



Professioneel Afvalwatertransport
Handreiking inventarisatie en
inspectie van persleidingen

Handreiking inventarisatie en inspectie van persleidingen

Voorwoord

Persleidingen zijn belangrijke schakels in afvalwatersystemen. Ze transporteren het ingezamelde afval- en regenwater naar de rioolwaterzuiveringsinstallaties. Bij falen kunnen zowel de directe schade als gevolgschade voor veiligheid, milieu en imago aanzienlijk zijn. Beheerders willen daarom beter inzicht in de toestand van de vaak al oude leidingen.

Deze handreiking biedt een werkwijze om tegen acceptabele inspanning op systematische wijze inzicht te krijgen in de relevante aspecten van de actuele conditie alsmede de actuele ligging en kenmerken van persleidingen. De werkwijze verloopt via drie fasen:

- Fase 1 inventarisatie;
- Fase 2 praktijkonderzoek op niveau ‘basis’, ofwel onderzoek om te bepalen of de leiding nog voldoet aan de functionele basiseisen: waterdichtheid, constructieve sterkte en hydraulisch functioneren;
- Fase 3 praktijkonderzoek in de vorm van een gerichte inspectie, waarmee u (oorzaken van) defecten, een verslechterende conditie of afwijkende ligging daadwerkelijk kunt vaststellen.

Deze publicatie beschrijft de van 2013 tot en met 2025 opgedane ervaringen met onderzoek naar de ligging, conditie en functioneren van persleidingen. Deze publicatie vervangt de in 2018 uitgegeven ‘Handreiking inventarisatie en basisonderzoek’. De daarin al opgenomen ervaringen uit fase 1 en 2 zijn uitgebreid met de ervaringen uit fase 3 met verdiepend onderzoek.

Gelet op de veelheid aan gebruikte materialen, diameters en optredende faalmechanismen zal onderzoek naar de conditie van persleidingen op afzienbare termijn nog geen routinematige activiteit worden. Kennisdeling zoals via deze publicatie blijft de komende jaren gewenst.

De handreiking biedt via de beschreven ervaringen praktische handvatten voor beheerders om aan de slag te gaan met professioneel afvalwatertransport.

Graag wensen wij u veel nuttige toepassing.

Hilde Niezen, directeur-bestuurder Stichting RIONED

Mark van der Werf, directeur STOWA

December 2025

Uitgebreide samenvatting

Persleidingen zijn belangrijke schakels in afvalwatersystemen. Zij transporteren ingezameld rioolwater naar benedenstroomse rioolstelsels en uiteindelijk naar rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). In Nederland ligt circa 13.000 km persleiding. Deze variëren in diameter van 150 mm tot 2.000 mm en zijn uitgevoerd in uiteenlopende materialen, waaronder kunststoffen (PVC, PE, PP, GVK), cementgebonden materialen (asbestcement en (voorgespannen) beton) en metalen (gietijzer en staal). Ongeveer de helft van het persleidingareaal is in beheer bij gemeenten en de andere helft bij waterschappen.

Een groot deel van de persleidingen is aangelegd in de jaren '70 en '80, toen in relatief korte tijd vrijwel alle rioolstelsels in Nederland werden aangesloten op een RWZI.

Lange tijd functioneerden deze persleidingen zonder noemenswaardige problemen. Mede daardoor was de aandacht voor het beheer van persleidingen tot 2015 beperkt. De relatief lage aantallen incidenten (ongeveer 1 per 100 km/jaar) betekende dat een gemiddelde persleidingbeheerder slechts enkele incidenten per jaar hoefde af te handelen. De beheerinspanningen richtten zich daarom vooral op gemalen en appendages.

Sinds 2015 is de aandacht voor onderzoek en inspectie van persleidingen toegenomen, mede doordat een groot deel van het leidingareaal de technische levensduur nadert. Voor het inspecteren van persleidingen bestaat geen 'one size fits all' techniek. De grote variatie in diameters, toegepaste materialen en de vaak beperkte toegankelijkheid van persleidingen maakt dat inspectie en onderzoek van persleidingen maatwerk is.

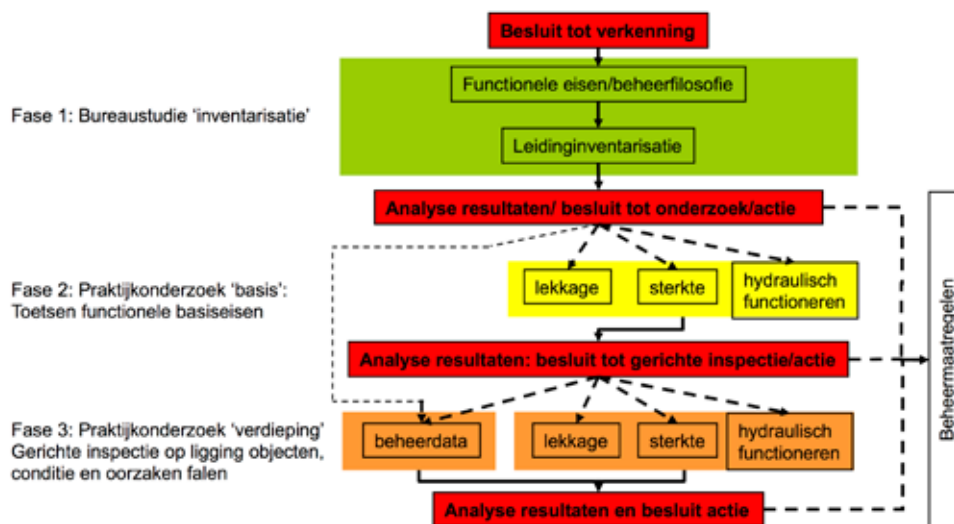
Deze handreiking inventarisatie en inspectie van persleidingen heeft als doelstelling beheerders te ondersteunen bij het uitvoeren van onderzoek aan persleidingen. Dit onderzoek moet de beheerder antwoord geven op de vragen:

- Waar ligt de leiding en wat zijn de kenmerken van de leiding? Ofwel: wat is de X,Y,Z van de leiding, wat is de diameter en welk materiaal is toegepast?
- Voldoet de leiding nu aan de functionele eisen met betrekking tot waterdichtheid, constructieve stabiliteit en hydraulisch functioneren? Ofwel: lekt de leiding niet, is de leiding heel en is de leiding in staat om het gewenste debiet met acceptabel energieverlies te transporten?
- Hoe lang zal de leiding nog kunnen voldoen aan de functionele eisen gegeven de diverse verouderingsprocessen? Denk bij verouderingsprocessen aan processen met een verloop in de tijd, zoals zetting, uitloging, H₂S aantasting, vervorming, sedimentophoping, luchtophoping en scaling.

Figuur 0.1 geeft het stappenplan voor onderzoek naar persleidingen dat centraal staat in deze handreiking. Het stappenplan bestaat uit drie fasen:

1. **Fase 1:** het vastleggen van de eisen voor en de kenmerken van de leiding. Hieruit volgt welke faalmechanismen relevant kunnen zijn en eventueel nadere aandacht behoeven via onderzoek of inspectie. De relevantie van faalmechanismen hangt ook nauw samen met mogelijke gevolgen voor de omgeving van falen van persleidingen en de in het transportsysteem aanwezige redundantie. Ook volgt uit deze fase of de X,Y,Z ligging voldoende goed in beeld is en of relevante beheergegevens, zoals diameter, materiaal en aanwezigheid appendages als ontluchters en kleppen, bekend zijn. Indien bijvoorbeeld ligging gegevens niet op orde zijn, is altijd praktijk onderzoek nodig om de X,Y,Z vast te leggen en daarmee te voldoen aan de wettelijke eisen. Fase 1 doorlopen is altijd noodzakelijk.
2. **Fase 2:** het onderzoeken en testen met zo eenvoudig mogelijke middelen van de drie functionele eisen lekkage, constructieve stabiliteit en hydraulisch functioneren. Deze onderzoeken en testen geven informatie op leidingniveau en geven aan of de leiding NU voldoet. Fase 2 doorlopen is vooral zinvol indien de ligging en kenmerken bekend zijn en de beheerder zeker wil weten of de leiding niet lekt of hoe de leiding hydraulisch functioneert.

3. Fase 3: het inzetten van (geavanceerde) inspectietechnieken en beproevingen die de bedrijfsprocessen eventueel langere tijd kunnen verstoren. De gerichte inspecties geven informatie over het mogelijk in de toekomst optreden van faalmechanismen op buis niveau, doordat zij bijvoorbeeld inzicht geven in wanddikteafname of de gevolgen van ongelijke zetting op voegwijdte en hoekverdraaiing. Fase 3 is noodzakelijk indien de ligging van de leiding niet goed in beeld is. Fase 3 is wenselijk wanneer geen opleveringsinspectie is gedaan of wanneer verwacht mag worden dat leidingveroudering een rol speelt en inzicht in de huidige conditie ontbreekt.



Figuur 0.1
Stappenplan onderzoek
persleidingen

Lezers die op hoofdlijnen willen weten wat het stappenplan onderzoek persleidingen inhoudt en hoe zij dit kunnen gebruiken, kunnen volstaan met het doornemen van Hoofdstuk 2. Stappenplan onderzoek persleidingen en Hoofdstuk 6. Ervaringen, conclusies en vervolgtraject.

Voor lezers die inspiratie zoeken voor het doorlopen van fase 1, 2 of 3, zijn praktijkervaringen per fase opgenomen in de hoofdstukken 3 Praktijkvoorbeelden Fase 1. Inventarisatie, 4 Praktijkvoorbeelden Fase 2 en 5. Praktijkvoorbeelden Fase 3. Gerichte inspectie.

Afkortingenlijst

AC	Asbestcement
Atm	atmosfeer. Verouderde eenheid voor druk: 1 atm = 1,01325bar
ATU	Afzetting Traceer unit: via een druksensor aan een kabel inmeten van diepteligging in een gevulde leiding
dwa	droogweerafvoer
GVK	glasvezelversterkte kunststof
hwa	hemelwaterafvoer
ILI	InLine Inspection tools
LPMH	LangsProfielMeting met Hydrostatische druk: via een druksensor aan een slag gekoppeld aan vloeistofreservoir inmeten van diepteligging droog staande leiding
mwk	meter waterkolom. 1 mwk = 0.098bar
OB	overstortbemaling
PAT	Professioneel Afvalwater Transport
PE	polyethyleen
PVC	Polyvinylchloride
rg	rioolgemaal
rwa	regenweerafvoer
Rwzi	rioolwater zuiveringsinstallatie
TPI	tijdelijke pompinstallatie
WVO	wet verontreiniging oppervlaktewater
X,Y,Z	ligging leiding met x en y coördinaat voor horizontale positie en z coördinaat voor diepte

Inhoud

1	Inleiding	11
1.1	Aanleiding	11
1.2	Afbakening handreiking	11
1.3	Aanpak en deelnemers proeftuin persleidingen	12
1.4	Leeswijzer	13
2	Stappenplan onderzoek persleidingen	14
2.1	Beschrijving stappenplan	14
2.2	Fase 1: Inventarisatie	15
2.2.1	Functionele eisen/beheerfilosofie	15
2.2.2	Leidinginventarisatie	16
2.2.3	Invulformulier voor fase 1	17
2.3	Analyse resultaten: overwegen onderzoek	18
2.4	Fase 2: Basis	18
2.5	Analyse resultaten: overwegen gerichte inspectie	20
2.6	Fase 3: Verdieping	20
2.6.1	Slimme pigs	23
2.7	Analyse resultaten: bepalen maatregelen	24
3	Praktijkvoorbeelden fase 1. Inventarisatie	25
3.1	Case I: Rotterdam - Persleidingtracé gemaal 29, Merlijnpad	25
3.1.1	Vertaalslag naar hydraulische eenheid	26
3.1.2	Functionele eisen	26
3.1.3	Kenmerken leidingtracé	26
3.1.4	Relevante faalmechanismen	29
3.2	Case II: Rotterdam - Persleidingtracé Heemraadsingel	29
3.2.1	Vertaalslag naar hydraulische eenheid	30
3.2.2	Functionele eisen	31
3.2.3	Kenmerken leidingtracé	32
3.2.4	Relevante faalmechanismen	34
3.3	Case III: Yerseke	35
3.3.1	Vertaalslag naar hydraulische eenheid	36
3.3.2	Functionele eisen	36
3.3.3	Kenmerken leidingtracé	36
3.3.4	Relevante faalmechanismen	38
3.4	Case IV: Persleiding Dongen naar rwzi Rijen	38
3.4.1	Vertaalslag naar hydraulische eenheid	39
3.4.2	Functionele eisen	39
3.4.3	Kenmerken leidingtracé	39
3.4.4	Relevante faalmechanismen	40
3.5	Case V: Transportleiding Oost in Vlaardingen	41
3.5.1	Vertaalslag naar hydraulische eenheid	41
3.5.2	Functionele eisen	41
3.5.3	Kenmerken leidingtracé	41
3.5.4	Relevante faalmechanismen	42

4	Praktijkvoorbeelden Fase 2	43
4.1	Case III. Yerseke-Waarde Fase 2	43
4.1.1	Vorbereiding	44
4.1.2	Afpersplan	44
4.1.3	Resultaten	45
4.1.4	Bevindingen	47
4.2	Case VI Rotterdam fase 2	48
4.2.1	Hydraulica	48
4.2.2	Zetting	50
4.2.3	Lekdichtheidstest	50
4.2.4	Bevindingen	51
4.3	Case VII en case VIII Waterschap Brabantse Delta	52
4.3.1	Kenmerken Case VII. Etten-Hoeven	53
4.3.2	Hydraulisch functioneren	54
4.3.3	Kenmerken Case VIII. Moerdijk-Hoeven	54
4.3.4	Lekkagetest	55
4.3.5	Bevindingen	55
5	Praktijkvoorbeelden fase 3. Gerichte inspectie	56
5.1	Visuele inspectie	56
5.2	inwendige radarinspectie	57
5.3	Uitwendige radarinspectie	57
5.4	Boorkernonderzoek	58
5.5	Proefsleuven voor lokale zetting: praktijkvoorbeeld Zwijndrecht	59
5.6	Lekkagetest met smartball	60
5.7	Focused electrode leak location (FELL)	61
5.8	Inspectie-instrumenten voor persleidingen: praktijktest Arnhem	62
5.8.1	Situatiebeschrijving	62
5.8.2	Toegepaste inspectietechnieken en opzet onderzoek	63
5.8.3	Resultaten	64
6	Ervaringen, conclusies en vervolgtraject	66
6.1	Ervaringen met invulformulier als onderdeel fase 1 'inventarisatie'	66
6.1.1	Functionele eisen	66
6.1.2	Kenmerken leidingtracé	66
6.2	Ervaringen met uitvoeren onderzoek fase 2 niveau 'basis'	67
6.3	Ervaringen met uitvoeren onderzoek fase 3 niveau 'verdieping'	68
6.4	Verwerken resultaten en besluitvorming	69
6.5	Aanbevelingen	70
	Literatuur	71
	Bijlage 1 Invulformulier inventarisatie persleidingen fase 1	74
	Bijlage 2 Overzicht toepasbare inspectietechnieken fase 2 en 3	78
	Bijlage 3 Stroomschema bepaling van toepassing zijnde norm voor leidingstrekking	84
	Colofon	85

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Persleidingen transporteren het in de riolering verzamelde afvalwater naar de rwzi. Daarmee vormen ze een essentieel onderdeel van de afvalwaterinfrastructuur. Het grootste deel van de persleidingen in Nederland stamt uit de periode van de inwerkingtreding van de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo, 1970) en de grootschalige introductie van rwzi's in de jaren 70 en 80. Veel persleidingen naderen het eind van hun theoretische ontwerplevensduur of zijn dit moment al gepasseerd.

Het huidige faalniveau, zoals volgt uit de analyse van de bijna 1200 geregistreerde incidenten in de RIONED persleidingen incidentendatabase, ligt nog vrij laag met ruim 1 faalgebeurtenis per 100 km per jaar. Ongeveer 1/3 daarvan komt door werkzaamheden door derden en ongeveer 2/3 is het gevolg van verouderingsprocessen van persleidingen (Post en Langeveld, 2023).

Ook zijn de gevolgen van faalgebeurtenissen meestal beperkt met een gemiddelde kostenpost van 26.000 euro. Dit biedt de sector de ruimte om het professioneel beheer van persleidingen stapsgewijs te ontwikkelen.

De afgelopen jaren hebben tal van projecten hieraan bijgedragen:

- ipigs, het project waarin tussen 2014-2020 is ingezet op de ontwikkeling van slimme pigs;
- STUIP (Standaard Uitwisselingsformaat Incidenten voor Persleidingen) met bijbehorende incidentendatabase;
- Onderzoek persleidingen fase 1 met daarin de handreiking inventarisatie en onderzoek (RIONED/STOWA rapport 2015-22);
- Onderzoek persleidingen fase 2 (RIONED/STOWA rapport 2018-22) met voorbeelden van basisonderzoek;
- Onderzoek persleidingen fase 3 met voorbeelden van gerichte inspecties (RIONED/STOWA rapport 2023-09);
- Faalkansmodel persleidingen (La Gasse et al., 2024);
- GWSW- deelmodel persleidingen;
- CAPWAT;
- Beoordeling inspectie-instrumenten voor persleidingen: onderzoek in testopstelling (RIONED/STOWA rapport 2024-07);
- Beoordeling inspectie-instrumenten voor persleidingen: Praktijkonderzoek in Arnhem (RIONED/STOWA rapport 2025-38).

De analyse van incidenten leert dat falen van persleidingen kan ontstaan door fouten bij aanleg, fouten in ontwerp, onjuiste bediening, schade door derden en door verouderingsprocessen. Tot de verouderingsprocessen behoren ongelijke zetting, uitloging, biogene zwavelzuuraantasting, ovalisering en toename van de hydraulische weerstand. Om inzicht te krijgen in het mogelijk optreden van deze faalmechanismen, moet u als beheerder onderzoek doen. Dit onderzoek geeft u inzicht in de ligging (X,Y,Z) en het voldoen aan de functionele eisen lekkage, constructieve stabiliteit en hydraulisch functioneren. Het doel van deze handreiking is het ondersteunen van de beheerders bij het selecteren van geschikte methodes voor onderzoek en inspectie van persleidingen van basale inventarisatie tot aan gericht detailonderzoek.

1.2 Afbakening handreiking

Deze handreiking gaat over de inventarisatie van gegevens en over onderzoek naar de conditie van leidingen voor zover dit relevant is voor beoordeling van het constructief, hydraulisch en milieuhygiënisch functioneren. Het uiteindelijke doel van de inventarisatie en het onderzoek is onderbouwd besluiten over de noodzaak van investeringen voor beheermaatregelen als onderdeel van het assetmanagement van persleidingen.

Gemalen, afsluiters en ontluchters blijven buiten beschouwing. Deze handreiking gaat niet over drukriolering in het buitengebied. De handreiking is zoveel mogelijk materiaalafhankelijk geschreven en merknamen van specifieke onderzoekstechnieken zijn voor zover mogelijk veralgemeniseerd naar het achterliggende principe van de techniek.

1.3 Aanpak en deelnemers proeftuinen persleidingen

De Handreiking inventarisatie en onderzoek persleidingen is in een langlopend traject in een drietal fasen ontwikkeld.

In de eerste fase, die liep van 2013-2015 is op basis van interviews, een enquête en literatuuronderzoek een uitgebreide analyse uitgevoerd naar de onderliggende faalmechanismen van persleidingen. Voor de vier dominante faalmechanismen is vervolgens op basis van literatuuronderzoek in beeld gebracht welke onderzoeks- en inspectiemethoden inzicht in deze mechanismen kunnen geven. Dit leidde tot de eerste versie van de handreiking, die is gepubliceerd als RIONED/STOWA -rapport 2015-21. De deelnemers aan de eerste fase van de ‘Proeftuin persleidingen’, waarin de systematiek is uitgewerkt, waren:

Nico Beumer	Waternet
Wybo Kuperus/Richard Kors	Gemeente Rotterdam
Rien van Wanrooij	Waterschap Brabantse Delta
Bram Wisse	Waterschap Scheldestromen
Ton Beenen	Stichting RIONED en STOWA

De werkzaamheden in de eerste fase zijn uitgevoerd door Jeroen Langeveld en Cornelis de Haan, beiden destijds werkzaam bij RHDHV.

In de tweede fase, die liep van 2015-2018, is samen met de beheerders voor een aantal cases in de praktijk onderzocht welke methodes basaal inzicht opleveren in de vier faalmechanismen. Via praktijkonderzoeken hebben de volgende deelnemers bijgedragen aan de tweede versie van de handreiking, gepubliceerd als RIONED/STOWA rapport 2018-22:

Richard Kors	Gemeente Rotterdam
Rien van Wanrooij	Waterschap Brabantse Delta
Bram Wisse	Waterschap Scheldestromen
Jan Hoek Spaans	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

De werkzaamheden in de tweede fase zijn uitgevoerd door Jeroen Langeveld en Cornelis de Haan, beiden destijds Partners4UrbanWater.

In de derde fase, die liep van 2019-2022, zijn ervaringen verzameld met inspecties en is een update uitgevoerd van de gehele handreiking op basis van recente onderzoeken en projecten, waaronder het RIONED-project ‘Standaard Uitwisselingsformaat Incidenten voor Persleidingen’ (STUIP). Deze update is gepubliceerd als RIONED/STOWA rapport 2023-09. Daarbij hebben de volgende deelnemers praktijkonderzoeken ingebracht:

Roël de Leede	Gemeente Vlaardingen
Jasper Putter	Akson

Jeroen Langeveld, Kostas Makris en Johan Post, allen van Partners4Urbanwater hebben deze handreiking opgesteld.

In 2024-2025 is praktijkonderzoek uitgevoerd naar de kwaliteit van de gegevens uit inline inspecties bij een persleiding in Arnhem. De resultaten van dit onderzoek zijn verwerkt in deze update van de handreiking, met een grote bijdrage van:

Erik Laurentzen	Gemeente Arnhem
-----------------	-----------------

Jeroen Langeveld, Kostas Makris en Johan Post, allen van Partners4Urbanwater hebben deze update van de handreiking opgesteld.

In deze update zijn tevens alle kosten bijgewerkt naar prijspeil 2025.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het stappenplan.

Hoofdstuk 3 werkt vijf praktijkvoorbeelden van stap 1 *'leidinginventarisatie'* uit.

Hoofdstuk 4 gaat verder met de uitwerking van vijf praktijkvoorbeelden van stap 2 *'Praktijkonderzoek basis'*.

Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van in Nederland toegepaste inspectietechnieken als onderdeel van stap 3 *'Praktijkonderzoek verdieping'* via gerichte inspectie.

Hoofdstuk 6 besluit met ervaringen, conclusies en aanbevelingen voor de praktijk en voor verder onderzoek.

Bijlage 1 bevat het invulformulier voor fase 1 (ook te downloaden als Excel-bestand).

Bijlage 2 geeft een overzicht van de toepasbare inspectietechnieken in fase 2 en 3.

Bijlage 3 geeft het stroomschema voor de bepaling van de van toepassing zijnde norm voor een leidingstrekking.

2 Stappenplan onderzoek persleidingen

Dit hoofdstuk beschrijft het stappenplan onderzoek persleidingen, dat de basis vormt van deze handreiking.

2.1 Beschrijving stappenplan

Een persleiding moet voldoen aan drie basis functionele eisen: waterdichtheid, constructieve stabiliteit en hydraulisch functioneren. Zodra aan deze eisen niet meer wordt voldaan, faalt de leiding. Dit falen heeft soms beperkte consequenties, zoals bij een kleine extra leidingweerstand, en soms grote consequenties, zoals een sinkhole na een plotselinge leidingbreuk.

Onderzoek van persleidingen kan zich richten op het voldoen aan de functionele eisen zelf: lekt de leiding niet? Is de sterkte van de leiding (of beter: de leiding-bodem constructie) voldoende? Is het mogelijk om het beoogde debiet te verpompen met een acceptabele energieverlies? Onderzoek kan zich ook richten op de faalmechanismen die ervoor zorgen dat in de toekomst mogelijk niet meer wordt voldaan aan de functionele eisen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de wanddikte, materiaaleigenschappen of hoekverdraaiing door ongelijke zetting.

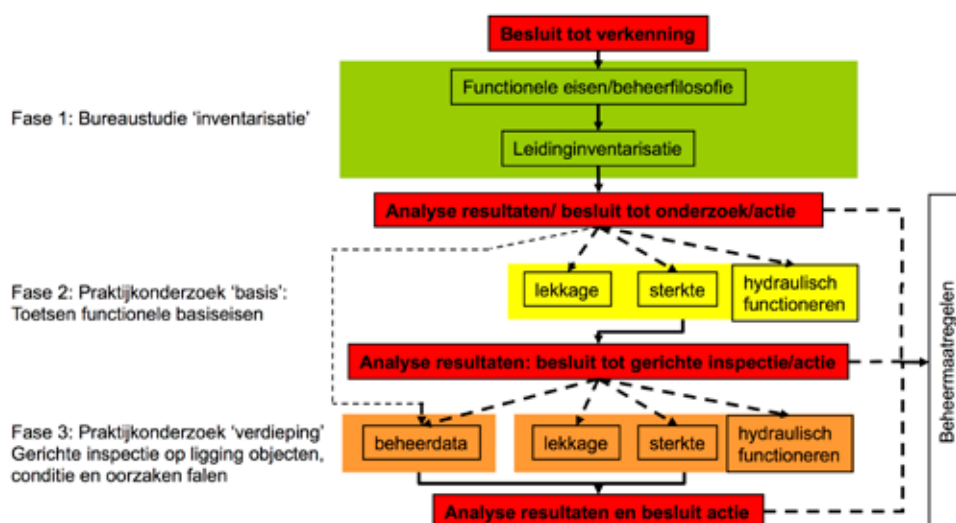
Deze handreiking is gebaseerd op het stappenplan in figuur 2.1. Voorafgaand aan elke stap neemt u op basis van de beschikbare informatie het besluit of u beschikt over voldoende informatie of dat u moet investeren in het verkrijgen van aanvullende informatie. Het stappenplan is daarbij het hulpmiddel om tegen een minimale inspanning inzicht te krijgen in de toestand van de persleidingen.

Het stappenplan bestaat uit drie fasen, per fase neemt de benodigde inspanning toe:

1. Fase 1: het vastleggen van de eisen voor en de kenmerken van de leiding. Hieruit volgt welke faalmechanismen relevant kunnen zijn en eventueel nadere aandacht behoeven. De relevantie van faalmechanismen hangt ook nauw samen met mogelijke gevolgen voor de omgeving van falen van persleidingen en de in het transportsysteem aanwezige redundantie.
2. Fase 2: het onderzoeken en testen met zo eenvoudig mogelijke middelen van de drie functionele eisen lekkage, constructieve stabiliteit en hydraulisch functioneren. Deze onderzoeken en testen geven informatie op leidingniveau.
3. Fase 3: het inzetten van (geavanceerde) inspectietechnieken en beproevingen die de bedrijfsprocessen eventueel langere tijd kunnen verstoren en die bovendien enig risico op faalgebeurtenissen met zich meebrengen. De gerichte inspecties geven informatie over het mogelijk in de toekomst optreden van faalmechanismen op buisniveau.

Na elke fase volgt een besluit om geen verdere actie te nemen, direct beheermaatregelen te nemen of te kiezen voor nader onderzoek in de opvolgende fase.

Figuur 2.1
Stappenplan onderzoek
persleidingen



De uitgangspunten en principes die hebben geleid tot de opzet van het stappenplan zijn:

- Voorafgaand aan inspectie moet u het systeem voldoende kennen om te weten welke faal-mechanismen relevant zijn en welke inspectietechnieken toepasbaar en relevant zijn.
- Inzet van de technieken van grof naar fijn. Dus eerst onderzoekt u bijvoorbeeld of er überhaupt lekkage is, voordat u op zoek gaat naar de locatie van de lekkage.
- Verdeling van de technieken in de niveaus 'basis' en 'verdieping'. Technieken op basisniveau kunt u bij elke persleiding toepassen (onafhankelijk van het materiaal). Bovendien hoeft u de leiding niet droog te zetten en komen er geen materialen in de leiding.

Bij veel beheerders ontbreekt goede informatie over de ligging (X,Y,Z) van de leidingen, waardoor het verkrijgen van deze basis beheerdata ook onderdeel wordt van het praktijkonderzoek via een inspectie.

2.2 Fase 1: Inventarisatie

2.2.1 Functionele eisen/beheerfilosofie

Als eerste inventariseert u de functionele eisen en de beheerfilosofie. Onder de functionele eisen vallen onder meer het ontwerpdebiet en het bijbehorende werkpunt van gemaal en persleiding, bij voorkeur inclusief een acceptabele bandbreedte voor debiet en opvoerhoogte.

De beheerfilosofie geeft inzicht in de beheerwijze die de ontwerper ooit heeft voorzien. Denk hierbij aan de aanwezigheid van coating en de noodzakelijke periodieke vervanging daarvan. Daarnaast moet u als beheerder beschikken over een calamiteitenplan, zodat is geborgd welke actie nodig is als een leiding bezwijkt tijdens de normale bedrijfsvoering of inspecties. Dit is vooral relevant voor leidingen die 'too big to fail' zijn, oftewel leidingen waarbij het laten rijden van tankwagens met afvalwater niet meer mogelijk is. Dit geldt ook voor tracés die bijvoorbeeld vlak naast gasleidingen én voor leidingen in/bij dijken én onder primaire wegen én onder gebouwen liggen en waar snelle reparatie (< 24 h) door ontgraven niet mogelijk is. Overweeg voor leidingen die in deze categorie vallen om voldoende redundantie in het gehele afvalwatersysteem aan te brengen. Bijvoorbeeld door compartimentering, omleidingsroutes voor dwa of een parallelle leiding.

NEN 3650 geeft een overzicht van de van toepassing zijnde normen, die samenhangen met de aard van de transporteren stof en de ligging in of nabij belangrijke waterstaatswerken en in grondwaterbeschermingsgebieden. Voor persleidingen met afvalwater geldt dat zij onder de eisen van NEN 3651 vallen zodra zij in of nabij belangrijke waterstaatswerken liggen, onder NEN 3650 vallen wanneer zij in een grondwaterbeschermingsgebied liggen en in overige gevallen onder gangbare normen voor riolering vallen. Bijlage 3 geeft het op NEN 3650 gebaseerde schema waarmee u de van toepassing zijnde normen kunt selecteren.

2.2.2 Leidinginventarisatie

In deze stap verzamelt u alle relevante informatie om te kunnen besluiten of inspectie nodig en mogelijk is. Hiertoe behoren in elk geval:

- systeembeschrijving leiding;
- analyse historische faalgebeurtenissen;
- hydraulisch profiel;
- verkenning relevante faalmechanismen.

Systeembeschrijving leiding

De systeembeschrijving van de leiding omvat de volgende systeemkenmerken:

- beschrijving tracé en diepteligging (X, Y, Z);
- revisie/aanleggegevens;
- bijzondere onderdelen (zoals gemalen, inprikkers, ont- en beluchters, waterslagvoorzieningen en kleppen);
- diameter en materiaal (ook aanwezigheid coating/relining);
- jaar van aanleg/renovatie (onder meer aanwezigheid en gebruiksduur aquaringen);
- hydraulisch profiel/dwarsprofiel conform ontwerp;
- bedieningsvoorschrift gemalen en appendages (inclusief ontluchting/waterslag);

- gebruik maaiveld/ligging ten opzichte van andere infrastructuur (gasleiding, trambaan, dijk);
- zettingsgevoeligheid gebied;
- bodemkarakteristieken;
- extern bepaalde leidingklasse uit eigen/externe normen (bijvoorbeeld NEN 3651 bij dijken);
- aanwezigheid bijzondere samenstelling afvalwater of grondwater (bijvoorbeeld voormalige gasfabrieken en/of specifieke vergunningen bij industriegebied);
- sterkteberekeningen;
- aanwezigheid voorzieningen inspectie (piglanceerunits, glasvezel, zakbakens);
- kabels en leidingen in de directe omgeving;
- andere boven- en ondergrondse infra of objecten;
- vergunningen.

Daarnaast bevat de systeembeschrijving de ontwerpuitgangspunten/toleranties voor:

- **Lekkage:** De lekverlieseis is afhankelijk van de voor de leiding geldende norm. Voor een betonnen persleiding in een grondwaterbeschermingsgebied, die valt onder NEN 3650-4, geldt een toegestaan lekverlies van 0,1 ml/m²/h. Voor een betonnen leiding die wordt ingezet voor transport onder lage druk, die valt onder NEN 1610, mag dit 0,15 l/m² zijn tijdens beproeving van 30 minuten bij een relatief lage waterdruk, ofwel 0,3 l/m²/h. Met het schema uit bijlage 3 kunt u de voor de leiding geldende norm selecteren. De toegestane lekverliezen zijn gericht op het voorkomen van instabiliteit van de leiding, waarbij de vuilemissie vanuit de persleiding geen rol speelt. In grondwaterbeschermingsgebieden geldt de strengere norm, omdat het effect op de grondwaterkwaliteit daar wel een rol speelt.
- **Sterkte:** leiding moet 1,2 tot 1,5 maal de maximale bedrijfsdruk conform ontwerp kunnen weerstaan. De gedachte hierachter is dat als de leiding deze druk aankan, deze ook de normale bedrijfsdruk moet kunnen weerstaan. De factor 1,5 wordt vaak aangehouden bij opleveringsinspectie.
- **Weerstand/hydraulisch functioneren:** toelaatbare extra hydraulische leidingweerstand. Een vuistregel hiervoor is het minimum van 10% van de dynamische opvoerhoogte of 0,5 mwk (0,05 bar). Deze acceptabele extra weerstand is afhankelijk van:
 - toelaatbare leidingdruk;
 - toelaatbaar extra energieverbruik;
 - praktische haalbaarheid (dagelijks piggen schiet niet op...);
 - functioneren afvalwatersysteem doordat het gemaal of de persleiding het ontwerpdebiet niet kan afvoeren.
- **Zetting:** openstaande voegen/hoekverdraaiing en toleranties daarbij zijn afhankelijk van materiaal en diameter en beschikbaar via leveranciers.
- **Zetting:** toelaatbaar zettingsverschil over pendelstukken conform ontwerpspecificaties.

Analyse historische faalgebeurtenissen

Door analyse van de historische faalgebeurtenissen¹ krijgt u inzicht in de faalhistorie van het te onderzoeken tracé. Deze historie kan veel informatie geven over de te verwachten faalmechanismen. Is er geen database, dan zijn interviews met oudgedienden de aangewezen manier om deze informatie zo goed mogelijk te achterhalen.

Hydraulisch profiel

Het hydraulisch profiel laat zien:

- waar welke werkdruk te verwachten is;
- waar eventuele onderdruk kan optreden;
- waar in de leiding een kans bestaat op luchtophoping of zelfs tijdelijk (deels of volledig) droogstaan. De leidingdelen waar lucht aanwezig kan zijn, hebben een grotere kans op aantasting.

