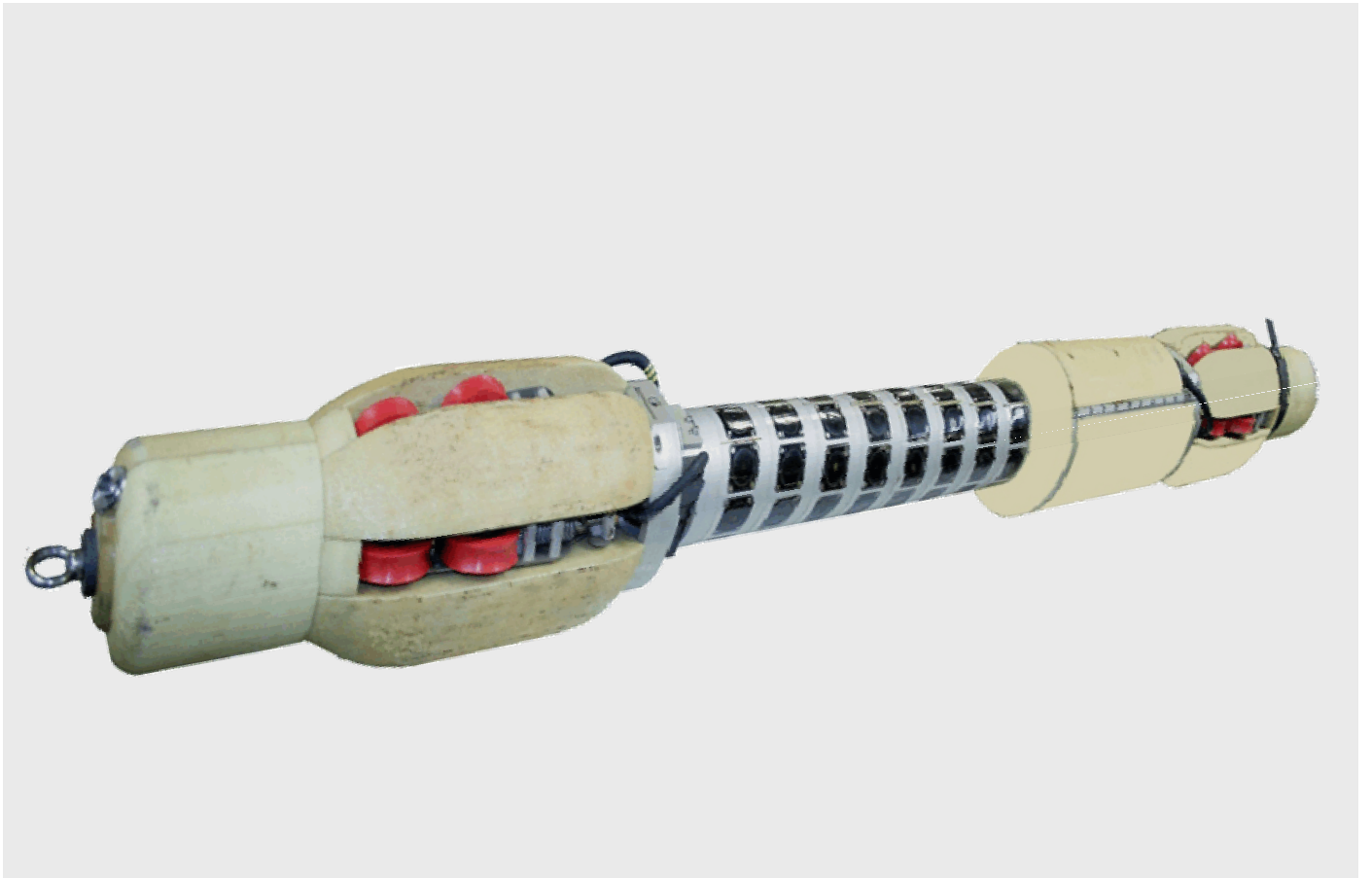




Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten

Een overzicht van technieken en randvoorwaarden

BTO 2010.013
Mei 2010

Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten

Een overzicht van technieken en randvoorwaarden

BTO 2010.013
Mei 2010

© 2010 KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

Colofon

Titel

Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten

Projectnummer

B111695.102

Projectmanager

Nellie Slaats

Opdrachtgever

BTO

Kwaliteitsborger(s)

Jan Vreeburg, Mirjam Blokker

Auteur(s)

Henk de Kater, Ralph Beuken, Ad Vogelaar

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Foto op omslag:

Meetsonde ontwikkeld door Breivoll Inspection Technologies (Noorwegen) voor het in-line meten van de toestand van metalen leidingen door middel van breedband ultrasoon geluid.

Samenvatting

Het leidingsysteem voor de distributie van drinkwater bevindt zich vrijwel geheel onder de grond. Voor Nederland heeft dit leidingnet een lengte van 116.000 km. Het drinkwaternet van de aan het BTO deelnemende bedrijven heeft een totale lengte van meer dan 150.000 kilometer en vertegenwoordigt een waarde van meer dan 25 miljard euro. Door rationeel leidingnetbeheer beogen waterbedrijven hun leidingen veilig en economisch in bedrijf te hebben. Waterbedrijven worden hierbij geconfronteerd met onzekerheden over de exacte toestand van de ondergrondse infrastructuur. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van beschikbare inspectietechnieken en hun toepasbaarheid om de toestand van het leidingnet in beeld te krijgen.

Inzicht in de technische staat van een leiding kan worden verkregen door inspectie. Een actueel overzicht van de hiervoor beschikbare technieken is opgesteld. De laatste jaren hebben zich een aantal innovaties voorgedaan waarbij inspectietechnieken zijn ontwikkeld die niet-destructief zijn, een resultaat geven over een grotere leidinglengte en inwendig (zonder graven) kunnen worden toegepast. Een aantal innovatieve technieken zijn beschikbaar voor het inspecteren van drinkwaterleidingen:

- Inspectietechnieken met magnetische velden.
- Inspectietechnieken op basis van ultrasoon geluid.
- Inspectietechniek op basis van georadar/grondradar.

Innovatieve inspectietechnieken zijn met name beschikbaar voor grotere diameterranges, groter dan 200 - 250 mm. Dit houdt in dat innovatieve inspectietechniek zijn toe te passen op ongeveer 10% van het leidingenbestand van de BTO bedrijven.

In uitgewerkte business cases zijn de technische – en financiële grenzen in beeld gebracht die een rol spelen bij het toepassen van innovatieve inspectietechnieken. Voor de business case met een 300 mm AC leiding blijkt dat het inspecteren van een leiding en daarna uitstellen van een sanering alleen lonend is als de kosten van inspectie lager zijn dan 40 €/m. Ook blijken innovatieve inspectietechnieken alleen rendabel te zijn, als er een zekerheid is van circa 65% dat de leiding een goede toestand heeft. Immers als de kans op uitstel van sanering te laag is, dan zullen de kosten van inspectie hoger zijn dan het kostenvoordeel door uitstel van investeringen.

De financiële ruimte voor het toepassen van inspectietechnieken is gerelateerd aan de vervangingskosten en dus aan de diameter. Berekeningen laten zien dat voor leidingdiameters kleiner dan 200 mm de inzet van deze technieken niet rendabel is. Hier kan pas verandering in komen als er technieken beschikbaar komen waarvoor geen kostbare inbouwingen in de leiding noodzakelijk zijn.

Aan de hand van uitgevoerde inspecties (fenoltaleïne testen) is gepoogd een inschatting te maken van de kwaliteit van een populatie AC leidingen. Hierbij bleek dat als inspectieresultaten gebruikt worden om uitspraken te doen over de kwaliteit van groepen leidingen, de parameters die betrekking op het relevante faalmechanisme van te voren benoemd worden, zodat deze bij de registratie betrokken kunnen worden. Wil de inspectietechniek effectief gebruikt kunnen worden voor uitspraken over leidinggroepen dan is het noodzakelijk om deze in te bedden in een coherent beheer met duidelijke vraagstellingen, normwaarden en datavoorziening. Daarnaast is een verantwoorde statistische analyse noodzakelijk om de significantie van inspectieresultaten voor groepen leidingen te kunnen beoordelen.

Tenslotte worden voor vier beheersscenario's de kosten en de prestaties onderling vergeleken. Als uitgangspunt wordt hierbij gehanteerd dat voor alle leidingen een kosteneffectieve inspectietechniek beschikbaar is. De scenario's zijn:

- Scenario 1: Het alleen repareren van leidingen en niets vervangen.
- Scenario 2: Toepassen van inspectietechnieken voor alle leidingen.
- Scenario 3: Toepassen van een saneringsondersteuningsmodel.
- Scenario 4: Combinatie van een saneringsondersteuningsmodel en inspectietechnieken

Analyse van de vier scenario's maakt duidelijk dat een kosteneffectieve inzet van inspectietechnieken gebaat is bij een goede selectie van de groep leidingen waar de inspectie wordt ingezet. Hiervoor kan een saneringsondersteunend model van grote waarde zijn, mits dit model over voldoende nauwkeurigheid beschikt. Hierbij is zowel rekening gehouden met resultaten die fout positief zijn (leiding ten onrechte aangemerkt als saneringskandidaat), als die fout negatief zijn (leiding ten onrechte niet aangemerkt als saneringskandidaat).

Voor het bepalen van de beste wijze van leidingnetbeheer, lijkt een risicobenadering, waarbij de kans op een leidingbreuk en de effecten hiervan worden vastgesteld, het meest effectief. Waterbedrijven wordt aanbevolen de inzet van inspectietechnieken te overwegen bij die leidingen waarvan de effecten van leidingbreuk het grootste zijn en/of waarbij de kosten van inspectie opwegen tegen de voordelen van uitstel van sanering.

Voor het grootste deel van het leidingnet, voornamelijk leidingen met een kleinere diameter, zijn inspectietechnieken een kostenefficiënt in te zetten. Voor het bepalen of deze leidingen voor sanering in aanmerking komen lijken beslissingsondersteunende modellen, in combinatie met destructief onderzoek en storingenanalyse, de beste keuze. Aanbevolen wordt nader onderzoek uit te voeren naar de toepassing van deze modellen, bijvoorbeeld in de vorm van pilot-projecten.

Waterbedrijven wordt aanbevolen om aanbieders van veelbelovende inspectietechnieken gezamenlijk en actief benaderen en kennis uitwisselen over het uitvoeren van pilot-projecten. Hiervoor is ruimte binnen het lopende BTO. Aanvullend hierop wordt aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren naar faalmechanismen van PVC leidingen. Dit onderzoek kan belangrijk input leveren voor het verkrijgen van een adequate inspectietechniek voor PVC leidingen.

