

Ontwikkeling van een beoordelingsmodel voor de hoofdpersleidingen van gemeente Rotterdam

Gemeente Rotterdam
Stichting RIONED
STOWA

November 2013



Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	4
1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Doel	6
1.3 Aanpak en organisatie	7
1.4 Leeswijzer	7
2 Persleidingen in Rotterdam	8
3 Inventarisatie faalmechanismen	10
3.1 Definitie falen en afbakening	10
3.2 Foutenboom: inzicht in faalmechanismen	10
4 Nadere analyse faalmechanismen: processen en effecten	12
4.1 Voorbeeld: bezwijkproces	12
4.2 Processen en effecten per faalvorm	12
4.2.1 Lekkage	13
4.2.2 Constructief bezwijken	14
4.2.3 Verminderde hydraulische functionaliteit	18
5 Beoordelingsmodel: inspectie en onderzoeksmethoden	20
5.1 Het beoordelingsmodel	20
5.2 Stap 1: Inventarisatie functionele eisen en beheerfilosofie	22
5.3 Stap 2: Leidinginventarisatie	23
5.3.1 Systeembeschrijving leiding	23
5.3.2 Faalhistorie tracé	24
5.3.3 Hydraulisch profiel	24
5.3.4 Relevante faalmechanismen	24
5.4 Stap 3: Analyse resultaten - Overwegen onderzoek en inspectie op niveau 'basis'	24
5.4.1 Inspectie- en onderzoeksmogelijkheden op niveau 'basis'	24
5.4.2 Besluit tot onderzoek of inspectie op niveau 'basis'	26
5.5 Stap 4: Analyse resultaten - Overwegen onderzoek en inspectie op niveau 'verdieping'	27
5.5.1 Inspectie- en onderzoeksmogelijkheden op niveau 'verdieping'	27
5.5.2 Besluit tot onderzoek of inspectie op niveau 'verdieping'	29
5.6 Stap 5: Analyse resultaten en besluitvorming	30
6 Conclusies en aanbevelingen	31
6.1 Conclusies	31
6.2 Aanbevelingen	31
Literatuur	32
Bijlagen	34

Voorwoord

Persleidingen zijn de slagaders van het afvalwatersysteem maar zijn in het beheer nog vaak onderbelicht. Vaststelling van de actuele constructieve kwaliteit is om meerdere redenen lastig. Een persleiding stel je niet zo maar enige tijd buiten bedrijf voor onderzoek. Anderzijds kan falen van een persleiding aanzienlijke hinder of schade opleveren. Vanuit doelmatigheidsoogpunt is het gewenst de risico's in kaart te brengen en een beheerstrategie voor de afvalwaterpersleidingen op te stellen.

Gemeenten en waterschappen hebben daarom behoefte aan een beoordelingsmodel waarmee zij noodzaak en type onderzoek van persleidingen kunnen vaststellen. In een proeftuin hebben Gemeente Rotterdam, STOWA en Stichting RIONED opdracht verleend aan Royal Haskoning DHV voor de ontwikkeling van een dergelijk beoordelingsmodel. Veel ervaringskennis is verzameld, geordend en geanalyseerd. Met de enthousiaste inbreng van (soms al gepensioneerde) specialisten van gemeenten, waterschappen, ingenieursbureaus en kennisinstituten zijn de aard en frequentie van faalmechanismen in kaart gebracht. Het voorliggende resultaat is een tussenrapportage met een stappenplan voor de beoordeling van de noodzaak tot en van het type (nader) onderzoek van persleidingen voor afvalwater.

Dit tussenresultaat wordt in een vervolg op de proeftuin in de praktijk beproefd. In dit vervolg zal een handleiding, een registratieformat en zo mogelijk een nadere aanduiding van toelaatbare toestandsaspecten van persleidingen worden ontwikkeld. Doel is na evaluatie van de praktijkervaringen een definitieve handleiding op te stellen.

november 2013

Daphne de Koeijer
Manager Water
Gemeente Rotterdam

Hugo Gastkemper
Directeur
Stichting RIONED

Joost Buntsma
Directeur
STOWA

Samenvatting

De gemeente Rotterdam beheert ongeveer 312 km persleidingen, waarvan 75 km hoofdpersleiding in stedelijk gebied. Deze hoofdpersleidingen zijn cruciaal voor het functioneren van het afvalwatersysteem van de stad. De gemeente heeft onvoldoende inzicht in de kwaliteit en restlevensduur van de persleidingen. Hierdoor kan zij concrete vragen als: 'Hoe lang kan een betonnen persleiding van 50 jaar oud nog mee?' niet afdoende beantwoorden.

Rotterdam heeft wel een duidelijke visie op de gewenste toekomstige werkwijze. Hierbij stuurt zij het preventief en groot onderhoud aan de persleidingen op basis van een risicobenadering. Voor deze risicobenadering is inzicht nodig in:

- 1 de kans op falen binnen komende periode;
- 2 de (financiële) gevolgen van falen, zoals:
 - a herstelkosten en kosten van tijdelijke maatregelen;
 - b schade aan wegen, gebouwen of dijken;
 - c hinder voor en beperkte toegankelijkheid van woningen of bedrijven.

Met dit inzicht kan de gemeente afwegen of zij bijvoorbeeld meer inspectie, onderzoek en preventief beheer wil doen of kiest voor mitigerende maatregelen als een adequate storingsafhandeling met snel herstel van de leiding.

Rotterdam wil antwoord op de volgende vragen:

1. Welke informatie is nodig om voldoende inzicht te kunnen krijgen in de toestand van persleidingen?
2. Hoe is deze informatie te verkrijgen?

Aangezien deze vragen generiek zijn voor alle beheerders van persleidingen, is dit project samen met Stichting RIONED/STOWA in een proeftuin opgepakt. Het doel is een model te ontwikkelen waarmee beheerders de toestand van persleidingen kunnen beoordelen.

Proeftuinproject

Een uitgebreide inventarisatie via interviews, een enquête, een workshop en literatuuronderzoek heeft inzicht gegeven in de relevante faalmechanismen voor persleidingen. Hieruit volgt dat lang niet alleen verouderingsprocessen de aanleiding vormen voor falen. Een belangrijk deel van deze faalmechanismen hangt samen met andere factoren (grondverzet) of vindt zijn oorzaak in de bediening van pompen en afsluiters. Dit houdt in dat met alleen inspectie slechts een deel van de calamiteiten is te ondervangen.

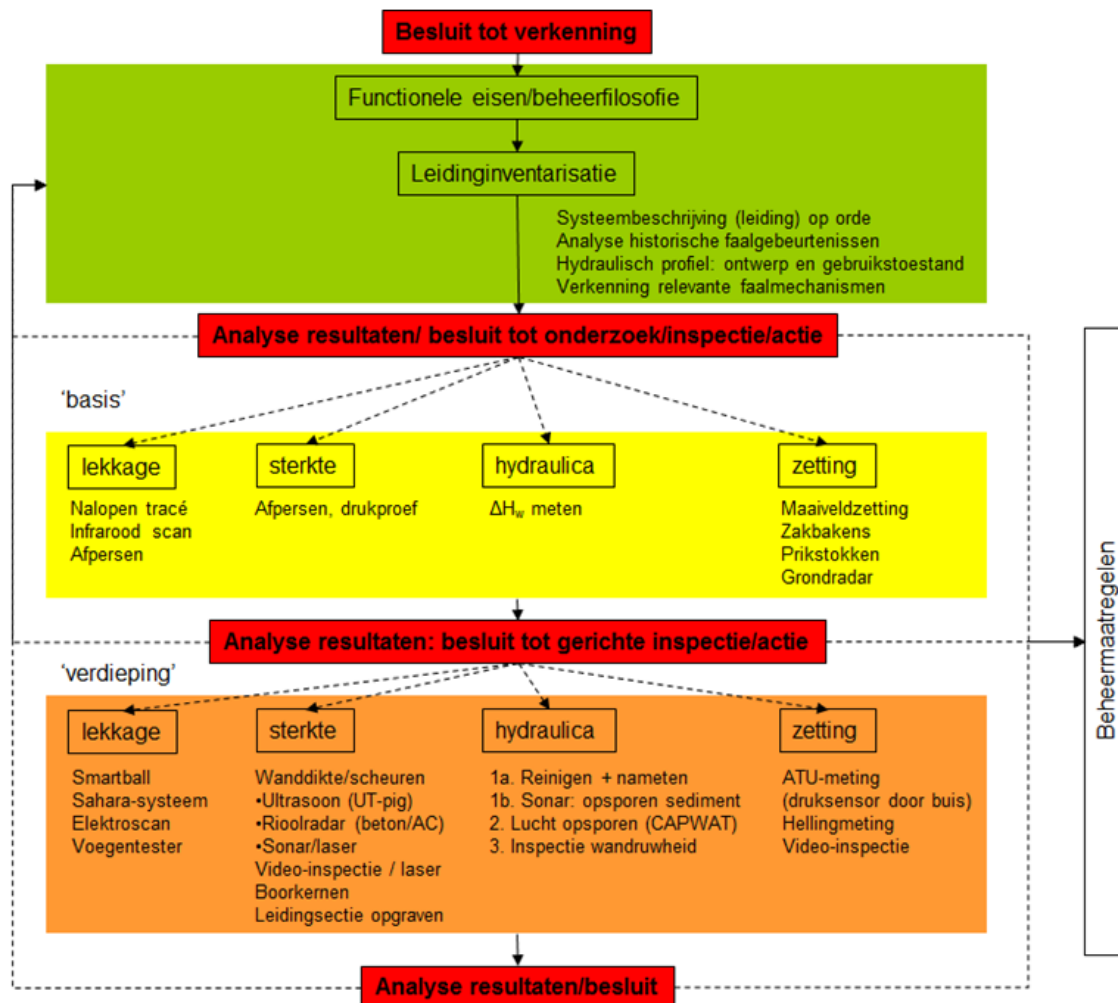
Daarnaast kwam uit de inventarisatie naar voren dat het falen van leidingen is samen te vatten tot drie typen: lekkage, constructief bezwijken en verminderde hydraulische functionaliteit.

Aansluitend is gezocht naar technieken waarmee de beheerder het optreden van de faalmechanismen kan detecteren. Dit heeft geleid tot een 'long list' van technieken. Anders dan waar velen met visuele inspectie over denken te beschikken voor vrijvervalriolering, rolt hieruit geen 'one size fits all'-techniek.

Veel van deze technieken zijn behoorlijk kostbaar en soms ingewikkeld. Ook is de meerwaarde voor bijvoorbeeld levensduurverlenging lang niet altijd aanwezig. Daarom is onderscheid gemaakt in onderzoek op het niveau 'basis' en het niveau 'verdieping'. Op het basisniveau ontstaat algemeen inzicht in het optreden van een van de drie faalvormen, gecombineerd met een analyse van zetting als voorspellende parameter. Het niveau 'verdieping' is aan de orde als uit de eerdere analyse naar voren komt dat nader onderzoek noodzakelijk is.

Beoordelingsmodel persleidingen

Op basis van de inventarisatie en de nadere analyse van faalmechanismen en de bijbehorende onderzoeks- en inspectietechnieken is een beoordelingsmodel voor persleidingen opgesteld (zie figuur 1). Het model geeft een stappenplan dat een beheerder kan doorlopen om de kwaliteit van persleidingen te beoordelen. Centraal staan hierbij een goede inventarisatie en een terugkerende afweging van de meerwaarde van verder onderzoek. Het laatste is belangrijk, omdat onderzoek ook forse financiële consequenties en risico's met zich mee kan brengen. Zeker bij kleinere leidingen zonder grote impact op de omgeving zal toepassing van dit stappenplan waarschijnlijk leiden tot de zogenaamde 'fail and fix'-strategie.



Figuur 1: Stappenplan beoordeling persleidingen

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De gemeente Rotterdam beheert ongeveer 312 km persleidingen, waarvan 75 km hoofdpersleiding. Deze hoofdpersleidingen zijn cruciaal voor het functioneren van het afvalwatersysteem van de stad. De gemeente heeft onvoldoende inzicht in de kwaliteit en restlevensduur van de persleidingen. Hierdoor kan zij concrete vragen als: 'Hoe lang kan een betonnen persleiding van 50 jaar oud nog mee?' niet afdoende beantwoorden.