¹ Deze handreiking gebruikt overigens de term faalgebeurtenis of falen, onafhankelijk van de ernst of omvang en zonder onderscheid tussen incident of calamiteit. Een incident is een onverwachte gebeurtenis die binnen de normale bedrijfsvoering verholpen kan worden. Een calamiteit is een onverwachte gebeurtenis die niet binnen de normale bedrijfsvoering verholpen kan worden en mogelijke gevolgen heeft voor de omgeving en/of tot schade leidt. De drinkwatersector gebruikt het woord storing om falen aan te duiden.

Verkenning relevante faalmechanismen

Op basis van de beschikbare informatie over de leiding en het gebruik daarvan kunt u bepalen welke faalmechanismen relevant zijn. Hierbij kijkt u naar processen die er voor kunnen zorgen dat niet meer wordt voldaan aan de basis functionele eisen. Dit zijn bijvoorbeeld afname van wanddikte, materiaalveroudering en zetting. Zetting kan een belangrijke voorspellende indicator voor falen zijn. Een eerste indruk van de zettingsgevoeligheid kunt u verkrijgen door gegevens over zetting van het maaiveld te analyseren, bijvoorbeeld aan de hand van historische kaarten of satellietbeelden. Via de website <https://bodemdalingskaart.nl> kunt u de zetting sinds januari 2015 volgen.

U moet vervolgens wel controleren of de zetting van het maaiveld overeenkomt met de zetting van de persleiding. Bij onderheide leidingen zal dit niet het geval zijn en in de loop van de tijd kan ook sprake zijn geweest van ophoging van het maaiveld.

2.2.3 Invulformulier voor fase 1

Om de stappen in fase 1 gestructureerd te doorlopen, is een Excel-invulformulier gemaakt (zie bijlage 1). Gekozen is om de lijst per hydraulische eenheid in te vullen. Elke hydraulische eenheid is gedefinieerd als een (deel)traject waarin het debiet niet verandert. Andere manieren om een persleiding in te delen (op basis van inrichting/functie maaiveld of materiaal/diameter) leidt tot een onwerkbaar aantal delen.

Het invulformulier omvat:

1. Functionele eisen, met daarin de onderdelen:

- a) Algemeen leiding: tekstuele aanduiding leidingtracé.
- b) Functie leiding: keuze uit transportleiding, overstortbemaling, reserveleiding, loze leiding, bijzonderheden type afvalwater.
- c) Hydraulische kengetallen: debietranges met bijbehorende wrijvingsverliezen, minimale en maximale drukhoogten, mogelijke leegstand (bij dijkovergangen, overstortbemalingsleidingen).
- d) Hydraulische aspecten: waterslagberekeningen, gevoelige locaties waterslag, spat-/trekkrachten in bochten en aansluitingen, aanwezigheid lucht in leiding tijdens normale bedrijfsvoering, inclusief locaties.

2. Kenmerken leidingtracé, met daarin de onderdelen:

- a) Technische beschrijving leiding: overzichtstekening, aanlegjaar, renovatiejaar, materiaal, diameter, aanwezigheid bijzondere objecten, aanwezigheid voorzieningen voor inspectie, as-designed-, as-built- en as-is-tekeningen, opleveringsdossier, dossier materiaalkenmerken, ligging ten opzichte van andere infrastructuur (gasleidingen, trambanen, dijken), bodemopbouw en zettingsgevoeligheid, fundering persleiding, dossier grond- en leidingsterkteberekeningen, dossier inspectiegegevens.
- b) Technische eisen leiding: toelaatbaar lekdebiet, maximale druk, maximaal toelaatbare hydraulische weerstand, maximaal toelaatbaar energieverbruik, toelaatbare zetting.
- c) Omgevingsaspecten/risico-indeling: NEN 3650 of NEN 3651 van toepassing, inventarisatie gebiedsfuncties, risicoklasse nabijgelegen infrastructuur, dossier vergunningen, beperkingen aan werkzaamheden door samenstelling grondwater/bodemgesteldheid of door overige infrastructuur/gebouwen.
- d) Aanwezigheid calamiteitenplan, alternatieven voor overname functie, externe risico-inventarisatie beschikbaar.
- e) Faalhistorie: aanwezigheid dossier falen leiding, vastgelegde incidenten, incidenten vergelijkbare leidingen elders in beheergebied.

Op basis van de informatie die u met behulp van het invulformulier in deze twee categorieën verzamelt, kunt u bepalen welke faalmechanismen redelijkerwijs te verwachten zijn voor de betreffende leiding. Desgewenst kunt u ook rekenregels (CAPWAT [link: <https://publicwiki.deltares.nl/spaces/CAPWAT/pages/4522016/Handboek+Hydraulisch+Ontwerp+en+Beheer+Afvalwaterpersleidingen>]) of het faalkansmodel persleidingen [link: <https://publicwiki.deltares.nl/spaces/TKIP/pages/176718786/DEL131+-+Faalkansmodel+voor+asset+management+van+persleidingen+fase+2>]) gebruiken om te bepalen of bepaalde faalmechanismen redelijkerwijs te verwachten zijn.

2.3 Analyse resultaten: overwegen inspectie

Na de inventarisatie besluit u of u het nodig vindt om de leiding te onderzoeken op het basisniveau. Hierbij moet u de kosten, baten en risico's afwegen. Aspecten die daarbij een rol spelen, zijn:

- kosten onderzoek/inspectie;
- kosten faalgebeurtenissen ontstaan door onderzoek;
- kosten procesbeïnvloeding (bijvoorbeeld stilzetten pompen);
- levensduurverlenging leiding;
- reductie kans op 'klappen' leiding.

Tabel 2.1 geeft voor de onderzoeken op het niveau 'basis' een voorbeeld hoe deze aspecten scoren voor een leiding met een diameter van 800 mm, circa 2 km lengte en een vervangingswaarde van € 4,8 miljoen. Zo kunt u bepalen of de inspectiekosten opwegen tegen de baten.

Tabel 2.1
Criteria inspectie
op niveau 'basis'

Onderzoeks-aspect	Activiteit	Indicatie kostprijs	Kosten schade en gevolg	Kosten risico proces-beïnvloeding	Meerwaarde aanvullend inzicht ter beperking faalrisico
Lekkage	Infrarood scan uit de lucht met drone	€ 1.500-15.000	0	0	Klein: alleen grote lekken zijn zichtbaar via infrarood van het maaiveld
	Afpersen leiding en bepalen lekdebiët	€ 7.500-15.000	Kleine verhoogde kans	Kan lang duren om stabiele meting te krijgen	Groot: levert inzicht of leiding niet lekt
Sterkte	Afpersen-drukproef	€ 7.500-15.000	Kleine verhoogde kans	Leiding kan bezwijken	Groot: levert of de leiding in staat is de ontwerpdruk te weerstaan
Hydraulisch functioneren	Hydraulische weerstand meten	≤ € 1.500 bij aanwezigheid sensoren persdruk en debiet	0	0	Aandacht voor hydraulisch functioneren zorgt voor kleinere kans op te hoge belastingen

2.4 Fase 2: Basis

Op het basisniveau zet u onderzoeksmethoden in om vast te stellen of de leiding nog voldoet aan de functionele eisen.

Lekkage

Het nalopen van het tracé en visueel inspecteren van veranderingen in het maaiveld kunnen een indicatie geven van lekkage. Ook een infrarood scan met een drone of vanaf het maaiveld kan inzicht geven in significante lekkage.

Een meer directe methode is een waterdichtheidstest of lekkagetest. Hierbij zet u een gevulde leiding op beperkte waterdruk en meet u gedurende enige tijd ofwel het drukverlies ofwel het benodigde volume om de druk te handhaven. NEN 1610, NEN 3650 en NEN 805 geven bij beproeving van persleidingen op waterdichtheid meerdere mogelijkheden en gedetailleerde voorschriften. Voor de waterdichtheidstest heeft u een voorziening nodig om de druk te meten, de leiding op druk te houden en eventueel bij te vullen.

Voorbeeld

Stel, een leiding die valt onder NEN EN 1610 van 1 km met een diameter van 1 meter mag circa 1 m³/uur (0,25 l/s) aan lekvolume hebben. Dit komt in orde van grootte overeen met een rond gat met een diameter < 1 cm. Indien dezelfde leiding valt onder NEN-EN 3650-4 mag het lekverlies 0,3 l/uur bedragen. Een dergelijk lekverlies is wel aan te tonen met een waterdichtheidstest, maar is vervolgens vrijwel niet op te sporen met gangbare technieken.

Bij een groter lekdebiet dan het gewenste niveau is - afhankelijk van het gewenste risico- en prestatieniveau - verder onderzoek nodig om het lek op te sporen. Bij heel lange en grote leidingen bestaat de kans dat maar enkele voegen of breuken een probleem vormen. Dan loont het wellicht de moeite het tracé in segmenten te beproeven.

De waterdichtheidstest zou u met enige regelmaat kunnen uitvoeren. Dan is dit een indicator voor het risico op uitspoelen van de bodem rondom de leiding (stabiliteit grond) en is wellicht ook een trendanalyse mogelijk.

Sterkte

Om de constructieve sterkte te controleren, is het afpersen een geschikte basismethode die een duidelijk resultaat geeft zonder de theoretische aannames die wel noodzakelijk zijn om uit resterende wanddikte de reststerkte te bepalen. Uitgangspunten hierbij zijn dat u de leiding moet kunnen belasten conform de specificaties en u veiligheidsmaatregelen treft. Denkt u daarbij aan het gereed hebben staan van materieel, materiaal en personeel om indien nodig reparaties te kunnen uitvoeren en eventueel aan het zorgen voor een alternatieve afvoerroute. Voor onderzoek naar sterkte zijn meerdere methoden voorhanden, de meest toegepaste zijn:

3. Het afpersen tot tussen 1,2 en 1,5 maal de werkdruk. Voor een beheerste persproef kunt u de druk stapsgewijs opvoeren.
4. Het testen met onderdruk ter grootte van de onderdruk waarop de leiding is gedimensioneerd. Bijvoorbeeld om gevolgen van pompuitslag op te vangen met daarop een marge van 0,5-1 mWk, afhankelijk van situatie en leidingmateriaal. Dit kan door een waterslagsituatie gecontroleerd te simuleren. Dit kan op een veilige manier door zeer stapsgewijs pompen steeds sneller te stoppen, hetgeen technisch eenvoudig mogelijk is bij pompen gestuurd met frequentieomvormers. Schakel bij deze testen een hydraulisch expert in.

Voer na de toetsing op sterkte bij voorkeur nogmaals een waterdichtheidstest uit om uit te sluiten dat door de test lekkage is ontstaan. De ervaring in de afgelopen jaren heeft geleerd dat maar weinig persleidingbeheerders een afpersproef aandurven. In de drinkwatersector is het tijdelijk verhogen van de bedrijfsdruk om het netwerk te testen wel een gebruikelijke beheermaatregel, zie bijvoorbeeld <https://www.pwn.nl/druktesten>.

Hydraulisch functioneren

Bij de analyse van de hydraulisch functioneren legt u de focus op de toename van de weerstand ten opzichte van de weerstand conform de specificaties. Dit is nauwkeurig mogelijk met behulp van een hydraulische berekening als u beschikt over metingen van de persdruk, de drukhoogte aan het eind van de leiding en debietmeting van het verpompte debiet. Een toename van het drukverlies over de leiding bij gelijk debiet of een afname van het debiet bij een gelijk drukverlies zijn indicaties van een toegenomen leidingweerstand.

Als u niet beschikt over een meting van de persdruk, dan kunt u een alternatieve, indirecte, rekenmethode gebruiken waarbij u de benodigde energie per verpompt volume berekent. Een toename van de benodigde energie per m³ verpompt volume kan duiden op een verhoogde leidingweerstand, maar ook op slijtage van de pomp. Het maken van dit onderscheid vergt enige expertise van hydraulisch functioneren en gemalen. De meting van de persdruk kunt u ook gebruiken om inzicht te krijgen in de in de praktijk optredende drukveranderingen, die kunnen leiden tot materiaalveroudering of breuk. De analyse van het hydraulisch functioneren kunt u ad hoc uitvoeren, maar het verdient aanbeveling om het hydraulisch functioneren automatisch en continu te monitoren om zo het functioneren van gemalen en persleidingen te bewaken en bij afwijkingen tijdig in te kunnen grijpen.

Bij een te sterk toegenomen leidingweerstand moet aanvullend onderzoek uitwijzen wat hiervan de oorzaak is. Bij aanwezigheid van drukopnemers en nauwkeurige debietmeters kunt u uit het pompregime (eventueel aangevuld met pompmanipulatie) afleiden of er sprake is van lucht of vervuiling in de leiding. Om luchtophoping in de leiding vast te stellen is het noodzakelijk dat de aanwezige sensoren ook zeer hoogfrequent kunnen meten, zie CAPWAT-handboek bijlage B. (zie Tukker et al)

2.5 Analyse resultaten: overwegen gerichte inspectie

Op basis van de inspectieresultaten op het basisniveau besluit u of gerichte inspecties op het verdiepingsniveau nodig zijn. Als u bijvoorbeeld lekkage hebt geconstateerd, kunt u met gericht onderzoek de locatie van het lek opsporen om het probleem te verhelpen. Net als bij het besluit tot inspectie op basisniveau moet u ook nu weer de kosten, baten en risico's afwegen. Dit is in deze fase extra belangrijk, omdat u bij de gerichte onderzoekstechnieken soms ook de leiding moet droogzetten. Hierdoor worden de kosten hoger en de risico's groter.

2.6 Fase 3: Verdieping

De onderzoeksmethoden die u kunt inzetten op het verdiepingsniveau zijn technieken die in de buis gericht zoeken naar relevante faalmechanismen. In veel gevallen zal u één of meerdere faalmechanismen als relevant beschouwen op basis van de inventarisatiefase en eventueel uitgevoerd onderzoek op niveau basis. Als er meerdere faalmechanismen relevant zijn, is het mogelijk dat u meerdere inspectietechnieken naast elkaar moet inzetten. Naast onderzoek naar de fysische faalmechanismen kunt u het onderzoek ook richten op het op orde krijgen van de beheergegevens (X,Y,Z, diameter, materiaal, historische reparaties).

De geschiktheid van een inspectietechniek hangt af van de systeemkenmerken, de relevante faalmechanismen en de praktische haalbaarheid van nadere inspectie. Bijlage 2 geeft een overzicht van momenteel inzetbare technieken met daarbij een beschrijving van het meetprincipe, de uitvoeringsmethode, de toepasbare leidingmaterialen, de vast te leggen faalmechanismen en parameters en de ervaringen.

Voor de uitvoeringsmethode bestaan in de praktijk de volgende opties:

- Inspectie van buiten de leiding. Met behulp van grondradar, 'aanprikken' van de leiding of inmeten van zakbakens kunt u van buitenaf inzicht krijgen in de ligging van de leiding.
- Inspectie van buiten de leiding nadat deze is vrijgegraven. Door een leiding vrij te graven is het mogelijk om lokale zetting te onderzoeken door de ligging van de leiding in te meten of pendelstukken te beoordelen. Ook kan een inspecteur bij een vrijgegraven leiding met behulp van rioolradar of ultrasone meting de gezonde wanddikte van beton of AC (Asbest Cement) bepalen. Het vrijgraven gebeurt alleen op een beperkt aantal locaties die vooraf als maatgevend of representatief zijn beoordeeld, waardoor de methode beperkt blijft tot een of enkele puntmetingen.
- Inspectie binnen tijdens (aangepaste) bedrijfsvoering. Een intelligente of smart pig of sensor in een bal (smartball) stroomt met het rioolwater (of desgewenst oppervlaktewater) mee door de leiding. Voor een smart pig moet de leiding daartoe wel vrij zijn van obstakels, zoals vlinderkleppen of grote diametervariaties. Voor de kleinere smartball vormen deze obstakels vaak geen probleem. Een smart pig is vaak uitgerust met een combinatie van verschillende meettechnieken. Bij toepassing van rioolwater als medium moet u eerst rioolwater opsparen om tijdens de gehele inspectie met een constant debiet te kunnen inspecteren. Bij persleidingen met een groot volume en een relatief klein 'eigen gebied' van het eindgemaal vraagt dit de nodige aandacht. De kosten van pigging zijn naast de directe inspectiekosten per meter leidinglengte afhankelijk van de aan- of afwezigheid van een lanceer- en opvangvoorziening en andere maatregelen die nodig zijn om inspectie mogelijk te maken. Een beperkt risico van piggen is dat de leiding lekt raakt doordat de pig de leiding bij een ver openstaande voeg of grote hoekverdraaiing net een extra belasting geeft die de leiding laat falen. Een ander beperkt risico is dat de pig klem komt te zitten. Dit risico is door voorafgaande reiniging met een reinigingspig flink te beperken.
- Inspectie in gevulde leiding zonder debiet. In een gevulde leiding is het mogelijk om met behulp van electro-scanning of hydrofoons lekkage op te sporen. Tevens kan de inspecteur met behulp van het ATU-systeem (Afzetting Traceer Unit-systeem), waarbij een druksensor door de persleiding wordt getrokken, de diepteligging van de leiding (de Z-coördinaat) inmeten.
- Inspectie in drooggezet systeem. In een droge leiding is het mogelijk om gebruik te maken van bekende technieken voor de inspectie van vrijvervalriolering, zoals video-inspectie vanaf een rijdende wagen waarmee de inspecteur alle visueel waarneembare defecten kan vaststellen, laser scanning voor het bepalen van de interne geometrie, een

infrarood camera voor het vastleggen van infiltratie en een hellingshoekmeter voor het vastleggen van de buishelling. Praktische voorwaarde is het droog kunnen zetten van de leiding en het beschikken over mangaten of rioolputten op relatief korte afstanden. Een risico van het droogzetten van een persleiding is dat de leiding door uitdroging van oud voegmateriaal, zoals lood en striktouw, lek raakt of dat de leiding lekt raakt bij het vullen en weer op druk brengen. Voor drooggezette gewapend betonnen leidingen is een electro-magnetische meting mogelijk om zo de wapening te inspecteren.

- Destructieve inspectie. Het opgraven, uitnemen en testen van een leidingdeel of boorkern geeft veel informatie over het specifieke leidingdeel. Voorafgaand aan vervanging is dit een goede methode om inzicht te krijgen in de conditie van de leidingen, mits u de representativiteit van het specifieke leidingdeel meeneemt. Vanzelfsprekend leidt destructieve inspectie tot verstoring van de bedrijfsvoering en, zoals iedere grondroering, tot een kans op falen door werkzaamheden.
- Uit veiligheidsoverwegingen zijn methoden om via persoonsinspectie mantoegankelijke leidingen te inspecteren niet opgenomen.

Bijkomende kosten

De kosten voor de inspectietechnieken zijn sterk afhankelijk van de bijkomende kosten:

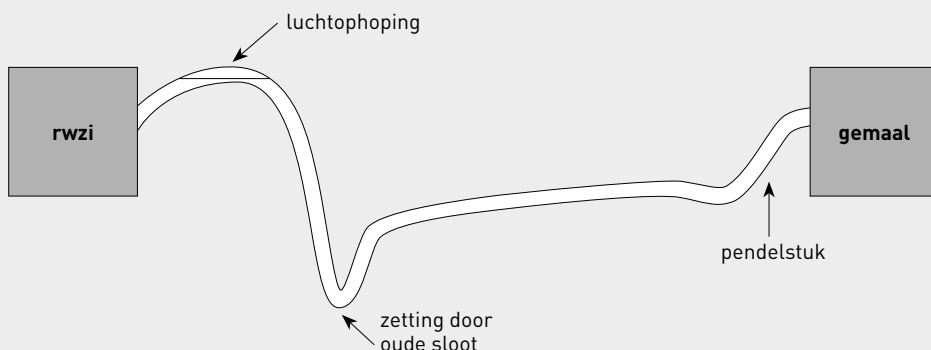
- Het maken van een installatie om te piggen of te inspecteren, kan € 25.000 tot wel € 125.000 kosten (en dus ongeveer € 10 tot € 250 per meter voor leidingen van 500 tot 2.500 meter). Elk extra inbrengpunt brengt extra kosten met zich mee.
- Het zorgen voor alternatieve afvoerroute van afvalwater kan voor een grote leiding met een groot debiet circa € 25.000 kosten (en dus ongeveer € 10 tot 50 per meter geïnspecteerde leiding voor leidingen van 500 tot 2.500 meter). Afhankelijk van de techniek is vooraf reinigen en/of droogzetten van de leiding noodzakelijk.

De uitvoeringsvormen, mogelijke technieken en te onderzoeken faalmechanismen geven een groot aantal combinatiemogelijkheden. In het kader staat een voorbeeld uitgewerkt van hoe u de keuze voor één of meerdere techniek(en) in de verdiepingsslag kunt maken.

Voorbeeld: inspectie persleiding

In figuur 2.2 ziet u de langsdoorsnede van een typische persleiding, Ø 800 mm, uitgevoerd in AC. Het gemaal is onderheid en de persleiding heeft een pendelstuk om het verwachte zettingsverschil tussen leiding en gemaal op te vangen. De leiding voert af naar de rwzi, op een hoog punt kan lucht zich ophopen. De inventarisatie en praktijkonderzoek op niveau 'basis' hebben laten zien dat:

- Duidelijk sprake is van luchtophoping;
- geen of nauwelijks sprake is van lekkage;
- er geen faalhistorie beschikbaar is;
- het maaiveld een zetting heeft van 50 cm.



Vraag: Welke inspectietechniek is van toepassing voor een verdiepingsslag?

Antwoord: Bij aanwezigheid van een piglanceerinstallatie ligt het voor de hand om te kiezen voor een intelligente pig met ultrasone meting voor wanddikte en voegwijdte gecombineerd met een meting van het langsprofiel (X, Y, Z). Een alternatieve aanpak bij afwezigheid van een piglanceerinstallatie is het uitvoeren van een meting van het hoogteprofiel met ATU en een externe ultrasone meting of rioolradar ter plaatse van de luchtophoping.

Figuur 2.2
Langsdoorsnede typische
persleiding

Technieken voor lekkage

Lekkage is op te sporen door gebruik te maken van technieken die in staat zijn om de aanwezigheid van een gat te bepalen of om de stroming door een gat waar te nemen. Technieken voor een leeggezette persleiding zijn visuele inspectie bij een leiding onder het grondwaterniveau, visuele inspectie voor gaten die groot genoeg zijn om visueel waar te nemen of met behulp van gas of rook als tracers. In een volle persleiding is dit theoretisch mogelijk door veel lokale waterdichtheidstesten te doen met behulp van een voegentester die steeds bijvoorbeeld 1 meter buislengte afperst. Praktisch gezien is het afpersen van een kleine leidinglengte met een voegentester vanwege de benodigde inzet alleen geschikt voor een beperkt aantal te onderzoeken locaties. Methodes die geschikt zijn voor langere leidingsecties zijn electro-scan. Dat berust op het in de bodem detecteren van het in de leiding aangebrachte elektrische veld zodra dit naar buiten ontsnapt via het lek. Of 'magnetic flux leakage', een vergelijkbare methode maar dan gebaseerd op een magnetisch veld in plaats van elektrisch veld. Andere methodes maken gebruik van het geluid dat rioolwater maakt dat via een gat naar buiten stroomt. Door dit geluid te meten is het mogelijk om gaten te detecteren en te lokaliseren. Deze techniek is onder meer toegepast in een bal die door de leiding rolt en in een intelligente pig.

Technieken voor sterkte

De te onderzoeken relevante parameters voor de sterkte van een leiding zijn de resterende, gezonde wanddikte, de aanwezigheid van scheuren, de kwaliteit van het leidingmateriaal en eventuele wapening zelf en de aanwezigheid van holtes in de bodem rondom de persleiding. Technieken voor bepaling van de sterkte zijn soms alleen geschikt voor een specifiek buismateriaal. De wanddikte is te bepalen op basis van een ultrasone meting, die vaak gemonteerd op een pig door de leiding wordt gevoerd. Deze methode is geschikt voor alle materialen. Voor beton en asbestcement (AC) is daarnaast de rioolradar beschikbaar, die de inspecteur van binnen of van buiten de leiding kan inzetten. Voor gietijzer en staal geven electro-magnetische metingen inzicht in de wanddikte en voor gewapend betonnen leidingen geven electro-magnetische metingen inzicht in de toestand van de wapening.

- In een drooggezette leiding kunt u met laser nauwkeurig de binnendiameter bepalen. Door deze te vergelijken met de oorspronkelijke diameter krijgt u ook een indruk van de resterende wanddikte. Voor een gevulde leiding kunt u sonar inzetten in plaats van laser.
- Video-inspectie is vooral geschikt om te zien waar aantasting optreedt. De grootste meerwaarde hierbij zit in het opsporen van plekken waar bijvoorbeeld een interne coating of lining kapot is.
- Het nemen van boorkernen of het opgraven en onderzoeken van een leidingsectie zijn destructieve technieken die goed inzicht geven in de kwaliteit van de leiding op een bepaalde plaats. Belangrijk hierbij is dat u het monster op een representatief en maatgevend punt laat nemen.
- De aanwezigheid van holtes in de bodem rondom de persleiding is vast te stellen met behulp van georadar vanuit de buis of vanaf het maaiveld.

Technieken voor hydraulisch functioneren

De drie meest voorkomende oorzaken van een toegenomen weerstand zijn sediment, lucht en wandruwheid. Ook een in het verleden uitgevoerde relining heeft invloed op de binnendiameter en daarmee op de hydraulisch functioneren. Sediment kunt u in een volle leiding met sonar opsporen en in een drooggezette leiding met visuele inspectie zonder voorafgaande reiniging. Een praktische, indirecte, methode is goed reinigen met pigs en daarna nogmaals meten of de weerstand is afgenomen.

Aanwezige lucht kunt u opsporen door bij het opstarten het pompgedrag te analyseren (zie CAPWAT-handboek (Tukker et al)).

Een eventuele toename van de wandruwheid door aantasting is met visuele inspectie te traceren.

Technieken voor zetting

De zetting bepaalt u door over het lengteprofiel de hoogteligging (Z-coördinaat) in te meten. Dit is in een drooggezette leiding mogelijk door toepassing van een hellingmeting op een videowagen. Dit is vooral geschikt voor leidingen die toegankelijk zijn voor visuele inspectie. De LPMH-methode (LangsProfielMeting met Hydrostatische druk), bestaande uit een druksensor die via een slang gekoppeld is aan een eigen vloeistofreservoir, kan nauwkeurig de hoogteligging van een droogstaande leiding meten over de lengte van de slang van 400 m. In een gevulde leiding is de ATU (Afzetting Traceer Unit)-meting toepasbaar. Bij deze methode voert u een druksensor aan een trekkabel over de bodem van de leiding en meet u de hoogteligging in. Een vergelijkbare meting is ook mogelijk door de druksensor op een intelligente pig te monteren. Met behulp van een gyroscoop is het ook mogelijk om tijdens het piggen de X, Y en Z-coördinaat vast te leggen. Omwille van de nauwkeurigheid is het wel noodzakelijk om op relatief korte afstanden (50 m) referentiepunten aan te brengen.

Het is ook mogelijk om de effecten van zetting te onderzoeken in plaats van de zetting zelf. Ongelijke zetting resulteert in een grotere voegwijdte en/of hoekverdraaiing. De voegwijdte en hoekverdraaiing zijn in een droogstaande leiding te bepalen met visuele inspectie en in een gevulde leiding met een ultrasone meting. De verticale hoekverdraaiing kunt u ook afleiden uit de ingemeten hoogteligging.

2.6.1. Slimme pig

In de praktijk is sinds 2019 een tendens waarneembaar waarbij persleidingbeheerders de inventarisatiefase en onderzoek op niveau 'basis' overslaan en direct kiezen voor een 'slimme' pig. Een 'slimme' of 'intelligente' pig, soms ook aangeduid als In Line Inspectietools (ILI), is doorgaans uitgerust met diverse sensoren. De slimme pigs kennen een grote diversiteit in verschijningsvormen, variërend van een pig (Acquarius), een rollende bal (Smartball), een vrij zwemmende inspectie-unit (PipeDiver) tot een drijvende inspectie-unit (Pipe-inspector). De verschijningsvorm is bepalend voor de mate waarin de inspectieapparatuur hindernissen zoals stijgende leidingen, veranderende diameters en vlinderkleppen kan passeren, terwijl de toegepaste sensoren bepalend zijn voor de geschiktheid voor een type buismateriaal en bijbehorende faalmechanismen.

Een slimme pig beschikt over een combinatie van technieken en kan op die manier, afhankelijk van het materiaal van de leiding, inspectiedata opleveren die relevant is voor meerdere faalmechanismen uit figuur 1.1. Een slimme pig kan ook bijdragen aan het verbeteren van de beheerdata door de X, Y en Z ligging te bepalen, mits de vereiste nauwkeurigheid wordt gehaald. Deze tendens is het sterkst bij waterschappen, waar doorgaans relatief lange persleidingen aanwezig zijn en in een deel van de systemen ook piglanceerinrichtingen voorzien is. Bij lange leidingen is de aanleg van piglanceerinrichtingen al snel kosteneffectief, terwijl dit bij korte leidingen (tot 1 km), die juist relatief veel voorkomen bij gemeenten, soms leidt tot extreem hoge inspectiekosten uitgedrukt in totale kosten per meter leiding.

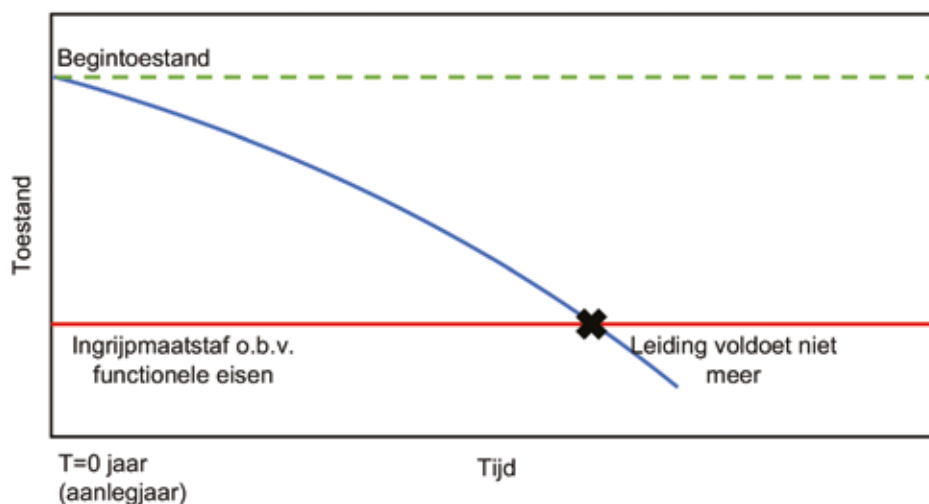
Voorafgaand aan een inline inspectie moet u gegevens verzamelen voor de voorbereiding op de inspectie door de uitvoerders. De inventarisatie van leidingkenmerken komt grotendeels overeen met de voor fase 1 benodigde inventarisatie en u kunt aangeven welke aspecten behorende bij een specifiek faalmechanisme meegenomen moeten worden.

Slimme pigs kunnen worden ingezet voor onder meer het bepalen van leidingkenmerken, XYZ-coördinaten, de aanwezigheid van lekkage boven de detectiegrens, de effecten van aantasting en de effecten van zetting. De detectiegrens voor lekkage is mede afhankelijk van de druk in de leiding: hoe hoger de druk en daarmee het lekdebiet, hoe kleinere gaten gedetecteerd kunnen worden. Slimme pigs zijn, vanwege de voorafgaande reiniging, minder geschikt om het hydraulisch functioneren te onderzoeken. Wel kan de situatie na piggen worden gebruikt als 'schone' referentie om later op basis van debietmetingen te beoordelen of sprake is van een gereduceerde afvoercapaciteit door bijvoorbeeld vervuiling of luchtophoping.

2.7 Analyse resultaten: bepalen maatregelen

De gerichte inspecties bieden, in combinatie met de informatie uit fase Inventarisatie en fase Onderzoek niveau 'basis', informatie over de huidige conditie van de persleiding. Als de huidige toestand slechter is dan de ingrijpmaatstaf, dan is het noodzakelijk om maatregelen te treffen. In veel gevallen zal de huidige toestand zich ergens bevinden tussen de begintoestand en deze ingrijpmaatstaf, zie figuur 2.3. In dergelijke gevallen kunt u bepalen of het al doelmatig is om maatregelen te treffen door de restlevensduur in te schatten. Dit gebeurt voor het aspect 'sterkte' voor asbestcement (AC) en ongewapend beton vaak door de historische afname van de gezonde wanddikte in de tijd te extrapoleren naar de toekomst en zo te bepalen hoe lang de leiding nog mee kan. Voor gewapend betonnen leidingen is een risicoanalyse gangbaar, waarin een expert de actuele sterkte die volgt uit inspecties vergelijkt met de te verwachten belastingsomstandigheden. Voor het aspect 'zetting' geldt een vergelijkbare aanpak door voor pendelstukken te bepalen hoeveel ruimte voor zetting deze nog bieden. Voor beide aspecten geldt meestal de impliciete aanname dat de verslechtering van de conditie lineair is in de tijd, hetgeen niet altijd het geval is. Voor andere aspecten, zoals hoekverdraaiing of voegwijdte, is een dergelijke analyse meestal pas mogelijk nadat 2 inspecties met een interval van ten minste 10 jaar zijn uitgevoerd, aangezien de initiële toestand bij aanleg meestal niet is vastgelegd. U kunt ook de resultaten van de inspectie analyseren met behulp van het faalkansmodel persleidingen, waarmee u de snelheid van de verouderingsprocessen in beeld kunt krijgen en daarmee een uitspraak kunt doen over de restlevensduur.