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	3
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding van dit rapport	5
1.2 Rationeel saneringsbeleid op grond van een risicobenadering	5
1.3 Technieken voor het ondersteunen van saneringsbeslissingen	6
1.4 Leeswijzer	7
2 Samenstelling leidingnetten	9
2.1 Algemeen	9
2.2 Overzicht leidingmateriaal in Nederland	9
2.3 Samenstelling leidingnet in Nederland, Vlaanderen (PIDPA en VMW), Groot Brittanie, Verenigde Staten en Berliner Wasserbetriebe	9
2.4 Vervangingswaarde van het gemeenschappelijke BTO leidingnet	10
2.5 Randvoorwaarde 1: Aanwezige volumes van groepen leidingen	11
3 Leidingmaterialen, faalmechanismen en veroudering	13
3.1 Algemeen	13
3.2 Asbest-Cement (AC)	13
3.3 Beton	13
3.4 Grijs gietijzer	14
3.5 Nodulair gietijzer	15
3.6 Polyetheen (PE)	15
3.7 Polyvinylchloride (PVC)	15
3.8 Staal	16
3.9 Overige materialen	16
3.10 Randvoorwaarde 2: Beschikbare inspectietechnieken	17
4 Inspectietechnieken	19
4.1 Algemeen	19
4.2 Overzicht van in gebruik zijnde inspectietechnieken	20
4.3 Innovatieve ontwikkelingen	21
5 Business cases inspectietechnieken	23
5.1 Aanleiding	23
5.2 Opzet van business cases	23

5.3	Voorbeeld business case AC 300 mm in landelijk gebied	23
5.4	Bespreking resultaten en gevoeligheidsanalyse	27
5.5	Overige cases	28
5.6	Business case en onzekerheden	28
5.7	Randvoorwaarde 3: Maximale kosten voor inspectie	30
6	Praktijkvoorbeeld interpretatie van inspectieresultaten	31
6.1	Algemeen	31
6.2	Samenvatting onderzoek WML	31
6.3	Vertaling individueel leidingonderzoek naar leidinggroepen	32
6.4	Randvoorwaarde 4: Interpretatie van resultaten inspectie	33
7	Scenario's inspectietechnieken en saneringsondersteuningsmodellen	35
7.1	Algemeen	35
7.2	Modellen voor de watersector	35
7.3	Scenario-analyse	35
7.4	Scenarioanalyse van de AC leidingen	36
7.5	Gevoeligheidsanalyse van diverse inputparameters	38
7.6	Randvoorwaarde 5: selectie van te inspecteren leidingen	41
8	Toetsing van technieken aan randvoorwaarden	43
8.1	Randvoorwaarden voor inspectietechnieken	43
8.2	Toepassingsmogelijkheden van inspectietechnieken	44
9	Conclusies en aanbevelingen	47
10	Referenties	49
I	Overzicht inspectietechnieken	51
II	Business cases	53
III	Gevoeligheid business case	59
IV	Analyse fenolftaleïne testen WML	61

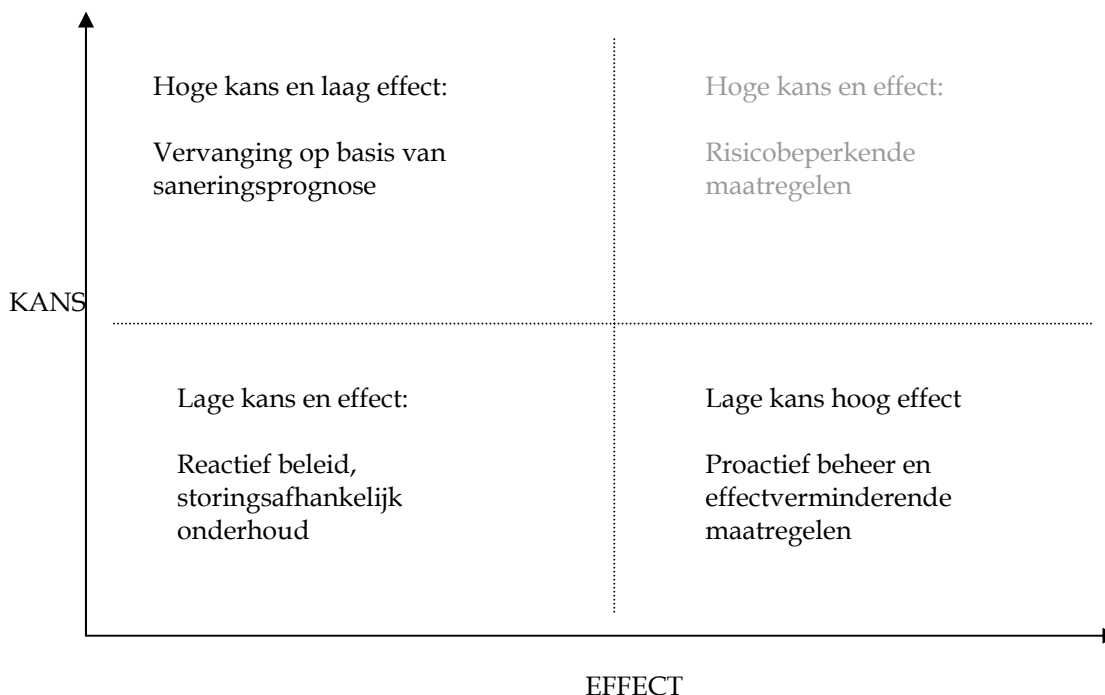
1 Inleiding

1.1 Aanleiding van dit rapport

De primaire functie van het waterleidingnet is drinkwater met de juiste hoeveelheid, met minimale kwaliteitsbeïnvloeding en met voldoende druk naar de klant te transporteren. Deze functionaliteit moet gedurende de gehele levenscyclus worden geborgd tegen zo laag mogelijke kosten. Voor dit beheer zijn een aantal activiteiten mogelijk, waarbij het saneren van leidingen een van de meest omvangrijke is. Het saneren van een leiding vindt idealiter plaats op basis van een voorspelling van de conditie. Voor deze conditievoorspelling zijn een aantal technieken beschikbaar of in ontwikkeling. Dit kunnen technieken zijn die de toestand van de leiding inspecteren of computermodellen die kandidaten voor sanering selecteren. Dit rapport, dat is geschreven in het kader van het BTO Bouwstenen Leidingnetbeheer, geeft een inventarisatie van deze technieken en geeft een verkenning van de mogelijke toepassing in het leidingnet van de waterbedrijven die participeren in het BTO.

1.2 Rationeel saneringsbeleid op grond van een risicobenadering

Leidingnetbeheer borgt het economische, en veilig, in bedrijf hebben van leidingen. Beheermaatregelen zijn hierbij gekoppeld aan geld en aan een risicobenadering. Hierbij wordt het risico bepaald door de kans dat een gebeurtenis zich voordoet vermenigvuldigd met de gevolgen van deze gebeurtenis (effect). De kans kan laag of hoog zijn en de gebeurtenis kan grote gevolgen hebben of juist kleine. Zo kunnen vier kwadranten worden beschreven (zie Figuur 1) met elk hun eigen benadering van leidingnetbeheer. De grenzen van deze kwadranten kunnen niet scherp getrokken worden en zijn een afspiegeling van het bedrijfsbeleid.



Figuur 1: Risicokwadranten leidingnetbeheer

Voor leidingen met een beperkt effect en kans is een reactieve benadering effectief. De kans dat de leiding faalt, is klein en als het gebeurt, zijn de gevolgen goed te overzien. Storingsafhankelijk onderhoud is in dit geval een logische keuze. Leidingen met een grote kans op falen zullen moeten worden geïdentificeerd en worden opgenomen in een saneringsprognose. De prioriteit bij

saneringsbeslissingen kan bijvoorbeeld worden bepaald aan de hand van de bijdrage aan de “Ondermaatse Leverings Minuten” (OLM).

Voor leidingen met grote effecten bij falen wordt een proactief beheer vereist. Het falen van dit type leidingen mag een leidingbeheerder niet zo maar overkomen. Op basis van de aangegeven risicobenadering wordt er actief beheerd, zowel voor het gebied met een lage kans als voor het gebied met een hoge kans. Leidingen met grote effecten bij falen zijn bijvoorbeeld de leidingen die worden geïdentificeerd in het kader van het veiligheidsbeleid met betrekking tot externe effecten. Leidingen in het kwadrant met zowel een hoge kans als een groot effect horen niet voor te komen.

1.3 Technieken voor het ondersteunen van saneringsbeslissingen

Het duurzaam en veilig beheren van het leidingnet vindt plaats met verschillende activiteiten. Deze activiteiten zijn als volgt te kenschetsen:

1. conditiebewaking door informatievastlegging (bijv. veldopnames of dataverzameling);
2. reparatie bij noodgevallen (bijv. naar aanleiding van een leidingbreuk);
3. onderhoud op een juiste en veilige manier met periodieke inspectie (bijv. het controleren van afsluiters of KB);
4. sanering.

Sanering, letterlijk het weer gezond maken, kan bestaan uit het vervangen van een bestaande leiding of het verbeteren van een bestaande leiding, bijvoorbeeld door relining. De meeste saneringen betreffen vervangingen, waardoor deze begrippen vaak door elkaar gebruikt worden.

Het saneren van leidingen is erg kapitaalintensief en een omvangrijke post in het investeringsbudget van een waterbedrijf. Omdat een toenemend aantal leidingen zijn technische levensduur bereikt, is het te verwachten dat het aantal saneringen zal toenemen, wat een verhoging van het investeringsbudget tot gevolg zal hebben. Voor een juiste aanwending van deze investeringen is een goede onderbouwing van de saneringsbeslissingen noodzakelijk. Een leiding saneren die niet aan het eind van zijn technische levensduur is, is immers een vorm van waardevernietiging.

De in paragraaf 1.2 geschetste risicobenadering, waarbij de kans op falen en het effect van falen wordt beschouwd, is algemeen geaccepteerd (Moglia, 2006). Hierbij wordt uitgegaan dat de kans op falen kan toenemen bij een toenemende levensduur en dat een minimaal aanvaardbare faalkans overeenkomt met een voor een specifieke leiding minimaal aanvaardbare conditie. De conditie van een leiding is hierbij een factor die wordt bepaald door de verhouding tussen de toestand van een leiding en een vastgestelde norm (normtoestand).

Het verouderingsprincipe van een leiding is afhankelijk van de materiaalsoort. Voor leidingen van AC of metaal, waar respectievelijk uitloging of corrosie optreedt, is dit de effectieve wanddikte. Voor PVC is dit onder andere de toelaatbare buiswandspanning, die afneemt in de tijd. De normtoestand is afhankelijk van de optredende belasting op de buiswand, vermeerderd met een voor die specifieke situatie bepaalde veiligheidsfactor.

De toestand van een leiding is niet eenvoudig vast te stellen. Dit is met name gegeven door de ontoegankelijke ligging in de ondergrond en de grote lengte van het net. De afgelopen jaren zijn in het kader van het BTO ervaringen opgedaan met destructieve inspectietechnieken zoals de schulpentest, de fenolftaleïne-test en de geleerproef. Deze technieken hebben als nadeel dat een leiding ontgraven moet worden en dat een leidingdeel uitgenomen moet worden. Om die reden worden deze inspecties meestal uitgevoerd bij leidingen waaraan gewerkt wordt, veelal leidingen waar zich een breuk heeft voorgedaan, zodat geen representatief beeld van het leidingenbestand wordt verkregen. Een ander nadeel is dat met deze technieken slechts een puntmeting wordt verkregen. Meer continue technieken, zoals ultrasoon en georadar doen langzaam hun intrede. Deze technieken maken gebruik van sensoren die van binnenuit de toestand van de leidingwand kunnen vaststellen. Deze technieken bevinden zich voor de toepassing in waterleidingen in een experimenteel stadium en ze zijn meestal alleen geschikt voor grotere leidingdiameters. Het moet nog blijken of deze technieken op grote schaal inzetbaar zijn vanwege de relatief hoge kosten voor uitvoering en databewerking en technische beperkingen.

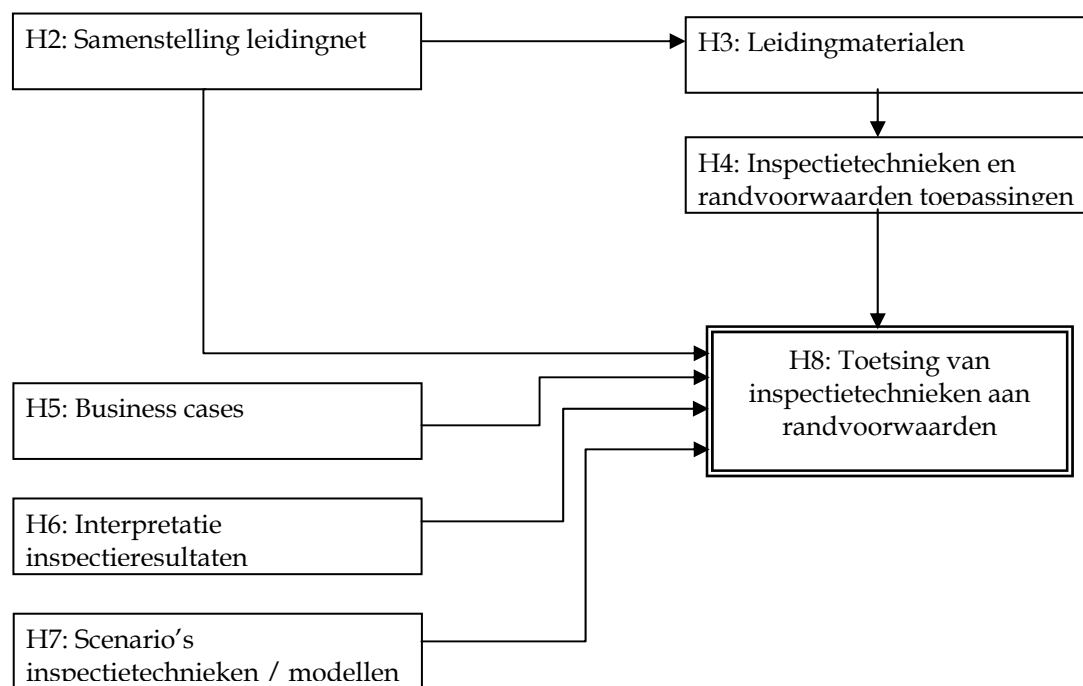
Het doel van dit rapport is het beschrijven van technieken en randvoorwaarden voor de toepassing van inspectietechnieken voor drinkwaterleidingen.

