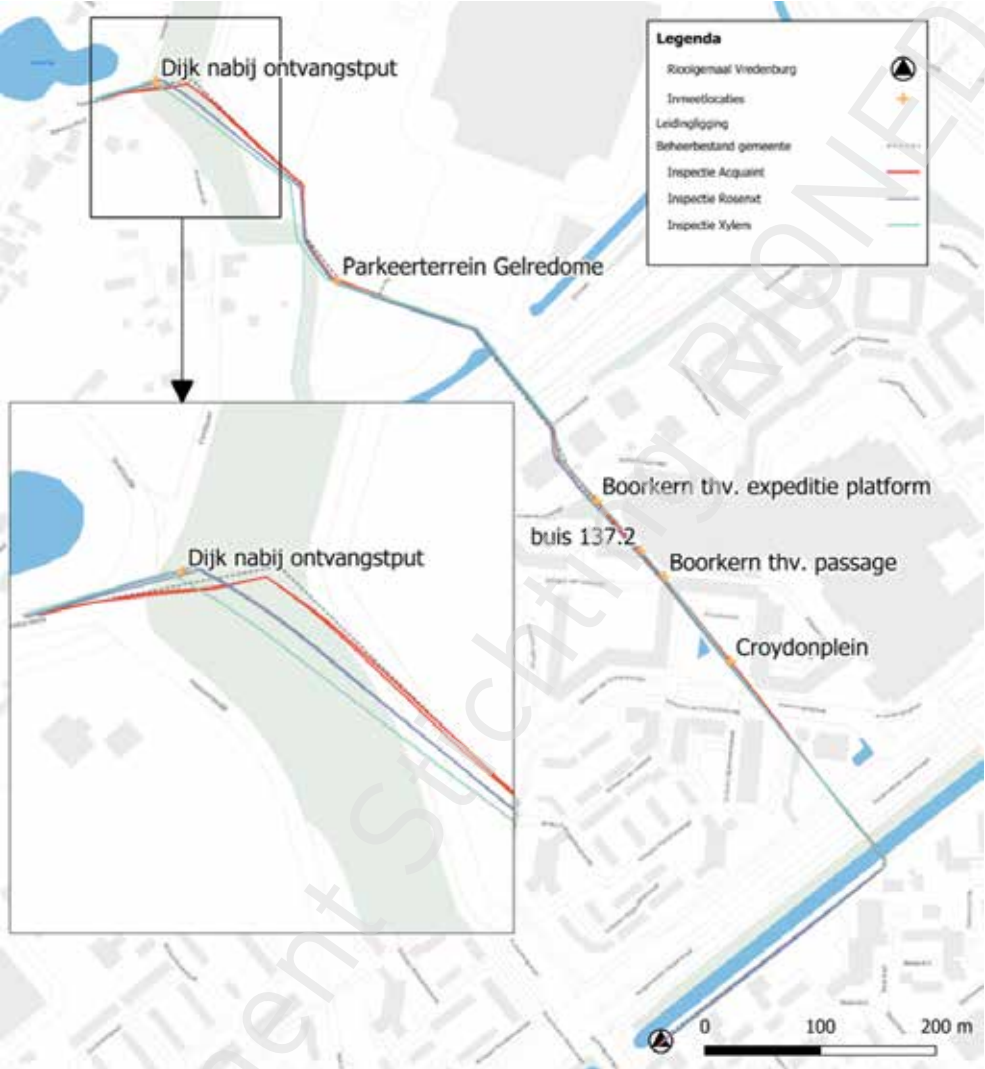


Figuur 4.2
Locatie waar de leiding is opgegraven en ingemeten met een RTK GNSS ontvanger

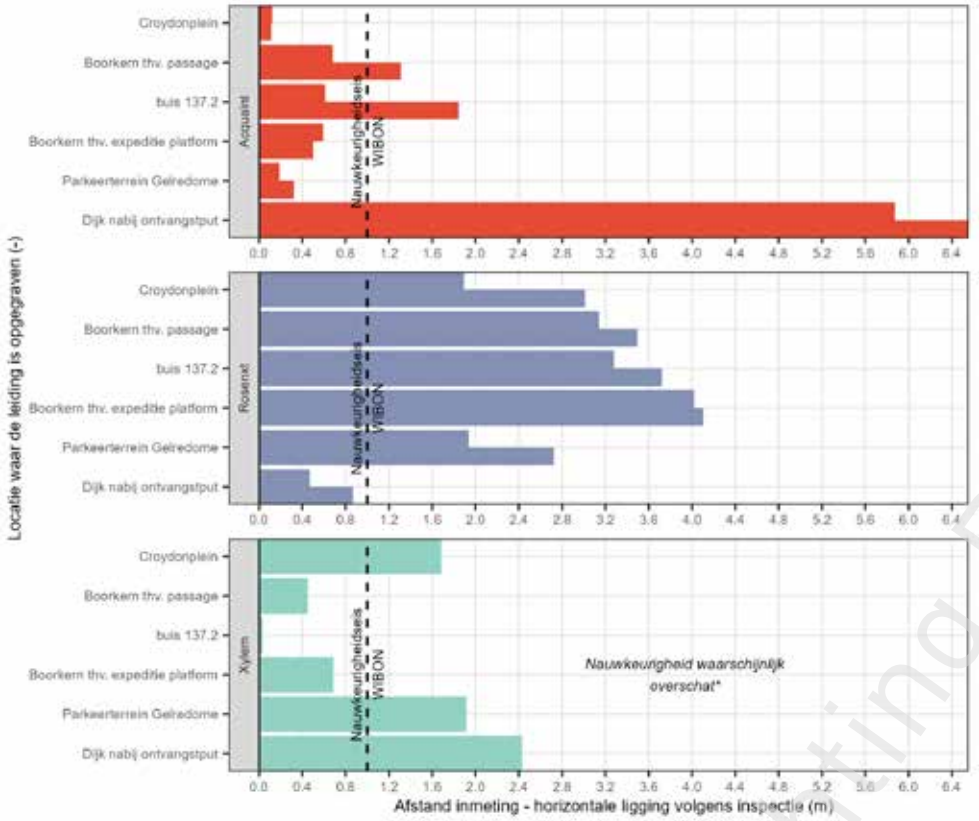
4.2.1 Ligging in het horizontale vlak

Op zes locaties is de persleiding vrijgegraven en ingemeten, zie ook Figuur 4.3. De afstand tussen de ingemeten locatie en de leidingligging volgens de inspecties is in Figuur 4.4 weergegeven. Als referentie is in Figuur 4.4 ook de nauwkeurigheidseis van de WIBON opgenomen, bedoeld om graafschade te voorkomen. De nauwkeurigheid van de Smartball resultaten zijn mogelijk niet representatief voor wat in het veld verwacht kan worden. Xylem heeft namelijk de resultaten van vier inspectieruns samengevoegd, in plaats van

Figuur 4.3
Overzicht van de leidingligging volgens het gemeentelijke beheerbestand en de inline-inspecties. Locaties waar de leiding is opgegraven zijn ook toegevoegd.



Op de meeste inmeetlocaties wijkt de 500-UT-V1.0 van Rosenxt twee meter of meer af van de daadwerkelijke leidingligging (zie ook Figuur 4.4). Op plekken waar de leiding niet direct bereikbaar was zijn de ontvangers, die dienen als referentiemarkering voor de ligging (zie ook Figuur 3.12), door Rosenxt op het maaiveld geplaatst. Indien deze niet direct boven op de leiding zijn geplaatst kan dit leiden tot een grotere afwijking van de leidingligging. De onderlinge afstand tussen twee runs met hetzelfde inspectie-instrument varieert tussen 0,05 en 1,78 m.



Figuur 4.4
Verskil tussen de ingemeten leidingligging en de inspectieresultaten. *Xylem heeft alleen één samengevoegd resultaat gerapporteerd, wat mogelijk leidt tot een overoptimistische nauwkeurigheid.

Bij Acquant zijn de afwijkingen veelal kleiner dan de minimale nauwkeurigheidseis van de WIBON. De geclaimde nauwkeurigheid van 0,5m wordt op drie van de 6 locaties in Figuur 4.4 gehaald. De onderlinge afstand tussen twee runs met hetzelfde inspectie-instrument varieert tussen 0,01 en 1,19 m. Bij het laatste meetpunt is de afwijking het grootst. Dit hangt waarschijnlijk samen met het de meetwijze van Acquant waarbij ingezet wordt op het bovengronds volgen van het inspectie-instrument met een tracker (zie ook Figuur 3.7), terwijl Rosenxt en Xylem gebruik maken van vaste markerpunten. Op het tracédeel waar Acquant afwijkt kon de tracker het inspectie-instrument niet vinden. Een mogelijke oorzaak is dat de leiding daar in gietijzer is uitgevoerd. Het inspectie-instrument was namelijk geoptimaliseerd voor asbestcement en voor gietijzer wordt een tracker met een andere frequentie gebruikt die wel voor gietijzer functioneert, maar daardoor ook een minder nauwkeurige diepteligging geeft. Ook ligt de leiding daar onder een voormalige vuilstort (zie ook Figuur 4.5) wat mogelijk heeft bijgedragen aan het signaalverlies.