Figuur 2.3
Schematisch verloop
veroudering persleiding van
begintoestand tot einde
levensduur



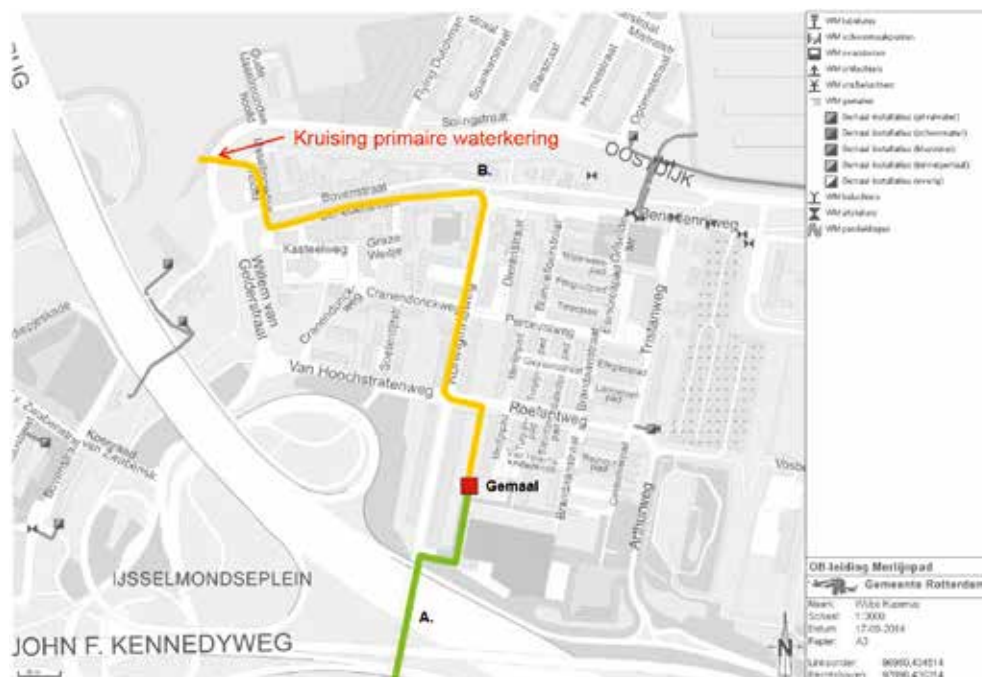
3 Praktijkvoorbeelden fase 1 (Inventarisatie)

De vier beheerders die nauw betrokken zijn geweest bij het opstellen van het stappenplan, hebben ieder twee cases aangedragen om de aanpak voor fase 1 te testen en evalueren. Vier van deze cases zijn reeds opgenomen in de vorige versie van deze handreiking (RIONED/STOWA 2018-22). In de afgelopen jaren zijn verschillende andere beheerders ook aan de slag gegaan met het stappenplan. Een daarvan is Vlaardingen, waarvan een casus is toegevoegd aan dit hoofdstuk.

3.1 Case I: Rotterdam – Persleidingstracé gemaal 29, Merlijnpad

Figuur 3.1 toont de ligging van gemaal Merlijnpad in Rotterdam. Dit gemaal voert via persleiding A af naar rwzi Dokhaven via rioolgebied 36. Tijdens hevige neerslag en bij problemen benedenstrooms van persleiding A voert dit gemaal ook rechtstreeks af naar de Nieuwe Maas via de overstortleiding, ofwel de OB-leiding (overstortbemaling). De OB-leiding is voor Rotterdam cruciaal om in de stad droge voeten te houden en het binnendijs overstortende volume te beperken. De gemeente beheert zowel het gemaal als de leidingen en is verantwoordelijk voor de debietsturing.

De OB-leiding mondt onder water uit in de Nieuwe Maas. Aangezien dit waterpeil fluctueert met het getij, is de leiding bij de dijk kruising voorzien van be- en ontluchters. De OB-leiding staat daarbij deels droog.



Figuur 3.1 Plattegrond met persleidingstracé gemaal 29



Figuur 3.2 Luchtfoto gebied met persleidingstracé gemaal 29

3.1.1 Vertaalslag naar hydraulische eenheid

Het systeem bestaat uit twee persleidingen, in dit geval ging de interesse uit naar de OB-leiding. Deze overstortleiding kent geen andere inprickers en is daarmee voor het invulformulier te zien als hydraulische eenheid.

3.1.2 Functionele eisen

De OB-leiding moet 270 m³/h kunnen verwerken.

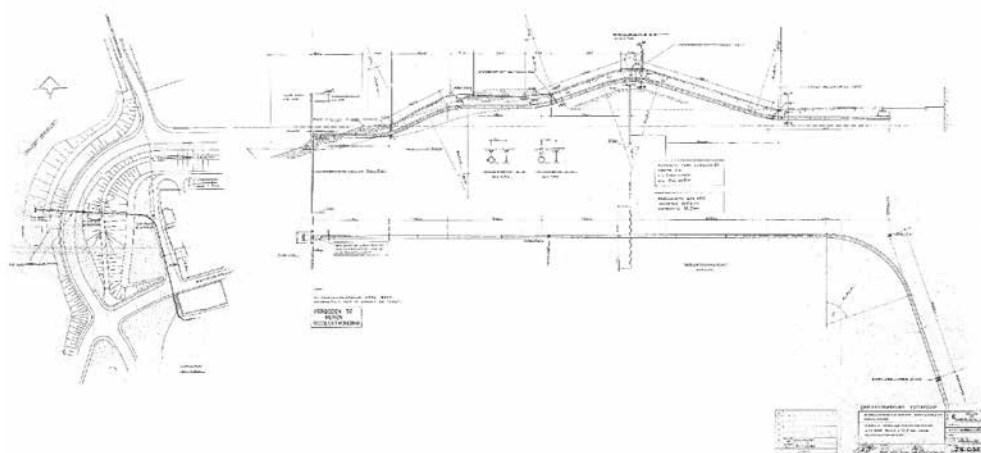
3.1.3 Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

De betonnen leiding is 800 m lang, heeft een diameter van 400 mm en is aangelegd in 1940. Bijzonder is de kruising met een primaire waterkering. Dit deel van de leiding is van staal, 100 meter lang en aangelegd in 1980.

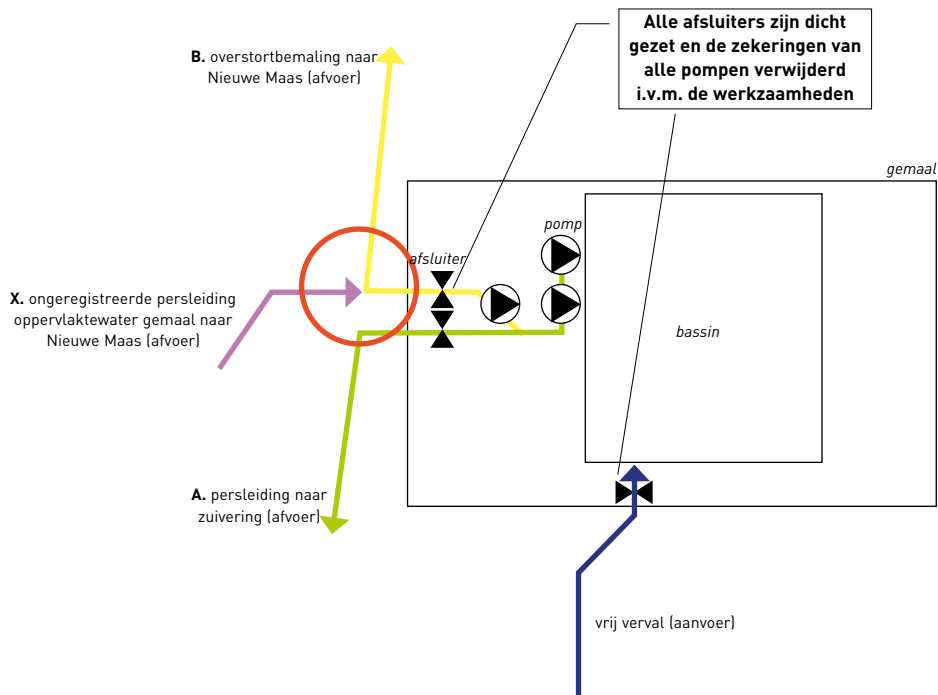
De gegevens die over de leiding beschikbaar zijn, staan in een digitaal dossier. De beheerder kan in dit dossier per locatie inzoomen, waarna de onderliggende revisietekeningen beschikbaar komen (zie figuur 3.3). De leiding heeft nauwelijks dynamische opvoerhoogte en het gemaal moet vooral de statische opvoerhoogte overbruggen. De leiding kent relatief lage waterdrukken.

Figuur 3.3
Voorbeeld technische
tekening uit digitaal dossier:
leiding bij dijk kruising

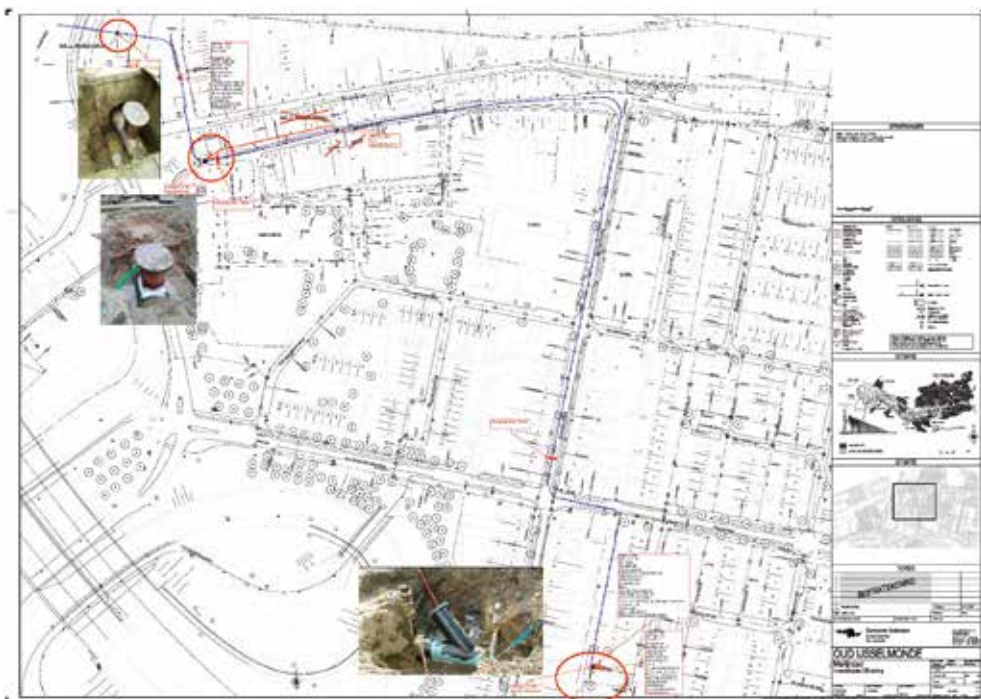


Nadat de beheerder alle relevante technische tekeningen en dossiers uit het archief had gehaald, heeft hij de leiding in 2012 met een videocamera laten inspecteren. Hiervoor zijn voorzieningen aangebracht om de leiding toegankelijk te maken. De video-inspectie vond plaats in het binnendijkse deel van de leiding. Inclusief alle maatregelen heeft de inspectie € 115.000 gekost voor 400 m. Hiervan is een belangrijk deel besteed aan het toegankelijk maken van de leiding.

De inspectie zelf heeft geen bijzonderheden opgeleverd. Wel kwam toevallig naar voren dat nog een leiding van het waterschap was aangesloten op de overstortleiding (zie figuur 3.4). Het ging hier om een afvoerleiding van een oppervlaktewatergemaal van het waterschap, die niet op tekening stond. De aannemer ontdekte de leiding na de inspectie. Bij het weghalen van zijn materieel hoorde hij ineens ergens water vallen en de persleiding liep snel vol, terwijl het rioolgemaal niet in bedrijf was. Verder bleek dat de overgang van beton naar staal op een andere locatie zat dan de revisietekening aangaf (zie figuur 3.5). Het dossier uit het archief bleek deels onjuiste en achterhaalde gegevens te bevatten.



Figuur 3.4
Schematische tekening locatie
aangesloten leiding
oppervlaktewatergemaal



Figuur 3.5
Bijzonderheden uit dossier

Technische eisen

Niet beschikbaar.

Omgevingsaspecten

De leiding ligt in stedelijk gebied, maar niet in het centrum. Voor Rotterdam is dit een relatief kleine leiding. Voor de gemeente is vooral de dijkkruising erg belangrijk vanwege het overstromingsrisico.

Calamiteitenplan

De gemeente heeft een procesplan waarin verantwoordelijkheden zijn geregeld. Maar dit plan voorziet niet in een specifieke aanpak per leidingsectie. Voor deze leidingsectie zijn tijdens droog weer en beperkte neerslag alternatieve routes beschikbaar om het afvalwater via de vuilwaterleiding naar de rwzi af te voeren. Dit geldt uiteraard niet voor de tijdens de inspectie ontdekte afvoer van het oppervlaktewatergemaal van het waterschap. Het langdurig buiten bedrijf nemen voor inspectie zou hier tot problemen kunnen leiden. Bij hevige neerslag is het erg belangrijk dat de leiding zijn functie behoudt om droge voeten te houden.

Faalhistorie

Vrij snel na de inspectiewerkzaamheden was sprake van een leidingbreuk (zie de figuren 3.6 en 3.7). De leiding was gebroken nabij de overgang van staal naar beton, bij de teen van de dijk (zie figuur 3.8).

Figuur 3.6
Foto's gebroken persleiding:
buitenkant (links) en
binnenkant (rechts)



Figuur 3.7
Foto locatie breuk
persleiding: water op straat



Figuur 3.8
Locatie leidingbreuk en
materialen persleiding



3.1.4 Relevante faalmechanismen

- Lekkage: Erg belangrijk. In dit gebied kunnen door zetting voegverbindingen open komen te staan en het ongewapend beton kan scheuren/afbreken. Daarnaast is lekkage in het dijklichaam zeer ongewenst.
- Constructief bezwijken: Ja, vooral de betonnen leidingdelen.
- Verminderde hydraulische functionaliteit: Belangrijk. Een analyse van het hydraulisch functioneren is ook een goed hulpmiddel om te controleren of de leiding inderdaad geen onbekende aansluitingen heeft.
- Zetting: Zeer belangrijk, vooral nabij overgangen tussen grondlichamen, in dit geval de dijk. Na 20 tot 50 jaar kan zetting dusdanig zijn dat pendelstukken de zetting niet meer kunnen opvangen. Gezien de leeftijd van de leiding is dit dus inmiddels een aandachtspunt.

3.2 Case II: Rotterdam – Persleidingtracé Heemraadsingel

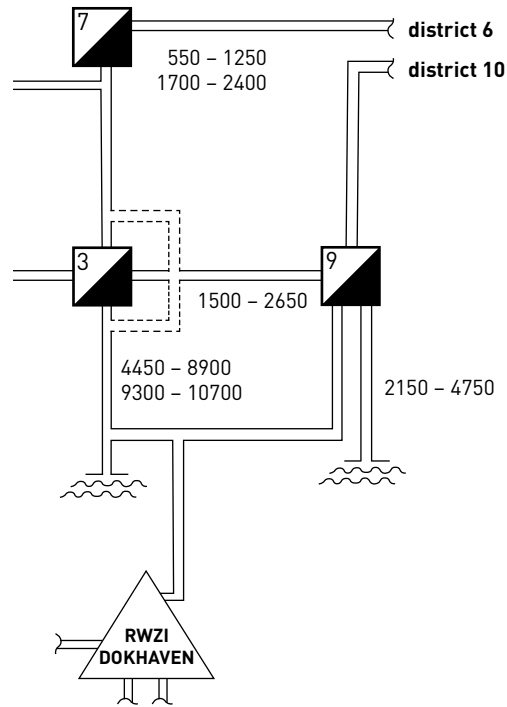
Figuur 3.9 toont de ligging van gemaal Heemraadsingel in Rotterdam. Dit gemaal voert via een persleiding rechtstreeks af naar rwzi Dokhaven. Het deel van de persleiding dat onder de Nieuwe Maas doorgaat, gebruikt de gemeente voor de afvoer van zowel gemaal Heemraadsingel als gemaal Westersingel. Samen zijn deze twee gemalen verantwoordelijk voor de afvoer van Rotterdam-Noord en daarmee is dit een relatief belangrijk leidingtracé. De gemeente beheert zowel het gemaal als de leidingen en is verantwoordelijk voor de debietsturing. Hierop is één uitzondering: de afvoer is stop te zetten als dat nodig is vanuit de procesvoering van rwzi Dokhaven.



Figuur 3.9 Ligging leidingtracé Heemraadsingel

Het systeem heeft meerdere mogelijkheden voor de bedrijfsvoering. Naast een grote range aan debietcombinaties zijn enkele bijzondere manieren van bedrijfsvoering mogelijk, bijvoorbeeld als gemaal 3 of 9 (tijdelijk) buiten werking is. Figuur 3.10 toont schematisch de verbindingen tussen de gemalen en de aanwezige directe lozingsmogelijkheden in de Nieuwe Maas.

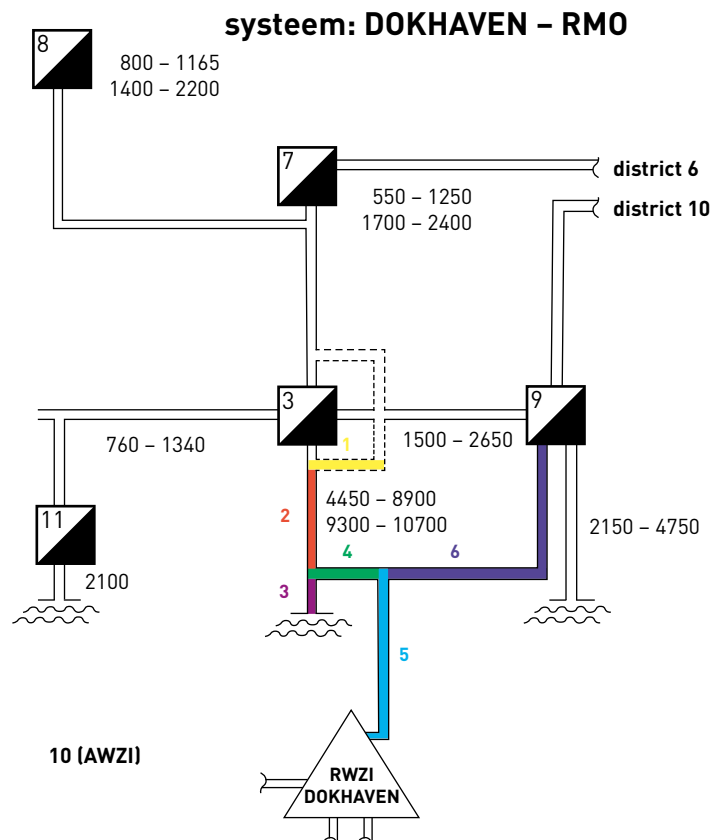
Figuur 3.10
Schematische weergave
mogelijke
routes afvalwater



3.2.1 Vertaalslag naar hydraulische eenheid

Het persleidingtracé is in zes hydraulische eenheden te verdelen (zie figuur 3.11). Per hydraulische eenheid kunnen bij een willekeurige bedrijfssituatie andere debieten optreden en hiermee samenhangend een andere belasting. Figuur 3.12 toont de ligging van hydraulische eenheid nummer 2, die in dit voorbeeld is uitgewerkt.

Figuur 3.11
Indeling in zes hydraulische
eenheden



In tabel 3.1 staan de kenmerken van de zes hydraulische eenheden.

Hydraulische eenheid	Debiet 1 min	Debiet 1 max	Debiet 2 min	Debiet 2 max
1: Bypass leiding gemaal	1.500	2.650	-	-
2: Leiding van gemaal 3 naar nooduitlaat	1.500	2.650	4.450	10.700
3: Leiding naar nooduitlaat	1.500	2.650	4.450	10.700
4: In lage debietrange twee richtingen mogelijk	1.500	2.650	4.450	10.700
5: Leiding onder Nieuwe Maas	0	9.693		
6: Leiding van gemaal 9 naar leiding onder Nieuwe Maas	0	1.600	2.000	4.000

Tabel 3.1
Kenmerken hydraulische
eenheden



Figuur 3.12
Ligging hydraulische
eenheid 2 (in rood)

3.2.2 Functionele eisen

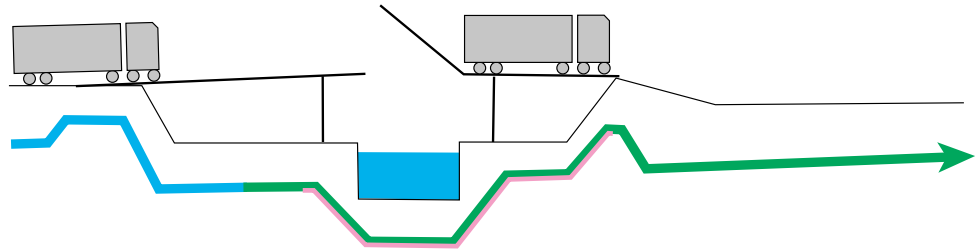
De leiding in hydraulische eenheid 2 moet debietranges kunnen verwerken tussen 4.450-10.700 m³/uur tijdens normale bedrijfsvoering en tussen 1.500-2.650 m³/uur bij bijzondere bedrijfsvoering. Vanwege de vele inprikkende en achterliggende gemalen (cascadesysteem) en rioolvreemd water is er altijd een stevige afvoer.

3.2.3 Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

De leiding in hydraulische eenheid 2 bestaat uit verschillende materialen en diameters. De leiding is bijna 2 km lang en stamt uit 1940, maar is deels vernieuwd. De delen uit 1940 zijn medio jaren 80 voorzien van aquaringen. De leiding moet vooral statische opvoerhoogten overbruggen en kent relatief lage waterdrukken. Na archiefonderzoek is een uitgebreid dossier met tekeningen beschikbaar (zie figuur 3.13).

Figuur 3.13
Tekening uit dossier



De tekening in figuur 3.13 laat een interessant leidingtracé zien. Wel en niet onderheide delen wisselen elkaar af. De leiding ligt boven de tunnelbak van de metro en heeft een doorgang onder het kanaal. Ook beschikt de leiding over mangaten en een be- en ontluuchter net boven de metrobak.

Bijzonder aan dit systeem zijn de be- en ontluuchters op meerdere plaatsen. Bij stilstand zorgen deze voor lucht in de leiding en bij falen kunnen deze zorgen voor hevelen van de leiding, waardoor bij hoge buitenwaterstanden water uit de rivier kan binnenstromen via deze leiding.

Technische eisen

Niet beschikbaar.

Omgevingsaspecten

De leiding loopt door grootstedelijk gebied met veel bijzondere infrastructuur: een kruising met een vaarweg waar de leiding nabij het bruggenhoofd ligt en een doorgang van drie dijken, waarvan één primaire waterkering. Daarnaast kruist de leiding een metrotunnel en vele kabels en andere leidingen. De gemeente vindt deze leiding vanwege de ligging en de afvoerfunctie zeer belangrijk.

Calamiteitenplan

De gemeente heeft een procesplan waarin verantwoordelijkheden zijn geregeld, maar dit moet zij op een aantal punten aanscherpen (zie de recente faalgebeurtenis hieronder bij 'Faalhistorie'). Belangrijke aandachtspunten zijn het moment van signalering aan de buitendienst en de beschikbaarheid van een dossier met informatie over de omgeving (leidingen, funderingswijze en bronneringsmogelijkheden).

Faalhistorie

Door zetting is de leiding bij de overgang van niet onderheid naar wel onderheid gebroken (zie de figuren 3.14 en 3.15). Dit is een vrij recente faalgebeurtenis op de overgang van gietijzeren elementen. Bij de gemeente zijn meerdere incidenten met dit type leiding bekend. In vrijwel alle gevallen was zetting de primaire oorzaak. Soms lag het ook aan de kwaliteit van de voegverbinding; door droogstand was het voegtuw uitgedroogd. De gietijzeren buis zelf is in geen enkele situatie bezweken.



Figuur 3.14
Locatie leidingbreuk in
grootstedelijke omgeving in
bruggenhoofd



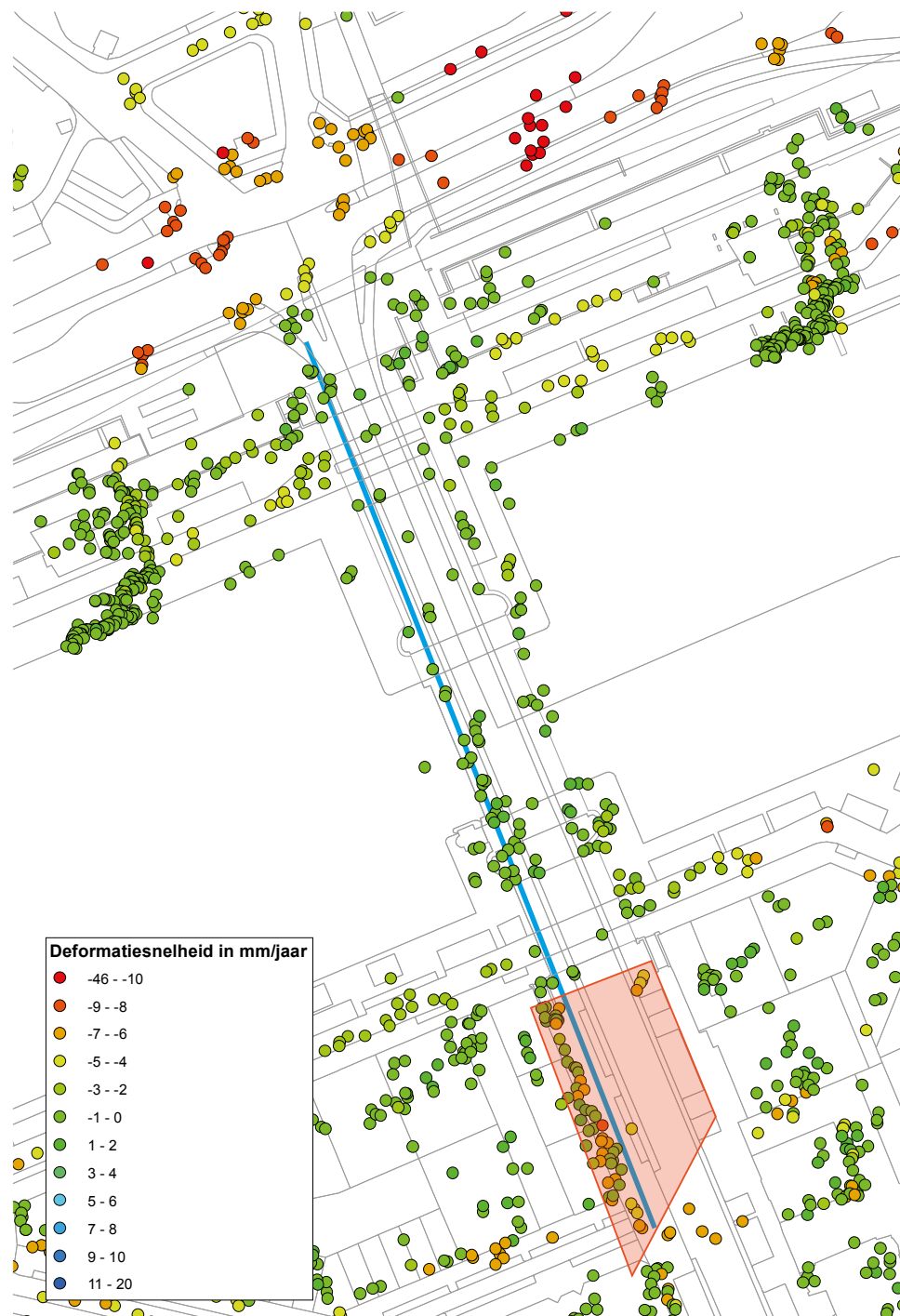
Figuur 3.15
Foto's lekkage leiding door
zetting

3.2.4 Relevante faalmechanismen

- Lekkage: Zeer belangrijk, door zetting gaan voegen steeds verder openstaan en lekkage door uitgedroogd voegmateriaal is een bekende oorzaak van historische faalgebeurtenissen.
- Constructief bezwijken: Belangrijk, controle op doorroesten van staal.
- Verminderde hydraulische functionaliteit: Belangrijk aspect, omdat het een indicator is voor faalmechanismen en er een groot verzorgingsgebied achter ligt met een grote impact. Maar een harde ingrijpmaatstaf op hydraulisch functioneren (druk en/of debiet en/of elektriciteitsverbruik) ontbreekt en door de grote range aan gebruikstoestanden vraagt deze analyse om serieuze inspanning.
- Zetting: Zeer belangrijk, omdat leidingen oud zijn, vooral bij overgangen/kruisingen met veel hoogteverschil en van wel naar niet onderheid (zie figuur 3.16).

In feite geldt voor deze leiding vanwege de ligging en functie: 'too big to fail' en is voorzorg gewenst.

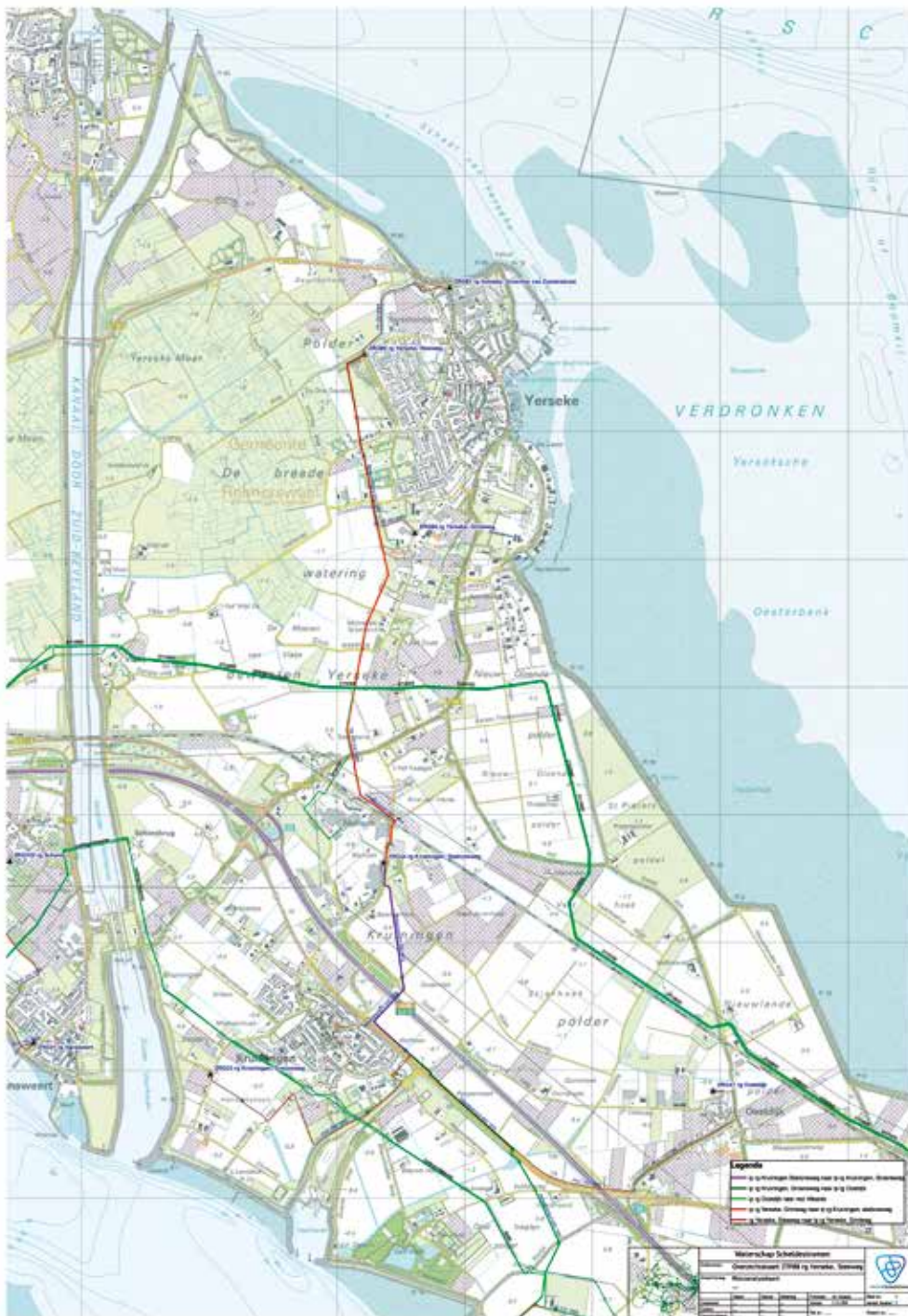
Figuur 3.16
Zettingskaart op basis van
satellietmetingen: leiding in
bruggenhoofd
bij overgang onderheid-
niet onderheid



De blauwe lijn in figuur 3.16 geeft globaal de ligging van de leiding aan. De oranje bolletjes in het rood gearceerd gebied laten zien dat het maaiveld is verzakt bij de leidingbreuk. Daarnaast is grote lokale zetting zichtbaar aan de noordzijde van het kanaal.

3.3 Case III: Yerseke

Figuur 3.17 toont de ligging van de persleiding voor de afvoer van afvalwater van Yerseke naar Kruiningen. De leiding voert zowel dwa als hwa af. Op het tracé prikken enkele rioolgemalen in. De leiding ligt over het algemeen in onbebouwd gebied, zodat falen niet direct leidt tot grote maatschappelijke schade. Deze leiding staat hiermee symbool voor een groot deel van de persleidingen in beheer bij waterschappen.



Figuur 3.17
Ligging persleiding Yerseke-
Kruiningen (rood)

3.3.1 Vertaalslag naar hydraulische eenheid

De leiding is in enkele hydraulische eenheden op te delen. Deze eenheden bestaan steeds uit een leidingtracé tussen twee inprikken in. De hydraulische eenheid die in dit voorbeeld is uitgewerkt, omvat het tracé tussen de aansluiting van rioolgemaal (RG) Grintweg tot RG Kruiningen, Stationsweg (zie figuur 3.18).

Figuur 3.18
Hydraulische eenheid in
leiding Yerseke-Kruiningen
(in rood)



3.3.2 Functionele eisen

De leiding moet theoretisch tussen de 745 en 795 m³/uur kunnen afvoeren bij een hydraulische wrijvingsweerstand van maximaal 7,3 mwk.