Rotterdam heeft wel een concreet beeld van de gewenste toekomstige werkwijze. Hierbij stuurt zij het preventief en groot onderhoud aan de persleidingen op basis van een risicobenadering. Voor deze risicobenadering is inzicht nodig in:

- 1 de kans op falen binnen de komende periode;
- 2 de (financiële) gevolgen van falen, inclusief:
 - a herstelkosten;
 - b de financiële waarde van het disfunctioneren van het afvalwatersysteem en de kosten van tijdelijke maatregelen;
 - c de invloed op de omgeving, hetzij direct door bijvoorbeeld schade aan wegen, gebouwen of dijken, hetzij indirect door hinder en beperkte toegankelijkheid van woningen of bedrijven.

Met dit inzicht kan de gemeente afwegen of zij bijvoorbeeld meer inspectie, onderzoek en preventief beheer wil doen of kiest voor mitigerende maatregelen als een adequate storingsafhandeling met snel herstel van de leiding.

De gemeente Rotterdam heeft voldoende ervaring met het inschatten van de financiële gevolgen van falen als het gaat om herstelkosten en het functioneren van het afvalwatersysteem. Binnen de drinkwatersector is veel ervaring met risicokaarten, waarmee de gemeente de mogelijke invloed op de omgeving inzichtelijk kan maken afhankelijk van diameter, diepteligging en werkdruk. Maar de gemeente kan de kans op falen nog niet goed inschatten. Hiervoor zijn namelijk inzicht nodig in de huidige toestand én een voorspelling van de verandering van de toestand in de komende periode. De hiertoe benodigde gegevens ontbreken en bovendien is onduidelijk hoe de gemeente deze het meest efficiënt kan verkrijgen.

1.2 Doel

De gemeente Rotterdam wil antwoord op de volgende vragen:

- 1 Welke informatie is nodig om voldoende inzicht te kunnen krijgen in de toestand van de persleidingen?
- 2 Hoe is deze informatie te verkrijgen?

Aangezien deze vragen generiek zijn voor alle beheerders van persleidingen, is dit project samen met Stichting RIONED/STOWA in een proeftuin opgepakt. Rotterdam beschikt over vrijwel alle gangbare materialen en een grote range aan diameters en aanlegjaren. Het doel van de proeftuin is een model te ontwikkelen waarmee beheerders de toestand van persleidingen kunnen beoordelen. Dit werkrapport beschrijft de (tussen)resultaten van de proeftuin.

1.3 Aanpak en organisatie

Het project bestaat uit vier fasen:

- Fase I Inventarisatie van de faalmechanismen. Om inzicht in de mogelijke faalmechanismen van persleidingen te krijgen, is via een workshop en interviews de aanwezige kennis in Rotterdam, in de internationale literatuur, bij experts van Royal HaskoningDHV en via een enquête bij beheerders in Nederland gebundeld.
- Fase II Nadere analyse van de faalmechanismen. Per faalmechanisme zijn de onderliggende processen met bijbehorende tijdschalen geanalyseerd en ook de wijze waarop het falen tot uitdrukking komt. Deze tijdschalen bieden direct inzicht in de mogelijkheden om het faalmechanisme überhaupt tijdig te kunnen detecteren.
- Fase III Inspectie- en onderzoeksmethoden. Voor de relevante faalmechanismen is verkend welke directe en indirecte technieken beschikbaar zijn om ze te detecteren en aansluitend (voor zover mogelijk) te kwantificeren/classificeren.
- Fase IV Opstellen van het beoordelingsmodel en afronding. In de laatste fase zijn de resultaten uit de eerste drie fasen gebundeld in een beoordelingsmodel/stappenplan.

Organisatie

Het projectteam bestaat uit:

Cornelis de Haan	Royal HaskoningDHV
Jeroen Langeveld	Royal HaskoningDHV

Met bijdragen van Ton de Vries, Christof Lubbers en Harm Snoeren (allen Royal HaskoningDHV).

De begeleidingscommissie bestaat uit:

Elijan Bes	gemeente Rotterdam, voorzitter
Jan Kranendonk	gemeente Rotterdam
Wybo Kuperus	gemeente Rotterdam
Wim van der Vliet	gemeente Rotterdam
Ton Beenen	Stichting RIONED, mede namens STOWA

De klankbordgroep bestaat uit:

Nico Beumer	Waternet
Richard Kors	gemeente Rotterdam
George Mesman	KWR Watercycle Research Institute
Bram Wisse	Waterschap Scheldestromen
Frank van Zijl	
Rien van Wanrooij	Waterschap Brabantse Delta

Aan de enquête (fase I) werkten mee:

Geert van Ooijen (Waterschap Aa en Maas), Frank van Zijl (Brabantse Delta), Rien van Wanrooij (Brabantse Delta), Michel Sikkes (Waterschap De Dommel), H.R. Wendt (Waterschap Groot Salland), Jan Meerman (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier), Kris Spierings (Hoogheemraadschap van Rijnland), Martin Vermeulen (Hoogheemraadschap van Delfland), Leo Kole (Waterschap Regge en Dinkel), R. Laponder/R. van den Anker (Waterschap Rivierenland), Bram Wisse (Waterschap Scheldestromen), Mandy Stroeve (Waterschap Velt en Vecht) en Nico Beumer (Waternet).

Aan de interviews (fase I) werkten mee:

Cees Bos, Jan Kranendonk, Richard Kors en Cor van Kan (allen gemeente Rotterdam).

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van de persleidingen in Rotterdam.

Hoofdstuk 3 beschrijft de faalmechanismen die zijn afgeleid uit de workshop, de interviews, de enquête en het literatuuronderzoek in fase I.

Hoofdstuk 4 gaat per faalmechanisme in op de mogelijkheden om deze met een bepaalde onderzoeks- of inspectietechniek te detecteren of zelfs te kwantificeren.

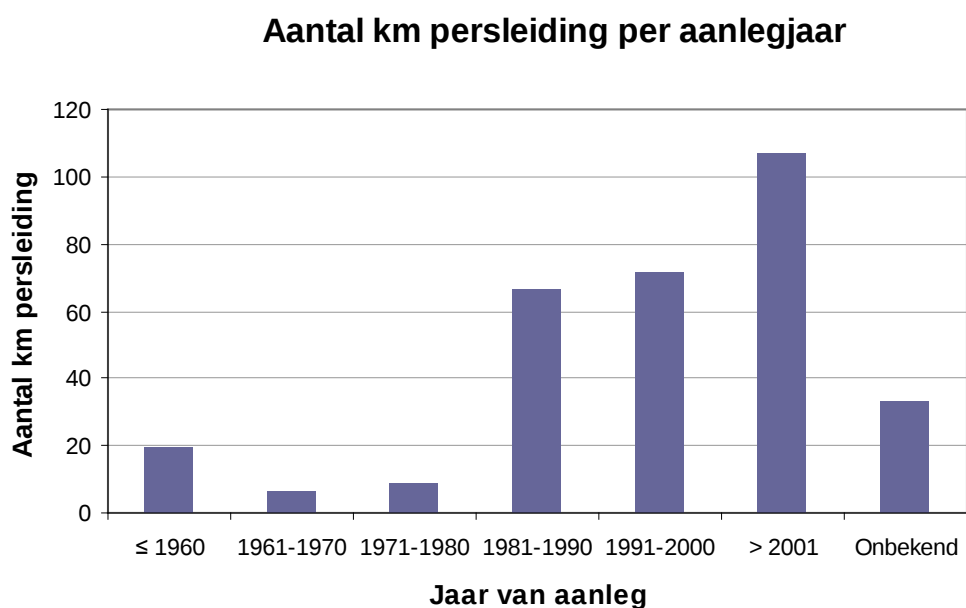
Hoofdstuk 5 geeft een opzet voor het beoordelingsmodel. Dit model faciliteert het besluit om te gaan inspecteren en – zo ja – hoe.

Hoofdstuk 6 besluit met conclusies en aanbevelingen.

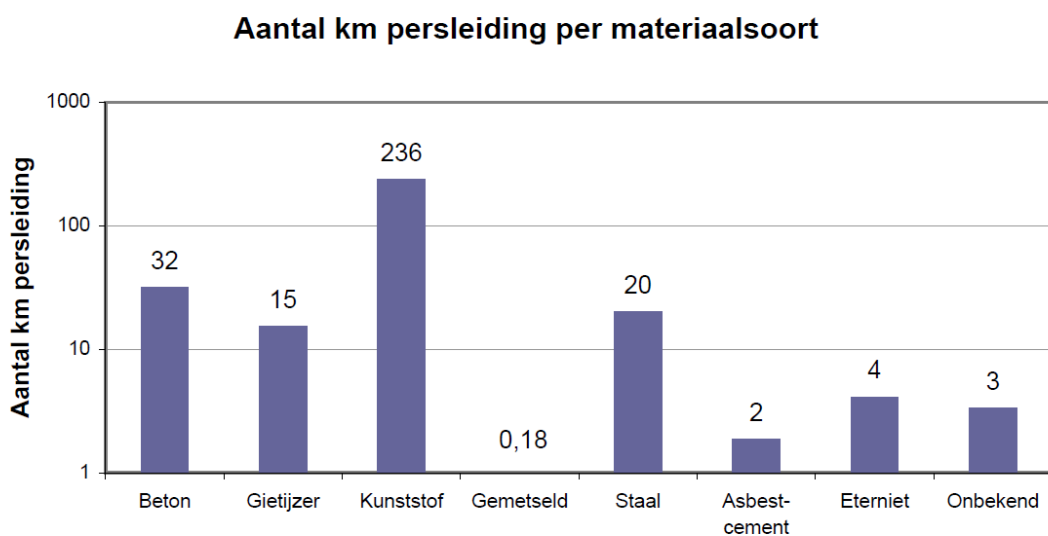
2 Persleidingen in Rotterdam

In Rotterdam ligt circa 312 km aan persleidingen. Hiervan is zo'n 75 km 'hoofdpersleiding'. Deze leidingen zijn cruciaal voor het transport van het afvalwater naar de rwzi's, zij vormen feitelijk de hoofdaderen van het gehele rioolsysteem in Rotterdam.

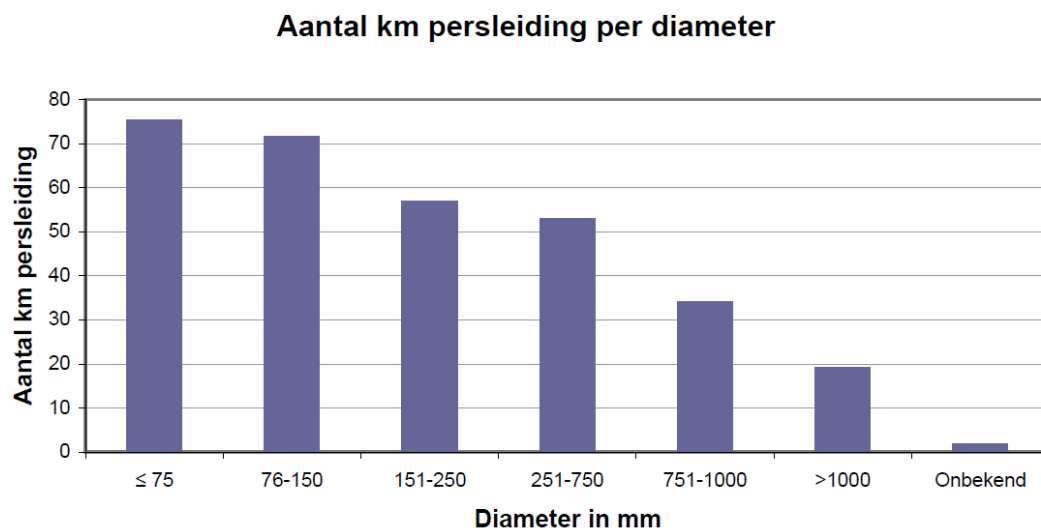
In figuur 2.1 ziet u wanneer de persleidingen in Rotterdam zijn aangelegd. Bijna 20 km is vóór 1960 aangelegd en verdient alleen al daardoor extra aandacht. Figuur 2.2 laat zien dat Rotterdam over vrijwel alle gangbare materialen beschikt. Ook heeft de gemeente een grote range aan diameters (zie figuur 2.3). Hiermee biedt de Rotterdamse situatie volop aanknopingspunten voor vergelijking met andere persleidingen in Nederland en daarbuiten.