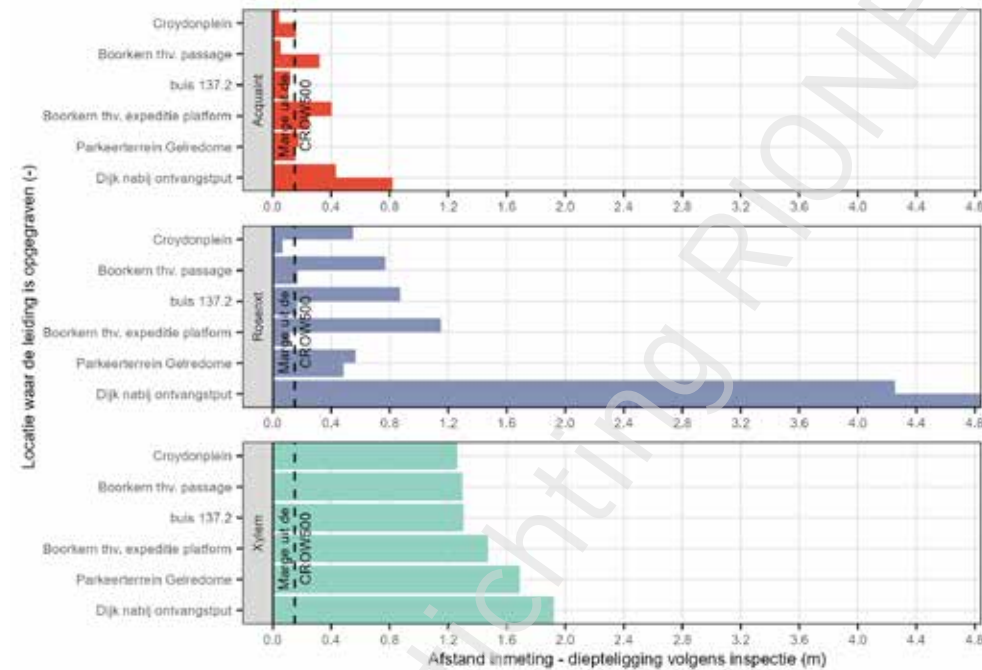


Figuur 4.5
Foto van de vuilstort waar nu het parkeerterrein van het Gelredome ligt (l) en een locatie waar gepoogd is de leiding vrij te graven maar de bovenlaag van de vuilstort werd gevonden (r)

4.2.2 Ligging in het verticale vlak (diepteligging)

Figuur 4.6 toont de resultaten voor de diepteligging. De WIBON specificeert nog geen nauwkeurigheidseis voor de diepteligging. (WIBON 2026 mogelijk wél). De CROW500 (CROW, 2016), een richtlijn met aanbevelingen om graafschade te voorkomen, gaat uit van een marge van 0,15 m voor de diepteligging, die is toegevoegd als stippellijn in Figuur 4.6. Xylem heeft aangegeven dat het proces om de diepteligging af te leiden nog in ontwikkeling is. Bij alle inmeetlocaties was de afwijking groter dan 1 meter. Langs bijna 20% van het tracé lag de geprojecteerde leidingdiepte zelfs boven het maaiveld. Bij Acquant is

Figuur 4.6
Verskil tussen de ingemeten diepteligging en de inspectieresultaten. *Xylem heeft alleen één samengevoegd resultaat gerapporteerd, wat mogelijk leidt tot een overoptimistische nauwkeurigheid.



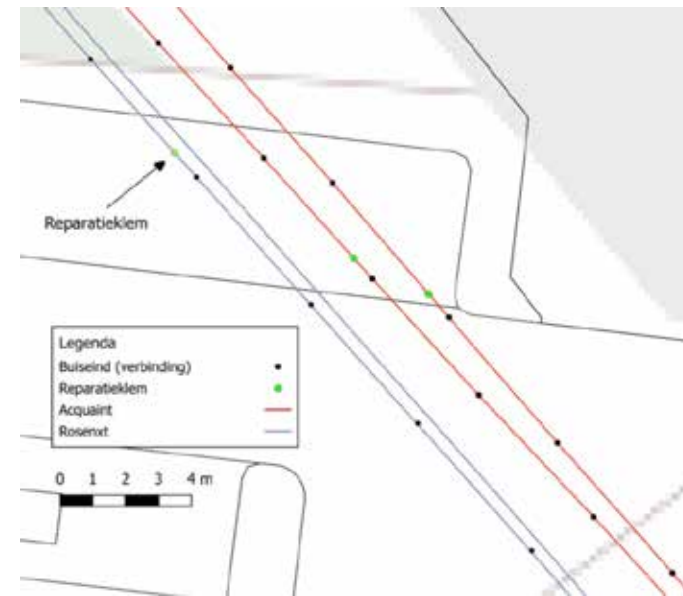
Een aandachtspunt voor beheerders is dat niet alle leveranciers hetzelfde referentiepunt gebruiken bij het opleveren van de diepteligging. Waar het in de rioleringssector gebruikelijk is de diepteligging ten opzichte van de binnenonderkant buis (B.O.B.) te rapporteren, komen in de inspectieresultaten ook diepteliggingen ten opzichte van het hart van de buis (Acquaint) en de buitenbovenkant buis (Xylem en Rosenxt) terug.

4.2.3 Uitdagingen bij het monitoren van leidingdegradatie met planmatig inspecteren

Het komt nog weinig voor dat een leiding meer dan één keer is geïnspecteerd. Uiteindelijk zullen beheerders leidingdegradatie willen monitoren door leidingen periodiek te inspecteren en bijvoorbeeld de wanddikteafname of toename van de hoekverdraaiing sinds de laatste inspectie te bepalen. Het verschil met de vorige inspectie wordt dan vertaald naar een degradatiesnelheid, wat een beeld van de restlevensduur geeft.

Om resultaten van inspecties te vergelijken met eerder uitgevoerde inspecties is het van belang dat van beide inspecties steeds dezelfde buisdelen worden bekeken. Dit wordt in de praktijk bemoeilijkt doordat:

- Verschillende inspectiebedrijven verschillende benamingen hanteren voor de gerapporteerde buisdelen
- Het aantal gevonden verbindingen varieert per inspectie, waardoor het 134e buisdeel in de resultaten van inspectie A niet per se dezelfde is als het 134e buisdeel van Inspectie B.
- De marge in de afgeleide coördinaten van de buisverbindingen in sommige gevallen groter is dan de lengte van een buisdeel. Figuur 4.7 toont het voorbeeld van dezelfde reparatiekleem die bij drie inspecties aan drie verschillende buisdelen gekoppeld is.



Figuur 4.7
Locatie van dezelfde reparatiekleem bij drie verschillende inspecties. De locatie van dit toestandaspect kan een compleet buisdeel verschoven zijn. Voor Rosenxt is alleen de locatie van verbindingen voor één inspectie ter beschikking gesteld.

4.3 Lekkagedetectie

Kunstmatige lekkages zijn gecreëerd door twee ontluchterputten aan te passen. Figuur 4.8 toont één van de opstellingen, die als volgt werkt:

1. De schuifafsluiter van de oorspronkelijke ontluchter wordt volledig opengedraaid
2. Met de kleine schuifafsluiter (rood) wordt het gewenste lekdebiet ingesteld door deze verder open of dicht te draaien.
3. Het water stroomt in de kamer boven, waar het vrij uit kan stromen. Het idee is dat de drukval volledig bij de afsluiter plaatsvindt, zodat een hydrofoon deze kan horen als lekkage.
4. Via een slang wordt het water richting een jerrycan afgevoerd die periodiek geleegd wordt.



Figuur 4.8
Ontluchter met meetopstelling lekkage

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de gecreëerde lekdebieten voor de verschillende inspectieruns. Hierbij dient wel vermeld te worden dat een lekkageopstelling soms deels verstopte bij hogere debieten tijdens een inspectie, maar dat een debiet van minimaal 1,4 l/min bij zowel Acquaint als Rosenxt is gerealiseerd. Ter vergelijking: voor een betonnen persleiding in een grondwaterbeschermingsgebied, die valt onder NEN 3650-4, geldt een toegestaan lekverlies van 0,1 ml/m²/h. Voor deze leiding zou dat neerkomen op een lekdebiet van 0,2 l/uur (= 0,0033 l/min). Onder de NEN EN 1610 zou een lekdebiet van 9,7 l/min bij deze leiding zijn toegestaan.

Tabel 4.3 Gecreëerde lekdebieten		Ontluchter bij gemaal	Ontluchter bij wegduiker
	Eerste inspectierun	0,4 l/min	1,5 l/min
	Tweede inspectierun	1,8 l/min	0 l/min

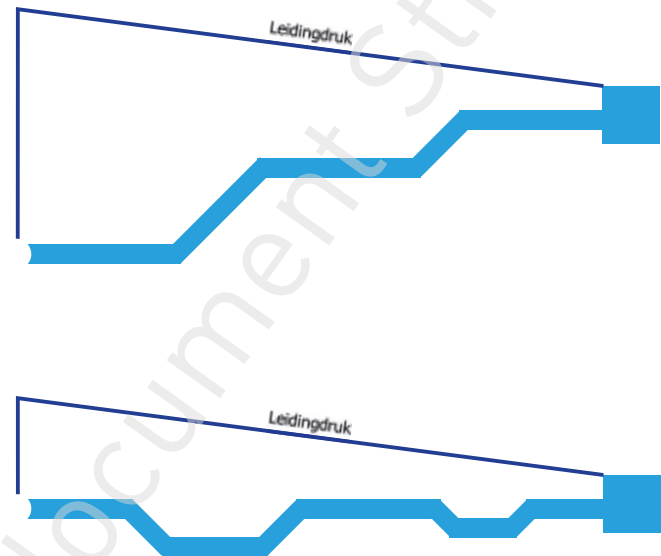
De resultaten voor de verschillende inspectie-instrumenten zijn opgenomen in Tabel 4.3. Voor de Smartball zijn geen lekkagetestresultaten. Tijdens de Smartball inspectie was de lekkage opstelling uit Figuur 4.8 nog niet gereed en veilig om te gebruiken. De andere leveranciers hebben geen van de gesimuleerde lekkages gedetecteerd.

Tabel 4.4 Resultaten lekkagetests		Leverancier	Lekkages gedetecteerd?
	Xylem (Smartball)		n.v.t. Lekkage opstelling nog niet veilig bruikbaar
	Acquaint (Acquarius)		Geen lekkage gedetecteerd
	Rosenxt 500-UT-V1.0		Geen lekkage gedetecteerd

4.3.1 Factoren die de detectie van lekkages bepalen

Vanzelfsprekend is een groter lekdebiet beter detecteerbaar dan een lekkage met een klein debiet. Voor een hydrofoon is de akoestische activiteit die een lek genereert ook afhankelijk van de druk, en dan met name het drukverschil tussen de leiding en de omgeving. Bij een hogere bedrijfsdruk zal een lekkage beter meetbaar zijn. Bij grondwaterstanden boven de leiding ontstaat ook tegendruk, waardoor het drukverschil weer afneemt. De leidingdruk in een afvalwaterpersleiding is niet constant over de gehele leidinglengte. Bij het gemaal is de druk het hoogst en bij het uitstroompunt is het laagst, zoals getoond in Figuur 4.9. In een hellend gebied is de statische opvoerhoogte groter en zal de leidingdruk dus ook toenemen. Bij een gelijk lekdebiet zal een lekkage bovenstrooms beter detecteerbaar zijn en vlak bij het uitstroompunt minder goed.