In diverse BTO-rapporten zijn inspectietechnieken en vervangingsmodellen beschreven. In dit rapport wordt hiervan een overzicht gegeven. Deze technieken zijn behulpzaam bij het formuleren van de kans op een leidingbreuk. Voor beschrijvingen van de effecten van een leidingbreuk wordt verwezen naar de beschikbare BTO rapporten van het project Risicoanalyse en risicobeheer leidingnet¹.

Op 8 december 2009 heeft een workshop plaatsgevonden waarin waterbedrijven aangaven welke beslisvariabelen zij het meest van belang achten voor het nemen van saneringsbeslissingen en welke eisen zij stellen aan inspectietechnieken en ondersteunende modellen. De resultaten van deze workshop worden afzonderlijk gerapporteerd, zie Beuken (2010).

1.4 Leeswijzer

In *Figuur 2* is een schematisch overzicht weergegeven van de opbouw van dit rapport. Hoofdstuk 2 geeft de samenstelling (in materiaal – diameter groepen) van het leidingnet van de in het BTO participerende waterbedrijven. De verschillende materialen en hun faalmechanismen worden beschreven in Hoofdstuk 3. Voor de meest toegepaste leidingmaterialen worden in Hoofdstuk 4 de bestaande inspectietechnieken beschreven. Uit de beschreven relatie tussen leidingmateriaal, faalmechanisme en inspectietechniek volgen dan randvoorwaarden voor toepassing.



Figuur 2 Schematisch overzicht van de opbouw van dit rapport.

De Hoofdstukken 2, 5, 6 en 7 beschrijven een aantal in dit onderzoek uitgewerkte randvoorwaarden die van toepassing zijn op inspectietechnieken. Het overzicht van de leidingmaterialen in Hoofdstuk 2, geeft randvoorwaarden voor wat betreft het bestaande volume van groepen leidingen. Financiële randvoorwaarde worden getoetst aan de hand van business cases in Hoofdstuk 5.

¹ Boomen M. van (2006) *Risicogestuurd onderhoud van distributie-infrastructuur*, KIWA N.V. Nieuwegein, BTO 2006.001(s).

Wiel W.D. van der (2007) *Risicoanalysemethoden ten behoeve van infrastructuur voor drinkwatervoorziening*, TNO 2007-D-R0355/A, BTO 2007.025

Beuken R.H.S. (2008). *Risicoanalyse van leidingen*, KWR Nieuwegein, BTO 2008.003

In Hoofdstuk 6 wordt een analyse gepresenteerd van fenolftaleïne-test van asbest cement leidingen van de WML. Nagegaan wordt of deze resultaten gerelateerd kunnen worden aan omgevingsfactoren. Dit levert daarom randvoorwaarden op voor de interpretatie van resultaten. In Hoofdstuk 7 wordt nagegaan hoe de resultaten van inspectietechnieken zich verhouden tot andere scenario's, te weten alleen storingen repareren, de inzet van saneringsondersteuningsmodellen of een combinatie van inspectie en modellen. Deze benadering levert een aantal randvoorwaarden voor de individuele methoden en gecombineerde toepassingen.

Toetsing van de verschillende inspectietechnieken aan de in dit rapport besproken randvoorwaarden vindt plaats in Hoofdstuk 8. Conclusies en aanbevelingen worden gegeven in Hoofdstuk 9.

2 Samenstelling leidingnetten

2.1 Algemeen

Het startpunt voor het bepalen van de toepassing van inspectietechnieken is de staat van het huidige leidingnet. Hieruit komt naar voren welke materialen er aanwezig zijn. Op basis van aanwezige materialen en hun verwachte conditie, kunnen inspectietechnieken worden geselecteerd. Daarnaast geeft de omvang van de aanwezige materialen in combinatie met de diameterverdeling aan voor welke groepen leidingen het zinvol is nieuwe inspectietechnieken te ontwikkelen.

2.2 Overzicht leidingmateriaal in Nederland

Jaarlijks wordt door de VEWIN de Waterleidingstatistiek opgesteld. Hierin wordt een overzicht gegeven van de lengte van het drinkwaternet van alle Nederlandse bedrijven (inclusief Oasen) en een onderverdeling naar materialen. Eind 2008 bedroeg deze lengte 115.921 km (Drinkwaterstatistiek VEWIN 2008). Om een goed inzicht te krijgen in de technische mogelijkheden en financiële consequenties van reactief en proactief beheer is naast een onderverdeling in materiaalsoort ook een diameterverdeling per materiaal gewenst. Binnen dit onderzoek is aan de Nederlandse waterbedrijven gevraagd aanvullende data beschikbaar te stellen, zie Tabel 1. Het verschil in totale lengte is toe te schrijven aan overige leidingmaterialen, onbekend, GVK en koper.

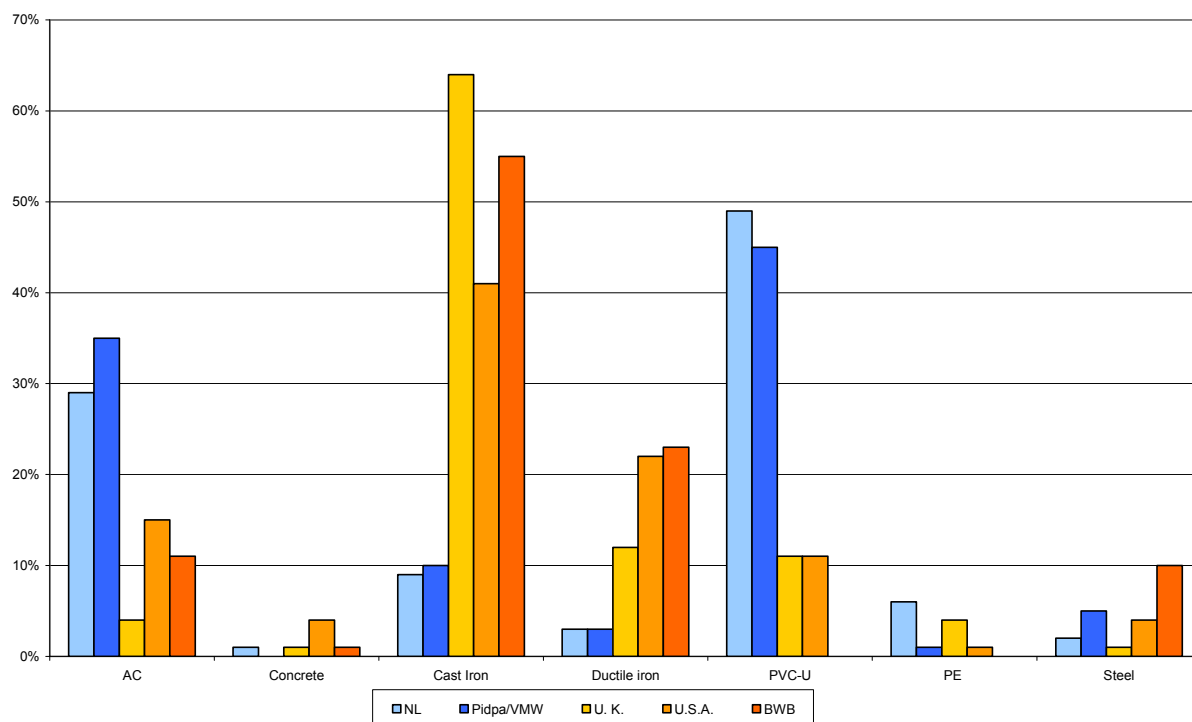
*Tabel 1: Leidingnetverdeling naar materiaal en diameter voor Nederland in kilometers.
Per leidingmateriaal is de diameterklasse met de grootste lengte geaccentueerd*

DIAMETER	AC	BTN	GGIJ	NGIJ	PE	PVC	ST	Totaal
0 – 49 mm	-	-	-	-	1.733	2.877	23	4.633
50 – 99 mm	1.628	-	519	2	3.143	14.523	309	20.124
100 – 159 mm	23.860	-	6.046	1.804	1.277	26.185	694	59.866
160 – 249 mm	2.760	3	1.385	269	595	9.042	214	14.267
250 – 399 mm	2.343	3	1.125	240	337	3.058	185	7.292
400 – 599 mm	1.513	155	199	179	128	1.746	272	4.192
600 – 799 mm	513	72	70	125	29	347	290	1.447
800 – 1500 mm	108	279	18	63	2	-	387	857
Totaal	32.726	511	9.364	2.681	7.244	57.778	2.375	112.679

2.3 Samenstelling leidingnet in Nederland, Vlaanderen (PIDPA en VMW), Groot Brittanie, Verenigde Staten en Berliner Wasserbetriebe

Uit vergelijking van de leidingsamenstelling van het Nederlandse leidingnet met die van de twee Vlaamse BTO-bedrijven (PIDPA en VMW) dan blijkt dat de verdeling redelijk overeen komt. Bij de Vlaamse bedrijven is sprake van meer vezelcement leidingen en wat minder PVC leidingen.

Vergelijking van het Nederlandse leidingnet met die van het Verenigd Koninkrijk, de Verenigde Staten (Reed, 2006) en Berlijn (BWB, Maier, 2009) laat zien dat daar grijs gietijzer een veel groter aandeel beslaat van de toegepaste leidingmaterialen. Daarentegen wordt AC en PVC veel minder toegepast (Figuur 3).



Figuur 3: Samenstelling diverse leidingnetten naar leidingmateriaal (procentueel).
Nederland (lichtblauw), Vlaanderen (donkerblauw), Verenigd Koninkrijk (geel), USA (oranje), Berlin (donkeroranje)

2.4 Vervangingswaarde van het gemeenschappelijke BTO leidingnet

Met de verkregen leidinginformatie van de aan het BTO deelnemende bedrijven (de Nederlandse waterbedrijven exclusief Oasen met de Vlaamse bedrijven PIDPA en VMW) kunnen externe partijen bepalen wat de specifieke behoeften zijn en waar marktmogelijkheden liggen. In Tabel 2 is de samenstelling van het leidingnet weergegeven voor alle aan het BTO deelnemende waterbedrijven. Inclusief de netten van de twee Vlaamse bedrijven bedraagt de totale lengte ruim 150.000 km. De relevante combinaties van materiaal en diameter weer in grijs aangegeven en komen overeen met die in Tabel 1.