Figuur 2.1: Jaar van aanleg persleidingen Rotterdam (bron: gemeente Rotterdam)



Figuur 2.2: Gebruikte materialen persleidingen Rotterdam (bron: gemeente Rotterdam)



Figuur 2.3: Diameterverdeling persleidingen Rotterdam (bron: gemeente Rotterdam)

3 Inventarisatie faalmechanismen

De mogelijke faalmechanismen zijn in fase I geïnventariseerd op basis van een workshop in Rotterdam, interviews met Ton de Vries (Royal HaskoningDHV) en Kees Pos, Cor van Kan en Richard Kors (Gemeentewerken Rotterdam), literatuuronderzoek en een enquête onder beheerders. Deze inventarisatie heeft geleid tot een enorme waslijst aan mogelijke faalmechanismen. Om deze systematisch te kunnen analyseren, zijn ze verwerkt in een foutenboom (zie figuur 3.2 in de bijlage). Hierbij is voor de eenvoud geen formele notitie aangehouden, maar zijn de gebeurtenissen tussen een basisgebeurtenis (de eerste aanleiding) en topgebeurtenis (falen) met een eenvoudige pijl verbonden.

3.1 Definitie falen en afbakening

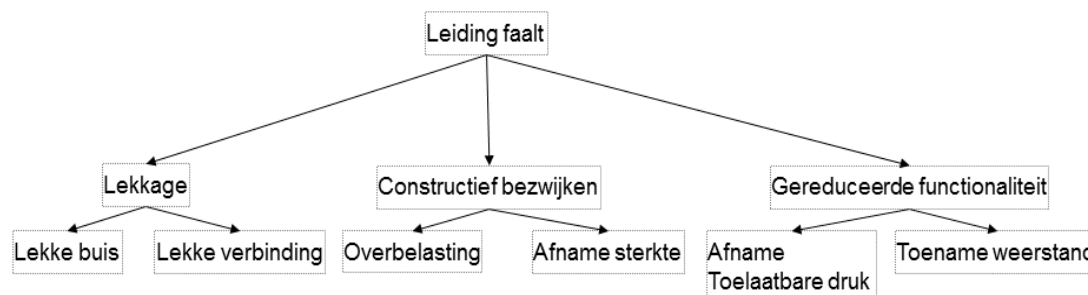
Deze studie verstaat onder het falen van een leiding: het niet meer volledig voldoen aan de specificaties voor lekdichtheid, constructieve sterkte en hydraulisch functioneren. Deze definitie is breder dan in veel literatuur, waarin alleen lekkage en constructief bezwijken als falen worden gezien. De hier gehanteerde definitie sluit wel aan op de in SUF-SAS gehanteerde definitie van falen, waarbij ook gedeeltelijk falen ('pompen op halve kracht') als falen geldt. Daarnaast sluit deze definitie aan op de gangbare aanpak voor vrijvervalriolering.

Verder is gekozen voor een insteek die zich beperkt tot de leiding en de verbindingen. Bijzondere constructies (zoals afsluiters, ontluchters, waterslagvoorzieningen en gemalen) kennen andere faalmechanismen en vragen uiteindelijk om geheel andere inspectiemethoden. Deze bijzondere constructies vallen daarom buiten de scope van deze studie.

3.2 Foutenboom: inzicht in faalmechanismen

Figuur 3.1 geeft een overzicht van de bovenkant van de foutenboom, met daarin de drie vormen van falen: lekkage, constructief bezwijken en verminderd hydraulisch functioneren.

- Lekkage kan het gevolg zijn van een lekke buis of een lekke verbinding. Een lekke buis kan weer worden veroorzaakt door een scheur of gat, of juist door poreus materiaal.
- Constructief bezwijken kan het gevolg zijn van overbelasting, al dan niet gecombineerd met een afnemende leidingsterkte.
- De verminderde functionaliteit hangt samen met een afname van de toelaatbare druk of een toename van de weerstand.



Figuur 3.1 Opbouw foutenboom

Figuur 3.2 (Zie bijlage) geeft de totale foutenboom weer.

Falen is vaak het gevolg van een combinatie van factoren. Maar in de praktijk is het vaak moeilijk om de daadwerkelijke combinatie te achterhalen. Dit maakt het kwantificeren van de bijdrage van verschillende factoren op basis van historische faalgebeurtenissen lastig. De foutenboom geeft met rode getallen weer hoe vaak respondenten een gebeurtenis hebben genoemd en hoe vaak deze gebeurtenis voorkomt in de vragenlijst. Deze rode getallen vormen een eerste aanzet om het relatieve belang van de verschillende faalgebeurtenissen te verkennen en daarmee uiteindelijk voor een inspectie- en onderzoeksplan.

De meestgenoemde oorzaken van falen zijn:

- 1 (grond)werkzaamheden derden nabij leidingen (met stip op 1, internationale literatuur bevestigt dit ook);
- 2 buismateriaal;**
- 3 onjuiste bediening van afsluiters;
- 4 ongelijke zetting;**
- 5 overbelasting hydraulisch;**
- 6 overbelasting door verkeer;
- 7 lekkage.**

Alleen de vetgedrukte gebeurtenissen zijn via inspectie- en onderzoeksmethoden in beeld te krijgen en te volgen. De overige gebeurtenissen vragen om:

- specifieke aandacht bij de uitvoering van werken;
- handleidingen voor en toezicht op bediening van afsluiters;
- het bewaken van de verkeersbelasting.

4 Nadere analyse faalmechanismen: processen en effecten

De nadere analyse van de faalmechanismen in figuur 3.2 brengt de onderliggende processen en bijbehorende tijdschalen in beeld. Op basis hiervan is te bepalen welke faalmechanismen met inspectietechnieken in beeld te brengen zijn en voor welke faalmechanismen dit niet te verwachten is.

4.1 Voorbeeld: bezwijkproces

Elke startgebeurtenis uit de foutenboom in figuur 3.2 kan, al dan niet in combinatie met andere gebeurtenissen, leiden tot falen: lekkage, constructief bezwijken of verminderde hydraulische functionaliteit. Een voorbeeld van een bezwijkproces is:

Bezwijken van een leiding door afname van de buiswanddikte door H_2S -aantasting op een locatie in de leiding met luchtophoping door luchtinslag bij een gemaal, gecombineerd met een onjuist ontwerp van de leiding.

In het voorbeeld worden op een locatie in de leiding de condities gecreëerd voor aantasting, wat uiteindelijk kan leiden tot bezwijken. Dit bezwijkproces is op meerdere manieren te volgen/te detecteren:

- A door de voorwaarden voor H_2S -aantasting (luchtophoping) te detecteren:
 - de toename van de leidingweerstand door luchtophoping is meetbaar;
 - de locatie waar de luchtophoping zich bevindt, is te detecteren met:
 - meetapparatuur vanuit het gemaal (analyse opstartregime pomp, zie CAPWAT onderzoek, C. Lubbers – I. Pothoff);
 - pigging en analyse van de hoeveelheid verwijderd vuil én het herstel van de functionaliteit na pigging;
 - op basis van een profielanalyse van het leidingtracé (met behulp van de CAPWAT-inzichten);
 - detectieapparatuur vanaf het maaiveld die in staat is holtes in de ondergrond te detecteren.
- B door de mate van aantasting te detecteren:
 - met destructieve (boorkern) en niet-destructieve technieken (analyse van de vorm van de leiding/binnendiameter).
- C door het uiteindelijke bezwijken zelf te detecteren:
 - waarnemen van gronduitspoeling ;
 - drukval in de leiding.

Een beheerder wil uiteraard tegen zo weinig mogelijke inspanning zo vroeg mogelijk inzicht krijgen in (het mogelijke optreden van) dit proces. In het voorbeeld is een voorwaarde voor het bezwijkproces (luchtophoping) te detecteren en te meten. Het onderzoeken van de mate van aantasting is pas noodzakelijk als bekend is dat luchtophoping heeft plaatsgevonden. Aangezien aantasting een proces is dat jaren tot decennia kan duren, heeft een beheerder ook de tijd om de locaties met mogelijke problemen door luchtinslag op te sporen. Daarnaast is de snelheid van het aantastingsproces afhankelijk van de beschikbaarheid van zuurstof op de locatie van de luchtophoping.

4.2 Processen en effecten per faalvorm

Deze paragraaf beschrijft op welke tijdschaal de processen die een rol kunnen spelen bij de drie faalvormen (lekkage, constructief bezwijken en verminderde hydraulische functionaliteit) plaatsvinden en welke gevolgen deze faalmechanismen hebben.

Waar mogelijk is met het oog op de leesbaarheid een aantal startgebeurtenissen gecombineerd in één tabel. Figuur 4.1 (zie bijlage) geeft aan welke blokjes uit de foutenboom uit hoofdstuk 3 in welke tabel staan. Ook geeft de figuur een indicatie van hoe de faalmechanismen te detecteren zijn, wat centraal staat bij de verkenning van de inspectiemethoden en -technieken.

4.2.1 Leckage

Door lekkage verdwijnt op zichzelf al een deel van de functionaliteit, namelijk het lekvrij transporteren van afvalwater. Maar lekkage kan ook leiden tot gevolgschade, zoals constructief bezwijken door het uitspoelen van grond.

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Leckage verbinding tussen leidingdelen. Oorzaken: • Verkeerde aanleg/montage (ontbreken afdichting, onjuiste montage afdichting). • Veroudering, aantasting van het voegmateriaal (zie tabel 4.2). • Openstaande voeg door hoekverdraaiing door ongelijke zetting (zie tabel 4.3).	• Significante lekkage blijkt snel na aanleg • Decennia • Enkele jaren tot enkele decennia	Algemeen: lekverliezen meten, uitspoelen grond, DTS meeleggen in sleuf. • Dichtheidsbeproeving (bij oplevering) met water of lucht • Dichtheidsbeproeving voegen • Visuele inspectie, hellingsmeting, zakbakens
Beschadiging van het leidingmateriaal leidt tot lekkage: • Kwaliteit materiaal (niet waterdicht) bij aanleg. • Lokaal bezwijken door te grote belasting of afname van de sterkte. Voorbeeld: scheur door grondwerkzaamheden nabij leiding.	• Significante lekkage blijkt snel na aanleg • Diverse oorzaken, diverse tijdschalen (zie tabel 4.4)	• Dichtheidsbeproeving bij oplevering • Visuele inspectie

Tabel 4.1 Nadere analyse lekkage

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
• In het verleden (eerste helft 20e eeuw) werd voor voegdichting jijntouw (hennep gedrenkt in teer) met lood gebruikt. Dit materiaal kan uitdrogen (bijvoorbeeld bij droge bodem of droogstaande leiding), waardoor het poreus wordt. • Afhankelijk van toegepaste soort rubber rot natuur rubber weg bij lage pH • Andere materialen?	• Decennia • Decennia • ???	• Denk aan gas (slechte ervaringen mee), uitgraven, geluidsmetingen • Dichtheidsbeproeving voegen • Dichtheidsbeproeving voegen

Tabel 4.2 Nadere analyse aantasting, veroudering voegverbinding

Ongelijke zetting (zie tabel 4.3) kan leiden tot hoekverdraaiing tussen buizen. Hierdoor komt de voegverbinding open te staan, wat leidt tot lekkage. Dit kan ook ontstaan door ongelijke zetting tot voorbij de ontwerplengte van het pendelstuk. Daarnaast kan ongelijke zetting zorgen voor een ongelijke verdeling van de bovenbelasting en daarmee tot overbelasting van de leiding. Ook kan het ophogen van het maaiveld na zetting leiden tot extra gronddruk op de leiding. Dit probleem speelt ook bij opgraven/ontgraven na verloop van jaren.