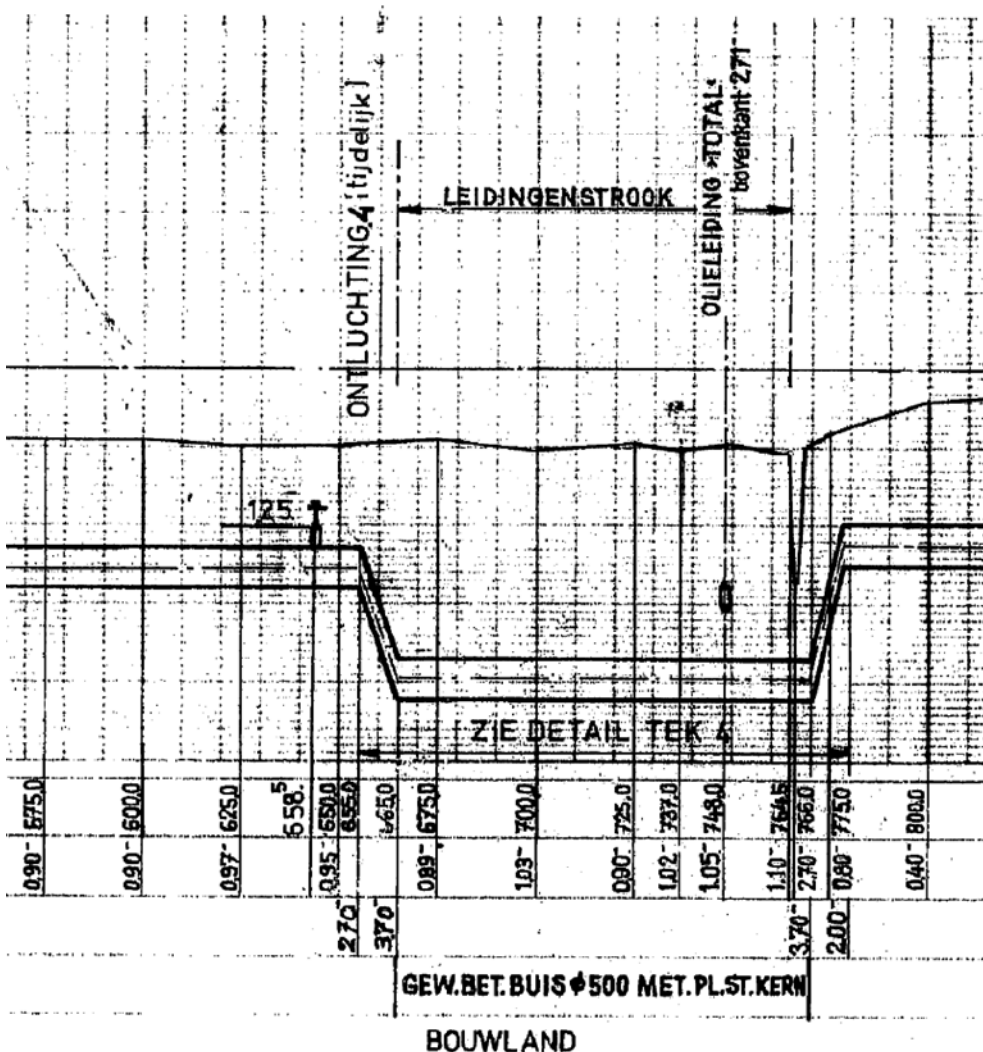
3.3.3 Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

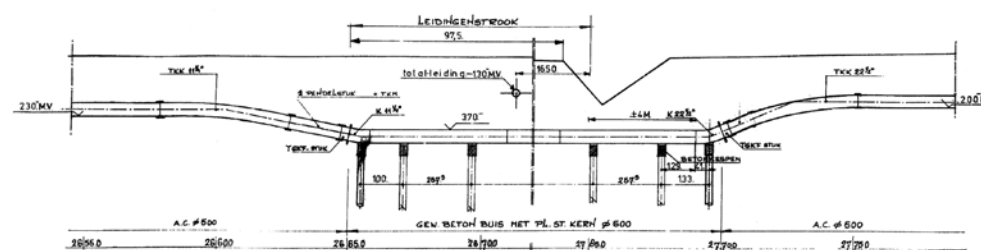
De persleiding is aangelegd in 1976, is ruim 3 km lang en heeft diameters tussen de 500 en 600 mm. De leiding is gemaakt van asbestcement (AC). Op bijzondere locaties (zoals onderdoorgangen bij leidingstroken) is gewapend beton met een plaatstalen kern toegepast. Daarnaast is de leiding lokaal onderheid (zie figuur 3.19). Een belangrijk element in deze leiding is de kruising met de spoorlijn.

In de praktijk heeft de leiding last van vervuiling en/of lucht, waardoor de beheerder regelmatig moet piggen. De maximale druk in het tracé is circa 23 m waterkolom.

Van deze leiding is een uitgebreid dossier met tekeningen van oplevering en revisie beschikbaar. Dit dossier is via een GIS-applicatie en een relatief eenvoudig te raadplegen database toegankelijk.



Figuur 3.19
Tekeningen uitvoering leiding
bij kruising leidingenstrook,
inclusief overgangen wel-niet
onderheid



Technische eisen

Niet beschikbaar. Wel is bekend dat de leiding bij oplevering afgeperst moest worden op 6 atmosfeer. Delen van de leiding zijn echter maar op 5 atmosfeer afgeperst vanwege praktische problemen bij de oplevering

Omgevingsaspecten

Voor deze leiding is een dossier met oude vergunningen beschikbaar. In een GIS-omgeving is inzichtelijk welke gebiedsfuncties en andere infrastructuur de leiding doorkruist. Belangrijke elementen zijn bijvoorbeeld de kabels- en leidingenstrook en de spoorlijn/verkeersweg.

Calamiteitenplan

Het waterschap beschikt over een calamiteitenplan, met daarin een draaiboek voor reparatie van de leiding. Zo moet de beheerder bij calamiteiten de afvoer per as of een tijdelijke pompinrichting (TPI) regelen. Het calamiteitenplan is gericht op de eigen taken van het waterschap, het voorziet niet in de te nemen acties bij een calamiteit bij andere infrastructuur.

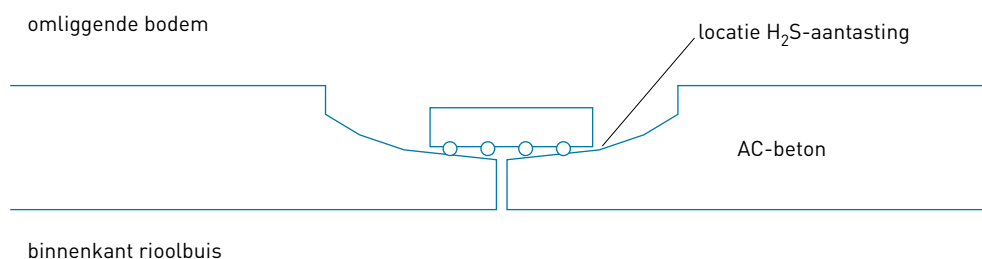
Faalhistorie

De leiding heeft nog niet gefaald. Wel is er ervaring met falen van andere AC-leidingen in dit gebied. Wellicht is het ontbreken van faalgebeurtenissen een gevolg van de strenge beproevingseisen tijdens de aanleg en oplevering, waardoor de leidingen van hoge kwaliteit zijn. Deze strenge eisen gelden bijvoorbeeld voor waterdichtheidstesten en trekvastheid van de verbinding.

3.3.4 Relevante faalmechanismen

- **Lekkage:** belangrijk. Bekend is dat bij AC of beton bij de verbindingen H_2S -aantasting kan plaatsvinden die niet van binnenuit zichtbaar is (zie figuur 3.20).
- **Constructief bezwijken:** Zeer belangrijk. AC of beton is gevoelig voor aantasting en het waterschap is beducht voor deze leiding vanwege de kruisingen met belangrijke infrastructuur.
- **Verminderde hydraulische functionaliteit:** Minder belangrijk. Deze leiding heeft een historie met capaciteitsproblemen door vuil/lucht en de beheerder heeft regelmatig gepigd. Een harde ingrijpmaatstaf op hydraulisch functioneren (druk en/of debiet en/of elektriciteitsverbruik) ontbreekt.
- **Zetting:** Onbelangrijk. Anders dan restzetting is zetting in dit gebied vermoedelijk een beperkt probleem.

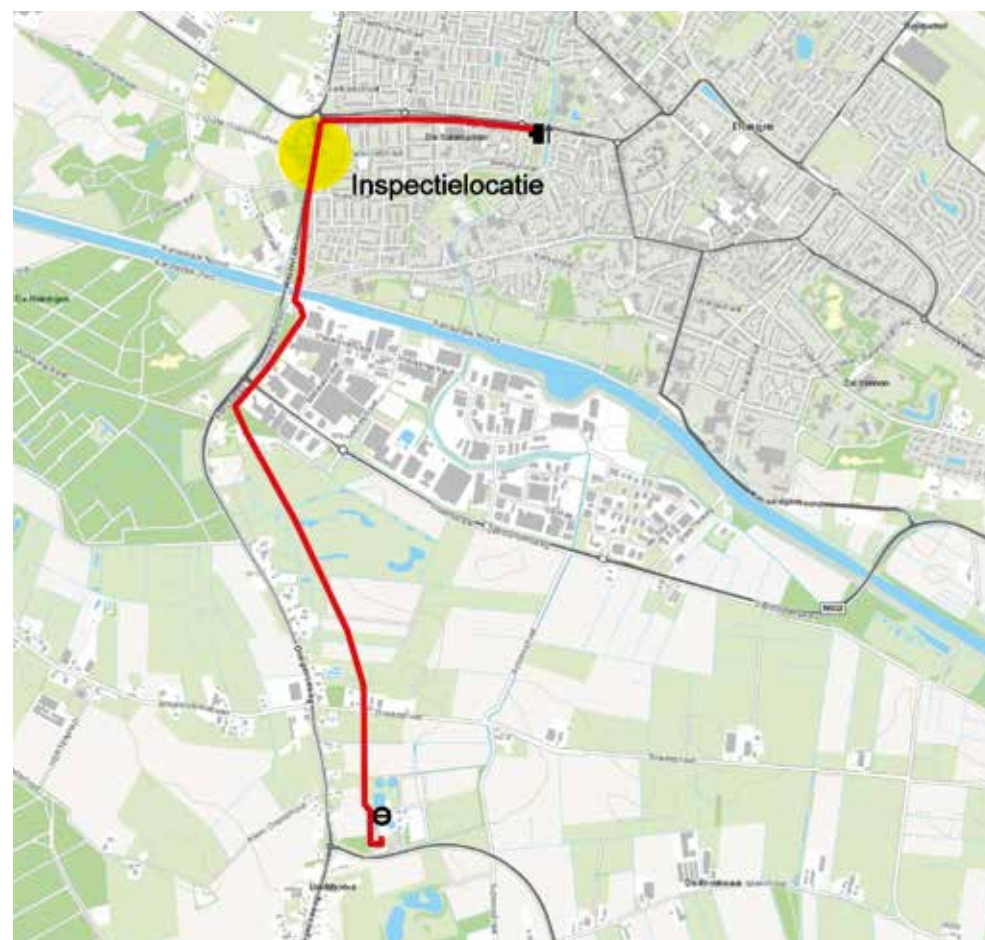
Figuur 3.20
Aantasting
door H_2S bij verbindingen
van AC-leidingen op voor
inspectie van binnenuit niet
zichtbare locatie.



3.4 Case IV: Persleiding Dongen naar rwzi Rijen

De persleiding Dongen-rwzi Rijen zorgt voor de afvoer van zowel dwa als hwa.

Figuur 3.21
Ligging persleiding Dongen



De gele stip in figuur 3.21 geeft de locatie aan waar in 2014 is geïnspecteerd.

3.4.1 Vertaalslag naar hydraulische eenheid

De persleiding is een echte transportleiding zonder inpijkkers en is daarom in zijn geheel als een hydraulische eenheid te beschouwen.

3.4.2 Functionele eisen

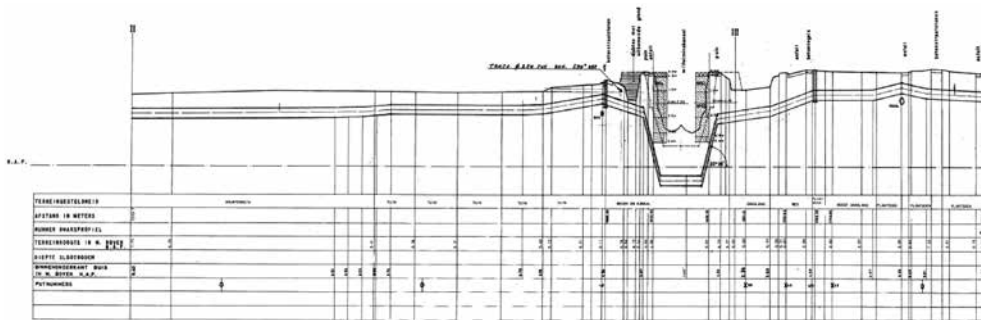
De maximale afvoer bij dwa bedraagt 720 m³/h en bij hwa 1.420 m³/h. Bij hwa mag hierbij maximaal 9 mwk aan wrijvingsverlies optreden.

3.4.3 Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

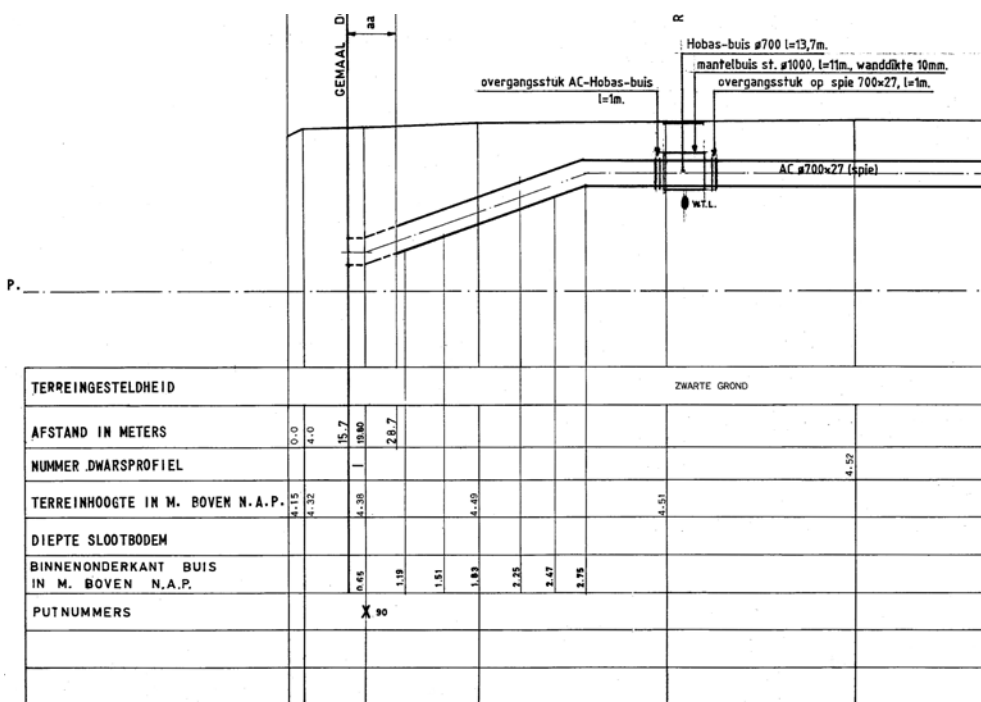
De leiding is van AC-beton en aangelegd in 1974. Het tracé is ongeveer 3,5 km lang, met een diameter van 700 mm. Bijzonder is de zinker onder het Wilhelminakanaal. Daarnaast heeft de beheerder de leiding in het verleden vaak gepigd om vervuiling te verwijderen. Dit is de laatste jaren niet veel meer gebeurd. De totale weerstand over de leiding is beperkt tot 10 mwk, maar door waterslag kunnen drukken tussen -7 en 38 mwk optreden.

Van deze leiding is een uitgebreid dossier met tekeningen beschikbaar. Deze zijn via GIS en een relatief eenvoudig te raadplegen database toegankelijk (zie figuur 3.22).



Figuur 3.22
Tekening ligging persleiding
Dongen

Door werkzaamheden is de leiding in 2014 buiten bedrijf geweest. De beheerder heeft deze mogelijkheid gebruikt om een deel van het tracé te inspecteren (zie figuur 3.21). Hierbij is de leiding visueel geïnspecteerd, zijn radarmetingen uitgevoerd op de restdikte van gezond materiaal, zijn boorkernen met een fenolthaleinetest beproefd en is een ring getest. De leiding bleek over het algemeen in goede staat, met enige materiaalveroudering en een beperkte infiltratie via een voeg. Deze infiltratie is waargenomen bij visuele inspectie in een droge leiding. Als de leiding in bedrijf is, treedt naar verwachting exfiltratie op.



Figuur 3.23
Detail overgang AC-GVK-buis

Technische eisen

Specifieke technische eisen zijn niet beschikbaar. Wel is bekend dat in het verleden een eis van 6 atm gold.

Omgevingsaspecten

De leiding ligt grotendeels in een buitengebied en kruist geen bijzondere infrastructuur, behalve bij het Wilhelminakanaal. Hierdoor zijn omgevingsaspecten niet relevant.

Calamiteitenplan

Het waterschap heeft een procesplan waarin verantwoordelijkheden zijn geregeld. Maar voor deze leiding bestaat geen specifiek plan.

Faalhistorie

De leiding heeft in februari 1999 gefaald door lekkage bij een voegverbinding (zie figuur 3.24).

Figuur 3.24
Foto's lekkage persleiding
Dongen in 1999



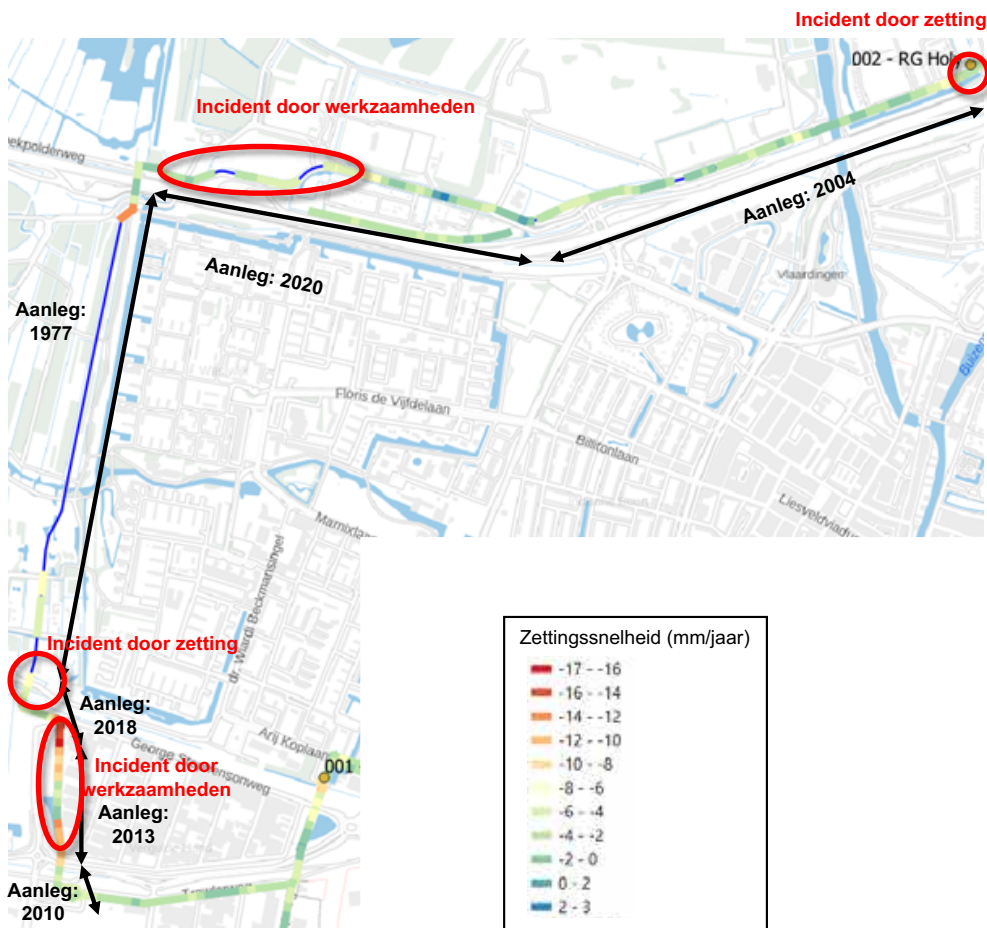
3.4.4 Relevante faalmechanismen

- Lekkage: Hiermee zijn in het verleden al problemen geweest en het is bekend dat (bij hogere leeftijd) de verbindingen niet altijd even betrouwbaar zijn. De visuele inspectie bevestigt dit beeld.
- Constructief bezwijken: Deze kans bestaat door mogelijke aantasting van het AC-beton.
- Verminderde hydraulische functionaliteit: Zeker, want in het verleden moest de beheerder de leiding regelmatig piggen. Desondanks ontbreekt een duidelijke ingrijpmaatstaf op hydraulisch functioneren (druk en/of debiet en/of elektriciteitsverbruik).
- Zetting: Niet, want in dit gebied is nauwelijks sprake van zetting.

3.5. Case V. Transportleiding Oost in Vlaardingen

Gemeente Vlaardingen heeft voor al haar grote persleidingen fase 1. Inventarisatie doorlopen. Deze paragraaf beschrijft de bevindingen voor één van deze leidingen. De ervaring van de beheerder is dat het stappenplan heel structurerend werkt bij het uitvoeren van de inventarisatie.

Figuur 3.25 toont de ligging van transportleiding Oost in Vlaardingen die zorgt voor de afvoer van dwa en hwa. Het tracé bevindt zich grotendeels buiten het stedelijk gebied van Vlaardingen. Gegevens over de zetting zijn niet dekkend aan de westkant van Vlaardingen, maar op basis van de grondslag wordt hier veel zetting verwacht.



Figuur 3.25. Ligging transportleiding Oost tezamen met de geprojecteerde zettingssnelheid en het aanlegjaar per leidingdeel. Op de met een rode lijn omgeven deeltrajecten hebben incidenten plaatsgevonden.

3.5.1. Vertaling naar hydraulisch eenheid

De persleiding is een echte transportleiding zonder inprickers en is daarom in zijn geheel als een hydraulische eenheid te beschouwen.

3.5.2 Functionele eisen

De twee dwa-pompen in het gemaal hebben elk een theoretische capaciteit van 1.390 m³/uur en hwa-pompen hebben beide een capaciteit van 1.900 m³/uur. Tijdens de capaciteitsmeting is de gemeten capaciteit onder dwa- en hwa-omstandigheden 1.272 m³/uur en 2.190 m³/uur respectievelijk. Analyses van de gemeten debieten tonen geen dalende trendlijn. Volgens de debietmeter is het gemiddeld maximaal debiet onder dwa-omstandigheden 2.520 m³/uur en 3.780 m³/uur onder hwa-omstandigheden.

3.5.3. Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

Deze 4.940 meter lange leiding met een diameter van 1.000 mm is aangelegd in 1977 en is in de afgelopen jaren op meerdere plekken deels vervangen (zie ook figuur 3.25). Aangezien niet alle speciale constructies, zoals zinkers (zie figuur 3.26), vervangen zijn, kent het leeftijdsbeeld van de leiding veel variatie. Het dossier voor de oorspronkelijke leiding is vrij compleet. De leiding is bij aanleg uitgevoerd in gewapend beton zonder coating waarbij gebruik is gemaakt van rubberringen als voegverbinding. In de sectie die is vervangen in 2004 is glasvezelversterkt kunststof (GVK) toegepast. Voor de overige vervangen secties zijn de toegepaste materialen onbekend. Door de beperkte beschikbaarheid van lengte-

profielen is het ook niet bekend of de leiding gedeeltelijk leeg staat wanneer de pompen niet ingeschakeld zijn. Wel blijkt uit het appendage-overzicht dat op verschillende plekken ontluchters zijn geplaatst en twee mangaten aanwezig zijn.

Figuur 3.26
Detail overgang bestaande zinker ter plaatse van de Vlaardingse Vaart. Volgens het beheersysteem is deze zinker vervangen, terwijl de tekeningen aangeven dat de leiding is behouden.



Tijdens werkzaamheden in 2013 (Koggehaven) en 2008 (nabij A20) is de leiding buiten bedrijf geweest. De beheerder heeft van deze mogelijkheid gebruik gemaakt om de leiding visueel te inspecteren. De detailinspecties zijn niet meer voorhanden. Het vGRP (2013) spreekt van veel hoekverdraaiingen door verzakking en in het vGRP (2019) staat dat in de buurt van de rotonde Koggehaven “is geconstateerd dat een deel van de uitgaande persleiding van rioolgemaal Oost niet voldeed aan de gestelde eisen”.

Technische eisen

Niet (meer) beschikbaar.

Omgevingsaspecten

Het tracé bevindt zich niet in dicht stedelijk gebied. In de nabijheid van de leiding bevinden zich andere belangrijke infrastructuren zoals een persleiding van het waterschap afkomstig uit Schiedam, verschillende gasleidingen en kabels. De leiding kruist de rijksweg A20 en de spoordijk van de Hoekse Lijn.

Calamiteitenplan

De gemeente heeft geen calamiteitenplan opgesteld voor deze leiding. Tijdens calamiteiten kan de afvoer via de noodpersleiding gebeuren, die in bemalingsgebied West loost. Het risico bestaat dat deze noodleiding wordt beschadigd bij een faalgebeurtenis met de reguliere leiding, aangezien deze vlak naast elkaar liggen. In dat geval is de noodverbinding richting Buizengat beschikbaar. De gemeente beschikt daarmee over de nodige redundantie voor de afvoer van rioolwater.

Faalhistorie

Deze leiding kent meerdere historische faalgebeurtenissen, waarvan de locaties in figuur 3.25 zijn weergegeven. Op twee locaties, waaronder direct naast het rioolgemaal, was zetting de primaire oorzaak van het falen. De twee overige gebeurtenissen vonden plaats tijdens werkzaamheden nabij de leiding. In een geval mogelijk als gevolg van slappe veengrond in combinatie met een wijziging in de waterspanning bij het uitvoeren van een gestuurde boring en in een ander geval was een scheur ontstaan tijdens graafwerkzaamheden naast de leiding.

3.5.4 Relevante faalmechanismen

- **Lekkage:** Bij het oudste deel van dit tracé kan veroudering van rubberringen leiden tot lekkage. Daarnaast kunnen voegverbindingen open gaan staan door zetting
- **Constructief bezwijken:** Deze kans bestaat door mogelijke aantasting van het beton.
- **Verminderde hydraulische functionaliteit:** Relevant aspect vanwege de omvang van het achterliggende gebied.
- **Zetting:** Zeer relevant. Tijdens inspecties zijn ernstige hoekverdraaiingen waargenomen en in het verleden hebben zich meerdere zetting gerelateerde faalgebeurtenissen voorgedaan

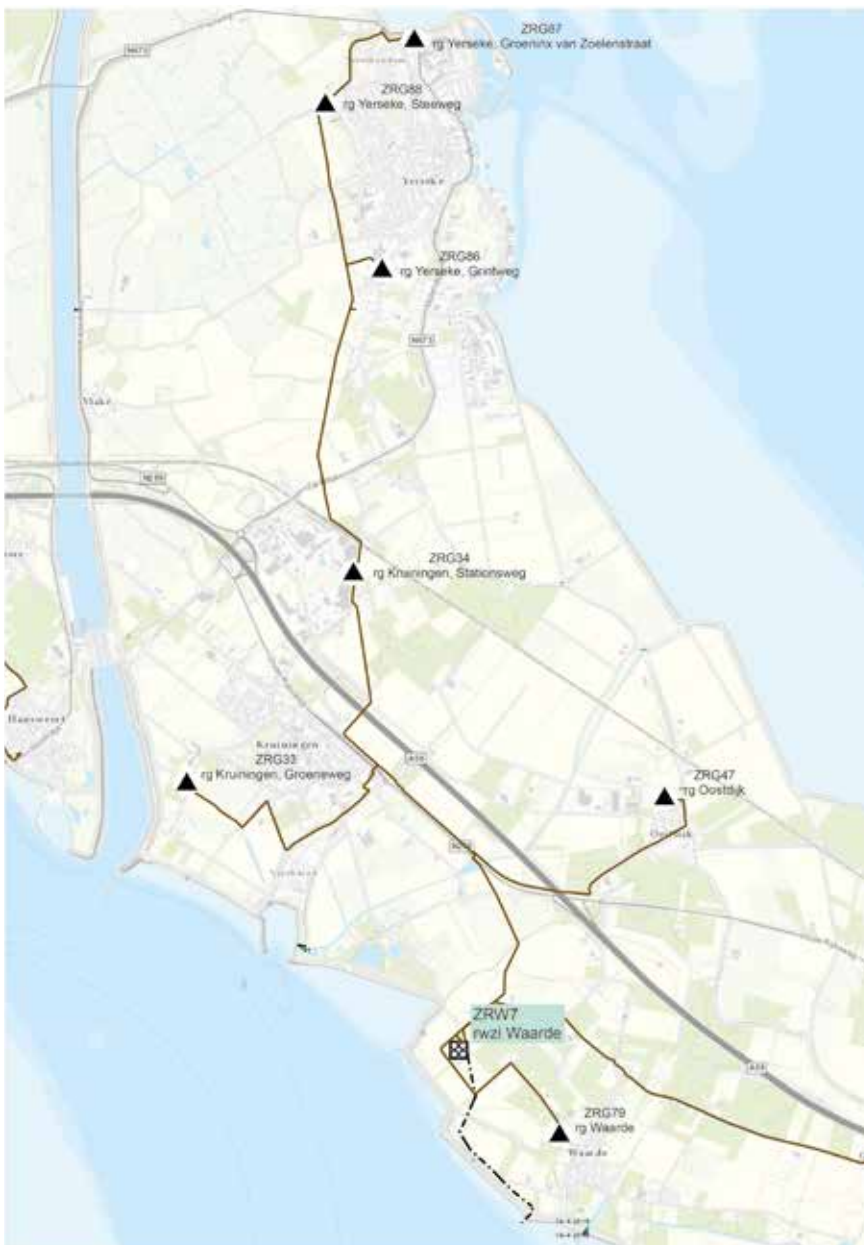
4 Praktijkvoorbeelden fase 2: Onderzoekniveau basis

Drie beheerders hebben bij de ontwikkeling van de methodiek Fase 2 Basis uit figuur 2.1 doorlopen voor vier leidingen. Een daarvan betreft de leiding uit Case III. Yerseke-Waarde, Case VI is afkomstig uit Rotterdam en case VII en VIII zijn twee leidingen van waterschap Brabantse Delta. Deze cases zijn ongewijzigd ten opzichte van de eerdere publicatie RIONED 2018-22. Gemeente Zwijndrecht heeft in 2021 Fase 1 van het stappenplan doorlopen en heeft op basis daarvan geconcludeerd dat verschilzetting het bepalende faalmechanisme was. Om dat te verifiëren heeft de gemeente als onderdeel van Fase 2 uit het stappenplan proefsleuven laten graven. Deze casus is toegevoegd in paragraaf 5.5.

4.1 Case III: Yerseke-Waarde, Fase 2

Bij het doorlopen van Fase 1 (zie paragraaf 3.3) is naar voren gekomen dat lekkage en constructief bezwijken voor deze leiding de relevante faalmechanismen zijn die nader onderzocht moeten worden. Waterschap Scheldestromen heeft in 2016 en 2017 lekdictheids- en sterktetesten uitgevoerd. Belangrijke aanleiding voor deze testen was de wens om via de leiding een hoger debiet af te voeren. De testen moesten uitwijzen of de leiding nog tegen de bijbehorende hogere werkdruk bestand is.

Deze paragraaf beschrijft de opzet en de bevindingen van deze testen. De testen zijn uitgevoerd op de gehele leiding en niet alleen op de hydraulische eenheid die is beschreven in case III. Fase 1. Figuur 4.1 geeft een overzicht van de gehele leiding.



Figuur 4.1
Ligging persleiding Yerseke-Waarde

4.1.1 Voorbereiding

Als voorbereiding op de testen is de leiding gereinigd met behulp van een foampig. Daarbij is vastgesteld dat geen lucht door de pig uit de leiding is geduwd, wat een indicatie is dat op dat moment niet veel lucht in de leiding zat.

Tevens zijn alle appendages zoals afsluiters en ontluchters opgezocht en nagekeken. Veel ontluchters bleken vol te zitten met vet, zodat reiniging noodzakelijk was. Daarnaast was het niet eenvoudig om alle afsluiters te lokaliseren en bleken sommige afsluiters in eerste instantie niet volledig af te sluiten.

Tenslotte is een afpersplan opgesteld, dat in detail beschrijft hoe de testen uitgevoerd moeten worden. De belangrijkste onderdelen van het afpersplan zijn navolgend beschreven.

Een praktische beperking vanuit de structuur van het afvalwatersysteem is dat de test alleen kan worden uitgevoerd tijdens droog weer en met een maximale duur van 8 uur.

4.1.2 Afpersplan

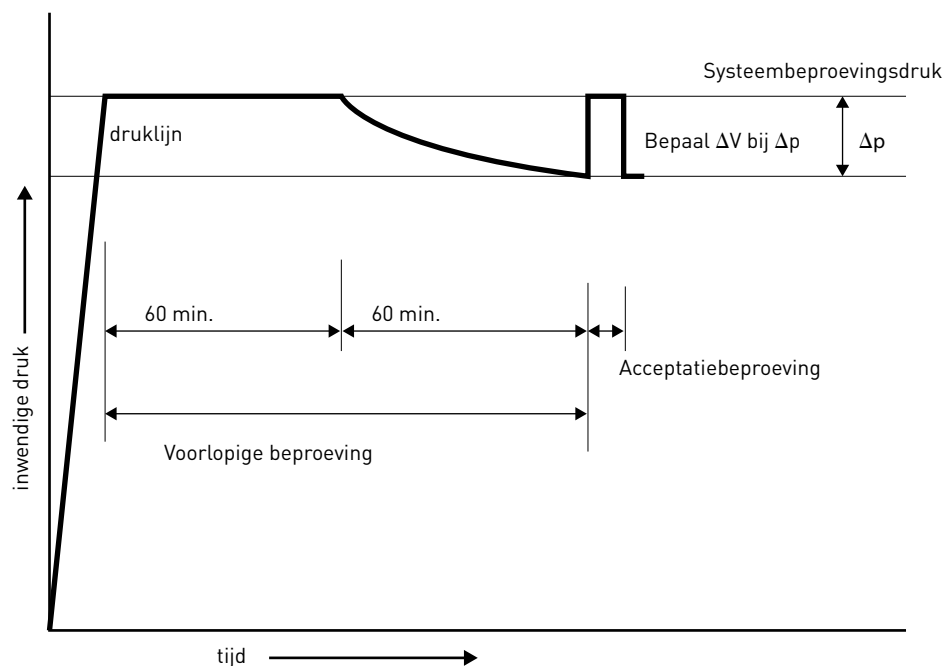
Voor aanvang van de test zijn de volgende acties ondernomen:

- Alle gemalen die op de leiding lozen laten uitschakelen door operator.
- Afsluiters dichtzetten door operator, ondersteund door aannemer. Via een stethoscoop is gecontroleerd of de afsluiters helemaal dicht waren.
- Afpersunit aansluiten op piglanceerpunt bij gemaal Yerseke Steeweg nadat eventueel aanwezige lucht afgelaten is. Controleren wat de invloed van de pomp op de drukmeter van de afpersunit is.
- Stabilisatiefase inzetten. Deze is bedoeld om de waterkolom in de leiding tot rust te brengen en eventueel achtergebleven lucht in het afvalwater op te lossen. Voor deze fase wordt minimaal 1 uur uitgetrokken. De druk wordt in deze fase opgevoerd naar de beproevingsdruk en constant gehouden door bij te pompen. Tijdens deze fase kunnen afsluiters gecontroleerd worden en eventueel nagetrokken.