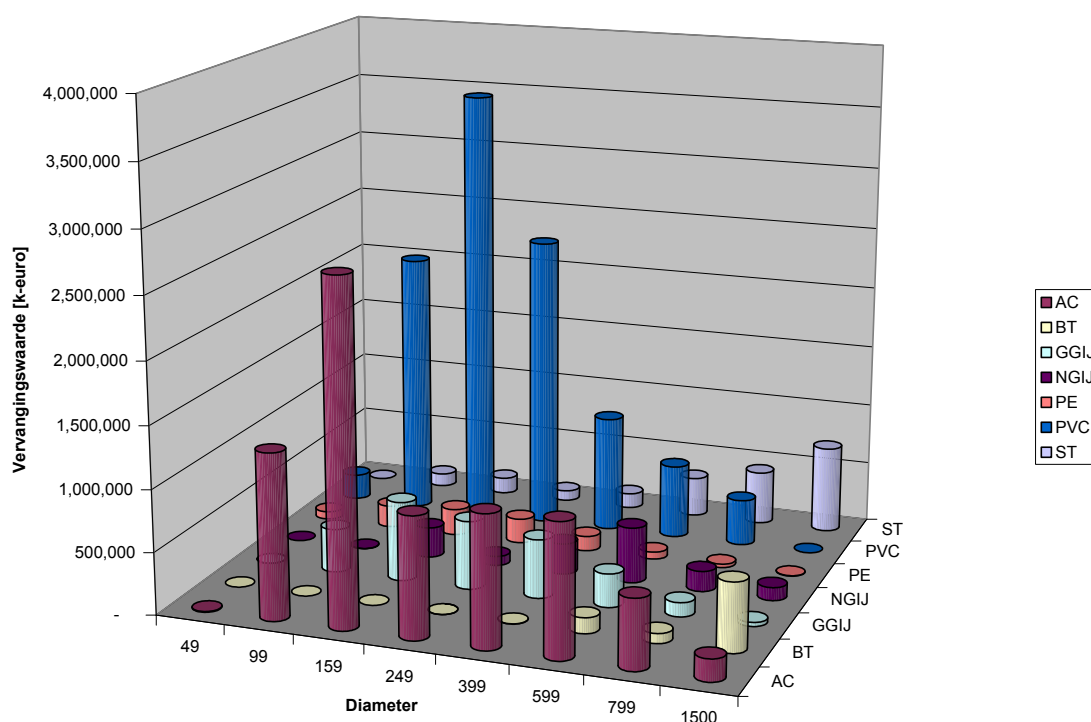
Tabel 2: Leidingnetverdeling naar materiaal en diameter voor de deelnemende BTO bedrijven in kilometers.
Per leidingmateriaal is de diameterklasse met de grootste lengte geaccentueerd.

DIAMETER	AC	BTN	GGIJ	NGIJ	PE	PVC	ST	Overig	Totaal	
0 – 49 mm	-	-	32	-	2.085	6.951	28	256	9.549	6%
50 – 99 mm	16.654	-	4.422	10	2.238	26.719	1.334	381	51.757	34%
100 – 159 mm	21.068	-	4.963	1.901	1.668	27.286	1.017	41	57.946	38%
160 – 249 mm	3.911	3	2.227	301	806	9.512	336	33	17.129	11%
250 – 399 mm	3.424	4	1.540	811	394	3.047	394	341	9.955	7%
400 – 599 mm	1.508	179	384	637	83	847	455	53	4.146	3%
600 – 799 mm	521	74	106	154	26	348	404	43	1.677	1%
800 – 1500 mm	106	329	19	63	2	-	419	13	951	1%
Totaal	47389	590	13693	3878	7302	74711	4386	1161	153.110	
	31%	0%	9%	3%	5%	49%	3%	1%		

Verder kan met behulp van het kostenoverzicht uit Tabel 3 de globale vervangingswaarde van het gemeenschappelijk BTO drinkwaterleidingnet worden berekend. De totale berekende waarde bedraagt meer dan 25 miljard euro. In Figuur 4 is te zien dat de populaties AC 100 – 160 mm en PVC 100 -160 mm naast de grootste lengte ook de grootste vervangingswaarde vertegenwoordigen. Hoewel de leidinglengte van leidingen met grote diameters gering is, zien we dat de leidingen met grote diameters in beton en staal toch ook een forse waarde vertegenwoordigen.

Tabel 3. Gehanteerde gemiddelde kosten voor het vervangen van leidingen, waarbij wordt uitgegaan dat leidingen met een diameter kleiner of gelijk aan 400 mm worden vervangen door PVC en grotere leidingen door staal.

DN [mm]	0 - 49	50 - 99	100 - 159	160 - 249	250 - 399	400 - 599	600 - 799	800 - 1500
Gem. kosten vervangen [€/m]	30	80	130	250	310	710	1080	1690



Figuur 4: Vervangingswaarde deelpopulaties BTO leidingnet

2.5 Randvoorwaarde 1: Aanwezige volumes van groepen leidingen

Uit de analyse van het leidingnet van de BTO bedrijven blijkt dat het meest voorkomende materiaal PVC is (49%), waarvan 72% in de diameterrange 50 – 159 mm. Daarna komt AC het meest voor (31%), waarvan 80% in de diameterrange 50 – 159 mm. Minder voorkomende materialen zijn grijs gietijzer (9%), PE (5%), staal (3%) en nodulair gietijzer (3%), hoewel het nog steeds grote hoeveelheden leidingen betreffen.

Op grond van de aanwezige leidingmaterialen zijn inspectiemethode voor PVC en AC het meest interessant, waarbij het grootste aandeel bestaat uit de diameters tussen 50 en 159 mm

Vergelijking van de aanwezige leidingmaterialen met die van een aantal andere landen (het Verenigd Koninkrijk, de Verenigde Staten en Berlijn), laat zien dat deze materialen in die landen veel minder

voorkomt. Omdat deze landen vooral metalen leidingen hebben, richt de ontwikkeling van inspectietechnieken in die landen zich dan ook vooral daarop.

3 Leidingmaterialen, faalmechanismen en veroudering

3.1 Algemeen

Binnen het BTO wordt onderzoek uitgevoerd naar leidingmaterialen, de faalmechanismen en de mate van veroudering. Deze kennis is vastgelegd in een aantal rapporten en is bijvoorbeeld toegepast in het Kennissysteem Levensduurbepaling. In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht weergegeven van de meest voorkomende leidingmaterialen. Voor meer diepgaande kennis over AC, grijs gietijzer, PVC, beton en PE wordt een verwijzing gegeven naar specifieke rapporten.

3.2 Asbest-Cement (AC)

In 1928 zijn in Nederland de eerste AC leidingen aangelegd. In Vlaanderen spreekt men van vezelcementleidingen. Bij de sterke uitbreiding van het drinkwaternet in de jaren '50 en '60 zijn veel AC leidingen aangelegd. Vanaf de jaren '70 neemt het gebruik af, mede door de opkomst van kunststof leidingmaterialen. Vanwege de gezondheidsrisico's van asbest mogen vanaf 1990 in Nederland geen nieuwe AC leidingen meer worden aangelegd en is de verwerking van reeds gelegde leidingen aan strenge regels gebonden. Ook in Vlaanderen worden leidingen van vezelcement vanaf de jaren 1980 niet meer toegepast.

Veroudering van leidingmateriaal bij AC vindt plaats door uitloging van het cement, dat fungeert als bindmiddel van de vezels. Kwaliteitsveranderingen van de vezels zijn tot op heden niet geconstateerd. De uitloging kan zowel aan de binnenzijde van de buiswand plaatsvinden (dit wordt versterkt bij een negatieve SI van het leidingwater) als aan de buitenzijde (dit wordt versterkt bij een lage pH van de bodem). In de rapportage Statistische storingsanalyse wordt gemeld dat AC leidingen ouder dan 40 jaar onder specifieke omstandigheden een grotere storingskans hebben (Vloerbergh en Blokker, 2007).

AC verbindingen bestaan uit twee spie-einden met een AC mof met rubberring verbinding. Mechanische problemen kunnen ontstaan bij een te grote hoekverdraaiing. Verder kunnen aantastingen van de rubber ringen aanleiding zijn voor lekkages. Met name bij de oudere natuurrubber verbindingsringen kan aantasting optreden.

Speciale leidingonderdelen als bochten en verloopstukken kunnen ook van AC zijn. Voor overige appendages als afsluiters en brandkranen werd gietijzer toegepast.

Bij aansluitingen kunnen de dienstkranen direct zijn aangeboord. Dit kan problemen opleveren bij verzwakking van het buismateriaal door uitloging. Wanneer een zadel is toegepast is het faalmechanisme van het zadel van belang.

Voor meer informatie wordt verwezen naar Mesman en Slaats (2004) en Slaats (1993).

3.3 Beton

Rond 1933 worden de eerste betonnen leidingen ontwikkeld, ook voor toepassing als drinkwaterleidingen. Betonnen leidingen worden onderverdeeld in:

- leidingen van gewapend beton met stalen kern
- betonnen leidingen met voorspanwapening (Prestressed Concrete Circular Pipe)

Voorgespannen betonnen buizen in grotere diameters (1000 tot 1800 mm) zijn vooral in de jaren 1950 tot 1980 toegepast.

Het wapeningsstaal in beton is in principe goed beschermd zolang de kwaliteit en dekking van het beton voldoende is. Bij betonbuizen kan afname van kwaliteit plaatsvinden door aantasting van het beton door uitloging. Verder kan er scheurvorming in het beton optreden als gevolg van Alkali-Silica-Reactie (ASR) en ettringietvorming. In beide gevallen vindt een volumetoename plaats wanneer producten in het beton

met water reageren. Beide processen zijn tot nu toe niet relevant voor het falen van betonleidingen. Van voorspanwapening is wel bekend dat bepaalde soorten voorspanstaal gevoelig kunnen zijn voor waterstofbrosheid. In een aantal gevallen is bij betonbuizen scheurgroei in de wapening opgetreden die leidt tot brosse breuk van het voorspanstaal.

Naast materiaalproblemen van de buisdelen kunnen ook de verbindingen problemen opleveren. Dit kan bij flexibele verbindingen door aantasting van rubber ringen, of door het overschrijden van de maximale bewegingsruimte. Dit geldt voor de verbindingen tussen de onderlinge betonbuizen maar ook voor de overgangsverbindingen tussen beton en andere leidingmaterialen.

Betonnen leidingen worden vooral toegepast in de grotere diameters, vanaf 400 mm. Dit betekent dat er in principe geen aansluitleidingen direct met de betonnen leidingdelen zijn gekoppeld. Specifieke bochtconstructies, zinkers en afsluiterconfiguraties worden meestal uitgevoerd in staal.

Voor meer informatie wordt verwezen naar Borsje (2002) en Elzenga (1991).

3.4 Grijs gietijzer

Grijs (lamellair) gietijzeren leidingsystemen zijn toegepast vanaf de start van de drinkwaterbedrijven in de 19^e eeuw tot het begin van de jaren 60 in de vorige eeuw. Gietijzer is een legering van ijzer, koolstof (2- 4,5%) en silicium (0,5- 3,5%). Door de lange periode van toepassing is er veel variatie in materiaalkwaliteit, maatvoering, coating en verbindingen.

Het leidingmateriaal kan bij afwezigheid van een beschermende coating door corrosie worden aangetast. De corrosie kan aan de binnenzijde van de buiswand plaatsvinden (dit wordt versterkt bij een corrosie index > 1 van het leidingwater) als aan de buitenzijde (dit wordt versterkt bij een hoog elektrisch geleidingsvermogen van de grond in vochtig milieu met een lage pH van het grondwater). Bij uitgenomen leidingen blijkt dat de mate van corrosie een zeer grote variatie vertoont, zowel tussen verschillende leidingdelen als binnen een leidingdeel. Na 1945 is er extra aandacht voor de bescherming van het materiaal tegen corrosie door het toepassen van koolteer of asfaltbitumen. Ook zijn leidingen soms in situ nog voorzien van een inwendige cementlining. Afgezien van de afname van materiaalkwaliteit levert heeft corrosie ook een negatieve invloed op de waterkwaliteit.

Door de lange periode van toepassen zijn er diverse verbindingstechnieken toegepast, te weten:

- Steekmof lood-striktouw
- Steekmof rubber-glij
- Bajonet/schroef
- Flensverbinding

Verbindingen kunnen problemen opleveren door aantasting van materialen (rubber ringen, striktouw) of door het overschrijden van de maximale bewegingsruimte. Dit is vooral een bekend probleem bij lood-striktouw verbindingen. Bij flensverbindingen kan corrosie van de bouten een probleem opleveren.

Leidingonderdelen zoals bochten, verlopen en T-stukken van gietijzer worden vaak toegepast in combinatie met andere leidingmaterialen. Verder is grijs gietijzer veel gebruikt voor leidingappendages zoals afsluiters en brandkranen. Tegenwoordig wordt hiervoor nodulair gietijzer toegepast.

Bij aansluitingen kunnen de dienstkranen direct zijn aangeboord. Dit kan problemen opleveren bij verzwakking van het buismateriaal door corrosie. Wanneer een zadel is toegepast is het faalmechanisme van het zadel van belang.