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Treedt op in zettingsgevoelige bodems: veen, veen/klei, veen/zand, zoals in grote delen van West-Nederland, in combinatie met: • Verschillen in grondslag of bovenbelasting: leidt tot ongelijkmatige bodemdaling. • Aansluitingen bij gemalen of bijzondere constructies: niet-onderheid zakt ten opzichte van onderheid. • Zetting tot voorbij lengte pendelstuk. • Fouten bij ontwerp/aanleg: fundering van onvoldoende kwaliteit, waardoor geen druk ongelijk wordt verdeeld. • Pijping, doordat de pijp zich door de buis-grondcombinatie heen moet wringen als er al een knipje in de leiding zit.	0 - 2 cm/jaar In extreme condities sneller (bijv. door plotselinge toename gronddruk door werkzaamheden)	• Hellingsmeting leiding • Visuele inspectie • Inmeten ligging buis vanaf maaiveld • Inmeten ligging buis vanuit buis (slimme pijp of 'duikboot') • Zetbaken • Toepassen DSS-kabel voor zettingsmeting (meeleggen bij nieuwe leidingen) • Satellietbeelden niveau maaiveld in tijd • Archief landmetingen • Drukmetingen

Tabel 4.3 Nadere analyse ongelijke zetting

4.2.2 Constructief bezwijken

Als een leiding constructief bezwijkt, valt de dragende functie van de grond-buiscombinatie weg. Dit kan tot gevolgschade leiden aan andere objecten/infrastructuur door gronduitspoeling, instortende wegen en/of waterschade.

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Een leiding bezwijkt als de op de leiding uitgeoefende belastingen groter zijn dan de sterkte van de leiding. Belasting en sterkte zijn variabel in de tijd en ruimte en van veel factoren afhankelijk. • De sterkte van de leiding neemt af door een afname van de materiaalkwaliteit en/of de wanddikte (zie tabel 4.12). • Aan de kant van de belasting zijn het vaak de piekbelastingen (bijv. waterslag, zie tabel 4.7) of dynamische trillingen die zorgen voor bezwijken (zie tabel 4.5).	Samenspel van korte en lange processen: • Afname sterkte: jaren, decennia • Belastingen: instantaan / seconden tot jaren / decennia	Ontwikkeling sterkte is over het algemeen goed te volgen in de tijd. Langdurige overbelasting is ook te volgen, terwijl kortdurende overbelasting moeilijk op een goede manier met inspectie te volgen is. Hier is vooral het goed naleven van veilige bedrijfshandleidingen noodzakelijk.

Tabel 4.4 Nadere analyse constructief bezwijken

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Mechanische belasting van de buis is instantaan of trillinggerelateerd: • Pigging, waarbij door onvoldoende aandacht voor de wijze van pigging (harde pig i.p.v. zachte pig versus geleidelijke opbouw grootte pig) de pig zorgt voor te grote belasting/drukverschillen. • Cavitatie zorgt voor schokgolven in pomp/leiding. • Trillingen door op de leiding aangesloten pompen. Hiervoor zijn compensatoren in gebruik. Wanneer de pompfrequentie samenvalt met eigen frequenties in het systeem, worden de trillingen versterkt en de belasting op de leiding groter.	Instantaan / maanden, jaren • Instantaan • Instantaan • Instantaan/jaren	• Niet zinvol, voorkomen • Niet zinvol, voorkomen • Waarnemen door beheerder

Tabel 4.5 Nadere analyse mechanische overbelasting

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Oorzaken te hoge werkdruk: • Onjuiste bedrijfsvoering (door onvoldoende kennis over sterktes, druklijnen, etc. of bewust overschrijden van de ontwerpnormen). (Achterliggende oorzaken niet geanalyseerd.) • Mogelijk kan de statische druk significant toenemen als de leiding door zetting (veel) lager komt te liggen (ordegrootte 1 m).	Falen instantaan. Conditie voor falen vaak permanent aanwezig.	Metten werkdruk en controleren met beoogde werkdruk uit systeemoverzicht, aangevuld met hydraulische lijn onder verschillende condities. Detectie berust op onderkennen condities voor falen.

Tabel 4.6 Nadere analyse hydraulische overbelasting: werkdruk

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Te snel sluiten van afsluiters veroorzaakt een drukgolf (waterslag). Te snel sluiten kan door bedienings- of ontwerpfouten. Drukgolven kunnen ook ontstaan door plotseling ontluchten of vullen, plotselinge pompuitval of het falen van compenserende waterslagvoorzieningen. Materiaal en materiaalkeuzen bepalen in belangrijke mate de omvang van dit probleem. Met goed geteste en ontworpen softwareregelingen is veel te voorkomen. (Achterliggende oorzaken niet geanalyseerd.)	Gebeurtenis: instantaan. Conditie die een systeem gevoelig maken voor waterslag vaak min of meer permanent aanwezig.	Detectie berust op onderkennen condities voor falen. Voorkomen is mogelijk door bewustwording van deze condities op juiste niveau in organisatie.

Tabel 4.7 Nadere analyse hydraulische overbelasting: waterslag

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Voor de externe belasting door verkeer is de piekbelasting maatgevend. Dit speelt vooral een rol wanneer de functie van de bovengrond in de tijd wijzigt. Afname gronddekking door zetting van maaiveld bij standzekere ondergrondse infrastructuur.	Piek: instantaan. Toename van piekbelasting in de loop van decennia door steeds zwaardere (vracht)auto's.	Verkeersbelasting continu meten.

Tabel 4.8 Nadere analyse verkeersbelasting

Bouwwerkzaamheden (zie tabel 4.9) kunnen leiden tot directe beschadiging in allerlei vormen. Een deel daarvan is te voorkomen door goede informatie over ligging van de leiding in de bodem. Internationaal wordt wel gewerkt met metalen strips op kunststof leidingen om deze detecteerbaar te maken. Daarnaast bestaat de kans op indirecte beschadiging door instabiliteit van de bodem bij werkzaamheden naast de leiding, waardoor de gronddruk afneemt. Grondverzet boven de leiding kan leiden tot zowel externe overbelasting door te hoge gronddruk als een afname van de gronddruk bij ontgraven, waardoor de bodem niet langer compenseert voor de werkdruk.

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
• Directe beschadiging: door de leiding heen frezen of een heipaal door de leiding.	• Instantaan	• Veranderende hydraulische weerstand • Visuele inspectie
• Plotselinge toe- of afname van de gronddruk door grondverplaatsing.	• Seconden/uren tot dagen later	• Niet zinvol, voorkomen

Tabel 4.9 Nadere analyse bouw-/grondwerkzaamheden

Persleidingen worden zo ontworpen dat de leidingen bestand zijn tegen de werkdruk van binnenuit en tegen de gronddruk en verkeersbelasting van buitenaf. Normaal gesproken werkt de gronddruk mee om de interne (werk)druk te weerstaan en draagt zo bij aan de sterkte van de persleiding. Door afname van de bodemdruk of van de interne druk wordt de leiding zwaarder belast en kan deze imploderen of knappen (zie tabel 4.10).

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
• Leegzetten van de leiding: ontbreken interne druk.	• Minuten, uren	• Meten vulling
• Ontgraving nabij de leiding: ontbreken externe druk.	• Uren	• Niet zinvol, voorkomen
• Uitspoelen van grond (zie tabel 4.11): ontbreken externe druk.	• Uren-maanden	• Zie lekkage detecteren in tabel 4.1

Tabel 4.10 Nadere analyse afname sterkte bodem-buisconstructie

Het wegspoelen van grond rond de persleiding leidt tot verminderde sterkte en resulteert in bezwijken. Ook andere bovenliggende objecten of infrastructuur bezwijken, doordat het wegspoelen van grond de fundering verzwakt (zie tabel 4.11).

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Het water dat bij lekkage uit de persleiding stroomt, transporteert door de bodem en spoelt uit op het maaiveld (berm), in een lek vrijvervalriool, drains of een watergang. Daarbij spoelt grond mee uit. Het tempo van uitspoelen wordt bepaald door de grondslag, de grootte van de opening en de druk in de leiding.	Uren-maanden	• Visuele waarneming uitstromen water/zand uit maaiveld • Zie lekkage detecteren in tabel 4.1

Tabel 4.11 Nadere analyse uitspoelen grond

De aantasting van het buismateriaal leidt tot een afname van de materiaalsterkte en/of van de wanddikte (zie tabel 4.12).

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Corrosie door waterstofsulfide (H_2S) treedt op bij beton, AC, staal en gietijzer, wanneer niet beschermd door coating: Afvalwater bevat altijd een deel sulfaat of andere zwavelverbindingen. In anaerobe condities (persleiding met voldoende verblijftijd) wordt sulfaat biologisch omgezet in S^{2-} (sulfide). Bij een lage pH reageert S^{2-} met waterstof (H^+) tot H_2S. Wanneer H_2S in contact komt met zuurstof (bijv. luchtbelletjes in de leiding door luchtinsluiting), zet een bacterie (thiobacillus) dit op de buiswand om in zwavelzuur (H_2SO_4). Bevorderlijke condities voor vorming van H_2S zijn: • afvalwater met een hoge concentratie zwavelverbindingen (vaak bedrijfsafvalwater); • lage pH van het afvalwater; • hoog biochemisch zuurstofverbruik in het afvalwater; • hoge temperatuur; • lange verblijftijden onder anaerobe condities (lange persleidingen); • lage stroomsnelheden.	Jaren Beton/AC: aantasting tot 10 mm/jaar mogelijk Gietijzer: 1 mm/jaar	• Detecteren condities voor aantastingsprocessen: aanwezigheid luchtinsluiting, leidingen die soms (deels) leegstaan/leeglopen met specifieke aandacht bij zwanehals – vernauwingen of verwijdingen in dalende benen. • Visuele inspectie leiding • Destructieve en niet-destructieve inspectietechnieken

Corrosie van metalen leidingen door zwerfstromen of onvoldoende kathodische bescherming.	sterk materiaal en situatieafhankelijk	• Visuele inspectie leiding • Destructieve en niet-destructieve inspectietechnieken
Verweking van pvc. Verschillende stoffen (gealkyleerde aromaten, gechloreerde koolwaterstoffen, ketonen, anilines en nitrobenzenen) kunnen pvc-leidingen verzwakken. Door de reactie met pvc verwekt het pvc. Deze processen kunnen optreden vanaf concentraties van 10% en hoger van de maximale concentratie in (grond)water of van de maximale dampconcentratie in (bodem)lucht (<i>Kiwa Water Research</i>). Aantasting kan dus zowel van binnenuit als van buitenaf plaatshebben.	sterk materiaal en situatieafhankelijk	• Detecteren aanwezigheid weekmakers in grondwater/bodem en in specifieke gevallen ook het afvalwater. Specifieke aandacht is nodig waar grote kans is op verontreiniging met diesel/benzine en bij (voormalige) gasfabrieken.

Tabel 4.12 Nadere analyse aantasting buismateriaal

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Hoge stroomsnelheden in combinatie met sediment in het afvalwater veroorzaken uitschuring van de buiswand (onderkant). Met lage stroomsnelheden treedt aantasting door uitschuring nauwelijks op (alleen in specifieke gevallen). Luchtinsluiting (kleiner doorstroomd oppervlak) zorgt lokaal voor hogere stroomsnelheden, waardoor deze locaties gevoeliger zijn voor erosie.	Decennia	Destructieve en niet-destructieve inspectietechnieken om restdikte buiswand te bepalen en eventuele verandering diameter.

Tabel 4.13 Nadere analyse erosie

4.2.3 Verminderde hydraulische functionaliteit

Een verminderde hydraulische functionaliteit omvat bijvoorbeeld een afname in de toelaatbare druk of een toename van de weerstand, waardoor het meer energie kost om hetzelfde debiet te leveren.