Figuur 4.9
Schematische weergave van de persleidingdruk in een hellend (l) en vlak (r) gebied



In meeste gevallen zal de leidingdruk tijdens een inspectie niet zomaar verhoogd kunnen worden om ook kleinere lekkages detecteerbaar te maken. Want een hogere druk betekent ook dat de stroomsnelheid in de leiding toeneemt, waardoor deze snel te groot wordt voor een inspectie-instrument. In de persleiding Vredenburg was de druk bij het gemaal 0,7 bar, zie ook Figuur 4.10. Leveranciers van de betrokken inspectie-instrumenten gaven aan dat deze druk waarschijnlijk te laag is om lekkages succesvol te detecteren. Xylem heeft dit in het verleden uitgebreid getest en bevonden dat een druk van minimaal 1 bar nodig is om (kleine) lekkages te detecteren. Een praktijktest bij Waternet wees uit dat bij een druk van 2 bar lekkages van 0,67 l/min detecteerbaar waren (Votel et al., 2022). In persleidingen in Nederland zal in veel gevallen in een groot deel van het tracé de druk lager liggen dan 1 bar.



Figuur 4.10
Druk bij het gemaal tijdens één van de inspectieruns

De ontlueters die zijn omgebouwd om de lekkages te creëren bevonden zich allemaal op de 12 uur klokpositie. Ondanks dat alle inspectieruns zijn uitgevoerd met oppervlaktewater duwden de inspectie-instrumenten toch veel vervuiling vooruit, dat zich mogelijk deels bovenin de leiding concentreert. Mogelijk dempt deze vervuiling ook het akoestische signaal van een lekkage, maar dat is niet bekend.

4.4 Wanddikte

Voor de wanddikte zijn twee controlemetingen gedaan. De eerste is een CT-scan, wat staat voor Computed Tomography-scan. Deze onderzoeksmethode kan onderscheid maken tussen aantasting waarbij een deel van de buiswand verdwenen is en uitloging, waarbij kalk en andere bestanddelen van het cement oplossen en uitspoelen. Bij uitloging blijft de totale wanddikte gelijk maar neemt het gezonde deel, dat bijdraagt aan de constructieve buissterkte, af. Voor de tweede controlemeting zijn drie buisdelen aan de buitenkant aangesmeerd om een verdikte buiswand te krijgen, waarna geanalyseerd is of deze verdikkingesignaleerd werd tijdens een inspectie.

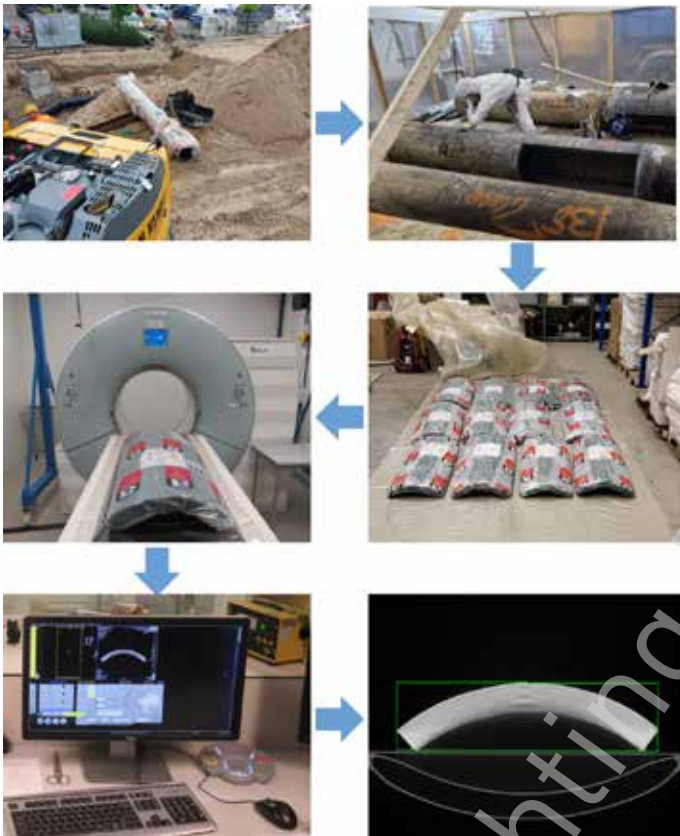
4.4.1 CT-scan

Een CT-scanner is een onderzoeksmethode die veel in de geneeskunde wordt gebruikt om diagnoses te stellen. Het apparaat bestaat uit een ronddraaiende bron die een bundel röntgenstraling afgeeft met aan de andere kant een detector die de resterende straling meet die door een object of persoon passeert. Omdat materialen met een hoge dichtheid minder straling doorlaten, geeft dit een beeld van de dichtheid van een object. Zo heeft uitgelooagd asbestcement een lagere dichtheid, waardoor het uitgelooigde asbestcement te onderscheiden is van het gezonde resterende deel.

Figuur 4.11 toont de procedure die gevolgd is om buizen in de CT-scan te analyseren. Eerst werden geselecteerde buisdelen verwijderd, waarna hier schaaldelen uit werden gezaagd. De scanner was namelijk te klein om een volledige buis in één keer te verwerken. De schaaldelen zijn genummerd en ingepakt, waarvan deze naar de TU-Delft zijn vervoerd om te scannen. Dit levert ruim 1800 pixelbestanden per buisdeel op, die softwarematig gereconstrueerd zijn tot een 3D beeld van het schaaldeel.

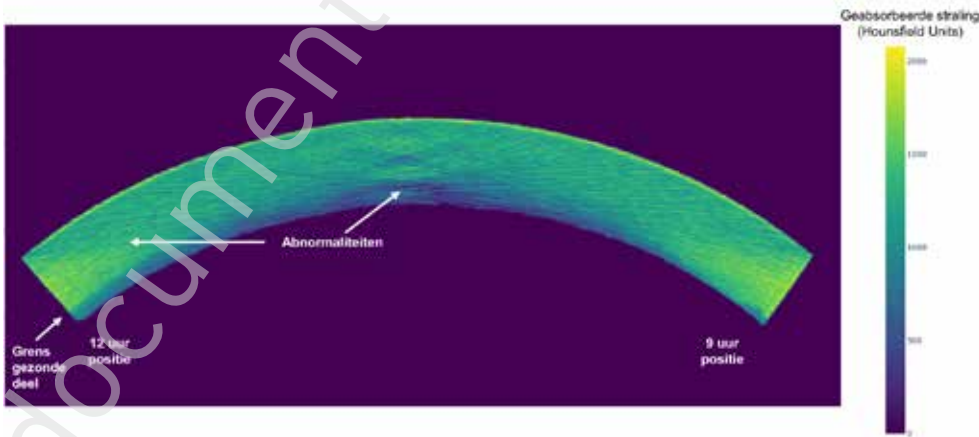
Het aanpassen, vervoeren en scannen van de buisdelen had aardig wat voeten in de aarde. De praktische uitdagingen bestonden uit het onbeschadigd ontgraven van de (soms aangestaste) buisdelen tijdens een lopend herontwikkelingsproject en deze vervoeren naar een speciaal gemaakte kamer met onderdruk, waar deze op maat werden gezaagd door vakmensen in beschermende kleding. Ook voor het vervoer van en naar de TU-Delft zijn speciale maatregelen genomen. Op verschillende momenten gedurende het proces zijn kleef- en luchtmonsters genomen en getest op sporen van asbestvezels. Ook op het gebied van wet- en regelgeving is veel afgestemd, waarbij samen met de omgevingsdienst en de arbodienst gesproken is om een uitzondering te krijgen op de normaal geldende wet- en regelgeving voor de verwerking van asbest. In totaal waren hier negen partijen bij betrokken.

Figuur 4.11
De procedure van schaaldelen zagen uit AC-buizen, deze verpakken en in de CT-scan plaatsen

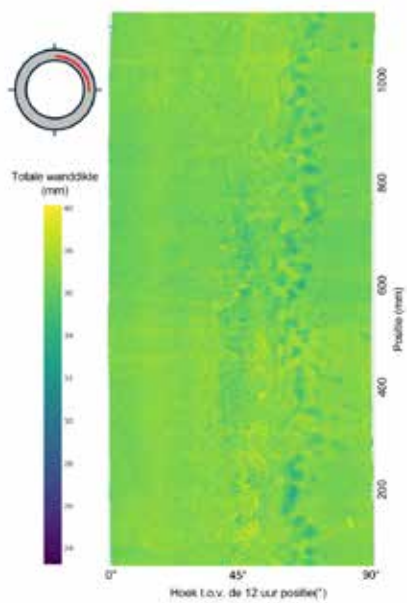


De ruwe CT-scan data in Figuur 4.12 laat abnormaliteiten zien, die softwarematig zijn verwijderd. Volgens de scan-specialist worden dergelijke afwijkingen veroorzaakt doordat het medische scanapparaat moeite heeft met vormen die sterk afwijken van de doorsnede van een menselijk lichaam, dus een ovale vorm met dichte botten aan de buitenkant en zacht weefsel aan de binnenkant.

Figuur 4.12
Voorbeeld van een CT-scan doorsnede met links de bovenkant van de buis (12 uur positie). De donkere delen met een lagere stralingsdichtheid zijn uitgeloozd.



Figuur 4.13 toont het analyseresultaat van de totale wanddikte (dus het gezonde en uitgeloozde deel) voor één schaaldeel. Lokaal zijn enkele aantastingsplekken te zien waar het asbestcement gedeeltelijk verdwenen is en de totale wanddikte dus kleiner is.



Figuur 4.13
Totale wanddikte van een schaaldeel van de 12 uur positie tot en met de 3 uur positie

4.4.2 Verdikken leidingdeel

De persleiding is in de duiker onder Nijmeegseweg van buitenaf bereikbaar, zie ook Figuur 4.14. In de duiker is de eerste meter persleiding aangesmeerd met 6 mm cementspecie om een verdikte buiswand te krijgen. Van 8 t/m 10 meter is 3 mm cementspecie aangebracht en bij de laatste 24 t/m 26 m is 9 mm specie aangebracht. Figuur 4.15 toont het eindresultaat. Vervolgens is gekeken of de aangesmeerde delen ook zichtbaar waren in de inspectie-resultaten.



Figuur 4.14
Duiker waar de persleiding onder de Nijmeegseweg gaat.