Dienstkranen voor aansluitingen kunnen direct zijn aangeboord wat problemen bij verzwakking van het buismateriaal kan geven.

Meer informatie is beschikbaar in Mesman en Slaats (2004) en Mesman (2001) en Corrosiecommissie II (1962).

3.5 Nodulair gietijzer

Vanaf de jaren 60 worden nodulair gietijzeren leidingsystemen toegepast. Door de betere materiaaleigenschappen, de toegepaste coating (zowel inwendig als uitwendig) en moderne verbindingstechnieken is er sprake van een gehele ander leidingsysteem in vergelijking met de oude grijs gietijzeren leidingen. Dit pleit voor een aparte benadering zoals eerder al is aangegeven (Vloerbergh, 2007). Aansluitingen worden met behulp van zadels aangebracht. Voor dit leidingsysteem zijn (nog) geen algemene kwaliteitsverminderingen van de toegepaste materialen bekend. Zoals eerder genoemd worden zowel in Nederland als in Vlaanderen vaak leidingonderdelen, zoals bochten, verlopen en T-stukken, en appendages als afsluiters en brandkranen van (nodulair) gietijzer toegepast in combinatie met andere leidingmaterialen.

3.6 Polyetheen (PE)

Polyetheen, of polyethyleen wordt gemaakt door polymerisatie van etheen. Rond 1950 worden de eerste aansluitleidingen van dit materiaal toegepast in de vorm van “zacht” PE. (‘tyleen’). Een verdergaande verbetering is de ontwikkeling van High Density Polyethyleen (HDPE) dat ook voor grotere leidingdiameters geschikt is. Verdere verbetering van de materiaaleigenschappen zijn bereikt met de materialen PE 80 en PE 100.

Bij oudere (aansluit)leidingen van PE kan het materiaal bros worden. Bij grondzettingen kan dan een brosse breuk optreden. Verder is PE temperatuurgevoelig wat bij niet-trekvast verbindingen problemen kan opleveren (krimpen en uitzetten materiaal). Leidingen van PE zijn permeabel voor veel organische stoffen, waardoor bij bodemverontreiniging de waterkwaliteit negatief kan worden beïnvloed. Ook heeft onderzoek aangetoond dat PE leidingen meer biofilm-bevorderend zijn dan andere leidingmaterialen.

Leidingdelen van PE worden meestal met een spiegellas met elkaar verbonden. Sporadisch komt het voor dat een las niet goed is uitgevoerd, meestal is er dan op het lasvlak toch een vervuiling aanwezig geweest. Voor de kleinere diameters (aansluitleidingen) worden specifieke koppelingen gebruikt van messing of kunststof.

In principe kan een netwerk inclusief speciale buisonderdelen en appendages geheel uit PE zijn opgebouwd. Vaak worden toch standaard appendages toegepast in verband met uniformiteit en kostenvoordeel.

Vanwege de minder positieve eigenschappen voor de waterkwaliteit wordt PE in Nederland niet op grote schaal toegepast voor distributieleidingen. Vanwege de goede verwerkbaarheid is PE wel het standaardmateriaal voor aansluitleidingen en voor bijzondere constructies zoals boringen en trekvast leidingconstructies.

Voor meer informatie wordt verwezen naar Vloerbergh (2007) en Mesman (2001).

3.7 Polyvinylchloride (PVC)

Polyvinylchloride (PVC) is een thermoplast dat ontstaat na polymerisatie van het monomeer chlooretheen (vinylchloride). Als leidingmateriaal voor drinkwaternetten wordt het vanaf 1960 grootschalig in Nederland toegepast. Door ontwikkelingen in het productieproces zijn er vooral in de periode 1970 tot 1976 soms kwalitatief mindere buizen geproduceerd. Ook komt het voor dat er verontreinigingen in het buismateriaal zitten die een initiatiepunt voor scheurvorming kunnen vormen. Vanaf eind jaren 70 komt het productieproces en de normering op voldoende niveau. In Vlaanderen kan de situatie verschillen, zo wordt bij Pidpa PVC als leidingmateriaal pas vanaf de jaren 1980 toegepast

Voor PVC buisdelen van een drinkwaternet geldt dat er bij toepassing in schone grond geen chemische of microbiologische processen spelen die gevolgen hebben voor de materiaalkwaliteit. Een goed geproduceerde buis blijft dus goed. Wel kunnen er in de buisdelen spanningen optreden die de materiaaleigenschappen op langere duur kunnen gaan beïnvloeden. Bodemverontreiniging kan het leidingmateriaal aantasten (verweking), naast het mogelijk negatief beïnvloeden van de waterkwaliteit.

Verbindingen die zijn of worden toegepast zijn:

- Mofverbindingen met rubber afdichtingsringen vormen zowel in Nederland als in Vlaanderen de standaardverbinding. Bij bochten en T-stukken kan deze verbinding trekvast zijn uitgevoerd. In Nederland veelal door speciale mof met opgelijmde borgring met snaar. In Vlaanderen zonder lijmverbinding maar met een mof met vergrendelring (push-fit) of extern klemsysteem
- Lijmverbindingen, toegepast in trekvast verbindingen maar soms ook bij oude, in het werk vervaardigde (opgetrompte), constructies. In Vlaanderen zijn lijmverbindingen zeer beperkt toegepast in het verleden.

Voor het PVC leidingsysteem zijn diverse appendages in PVC beschikbaar inclusief PVC afsluiters. Voor het maken van aansluitingen wordt in Nederland over het algemeen ook een PVC aanboorzadel toegepast, dit wijkt af van de situatie in Vlaanderen. Voor aansluitleidingen is ook PVC toegepast, zoals eerder vermeld is nu PE het standaardmateriaal voor aansluitleidingen.

Meer informatie over PVC leidingen is te vinden in Slaats e.a.(2003) en Mesman (2009)

3.8 Staal

Naast het leidingmateriaal gietijzer wordt in 1912 gestart met het toepassen van stalen leidingen voor de drinkwatervoorziening. Net als gietijzer is staal een legering van ijzer en koolstof, echter met een lager koolstofgehalte waardoor het materiaal warm goed te vervormen is. Hierdoor is het mogelijk meer flexibele buizen te produceren met kleinere wanddikte.

Het corrosieproces voor stalen leidingen is vergelijkbaar met gietijzer, maar de dunnere wanddikte beperkt de levensduur. Veel onderzoek is verricht naar het corrosieproces van stalen buizen en de bescherming met asfaltbitumen. Voor nieuwere stalen drinkwaterleidingen (vanaf 1985) geldt dat deze meestal inwendig zijn gecementeerd, uitwendig worden voorzien van een PE coating en het materiaal verder wordt geborgd door een kathodisch beschermingssysteem. Zwerfstromen kunnen lokaal voor problemen zorgen.

Qua verbindingen komen van oudsher nog lood-strikouwverbindingen voor en incidenteel mof spie verbinding met rubber ring. De nieuwere verbindingen zijn meestal gelast, appendages worden meestal met een flensverbinding in het stalen leidingsysteem gemonteerd.

Bij aanwezigheid van kathodische bescherming is het op juiste wijze isoleren van aansluitingen en andere appendages van belang, zowel voor het functioneren van het systeem als voor het voorkomen van ongewenste opofferingsprocessen.

3.9 Overige materialen

GVK

Met glasvezel versterkte kunststof (GVK) buizen worden incidenteel toegepast in het leidingnet. Het is een relatief nieuw materiaal waarbij door de wijze van wikkelen van de glasvezeldraden aan specifieke mechanische eisen kan worden voldaan. Als kunststof wordt een epoxyhars toegepast wat de Engelse benaming glass(fibre) reinforced epoxy (GRE) verklaart.

Voor dit leidingsysteem zijn (nog) geen algemene kwaliteitsverminderingen van de toegepaste materialen bekend. In specifieke omstandigheden is het incidenteel voorgekomen dat er materiaalproblemen ontstaan door microscheurtjes. Verder kunnen er in het veld verbindingstechnieken zoals lamineren onder onvoldoende geconditioneerde omstandigheden zijn toegepast.

Koper

Koperen leidingen komen vooral voor in het leidingnet als bijzonder leidingmateriaal in kleinere diameters, meestal als aansluitleiding. Vanaf 1935 worden koperen leidingen toegepast als vervanging voor lood als materiaal voor aansluitleidingen.

Door corrosie kan de materiaalkwaliteit afnemen. Qua verbindingen komen knel/klemverbindingen voor evenals soldeerverbindingen (hard/zacht). Daarnaast zijn veel appendages voor aansluitleidingen van een koperlegering gemaakt.

3.10 Randvoorwaarde 2: Beschikbare inspectietechnieken

Veel informatie over de bovengenoemde leidingmaterialen is via het bedrijfstakonderzoek verzameld en gedocumenteerd. Verschillende bedrijven hebben ook een specifieke bijdrage geleverd door het delen van ervaringen en bevindingen over faalgedrag en veroudering en het (laten) uitvoeren van specifiek onderzoek. Bij gebruik van deze kennis over faalgedrag en veroudering blijken de onzekerheden nog groot te zijn.

Bij leidingmaterialen met duidelijke verouderingsprocessen, zoals gietijzer en asbest cement, blijkt dat de voorspellende waarde toch vaak beperkt is. Naast de materiaalgerelateerde aantasting spelen specifieke omgevingsfactoren vaak nog een belangrijke en dubbele rol. Deze specifieke omgevingsfactoren kunnen een spreiding geven in zowel de mate van aantasting als in de specifieke belastingsomstandigheden.

Juist deze spreiding kan het inspecteren van de beschreven verouderingsprocessen voor sommige specifieke leidingen van gietijzer, staal en AC in combinatie met de verschillende liggingsomstandigheden noodzakelijk maken. Voor materialen als PVC en beton speelt bij het beschreven faalgedrag een combinatie van initiële materiaalkwaliteit in combinatie met de opgetreden belastingen een rol. Dit bemoeilijkt het ontwikkelen van een eenvoudige inspectietechniek. Voor materialen als PE en stalen leidingen met een goede in- en uitwendige bescherming tegen corrosie is een duidelijk verouderingsproces nog onvoldoende in beeld.

4 Inspectietechnieken

4.1 Algemeen

Het leidingsysteem voor de distributie van drinkwater bevindt zich onder de grond. Dit betekent dat na de aanleg geen visuele controle mogelijk is om inzicht te krijgen in de technische staat van het leidingsysteem. Waar dit inzicht toch gewenst is, kunnen inspectie- en conditiebepalingstechnieken behulpzaam zijn. Een belangrijke voorwaarde aan deze technieken is dat ze op een systematische, uniforme en toetsbare wijze informatie geven.

Onder inspectietechnieken verstaan we het uitvoeren van metingen van de toestand van de leiding, direct aan het leidingsysteem of via verkregen materiaalmonsters. Het analyseren, interpreteren en bewerken van deze meetgegevens en het relateren daarvan aan de benodigde normconditie, levert informatie op over de huidige conditie. Door de conditie uit te zetten in de tijd kan de te verwachten levensduur worden bepaald. De betrouwbaarheid hiervan zal toenemen bij meerdere conditiebepalingen gedurende het gebruik van de leiding.

Voor inspectietechnieken is een onderscheid te maken tussen destructieve technieken en niet-destructieve technieken. Destructieve technieken worden bijvoorbeeld toegepast op vrijkomende leidingdelen na reparatie bij lekkages of na reconstructies. Het uitboren van schulpen uit het buismateriaal kan hier ook onder vallen indien de leiding hiervoor moet worden verbroken.

Bij niet-destructieve technieken wordt de leidingconfiguratie niet aangetast. Ondergrondse leidingen moeten in bepaalde situaties wel geheel of gedeeltelijk worden opgegraven. Voor inwendige inspectie kan de leiding drukloos of leeg moeten worden gemaakt. Is het uitboren van een leidingschulp onder leveringsdruk en zonder onderbreking van de levering mogelijk dan is voor deze gevallen in feite ook sprake van niet-destructief onderzoek.