Conditie/processen	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
De functionaliteit vermindert als het transportsysteem minder kan transporteren dan waarvoor het ontworpen is, door een afname van de toelaatbare druk of door een grotere weerstand, waardoor het energieverbruik en de werkdruk toenemen.	Als gevolg van een onjuist ontwerp: binnen enkele uren/dagen. Anders vaak proces van maanden/jaren (zie tabel 4.15).	• Verandering van energieverbruik • Weerstandsmeting

Tabel 4.14 Nadere analyse verminderde functionaliteit

Faalmechanisme	Tijdschaal	Detectiemogelijkheden
Luchtinsluiting is een gevolg van ontwerpfouten en/of slecht functionerende ontluchting, waardoor via de pomp lucht in de leiding komt die daar luchtballen vormt. Hierdoor neemt de hydraulische weerstand toe.	Uren/dagen Conditie die een systeem gevoelig maken voor luchtinsluiting permanent aanwezig.	• Weerstandsmeting • Zie CAPWAT-handleiding
Scaling is een zachte of harde aangroei in de leiding, veroorzaakt door stoffen in (bedrijfs)afvalwater, zoals CaCO_3 , Al(OH)_3 . (Deltares)	Jaren	• Energieverbruik • Weerstandsmeting • Visuele inspectie • Bepalen interne diameter
Sedimentopbouw bij lage stroomsnelheden waardoor sedimentatie optreedt en er onvoldoende perioden met hoge stroomsnelheden zijn, waardoor onvoldoende resuspensie optreedt. Een kleinere doorstroombare diameter, dus meer weerstand.	Maanden-jaren	• Pigging met slimme pig (drukval over pig) • Mobiele meting op onderzeeboot (sonar/akoestisch)
Toename wandruwheid door aantasting materiaal. Corrosie van bijvoorbeeld gietijzer/beton verhoogt de wandruwheid en daardoor de weerstand.	Jaren	• Weerstandsmeting • Visuele inspectie
Vervorming buis (platdrukken door hoge gronddruk). Kleinere doorstroombare diameter verhoogt de weerstand.	Dagen-jaren na aanleg of na grondwerkzaamheden	• Visuele inspectie • Inspectie vorm buis
Toename wandruwheid door groei biofilm: met name bij lage stroomsnelheden kan biofilm uitgroeien en bij hogere stroomsnelheden de weerstand verhogen.	Weken	• Weerstandsmeting vóór en na reiniging
Relining (soms alleen bij voegen (bijv. aquaring), soms totaal): door relining neemt de interne diameter af.	Direct na uitvoering of na uitzakken aquaringen (jaren)	• Goed registreren relining en reparaties

Tabel 4.15 Nadere analyse meer weerstand



Figuur 4.2 Scaling van Al(OH)_3 in een ronde 600 mm AC-buis (Bron: Deltares)

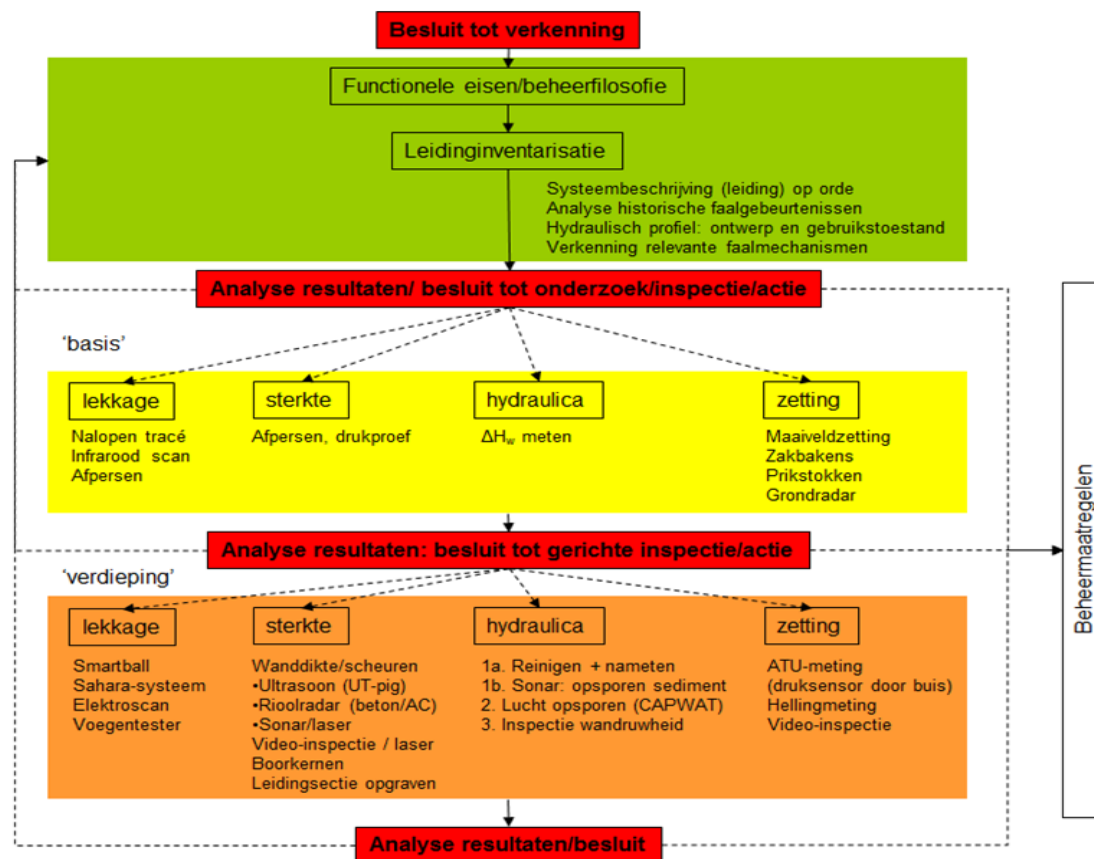
5 Beoordelingsmodel: inspectie- en onderzoeksmethoden

Dit hoofdstuk geeft een opzet voor een beoordelingsmodel. Het biedt een overzicht van de te doorlopen stappen om persleidingen zo doelmatig mogelijk te kunnen beoordelen. Dit stappenplan faciliteert het besluit om te gaan inspecteren en – zo ja – hoe.

5.1 Het beoordelingsmodel

Figuur 5.1 geeft het stappenplan weer. Bij dit stappenplan gelden de volgende uitgangspunten:

- Goede kennis van het systeem voorafgaand aan inspectie.
- Inzet van technieken van grof naar fijn: dus eerst onderzoeken of er überhaupt lekkage is, daarna zoeken naar de locatie van de lekkage.
- De onderzoekstechnieken zijn verdeeld in de niveaus 'basis' en 'verdieping'. Technieken op niveau 'basis' zijn materiaalafhankelijk, vereisen geen droogzetten van de leiding en zijn extern (er hoeven geen 'spullen' in de leiding).
- Voor het toepassingsgebied per techniek op niveau 'verdieping' (materiaal, type defect) is uitgegaan van tabel 5.1, die de geïnventariseerde technieken samenvat.
- De beslissing om al dan niet over te gaan tot inspectie op het niveau 'basis' of 'verdieping' is mede afhankelijk van de mogelijke gevolgen van falen en de inspectiekosten. Zo zal het repareren van een Ø 300 in een weiland wellicht 10.000 euro kosten, terwijl inspectie een veelvoud kan zijn. Bij een grote leiding in het stadscentrum ligt dit weer anders.



Figuur 5.1 Stappenplan beoordeling persleidingen

Het stappenplan in figuur 5.1 is gericht op het ondersteunen van de afweging tussen de benodigde inspanningen voor onderzoek en inspectie en het beperken van de risico's op falen. Dit houdt in dat u als beheerder na elke stap via de balk besluitvorming (rode balk) kunt besluiten tot niets doen, bijstellen van de functionele eisen (bijvoorbeeld verlaging van de maximale werkdruk of het debiet) nader onderzoek of direct overgaan tot maatregelen, variërend van reparatie tot vervanging. Gezien de leeftijd van veel leidingen en het feit dat tot nu toe vrijwel geen reguliere inspecties plaatsvinden, zal het doorlopen van het stappenplan van de fase 'verkenning' en waar nodig delen van niveau 'basis' het karakter krijgen van een nulmeting, die inzicht moet geven in de huidige staat.

Techniek groep	Naam	Werkwijze	Geeft inzicht in			
			Dia-meter	Wand-dikte	Lek-kage	Zet-ting
Positie-bepaling leiding	LMPH & ATU	Trekken	Ja	Nee	Nee	Ja
	XYZ-pig	Pigging	Nee	Nee	Nee	Ja
	Zetting Satelliet	Vanuit lucht	Nee	Nee	Nee	Ja
	Radio XYZ	Videowagen	Nee	Nee	Nee	Ja
	Hellingshoekmeting	Videowagen	Nee	Nee	Nee	Ja
	Zenderen	Trekken	Nee	Nee	Nee	Beperkt
	Zakbakens	Graven	Nee*	Nee	Nee	Ja
	Diverse	Graven/vanaf maaiveld	Nee	Nee	Nee	Ja
Leiding opgraven en beproeven van buitenaf/ destructief onderzoek	Graven en destructief of niet-destructief onderzoek	Graven al dan niet in combinatie met destructief onderzoek	Ja	Ja	Ja	Ja
	Fenolftaleïnetest (voorbeeld van destructieve test)	Graven en destructief onderzoek	Ja	Ja	Nee	Ja
Visuele technieken (incl. laser en sonar)	Voegmeting met Panorama/Laserdioden	Videowagen	Evt.	Nee	Evt.	Ja
	Deformatiemeting – laser	Videowagen	Ja	Nee	Nee	Ja
	Lasergeometriemeting	Boot	Ja	Nee	Nee	Ja
	HD camera met Led – met laser gemonteerd op boot	Boot	Ja	Nee	Nee	Ja
	Videotankvoertuig	Rupsvoertuig ~videowagen)	Evt.	Nee	Evt.	Ja
	Videorobot	Rupsvoertuig ~videowagen)	Ja	Nee	Nee	Ja
	Videoboot	Deels gevuld riool	Ja	Nee	Nee	Ja
	Onderzeeboot	Gevuld riool	Ja	Nee	Nee	Ja
	Combinatie videolasersonar	N.v.t.	Ja	Nee	Nee	Ja
Diktebepaling en toestands-bepaling (asbest-cement)-beton	Rioolradar	Gemonteerd op videowagen – eventueel van buitenaf	Evt.	Ja	Ja	Nee
	Ultrasonisch onderzoek beton	Gemonteerd op videowagen – eventueel van buitenaf	Nee	Ja	Nee	Evt.
	Oppervlaktehardheids-meting beton	Gemonteerd op videowagen – eventueel van buitenaf	Nee	Evt.	Nee	Nee
Electro-scanning	Electroscanning	Sonde door riool trekken (onder water)	Nee	Nee	Ja	Nee
Lekkage-bepaling met infrarood	Lekkagebepaling met infrarood	Videowagen	Nee	Nee	Ja	Nee
	Lekkagebepaling met infrarood vanaf maaiveld – uit de lucht	Vanuit de lucht of vanaf maaiveld	Nee	Nee	Ja	Nee
Lekkagebepaling door water-luchtdichtheidstesten	Waterdichtheidstest met lucht en/of water leiding – deel van persleiding	Afpersen segment door bestaande afsluiters of tijdelijke afsluiters te plaatsen	Nee	Nee	Ja	Nee
	Waterdichtheidstest met lucht individuele voeg	Videowagen	Nee	Nee	Ja	Nee

Techniek groep	Naam	Werkwijze	Geeft inzicht in			
			Diame-ter	Wand-dikte	Lek-kage	Zet-ting
Lekkage-bepaling met geluid	Smartball	Bal die meegevoerd wordt tijdens normale bedrijfsvoering	Nee	Nee	Ja	Nee
	Sonar/techniek voor lekbepaling	Videowagen	Nee	Nee	Ja	Nee
	Correlatormeting	Elke paar honderd meter een geluidsopnemer installeren	Nee	Nee	Ja	Nee
	Sahara-inspectiesysteem	Sensor door riool trekken in natte toestand	Nee	Nee	Ja	Nee
Opsporing vervuiling en/of lucht met geluid	Rapid detection of sewer blockages and defects using acoustic based instruments	Geluid door leiding zenden en ontvangen, op een plek waar dit kan	Evt.	Nee	Nee	Nee
Pigging	ICEPigging als alternatief voor harde/zachte pigs	Pigging	Nee	Nee	Nee	Nee
	Acoustic Resonance Technology	Pigging	Ja	Ja	Ja	Evt.
	Magnetic Flux Leakage	Pigging	Evt.	Ja	Evt.	Nee
	UT (ultrasonic testing)	Pigging	Ja	Ja	Evt.	Nee
	PIGLET (A. Hak) en crawling pig	Pigging	Evt.	Evt.	Evt.	Evt.
Overige inspectie-technieken	Tracers (onder andere Hydrogen lekdetectie)	Onder meer gasinjectie in leiding	Nee	Nee	Ja	Nee
	Mechanische sensoren bodemverandering	Plaatsing in ondergrond/ evt. nabij leiding	Nee	Nee	Nee	Ja
	Fibre optic technieken	Ingraven glasvezelkabel naast/nabij leiding	Nee	Nee	Ja	Ja

Tabel 5.1 Overzicht inspectietechnieken

5.2 Stap 1: Inventarisatie functionele eisen en beheerfilosofie

De eerste stap bij de beoordeling van persleidingen is het inventariseren van de functionele eisen en de beheerfilosofie die van toepassing zijn. Tot de functionele eisen behoren onder meer het ontwerpdebiet en het bijbehorende werkpunt, 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. Daarmee is geborgd welke actie noodzakelijk is als een leiding tijdens de normale bedrijfsvoering of inspecties bezwijkt. Dit is vooral relevant voor leidingen die 'too big to fail' zijn. Oftewel leidingen waarbij de omleidingsmogelijkheden van afvalwater beperkt/gecompliceerd zijn (het laten rijden van vrachtwagens met afvalwater is dan niet meer mogelijk). Dit geldt ook voor leidingen die bijvoorbeeld vlak naast gasleidingen liggen en waar snelle reparatie (< 24 uur) door ontgraven niet mogelijk is. Breng voor leidingen die binnen deze categorie vallen voldoende redundantie in het gehele afvalwatersysteem aan. Bijvoorbeeld door compartimentering, omleidingsroutes voor dwa of een parallelle leiding.