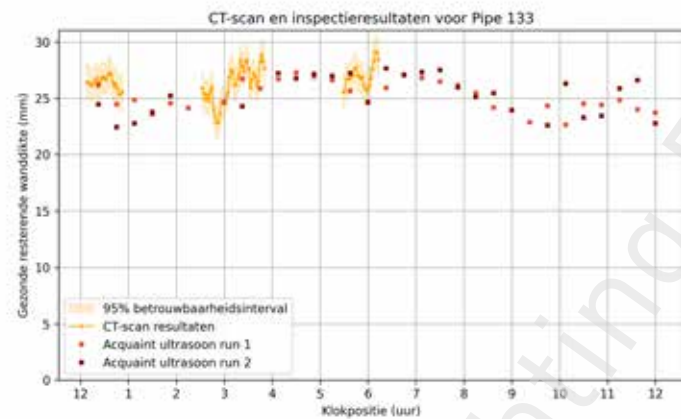


Figuur 4.15
Persleiding nadat deze aan de buitenkant is aangesmeerd

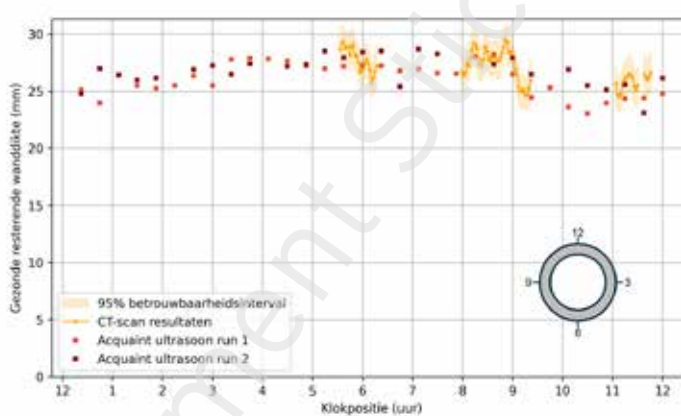
4.4.3 Acquaint

Figuur 4.16 en Figuur 4.17 tonen de resterende gezonde wanddikte volgens Acquaint en de CT-scan voor twee locaties op 581,81 m en 592,14 m vanaf het gemaal. De trends voor deze locaties komen goed overeen. De verschillende inspectieruns van Acquaint geven een vergelijkbaar beeld van de gezonde resterende wanddikte met een verschil van een enkele millimeters. De onderlinge verschillen tussen de inspectieruns lijkt het grootst rondom de bovenkant van de leiding (12 uur positie). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de gezonde wanddikte lokaal kan variëren door verschillende mate van aantasting en uitloging en dat de meetwaarde dus nauw samenhangt met de precieze oriëntatie van de sensor van het inspectie-instrument ten opzichte van de buis.

Figuur 4.16
Inspectieresultaten van Acquaint voor de gezonde resterende wanddikte van buisdeel 133 op een afstand van 581,81m vanaf het gemaal, tezamen met de CT-scan resultaten



Figuur 4.17
Inspectieresultaten van Acquaint voor de gezonde resterende wanddikte van buisdeel 135 op een afstand van 592,14m vanaf het gemaal, tezamen met de CT-scan resultaten



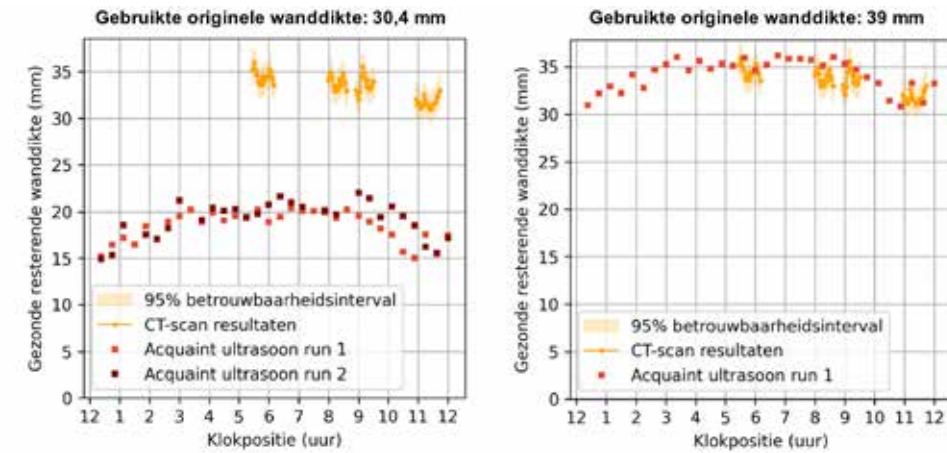
4.3.3.1 Effect van de gekozen oorspronkelijke wanddikte

Bij ultrasonische metingen wordt de wanddikte afgeleid uit de reflectietijd van een verzonden puls. De oorspronkelijke wanddikte van de buis is een parameters die bij de vertalingsberekening naar een gezonde resterende wanddikte wordt gebruikt. Omdat asbestcement buisdelen in verschillende groottes en wanddiktes zijn geproduceerd vraagt Acquaint altijd om een omtrekmetering van de buitenkant van de buis of een eventuele boorkern. Acquaint heeft de keuze gehad om de analyseresultaten van twee boorkernen te krijgen, maar heeft aangegeven hier geen gebruik van te maken, omdat zij aangaven geen extra informatie nodig te hebben ten opzichte van wat zij normaal vragen voor een inspectie.

Uit de onderzoeksresultaten blijkt dat bij de aanleg van de persleiding enkele buisdelen met een afwijkende wanddikte zijn toegepast, wat ook doorwerkt in de inspectieresultaten. Zo bleek buisdeel 137 niet een originele wanddikte 30,4 mm te hebben, maar een wanddikte van 39 mm aan de bovenstroomse kant en 35,5 mm aan de benedenstroomse kant. Dit betekent dat de tolerantie voor de wanddikte bij het fabricageproces al zo'n 3,5 mm is, oftewel 10%, wat in lijn is met bevindingen voor asbestcement drinkwaterleidingen met een diameter van 100 – 300 mm volgens Beuken (2016).

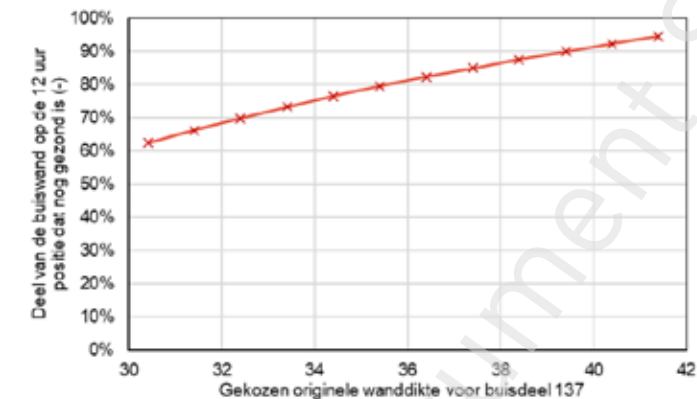
Figuur 4.18 toont de resultaten voor de gezonde resterende wanddikte op 597,64m, wat aan de bovenstroomse kant van buisdeel 137 is. Bij de linker grafiek is een originele wanddikte van 30,4mm gebruikt, wat een gezonde resterende wanddikte van slechts 15 mm op

de 12 uurs positie gaf. Bij een originele wanddikte van 39mm is de gezonde resterende wanddikte op dezelfde locatie nog 31mm, wat in overeenstemming met de CT-scan resultaten is.



Figuur 4.18
Effect van de gebruikte originele wanddikte op de resultaten voor de gezonde resterende wanddikte voor buisdeel 137 op 597,64 m. Links is een originele wanddikte van 30,4 mm gebruikt en rechts een wanddikte van 39 mm, wat de wanddikte is die ook uit de CT-scan resultaten volgde.

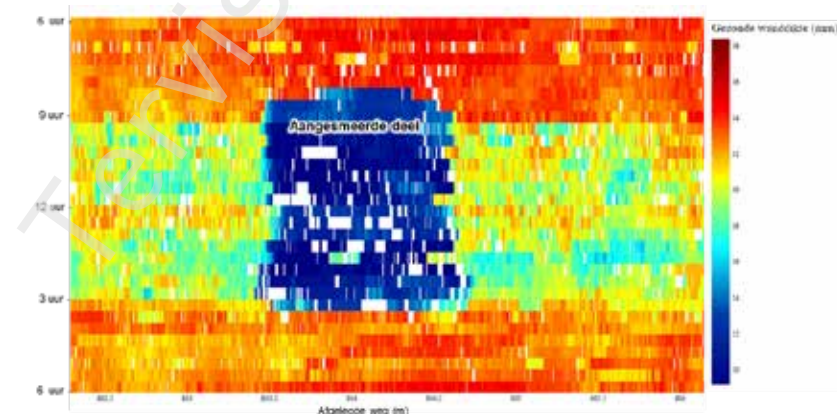
Om gevoel te krijgen voor hoe de originele wanddikte doorwerkt in de gezonde resterende wanddikte heeft Acquaint een analyse gemaakt waarbij de originele wanddikte bij aanleg in de berekening met stapjes van 1 mm werd verhoogd. Figuur 4.19 toont dat het aandeel gezonde resterende wanddikte op de 12 uur positie met ongeveer 2 à 3% toeneemt per mm originele wanddikte. Wanneer uit een inline-inspectie volgt dat de resterende wanddikte kritisch is, kan het dus lonen om het betreffende buisdeel vrij te graven en een extra omtrekmetering aan de buitenkant nemen. Bij een afwijkende omtrekmetering kan de leverancier de inspectieresultaten verder verfijnen.



Figuur 4.19
Relatie tussen de toegepaste originele wanddikte voor buisdeel 137 en het percentage gezonde resterende wanddikte

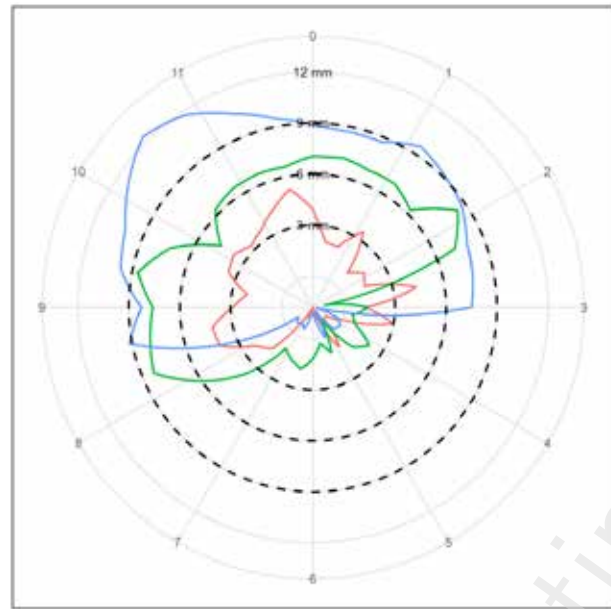
4.3.3.2 Signaleren van verdikte leidingdelen

De drie plekken in de duiker waar de persleiding verdikt is met respectievelijk 6, 3 en 9 mm zijn allemaal door Acquaint correct gesignaleerd. De aangebrachte specie is aangeduid als uitwendige uitloging, omdat de samenstelling ervan afwijkt van asbestcement. Figuur 4.20 toont de inspectieresultaten voor één van aangebrachte verdikkingen. Acquaint heeft de drie gevonden locaties ook opgenomen in de afwijkingenlijst.