Bij het inspecteren speelt de variatie in de (actuele) toestand van het leidingmateriaal een rol. Dit bepaalt de representativiteit van de meting en daarmee de mogelijkheid voor het vertalen van de resultaten van de batchmetingen (of puntmetingen) naar grotere leidinglengtes met vergelijkbare eigenschappen. Uit verrichte materiaalonderzoeken op aparte monsters is gebleken dat er door materiaal- en omgevingsfactoren een grote variatie kan bestaan in de waargenomen conditie waardoor de vertaling naar de gehele leiding(groep) lastig is. Dit geldt met name voor grijs gietijzer waar uit onderzoek is gebleken dat voor een betrouwbare uitspraak over de aantasting van een leidingsectie tientallen tot honderden onderzoeksmonsters noodzakelijk kunnen zijn (Mesman en Slaats 2004).

Er is een verschuiving zichtbaar van de behoefte van waterbedrijven voor inspectietechnieken:

- van batch naar continu/integraal
- van destructief naar niet-destructief
- van opgraven naar in-line technieken

In Bijlage I wordt een overzicht gegeven van beschikbare inspectietechnieken. Dit overzicht is gebaseerd op een inventarisatie van inspectietechnieken uitgevoerd voor WERF (Marlow, 2007). In dit overzicht wordt onderscheid gemaakt tussen algemene en materiaalspecifieke onderzoeken, discrete of continue bepalingen, in de leiding of buitenaf, leidingspecifiek of voor het totale leidingsysteem.

In het overzicht komen ook "indirecte" inspectietechnieken voor. Deze registreren niet de toestand van de leiding maar afgeleide grootheden die inzicht kunnen geven in het functioneren van het totale leidingsysteem. Voorbeelden zijn storingsregistratie of de bepaling van het lekverlies. Voor deze laatste worden eventuele lekken als een kwaliteitsindicator gebruikt, te meten met bijvoorbeeld een akoestische inspectie of met druktesten. Hoewel deze technieken zeker waarde hebben, leveren ze geen algemene kennis op over de toestand en restlevensduur van de leidingelementen. Dit geldt ook voor technieken om de exacte ligging van leidingen te bepalen

4.2 Overzicht van in gebruik zijnde inspectietechnieken

In Hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van de materiaalopbouw en diameter van het leidingnet. En in Hoofdstuk 3 zijn per materiaal de faalmechanismen benoemd. Voor de veel voorkomende leidingmaterialen AC, gietijzer en PVC zijn voor de beschreven faalmechanismen inspectietechnieken beschreven die door de waterbedrijven worden toegepast.

Met de fenolftaleïne-test wordt bij AC leidingen bepaald welk deel van de buiswand niet is uitgelooft en dus nog de oorspronkelijke sterkte bezit. Dit is het deel met voldoende kalk en met een hoge pH (>8,3) waardoor het materiaal paars kleurt. De test wordt in het veld uitgevoerd op verse breukvlakken. De verkleuringen kunnen redelijk nauwkeurig worden gemeten en daarmee de eventuele inwendige en uitwendige aantasting. Als het gemeten uitlogingsproces zich gelijkmatig manifesteert, geeft dit een betere vertaling van puntmetingen naar een leidingsectie.

De toestand van gietijzeren leidingen wordt gemeten door een buisdeel of uitgenomen schulp te stralen om de corrosielagen te verwijderen. Hierna kan de corrosiediepte nauwkeurig worden gemeten. Eventueel kan uit buisdeel of schulp een proefstaafje worden gemaakt waarvan de treksterkte wordt bepaald. Door de geconstateerde grote spreiding in materiaalkwaliteit zijn de resultaten van toestandbepalingen slecht vertaalbaar naar een groter leidingdeel.

Voor PVC leidingen ligt de focus op onderzoek naar de materiaalkwaliteit bij het produceren van de buis. Door de mate van gelering te bepalen met de DCMT methode wordt meer inzicht verkregen. De bepalingmethode is genormeerd (NEN-EN 580) en dus reproduceerbaar, maar een eenduidige vertaling naar het faalgedrag is lastig. PVC onderzoeken zijn goed uit te voeren op buisdelen en dat brengt hoge kosten met zich mee. Om die reden worden ze voornamelijk uitgevoerd voor schade-inspectie, vaak gecombineerd met een breukvlakonderzoek en zijn ze minder toepasbaar om de algehele conditie van leidingen te bepalen. Verder onderzoek naar de faalmechanismen van PVC is nodig om de meetresultaten van inspecties te vertalen naar een toestandsbepaling. Een voorbeeld hiervan vormt de bepaling van weerstand tegen langzame scheurgroei (Mesman, 2009)

In Tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de beschreven conventionele en door waterbedrijven gebruikte inspectietechnieken voor de meest voorkomende materialen AC, gietijzer en PVC. Per materiaal is het faalmechanisme met inspectietechniek weergegeven, inclusief een kostenindicatie per meting. De betrouwbaarheid van de meting is weergegeven alsmede een indicatie voor het verkregen inzicht over de gehele leidingsectie.

Tabel 4: Conventionele inspectie en conditiebepalingstechnieken voor AC, gietijzer en PVC. Betrouwbaarheid meting, + = goed, ++ = zeer goed. Inzicht in gehele leidingsectie, - = slecht, 0 = matig, + = goed.

Materiaal	Faalmechanisme	Inspectietechniek	Kostenindicatie	Betrouwbaarheid meting	Inzicht in gehele leidingsectie
AC	Uitloging	Fenolftaleïne-test ²	€ 250,-	++	+ / 0
Gietijzer	Corrosie	Corrosiediepte-meting (schulponder-zoek) ³	€ 750,-	++	-
PVC	Productiekwaliteit	DCMT test (gelering) Breukvlakonderzoek	€ 1500,-	+	0

De kostenindicatie is exclusief buisuitname, deze onderzoeken worden meestal gecombineerd met werkzaamheden of reparaties. Afhankelijk van het aantal onderzoeken per jaar en de kosten voor analyse en databeheer liggen de kosten voor deze inspectietechnieken tussen de € 10,- en € 100,- per kilometer per jaar.

² Slaats P.G.G., Mesman G.A.M. (2004) Conditiebepaling asbestcement waterleidingen BTO 2003.039

³ Mesman G.A.M., Slaats P.G.G. (2004) Conditiebepaling gietijzeren waterleidingen BTO 2003.038

Bij veel leidingmaterialen vormen de verbindingen een apart onderdeel wat om een eigen inspectiemethodiek vraagt. Binnen het kader van het conditiebepalingsonderzoek binnen TTI-W wordt specifiek onderzoek gedaan naar verbindingen, faalmechanismen en mogelijke inspectietechnieken. Een aantal in Bijlage I genoemde technieken lijken ook geschikt voor onderzoek naar de kwaliteit van verbindingen, zoals lekdetectie, röntgenonderzoek en ultrasoon onderzoek.

Vrijwel alle waterbedrijven passen dit soort materiaalonderzoeken in meerdere of mindere mate toe. Er zijn tussen de bedrijven verschillen in de frequentie van toepassingen, deze zijn afhankelijk van de achterliggende onderzoeksvraag. Er zijn een viertal gradaties in inspectieonderzoek te onderscheiden:

- a. Incidenteel onderzoek gekoppeld aan schadegevallen of bijzondere gebeurtenissen.
Het doel is onderzoeken of de toestand van het leidingmateriaal voldeed aan de voor die situatie gestelde eisen.
- b. Structureel onderzoek van alle vrijkomende leidingdelen (lekkages en inbouwingen).
Hierbij wordt bij elke mogelijkheid die zich aandient informatie verkregen over specifieke leidingen. Deze informatie kan, in combinatie met de eventuele storingsgegevens, gebruikt worden voor (toekomstige) saneringsbeslissingen. Als er meerdere onderzoeksgegevens beschikbaar zijn, kunnen deze vertaald worden naar praktijkregels voor groepen leidingen.
- c. Structureel onderzoek bij saneringsbeslissingen.
In dit geval wordt van alle leidingen waarvoor een saneringsbeslissing genomen dient te worden de toestand met behulp van inspecties vastgelegd.
- d. Structureel onderzoek van het hele leidingnet.
De keuze voor dit scenario zal samenhangen met de behoefte om tot een algemeen beeld te komen van de kwaliteit van het leidingnet. Steekproefsgewijs zullen er inspecties worden uitgevoerd. Dit betekent veel graafwerk en verbrekingen van leidingen.

4.3 Innovatieve ontwikkelingen

Vanwege het nadeel van puntbepalingen bij conventionele inspectietechnieken, door de spreiding in materiaaleigenschappen en spreiding in aantasting, worden integrale metingen ontwikkeld die de toestand van de gehele leiding over een grotere lengte in beeld brengen. Daarbij is het van belang dat ze het faalgedrag zo goed mogelijk detecteren, het liefst inclusief verbindingen. Om een representatief beeld te krijgen van de toestand van het leidingnet, is het van belang om niet afhankelijk te zijn van optredende storingen of werken. Dat maakt dat inspectietechnieken bij voorkeur de integriteit van het leidingsysteem niet aantasten en in-line of zelf bovengronds zijn uit te voeren. Vanzelfsprekend moeten deze technieken robuust, betrouwbaar en tegen beperkte kosten inzetbaar zijn.

In dit kader is het begrip innovatie relatief. De beschreven innovatieve technieken worden vaak al lang toegepast in andere sectoren maar niet in de vorm en wijze die voor de drinkwatersector interessant is. Dit kan komen door zowel technische beperkingen als door het kostenaspect. Interessante inspectietechnieken die al gedeeltelijk voldoen aan de wensen van drinkwaterbedrijven zijn:

Inspectietechnieken met magnetische velden (Broad Band en Remote Field technieken).

De metingen vinden plaats met een meetsonde die bestaat uit een zendspoel en een ontvangspoel. Door de zendspoel wordt een wisselend magnetisch veld uitgezonden, dat via de leidingwand wordt opgevangen door een ontvangspoel. Het opgevangen signaal wordt beïnvloed door de aard van het leidingmateriaal. Met behulp van een goede signaalanalyse kan de meting worden vertaald naar een toestand van de leidingsectie. Deze inspectietechniek is alleen toepasbaar bij gietijzeren en stalen leidingen en bij kwaliteitsmetingen van de voorspanwapening in betonnen leidingen. Nadere informatie is te vinden in Trietsch (2006), Marlow (2007) en van Doornik (2004).

Inspectietechnieken op basis van ultrasoon geluid

Bij deze techniek wordt ultrasoon geluid (frequentie tussen 10 kHz en 800 MHz) door het leidingmateriaal gezonden. Op overgangen van materiaaleigenschappen wordt het geluid weerkaatst. Deze techniek is daarmee geschikt voor het bepalen van de (rest)wanddikte en het registreren van inwendige onregelmatigheden. De techniek is toepasbaar voor vrijwel alle leidingmaterialen. Er zijn concrete toepassingsmogelijkheden voor gietijzer, staal en AC. Hoewel bij PVC de wanddikte niet aan

verandering onderhevig is (zie Hoofdstuk 3), kunnen scheurvorming en vervorming van PVC wel worden vastgesteld. De toepasbaarheid van deze techniek voor verbindingen wordt momenteel onderzocht binnen het TTI-w project Verbindingen. Voor meer informatie wordt verwezen naar Mesman (2008) en van Doornik (2004).

Inspectietechniek op basis van georadar/grondradar

Bij georadartechnieken worden radargolven gebruikt om d.m.v. demping en reflecties inzicht te krijgen in de materiaaleigenschappen. Door toepassing vanaf het straatoppervlak kunnen objecten in de bodem worden geïdentificeerd waardoor ook de ligging van leidingen in x-y-z- coördinaten kan worden bepaald. Deze techniek ontwikkelt zich steeds verder, zodat hiermee ook beginnende lekkages kunnen worden getraceerd. Ook kan de gedetailleerde ligging van een leiding, in combinatie met overige ondergrondse objecten, indicaties geven over spanningen in de leiding, hoekverdraaiing bij verbindingen en dergelijke.

Radartechniek is ook toepasbaar om de effectieve wanddikte van AC leidingen te bepalen. Dit kan uitwendig gebeuren, waarbij de leiding moet worden opgegraven. Deze techniek is ook in-line toepasbaar voor inwendige diameter van 200 mm en groter. Voor verdere informatie wordt verwezen naar Mesman (2003) en van Doornik (2004).