Figuur 5.2 Kosten calamiteit: gemiddeld € 100.000 in combinatie met beperkte/gecompliceerde omleidingsmogelijkheden afvalwater bij 'too big too fail'-leidingen. Op de linkerfoto staat een gerepareerde persleiding, op de rechterfoto is een duiker doende met onderzoek ter voorbereiding van een reparatie.

5.3 Stap 2: Leidinginventarisatie

In deze stap verzamelt u alle relevante informatie om te kunnen besluiten of onderzoek of inspectie nodig is. Tot de relevante informatie behoort in elk geval:

- actuele en goede systeembeschrijving van de leiding (zie paragraaf 5.3.1);
- inzicht in de faalhistorie van het te onderzoeken tracé (zie paragraaf 5.3.2);
- hydraulisch profiel van de leiding (zie paragraaf 5.3.3);
- inzicht in relevante faalmechanismen (zie paragraaf 5.3.4).

5.3.1 Systeembeschrijving leiding

De systeembeschrijving van de leiding omvat de volgende systeemkenmerken:

- tracé en diepteligging (X, Y, Z);
- bijzondere onderdelen (zoals ont- en beluchters, waterslagvoorzieningen, kleppen);
- diameter en materiaal (ook aanwezigheid coating/relining);
- jaar van aanleg/renovatie (onder meer aanwezigheid en leeftijd aquarings);
- hydraulisch profiel/dwarsprofiel conform ontwerp;
- bedieningsvoorschrift (inclusief ontluchting/waterslag);
- gebruik maaiveld/ligging ten opzichte van andere infrastructuur (gasleiding, trambaan, dijk);
- zettingsgevoeligheid gebied;
- bodemkarakteristieken;
- extern bepaalde leidingklasse van toepassing uit eigen/externe normen (in Rotterdam bijvoorbeeld I tot IV of NEN3651 bij dijken);
- aanwezigheid van bijzondere samenstelling afval- of grondwater (voormalige gasfabrieken en/of specifieke vergunningen bij industriegebied);
- revisie/aanleggegevens;
- sterkteberekeningen;
- aanwezigheid voorzieningen inspectie (pig lanceerunits, glasvezel, zakbakens);
- kabels en leidingen;
- vergunningen.

Daarnaast bevat de systeembeschrijving de ontwerpuitgangspunten/toleranties voor:

- Lekkage: conform NEN 1610 mag dit 0.15 l/m^2 zijn tijdens beproeving van 30 minuten bij een relatief lage waterdruk.
- Sterkte: leiding moet 1,2 tot 1,5 keer maximale bedrijfsdruk conform ontwerp kunnen weerstaan. Als de leiding die druk aankan, moet deze ook de normale bedrijfsdruk kunnen weerstaan. De factor 1,5 wordt vaak aangehouden bij beproeving na realisatie.
- Weerstand/hydraulisch functioneren: toelaatbare extra weerstand, minimum van 10% dynamische opvoerhoogte of 0,5 mWk. Deze acceptabele extra weerstand is afhankelijk van:
 - toelaatbare leidingdruk;
 - toelaatbaar extra energieverbruik;
 - praktische haalbaarheid (dagelijks piggen schiet niet op...);
 - functioneren afvalwatersysteem doordat gemaal/persleiding ontwerpdebiet niet kan afvoeren.
- Zetting: openstaande voegen/hoekverdraaiing, toleranties zijn afhankelijk van materiaal en diameter en beschikbaar via leveranciers.
- Zetting: zaklengte pendelstukken conform ontwerpspecificaties.

5.3.2 Faalhistorie tracé

Door de historische faalgebeurtenissen te analyseren, 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 de faalhistorie te achterhalen.

5.3.3 Hydraulisch profiel

Het hydraulisch profiel laat zien waar welke werkdruk te verwachten is en waar eventuele onderdruk kan optreden. Daarnaast krijgt u zicht op waar in de leiding een kans bestaat op luchtophoping of zelfs tijdelijk (deels) droogstaan. De leidingdelen waar lucht aanwezig kan zijn, hebben namelijk een grotere kans op aantasting.

5.3.4 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 vier hoofdcategorieën: de drie topgebeurtenissen uit de foutenbomen: lekkage, constructief bezwijken en verminderde hydraulische functionaliteit. En de vierde is zetting, omdat dit een belangrijke voorspellende parameter kan zijn voor falen en daarmee een belangrijke preventieve werking kan opleveren.

5.4 Stap 3: Analyse resultaten - Overwegen onderzoek en inspectie op niveau 'basis'

Uit analyse van de resultaten uit de stappen 1 en 2 volgt of er een aanleiding is om de leiding te onderzoeken of te inspecteren op een of meer van de vier hoofdcategorieën op het inspectieniveau 'basis'. Tabel 5.2 (zie paragraaf 5.4.2) biedt daarbij houvast.

5.4.1 Inspectie- en onderzoeksmogelijkheden op niveau 'basis'

Deze paragraaf beschrijft per hoofdcategorie de mogelijke inspectie- en onderzoeksmethoden op het niveau 'basis'. Op dit niveau zet u technieken in die uitsluitend moeten geven over de vraag of een bepaald faalmechanisme optreedt zonder (grote) verstoring van de bedrijfsvoering en zonder faalmechanismen te introduceren door de inzet van interne onderzoekstechnieken.

Lekkage

Het nalopen van het tracé en visuele inspectie van veranderingen in het maaiveld kunnen een indicatie geven voor lekkage. Ook een infrarood scan vanuit vliegtuigjes of vanaf het maaiveld kan inzicht geven in significante lekkage.

Een veel directere methode is de dichtheidsbeproeving met water, waarbij u de leiding op beperkte druk zet. Zo'n beproeving voert u uit met een gevulde leiding en vereist een relatief beperkte inzet. NEN 1610 geeft bij beproeving van persleidingen op waterdichtheid meerdere mogelijkheden en gedetailleerde voorschriften. Per geval moet u bepalen hoe u moet testen en wat een acceptabel lekverlies is. In beginsel beproeft u door een waterdruk van 1 tot 5 meter waterkolom te realiseren

boven bovenkant leiding. Hierbij is een lekvolume van $0,15 \text{ l/m}^2$ gedurende 30 minuten acceptabel, afhankelijk van het type leiding.

Voorbeeld

Stel, een leiding van 1 km met een diameter van 1 m mag circa $1 \text{ m}^3/\text{uur}/0,25 \text{ l/s}$ aan lekvolume hebben. Dit komt overeen met een rond gat met een diameter $< 1 \text{ cm}$. Hiermee geeft deze eis voor grote rioolpersleidingen tot enkele km's een behoorlijke veiligheid tegen lekkage. Amerikaanse literatuur stelt 'very small leaks' (op grenzen van detectiemogelijkheden!) als $< 2 \text{ GPM} \sim 0,13 \text{ l/s}$.

Is het lekdebiet binnen het gewenste niveau, dan is de leiding goed. Komt er een groter lekdebiet uit, dan is er iets aan de hand. Afhankelijk van het gewenste risico-prestatieniveau lijkt verder onderzoek dan zinvol. Aangezien bij heel lange en grote leidingen de kans bestaat dat maar enkele voegen of breuken een probleem zijn, loont het mogelijk de moeite het tracé in segmenten te beproeven.

De beproeving op waterdichtheid zou u met enige regelmaat kunnen uitvoeren. Dan is deze een afgeleide indicator voor de indirecte gevolgen van zetting (lekkage) en een indicator voor de afwezigheid van het risico op uitspoelen van de bodem rondom de leiding (stabiliteit grond).

Het afpersen met lucht valt als methode onder het niveau 'verdieping'.

Sterkte

Voor de controle van de constructieve sterkte is het afpersen een geschikte basismethode. Hierbij is het uitgangspunt dat u de leiding moet kunnen belasten conform de specificaties. Hiervoor zijn meerdere methoden mogelijk, de meesttoegepaste zijn:

- Afpersen tot tussen 1,2 en 1,5 keer werkdruk. Voor een beheerste persproef voert u deze druk stapsgewijs op.
- Testen met onderdruk ter grootte van de onderdruk waarop de leiding is gedimensioneerd, om bijvoorbeeld gevolgen van pomputval op te vangen. Met daarop een marge van 0.5-1 mWk, afhankelijk van situatie en leidingmateriaal. Dit kunt u doen door:
 - permanente onderdruk te creëren = pompje leiding laten 'vacuümzuigen'. Dit kan voor leidingen met mof-spieverbindingen problematisch zijn;
 - een waterslagsituatie gecontroleerd te simuleren (dit kan zeer stapsgewijs door pompen steeds sneller te stoppen (vooral bij FO eenvoudig mogelijk).

Voer na de toetsing op sterkte een dichtheidsbeproeving uit om uit te sluiten dat door de test lekkage is ontstaan.

Hydraulica

De analyse van de hydraulica legt de focus op de toename van de weerstand ten opzichte van de weerstand conform specificaties. Hiervoor meet u de weerstand over de leiding onder normale bedrijfsvoering in een aantal condities (dwa/rwa). Daaruit is af te leiden of de leidingweerstand te sterk is toegenomen. Is dat het geval, dan moet aanvullend onderzoek uitwijzen wat hiervan de oorzaak is. Als er drukopnemers en nauwkeurige debietmeters zijn, is uit het pompregime, eventueel aangevuld met pompmanipulatie, af te leiden of sprake is van lucht of vervuiling in de leiding.

Zetting

De basis voor het onderzoek naar de zetting is het verzamelen van gegevens over zetting van het maaiveld, bijvoorbeeld op basis van historische kaarten of satellietbeelden. Daarnaast gelden zakkakens, het 'aanprikken' van de leiding of de toepassing van grondradar als technieken die inzicht geven in de hoogteligging van de leiding.

De eerste toets is of de ontwerpzetting van de pendelstukken in het maaiveld al overschreden is of sneller bereikt wordt dan waar in het ontwerp vanuit is gegaan. De tweede toets is nagaan of sprake is van ongelijke zetting. Dit is lastiger te voorspellen, maar locaties met overgang wel/niet onderheid, (voormalige) watergangen/plekken met veranderingen in maaiveld (hoge taluds) verdienen extra aandacht.

5.4.2 Besluit tot onderzoek of inspectie op niveau 'basis'

De in paragraaf 5.4.1 beschreven basisinspectietechnieken vergen een relatief beperkte inspanning. Toch moet u bij het besluit tot onderzoek of inspectie op basisniveau een afweging maken van kosten, baten en risico's. Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:

- kosten onderzoek/inspectie;
- kosten calamiteiten ontstaan door onderzoek;
- kosten procesbeïnvloeding, bijvoorbeeld stilzetten pompen of droogzetten leiding;
- levensduurverlenging leiding;
- reductie kans op 'klappen' leiding.

Tabel 5.2 geeft voor de onderzoeken en inspecties op niveau 'basis' aan hoe die scoren op deze aspecten.