Figuur 4.20
Aangesmeerde deel van de leiding dat als uitwendige uitloging terug te zien is in de inspectieresultaten.

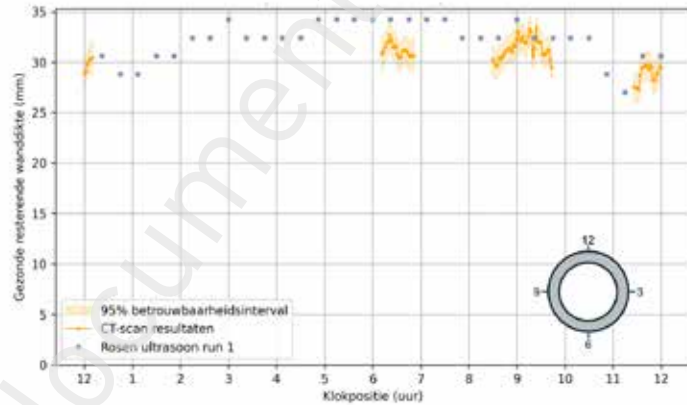
Figuur 4.21
Dikte van de aangesmeerde delen per klokpositie, berekend door uit de inline-inspectieresultaten het verschil in gezonde resterende wanddikte voor en op het verdikte gedeelte te nemen.



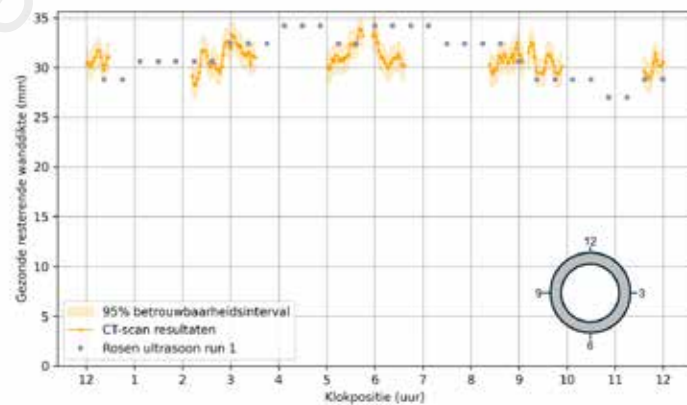
4.4.4 Rosenxt

Voor twee locaties langs het leidingtracé tonen Figuur 4.22 en Figuur 4.23 de resterende gezonde wanddikte op basis van de inline-inspectie van Rosenxt en de CT-scan. Ook hier komen de trends voor deze twee locaties vrij goed overeen. Het was niet mogelijk te bepalen in welke mate verschillende inspecties onderling verschillende wanddiktes geven, aangezien Rosenxt alleen de inspectieresultaten voor één inspectierun heeft aangeleverd in plaats van beide inspecties afzonderlijk.

Figuur 4.22
Inspectieresultaten van Rosenxt voor de gezonde resterende wanddikte van buisdeel 137 op een afstand van 594,11 m vanaf het rioolgemaal, tezamen met de CT-scan resultaten

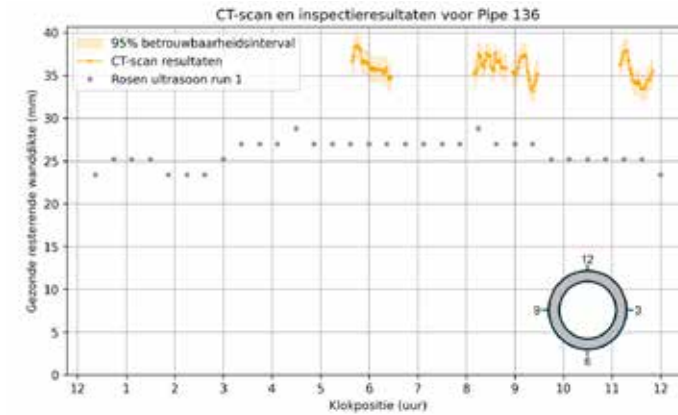


Figuur 4.23
Inspectieresultaten van Rosenxt voor de gezonde resterende wanddikte van buisdeel 139 op een afstand van 603,25 m vanaf het rioolgemaal, tezamen met de CT-scan resultaten



4.4.4.1 Effect van de gekozen oorspronkelijke wanddikte

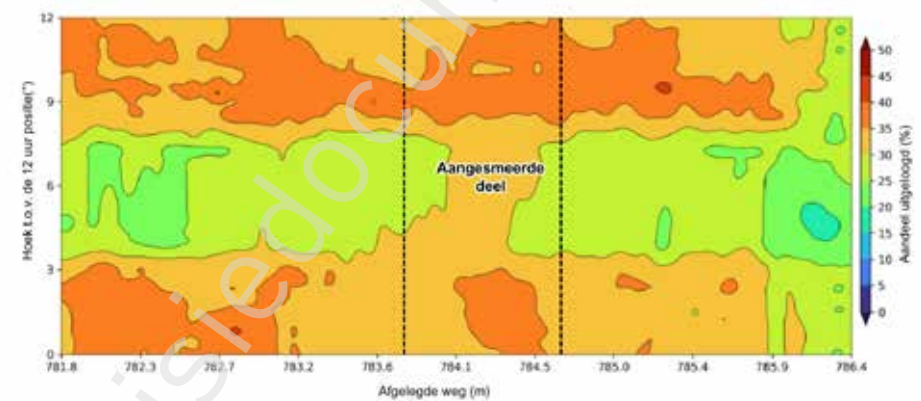
Bij Rosenxt is, naast een omtrekmeting van de buitenkant, het nemen van enkele boorkernen onderdeel van de standaard inspectieprocedure. De boorkernen worden onder andere gebruikt om het degradatieprofiel volgens de ultrasone metingen te verifiëren. Twee boorkernen zijn geanalyseerd volgens de NEN-EN 14630 en de analysesresultaten zijn beschikbaar gesteld. Van deze boorkernen was de totale wanddikte 36 mm, wat door Rosenxt als uitgangspunt is gebruikt voor alle buisdelen waarvan schaaldelen in de CT-scan zijn gemeten. Bij de buisdelen met een andere originele wanddikte is de afwijking tussen de inspectieresultaten en de CT-scan resultaten groter, zie ook Figuur 4.24. Dit buisdeel had een originele wanddikte van 41 mm. Of de inspectieresultaten goed overeenkomen wanneer hier een originele wanddikte van 41 mm was gebruikt, in plaats van 36 mm, is niet bekend.



Figuur 4.24
Inspectieresultaten van Rosenxt voor de gezonde resterende wanddikte van buisdeel 136 op een afstand van 586,21 m vanaf het rioolgemaal, tezamen met de CT-scan resultaten

4.4.4.2 Signaleren van verdikte leidingdelen

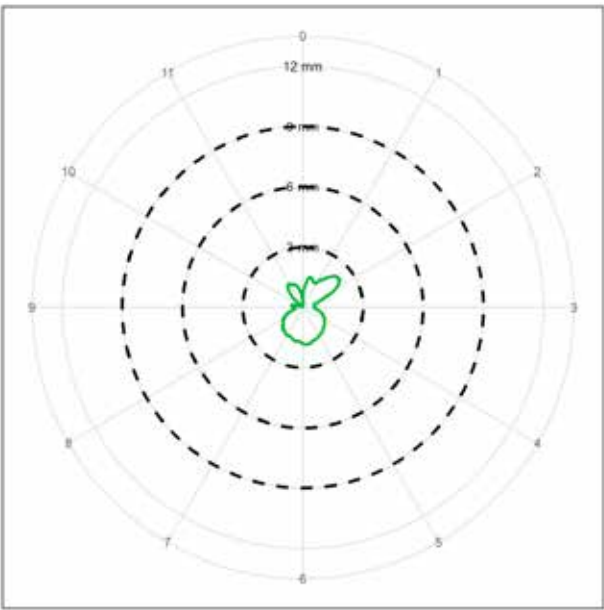
De drie plekken in de duiker waar de persleiding verdikt is met cementspecie zijn door Rosenxt niet in de afwijkingenlijst als zodanig opgenomen. In de duiker zijn wel andere afwijkingen aan de persleiding gesignaleerd, zoals voegwijdtes. De data zijn derhalve wel door Rosenxt geanalyseerd, maar de verdikking is niet als afwijking opgemerkt. Detailresultaten voor het leidingdeel in de duiker zijn door Rosenxt beperkt beschikbaar gesteld, zodat we niet volledig konden nagaan of de verdikking niet is opgemerkt of niet is gemeten. Voor buisdeel 161 zijn wel detailresultaten aangeleverd, zie ook Figuur 4.25. Op basis van de door het inspectie-instrument afgelegde afstand zou in dit buisdeel de 6mm verdikking zichtbaar moeten zijn. Doordat de samenstelling van de aangebrachte specie afwijkt van asbestcement is het verschil zichtbaar als (uitwendige) uitloging.



Figuur 4.25
Aandeel uitgelooft bij buisdeel 161 uit de eindrapportage van Rosenxt. De vermoedelijke locatie van het aangesmeerde deel is met stippellijnen aangegeven.

Uit Figuur 4.26 volgt dat het verschil in uitgelooft wanddikte tussen het aangesmeerde deel en het deel daarvoor 1 à 2 mm is, terwijl de aangebrachte dikte 6 mm was (behoudens tussen 3 en 7 uur).

Figuur 4.26
Dikte van de aangesmeerde delen per klokpositie, berekend door uit de inline-inspectieresultaten het verschil in uitgeloopte wanddikte voor en op het verdikte gedeelte te nemen.