Vervolgens zijn de testen uitgevoerd conform de testmethode uit figuur 4.2. In deze methode wordt de druk opgevoerd tot de beproevingsdruk. De beproevingsdruk wordt gedurende 1 uur gehandhaafd door indien nodig water bij te pompen. Na 1 uur wordt het bijpompen gestaakt en wordt de drukval gemeten. Aansluitend wordt de druk weer opgevoerd tot de beproevingsdruk, waarbij het bijgepompte volume wordt gemeten. Dit volume is het opgetreden lekverlies.

De sterktetest wordt uitgevoerd na een succesvolle test op dichtheid. De beproevingsdruk bij de dichtheidstest bedraagt 2 bar, de beproevingsdruk bij de sterktetest bedraagt 4 bar. Deze beproevingsdrukken komen overeen met de beproevingsdrukken bij de opleveringstest uit 1975.

Figuur 4.2
Testprotocol
leidingbeproeving

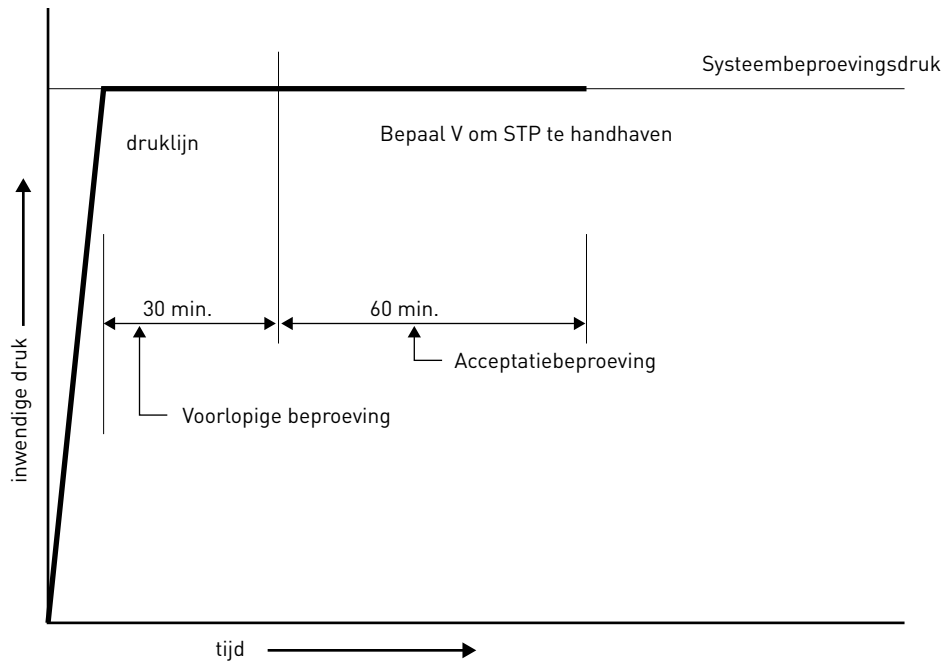


Belangrijk vraagstuk bij de lekdichtheidstest is het toegestane lekdebiet. Bij oplevering gold voor deze leiding een acceptabel lekdebiet van 50 l/h, wat in internationale literatuur overeenkomt met een erg klein lek. Deze eis is beduidend minder streng dan de eis conform NEN 3650-4, die voor deze leiding neer zou komen op 1,5 l/h. Het waterschap heeft voor deze leiding gesteld dat, gegeven de leeftijd, een lekdebiet van 100 l/h acceptabel is.

Voor de sterktetest geldt dat, als de leiding nieuw zou zijn, het drukverlies na een uur niet meer mag zijn dan 40 kPa, ofwel 0,4 Bar bij een testdruk van 4 Bar. Dit drukverlies, dat overeenkomt met de eis uit NEN 805, is als basis meegenomen in de test.

4.1.3 Resultaten

Het waterschap heeft op 3 oktober 2016 de eerste poging gedaan om de testen uit te voeren. De drukmeter was in de eerste poging aangesloten op dezelfde leiding als de pomp van de afpersunit. Tijdens de uitvoering van de test bleek dat de drukmeter te dicht bij de pomp van de afpersunit zat, waardoor de testprocedure zoals opgenomen in figuur 4.2 niet mogelijk bleek. Als alternatief is ingezet op de lekverliesmethode conform figuur 4.3.



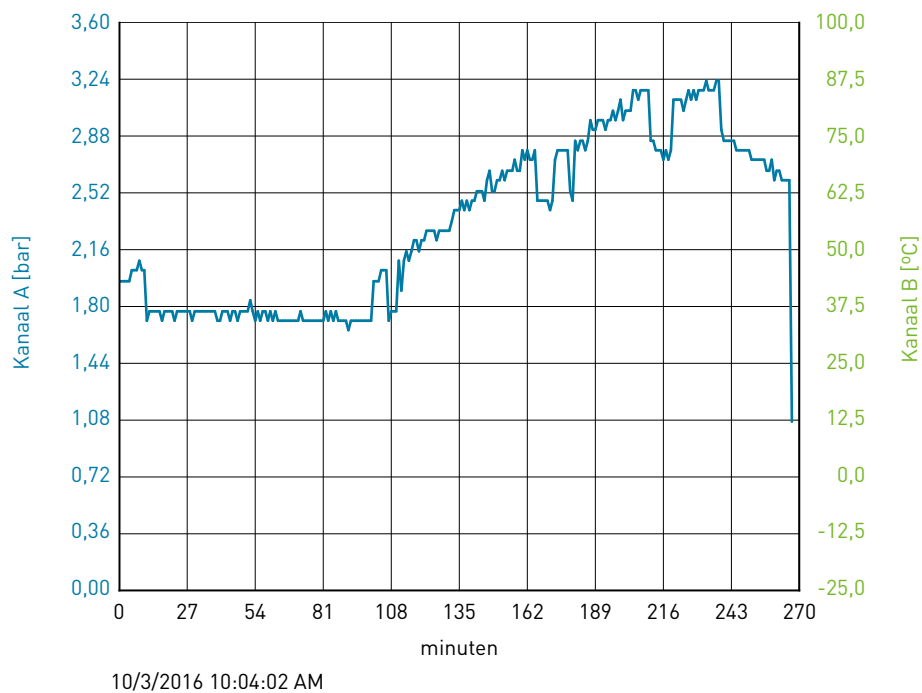
Figuur 4.3
Alternatief testprotocol:
lekverliesmethode
(STP= system test pressure)

De gemeten druk in de persleiding tijdens de eerste beproeving is opgenomen in figuur 4.4. Bij het begin van de meting is de leiding op een druk van 2 bar gebracht en is de pomp uitgezet. De druk neemt hierop snel af naar 1,75 bar en neemt in 1:30 af tot 1,70 bar. Het weer op druk brengen tot 1,75 bar vraagt om het bijpompen van 270 liter water, ofwel omgerekend 180 l/h.

Vervolgens is geprobeerd om de druk verder te verhogen tot 4 bar, maar de maximaal bereikte druk bleef steken op 3,2 bar door een ontoereikende vulcapaciteit van de pomp.

Op 20 september 2017 is de beproeving opnieuw ingezet, maar nu met een grotere pompunit en watervoorraad (figuur 4.5). De leiding is op een druk van 4 bar gebracht, waarna bleek dat ongeveer 3,6 m³/h moest worden bijgevoerd om de leiding op druk te houden. Hierop is de proef afgesloten en is gezocht naar de oorzaak. Dit bleek te liggen in een kapotte ontluchterbocht (figuur 4.6), die is ontdekt doordat ter plaatse een rioollucht en een minimale wel in de watergang werden waargenomen.

Figuur 4.4
Metingen datalogger



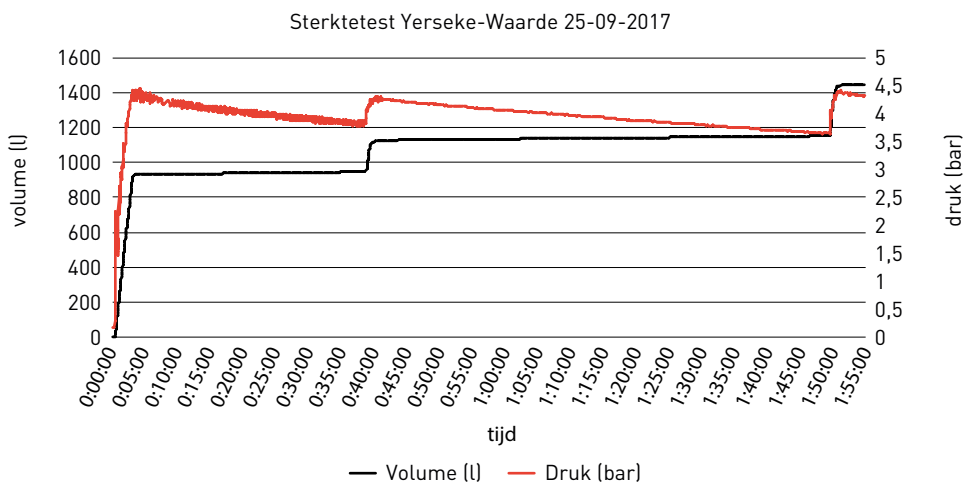
Figuur 4.5
Pompunit en watervoorraad
beproeving 20 september



Figuur 4.6
Kapotte ontlufterbocht



Op 25 september 2017 is vervolgens de beproeving hervat. De metingen uit figuur 4.7 geven een duidelijk beeld van de beproeving. Voor het op druk van 4 bar brengen van de leiding is een volume van 900 liter benodigd. Tijdens de stabilisatiefase van 40 minuten is nog ongeveer 100 liter bijgepompt om de leiding op druk te houden. Vervolgens is de leiding weer op druk gebracht voor de testfase van 1 uur. Na dit uur bleek de druk met 0,53 bar te zijn afgenomen. Aansluitend is de leiding nogmaals op afpersdruk gebracht om het verloren volume te meten. Het verloren volume bedraagt 330 liter.



Figuur 4.7
Metingen sterktest
25 september 2017

4.1.4 Bevindingen

Het lekverlies tijdens de dichtheidsbeproeving ligt op 180 l/h. Dit is fors meer dan het toegestane lekverlies van 50 l/h bij oplevering. Hier moet wel bij worden aangetekend dat dit lekverlies zeer waarschijnlijk te wijten is aan een van de afsluiters, omdat daar met een stethoscoop tijdens de beproeving een ruis is waargenomen die kan duiden op een (beperkt) verlies.

De drukval bij de sterktebeproeving ligt op 0,53 bar. Dit is beperkt hoger dan de gestelde eis van 0,4 bar. Gegeven het feit dat de beproeving heeft plaatsgevonden met bestaande afsluiters en de leiding vooraf niet is ontluicht, heeft het waterschap op basis van de beproeving geconcludeerd dat deze persleiding nog voldoet.

De beproeving heeft ook laten zien dat een echt lek ($3,6 \text{ m}^3/\text{h}$, komt overeen met $0,15 \text{ l}/\text{m}^2/\text{h}$, een lekdebiet dat de grenswaarde is voor lagedrukleidingen conform NEN 1610), zoals de kapotte beluchterbocht, in de praktijk leidt tot zintuiglijk waarneembare consequenties. Het gemeten lekdebiet van 180 l/h is een factor 20 lager. Een dergelijk lekdebiet leidt niet snel tot waarneembare consequenties en is daardoor veel lastiger op te sporen.

De benodigde inzet voor de beproeving op dichtheid en sterkte is bijgehouden door het waterschap.

De voorbereiding (afsluiters lokaliseren en weer beweegbaar maken, ontluichters reinigen/verwijderen en foampiggen) heeft in totaal € 30.000,- gekost aan externe kosten en € 7.500,- aan interne kosten.

Voor de eerste beproeving was een bedrag benodigd van € 3.000,- aan externe kosten en € 6.000,- aan interne kosten.

De tweede beproeving (tweemaal uitgevoerd door lekkende beluchterbocht en inclusief reparatie) bedroeg € 17.000,- aan externe kosten en € 10.500,- aan interne kosten.

De kosten voor de beproeving liggen hiermee in totaal op € 75.000,-, ofwel € 8,1/m persleiding. Met de eigenlijke beproeving is slechts 20% van de kosten gemoeid. Het grootste deel van het budget was in feite benodigd voor klein onderhoud: het beweegbaar maken van appendages en het herstellen van de lekkage. Hierbij bleek ook weer dat de buitendienst vaak meer weet over aanwezige appendages zoals ontluichters dan is af te leiden uit tekeningen.

De inspanning heeft in dit geval opgeleverd dat is besloten dat de leiding voor wat betreft lekdichtheid en druksterkte nog 'fit for purpose' is en de komende jaren nog niet vervangen hoeft te worden.

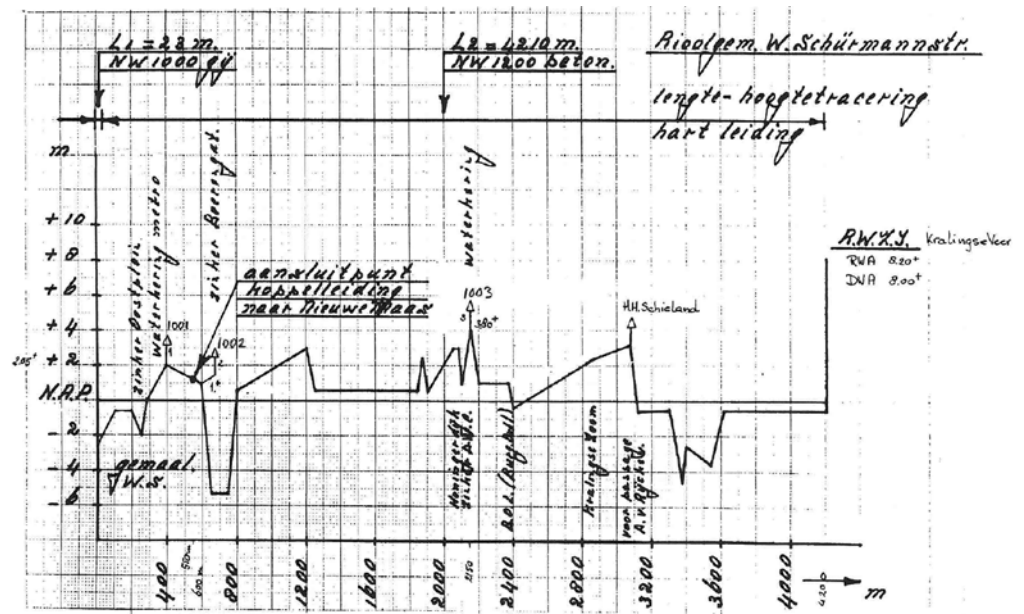
4.2 Case VI: Rotterdam, Fase 2

In Rotterdam is fase 2 doorlopen voor een andere case dan gerapporteerd voor fase 1. Case VI bestaat uit de persleiding van gemaal 10 naar rwzi Kralingseveer, zie figuur 4.8. Figuur 4.9 toont de hoogteligging van de leiding. De eerste 22 m van de leiding zijn uitgevoerd in gietijzer, de volgende 4.210 m in beton. Uit het leidingpaspoort volgt dat voor deze leiding hydraulisch functioneren, zetting en lekkage relevante faalmechanismen zijn, die in fase 2 nader zijn onderzocht.

Figuur 4.8
Tracé persleiding
Schürmannstraat (110010) –
rwzi Kralingseveer

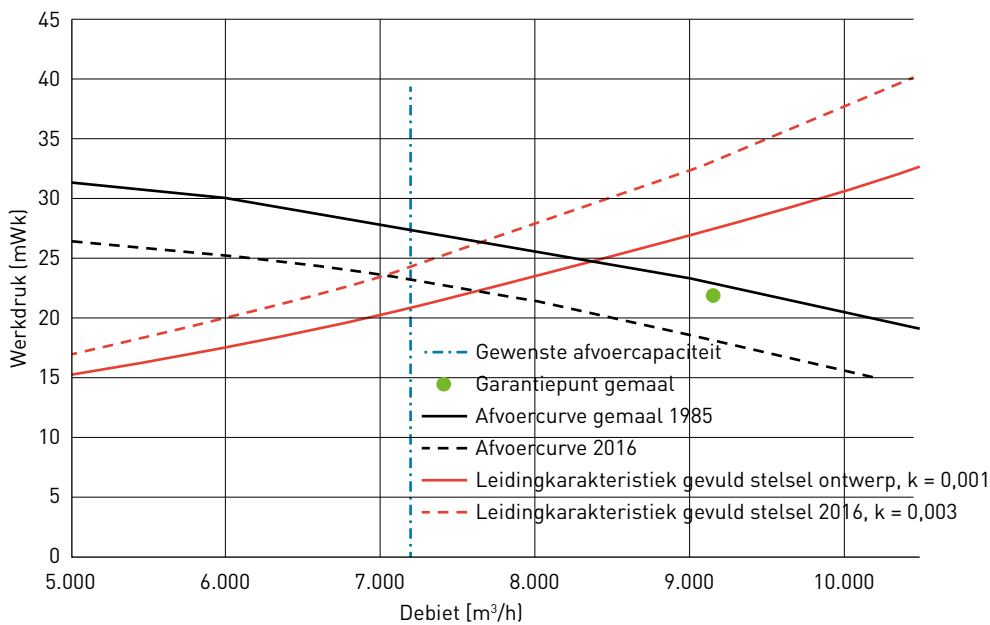


Figuur 4.9
Hoogteligging persleiding
Schürmannstraat – rwzi
Kralingseveer



4.2.1 Hydraulica

Gemaal 10 hoort een debiet te kunnen leveren via de persleiding naar de rwzi van 7.200 m³/h. In de praktijk wordt deze waarde niet gehaald. Uit beschikbare debietmetingen van het gemaal is afgeleid dat in 2009 nog een maximum debiet van 7.000 m³/h geleverd werd, terwijl dit in 2016 is teruggelopen tot 6.800 m³/h. De pompen zijn in 2016 op de testbank gezet, waaruit naar voren is gekomen dat een capaciteit van ruim 8.000 m³/h haalbaar zou moeten zijn bij een schone persleiding.



Figuur 4.10 Verschuiving
werkpunt leiding case VI.

Figuur 4.10 geeft een schematisch overzicht van de huidige situatie met betrekking tot hydraulisch functioneren. Het werkpunt van het transportsysteem is verschoven door extra weerstand in de leiding (een toename van de systeemruwheid van 1 mm naar 3 mm), waardoor het ontwerpdebiet van 7.200 m³/h niet meer geleverd kan worden. De toename van de systeemruwheid kan worden veroorzaakt door vervuiling van de leiding of van bijvoorbeeld vlinderkleppen, zoals elders in het transportsysteem van Rotterdam ook is geconstateerd, zie figuur 4.11.

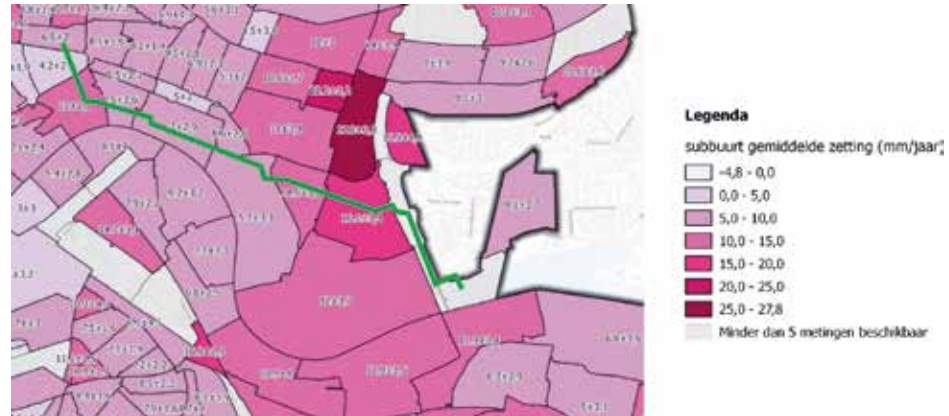


Figuur 4.11
Voorbeeld verstopping
vlinderklep

4.2.2 Zetting

Rotterdam is gevoelig voor zetting, waarbij de zetting varieert tussen 0 en 2 cm/jaar, zie figuur 4.12. Gecombineerd met lokale zettingsverschillen levert dit in de praktijk problemen op door zetting. Voor de transportleiding is een analyse gemaakt van de kwetsbare punten voor zetting. Daaruit kwam onder meer naar voren dat de aansluiting bij het gemaal (stalen pendelbuis, ofwel zettingsstuk) en de kruising met de metro kritieke punten zijn. Het zettingstuk is ontworpen op een verschilzetting van 10 cm. Uitgaande van 0,5 cm per jaar is de huidige verschilzetting 15 cm, waarmee dit pendelstuk al flink voorbij de ontwerplevensduur is. De zetting boven de metrobak bedraagt zoals verwacht 0 cm/jaar, omdat de metro goed is gefundeerd. De zetting naast de metrobak ligt op 0.25 cm/jaar, zodat op termijn wel rekening gehouden moet worden met zettingsverschillen.

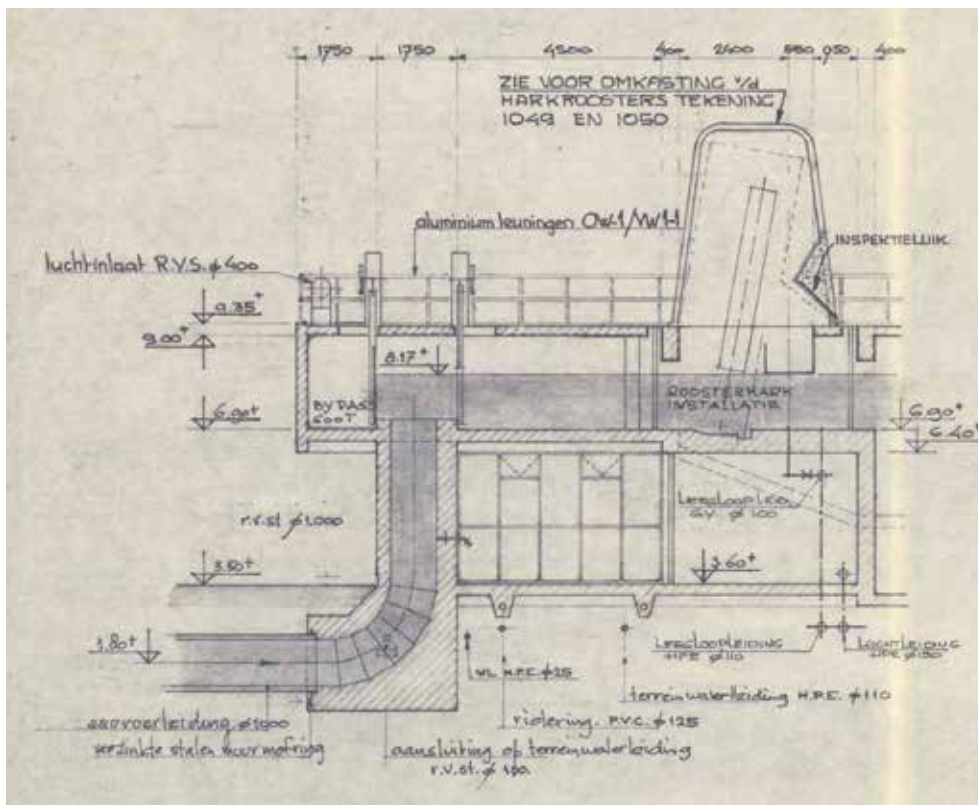
Figuur 4.12
Zetting langs persleidingstrace
op basis van zettingskaart
op subbuurt niveau



4.2.3 Lekdichtheidstest

De persleiding heeft een hoog stortpunt, gelegen op 8 m+NAP, zie figuur 4.09 en 4.13. Dit hoge stortpunt maakt het mogelijk om de lekdichtheidstest op een andere manier uit te voeren dan voor de case Westerschouwen. Voorafgaand aan de lekdichtheidstest is 's nachts water opgespaard in het rioolstelsel en vervolgens is een uur lang op maximale capaciteit gepompt om eventuele lucht uit de leiding te spoelen. De lekdichtheidstest is vervolgens uitgevoerd door de pomp en alle inprikkers uit te zetten en alle afsluiters dicht te draaien. Daarna is minimaal een uur gewacht totdat een stabiele situatie is ontstaan. De hoeveelheid lekkage is bepaald door te meten welk volume water na de stabilisatiefase van een uur gedurende het daaropvolgende uur is weggelekt. Dit volume is afgeleid uit de gemeten waterstandsval in de leiding. In de leiding is een diver geplaatst, waarmee het verloop van de waterstand, na luchtdrukcompensatie, is bepaald. Dit heeft opgeleverd dat de lekkage zeer waarschijnlijk minder bedroeg van 10 l/h, ofwel minder dan 0,6 ml/m²/h. De onzekerheid in deze bepaling is echter vrij groot, doordat niet uitgesloten kon worden dat een van de afsluiters tijdens de proef lekkage vertoonde.

De via de proef bepaalde waarde ligt boven de grenswaarde van 0,1 ml/m²/h voor persleidingen vallend onder NEN 3650-4. De lekdichtheidstest in Rotterdam leek vooraf erg eenvoudig door gebruik te maken van het hoge stortpunt. In de praktijk bleek echter dat afsluiters niet altijd (direct) waterdicht zijn, waardoor enige onzekerheid bestaat in de nauwkeurigheid van de metingen. De metingen laten duidelijk zien dat de leiding zeker geen groot lek heeft, maar kunnen door de opzet geen uitsluitel geven over de eventuele aanwezigheid van een klein lek en daarmee of de leiding voldoet aan de minimumeisen.



Figuur 4.13
Tekening uitstroompunt

4.2.4 Bevindingen

De leiding voldoet op dit moment niet aan de hydraulische eisen. Het maximumdebiet bedraagt in de praktijk 6.800 m³/h, terwijl dit 7.200 m³/h zou moeten zijn. Uit de in 2016 uitgevoerde pomptest volgt dat de pompen ten opzichte van de pomptest uit 1985 20% aan opvoerhoogte hebben ingeleverd, hetgeen in dit geval overeenkomt met 10% minder afvoer capaciteit. Uit WANDA berekeningen volgt dat de pompen bij een schone leiding nog altijd 7.500 m³/h zouden moeten kunnen leveren. Kennelijk is naast slijtage aan de pompen ook sprake van een verhoogde leidingweerstand. Niet bekend is of deze verhoogde leidingweerstand komt door lucht, vervuiling van vlinderkleppen of vervuiling of aantasting van de leiding.

De analyse van de zetting langs het leidingtracé laat zien dat de leiding te maken heeft met een variabele zetting en dat een aantal punten, zoals de aansluiting bij het gemaal en de overgang boven de metrobak, extra aandacht behoeven om te bepalen of de kans op lekkage of breuk door zetting te groot aan het worden is.

Het lekverlies tijdens de dichtheidsbeproeving is klein en is waarschijnlijk toe te schrijven aan de afsluiters. Op basis hiervan is geconcludeerd dat deze leiding op basis van dit aspect geen prioriteit hoeft te krijgen.

De benodigde inzet voor de onderzoeken is bijgehouden door de gemeente.

Het onderzoek naar het hydraulisch functioneren heeft € 48.000,- gekost aan manuren. Dit is inclusief de pomptest en de voorbereiding die noodzakelijk was om voor deze leiding fase 1 goed te doorlopen en daarmee het leidingpaspoort compleet te maken.

Het onderzoek naar zetting heeft € 1.500,- gekost aan manuren. Dit was mogelijk omdat Rotterdam de zettingsgegevens reeds beschikbaar had.

Het onderzoek naar het lekverlies heeft in totaal € 48.000,- gekost aan manuren, waarvan € 30.000,- voor voorbereiding en analyse en € 15.000,- voor de feitelijke testen.

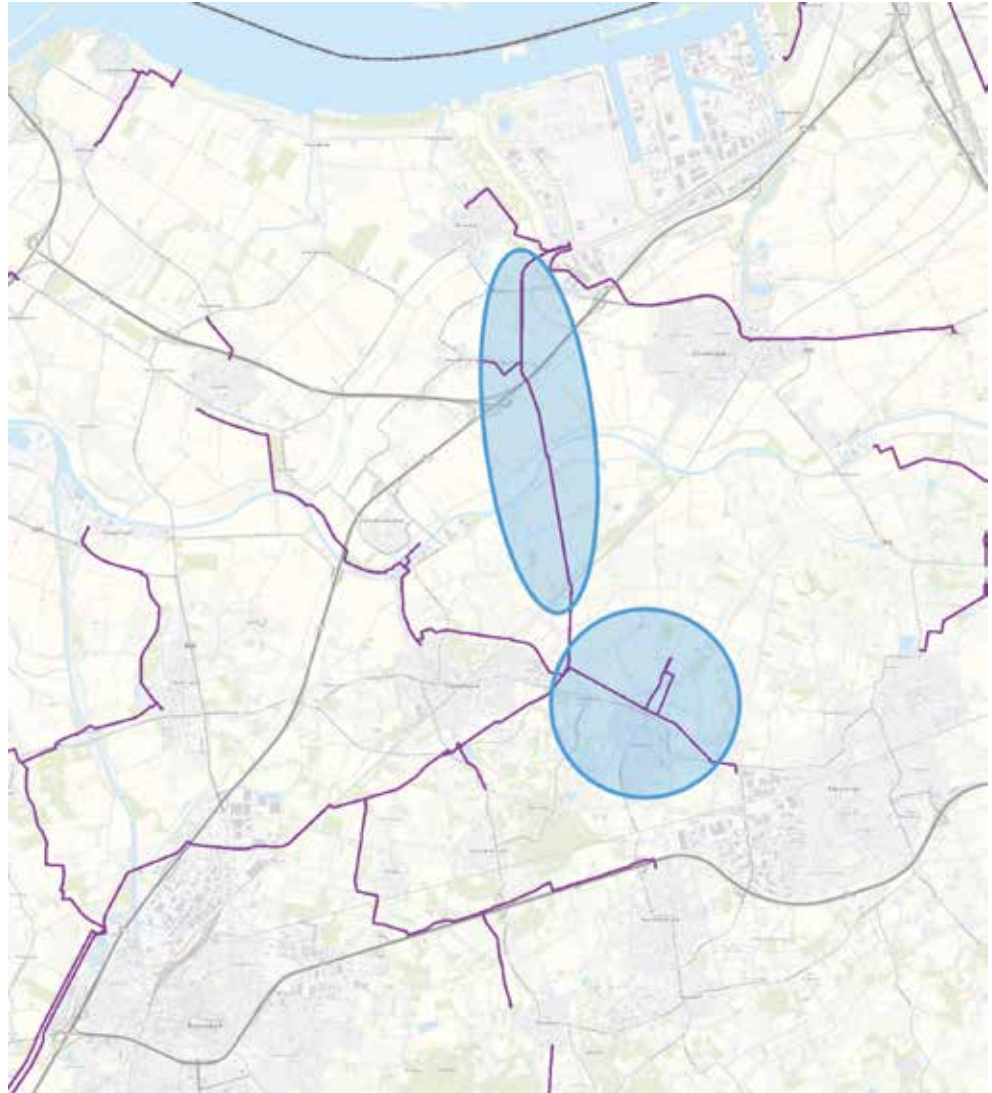
Het onderzoek op niveau 'basis' heeft in deze case ongeveer 22,5 €/m¹ leiding gekost, waarvan ongeveer 15 €/m¹ leiding benodigd was om het dossier op orde te krijgen.

De onderzoeksinspanning heeft in dit geval opgeleverd dat het rioolgemaal moet worden aangepast, zetting nadere aandacht behoeft op een klein aantal kritische plekken en lekkage op dit moment geen extra aandacht vraagt.

4.3 Case VII en case VIII Waterschap Brabantse Delta

Waterschap Brabantse Delta heeft fase 2 en delen van fase 3 doorlopen voor twee persleidingen: het tracé van rioolgemaal Etten Industrie tot pompstation Hoeven (Case VII) en het tracé van rioolgemaal Moerdijk naar pompstation Hoeven (Case VIII), zie figuur 4.14. Voor beide leidingen heeft het waterschap de inventarisatie uit fase 1 uitgevoerd. De belangrijkste bevindingen zijn ter informatie opgenomen.

Figuur 4.14
Ligging
cases VI en VII.



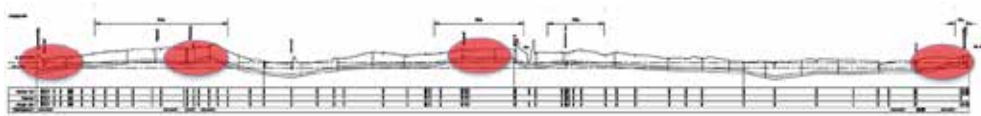
4.3.1 Kenmerken Case VII. Etten-Hoeven

De leiding is aangelegd in 1974. De leiding is een asbestcementleiding met een diameter van Ø 600 mm en een lengte van 3808 m¹. De maximale druk bedraagt 4 bar en de transportcapaciteit bedraagt 1.200 m³/h. De huidige hydraulische capaciteit bedraagt 640 m³/h. De leiding heeft als bijzonderheid dat het afvalwater deels bestaat uit industriële lozingen. Deze hebben in het verleden geleid tot aanzienlijke vervuiling van de leiding met een scalingslaag van Aluminiumcarbonaat, zie figuur 4.15. Om dit tegen te gaan is in 1995 een piglanceerinrichting aangebracht. De laatste pigrun voor het onderzoek in deze case dateerde van 2005.



Figuur 4.15
Scaling

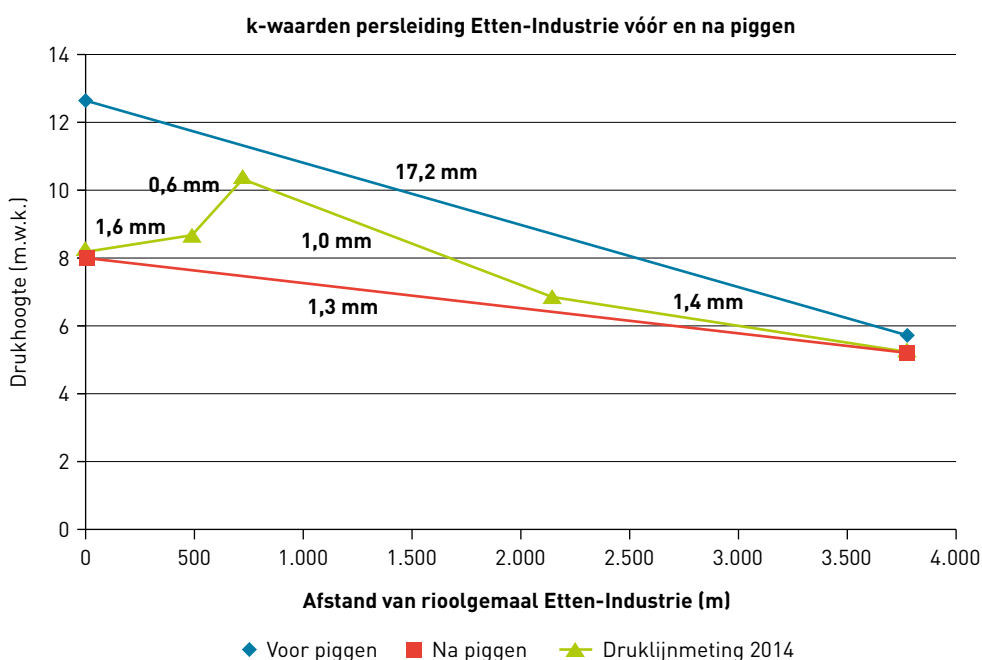
In het lengteprofiel komt een viertal locaties voor waar luchtophoping en daarmee aantasting een rol zou kunnen spelen. (figuur 4.16). Op die locaties heeft het waterschap als onderdeel van onderzoek op niveau fase 3 inwendige radarinspectie uitgevoerd om te onderzoeken of de resterende wanddikte nog afdoende is.