Onderzoeks-aspect	Activiteit	Indicatie kostprijs	Kosten schade en gevolg	Kosten risico procesbeïnvloeding	Mogelijke levensduurverlenging gehele leiding	Reductie klapkans - ellende
Lekkage	Nalopen tracé	≤ 1 k €	0	0	Beperkt	Aan late kant
	Infrarood scan uit de lucht	1-20 k €	0	0	Klein	Klein
	Afpersen leiding en bepalen lekdebiet	5 à 10 k € (excl. bijkomende kosten)	Kleine kans op calamiteit	Kan lang duren om stabiele meting te krijgen	Leverd inzicht of leiding goed is en reduceert kans op falen bij verdieping en verhelpen aanzienlijk	Groot
Sterkte	Afpersen-drukproef	5 à 10 k € (excl. bijkomende kosten)	Kans op calamiteit	Leiding kan klappen	Beperkt, geeft vooral inzicht in of de leiding nog een tijdje meekan of niet	Groot
Hydraulica	ΔHw meten	≤ 10 k €	0	0	Aandacht voor hydraulica zorgt voor kleinere kans op te hoge belastingen	Aandacht voor hydraulica zorgt voor kleinere kans op te hoge belastingen
Zetting	Maaiveld-zetting	1 k € tot 10 k €	0	0	Zinvol	Aanwezig
	Zakbakens uitlezen	< 5 k € afhankelijk van aantal	0	0	Zeër belangrijk bij overgangen	Zinvol (zelfs een verplichting)
	Prikstokken	5 à 10 k €	Zeër klein	0	Zinvol	Zinvol, mits voldoende gedetailleerd
	Grond-radar	ca 10 k €	0	0	Zinvol	Zinvol, mits voldoende gedetailleerd

(Uitgangspunt: grote leiding, rond 800 mm, circa 2 km lengte met een vervangingswaarde van € 2 miljoen)

Tabel 5.2 Criteria inspectie op niveau 'basis'



Figuur 5.3 Voorbeelden lekkage bij twee incidenten in Rotterdam. Op de bovenste twee foto's ziet u de gevolgen van gronduitspoeling door lekkage van een leiding van 1600 mm. Op de onderste twee foto's ziet u een lek door corrosie in een leiding onder een brug. Tracé regelmatig langslopen heeft zin en voorkomt mogelijk erger.

5.5 Stap 4: Analyse resultaten - Overwegen onderzoek en inspectie op niveau 'verdieping'

Als de resultaten van de inspectie op niveau 'basis' daartoe aanleiding geven, kan het zinvol zijn over te gaan tot inspecties op niveau 'verdieping'. Bij lekkage kunt u bijvoorbeeld denken aan het opsporen van het lek om de lekkage te kunnen verhelpen.

5.5.1 Inspectie- en onderzoeksmogelijkheden op niveau 'verdieping'

Deze paragraaf beschrijft per hoofdcategorie de mogelijke inspectie- en onderzoekstechnieken op het niveau 'verdieping'. Dit zijn methoden die bijvoorbeeld vanuit de buis gericht zoeken naar een bepaald faalmechanisme.

Lekkage

Lekkage is nauwkeurig op te sporen met technieken als de Smartball en Sahara. Deze meten op basis van geluid het debiet dat via lekken de persleiding verlaat. De Smartball is daarbij in staat om redelijk forse leidinglengten te onderzoeken. Electroscaan meet het ontsnappen van elektriciteit vanuit de leiding via lekken. Daarnaast zijn individuele voegen met een voegentester te beproeven. Deze laatste methode is relatief bewerkelijk.

Sterkte

Bij het bepalen van de buissterkte zijn de resterende wanddikte, scheuren en de kwaliteit van het leidingmateriaal meestal de bepalende parameters. De wanddikte is te bepalen met een UT-pig op basis van een ultrasone meting. Deze methode is geschikt voor kunststof en metaal. Voor beton en AC is de rioolradar een goed alternatief. Daarnaast is met sonar de binnendiameter te bepalen, al dan niet gecombineerd met lasertechnieken. Door de binnendiameter te vergelijken met de oorspronkelijke diameter ontstaat ook een indruk van de resterende wanddikte.

Video-inspectie is vooral geschikt om te zien waar aantasting optreedt. Hierbij zit de grootste meerwaarde in het opsporen van plekken waar bijvoorbeeld een interne coating of lining lokaal 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. De representativiteit van de monstername is hierbij essentieel.

Hydraulica

De drie meest voor de hand liggende oorzaken van een toegenomen weerstand zijn sediment, lucht en wandruwheid (aannemende dat afname van de diameter door onder meer relining in beeld is). De aanwezigheid van sediment is met sonar op te sporen. Maar een veel directere methode is goed reinigen met pigs en daarna nogmaals meten of het probleem is opgelost. Lucht is op te sporen met een analyse van het pompgedrag bij het opstarten (zie *CAPWAT-handboek*). Een eventuele toename van de wandruwheid door aantasting is via visuele inspectie te detecteren.

Zetting

Een effectieve manier om de hoogteligging van de leiding te meten, is een pig/ATU-meting. Hierbij zet u de leiding vol en leidt u een niveausensor door de leiding. Een andere methode is de hellingmeting of video-inspectie gecombineerd met een voegwijdtemeting.

Uit veiligheidsoverwegingen zijn methoden om via maninspectie te inspecteren hier niet opgenomen. Mogelijk is dit bij calamiteiten en in uitzonderingssituaties te verantwoorden, maar voorzichtigheid lijkt gepast wegens (bijna)ongevallen in het verleden.



Figuur 5.4 Maninspectie: balanceren tussen veiligheid en inspectie

5.5.2 Besluit tot onderzoek of inspectie op niveau 'verdieping'

Ook bij dit besluit moet u een afweging maken tussen kosten, baten en risico's (zie ook paragraaf 5.4.2). Voor deze verdiepende onderzoekstechnieken moet u soms ook de leiding droogzetten, met de bijbehorende kosten en risico's.

De keuze voor een bepaalde techniek hangt af van de systeemkenmerken, de resultaten van de uitgevoerde basisinspectie en de praktische haalbaarheid van nadere inspectie.

De haalbaarheid van nadere inspectie verschilt per type techniek en uitvoeringswijze en de daarmee samenhangende kosten, risico's en complexiteit:

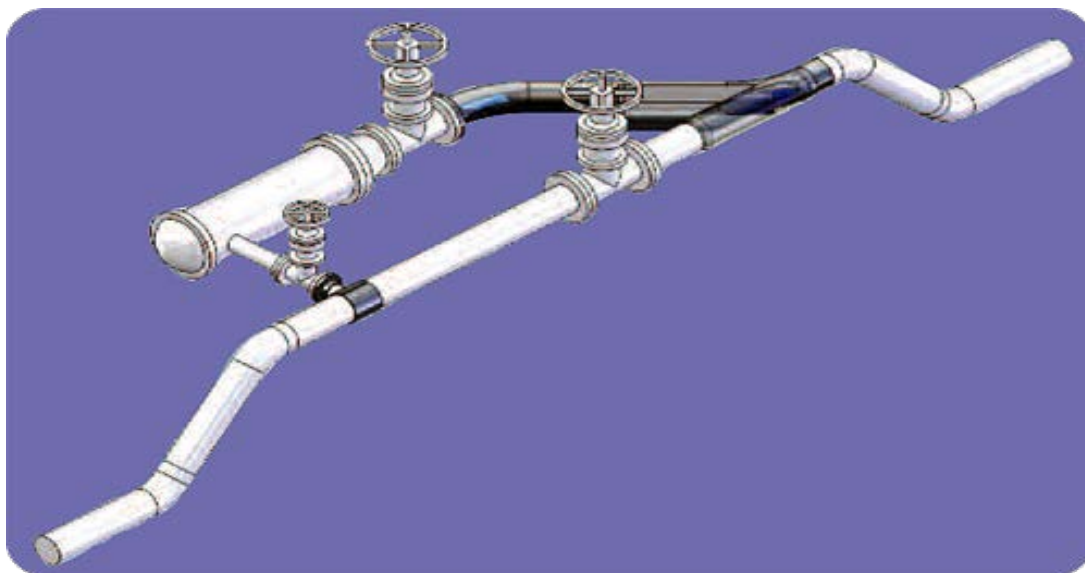
- A Inspectie van buiten de leiding (graven; betonproeftest van buitenaf; geluid (correlator) om lekkage te testen). De kosten variëren sterk, afhankelijk van het aantal locaties en de opzet. Denk aan prijzen vanaf € 5.000 per locatie/per techniek/per dag. Meer informatie vindt u in de *WERF-rapportage Inspection guidelines for wastewater force mains*.
- B Toegepast tijdens bedrijfsvoering (pigging, Smartball). De kosten voor een dergelijke inspectie liggen rond de € 5 à € 10 per meter, exclusief bijkomende kosten (zoals toegankelijk maken en rondpompen).
- C Toepassing in natte situatie met weinig/geen stroming (Sahara, electroscanning).
- D Drooggezet systeem (video-inspectie op rijdende wagen). Bij gangbare dagproductie liggen de kosten rond de € 5 à € 10 per meter, exclusief bijkomende kosten.
- E Destructief (leiding verwijderen en in lab testen). Afhankelijk van de toegankelijkheid zijn de kosten per locatie zo'n € 5.000 à € 10.000.



Figuur 5.5 Omleiding afvalwater is soms duur en gecompliceerd

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

- 1 Het maken van een installatie om te piggen/te inspecteren kan rond de € 25.000 liggen (en dus circa € 10 tot € 50 per meter kosten voor leidingen van 500 tot 2.500 meter).
- 2 Rondpompen van afvalwater kan voor een grote leiding met een groot debiet circa € 25.000 kosten (en dus circa € 10 tot € 50 per meter geïnspecteerde leiding kosten voor leidingen van 500 tot 2.500 meter).



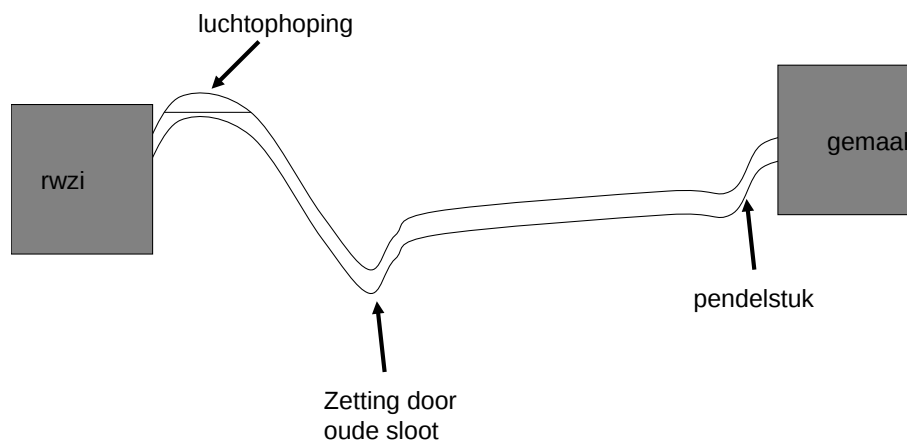
Figuur 5.6 Afvalwatertransportleiding piggable maken is serieuze inspanning

De overalkosten voor inspectie variëren daarmee voor leidingen van 500 tot 2.500 meter van € 2 tot meer dan € 100 per meter. Neem deze forse range mee in de besluitvorming over inspectie conform het stappenplan.

De uitvoeringsvormen, mogelijke technieken en te onderzoeken faalmechanismen geven zo veel combinatiemogelijkheden, dat het ondoenlijk is om deze allemaal uit te werken. Het voorbeeld in het kader geeft aan hoe u de keuze voor een techniek in de verdiepingsslag kunt maken.

Voorbeeld: inspectie persleiding

Figuur 5.7 toont de langsdoorsnede van een typische persleiding, Ø800 mm, uitgevoerd in gietijzer. Het gemaal is onderheid en de persleiding vangt dit op met een pendelstuk. De leiding voert af naar de rwzi, waarbij op een hoog punt luchtophoping kan plaatsvinden. De basisinspectie heeft laten zien dat de leiding luchtophoping heeft en niet of nauwelijks lekkage kent. Er is geen faalhistorie beschikbaar en de zetting van het maaiveld is 50 cm.



Figuur 5.7 Langdoorsnede typische persleiding, Ø800 mm, uitgevoerd in gietijzer

Vraag: Welke techniek is hier nodig voor nader onderzoek op het niveau 'verdieping'?