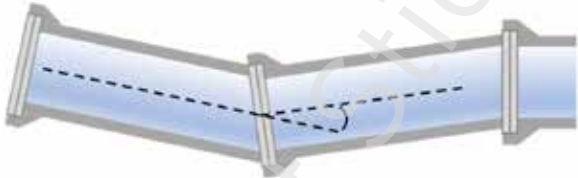


Legenda
6 mm verdikking

4.5 Hoekverdraaiing

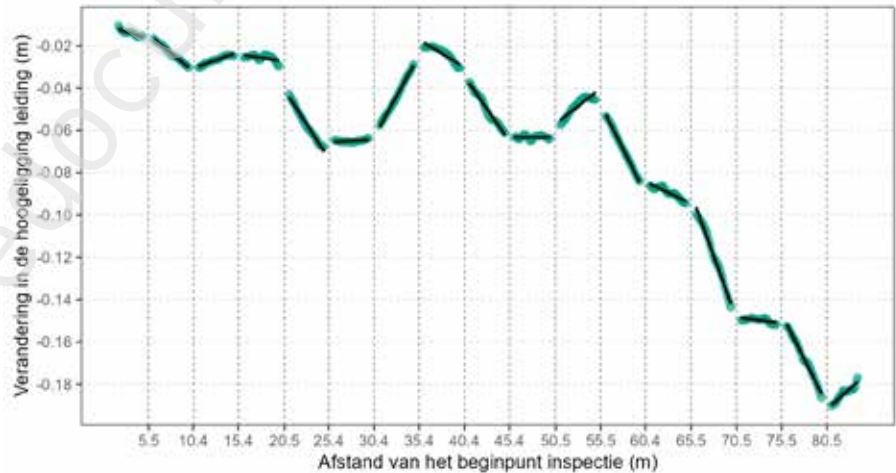
De hoekverdraaiing is de hoek van één buisdeel ten opzichte van het naastgelegen buisdeel (zie ook Figuur 4.27). Dit zegt iets over de ruimte in de verbinding tussen twee buisdelen. Bij een grote hoekverdraaiing kan lekkage optreden. Verticale hoekverdraaiingen kunnen toenemen als deze het gevolg zijn van ongelijke zetting.

Figuur 4.27
Principe hoekverdraaiing bij een verbinding

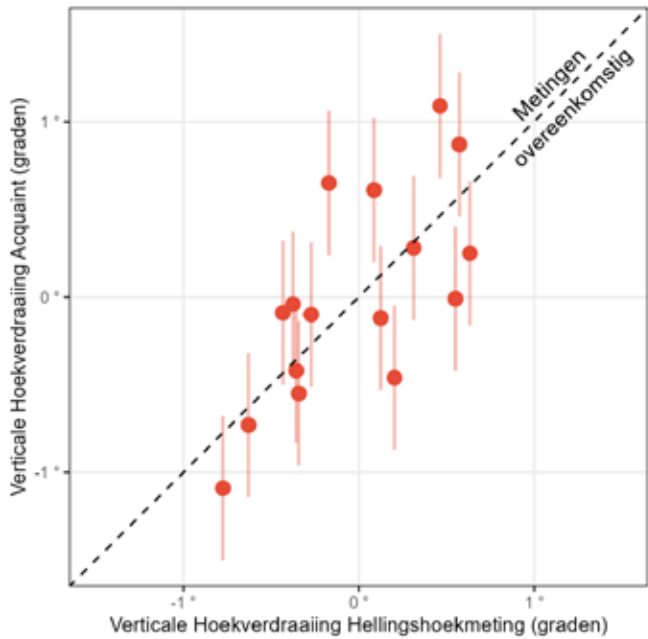


Voor dit toestandsaspect is een hellingshoekmeting als controlemeting gebruikt. Het leidingdeel dat buiten gebruik is genomen na het verleggen van de persleiding, is drooggezet en de verticale buishelling is ingemeten. Figuur 4.28 geeft het verloop van het hoogteprofiel, waarbij de verticale stippellijnen de locaties van de buisverbindingen tonen.

Figuur 4.28
Hoogteligging van de gemeten buisdelen ten opzichte van het beginpunt



De inspectieresultaten van Acquaint en de hellingshoekmetingen geven een overeenkomstig beeld, zie ook Figuur 4.29. Uit de verschillen van de twee inspectieruns is afgeleid dat de meetonzekerheid $\pm 0,41^\circ$ bedraagt. Dat is weliswaar meer dan de opgegeven $0,25^\circ$ uit de specificaties, maar nog altijd veel kleiner dan de ingrijpmaatstaf van $3,0^\circ$ voor een $\varnothing 500$ mm leiding van asbestcement.



Figuur 4.29
Verticale hoekverdraaiing volgens de controle hellingshoekmeting en de inspectie van Acquaint. De rode verticale lijnen geven de meetonzekerheid, afgeleid uit de verschillen tussen de inspectie-runs

4.6 Voegwijdte

De axiale verplaatsing, oftewel de voegwijdte, gaat over de afstand tussen het uiteinde van het spie-eind en de binnenzijde van de mof van de aanliggende buis. Net als bij de hoekverdraaiing kan ook een te grote voegwijdte leiden tot lekkage.

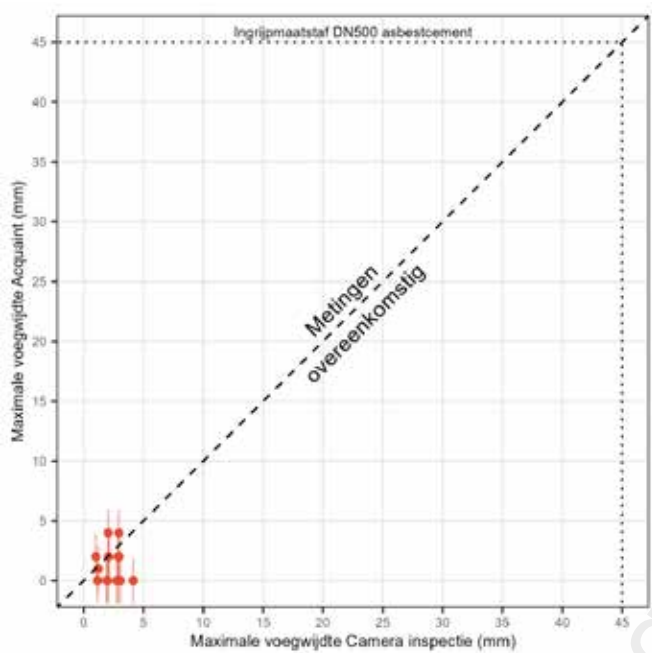
De voegwijdtemeting van een video-inspectie is gebruikt als controlemeting. Figuur 4.30 geeft een voorbeeld van één van de voegwijdtemetingen. Voor drinkwaterleidingen zijn goede ervaringen opgedaan met de nauwkeurigheid van dit type meting (Arsénio et al., 2014).



Figuur 4.30
Voegwijdtemeting tijdens de video-inspectie. De gemeten voegwijdte was 3mm

Uit Figuur 4.31 volgt dat zowel de inspectie van Acquaint als de controlemeting minimale voegwijdtes rapporteren. De grootst gemeten voegwijdte is 4 mm, terwijl de ingrijpmaatstaf voor een $\varnothing 500$ mm asbestcementleiding 45 mm is. Een formele vergelijking van de typen metingen bleek niet zinnig, aangezien de gemeten voegwijdtes ongeveer even groot zijn als de meetonzekerheid. Dat gezegd hebbende, lijken de door Acquaint gerapporteerde waarden voor de voegwijdte in lijn met de voegwijdte van het uit bedrijf genomen leidingdeel. Uit een vergelijking van de twee runs van Acquaint volgt dat de meetonzekerheid $\pm 1,89$ mm bedraagt, wat beter is dan de 3,0 mm uit de specificaties van de leverancier.

Figuur 4.31 Voegwijdtemeting op basis van de video-inspectie en de inline-inspectie van Acquaint. De rode verticale lijnen geven de meetonzekerheid, afgeleid uit de verschillen tussen de inspectie-runs



4.7 Detecteren appendages en reparaties

Op een aantal plekken zijn in het verleden reparaties aan de persleiding uitgevoerd. Het aantal reparaties en de locaties ervan zijn niet vooraf gedeeld met de leveranciers. Figuur 4.32 toont drie reparaties waarvan de ligging bekend was bij de gemeente. Daarnaast zijn langs het persleidingtracé drie ontluuchters aanwezig. Locaties van deze ontluuchters waren aanwezig op de kaarten die voorgaand aan de inspecties met de leveranciers gedeeld zijn. Ook bleek tijdens één van de inspecties dat nabij het uitstroompunt van de leiding een deel voorzien is van een lining, wat later met een visuele inspectie bevestigd is.

Figuur 4.32 Reparaties aan de persleiding van links naar rechts: Nabij het gemaal is een ballon geplaatst om een afsluiter te plaatsen die later met een reparatieklem is afgesloten (l). Een reparatieklem bij Croydonplein (m). Een reparatieklem nabij buisdeel 134 waar een sondering dwars door de leiding is gegaan (r).