Inspectietechniek op basis van röntgenonderzoek

Deze techniek wordt toegepast voor specifiek onderzoek naar onderdelen van leidingsystemen bijvoorbeeld lassen (in de vorm van röntgenonderzoek) en is in principe ook toepasbaar als integrale meettechniek. Echter door de noodzaak voor toegankelijkheid aan beide zijden van de leidingwand en de hoge eisen aan de veiligheids- en gezondheidsaspecten zijn kosteneffectieve toepassingen op middellange termijn niet te verwachten. Zie verder Marlow (2007) en van Doornik (2004).

5 Business cases inspectietechnieken

5.1 Aanleiding

In Hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van de toegepaste leidingmaterialen en diameters in het Nederlandse leidingnet. In dit hoofdstuk worden business cases uitgewerkt om een beeld te krijgen wat de financiële randvoorwaarden zijn voor toepassing van (innovatieve) inspectietechnieken voor drinkwaterleidingen. Door toepassing van een inspectietechniek wordt de onzekerheid over de toestand van de leiding verkleind en kan een beter gefundeerd beslissing worden genomen of uitstel van sanering gerechtvaardigd is. Een waterbedrijf zal zich dus kunnen afvragen hoeveel het verkleinen van de onzekerheid over de toestand waard is.

5.2 Opzet van business cases

De uitwerking van deze business cases vindt plaats met toenemende complexiteit. In eerste instantie wordt een eenvoudige netto contante waarde berekening gepresenteerd, die stap voor stap complexer wordt. Op basis van concrete situaties en daarop gebaseerde generieke parameters wordt berekend wat de financiële randvoorwaarden zijn voor toepassing van innovatieve inspectietechnieken.

Bij de uitwerking van de business cases worden de volgende uitgangspunten aangehouden:

1. Voor alle opgevoerde kosten wordt uitgegaan van het huidig kostenniveau (2010). Dit betekent dat er een netto-rentepercentage wordt aangehouden, waarin de inflatie niet is opgenomen. In de business cases is uitgegaan van een netto-rentepercentage van 3%. (= bruto rentepercentage - inflatiepercentage).
2. Er wordt uitgegaan van een vergelijking tussen een vervanging die momenteel plaatsvindt en een vervanging die over 20 jaar plaatsvindt. In sommige business cases wordt er van uitgegaan dat de huidige vervanging wordt uitgevoerd in een gecombineerd werk met andere ondergrondse infra en straatwerk (combi-werk). In alle gevallen wordt er van uitgegaan dat de toekomstige vervanging als solo-werk wordt uitgevoerd (zie Tabel 11).

Voor de presentatie van de opzet van de business cases wordt de vervanging uitgewerkt van een 300 mm AC leiding met een lengte van 1 km in landelijk gebied, zie paragraaf 5.3. Er wordt van uitgegaan dat de leiding goed bereikbaar is en dat er geen bestratingswerk noodzakelijk is. Het betreft hier een AC leiding die niet in combinatie met andere infrastructuur wordt vervangen. De nieuw te leggen leiding is PVC 315mm.

In paragraaf 5.4 worden de resultaten en de gevoeligheid van de invoerparameters besproken. De business case is verder uitgewerkt voor meerdere materialen en diameters, de financiële randvoorwaarden staan vermeld in paragraaf 5.5. De verschillende business cases zijn verder beschreven in Bijlage II.

5.3 Voorbeeld business case AC 300 mm in landelijk gebied

Stap 1: Vergelijking huidige kosten met contante gemaakte toekomstige kosten

De huidige saneringskosten (uitgaande van vervanging) voor een 300 mm AC leiding in het buitengebied zijn geschat op 250 €/m. De toekomstige kosten worden eveneens geschat op 250 €/m. In beide gevallen wordt uitgegaan van een solo-werk en uitvoering in goed toegankelijke grond. De contant gemaakte toekomstige kosten bedragen bij een rente percentage van 3% en een periode van uitstel van 20 jaar, 138 €/m. In deze berekening houdt dat in dat als de vervanging 20 jaar wordt uitgesteld, er 112 €/m wordt bespaard, zie ook Tabel 5.

Tabel 5. *Vergelijking huidige kosten met contant gemaakte toekomstige kosten voor saneren van een AC leiding 300 mm in landelijk gebied.*

Input		
Saneringskosten heden	250	€/m
Saneringskosten toekomst, uitvoering in solo	250	€/m
Berekening		
Contante kosten toekomstige sanering	138	€/m
Vershil	112	€/m

Stap 2: Kapitaliseren van kosten van leidingbreuken

Het verminderen van het aantal storingen is één van de belangrijkste redenen om een leiding te vervangen. Door aanleg van een nieuwe leiding zal de storingsfrequentie immers afnemen. Door de kosten van een storing in geld uit te drukken, kan dit effect in de business case worden meegenomen. De kosten van een storing kunnen puur financieel zijn, bijvoorbeeld de kosten van reparatie of schadeclaims van klanten. Het is echter ook mogelijk om indirecte kosten te kapitaliseren door bedragen toe te kennen aan specifieke breuken of een leveringsonderbreking.

Een kanttekening bij deze berekening is dat leidingen kort na aanleg een hogere storingsfrequentie kunnen hebben door aanlegfouten of door overbelasting tijdens het bouwproces. Dit aspect is in deze berekening niet meegenomen.

In dit voorbeeld is voor de te vervangen AC leiding een storingsfrequentie aangenomen van 0,15 st/km/jr en voor de nieuwe PVC leiding een storingsfrequentie van 0,02 st/km/jr. Het aantal storingen in de komende 20 jaar wordt berekend voor beide leidingmaterialen. Voor beide materialen wordt aangenomen dat de kosten van een storing 5000 € bedragen. Aangenomen wordt dat de storingen gelijkmatig over de periode van 20 jaar zijn verspreid, de kosten van breuken worden daarom uitgedrukt per km per jaar. Vervolgens worden deze jaarlijkse kosten contant gemaakt. Door het meenemen van de kosten van een leidingbreuk bedraagt het verschil tussen de huidige kosten en de contant gemaakte toekomstige kosten 102 €/m, zie Tabel 6.

Tabel 6. *Vergelijking huidige kosten met contant gemaakte toekomstige kosten, inclusief kosten van breuken voor saneren (300 mm AC leiding landelijk gebied).*

Input		
Saneringskosten heden	250	€/m
Saneringskosten toekomst, uitvoering in solo	250	€/m
Breukfrequentie oud	0,15	br/km/jr
Breukfrequentie nieuw	0,02	br/km/jr
Kosten breuk	5000	€
Berekening		
Contante toekomstige kosten	138	€/m
Geschat aantal breuken oude leiding in periode	3	br/periode
Geschat aantal breuken nieuwe leiding in periode	0,4	br/periode
Totale kosten van breuken oude leiding	15000	€/km
Totale kosten van breuken nieuwe leiding	2000	€/km
Kosten breuken van oude leiding	0,75	€/jr/m
Kosten breuken van nieuwe leiding	0,1	€/jr/m
Contante kosten breuk oud	11	€/m
Contante kosten breuk nieuw	1	€/m
Contante kosten bij saneren heden	251	€/m
Contante kosten toekomstige sanering	149	€/m
Verschil	102	€/m

Stap 3: Financiële ruimte voor inspectie

In de berekening gemaakt in stap 2 blijkt dat uitstel leidt tot een financieel voordeel. Het uitstellen van een vervanging zal echter bij voorkeur geschieden op basis van kennis over de huidige toestand van de leiding. Om de huidige toestand te bepalen wordt in deze business case de inzet van een innovatieve inspectietechniek getoetst. In Hoofdstuk 4 en Bijlage I wordt een overzicht gegeven van de op dit moment bestaande technieken. De keuze van een techniek wordt hier niet verder besproken.

De kosten voor het uitvoeren van een innovatieve inspectie van de leiding zijn in deze business case geschat op 5.000 € vaste eenmalige kosten en 30 €/m. Daarnaast zijn er kosten voor het maken van inbouwingen voor inspectieapparatuur. Deze zijn geschat op 10.000 €. Aangenomen wordt dat voor een lengte van 1000 m slechts één inbouwpunt nodig is. Verder worden er nog 2 €/m aangehouden voor het voorbereiden, begeleiden, achteraf schoonmaken en weer in bedrijf nemen van de leiding. De kosten van een inspectie komen overeen met de kosten die de firma Breivoll rekent voor inspectie met Akoestische Resonantie Techniek in gietijzeren leidingen⁴. De totale kosten van inspectie bedragen in dit voorbeeld 47 €/m (zie Tabel 7).

De kosten voor huidig vervangen en de contant gemaakte kosten van breuken voor de nieuwe leiding bedragen 251 €/m (zie Tabel 6) . De som van de contant gemaakte kosten van vervanging over 20 jaar, de contact gemaakte kosten van de breuken voor deze periode en de huidige kosten voor inspectie bedragen 197 €/m. In dit geval bedraagt het financieel voordeel van het later vervangen 55 €/m.

⁴ Informatie afkomstig van Ernst Kloosterman van Breivoll.

Tabel 7. *Vergelijking huidige kosten met contant gemaakte toekomstige kosten voor saneren, inclusief breuken en kosten inspectie (300 mm AC leiding landelijk gebied, 1000 meter).*

Input		
Vaste kosten inspectiebedrijf	5000	€
Kosten inspectiebedrijf per meter	30	€/m
Kosten inbouwingen	10000	€
Kosten waterbedrijf per meter	2	€/m
Berekening		
Totale kosten inspectie	47	€/m
Contante kosten breuk oud	11	€/m
Contante kosten breuk nieuw	1	€/m
Contante kosten bij saneren heden	251	€/m
Contante kosten toek. sanering, incl. inspectie	196	€/m
Verschil	55	€/m

Stap 4: Omslaan kosten van inspecties van leidingen met een slechte toestand

Het uitvoeren van een conditiebepaling kan aanleiding zijn tot uitstel van saneren. Het is echter ook mogelijk dat na inspectie blijkt dat een leiding in slechte toestand is en op korte termijn gesaneerd zal moeten worden. In dat geval zullen de kosten toenemen, want naast de kosten voor inspectie zijn investeringen nodig voor het saneren van de leiding. De inspectiekosten van leidingen met een slechte toestand horen daarom omgeslagen te worden over de inspectieprojecten van leidingen met een goede toestand en waar een uitstel van investeringen wel mogelijk is.

In dit voorbeeld wordt uitgegaan dat in 80% van alle inspecties de sanering uitgesteld kan worden, oftewel dat in 20% van de uitgevoerde inspecties alsnog tot sanering overgegaan dient te worden. Als de kosten worden meegenomen van de inspecties van leidingen die alsnog gesaneerd zullen worden, dan stijgen de kosten voor inspectie in dit geval van 47 €/m naar 59 €/m. Het financieel voordeel van uitstel van vervangen bedraagt dan 43 €/m, zie Tabel 8.

Tabel 8. *Vergelijking huidige kosten met contant gemaakte toekomstige kosten voor een saneren, inclusief breuken en kosten inspecties leidingen met een slechte toestand (300 mm AC leiding landelijk gebied).*

Input		
Mogelijkheid tot uitstel	80%	
Berekening		
Totale kosten inspectie	59	€/m
Contante kosten bij vervangen heden	251	€/m
Contante kosten toek. sanering, incl. inspectie	208	€/m
Verschil	43	€/m

Stap 5: Inspecties met fout negatief resultaat

In een aantal gevallen zal de inspectie uitwijzen dat de leiding in een goede staat is, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is. In dat geval wordt gesproken van een fout negatief resultaat (een negatieve inspectie betekent dat de test uitwijst dat de leiding in goede staat is). In deze business case wordt uitgegaan van een percentage fout negatieve conditievoorspellingen van 5%. In dat geval wordt aangenomen dat de sanering vervroegd moet plaatsvinden, namelijk na 10 jaar in plaats van na 20 jaar

(in tabel 8 aangegeven met t50%). Ook wordt ervan uitgegaan dat door het ongeplande karakter, deze sanering wordt uitgevoerd tegen hogere kosten, namelijk voor 300 €/m in plaats van 250 €/m. Als 5% van de lengte vervroegd wordt gesaneerd, zullen de contante kosten van toekomstige vervangingen 143 €/m bedragen (in plaats van 138 €/m). Worden hier de kosten van breuken en de kosten van inspectie bij opgeteld, dan bedragen de totale contante kosten bij uitgestelde sanering 213 €/m. Het financiële voordeel door van uitstel van sanering als gevolg van inspectie is in dit voorbeeld 38 €/m.