Figuur 4.16
Lengteprofiel case VII.

4.3.2 Hydraulisch functioneren

Het hydraulisch functioneren is getoetst door de werkdruk te meten die ontstaat bij de maximale hydraulische belasting. Deze meting is uitgevoerd voor en na het piggen van de leiding. Door het piggen neemt de weerstand over de leiding met 4,5 mwk af. Dit komt overeen met een reductie van de wandruwheid van 17,2 mm naar 1,3 mm, hetgeen aanzienlijk is en een forse besparing op het energieverbruik van het rioolgemaal betekent.

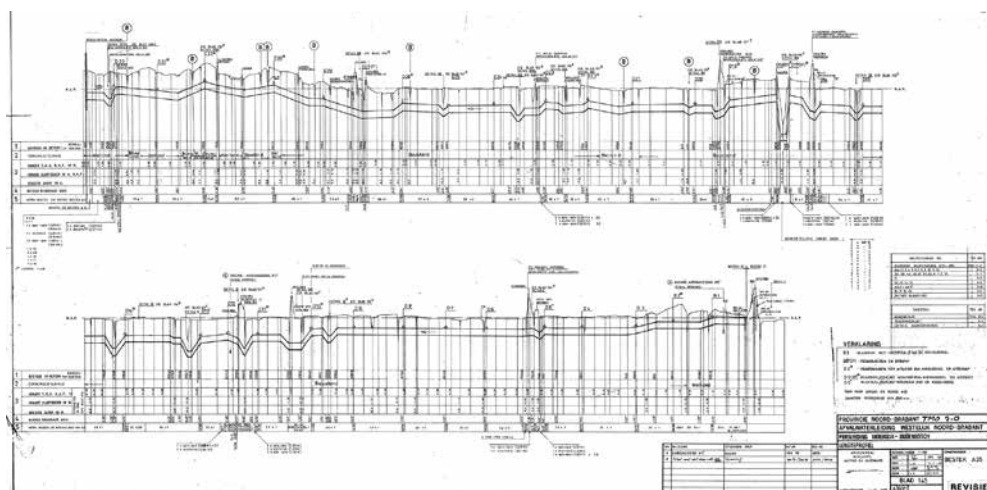


Figuur 4.17
Resultaten metingen
hydraulisch functioneren

4.3.3 Kenmerken Case VIII. Moerdijk-Hoeven

De persleiding Moerdijk-Hoeven bestaat uit twee (AWP-1 en AWP-2) leidingen. Beide leidingen zijn uitgevoerd als een voorgespannen betonnen leiding met een diameter van Ø 800 mm en een lengte van 8.338 m¹. De ontwerpdruk bedraagt 4 bar en de transportcapaciteit bedraagt 3.250 m³/h. De eerste leiding (AWP-1) is in 1972 aangelegd. Vanwege vervuiling door scaling veroorzaakt door industriële lozingen is in de jaren '80 een tweede leiding (AWP-2) parallel aan AWP-1 aangelegd. Het tracé kruist de snelweg, een spoorweg en de rivier de Mark. De leidingen beschikken over een piglanceerinrichting, zodat eenvoudig toegang bestaat tot de leiding. Aantasting bij luchtophopingen en lekkage zijn naast het hydraulisch functioneren relevante faalmechanismen waar het waterschap grip op wil hebben. AWP-1 is in 2016 geïnspecteerd op een aantal kritische locaties, waarna besloten is om de leiding te reinigen. In 2017 is de leiding geheel inwendig geïnspecteerd met de Smart Ball, waarna de leiding is gereinigd vanuit de mangaten die zich om de 300 m¹ in de leiding bevinden. Na de reiniging is de leiding geheel geïnspecteerd met een rijdende camera. Tijdens deze inspectie zijn geen gebreken geconstateerd.

Figuur 4.18
Lengteprofiel persleiding
Moerdijk-Hoeven



4.3.4 Lekkagetest

Begin januari 2018 is de leiding geheel schoon opgeleverd waarna deze op 23 januari weer gevuld en ontlucht is middels de ontluchters die aanwezig waren op de mangatdeksels. Na het vullen is de leiding op 1 bar gezet. Via een schrijvende meter is de druk gemonitord voor 2 dagen. Op 24 januari was de druk een paar tiende bar teruggelopen. Dit bleek te worden veroorzaakt door een kleine lekkage op de nieuw geïnstalleerde bovenbouw van de pigontvangketel. Na herstel is op 24 januari de leiding weer gevuld tot 1 bar. Op 25 januari (24 uur later) is onveranderde druk afgelezen van 1 bar en is geconcludeerd dat de leiding geen lekkage vertoont.

Figuur 4.19
Drukmeting op afsluiter
(links) en schrijvende meter
(rechts)



De lekkagetest heeft 2 dagen doorlooptijd in beslag genomen. De tijdsbesteding van de eigen dienst lag met 4 medewerkers op 8 dagen in totaal. De kosten van de eigen dienst bedragen daarmee € 3.000,-. De kosten voor klein materieel en installeren van de drukmeter lagen via inhuur derden op een bedrag van € 7.500,-. Daarnaast is een bedrag van € 3.500,- besteed aan het nalopen van appendages.

4.3.5 Bevindingen

Waterschap Brabantse Delta heeft in twee leidingen onderdelen van onderzoek op niveau 'basis' uitgevoerd. In de leiding Etten-Hoeven is het hydraulisch functioneren onderzocht en in de leiding Moerdijk-Hoeven is een lekkagetest uitgevoerd.

De analyse van het hydraulisch functioneren van de leiding Etten-Hoeven voor en na het piggen heeft laten zien dat de leiding behoorlijk vervuild was. De drukhoogte bij het maximale debiet nam af van 12,5 mwk naar 8 mwk, hetgeen een forse reductie in energieverbruik oplevert. Om het hydraulisch functioneren te toetsen is het alleen nodig om de werkdruk achter de pompen te meten. Voor gemalen die zijn uitgerust met een meting van de persdruk is deze analyse daarmee eenvoudig toe te passen. Zelfs kan overwogen worden dit onderzoek in het telemetriesysteem in te programmeren en een alarm te versturen indien de weerstand teveel is toegenomen.

Het onderzoek naar lekkage is uitgevoerd voor de leiding Moerdijk-Hoeven. Deze leiding was voor onderhoud en onderzoek uit bedrijf genomen en geïnspecteerd. Daardoor waren alle appendages bekend en bruikbaar, waardoor de inspanning voor de lekkagetest relatief beperkt is gebleven ten opzichte van de benodigde inspanning die bij Scheldestromen of Rotterdam is vastgesteld. De inspanning voor deze leiding kan gezien worden als een representatieve inspanning voor een routinematige lekkagetest bij een actief beheerde leiding.

De lekkagetest zelf heeft opgeleverd dat ook een klein lek kan worden vastgesteld. In dit geval lekte een nieuw geplaatste afdekking in de pigontvangketel. Deze lekkage kon worden verholpen door een paar moeren vaster te draaien. De leiding zelf bleek niet te lekken, wat een parallel uitgevoerd Smartball onderzoek bevestigt.

Ervaring met afpersen

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier heeft een AC leiding uit 1979 die uit bedrijf is genomen gebruikt om inzicht te krijgen in de restlevensduur van AC leidingen. Zij hebben een afpersproef gedaan van een leiding Ø900 mm en een lengte van 800 m. Het idee was dat de leiding in de proef zou mogen bezwijken. Tijdens de persproef is de druk opgevoerd tot 8,6 bar en zelfs bij deze druk bleef de leiding intact. Uit materiaalonderzoek bleek dat het AC-buismateriaal aan de binnenzijde relatief beperkt was aangetast.

Daarnaast is een test op luchtdichtheid uitgevoerd door de leiding op een druk van 3 bar te brengen en na drie dagen het drukverlies te meten. Dit bleek 0,2 bar te zijn, waaruit geconcludeerd is dat de leiding nauwelijks lekkage vertoont.

5 Praktijkvoorbeelden fase 3: Onderzoek niveau verdiepend

Dit hoofdstuk beschrijft ervaringen in Nederland met het uitvoeren van detailinspecties passend binnen fase 3 uit het stappenplan onderzoek persleidingen voor een aantal van de in bijlage 2 beschreven technieken.

5.1 Visuele inspectie

Visuele inspectie is de standaard inspectiemethode voor vrijvervalriolering, zie figuur 5.1. Wetenschappelijk onderzoek (Dirksen et al., 2013) heeft laten zien dat de kwaliteit van visuele inspectie niet perfect is doordat de methode is gebaseerd op de (subjectieve) menselijke waarneming. Inspecteurs missen gemiddeld 25% van de defecten en 5% van de defecten die wel zijn geconstateerd blijken niet aanwezig. Deze resultaten zijn geldig voor een situatie waarin inspecteurs een algemene inspectie uitvoeren. Als u visuele inspectie gericht inzet, bijvoorbeeld om de voegwijdte te meten, dan blijkt dat dit wel degelijk nauwkeurig mogelijk is. Ook voor drinkwaterleidingen zijn hier goede ervaringen mee opgedaan (Arsenio et al., 2014).

Daarnaast speelt de ernst van het defect een rol. Figuur 5.1 rechts toont een resultaat van visuele inspectie in de leiding uit case VII. Etten-Hoeven. De leiding was gereinigd met een pig. De visuele inspectie heeft laten zien dat de leiding na het piggen redelijk schoon is op een aantal achtergebleven stukken scaling na. Dergelijke grote objecten die de doorstroming belemmeren zijn goed waarneembaar met visuele inspectie.

Figuur 5.1

Links: Inbrengen inspectiecamera (Foto afkomstig uit RIONED-beeldenbank).

Rechts: Losgeraakte scaling in persleiding (Foto: Waterschap Brabantse Delta)



Voor betonnen persleidingen en grotere vrijvervaltransportriolen is visuele inspectie een veelgebruikte inspectiemethode. Figuur 5.2 toont twee voorbeelden van inspectieresultaten van H_2S -aantasting zoals waargenomen met visuele inspectie. De ernst van de aantasting is weliswaar niet goed met visuele inspectie alleen waar te nemen, aangezien het niet zonder meer mogelijk is vast te stellen hoeveel buismateriaal al is verdwenen, maar de vraag of er H_2S -aantasting is, is voor betonnen buizen wel goed te beantwoorden.

Figuur 5.2

Links: Kruinroosie in betonnen persleiding in Oudenbosch (overgenomen uit TNO 2016 R10427) Rechts: H_2S -aantasting in Riool-zuid nabij Eindhoven. Foto Waterschap De Dommel.



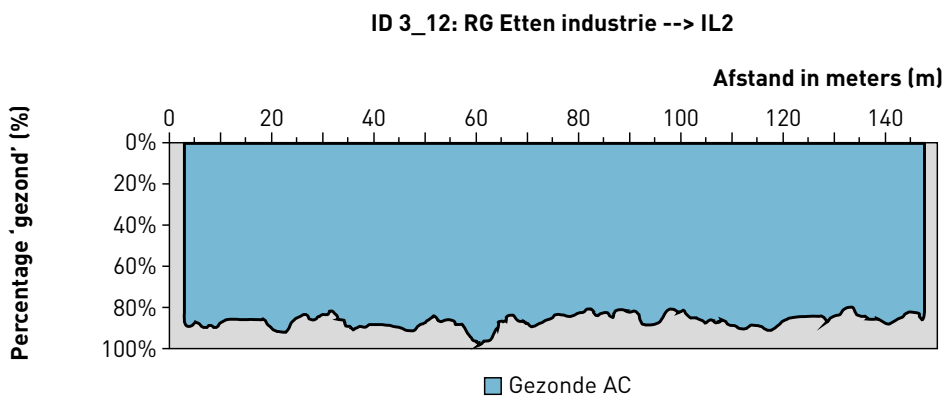
5.2. Inwendige radarinspectie

Inwendige radarinspectie is een techniek die sinds 2003 in Nederland wordt toegepast in drooggezette leidingen. De techniek is vooral geschikt voor het bepalen van de gezonde wanddikte voor AC en beton. Voor een hogere nauwkeurigheid is het mogelijk om de inspectieresultaten te in te stellen op basis van een leidingdeel met een bekende wanddikte en diameter. Een recente ontwikkeling is de wens van beheerders om onderscheid te maken in inwendige en uitwendige corrosie. Onbekend is nog of dit onderscheid mogelijk is met de rioolradar. Recent onderzoek liet zien dat radarinspectie over het algemeen leidt tot een onderschatting van de aantasting (van Laarhoven en van Summeren, 2019).

Waterschap Brabantse Delta heeft een inwendige radarinspectie laten uitvoeren op de in figuur 4.16 aangegeven locaties. Figuur 5.3 toont het inbrengen van de inspectieapparatuur. De inspectie heeft als resultaat opgeleverd dat het asbestcement duidelijke sporen van veroudering/aantasting vertoont, maar dat de aantasting nog niet zo ver is dat ingrijpen noodzakelijk is. Op basis van de in figuur 5.4 opgenomen resultaten is besloten om de radarinspectie 10 jaar later te herhalen.



Figuur 5.3
Inbrengen
inspectieapparatuur. Foto
Waterschap Brabantse Delta.



Figuur 5.4
Resterend percentage gezond
buismateriaal over een lengte
van ruim 140 meter. Afbeelding:
Waterschap Brabantse Delta

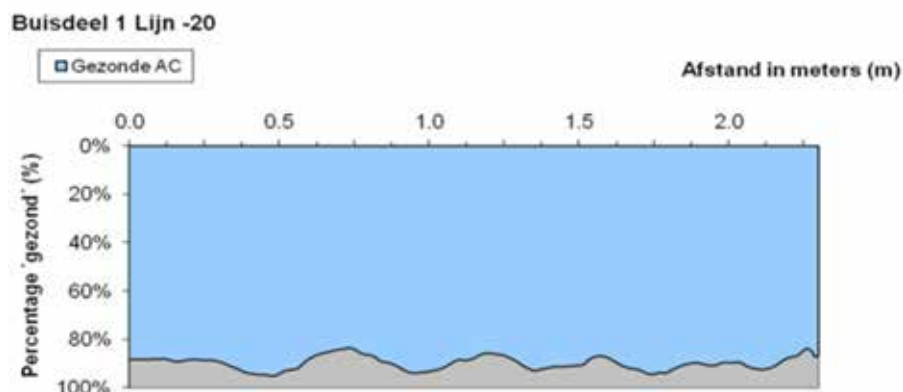
5.3 Uitwendige radarinspectie

Uitwendige radarinspectie wordt toegepast op een vrijgegraven leiding. Voorafgaand aan de inspectie wordt door de inspecteur een omtrekmetering uitgevoerd met een stalen meetlint of krompasser om zo de uitwendige diameter nauwkeurig vast te stellen. Vervolgens brengt de inspecteur met krijt een meetplan aan op de leiding, bestaande uit meerdere parallelle lijnen evenwijdig aan de buisrichting. De metingen vinden doorgaans plaats vanaf de kruin tot de onderzijde van de leiding.

Figuur 5.5
Met krijt aangegeven meetlijnen bij uitwendige radarinspectie. Links is een meting van een uitgenomen AC-buis op het maaiveld. Rechts een AC-buis in de bodem. Tekst en foto overgenomen uit Weert, van der et al., (2022).



Figuur 5.6
Kenmerkende figuur met aanduiding percentage gezonde wanddikte voor een uitwendige radarinspectie. Uit: Weert, van der et al., (2022).



5.4 Boorkernonderzoek

Boorkernonderzoek is een destructieve onderzoeksmethode waarbij met een holle boor een kern uit de buiswand wordt gehaald. In het laboratorium kunnen vervolgens onderzoeken worden verricht naar de fysische en chemische eigenschappen van het buismateriaal. Standaard onderzoeken zijn wanddikte, carbonatatiediepte, druksterkte, buigtreksterkte, dichtheid en waterabsorptie. Op basis van deze onderzoeken krijgt u een goed beeld van de degradatie van het buismateriaal en van de resterende dikte 'gezond' buismateriaal. Het nadeel van boorkernonderzoek is dat het een puntmeting betreft en de heterogeniteit van het materiaal vooral bij betonnen leidingen een grote rol speelt (Stanic et al., 2017). Het is daarmee de vraag in hoeverre de boorkern daadwerkelijk representatief is voor de rest van de leiding en of de boorkern is genomen op een maatgevende locatie, ofwel een locatie waar de veroudering het grootst is.

Figuur 5.7
Nemen van boorkern.
Foto's N. Stanic (2013).



Bij AC en beton is het gebruikelijk om de totale wanddikte te bepalen en vervolgens met een pH-indicator te bepalen welk deel van de doorsnede nog bestaat uit 'gezond' materiaal, waar bij gezond buismateriaal zich kenmerkt door een hoge pH in de cementmatrix. Met behulp van een fenolftaleïne-test, kleurloos bij pH < 8,2, roze bij hogere pH of een thymolftaleïne-test, kleurloos bij pH < 9,4, blauw bij hogere pH, is eenvoudig vast te stellen welk deel van de buiswand nog gezond is. Uit gezondheidsoverwegingen verdient de thymolftaleïne-test de voorkeur.



Figuur 5.8
Onderzoek kwaliteit AC-buis.
Links: thymolftaleïne-test.
Rechts: fenolftaleïne-test. Uit:
Mesman, G. 2014. Memo
uitlogingstest fenolftaleïne vs
thymolftaleïne.



Figuur 5.9
Voorbeeld boorkernonderzoek.
Links: wanddiktemeting. Rechts:
Meting uitloging (4,3 mm). Uit:
Striper, P en Dijkstra, R. (2014).
Hoogheemraadschap Hollands
Noorderkwartier. Bevindingen
initiële AC-inspectie.

5.5 Proefsleuven voor lokale zetting: praktijkvoorbeeld Zwijndrecht

Zwijndrecht heeft 6 hoofdgemalen verspreid over de gemeente die het afvalwater naar de hoofdpersleiding afvoeren. Er is geen redundantie aanwezig, zoals vrijwel nergens in Nederlandse persleidingssystemen. Falen van een leiding bij een hoofdgemaal heeft direct een afvoerbeperking tot gevolg. Zwijndrecht behoort tot de top 10 meest zettingsgevoelige gemeenten. De leidinggedeeltes die de aansluiting vormen tussen het hoofdpersleidingstelsel en de gemalen zijn bijzonder kwetsbaar. De gemalen zijn namelijk onderheid, terwijl het hoofdpersleidingstelsel dat niet is. Bodemdaling leidt hier tot verticale belasting van de leiding waardoor op deze plekken spanning op de leiding komt te staan met risico op calamiteiten.

Gemeente Zwijndrecht heeft Fase 'inventarisatie' van het stappenplan uit figuur 2.1 uitgevoerd. Op basis van de uitkomsten in deze fase heeft de gemeente zetting naast gemalen als één van de meest grote faalkansen benoemd.

Om te bepalen of de persleidingen inderdaad zijn gezakt en in welke mate is in Fase 2: Praktijkonderzoek 'basis' besloten om proefsleuven te graven naast de gemalen.

Bij het graven van de proefsleuven is gekeken naar de aanwezigheid van een pendelstuk of compensator op de overgang van de wand van het gemaal naar de vrijliggende persleiding in de ondergrond. Daarnaast is op een aantal plaatsen op ongeveer 5, 10 en 15 meter van het gemaal de leiding opgegraven, waarbij een hoogtemeting is uitgevoerd om te bepalen hoeveel de leiding op die afstand is gezakt. Bij 4 van de 6 hoofdgemalen bleek de situatie ernstig te zijn. De aanwezige pendelstukken of compensatoren lagen op de einduitslag en sommige trekstangen van de pendelstukken waren inmiddels getordeerd om de leiding heen omdat verdere zakking van de ondergrond heeft gezorgd voor meer spanning dan het materiaal eigenlijk zou kunnen opnemen.

Figuur 5.10 toont de proefsleuf bij het pendelstuk van een van de hoofdgemalen. Uit de leidinginventarisatie was naar voren gekomen dat de maaiveldzetting ongeveer 4 mm/jaar bedraagt. Aangezien het gemaal 30 jaar oud is, is onder aanname van een lineaire zetting de verwachte zetting 120 mm. De inmeting na het graven van de proefsleuf gaf aan dat de leiding over een lengte van 12 meter ongeveer 0,67 m (!) is verzakt. Dit is meer dan de buisdiameter en ruim 5 keer meer dan de 0,12 m die uit de maaiveldzakking af te leiden valt. Het pendelstuk heeft een hoekverdraaiing van 3,2° doorgemaakt en staat daarmee op de maxi-

male pendeluitslag. Zwijndrecht heeft deze kritische situatie opgelost door het pendelstuk en het eerste stuk van de leiding te vervangen en weer op hoogte aan te leggen. De leiding is voorzien van een zakbaken om de komende jaren de zetting eenvoudig te kunnen volgen.

Figuur 5.10
Proefsleuf met pendelstuk



Figuur 5.11
Inmeten zakking leiding naast
gemaal



Een belangrijke bevinding van deze case is dat de maaiveldzetting zoals deze sinds 2015 beschikbaar is via <https://bodemdalingskaart.nl/> een eerste indicatie kan geven van de maaiveldzetting, maar dat in de praktijk de zetting van de leiding zelf daar fors van kan afwijken. Bij onderheide gemalen en niet onderheide persleidingen in slappe bodem verdient de overgang van gemaal naar persleiding extra aandacht, aangezien dit een kwetsbaar punt vormt in de leiding.

5.6. Lekkagetest met Smartball

Waterschap Brabantse Delta heeft in 2017 voor de persleiding Moerdijk – Hoeven een inspectie laten uitvoeren met de Smartball (zie paragraaf 2.6.1 voor beschrijving).

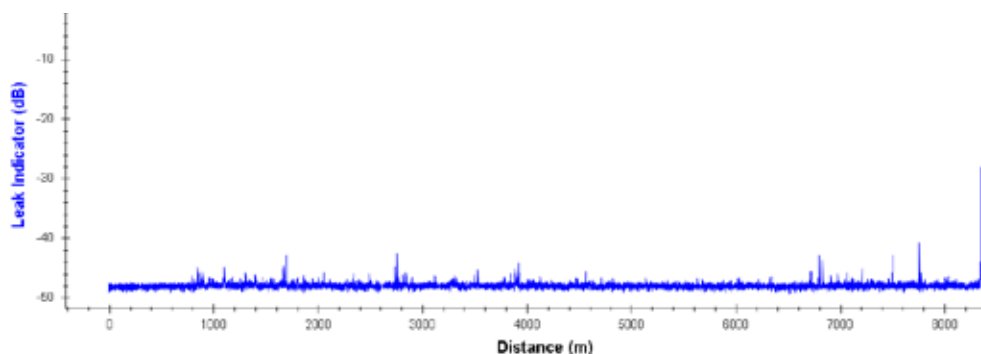
Het onderzoek met de Smartball heeft geen lekkages of gas/luchtophopingen aan het licht gebracht, wel zijn bewegende luchtballen aangetroffen. De in de leiding uitgevoerde druktest bevestigde dat de leiding inderdaad geen lekkage vertoonde.



Figuur 5.12
Lanceerlocatie



Figuur 5.13
Ontvangstlocatie



Figuur 5.14
Resultaten uitgevoerde lekkagemeting. De gemeten geluidspieken zijn op basis van hun frequentie gekwalificeerd als externe geluiden van bijvoorbeeld pompen of verkeer.

5.7 Focused electrode leak location (FELL)

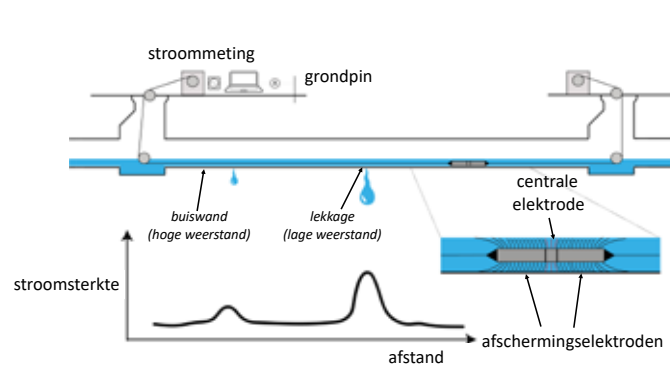
Focused electrode leak location is een meetmethode waarbij in een gevulde rioolbuis een elektrode aan een kabel door het riool wordt getrokken, zie figuur 5.15. De elektrode wekt daarbij een elektrisch veld op. Bij een gat in de buis of de verbinding kan dit elektrische veld uit de leiding ontsnappen. Zodra het elektrische veld de grondpin bereikt die aan het andere uiteinde van de kabel is bevestigd, ontstaat een stroomkring. Door de stroom te meten en tegelijk de positie van de elektrode in het riool vast te leggen, kan een inspecteur met deze methode de locatie van een gat vaststellen. Om te voorkomen dat het elektrische veld van de centrale elektrode 'verdwijnt' in de rioolbuis, is deze centrale elektrode aan twee zijden voorzien van afschermingselektroden die het veld van de centrale elektrode fixeren.

De methode is in Nederland nog niet commercieel beschikbaar. De gemeente Rotterdam heeft een onsuccesvolle pilot uitgevoerd, waarbij de 'parachute' die moet zorgen dat de FELL meestroomt met het rioolwater, niet openging en de FELL niet meestroomde met het rioolwater.

Als onderdeel van het TISCA-project 'Geo-Electrical Sewer Leak Detection, Quantification and Location' is aan de TU Delft onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om met de FELL de aanwezige lekkage ook te kwantificeren. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat dit laatste niet mogelijk is doordat onder meer de verticale positie van de sonde in de buis (ofwel, de afstand tot de buiswand) en de eigenschappen van het grondpakket tussen een lek en de grondpin grote invloed hebben op de gemeten stroomsterkte.

Daarnaast bleek uit een praktijkproef in een meetriool in Breda dat vlak naast het spoor ligt, dat zwerfstromen de meting totaal kunnen verstoren. Bij afwezigheid van dergelijke zwerfstromen is de methode is wel goed in staat om lekken te detecteren en te lokaliseren in AC-, beton- en kunststofbuizen.

Figuur 5.15
Links: Meetprincipe focused elektrode leak location. Aangepast van Stegeman et al., 2022. Rechts: FELL-meetsonde bij proefopstelling Breda. (Foto: D. Vermeulen, 2022)



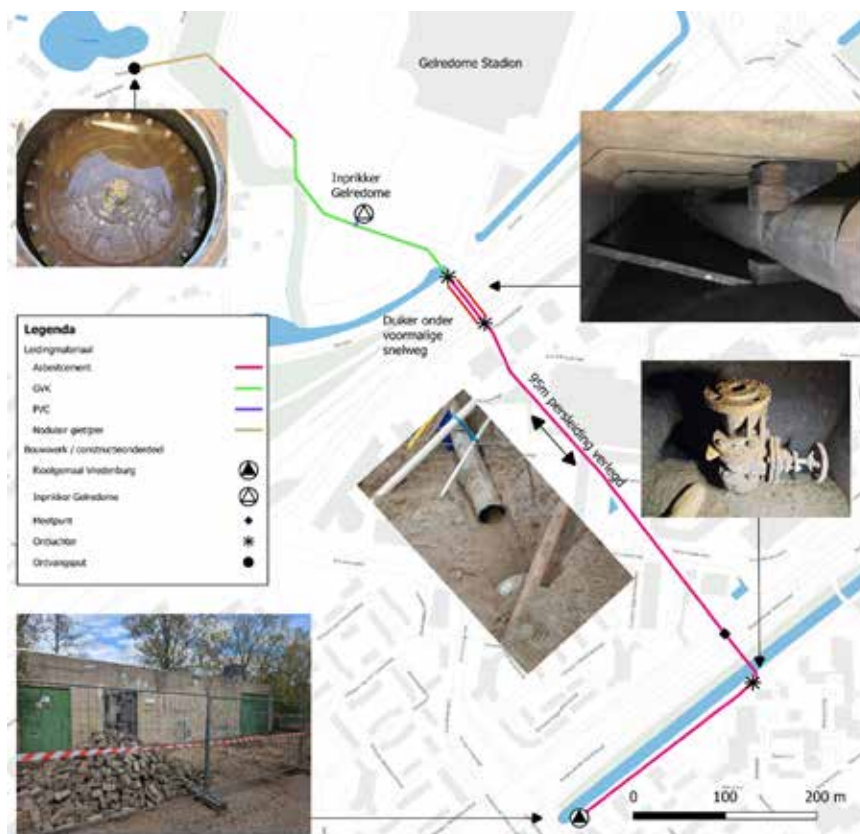
5.8 Inspectie-instrumenten voor persleidingen: praktijktest Arnhem

RIONED/STOWA rapport 2024-07 beschrijft de bevindingen van de onderzoeken in de testopstelling bij IKT met drie destijds commercieel beschikbare technieken: de Smartball van Xylem, de Acquarius van Acquaint en de Linegy van ROSEN. Dit onderzoek heeft laten zien dat de Acquarius en Linegy in staat zijn om veranderingen in geometrie en wanddikte waar te nemen bij staal en PVC. Onderzoek naar AC was in de testopstelling niet mogelijk. Om inzicht te krijgen in de in de praktijk haalbare nauwkeurigheden is in een persleiding bij gemeente Arnhem een vergelijkend onderzoek uitgevoerd bij een persleiding die in bedrijf is. De details van dit onderzoek zijn gepubliceerd in RIONED/STOWA rapport 2025-38. Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste bevindingen.

5.8.1. Situatiebeschrijving

Het tracé Vredenburg is een 500mm 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 5.16 toont het tracé 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. Een deel van de leiding is verlegd tijdens het onderzoek, waardoor de kans bestond om een exit controle uit te voeren op de vrijgekomen geïnspecteerde buisdelen.

Figuur 5.16
Tracé persleiding Vredenburg. Het tracé begint bij rioolgemaal Vredenburg in het zuiden en eindigt bij de uitstroompuit in het noorden.



Gemaal Vredenburg heeft een capaciteit van 800 m³/uur. De pompen genereren een druk van 0,67 bar om de statische opvoerhoogte van 5,85 meter te overbruggen. Het gemaal is niet voorzien van een piglanceerinrichting, zodat ten behoeve van het onderzoek een lanceerinrichting is aangebracht die voorzien is van een tijdelijke pompinstallatie, zie figuur 5.17.



Figuur 5.17
Tijdelijke pompinstallatie (l)
met aansluiting op de
lanceerinrichting (r).

5.8.2. Toegepaste inspectietechnieken en opzet onderzoek

Drie marktpartijen zijn gevraagd dezelfde persleiding tweemaal te inspecteren. Daarbij is afgesproken dat inspectieresultaten voor de verschillende runs apart gerapporteerd zouden worden. Tabel 5.1 toont de typen metingen van de drie onderzochte inspectietools. De nadruk lag in dit praktijkonderzoek op AC, zodat de leveranciers hun instellingen daarop konden inrichten. Om maximale nauwkeurigheid te krijgen voor alle materialen is het mogelijk om meerdere runs te doen met steeds optimale instellingen per materiaal.

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	✓	✓

Tabel 5.1
Overzicht van de typen
metingen die in dit project zijn
opgeleverd.

¹ Deze instrumenten zijn in staat gasophoping te meten, maar door het reinigen met een reinigingspig vooraf is het mogelijk dat gasophoppingen 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.

Bij de beoordeling van de kwaliteit van de inspectieresultaten is gekeken naar nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid. De nauwkeurigheid is getoetst door de resultaten van de inspectie te vergelijken met referentiemetingen met een andere techniek of door het introduceren van zelf aangebrachte defecten met een bekende omvang. De reproduceerbaarheid, ofwel de mate waarin een inspectie hetzelfde resultaat geeft, is getoetst door de 1^e en 2^e inspectierun met elkaar te vergelijken. Tabel 5.2. geeft een overzicht van de uitgevoerde toetsen op de kwaliteit van de inspecties.

Tabel 5.2
Overzicht controlemetingen
op kwaliteit inspecties.

Type meting	Toetsen inspectiekwaliteit	
	Nauwkeurigheid	Reproduceerbaarheid
Leidingligging (XYZ)	Opgraven en inmeten leiding	Herhalingsinspectie
Lekkages	Creëren tijdelijke lekkages met bekende debieten bij ontluchters	
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

Figuur 5.18
Acquarius na extractie bij de
ontvangstput (l) en 500-UT-V1.0
op een standhouder voor de
inspectie (r)



5.8.3. Resultaten

RIONED/STOWA rapport 2025-38 beschrijft de resultaten gedetailleerd per type meting en per leverancier. Tabel 5.3. geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten.

De bepaling van de ligging van de leiding (X,Y) is voor veel beheerders een belangrijke reden om over te gaan tot inline inspectie. De horizontale leidingligging moet volgens de WIBON op 1 meter nauwkeurig worden bepaald. Deze nauwkeurigheid wordt door Acquaint, die de ligging bepaald met behulp van een tracker, vrijwel overal ruim gehaald, behalve op de locatie waar deze van gietijzer was in plaats van AC. Voor gietijzer moet de tracker anders worden ingesteld en dat is hier niet gebeurd omdat de nadruk op het AC deel lag. Rosenxt en Xylem maken gebruik van vaste markerpunten. Deze methode is kennelijk veel foutgevoeliger, waardoor een groot deel van de metingen niet voldoet aan de WIBON eis.

Voor de diepteligging is nog geen nauwkeurigheidseis, maar de CROW500 houdt een marge aan van 0,15 m ter voorkoming van graafschade. Bij Acquaint was deze afwijking gemiddeld 0,25 m, bij Rosenxt 1,17 m en bij Xylem ongeveer 1,4m.

Het meten van lekkages met behulp van een hydrofoon blijkt in de praktijk niet mogelijk bij leidingdrukken lager dan 1 bar. Dit betekent voor de praktijk dat lekkage meten met een andere techniek dan een slimme pig moet worden uitgevoerd, bijvoorbeeld de lektest uit paragraaf 4.1.