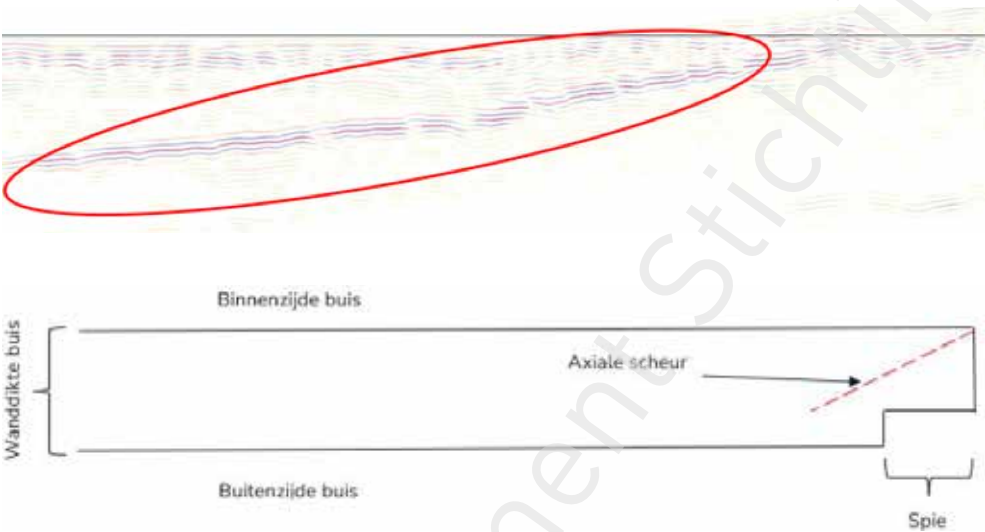


Tabel 4.4 geeft een overzicht van de ontluuchters en reparaties en of deze gesignaleerd zijn door de leveranciers. In de regel worden de meeste metalen appendages en reparaties goed gesignaleerd, maar is het lastiger onderscheid te maken tussen de verschillende typen. Het detecteren van metalen appendages, aansluitingen of verbindingen was onderdeel van het inspectiepakket van Xylem, maar deze data zijn uiteindelijk niet gerapporteerd. Acquaint heeft de reparatielining nabij het uitstroompunt gesignaleerd en de wanddikte gekwantificeerd. Op de ontluuchter na de wegduiker na, zijn alle ontluuchters en reparaties door Acquaint gesignaleerd. De ontluuchter na de wegduiker is aangesloten via een aanboorzadel met T-stuk en enkele meters PE50mm leiding, wat het detecteren mogelijk bemoeilijkt. Ook Rosenxt heeft alle reparatieklemmen gedetecteerd en twee van de drie ontluuchters. In sommige gevallen werden appendages en reparaties als put geclassificeerd.

Objecttype	Gerapporteerd door leverancier		
	Xylem	Acquaint	Rosenxt
Reparatieklem nabij gemaal t.b.v. ballon	Geen data aangeleverd	Ja, als ontluuchter	Ja, als afsluiter
Eerste ontluuchter	Geen data aangeleverd	Ja, als ontluuchter	Ja, als reparatieklem
Reparatieklem Croydonplein	Geen data aangeleverd	Ja, als ontluuchter	Ja, als mogelijke put
Reparatieklem buisdeel 134 (na graafschade)	Geen data aangeleverd	Ja, als reparatieklem	Ja, als ontluuchter
Tweede ontluuchter	Geen data aangeleverd	Ja, als ontluuchter	Ja, als put
Derde ontluuchter (aangesloten middels 2m PE50mm leiding)	Geen data aangeleverd	Nee	Nee
Lining nabij uitstroompunt	Geen data aangeleverd	Ja	Nee

Tabel 4.5 Overzicht van de gedetecteerde reparaties en ontluuchters

De reparatieklem bij het Croydonplein is aangebracht om de leiding te repareren na een axiale scheur. Zowel Acquaint als Rosenxt hebben deze axiale scheur gesignaleerd en gerapporteerd, zie ook Figuur 4.33 en Figuur 4.34. De gemeente vermoedt dat de periode van buitengebruikstelling ter reparatie van deze scheur mogelijk is gebruikt om de leiding visueel te inspecteren, maar hier is geen data meer van gevonden. De axiale scheur zelf was niet visueel zichtbaar vanaf de buitenzijde van de leiding.



Figuur 4.33 Axiale scheur bij het Croydonplein zichtbaar in de ultrasone data van Rosenxt

Figuur 4.34 Locatie van de axiale scheur bij het Croydonplein zoals gerapporteerd door Acquaint

4.8 Overzicht

Tabel 4.6 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten uit dit hoofdstuk. De resultaten zijn in de betreffende hoofdstukken verder uitgewerkt.

Type meting	Controlemeting	Hoofdstuk	Leverancier		
			Smartball (Xylem)	Acquarius (Acquaint)	500-UT-V1.0 (Rosenxt)
Horizontale leidingligging (XY)	Opgraven en inmeten	4.2.1	3 vld 6 inmetingen afwijking < 1 meter	8 vld 12 inmetingen afwijking < 1 meter	2 vld 12 inmetingen afwijking < 1 meter
Diepteligging (Z)	Opgraven en inmeten	4.2.2	0 vld 6 inmetingen afwijking < 0,15 meter	6 vld 12 inmetingen afwijking < 0,15 meter	4 vld 12 inmetingen afwijking < 0,15 meter
Lekkages	Creëren lekkages bij ontluuchters	4.3	Aanpassing ontluuchters nog niet gereed tijdens inspectie	Niet gedecteerd, mogelijk door lage leidingdruk (<0,7 bar)	Niet gedecteerd, mogelijk door lage leidingdruk (<0,7 bar)
Wanddikte	CT-scan	4.4.1	n.v.t.	Goed, mits juiste gekozen originele wanddikte	Goed, mits juiste gekozen originele wanddikte
	Lokaal verdikken wand met cementspecie	4.4.2	n.v.t.	3 vld 3 verdikkingen correct gemeten	1 vld 3 verdikkingen gemeten, maar dikte wijkt af van aangebrachte laag
Hoekverdraaiing verbindingen	Hellingshoekmeting	4.5	n.v.t.	Komt goed overeen, meetonzekerheid ±0,41°	Niet in voldoende detail gerapporteerd
Voegwijdte verbindingen	Video-inspectie	4.6	n.v.t.	Lijkt goed overeen te komen, meetonzekerheid ±1,89mm	Niet in voldoende detail gerapporteerd
Appendages en reparaties	Detecteren appendages & reparaties	4.7	Niet gerapporteerd	6 vld 7 gerapporteerd	5 vld 7 gerapporteerd

Tabel 4.6 Overzicht van de inspectieresultaten

5 Conclusies

Inline-inspectietechnieken voor persleidingen zijn volwassen onderzoeksmethoden aan het worden. Weliswaar is de persleiding Vredenburg in Arnhem een korte leiding, maar met inprikkers, meerdere materiaalovergangen, kleine diameterveranderingen en aangehechte afzettingen is het geen eenvoudige leiding om te inspecteren en behoorlijk representatief voor gangbare persleidingen in Nederland. Alle inspectie-instrumenten waren onder deze omstandigheden in staat goede metingen te verrichten.

Waar bij de leveranciers al veel kennis is van de meetkwaliteit onder theoretische of ideale omstandigheden, was het doel van dit project inzicht te krijgen in de haalbare meetkwaliteit in de praktijk. De belangrijkste conclusies zijn:

- De gemeten leidingligging blijkt nog niet (altijd) te voldoen aan de minimale nauwkeurigheidseis van de WIBON, bedoeld om de kans op graafschade te beperken. Dit is niet het gevolg van de inspectietechniek, maar van de gebruikte methode om de ijkpunten voor de XY te bepalen. Een neveneffect hiervan is dat de ligging van een buisdeel in het persleidingtracé kan “verschuiven”, waardoor het niet direct mogelijk is om nieuwe inspecties te vergelijken met inspecties uit het verleden om zo de toestandsverandering te bepalen.
- De gemeten wanddiktes komen doorgaans goed overeen met de resultaten van de CT-scan. Bij buisdelen die bij aanleg een sterk afwijkende wanddikte hadden, kan het voorkomen dat de inspectieresultaten over de resterende wanddikte afwijkt. De drie locaties waar de leiding is aangesmeerd met cementspecie om deze lokaal te verdikken zijn door Acquaint allemaal gesignaleerd. Voor Rosenxt is niet bekend of inspecties bij herhaling onderlinge significante verschillen vertonen, aangezien de inspectieresultaten van de twee runs niet afzonderlijk zijn aangeleverd.
- Bij lage leidingdrukken kan het zijn dat lekkages niet gedetecteerd worden. Lekkages tot en met 1,8 l/min, zoals gecreëerd bij de inspecties van Acquaint en Rosenxt, werden bij een druk van 0,7 bar niet gesignaleerd. Bij langere persleidingen en/of leidingen zonder hoog stortpunt zal de leidingdruk in de praktijk in een flink deel van het tracé ook onder de 1 bar liggen, waardoor kleine lekkages met de huidige stand der techniek niet gedetecteerd kunnen worden.
- Voor buisverbindingen zijn de door Acquaint gerapporteerde waarden voor de hoekverdraaiing in lijn met hellingshoekmetingen van een uit bedrijf genomen leidingdeel.
- Voor buisverbindingen zijn de door Acquaint gerapporteerde waarden voor de voegwijdte in lijn met de voegwijdte van een uit bedrijf genomen leidingdeel. Omdat alle gemeten voegwijdtes vrij klein waren, is het niet met zekerheid te stellen dat beiden typen metingen ook overeenkomstig zijn bij grotere voegwijdten.

5.1 Aanbevelingen voor beheerders

Beheerders hebben zelf ook invloed op de risico's en kwaliteit van de inspectieresultaten. Daarbij gelden de volgende aanbevelingen:

- Als vuistregel geldt dat de aanpassingen die nodig zijn om een leiding inspecteerbaar te maken samenhangen met het aantal typen metingen dat een instrument verricht. Het kan dus lonen om als beheerder vooraf een bureaustudie uit te voeren om te bepalen welke faalmechanismen voor een leiding relevant zijn en daar de best passende inspectietechniek bij te kiezen.
- Voor verschillende typen metingen van een inspectie-instrument geldt een focusmateriaal. Dat betekent dat voor één inspectierun de sensoren zijn geoptimaliseerd voor één type materiaal. Wanneer een persleiding is samengesteld uit verschillende materialen kan de beheerder overwegen meerdere runs te doen, waarbij de instrumenten steeds worden afgesteld op een ander focusmateriaal. Meerdere runs kunnen sowieso helpen de nauwkeurigheid van de resultaten te verbeteren.
- Probeer zoveel mogelijk historie van de leiding boven water te krijgen. Denk hierbij naast gegevens uit het beheersysteem ook aan het raadplegen van (oud) medewerkers, archieftekeningen en een veldbezoek. Dit kan helpen bij de interpretatie van de inspectieresultaten en het beperken van risico's.

- Bij buisdelen waarvan de resterende wanddikte kritisch lijkt, kan het zinnig zijn de leiding lokaal (nabij) vrij te graven en een extra buisomtrekmeting van buitenaf te doen. Met deze informatie kan de leverancier de resultaten verder verfijnen.