Antwoord: nader onderzoek wanddikte met UT-pig op locatie met luchtophoping, meting langsprofiel (X, Y, Z) met ATU-meting of XYZ-pig. N.B. Bij toepassing van GVK is onderzoek van de wanddikte niet van toepassing, aangezien daar geen aantasting optreedt.

5.6 Stap 5: Analyse resultaten en besluitvorming

In deze stap verwerkt en interpreteert u de resultaten van de inspectie op het niveau 'verdieping'. Deze leveren essentiële input voor besluitvorming over eventuele maatregelen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

De uitgebreide inventarisatie via interviews, een enquête, een workshop en literatuuronderzoek heeft inzicht gegeven in de relevante faalmechanismen voor persleidingen. Hieruit blijkt dat lang niet alleen verouderingsprocessen de aanleiding vormen voor falen. Een belangrijk deel van deze faalmechanismen hangt samen met andere factoren (grondverzet) of vindt zijn oorzaak in de bediening van pompen en afsluiters. Dit houdt in dat met alleen inspectie slechts een deel van de calamiteiten is te ondervangen.

Ook komt uit de inventarisatie naar voren dat het falen van leidingen is samen te vatten tot drie typen: lekkage, constructief bezwijken en verminderde hydraulische functionaliteit.

Vervolgens is gezocht naar technieken waarmee het optreden van de faalmechanismen is te detecteren. Dit heeft geleid tot een 'long list' van technieken. Anders dan waar velen met visuele inspectie over denken te beschikken voor vrijvervalriolering, rolt hieruit geen 'one size fits all'-techniek.

Veel van deze technieken zijn behoorlijk kostbaar en soms ingewikkeld. Ook is de meerwaarde voor bijvoorbeeld levensduurverlenging lang niet altijd aanwezig. Daarom is onderscheid gemaakt in onderzoek op niveau 'basis' en op niveau 'verdieping'. Op het basisniveau ontstaat algemeen inzicht in het optreden van een van de drie faalvormen, gecombineerd met een analyse van zetting als mogelijk voorspellende parameter. Het niveau 'verdieping' is aan de orde als uit de eerdere analyse naar voren komt dat nader onderzoek noodzakelijk is.

Het ontwikkelde stappenplan (zie figuur 5.1) kunt u doorlopen bij het beoordelen van de kwaliteit van persleidingen. Centraal in dit stappenplan staan een goede inventarisatie en een terugkerende afweging van de meerwaarde van verder onderzoek. Dat laatste is belangrijk, omdat verder onderzoek (bijvoorbeeld droogzetten) ook forse financiële consequenties en risico's met zich mee kan brengen. Zeker bij kleinere leidingen zonder grote impact op de omgeving zal toepassing van dit stappenplan waarschijnlijk leiden tot de zogenaamde 'fail and fix'-strategie (repareren na falen).

6.2 Aanbevelingen

De aanbevelingen voor de doorontwikkeling van de methodiek zijn:

- In een pilot dit stappenplan toepassen op twee oude leidingen in Rotterdam (een kleine en een grote) en waar nodig het stappenplan verfijnen.
- De test op reststerkte door afpersen uitvoeren op een overbodige leiding en dan doorgaan tot bezwijken, om zo een goed beeld te krijgen van de risico's die samenhangen met afpersen.
- Een handleiding opstellen voor het toepassen van het beoordelingsmodel/stappenplan, zodat tien verschillende beheerders hiermee gecoördineerd ervaring kunnen opdoen.
- Een overleggroep persleidingbeheerders inrichten, die dergelijke ervaringen deelt.
- Gegevens van leidingfalen vastleggen in een database, zodat beheerders kunnen leren van elkaars ervaringen.

Literatuur

Aangeleverde documenten gemeente Rotterdam

- Handboek Leidingen Rotterdam 2010.
- Inventarisatie persleidingen 1998.
- Persleiding Onderhoudsbeleid 2000.
- Risico/multicriteria-analyse voor de persleidingen in Rotterdam 2012.
- Startnotitie verbeteringslag beheer hoofdpersleidingen 2012.

Nen-ATV diversen

- ATV 127.
- NEN-EN 1610.
- NEN 3398, NEN 3399.
- NEN 3650-3651 3659.
- NTA 8120, Assetmanagement - Eisen aan een veiligheids-, kwaliteits- en capaciteitsmanagementsysteem voor het elektriciteits- en gasnetbeheer.
- NTA 8000 Specificatie voor een risicomanagementsysteem (RMS) voor risico's van buisleidingssystemen voor het transport van gevaarlijke stoffen in de beheerfase.

Capwat

- Sheets CAPWAT-themamiddag "(rest)levensduur van persleidingen", 24 maart 2011, 13.30 – 17.00 uur.
- CAPWAT-handboek juni 2010 en april 2012.

Stichting RIONED

- Leidraad riolering, module C2400 Inspectie en beoordeling.
- Leidraad riolering, module C3100 Beheer van mechanische riolering.

Royal HaskoningDHV

- Ontwerp & bouwfilosofie gemalen en persleidingen.
- Interviews collega's.

Internationale literatuur

- James C. Thomson, Robert S. Morrison, Tom Sangster, inspection guidelines for wastewater force mains, Jason Consultants LLC, WERF 2010, V A.
- Christopher S. Feeney, Scott Thayer, Michael Bonomo, Kathy Martel, P.E., Dr. Fu-hsiung (Dennis) F. Lai , White Paper on Condition Assessment of Wastewater Collection Systems, EPA 2009.
- Bruce Nestleroth, Stephanie Flamberg, Wendy Condit, and John MatthewsBattelle, field demonstration of innovative condition assessment technologies for water mains: leak detection and location, , EPA 2012.
- Kathy Martel, Chris Feeney, Mary Ellen Tuccillo, Field Demonstration of Condition Assessment Technologies for Wastewater Collection Systems, EPA 2011.
- Tuccillo, M.A., Jolley, J., Martel, K., Boyd, G. 2010. Report on Condition Assessment of Wastewater Collection Systems. EPA/600/R-10/101 September 2010.
- The truth about leaks in oil and derivatives pipelines; accidents with oil and derivatives pipelines Source: PHMSA (hl2002toPresentSI20090714) - US Department of Transportation.
- Emerging Technologies for Conveyance Systems New Installations and Rehabilitation Methods, EPA 2006.
- Standard Practice for Locating Leaks in Sewer Pipes Using Electro-Scan—the Variation of Electric Current Flow Through the Pipe Wall, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- M. T. Bin Ali, K.V. Horoshenkov, S. J. Tait. Rapid Detection of Sewer Defects and Blockages Using Acoustic Based Instrumentation, NOVATECH 2010.
- Harting K. Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und dukern – Phase 1 – Handlungsempfehlungen unter technische und wirtschaftlichen aspekten, IKT, 2011, Gelschenkirchen.

Internet/leveranciersinformatie/overige

- Literatuur over radar / fenolftaleinetest / persleidingen in vakblad riolering (van Noortwijk) en rioleringswetenschap (KWR).
- Diversen leveranciers inspectietechnieken.
- Welke lekken kan de SmartBall nog ontdekken? - Waternet Innovatie.
- Diversen documentatie van diverse leveranciers inspectietechnieken en leidingmaterialen (ondermeer Pipelife, Wavin, Saint Gobain).
- 'Innovatieve opsporingstechnieken voor kabels en leidingen', februari 2005, Stichting COB, Gouda".
- Dichtheidstesten van riolering door middel van lucht en water volgens NBN EN 1610 EN SB 250v2.1 Francis Poelmans Opzoekingscentrum voor de wegenbouw
- Laskwaliteit in de koudetechniek; TNO.
- Dijkmonitoring: beoordeling van meettechnieken en visualisatiesystemen Eindrapport All-in-one Sensor Validatie Test; Stichting ijkdiik.
- LinkedIn-groep Pipeline Leak Detection.

Deelnemers

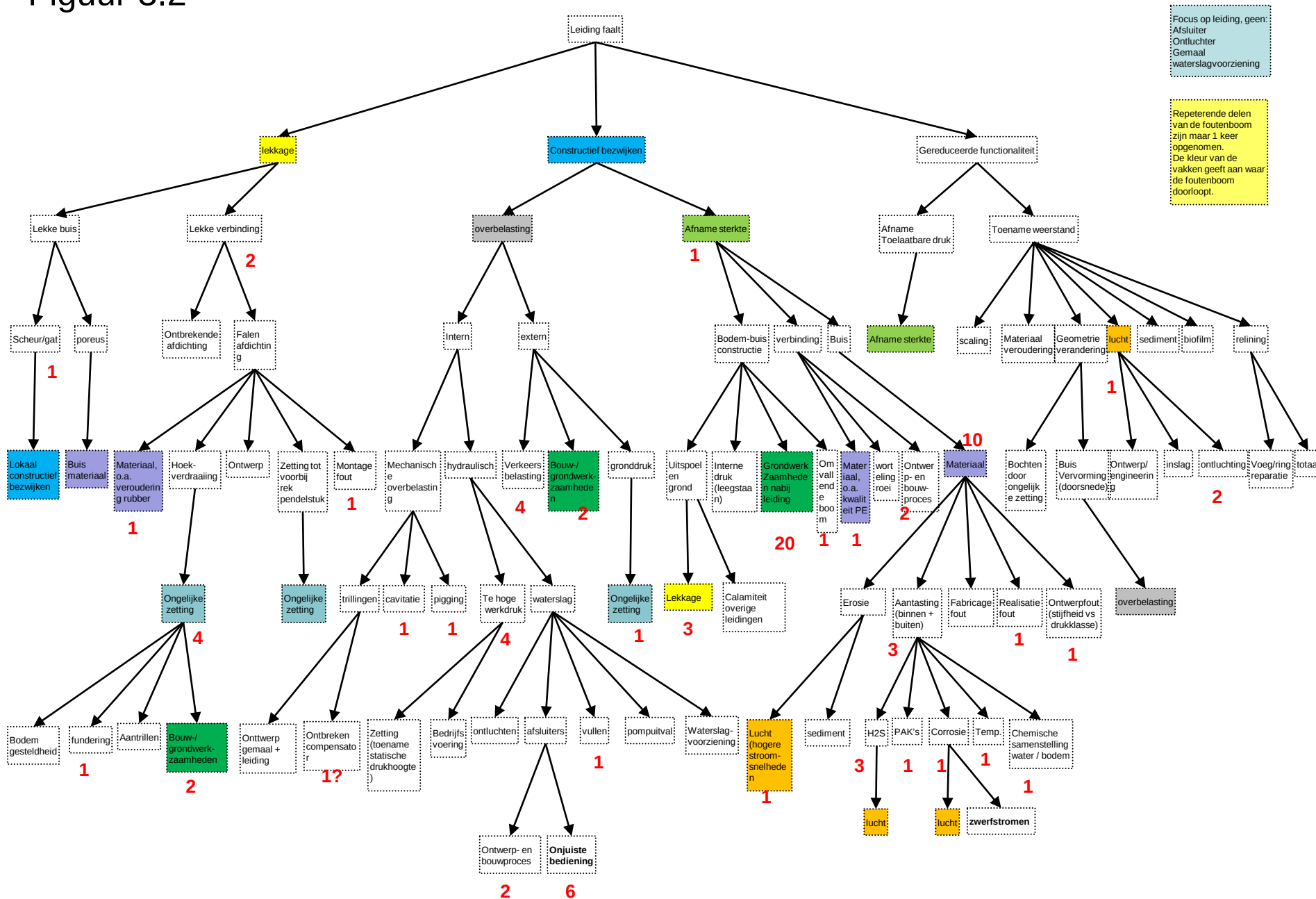
- KIWA-publicatie over de aantasting van natuurrubber ringen uit 1961.
- Een artikel over het ingroeien van boomwortels, Tuinlandschap 2006.
- Inspectierapport Delfland.
- Enquête WSHD.
- Risicoregister, risicoanalyses Brabantse Delta.
- Restlevensduur AWP, Quick scan bestaand materiaal, documentnr. 126263, Waterschap Brabantse Delta.

Bijlagen

Figuur 3.2 (behorend bij pagina 10)

Figuur 4.1 (behorend bij pagina 12)

Figuur 3.2



Figuur 4.1