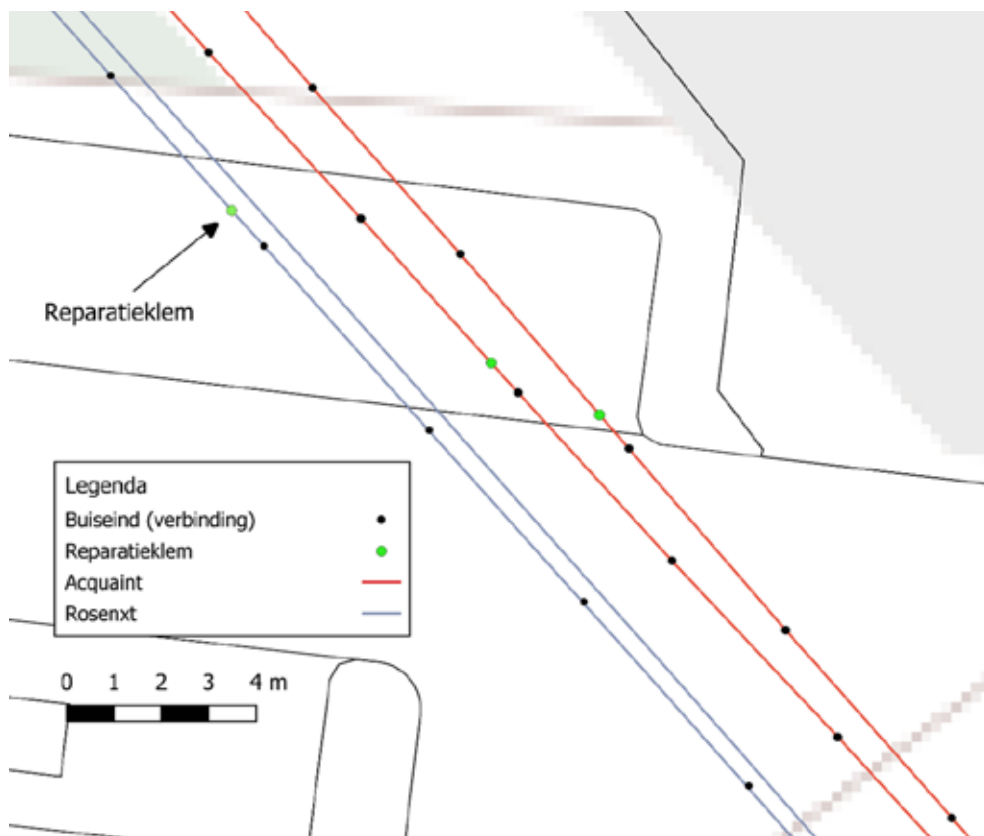
Het meten van de wanddikte is goed mogelijk met behulp van de door Acquaint en Rosenxt ingezette ultrasone meettechniek. Kennis van de originele wanddikte is hierbij een vereiste, zonder deze kennis worden de resultaten zeer onbetrouwbaar. Acquaint bepaalt de originele wanddikte via een omtrekmeting, Rosenxt gebruikt daarvoor een combinatie van een omtrekmeting en een boorkern.

De hoekverdraaiing en voegwijdte wordt door Acquaint gemeten met een nauwkeurigheid die goed bruikbaar is in de praktijk. Xylem en Rosenxt leveren deze parameters niet. Naast de leidingligging (X,Y,Z) is het voor beheerders ook belangrijk om te weten waar zich in de leiding appendages en andere objecten bevinden, zoals reparatieklemmen van historische reparaties. De ultrasone metingen bieden de mogelijkheid om deze te detecteren. De ervaring van de inspecteur is vervolgens bepalend voor de classificatie van deze objecten.

Type meting	Controlemeting	Leverancier		
		Smartball (Xylem)	Acquarius (Acquaint)	500-UT-V1.0 (Rosenxt)
Horizontale leidingligging (XY)	Opgraven en inmeten leiding	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	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	Aanpassing ontlueters nog niet gereed tijdens inspectie	Niet gedetecteerd, mogelijk door lage leidingdruk (<0,7 bar)	Niet gedetecteerd, mogelijk door lage leidingdruk (<0,7 bar)
Wanddikte	CT-scan	n.v.t.	Goed, mits juiste gekozen originele wanddikte	Goed, mits juiste gekozen originele wanddikte
	Lokaal verdikken wand met cementspecie	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	n.v.t.	Komt goed overeen, meetonzekerheid $\pm 0,41^\circ$	Niet in voldoende detail gerapporteerd
Voegwijdte verbindingen	Video-inspectie	n.v.t.	Lijkt goed overeen te komen, meetonzekerheid $\pm 1,89$ mm	Niet in voldoende detail gerapporteerd
Appendages en reparaties	Detecteren appendages & reparaties	Niet gerapporteerd	6 v/d 7 gerapporteerd	5 v/d 7 gerapporteerd

Tabel 5.3
Overzicht van de inspectieresultaten

Een belangrijke bevinding van de praktijktest is dat buisdelen in de gerapporteerde inspectieresultaten niet altijd op dezelfde plek liggen. Figuur 5.19 laat zien dat de locatie van de reparatieklem bij de drie inspecties waarin deze is gerapporteerd op een andere plek ligt. Dit betekent ook dat de positie van een lokaal defect onjuist kan zijn en dit een verklaring kan zijn dat bij het opgraven van een leiding om een geconstateerd defect op te zoeken, dit niet altijd gevonden wordt. De positiebepaling van buisdelen moet echt beter om te zorgen dat een inspectie die in de toekomst wordt uitgevoerd vergeleken kan worden met de huidige inspectie en om te zorgen dat resultaten van een berekening met het faalkansmodel persleidingen gebruikt kunnen worden om samen met de inspectieresultaten een goed beeld van de actuele en te verwachte leidingconditie kan worden gegeven.



Figuur 5.19
Locatie van dezelfde reparatieklem bij drie verschillende inspecties. De locatie van dit toestandsaspect kan een compleet buisdeel verschoven zijn. Voor Rosenxt is alleen de locatie van verbindingen voor één inspectie ter beschikking gesteld.

6 Ervaringen, conclusies en vervolgtraject

Dit hoofdstuk beschrijft de ervaringen met het stappenplan inventarisatie en onderzoek persleidingen en kijkt vooruit naar ontwikkelingen die de komende jaren bijdragen aan de verdere professionalisering van het persleidingenbeheer.

6.1 Ervaringen met invulformulier als onderdeel fase 1 ‘inventarisatie’

6.1.1 Functionele eisen

Het eerste onderdeel van het invulformulier omvat de functionele eisen, waarbij de nadruk ligt op hydraulische kengetallen en aspecten. Dit deel begint met de selectie van een hydraulische eenheid (een leidingtracé met een gelijk debiet) en het vastleggen van de leidingfunctie. Voor transportleidingen zonder veel inpridders in het buitengebied is dit vrij eenvoudig. Voor systemen met meer verbindingen en een scala aan bedrijfsvoeringssituaties (waaronder soms stroomrichtingomkering) vergt dit meer aandacht.

Opvallend is dat bij enkele beheerders het objectbeheer (wat ligt waar en hoe goed is dat) en het systeembeheer (welke hydraulische functionaliteit vraag ik van deze leiding) uit elkaar is gehaald. Hierdoor heeft de objectbeheerder geen inzicht in de redundantie op systeemniveau, die van groot belang is om de mogelijkheden voor inspectie en de benodigde actie bij calamiteiten te bepalen.

De hydraulische kengetallen zijn over het algemeen beschikbaar, hoewel het door de splitting van taken over afdelingen soms vrij veel moeite kost om deze kengetallen te verzamelen.

De hydraulische aspecten zijn goed in beeld voor waterslagberekeningen en gevoelige locaties voor waterslag. Minder zicht is er op locaties waar de leiding onder een aantal bedrijfscondities droog kan komen te staan of waar lucht in de leiding kan zitten, bijvoorbeeld nabij be- en ontluuchters. Het beheer van appendages, zoals ontluuchters, verschilt sterk tussen beheerders. Uit een in 2022 uitgevoerde enquête volgt dat 75% van de beheerders aangeeft te weten waar ontluuchters zich bevinden (en 25% dus niet!). 5% van de beheerders voert maandelijks actief beheer uit, 26% eenmaal per jaar en maar liefst 32% voert geen actief beheer uit. Landelijk zullen deze percentages nog minder goed uitpakken, aangezien vooral de meer actieve beheerders betrokken waren bij de enquête.

Tenslotte blijkt het lastig om de eisen ten aanzien van acceptabel lekdebiet vast te stellen, deels omdat historische ontwerpisen niet passen op huidige normering en deels omdat nog beperkt ervaring is met het vaststellen van deze eisen.

6.1.2 Kenmerken leidingtracé

Technische beschrijving

In de technische beschrijving van de leiding moet basismateriaal staan dat de ligging en fysieke kenmerken beschrijft. Een groot deel van de gegevens ligt vast in pdf-bestanden met daarin ingescande tekeningen. De basisgegevens (zoals leidingmateriaal, X, Y-ligging en bijzondere voorzieningen) zijn vaak beschikbaar in een GIS-systeem of leidinginformatiesysteem, waarbij de mate van detail vaak onvoldoende is als het gaat om basiskenmerken zoals Z-ligging. Bij het digitaliseren is vaak alleen het begin en eind van relatief lange leidingsecties opgenomen, waardoor nauwkeurige informatie over de ligging van tussenliggende delen ontbreekt. Bovendien is de Z-coördinaat in zettingsgevoelige gebieden geen vast leidingkenmerk. Andere zaken die veel informatie over mogelijke faalmechanismen kunnen bevatten (zoals opleveringsdossiers of dossiers met inspectiegegevens), zijn vaak niet centraal beschikbaar. Dergelijke dossiers zijn gewoonlijk wel op netwerkschijven te vinden of uit andere archieven te halen.

Technische eisen

De vragen over de technische eisen voor de leiding kunnen de meeste beheerders niet invullen. Dit betekent dat niet bekend is wat acceptabel systeemgedrag is bij lekkage of leidingweerstand, of wat de toegestane zetting is. Hierdoor is niet eenvoudig vast te stellen of

een leiding nog voldoet of niet. Daarnaast ontbreken hiermee de eisen die beheerders aan een inspectietechniek moeten stellen. Want als niet vastligt hoeveel lekkage acceptabel is, is ook niet bekend hoe nauwkeurig zij dit zouden willen meten.

Ook blijkt geen acceptabele faalfrequentie beschikbaar te zijn, bijvoorbeeld uitgedrukt in aantallen falen/incidenten per 100 km per jaar, zoals bij drinkwaterbedrijven gebruikelijk is. De huidige aantallen incidenten vertonen een lichte stijging zoals aangegeven in de inleiding, maar uit de op dit moment beschikbare gegevens volgt nog niet dat de persleidingen in Nederland het einde van hun technische levensduur massaal hebben bereikt en het einde van de 'badkuipkromme' in zicht is.

Omgevingsaspecten

De vragen over omgevingsaspecten en risico-indeling zijn over het algemeen goed te beantwoorden. Een kanttekening is dat beheerders de gegevens over de omgeving meestal alleen vastleggen bij de aanleg en deze niet actualiseren. Hierdoor raken dossiers verouderd, zeker in (stedelijke) gebieden met veel ontwikkeling.

Calamiteitenplan

De meeste beheerders beschikken over een calamiteitenplan. Daarbij is veel aandacht voor externe risico's en procedures voor opschaling, maar weinig aandacht voor concrete leidingsecties. Een aantal beheerders heeft in het kader van de calamiteitenbeheersing wel voldoende reserveonderdelen klaarliggen.

Faalhistorie

De beheerders hebben de vragen over de faalhistorie wisselend beantwoord. Sommigen beschikken over een meerjarige registratie, anderen niet. Over het algemeen is een hydraulische eenheid dermate klein (enkele kilometers lang) dat met een faalniveau van één tot twee gebeurtenissen per 100 km per jaar het aantal historische faalgebeurtenissen voor een hydraulische eenheid zeer klein is. De incidentenregistratie is in 2024 en 2025 serieus opgepakt vanuit het programma PAT (Professioneel AfvalwaterTransport), waarmee de sector steeds meer grip krijgt op aard, oorzaak en gevolgen van incidenten.

6.2 Ervaringen met uitvoeren onderzoek fase 2 niveau 'basis'

De uitgevoerde onderzoeken op niveau 'basis' bieden een overzicht van de benodigde inspanning voor het uitvoeren van onderzoek gericht op het vaststellen van lekkage, sterkte en hydraulisch functioneren.

Lekkage

Testen op lekkage zijn uitgevoerd door vier beheerders. Daarbij is zowel de lekverliesmethode als de drukverliesmethode gebruikt. Beide methoden bleken bruikbaar.

Met drukproeven blijken beheerders goed in staat om aanwezige lekkages op te sporen, met als tastbare voorbeelden de lekkages via appendages als een kapotte beluchter en de afdichting van een piglanceerunit. Deze resultaten laten zien dat de drukproeven als zodanig goed inzetbaar zijn. De bevindingen leren ook dat een lek met een omvang van enkele m³/h al leidt tot waarneembare effecten aan het maaiveld. Voor dergelijke grotere lekken is veldinspectie daarmee ook een mogelijke onderzoeksmethode om ze te constateren.

De benodigde inspanning voor het uitvoeren van de drukproef varieert flink tussen de beheerders. De netto kosten en tijdsbesteding voor het uitvoeren van een drukproef liggen op €7.500 - €15.000 voor inhuur van apparatuur en tussen de 5 en 10 mandagen. De bruto kosten, zoals het opsporen en gangbaar maken van appendages, kunnen een veelvoud hiervan zijn. Deze kosten zijn echter te beschouwen als onderdeel van regulier 'klein' onderhoud.

Sterkte

Twee beheerders hebben een sterktetest uitgevoerd, waarbij de leiding op de vooraf bepaalde testdruk is gebracht. Daarbij kwam in geen van de gevallen een probleem naar voren. De methode voor de sterktetest is, op de toe te passen druk na, gelijk aan de drukverliesmethode die ook wordt toegepast bij lekkagetesten. De voorbereidings- en uitvoeringskosten zijn vergelijkbaar met die van de lekkagetest.

Hydraulisch functioneren

Twee beheerders hebben een analyse uitgevoerd van de hydraulisch functioneren van een persleiding. De benodigde inspanning is relatief beperkt en bestaat uit het registreren van het drukverlies over de leiding bij een bekend debiet. De methode blijkt bij deze cases in staat om een geringe toename van de rekenkundige wandruwheid met 2 mm te kunnen vaststellen. De toepasbaarheid van deze methode is wel afhankelijk van de situatie. Bij korte leidinglengtes (< 500 m) en een onnauwkeurige debietmeting is het lastiger om de wandruwheid goed te bepalen.

6.3 Ervaringen met uitvoeren onderzoek fase 3 niveau 'verdieping'

Het uitvoeren van gerichte inspectie op niveau 'verdieping' geeft inzicht in de locatie van lekkages, (lokale) materiaalveroudering door aantasting, oorzaken en locaties van toegenomen hydraulische weerstand en de effecten op de geometrie van de leiding door zetting, zoals voegwijdte en hoekverdraaiing. Daarbij is geen sprake van een 'one size fits all' techniek: er is geen enkele inspectietechniek die in één keer inzicht geeft in alle relevante faalmechanismen.

Lekkage

Voor het opsporen van de locatie van lekkage komen twee technieken naar voren. De eerste is akoestisch: lekkage vanuit een persleiding veroorzaakt met hydrofoons waarneembaar geluid. De lekkage moet wel groot genoeg zijn om waargenomen te kunnen worden, zodat een minimale druk in de leiding van 1 bar noodzakelijk is om bij een klein lek ook een hoorbaar lekdebiet op te leveren. De akoestische techniek met hydrofoons is in de praktijk toegepast via de Smartball uit paragraaf 5.5 en de intelligente pigs van Acquaint en Rosenxt uit paragraaf 5.8. De minimale druk vormt, samen met de gewenste stroomsnelheid tijdens de inspectie, een flinke beperking van de toepasbaarheid van hydrofoons in de praktijk. De tweede techniek is het toepassen van de eerder beschreven lektest op (delen van) een leidingtracé.

Sterkte

De inspectiemethoden die gericht zijn op sterkte richten zich met name op het bepalen van de 'gezonde' wanddikte. Voor AC, beton, PVC en staal zijn ultrasone metingen (paragraaf 5.7) en voor AC en beton ook rioolradar (paragraaf 5.3) daarvoor geschikte technieken. Beide kunnen zowel vanuit de buis als van buitenaf na ontgraven plaatsvinden. De ultrasone meting van binnenuit vindt plaats in een volle buis door middel van intelligente pigs. Rioolradarmetingen vinden plaats in een lege buis, wat een forse beperking is voor persleidingen. De intelligente pig is de afgelopen jaren het meest toegepast in Nederland. De traditionele methode van het destructief onderzoek via het nemen van een boorkern, zie paragraaf 5.4, of het uitnemen van een buisdeel gebeurt steeds minder, hoewel dit voor specifieke locaties wel waardevolle informatie kan opleveren.

Hydraulisch functioneren

Het hydraulisch functioneren van een persleiding kan verslechteren door een hogere wandruwheid, aangroei van de wand door scaling of vetophoping, sedimentophoping en luchtophoping. Visuele inspectie (paragraaf 5.1) is een geschikte techniek voor het vaststellen van scaling, vetophoping of sedimentophoping. Nadeel is dat dit alleen mogelijk is in een drooggezette leiding. Met behulp van sonar is het theoretisch mogelijk om in een gevulde buis scaling, vetophoping en sedimentophoping waar te nemen, maar de praktische ervaring daarmee is in Nederland beperkt. Luchtophoping is ook waarneembaar met de Smartball, terwijl dit met de intelligente pig niet mogelijk is doordat de meetpig of de daarvoor gelanceerde schoonmaakpig de lucht wegduwt. De nadruk bij de inspecties ligt duidelijk sterker op constructieve aspecten dan op het hydraulisch functioneren.

Zetting

Zetting als faalmechanisme is voor twee leidingen in beeld gebracht. Dit vraagt zowel om het bepalen van de zetting van de bodem vanuit een zettingskaart als om het bepalen van de verschilzetting bij pendelstukken of kruisingen met niet-zettende infrastructuur, zoals een onderheid gemaal. De zettingskaart via de website <https://bodemdalingskaart.nl/> toont de zetting sinds januari 2015. Veel persleidingen zijn aangelegd voor deze datum, waardoor de zetting die de leiding tijdens de levensduur heeft ervaren daarmee niet in beeld is.

Met behulp van het faalkansmodel persleidingen (Gasse et al) is het mogelijk om de zetting vanaf de aanleg te berekenen. Het nauwkeurig bepalen van de lokale zetting(sverschillen) is goed uit te voeren bij het maken van een proefsleuf op de bekende gevoelige locaties.

De gevolgen van zetting (in een nog niet gefaalde leiding) zijn waarneembaar via het nauwkeurig vaststellen van de Z-coördinaat, het vaststellen van de voegwijdte en van de hoekverdraaiing. De ATU-meting of LPMH-meting is in staat om de Z-coördinaat nauwkeurig in te meten. Met behulp van de positiebepaling van de intelligente pig geeft de Acquarius een inschatting van de Z-waarde. De Acquarius meet met behulp van een gyro-scoop nauwkeurig de hoekverdraaiing in en met behulp van een ultrasone sensor nauwkeurig de voegwijdte. De hoekverdraaiing en voegwijdte kunt u ook in een drooggezette leiding nauwkeurig laten inmeten met behulp van visuele inspectie gecombineerd met hellingmeting. De nu meest gebruikte methode is de intelligente pig met hoekverdraaiing en voegwijdte.

6.4. Verwerken resultaten en besluitvorming

Het stappenplan voor inventarisatie en onderzoek uit figuur 2.1 bevat vier rode blokken. Voorafgaand aan en na afloop van elke inventarisatie en onderzoeksstap is de beheerder aan zet bij het besluiten tot actie (nader onderzoek, beheermaatregelen) op basis van de op dat moment beschikbare informatie.

De inventarisatiestap, het groene blok, is altijd noodzakelijk. Het compleet en actueel maken van een leidingdossier is nodig om te kunnen bepalen of onderzoek en beheermaatregelen nodig zijn. Daarnaast is zijn de gegevens uit de inventarisatiestap noodzakelijk om een inspectie, praktijkonderzoek of modelberekening met het faalkansmodel te kunnen voorbereiden.

Na de inventarisatiestap besluit u of nader onderzoek noodzakelijk is en hoe dit nader onderzoek wordt ingevuld door via het gele blok de functionele eisen te toetsen of dat u direct doorgaat naar het oranje blok met gerichte inspectie.

Het praktijkonderzoek 'basis', het gele blok, toetst de functionele eisen, ofwel: is de leiding waterdicht, is deze in staat om de optredende belastingen te weerstaan en kan het debiet worden getransporteerd met een acceptabel drukverlies. Het toepassen van een lektest, het afpersen van de leiding en het analyseren van het hydraulisch gedrag laten zien of de leiding voldoet aan de functionele eisen. Het doorlopen van deze stappen is vooral kosteneffectief indien te verwachten is dat gerichte inspectie niet doelmatig is vanwege hoge kosten of een zeer kleine kans dat problemen optreden. Dit is bijvoorbeeld het geval voor:

- korte leidingen (< 1 km) zonder piglanceerinrichting met een kleine diameter (< 450 mm) of leidingen die niet gepigd kunnen worden vanwege obstakels zoals vlinderkleppen EN
- leidingen waarvan de beheerder een goed beeld heeft van de XYZ-ligging EN
- leidingen waarvoor geen specifieke aanwijzingen zijn voor aantasting of verschilzetting. Dit inzicht volgt uit de leidingkenmerken en het historisch gebruik van de leiding. Het faalkansmodel persleidingen biedt de mogelijkheid om de kans op het optreden van aantasting, zetting of waterslag te berekenen.

Vooraf bij gemeenten vallen veel leidingen in deze categorie. Dit betreft dan leidingen, die het rioolwater van een onderbemalingsgebied inprikken in een ontvangend bemalingsgebied.

Voor (langere) leidingen waarbij de beheerder geen goed beeld heeft van de XYZ ligging en er nog nooit een inspectie heeft plaatsgevonden, ligt het juist wel voor de hand om direct over te gaan naar een gerichte inspectie, het oranje blok, en via een inline inspectie de ligging te bepalen en tegelijk inzicht te krijgen in de conditie van de leiding. U moet in dat geval wel bij de keuze van de inline inspectietechniek meenemen in hoeverre deze de relevante conditieaspecten, zoals 'gezonde' wanddikte, hoekverdraaiing en voegwijdte, mee kan nemen. Een analyse van het hydraulisch functioneren blijft ook in dat geval aan te bevelen.

Na het doorlopen van het groene en optioneel het gele blok, bepaalt u of gerichte inspectie noodzakelijk is en welke informatie de gerichte inspectie moet opleveren. U kunt daarbij kiezen voor een inline inspectie om de gehele leiding op meerdere aspecten in beeld te

brengen, maar ook voor andere technieken met gericht onderzoek op specifieke locaties, die als kwetsbaar volgen uit de inventarisatie en eventueel het faalkansmodel persleidingen. Dit kan bijvoorbeeld gaan om de inzet van een proefsleuf voor lokale zetting bij de aansluiting van de persleiding op het gemaal of een meting van de wanddikte via een boorkern of rioolradar op een locatie waar H₂S aantasting van AC of beton te verwachten is. Voor H₂S aantasting is een noodzakelijke voorwaarde dat lucht met daarin zowel H₂S als zuurstof zich ophoopt in de leiding. H₂S wordt gevormd tijdens het anaeroob transport in de persleiding en zuurstof kan afkomstig zijn van onderweg inprikkende gemalen of verkeerd functionerende ontluchters. Ook leidingen die niet altijd volledig gevuld zijn, zijn mogelijk gevoelig voor H₂S aantasting. Voor AC leidingen zonder H₂S aantasting is uitloging doorgaans het dominante verouderingsmechanisme. Ook dit is via een aantal lokale metingen goed in te schatten en vereist niet per se een volledige inline inspectie.

De resultaten van de gerichte inspectie kunt u analyseren en interpreteren met behulp van het faalkansmodel persleidingen (Gasse et al., 2024), waarna u kunt kiezen voor eventuele maatregelen als relining of (gedeeltelijke) vervanging.

6.5 Aanbevelingen

Uit de uitgevoerde inventarisaties en onderzoeken volgt dat veel beheerders de basisgegevens die nodig zijn voor de fase inventarisatie, maar die vooral ook nodig zijn voor het beheren en kunnen laten inspecteren van de leiding, niet snel en eenvoudig kunnen ontsluiten.

- De eerste aanbeveling is dan ook 'basis op orde', ofwel, zorgen dat de basisgegevens correct, actueel en beschikbaar zijn. Het 'basis op orde' krijgen is onderdeel van het deelproject 'goed huisvaderschap' van het PAT.

Ten tweede komt naar voren dat voor veel beheerders niet vastligt welke eisen zij aan de leiding moeten stellen en daarmee welke beheeractiviteiten noodzakelijk zijn.

- De tweede aanbeveling richt zich dan ook op het formuleren van concrete technische eisen voor gemalen, leidingen en appendages, waarmee de beheerder vastlegt welke afwijkingen (mate van lekkage, zetting, toename hydraulische weerstand) acceptabel zijn en welke niet.

De getalsmatig invulling van deze eisen moet daarbij passen op het risicoprofiel van de betreffende beheerder, ofwel: welk niveau van faalgebeurtenissen is acceptabel gegeven de bijbehorende impact. Ook deze aanbeveling krijgt inmiddels opvolging via het deelproject 'goed huisvaderschap' van het PAT.

Ook blijkt dat dat veel leidingen niet eenvoudig en tegen lage kosten inspecteerbaar zijn en dat veel transportsystemen niet redundant zijn uitgevoerd. Het gebrek aan redundantie beperkt sterk de mogelijkheden voor beheeractiviteiten, waaronder inspectie.

- De derde aanbeveling is om bij het (her)ontwerp en uitvoeren van werkzaamheden aan gemaal of persleiding te zorgen voor toegankelijkheid voor inspectiemateriaal en om redundantie aan te brengen in het transportsysteem. Ook om gelijk te zorgen voor onafhankelijke verificatieonderzoeken (en herhaalinspecties op dezelfde leiding) gericht op het vaststellen van detectielimieten en meetnauwkeurigheden.

Als laatste aspect komt naar voren dat de inline inspecties het afgelopen decennium een sterke ontwikkeling hebben doorgemaakt, maar er nog wel een aantal verbeterlagen noodzakelijk zijn om te zorgen dat de resultaten van de inspecties bruikbaar zijn als basis voor toekomstige beheeractiviteiten.

- De vierde aanbeveling is het verder verbeteren van de inline inspecties op het vlak van XYZ bepaling en mapping op buisdelen, zodat de locatie van defecten goed vastligt ten behoeve van beheeracties of toekomstige inspecties.
- De vijfde aanbeveling is het net als voor AC uitvoeren van onafhankelijke verificatieonderzoeken (en herhaalinspecties op dezelfde leiding) gericht op het vaststellen van detectielimieten en meetnauwkeurigheden voor kunststof (PVC) en (voorgespannen) gewapend betonnen leidingen.

- Arsénio, A. M., Vreeburg, J., & Rietveld, L. (2014). Quantitative non-destructive evaluation of push-fit joints. *Urban Water Journal*, 11(8), 657-667.
- Aslam, H., Mortula, M. M., Yehia, S., Ali, T., & Kaur, M. (2022). Evaluation of the Factors Impacting the Water Pipe Leak Detection Ability of GPR, Infrared Cameras, and Spectrometers under Controlled Conditions. *Applied Sciences*, 12(3), 1683. <https://doi.org/10.3390/app12031683>
- Atef, A., Zayed, T., Hawari, A., Khader, M., & Moselhi, O. (2016). Multi-tier method using infrared photography and GPR to detect and locate water leaks. *Automation in Construction*, 61, 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.10.006>
- Bai, H., & Sinfield, J. V. (2020). Improved background and clutter reduction for pipe detection under pavement using Ground Penetrating Radar (GPR). *Journal of Applied Geophysics*, 172, 103918. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103918>
- Bernasconi, G., & Giunta, G. (2020). Acoustic detection and tracking of a pipeline inspection gauge. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 194, 107549. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107549>
- Borsje, H. (2016). TNO 2016 R10427: Onderzoek betonnen persleiding AWP.
- Chapman, H. (2012, March). Development of a Successful Internal Leak Detection and Pipeline Condition Assessment Technology for Large Diameter Pipes. In 6th Annual WIOA NSW Water Industry Engineers & Operators Conference.
- Che, T. C., Duan, H. F., & Lee, P. J. (2021). Transient wave-based methods for anomaly detection in fluid pipes: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 160, 107874. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2021.107874>
- Davis, P., Sullivan, E., Marlow, D., & Marney, D. (2013). A selection framework for infrastructure condition monitoring technologies in water and wastewater networks. *Expert systems with applications*, 40(6), 1947-1958. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.10.004>
- Dirksen, J., Clemens, F. H. L. R., Korving, H., Cherqui, F., Le Gauffre, P., Ertl, T., ... & Snaterse, C. T. M. (2013). The consistency of visual sewer inspection data. *Structure and Infrastructure Engineering*, 9(3), 214-228.
- Driessen, J., Horst, R. ter (2020). Handreiking voor in-line inspecties van drinkwater- en afvalwaterpersleidingen. Basis voor afspraken tussen leidingbeheerder en inspectiebedrijf. Versie 10 februari 2020. Gepubliceerd als RIONED/STOWA rapport 2021-39
- Duran, O., Althoefer, K., & Seneviratne, L. D. (2002). State of the art in sensor technologies for sewer inspection. *IEEE Sensors journal*, 2(2), 73-81. 10.1109/JSEN.2002.1000245
- Fahmy, M., & Moselhi, O. (2009, June). Detecting and locating leaks in underground water mains using thermography. In *Proceedings of the 26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2009)*, Austin, TX, USA (pp. 24-27).
- Fitamant, R. L., Lewis, R. A., Tanzi, D. J., & Wheatley, M. (2004). PCCP Sanitary Sewer Force Main Evaluation and Management-A Case Study. In *Pipeline Engineering and Construction: What's on the Horizon?* (pp. 1-10).
- Gasse, L.C. la, Courage, W.M.G., Martinez Colán, A.I., Kruse, H., Nugroho, D., Langeveld, J.G., Post, J., Makris, K. (2024) Faalkansmodel voor assetmanagement van persleidingen – fase 2. TNO rapport R10084
- Harting, K. Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und dukern – Phase 1 – Handlungsempfehlungen unter technische und wirtschaftlichen aspekten, IKT, 2011, Gelschenkirchen.
- Inventec (2006). Zettingsmetingen. <https://www.inventec.nl/Portals/0/Productsheets/LPMH%20zettingen%20nederlands.pdf>
- Jazayeri, S., Klotzsche, A., & Kruse, S. (2018). Improving estimates of buried pipe diameter and infilling material from ground-penetrating radar profiles with full-waveform inversion. *Geophysics*, 83(4), H27-H41. <https://doi.org/10.1190/geo2017-0617.1>
- Laarhoven, K. van, Summeren, J. van (2019). Röntgentomografie als meetmethode voor toestandsbepaling van asbestcementleidingen. BTO 2019.010
- Langeveld, J. & de Haan, C. (2018). Proeftuin persleidingen fase 2: Inventarisatie en basisonderzoek. RIONED/STOWA rapport 2018-22
- Langeveld, J. & de Haan, C. (2015). Proeftuin persleidingen: Handreiking inventarisatie en onderzoek. RIONED/STOWA rapport 2015-21
- Langeveld, J., Makris, K. & Post, J. (2023). Professioneel persleidingenbeheer: Handreiking inventarisatie en inspectie van persleidingen. RIONED/STOWA rapport 2023-09

- Latif, J., Shakir, M. Z., Edwards, N., Jaszczkowski, M., Ramzan, N., & Edwards, V. (2022). Review on condition monitoring techniques for water pipelines. *Measurement*, 110895. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110895>
- Lee, A., Kleiner, Y., Rajani, B., Wang, L., & Condit, W. (2017). Condition Assessment Technologies for water transmission and sewage conveyance systems. UBC Sustainability scholar program 2017 & Metro Vancouver.
- Lepot, M., Stani, N., & Clemens, F. H. (2017). A technology for sewer pipe inspection (Part 2): Experimental assessment of a new laser profiler for sewer defect detection and quantification. *Automation in Construction*, 73, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.010>
- Li, P., Zhang, W., Ye, Z., Wang, Y., Yang, S., & Wang, L. (2022). Analysis of Acoustic Emission Energy from Reinforced Concrete Sewage Pipeline under Full-Scale Loading Test. *Applied Sciences*, 12(17), 8624. <https://doi.org/10.3390/app12178624>
- Liu, Z., & Kleiner, Y. (2013). State of the art review of inspection technologies for condition assessment of water pipes. *Measurement*, 46(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.05.032>
- Makar, J. M. (1999). Diagnostic techniques for sewer systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 5(2), 69-78. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(1999\)5:2\(69\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(1999)5:2(69))
- Mirats Tur, J. M., & Garthwaite, W. (2010). Robotic devices for water main in pipe inspection: A survey. *Journal of Field Robotics*, 27(4), 491-508.
- NEN 3398. Buitenriolering – Onderzoek en toestandsbeoordeling
- NEN 3650-1 Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1: Algemene eisen
- NEN 3650-2 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal;
- NEN 3650-3 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof;
- NEN 3650-4 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 4: Aanvullende eisen voor leidingen van beton;
- NEN 3650-5 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 5: Aanvullende eisen voor leidingen van gietijzer.
- NEN 3651 Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken
- NEN-EN 13508-1. Onderzoek en beoordeling van de buitenriolering – Deel 1: Algemene eisen
- NEN-EN 1610 Ontw. Buitenriolering – aanleg en beproeven van leidingsystemen
- NEN-EN 805, Watervoorziening - Eisen aan distributiesystemen buitenshuis
- Ni, S. H., Huang, Y. H., Lo, K. F., & Lin, D. C. (2010). Buried pipe detection by ground penetrating radar using the discrete wavelet transform. *Computers and Geotechnics*, 37(4), 440-448. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2010.01.003>
- Post, J.A.B. en Langeveld, J.G. (2023). STandaard Uniforme uitwisseling Incidentenregistratie Persleidingen (STUIP). RIONED/STOWA rapport 2023-18
- Post, J.A.B. en Langeveld, J.G. (2025). Beoordeling inspectie-instrumenten voor persleidingen: onderzoeken in de praktijk. RIONED/STOWA rapport 2025-38
- Prisutova, J., Krynkin, A., Tait, S., & Horoshenkov, K. (2022). Use of Fibre-Optic Sensors for Pipe Condition and Hydraulics Measurements: A Review. *CivilEng*, 3(1), 85-113. <https://doi.org/10.3390/civileng3010006>
- Rizzo, P. (2010). Water and wastewater pipe nondestructive evaluation and health monitoring: a review. *Advances in Civil Engineering*, 2010. <https://doi.org/10.1155/2010/818597>
- Romanova, A., Horoshenkov, K. V., Tait, S. J., & Ertl, T. (2013, February). Sewer inspection and comparison of acoustic and CCTV methods. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (Vol. 166, No. 2, pp. 70-80). Thomas Telford Ltd. <https://doi.org/10.1680/wama.11.00039>
- Sadeghikhah, A., Ahmed, E., & Krebs, P. (2022). Towards a decentralized solution for sewer leakage detection—a review. *Water Science & Technology*, 86(5), 1034-1054. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.263>
- Scheperboer, I. (2024). Beoordeling inspectie-instrumenten voor persleidingen: onderzoeken in testopstelling. RIONED/STOWA rapport 2024-07
- Sham, J. F., Lai, W. W., Chan, W., & Koh, C. L. (2019). Imaging and condition diagnosis of underground sewer liners via active and passive infrared thermography: a case study in Singapore. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 84, 440-450. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.11.013>
- Simpson, B., Hoults, N. A., & Moore, I. D. (2015). Distributed sensing of circumferential strain using fiber optics during full-scale buried pipe experiments. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 6(4), 04015002.
- Smolders, S., Verhoest, L., De Guelde, G., & Van De Steene, B. (2009). Inspection of deteriorating asbestos cement force mains with georadar technique. *Water science and technology*, 60(4), 995-1001. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.429>
- Smolders, S., Verhoest, L., De Guelde, G., Van De Steene, B. (2008). Bepaling restlevensduur van asbestcement persleidingen met georadar. *Rioleringswetenschap jaargang 8*, nr 31.