5.2 Aanbevelingen voor Inspectiebedrijven

- Om in alle gevallen aan de nauwkeurigheidseis van de WIBON te voldoen kan worden ingezet op andere sensoren, zoals IMU's met een grotere precisie. Een andere route is softwarematig, bijvoorbeeld door gebruik te maken van algoritmen die zowel voorwaarts als achterwaarts recursief filteren.
- Bij het rapporteren van de leidingligging zou het voor beheerders waardevol zijn om een betrouwbaarheidsinterval te ontvangen. Dat geeft beheerders en toekomstige grondroerders een beeld waar de leidingligging onzekerder is en het bij een Klic melding dus zin-nig is een proefsleuf te graven.
- De diepteligging wordt op verschillende wijzen gerapporteerd. Het is aanbevolen deze ten opzichte van de binnenonderkant buis te rapporteren, zoals gebruikelijk bij vrijverval leidingen.
- Plotselinge veranderingen in uitgeloopte wanddiktes bij de overgang naar een ander buisdeel zouden mogelijk kunnen duiden op buisdelen die met een afwijkende wanddikte gefabriceerd zijn. Het signaleren van dergelijke afwijkingen zou de nauwkeurigheid van de inspectieresultaten verder kunnen verbeteren.

5.3 Reflecties deelnemers

5.3.1 Xylem

Xylem heeft zich onthouden van een reactie.

5.3.2 Acquaint

“Na de positieve resultaten van de test bij het IKT-instituut op een stalen en PVC leiding in 2023, was het een goede stap om deze tests voort te zetten in een praktijkomgeving met een leidingtype en -materiaal dat voor de kopzorgen van de Nederlandse leidingbeheerder en asset manager anno 2025 zorgen: asbestcement persleidingen. Het project in Arnhem is degelijk voorbereid en de verwachtingen naar de deelnemende bedrijven zijn helder afgestemd. De uitvoering kon niet meer representatief zijn, omdat er, net zoals bij veel van onze commerciële projecten, er ook hier in Arnhem verrassingen naar boven komen drijven voor of tijdens de uitvoering. Met ervaring, kalmte en duidelijk communicatie brengen we in zulke situaties een project tot een succesvol einde.

Bij Acquaint zijn wij zeer tevreden met de prestaties die onze ACQUARIUS heeft geleverd en de leerpunten die gedeeld zijn. In juni 2025 hebben we een tweede asbestcement persleiding voor de gemeente Arnhem mogen inspecteren wat wij als een kroon op dit project beschouwen.

Tot slot gaat onze dankbaarheid en bewondering uit naar de professionele en immer optimistische begeleiding door Johan Post van Partners4UrbanWater en Erik Laurentzen van de gemeente Arnhem.”

5.3.3 Rosenxt

“Het management van Rosenxt Linegy B.V. bedankt Stichting RIONED, STOWA en de Gemeente Arnhem voor het mogelijk maken van deze testcampagne. In het bijzonder spreken wij onze waardering uit voor dr.ir. Johan Post van Partners4UrbanWater voor de intensieve samenwerking en waardevolle inhoudelijke discussies.

Rosenxt Group is recent opgericht als voortzetting van de Rosen Group, een organisatie met meer dan 44 jaar ervaring en ruim 2.500.000 km aan leidinginspecties binnen de olie- en gasindustrie.

Hoewel wij beschikken over een stevige technologische basis, zijn wij binnen de watersector een relatief nieuwe speler.

De sector wordt gekenmerkt door een grote diversiteit aan materiaalsoorten en complexe leidingstructuren. Dit project is door ons benaderd als een Researchinitiatief, omdat het ons voor het eerst de gelegenheid bood om in een operationele omgeving een asbestcementleiding te inspecteren. De terugkoppeling vanuit het veld, ondersteund door het CT-scanonderzoek, levert cruciale inzichten op voor de verdere ontwikkeling van onze inspectierobots en bijbehorende evaluatie-algoritmes.

Deze kennis heeft inmiddels geleid tot gerichte aanpassingen aan onze meet & robot technologie, die inmiddels met succes zijn geïmplementeerd.”

6 Bronvermelding

Arsénio, A.M., Jan, V., and Rietveld, L., 2014. Quantitative non-destructive evaluation of push-fit joints. Urban Water J 11, 657–667. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.806562>

Beuken, R.H.S., 2016. BTO rapport Exitbeoordelingen AC leidingen bij WML Fase 2: Nadere analyse. Nieuwegein.

CROW, 2016. CROW 500: Schade voorkomen aan kabels en leidingen, 1st ed. Ede³.

Scheperboer, I., 2024. 2024-07 Beoordeling inspectie-instrumenten voor persleidingen: onderzoek in testopstelling.

Votel, M., Dignum, M., Pina, P., 2022. Practical evaluation of inline inspection methods for large pre-stressed concrete transport pipelines. Amsterdam.

³ Eind 2025 – begin 2026 komt een volledig herziene CROW500 in verband met de herziening van de WIBON.

Bijlage 1: Detecteerbare leidingeigenschappen en toestandsaspecten

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de meetbare leidingeigenschappen en toestandsaspecten. De leveranciers hebben aangegeven dat de tabel uit Stichting RIONED/STOWA 2024-07 nog actueel is. Voor de 500-UT-V1.0 van Rosenxt zijn de detectiegrenzen en nauwkeurigheid vergelijkbaar met die van de Linegy.

Tabel 1. Overzicht van detecteerbare leidingeigenschappen en toestandsaspecten voor verschillende inspectietechnieken volgens de bedrijven, overgenomen uit Stichting RIONED/STOWA 2024-07 Beoordeling inspectie-instrumenten voor persleidingen: onderzoek in testopstelling (Scheperboer, 2024).

	Acquarius (Acquaint)	Linegy (ROSEN)	SmartBall (Xylem)	PipeDiver (Xylem)
Leidingeigenschappen				
xyz-locatie	ja	ja	ja	ja
Nauwkeurigheid	0,5 m	0,5 m	Variabel ¹	Variabel ²
Wanddikte	ja	ja	nee	ja
Nauwkeurigheid	0,5 mm	0,4 mm		Variabel ²
Detectiekans	10 - 95% ³	0,9		Variabel ²
Appendages (kleppen, beluchters,etc.)	ja	ja	ja ⁴	ja
Detectiekans	Variabel ⁵	0,9		Variabel ²
Toestandswaarnemingen				
Corrosie: wanddikteverlies	ja	ja	nee	ja
Minimaal detecteerbare diepte	0,5 mm	0,5 mm ⁶		30% wandverlies
Minimaal detecteerbare lengte / breedte	10 mm	25 mm		75 mm
Meetnauwkeurigheid lengte / breedte	4 mm	10 / 25 mm		Variabel ²
Detectiekans	10 - 95% ³	90%		Variabel ²
Corrosie: putcorrosie	ja	ja	ja ⁷	ja
Minimaal detecteerbare diepte	0,5 mm	0,5 mm ⁶	-	40% wandverlies
Minimaal detecteerbare lengte / breedte	10 mm	25 mm	0,1 L/min	25 mm
Corrosie: onderscheid intern en extern	ja	ja	NVT	nee
Luchtbel	ja	ja	ja	ja ⁸
Minimaal detecteerbare grootte	10 mm	3,75% v/d omtrek	klein	Variabel ²
Meetnauwkeurigheid	4 mm	5% v/d omtrek	medium	Variabel ²
Afzetting	ja	ja	ja ⁸	ja
Minimaal detecteerbare grootte	10 mm	25 mm		Variabel ²
Meetnauwkeurigheid lengte / breedte	4 mm	10 / 25 mm		Variabel ²
Detectiekans	10 - 95% ³	90%		Variabel ²
Lekkage	ja	ja	ja	nee ⁹
Minimaal detecteerbare grootte	NTB	2 mm	0,1 L/min	
Meetnauwkeurigheid	NTB	NTB	hoog	
Detectiekans	10 - 95% ³	90%	Variabel ²	
Vervorming / ovaliteit	ja	ja	nee	ja
Minimaal detecteerbare vervorming	>0 %	2 mm		Variabel ²
Meetnauwkeurigheid	NTB	0,8 mm		Variabel ²
Detectiekans	100 %	90%		Variabel ²
Gebroken wapening	ja	ja	nee	ja
Minimaal aantal detecteerbaar	1	1		5
Oppervlaktebeschadiging (kunststof)	ja	ja ¹⁰	nee	NVT
Minimaal detecteerbare diepte	NTB	-		
Meetnauwkeurigheid	NTB	-		
radiaal verschoven verbinding (voegwijdte)	ja	ja	ja ⁸	ja ⁸
Minimaal detecteerbare verplaatsing	15 mm	3 mm		Variabel ²
Meetnauwkeurigheid	4 mm	1 mm		Variabel ²
Hoekverdraaiing	ja	ja	nee	nee
Minimaal detecteerbare verplaatsing	0,25°	3 mm		
Meetnauwkeurigheid	0,25°	1 mm		
Sulfaataantasting (ac en beton)	ja	ja ⁹	NVT	NVT
Minimaal detecteerbare diepte	10 mm	NTB		
Meetnauwkeurigheid	4 mm	NTB		
Uitloging (asbestcement)	ja	ja ⁹	NVT	NVT
Minimaal detecteerbare diepte	0,5 mm	NTB		
Minimaal detecteerbare lengte / breedte	10 mm	NTB		
Meetnauwkeurigheid	4 mm	NTB		

¹ Afhankelijk van de hoeveelheid referentiepunten

² Afhankelijk van buisspecificaties en inspectiecondities

³ Afhankelijk van buisdiameter, aantal sensoren en defect-/appendagegrootte

⁴ Indirecte meting

⁵ Afhankelijk van dekkingsgraad, vuil, defectgrootte en wens van de klant

⁶ Bij een defectgrootte > 50 mm en een minimale overgebleven wanddikte van 2,5 mm

⁷ Kan gedetecteerd worden als lek

⁸ In bepaalde situaties

⁹ Momenteel in ontwikkeling

Colofon

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor stedelijkwaterbeheer in Nederland. RIONED is er voor en door alle relevante overheden en bedrijven. Inspelend op nieuwe opgaven en mogelijkheden komt Stichting RIONED op voor het belang van stedelijk waterbeheer: goed zorgen voor afval-, hemel- en grondwater in de steden en dorpen. Stichting RIONED bevordert innovatie, nieuwe kennis en verspreiding van kennis. Wij begrijpen en ondersteunen de vakwereld.

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

© 2025 Stichting RIONED en STOWA

Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

disclaimer
Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteur en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van deze publicatie.

Auteur
dr.ir. Johan Post (Partners4UrbanWater)

Opdrachtgever
Stichting RIONED

omslagfoto
dr.ir. Johan Post (Partners4UrbanWater)

vormgeving
Marieke Eijt, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

rapportnummer
2025-xx

isbn/ean
xxxx