- Sophian, A., Tian, G., & Fan, M. (2017). Pulsed eddy current non-destructive testing and evaluation: A review. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 30(3), 500-514. <https://doi.org/10.1007/s10033-017-0122-4>
- Stanić, N., Clemens, F. H., & Langeveld, J. G. (2017). Estimation of hydraulic roughness of concrete sewer pipes by laser scanning. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(2), 04016079. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001223](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001223)
- Stanić, N., Langeveld, J., Salet, T., & Clemens, F. (2017). Relating the structural strength of concrete sewer pipes and material properties retrieved from core samples. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(5), 637-651.
- Stegeman, B., Hoffmann, R., Hopman, V., Langeveld, J., & Clemens-Meyer, F. (2022). The assessment of a mobile geo-electrical measurement system: a study on the validity and contributing factors to quantify leakage in sewer systems. *Urban Water Journal*, 19(4), 374-387.
- Stegeman, B., Langeveld, J., Bogaard, T., & Clemens, F. (2018, September). Detection of exfiltration in sewer systems with tracers. In *International Conference on Urban Drainage Modelling* (pp. 820-824). Springer, Cham.
- Thomson, J. C., Morrison, R.S., Sangster, Tom. Inspection guidelines for wastewater force mains, Jason Consultants LLC, WERF 2010, V A.
- Thomson, J., Morrison, R. S., Sangster, T., & Hayward, P. (2010). Inspection Guidelines for Wastewater Force Mains. Water Environment Research Foundation. <https://doi.org/10.2166/9781843392866>
- Tuccillo, M. E., Jolley, J., Martel, K., & Boyd, G. (2010). Report on condition Assessment of Wastewater Collection Systems. United States Environmental Protection Agency.
- Tukker, M., Kooij, C., Pothof, I., (2012) Hydraulisch ontwerp en beheer afvalwatertransportsystemen, CAPWAT-Handboek, 2de ed., Deltares, Delft, Netherlands
- Ulapane, N., Alempijevic, A., Vidal Calleja, T., & Valls Miro, J. (2017). Pulsed eddy current sensing for critical pipe condition assessment. *Sensors*, 17(10), 2208. <https://doi.org/10.3390/s17102208>
- Weert, M. van der, Bak, R., Driessen, J. (2022) Degradatie van AC afvalwaterpersleidingen. De belangrijkste degradatie-oorzaken in beeld gebracht met big data-analyses. Rapport SWECO in opdracht van Stichting RIONED/STOWA
- Windsor, C., Capineri, L., Falorni, P., Matucci, S., & Borgioli, G. (2005). The estimation of buried pipe diameters using ground penetrating radar. *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 47(7), 394-399. <https://doi.org/10.1784/insi.2005.47.7.394>
- Yu, Y., Safari, A., Niu, X., Drinkwater, B., & Horoshenkov, K. V. (2021). Acoustic and ultrasonic techniques for defect detection and condition monitoring in water and sewerage pipes: A review. *Applied Acoustics*, 183, 108282. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108282>

Bijlage 1 Invulformulier fase 1

Tevens te downloaden als Excel-bestand via www.riool.net/

Tabel B1.1 Functionele eisen

Functionele eisen leiding	Functie leiding	transportleiding			
		overstortleiding/OB leiding			
		reserve/calamiteiten leiding			
		DWA leiding			
		RWA leiding			
		Bijzondere samenstelling afvalwater			
		Ondergrens debiet (m ³ /uur)	DHw max	Bovengrens debiet (m ³ /uur)	DHw max
Te transporteren debietranges / maximaal optredende wrijvings-verliezen	Geen afvoer	0	xx	0	xx
	DWA	x	x	x	x
	RWA-situatie 1	x	x	x	x
	RWA-situatie 2	x	x	x	x
					

Tabel B1.2 Belasting t.g.v. bedrijfsvoering

Optredende interne belastingen / hydraulische aspecten	Interne hydraulische belasting	Minimaal (mwk)	Maximaal (mwk)
	Stilstand / leegstand	0	0
	Continue (normale bedrijfsvoering, diverse toestanden)	3	20
	Pieken over en onderdruk (t.g.v. ondermeer waterslag in diverse bedrijfstoestanden)	-10	40
	Is er helder welke locaties/leidingsecties het meest gevoelig zijn tav waterslag / onder-overdruk?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er helderheid over de optredende (spat/trek)krachten in bochten en aansluitingen?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Zijn er plekken waar langdurig sprake is van leegstand (bij dijkovergangen - OB-leidingen die leeggeheveld worden)	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een analyse op de aanwezigheid van lucht in de leiding tijdens normale bedrijfsvoering en is helder waar dit zich kan bevinden?	JA / NEE	Zo ja, waar?

Tabel B1.3 Kenmerken leiding(trace)

Technische beschrijving leiding	Is er een overzichtstekening aanwezig van de gehele leiding met daarop een heldere aanduiding van het segment van hydraulische eenheid?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Zijn jaar van aanleg momenten van (deel) renovatie/aanpassingen helder (onder meer aanwezigheid en leeftijd aquaringen)	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Zijn alle objecten, bijzondere onderdelen (zoals ont- en beluchters, waterslagvoorzieningen, kleppen) bekend & staan deze op tekening?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is helder welke voorzieningen voor inspectie aanwezig zijn (pig lanceerunits, mangaten, glasvezel, zakbakens)?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een bedieningsvoorschrift beschikbaar	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is diameter / diameterverloop en toegepast materiaal duidelijk en vastgelegd (ook aanwezigheid coating/relining)?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een ontwerp tekening / dossier van het ontwerp AS-DESIGNED?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een revisie tekening AS-BUILT met precieze trace- en diepteligging (ingemeten)	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een actuele tekening AS-IS met precieze trace- en diepteligging (ingemeten)?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een opleveringsdossier met een beschrijving van uitgevoerde testen - beproevingen tijdens oplevering? Ihb tav materiaalonderzoek / drukproef / lekkageproef, maar ook evt bouwverslagen?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een dossier met gedetailleerde leidingkenmerken: dikte leidingwand, materiaalkenmerken, sterkteklasse, waterdichtheidsklasse, toelaatbare hoekverdraaiing, toelaatbare voegwijdte?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er informatie over de ligging van de leiding tov andere infrastructuur zoals gasleiding, trambaan, dijken etc?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er informatie over de bodemkarakteristieken en zettingsprognoses?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er informatie over opgetreden zetting, ihb ter plaatse van overgangen onderheid / niet onderheid?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een dossier met grond- leiding- en sterkteberekeningen beschikbaar?	JA / NEE	Zo ja, waar?
Technische eisen aan de leiding	Zijn er inspectiegegevens?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een norm voor t.a.v. het toelaatbare lekdebiët? (conform Nen1610 en/of bepaald vanuit omgeving-anders)	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een norm voor welke druk de leiding moet kunnen weerstaan? (bv 1,5* maximale optredende bedrijfsdruk)	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een norm voor (tijdelijk) toelaatbare extra hydraulische weerstand?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een norm voor het tijdelijk toelaatbaar extra energieverbruik?	JA / NEE	Zo ja, waar?
Omgevingsaspecten - risicoindeling	Is er helderheid vanuit het ontwerp over toelaatbare zetting (leveranciersinformatie / analyses) en zaklengte pendelstukken?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is vastgelegd welke normen / regelingen en afspraken van toepassing zijn (NEN 3650, 3651, etc) maar ook welke (monitorings)verplichtingen?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een inventarisatie gemaakt van gebiedsfuncties waar het trace doorheen loopt? Inclusief bepaling van welke andere objecten en leidingen in de ondergrond aanwezig zijn en welke risicoklasse hiervoor geldt?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een dossier met relevante vergunningen omtrent afspraken rondom de leiding (zakelijk recht, monitorings-beheerverplichtingen, calamiteiten)?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een inventarisatie met limitaties aan reparatiewerkzaamheden (huizen op houten palen, gasleidingen etc) igv normaal onderhoud en/of calamiteiten ?	JA / NEE	Zo ja, waar?
Calamiteitenplan	Is er aanwezigheid van bijzondere samenstelling afval- of grondwater (voormalige gasfabrieken en/of specifieke vergunningen bij industriegebied) of grote kans op reststromen in de bodem?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een calamiteitenplan aanwezig?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	- is bekend of / op welke wijze de functie van de persleiding (tijdelijk) kan worden overgenomen?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	- voorziet dit plan in alternatieve routes / bedrijfsvoering/ zijn deze bekend en operationeel?	JA / NEE	Zo ja, waar?
Faalhistorie trace	- is er naast een interne "risico-analyse", ook een "externe risicoanalyse uitgevoerd"; denk aan inventarisatie (gas) leidingen / kruisingen dijken - spoorwegen etc en hoe daarop te anticiperen?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Is er een formele registratie beschikbaar / is deze langjarig betrouwbaar?	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Zijn incidenten met dit leidingsegment in het verleden vastgelegd door veldopnames bij calamiteiten en/of interviews oudgedienden- onderzoek achteraf	JA / NEE	Zo ja, waar?
	Hoeveel incidenten zijn er bekend met vergelijkbare leidingen elders in het beheergebied. Igv bekend toelichten momenten / locaties / oorzaken	xx	Zo ja, waar?

Tabel B.1.4 Relevante faalmechanismen

Bepalen op basis van voorgaande informatie:	Is voor deze leiding lekkage een relevant / dominant faalmechanisme?	JA / NEE	I.h.b. t.p.v. : En... en
	Is voor deze leiding constructief bezwijken een relevant / dominant faalmechanisme?	JA / NEE	I.h.b. t.p.v. : En... en
	Verminderde hydraulische functionaliteit relevant?	JA / NEE	I.h.b. t.p.v. : En... en
	Is zetting een relevant faalmechanisme?	JA / NEEW	I.h.b. t.p.v. : En... en

Tabel B.1.5 Kosten inspectietechniek - praktische haalbaarheid

Lekkage-basis	Wat zijn de kosten voor het nalopen van het trace eenmalig?	xx
	Wat zijn de kosten voor een infraroodscan (vliegtuig) eenmalig?	xx
	Wat zijn de kosten lagedruk afpersen (lekkage) eenmalig inclusief noodzakelijke middelen?	xx
	Wat zijn de kosten van gefaseerd afpersen i.g.v. herhaling?	xx
	Wat is de tijdsduur van buitengebruikstelling in uren voor lage druk afpersen (lekkage) test?	xx
	Indien niet praktisch toepasbaar, wat zijn kosten alternatief/ aanpassing systeem (bv compartimentering?) of alternatieve omleidingsroutes afvalwater?	xx
Sterkte-basis	Wat zijn de kosten om de leiding gefaseerd af te persen van lagedruk naar hogedruk afpersen eenmalig?	xx
	Wat is de tijdsduur van buitengebruikstelling in uren?	xx
	Wat zijn de kosten van gefaseerd afpersen i.g.v. herhaling?	xx
	Indien niet praktisch toepasbaar, wat zijn kosten alternatief/ aanpassing systeem (bv compartimentering?) of alternatieve omleidingsroutes afvalwater?	xx
Hydraulica-basis	Wat zijn de kosten van een eenmalige test?	xx
	Wat zijn de kosten continue meting DHW inclusief stoplichtfunctie in telemetrie obv TMTAM systematiek?	xx
Zetting-basis	Wat zijn de kosten voor analyse maaiveld zetting?	xx
Kosten leidingrenovatie/vervanging	Wat zijn de kosten voor leidingvervanging?	xx

Bijlage 2 Overzicht toepasbare inspectietechnieken fase 2 en 3

Tabel B2.1. Overzicht meetprincipes en inspectietechnieken

Methode	Meetprincipe	Methode Uitvoering	Materiaal
Video-inspectie (CCTV, Panoramio)	Camera op wagen voor visueel waarneembare schadebeelden.	Droog riool met videowagen.	Alle materialen.
Laser scanning	Een laserdioden-profiler zendt een straal van 360 graden die in de vorm van een lichtring op de buiswand wordt geregistreerd. Op deze manier wordt de interne geometrie nauwkeurig vastgelegd.	Droog riool met videowagen.	Alle materialen.
Infrarood (passief)	Temperatuurmeting van het leidingoppervlak met infraroodcamera. Lekken boven de waterlijn zijn zichtbaar in het temperatuurprofiel van de buiswand.	Droog riool met videowagen die langzaam rijdt.	Alle materialen.
	Temperatuurmeting van het maaiveld met infraroodcamera.	Vanuit de lucht of vanaf het maaiveld met infraroodcamera.	Alle materialen.
Infrarood (actief)	Verwarming van het leidingoppervlak met een warmtebron en vervolgens temperatuurmeting van het leidingoppervlak met infraroodcamera.	Droog riool met meetwagen.	Lining van beton, AC.
LPMH- of ATU-meting	Het ATU-systeem (Afzetting Tracer Unit) trekt een druksensor over de bodem van de leiding, soms gecombineerd met een drijvende druksensor aan de binnenbovenkant van de leiding. Door de drukhoogte van het stilstaande water over het gehele leidingprofiel te meten, ontstaat een nauwkeurig beeld van de diepteligging van de leiding over de leidinglengte. Hieruit is de Z-coördinaat te bepalen en indirect de hoekverdraaiing. Het LPMH-systeem (Longitudinal Profile Measurement with Hydrostatic pressure, in het Nederlands ook wel vertaald naar LangsProfielMeting met Hydrostatische druk, maakt gebruik van een met water gevulde slang met aan het einde een druksensor, waarmee het drukverschil wordt bepaald ten opzichte van een goed bekend referentiepunt.	Druksensor via trekkabel door riool trekken. Meetlengte ATU in de praktijk 1000 meter, LPMH 400 meter.	Alle materialen.
Remote sensing	Uit satellietbeelden zetting afleiden.	Vanuit de lucht.	Alle materialen.
Georadar	Radarantennes zenden radiogolfpulsen uit. Deze pulsen planten zich voort door de bodem en reflecteren op ondergrondse overgangen tussen materialen en grondsoorten. De reflecties worden ontvangen door een ontvangstantenne.	Vanaf het maaiveld (Ground Penetrating Radar).	Alle materialen.
Rioolradar	Radarantennes zenden radiogolfpulsen uit. Deze pulsen planten zich voort door de buiswand en de grond en reflecteren op ondergrondse overgangen tussen materialen en grondsoorten. De reflecties worden ontvangen door een ontvangstantenne.	Vanuit droog riool met wagen.	Beton, AC.

Faalmechanisme/ parameter																		Ervaringen
Defecte lining	Diameter	Hardheid	Hoekverdraaiing	Holle ruimte achter leiding	Inwendige corrosie	Kwaliteitsafname	Lekkage	Ongelijke zetting	Onrondheid	Oppervlakteschade	Overbelasting	Positiebepalen (X, Y)	Positiebepalen (Z)	Putcorrosie	Scheur/ breuk	Uitwendige corrosie	Voegwijdte	
✓			✓		✓		✓		✓	✓				✓	✓		✓	Video-inspectie is DE standaard voor vrij vervaltriolering. Voor persleidingen zijn met name het bepalen van de voegwijdte en het waarnemen van oppervlakkig waarneembare schades en scheuren relevant.
	✓		✓						✓	✓					✓ ¹		✓	Samen met video-inspectie een krachtige combinatie. ¹ Lasertechniek is geschikt voor vaststellen schades die invloed hebben op de interne geometrie. Dat betekent bijvoorbeeld dat alleen openstaande scheuren kunnen worden waargenomen.
							✓ ¹											Detecteren van infiltratie onder waterlijn is onmogelijk. ¹ Alleen infiltratie
							✓ ¹											Het detecteren van lekkages vanaf maaiveld of vanuit de lucht is mogelijk bij grote lekkages bij leidingen boven het grondwaterpeil. ¹ Alleen exfiltratie
✓																		Techniek uit de luchtvaartindustrie, waarmee het mogelijk is liningdefecten te detecteren, zoals bellen, rimpels en delaminatie. Geen ervaring mee (slechts een keer in de literatuur).
			✓ ¹					✓					✓ ²					Marktpartijen bieden beide metingen aan in NL. ¹ Nauwkeurigheid van hoekverdraaiing is onbekend. ² De meetnauwkeurigheid van de Z-coördinaat is enkele mm bij een schone leiding, bij aanwezigheid sediment is mogelijke afwijking groter.
								✓ ¹										bodemdalingskaart 2.0 (https://bodemdalingskaart.nl/) geeft bruikbare data over lokale zetting. ¹ Zolang aanname klopt dat maaiveld-daling gelijk is aan leidingzetting zeer bruikbaar.
	✓											✓	✓					Geschikt voor bepalen ligging leiding en aanwezigheid holle ruimtes.
				✓	✓	✓										✓	✓	Wanddikte en holle ruimtes zijn haalbaar. Veelvuldig ingezet voor detailinspectie AC leidingen door leidingsectie op te graven en vanaf buitenzijde gezonde wanddikte te meten. De golflengte en range van de (ultra)breedband antenne zijn bepalend voor de resolutie en kwaliteit.

Methode	Meetprincipe	Methode Uitvoering	Materiaal
Hellingshoekmeting	Mechanisch-elektrische waterpas.	Op videowagen.	Alle materialen.
Zenderen	Detecteerbare sonde.	Op videowagen of via pigging.	Alle materialen.
Handmatig leidingprikken	De positie van de leiding bepalen door in de grond te prikken.	Inzet vanaf maaiveld.	Alle materialen.
Proefsleuven en proefgaten	De positie van de leiding bepalen door sleuven en gaten te graven.	Handmatig uitgraven.	Alle materialen.
Zakbakens	Directe afstandsmeting permanent.	Zakbakens op strategische locaties aanbrengen en naar behoefte hoogte inmeten.	Alle materialen.
Opgraven en destructief onderzoek	Door leiding op te graven zijn diverse destructieve testen uit te voeren. Bijvoorbeeld fenolftaleïne-test voor AC en dichloormethaan-test (DCMT) voor PVC.	Daar waar ruimte beschikbaar is. Vooral geschikt voor toepassing op beperkt aantal segmenten.	Alle materialen.
Ultrasonisch onderzoek	Hoogfrequent geluid wordt uitgezonden door een transducer en deel van het geluid wordt gereflecteerd door de binnenwand, een deel door de buitenwand. Afzonderlijke transducers in een behuizing (phased array ultrasonic) kunnen worden gebruikt voor aanvullende mogelijkheden (bv. signalen in verschillende richtingen).	Vanaf buitenkant met contacttransducer of op wagen in gevuld riool met onderdempelingstransducer of via pigging.	Alle materialen.
Guided wave ultrasound	Opgelegde elastische golven kunnen zich binnen de geometrie van de buis over grote afstanden voortplanten.	Met ringtransducers. Kan alleen aan de externe kant van de buis, dus het opgraven van enkele meters is nodig voor toepassing.	Staal, Gietijzer.
Akoestische emissie	Het gebruik van sensoren voor geluidsopnamen van akoestische golven die optreden als gevolg van de draadbreken van PCCP-leidingen.	De installatie is mogelijk als de leiding buiten bedrijf is. Daarna normale bedrijfsvoering (achtergrondgeluid kan hoog zijn).	Voorgespannen beton.
Vibro-akoestiek - correlators	Geluidsopnamen (hydrofoons) aan weerszijden van het meettraject die water uit de leiding horen stromen.	Bijna normale bedrijfsvoering, mits installatiepunten mogelijk.	Alle materialen.
Sonar	Zelfde meetprincipe als de ultrasonische metingen. Bij sonar wordt het akoestische signaal radiaal uitgezonden.	Via boot/rupsvoertuig/pig.	Alle materialen.
Impact echo	Het buisoppervlak wordt op een bepaalde locatie geraakt met een stoothamer en de gereflecteerde golf wordt geregistreerd met een verplaatsings- of versnellingsmetersensor naast de impactlocatie.	Vanaf buitenkant of in droog riool.	Beton, AC-beton.
Transient wave	Transiënte golven worden gegenereerd door het veranderen van de debietcondities (bijvoorbeeld door pompen en kleppen). Deze transiënte golven worden geanalyseerd om mogelijke defecten van de leiding te detecteren.	Gewijzigde bedrijfsvoering.	Alle materialen.
Electro-scanning	Met een sonde wordt een elektrisch veld aangebracht in het riool. Bij een lekkage gaat een stroom lopen via het gat en de bodem naar een grondpin. Door de stroomsterkte continu te meten tijdens het verplaatsen van de sonde door het riool is het mogelijk lekkages te lokaliseren.	Zender wordt door gevuld riool getrokken.	Alle materialen.

Faalmechanisme/ parameter																Ervaringen
Defecte lining	Diameter	Hardheid	Hoekverdraaiing	Holle ruimte achter leiding	Inwendige corrosie	Kwaliteitsafname	Lekkage	Ongelijke zetting	Onrondheid	Oppervlakteschade	Overbelasting	Positiebepalen (X, Y)	Positiebepalen (Z)	Putcorrosie	Scheur/ breuk	
			✓					✓								Jojanneke Dirksen heeft in haar proefschrift afgeleid dat dit goed werkt voor langshelling, mits gekalibreerd.
												✓ ₁	✓ ₂			¹ Geeft goed inzicht in X- en Y-coördinaat. ² Beperkt inzicht in Z-coördinaat.
												✓	✓ ₁			Het vergt veel inspanning. ¹ De nauwkeurige positie van de leiding blijft onbekend.
												✓	✓			Ruimte ervaring bij toepassing proefsleuven bij bouwprojecten, arbeidsintensief.
								✓					✓			Veelvuldig toegepast bij bouwrijp maken en bepalen restzetting.
	✓				✓	✓				✓					✓	Werkt, maar blijft wel een puntmeting.
				✓	✓									✓	✓	Kan de resterende (on)gezonde wanddikte nauwkeurig meten. Het principe wordt gebruikt in moderne pigging-apparaten.
					✓ ₁										✓	Commercieel gebruikt in gas- en olie-industrie. Onderzoek op begraven kunststof en betonnen buizen geeft aan dat demping te hoog wordt. ¹ Maakt geen onderscheid tussen inwendige en uitwendige corrosie.
															✓ ₁	Onderzoek toont dat het een effectief methode is, hoewel andere factoren (bv. het debiet) kunnen leiden tot een "false alarm"- situatie. ¹ De breuk betekent een draadbreek in dit geval.
							✓									Eenvoudig te gebruiken en met goede resultaten in drinkwaterleidingen.
	✓		✓												✓	Af en toe gebruikt in combinatie met andere sensoren (bv. laser).
						✓									✓	Weinig ervaring met de toepassing op buizen.
							✓								✓	Efficiënte en goedkope methode. Het is geschikt voor het detecteren van veranderingen in het systeem, niet voor lokalisatie van defecten.
							✓ ₁								✓	Internationaal brede toepassing (vooral USA). In Europa in opkomst. Gevoelig voor zwerfstromen door bv treinen. ¹ Sterk in lokaliseren lekkages, niet sterk in kwantificeren grootte van lekkage.

Methode	Meetprincipe	Methode Uitvoering	Materiaal
Fibre optic-technieken	Door laserlicht door glasvezel te zenden en met een meetcomputer reflecties te analyseren, zijn verschillende soorten informatie te krijgen, waaronder over de spanning, temperatuur en geluid.	Kabel kan worden ingebracht in riool (tijdelijke meting) of ingegraven in de bodem bij aanleg leiding (permanente meetopzet).	Alle materialen.
Magnetic Flux Leakage	Magnetische methode. Op gebieden waar sprake is van corrosie of ontbrekend metaal, 'lekt' het magnetische veld staalmagnetische energie.	Via pigging.	Gietijzer & staal.
Electro-magnetisch onderzoek (bv. remote field eddy current, broadband electromagnetic, pulsed eddy current)	Een zenderspoel zorgt voor een laag-frequent wisselstroomsignaal door de buiswand. Inconsistenties in signaal-grootte en fase duiden op materiaalafwijkingen.	Droog riool.	Gietijzer, staal & voorgespannen beton.
Tracers	Injectie tracers (gas, rook, radioactiviteit, kleurstoffen) en deze bovengronds opsporen om lekken te traceren.	Tijdens gebruikstoestand	Alle materialen.
Waterdichtheidstest met water	Leiding (of een deel, zoals een individuele verbinding) wordt afgesloten met afsluiters en op druk gezet. Een lekkage leidt tot een daling van de druk.	Test met water uitvoeren in volledig gevulde leiding. De test bestaat in 2 varianten: gelijk houden druk en meten toegevoegd volume of meten afname druk.	Alle materialen.

Tabel B2.2 Overzicht commerciële inspectietechnieken

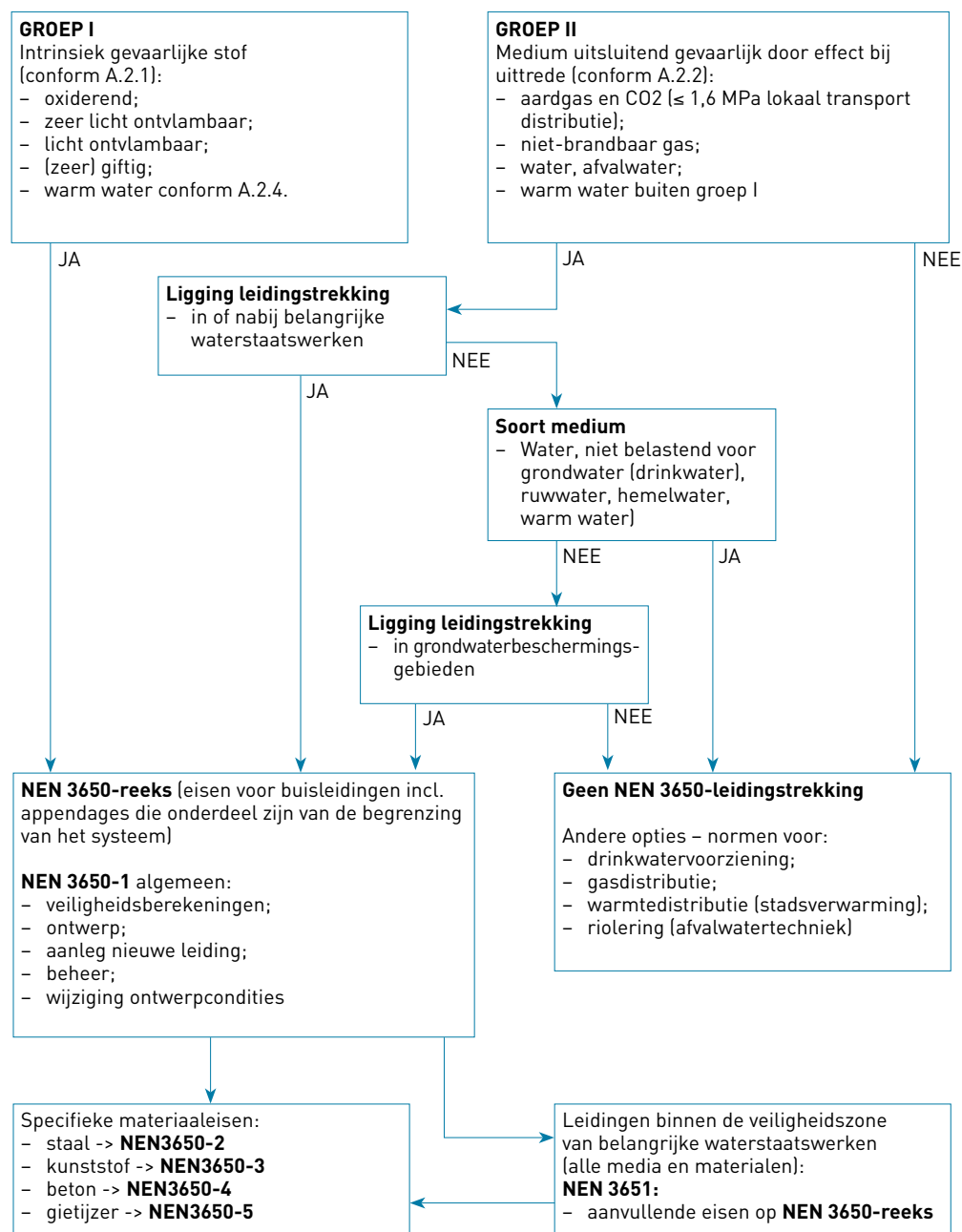
Methode	Meetprincipe	Methode Uitvoering	Materiaal
Intelligent Pigging	Verschillende sensoren (bv. ultrasoon en elektromagnetisch).	Op een meetpig zijn meerdere variaties mogelijk, met en zonder voedings-meetkabel, vrijbewegend of kruipend.	Beton, AC-beton
			PVC, HDPE
			Staal, Gietijzer.
Ultrasonisch scanning	Ultrasoon.	Vanaf buitenkant met contacttransducer.	Beton, AC-beton.
			PVC, HDPE.
			Gietijzer
			Staal
Smartball	Bal die door het riool rolt, meet overal de akoestische energie en kan hiermee vooral lekkages detecteren.	Normale bedrijfsvoering.	Alle materialen.
Video-inspectie (camera, Panoramio, HD)	Optische inspectie. Verschillende camerakoppen zijn beschikbaar. Pan & tilt ook mogelijk.	Droog riool met videowagen.	Alle materialen.
Vrijzwemmend apparaat (PipeDiver)	Opstelling met ingebouwde elektromagnetische sensoren beweegt vrij in het riool.	Normale bedrijfsvoering.	Staal, gietijzer, gewapend beton.

Faalmechanisme/ parameter															Ervaringen
Defecte lining	Diameter	Hardheid	Hoekverdraaiing	Holle ruimte achter leiding	Inwendige corrosie	Kwaliteitsafname	Lekkage	Ongelijke zetting	Onrondheid	Oppervlakteschade	Overbelasting	Positiebepalen (X, Y)	Positiebepalen (Z)	Putcorrosie	
							✓	✓			✓				Veel ervaring met DTS (distributed temperature sensing) voor diverse toepassingen in de riolering. Nog nauwelijks ervaring in of onder persleidingen.
							✓		✓	✓				✓	Goede ervaring in gas- en olie-industrie
					✓									✓	Het lijkt betrouwbaar te zijn. Van grote belang voor voorgespannen betonleidingen. Commerciële inspectietechnieken in Australië, Canada (Seesnake) en US. Goede ervaringen in andere vakgebieden (vooral olie- en gasindustrie).
							✓								Goede ervaringen in andere vakgebieden, zie onder meer LinkedIngroep Pipeline Leak Detection. Voorzichtigheid is geboden bij toepassing in stedelijk gebied!
							✓								Standaard test, zie NEN-EN805:2022 Ontw voor persleiding en NEN 1610:2019 voor vrijvervalleiding. De waterdichtheidtest met lucht wordt i.v.m. veiligheid niet gedaan in NL.

Faalmechanisme/ parameter																
Defecte lining	Diameter	Hardheid	Hoekverdraaiing	Holle ruimte achter leiding	Inwendige corrosie	Kwaliteitsafname	Lekkage	Luchtophoping	Ongelijke zetting	Onrondheid	Oppervlakteschade	Overbelasting	Positiebepalen	Putcorrosie	Scheur/ breuk	Uitwendige corrosie
			✓		✓		✓		✓	✓			✓			✓
			✓				✓		✓	✓			✓			✓
✓			✓				✓		✓				✓			✓
					✓											✓
																✓
✓					✓											✓
			✓		✓											✓
							✓	✓					✓			
✓			✓		✓		✓			✓	✓			✓	✓	
																✓
																✓

Bijlage 3 Stroomschema bepaling van toepassing zijnde norm voor leidingstrekking

Figuur B3.1.
Stroomschema selectie norm persleiding



De norm die van toepassing is op een afvalwaterpersleiding is afhankelijk van de ligging van de leidingstrekking. Afvalwater valt onder Groep II van stoffen. Bij ligging in of nabij belangrijke waterstaatswerken of in grondwaterbeschermingsgebieden is de NEN 3650-reeks van toepassing. In overige gevallen is geen sprake van een NEN 3650-leidingstrekking. Voor afvalwaterpersleidingen geldt dan NEN 1610, waarbij voor leidingen met een hogere druk dan 5 mWk wordt doorverwezen naar NEN 805 als het gaat om het bepalen van de lekdichtheid. Overigens kunnen beheerders wel NEN 3650 van toepassing verklaren ook al is de leiding geen NEN 3650 leidingstrekking.

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. Jeroen Langeveld, dr.ir. Kostas Makris en dr.ir. Johan Post (allen Partners4Urbanwater)

Opdrachtgever

Stichting RIONED

omslagfoto

dr.ir. Johan Post (Partners4UrbanWater)

vormgeving

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

rapportnummer

2025-47

isbn/ean

9789083640815

Deze publicatie beschrijft de van 2013 tot en met 2025 opgedane ervaringen met onderzoek naar de ligging, conditie en functioneren van persleidingen. Deze handreiking biedt een werkwijze om tegen acceptabele inspanning op systematische wijze inzicht te krijgen in de relevante aspecten van de actuele conditie alsmede de actuele ligging en kenmerken van persleidingen. Deze publicatie vervangt de in 2018 uitgegeven 'Handreiking inventarisatie en basisonderzoek'. De daarin al opgenomen ervaringen zijn uitgebreid met de ervaringen met verdiepend onderzoek. De handreiking biedt via de beschreven ervaringen praktische handvatten voor beheerders om aan de slag te gaan met professioneel afvalwatertransport.

ISBN/EAN 9789083640815