Tabel 9. *Vergelijking huidige kosten met contant gemaakte toekomstige kosten voor saneren, inclusief breuken, kosten inspectie met negatief resultaat en fout negatieve resultaten (300 mm AC leiding landelijk gebied).*

Input		
fout voorspelling (fout negatief)	5%	
Levensduurverkortung	50%	
Saneringskosten t50% solo	300	€/m
Berekening		
Lengte verkeerd geschatte conditie	50	m
Gecorrigeerde restlevensduur	10	jaar
Contante kosten verv t50%	223	€/m
Contante kosten saneren	143	€/m
Kosten inspectie, incl. correctie sanering	59	€/m
Contante kosten bij saneren heden	251	€/m
Contante kosten toek. sanering, incl. inspectie	213	€/m
Verschil	38	€/m

5.4 Bespreking resultaten en gevoeligheidsanalyse

Uit de in paragraaf 5.3 beschreven business case komt naar voren dat voor die specifieke situatie de totale kosten bij uitstel van vervanging met 20 jaar, gebaseerd op toepassing van een innovatieve conditiebepalingstechniek, 15% lager zijn dan wanneer direct wordt vervangen (213 €/m in plaats van 251 €/m).

Uit dit voorbeeld blijkt tevens dat een groot aantal aspecten van invloed is op het resultaat van de business case. Van de belangrijkste parameters in deze business case is de gevoeligheid bepaald. Voor deze gevoeligheidsanalyse is aangenomen dat wordt besloten tot uitstel van sanering als dit leidt tot een kostenvoordeel van 10%. Op basis van de in paragraaf 5.3 uitgevoerde business case worden individuele parameters dusdanig gewijzigd dat een kostenvoordeel van 10% wordt bereikt. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse zijn weergegeven in Tabel 10. De factor P_o/P_g geeft de mogelijke afwijking weer van de betreffende variabele ten opzichte van de oorspronkelijke waarde. Hoe meer deze factor afwijkt van 1, hoe ongevoeliger de parameter is in deze business case.

Uit deze analyse blijkt dat de parameters periode van uitstel, rente en de huidige en toekomstige kosten van aanleg een grote invloed hebben op het resultaat van de business case (marge $\pm 20\%$). Ook valt op dat inspectie rendabel is als 65% van de leidingen in goede staat zijn, waarbij dus uitstel van sanering mogelijk is. Andere parameters blijken minder kritisch, zoals de storingsfrequentie, de kosten van een storing, en de betrouwbaarheid van de inspectiemethode. Uit de grenswaarde van 0,3 voor de storingsfrequentie blijkt dat bij hoge storingsfrequenties (>1) eerder direct vervangen zal worden dan zal worden geïnspecteerd. De maximale overschrijding van de inspectiekosten bedraagt 35%. Anders gezegd, uit deze business case blijkt uitstel van sanering alleen lonend is als de kosten van inspectie lager zijn dan 41 €/m.

Tabel 10. Gevoeligheid van parameters in business case uitstel vervanging van leiding 300 mm AC in landelijk gebied. Hierbij wordt één parameter gewijzigd totdat uitstel leidt tot een kostenvoordeel van 10%.

Parameter	Oorspronkelijke waarde in business case (P_o)	Waarde bij 10% voordeel (P_g)	Eenheid	Factor (P_o/P_g)
Gewenste periode van uitstel van investeringen:	20	16,5	jaar	0,82
Netto rente	3%	2,52%		0,84
Saneringskosten heden	250	235	€/m	0,94
Saneringskosten toekomst, uitvoering in solo	250	276	€/m	1,10
Breukfrequentie oud	0,15	0,3	br/km/jr	2,23
Kosten breuk	5000	11990	€	2,40
Kosten inspectiebedrijf per meter	30	41,0	€/m	1,37
Inspectie leidt tot uitstel	80%	65%		0,81
Fout negatief resultaat	5%	21%		4,25

5.5 Overige cases

In paragraaf 5.3 is een uitwerking gegeven van een business case voor het vervangen van een 300 mm AC leiding in landelijk gebied. Gegeven de gestelde randvoorwaarden blijkt en als een minimaal kostenvoordeel wordt gehanteerd van 10%, de netto kosten voor inspectie hooguit € 41,- mogen bedragen (zie Tabel 10).

In Tabel 11 is een overzicht gegeven van business cases voor het vervangen van leidingen van diverse diameters, voor een uitwerking wordt verwezen naar Bijlage III. De kosten voor vervangen van alle te vervangen leidingmaterialen zijn gelijk gehouden. In Tabel 11 is in de kolom 'Kostenvoordeel bij uitstel' het kostenvoordeel aangegeven, waarbij het uitgangspunt is aangehouden dat de kosten voor inspectie (exclusief vaste kosten van het inspectiebedrijf en de kosten van het waterbedrijf) 30 €/m bedragen. In de kolom 'Max kosten inspectietechniek' is aangegeven wat per leidinggroep de maximale kosten per strekkende meter mogen zijn van inspectie, er van uitgaande dat pas tot uitstel wordt overgegaan als de contant gemaakte toekomstige kosten van saneren 10% lager zijn dan de huidige kosten van saneren. Uit deze business cases blijkt dat voor leidingen met een diameter van 100 mm, de kosten van inspectie dusdanig hoog zijn dat deze niet opwegen tegen het financiële voordeel van uitstel. Ook voor leidingen met een diameter van 200 mm zijn, op basis van de gehanteerde uitgangspunten, de kosten van inspectie relatief hoog in vergelijking tot het kostenvoordeel bij uitstel.

Tabel 11. Overzicht resultaten van verschillende business cases.

Invoergegevens					Kostenvoordeel bij uitstel, bij kosten inspectie van 30 €/m	Max. kosten inspectietechniek
Leiding-materiaal	Diam.	Ligging	Huidige kosten vervanging	Toek. kosten vervanging		
AC/GGIJ/PVC	500	Landelijk	Solo: 450 €/m	Solo: 450 €/m	137 €/m	103 €/m
AC/GGIJ/PVC	300	Landelijk	Solo: 250 €/m	Solo: 250 €/m	38 €/m	41 €/m
AC/GGIJ/PVC	300	Stedelijk	Combi: 450 €/m	Solo: 500 €/m	90 €/m	66 €/m
AC/GGIJ/PVC	200	Stedelijk	Combi: 250 €/m	Solo: 300 €/m	21 €/m	27 €/m
AC/GGIJ/PVC	100	Stedelijk	Combi: 120 €/m	Solo: 150 €/m	-17 €/m	7 €/m

5.6 Business case en onzekerheden

Het resultaat van de hier uitgewerkte business cases kent een groot aantal onzekerheden. Met name wanneer verder in de toekomst wordt gekeken zijn deze onzekerheden groot. In deze paragraaf wordt het voorbeeld uit paragraaf 5.3 verder uitgewerkt waarbij van elke invoerparameter vijf mogelijke waarden worden aangegeven. Hoe meer onzekerheid over de invoerparameter, hoe groter de spreiding

die kan worden aangehouden. Deze rekenwijze houdt in dat voor een berekening met twee parameters 25 mogelijke resultaten zijn (5*5). Indien er drie parameters zijn, bedraagt het aantal mogelijke resultaten 125 (5*5*5). Door van deze reeks van resultaten de 10%, 30%, 50%, 70% en 90% percentielwaarden uit te rekenen, worden weer vijf waarden verkregen voor een volgende rekenstap. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 5.

			P10	P30	P50	P70	P90
A	Vervangingskosten heden	250 €/m	220	235	250	265	280
B	Vervangingskosten toekomst	250 €/m	200	235	250	275	320
C	Toekomstige kosten contant 3% rente en 20 jaar		111	130	138	152	177
Matrix A-C							
			220	235	250	265	280
	111		109	124	139	154	169
	130		90	105	120	135	150
	138		82	97	112	127	142
	152		68	83	98	113	128
	177		43	58	73	88	103
Percentielwaarden uit matrix							
			P10	P30	P50	P70	P90
			70	91	109	126	147

Figuur 5. Rekenvoorbeeld voor bepalen het resultaat uit 5*5 mogelijkheden.

In Tabel 12 zijn voor de voornaamste invoerparameters vijf mogelijke waarden gegeven en is als resultaat het kostenvoordeel bij uitstel van 20 jaar weergegeven. Voor een nadere uitwerking van deze berekening wordt verwezen naar Bijlage III. Uit deze berekening blijkt dat door de grote onzekerheid van de waarden van de verschillende invoerparameters, met name de toekomstige vervangingskosten, het resultaat van uitstel kan variëren van een klein kostennadeel (-5 €/m) tot een aanzienlijk kostenvoordeel (75 €/m). Deze range is gebaseerd op een onderschrijdingskans van respectievelijk 10% en 90%.

Tabel 12. Business case waarin onzekerheid is van de invoerparameters (P10, P30, P50, P70 en P90) wordt beschouwd. Dit resulteert in vijf mogelijk resultaten.

Business case: Toepassing van conditiebepalingstechnieken							
AC 300 mm landelijk			P10	P30	P50	P70	P90
Stap 1: Kostenvergelijking heden en toekomst solo							
	Vervangingskosten heden		220	235	250	265	280 €/m
	Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo		200	235	250	275	320 €/m
	Verschil		70	91	109	126	147 €/m
Stap 2: Kapitaliseren van kosten van leidingbreuken							
	Breukfrequentie oud		0,08	0,12	0,15	0,22	0,3 br/km/jr
	Breukfrequentie nieuw		0,015	0,018	0,02	0,023	0,025 br/km/jr
	Kosten breuk		2000	3500	5000	7000	10000 €
	Verschil		59	80	97	112	135 €/m
Stap 3: Inclusief kosten voor inspectie							
	Totale kosten inspectie		30	40	47	52	60 €/m
	Verschil		12	35	50	66	89 €/m
Stap 4: Inclusief kosten inspectie met neg. resultaat							
	Vervangingsnoodzaak		30%	25%	20%	15%	10%
	Verschil		1	23	39	55	78 €/m
Stap 5: Inclusief fout negatieve resultaten							
	gem. fout voorspelling (fout negatief)		0%	3%	5%	7%	10%
	Vervangingskosten t50% solo		250	285	300	325	370 €/m
	Verschil		-5	20	35	52	75 €/m

5.7 Randvoorwaarde 3: Maximale kosten voor inspectie

Met de uitgewerkte cases zijn de financiële randvoorwaarden voor het toepassen van inspectietechnieken in beeld gebracht. Voor een aantal situaties is bepaald wat de maximum kosten mogen zijn van innovatieve inspectietechnieken (zie Tabel 11). Met name voor de kleinere diameters (200 en kleiner) geldt dat de kosten van de inspectietechniek in veel gevallen hoger zijn dan het kostenvoorstel bij uitstel. Uit Tabel 2 blijkt dat voor circa 85% van het leidingnet de huidige innovatieve inspectietechnieken niet rendabel zijn.

Uit het uitgewerkte voorbeeld van een 300 mm AC, blijkt dat uitstel van vervangen met 20 jaar een kostenvoordeel oplevert van 102 €/m. Hierbij heeft men dan geen zekerheid of de toestand van de leiding dit uitstel rechtvaardigt. Door toepassing van een innovatieve inspectietechniek krijgt men meer zekerheid over de toestand van de leiding, dit zal echter leiden tot een kostenvoordeel bij uitstel van 38 €/m. Het verschil van 64 €/m kan in dit geval gezien worden als het bedrag dat moet worden toegekend aan het vergroten van de zekerheid en het verminderen van de kans op breuken.

Globaal geldt dat voor het bereiken van een kostenvoordeel, de maximale kosten voor inspectie per meter 10% tot 25% van de vervangingskosten per meter mogen bedragen. De invoerparameters die de meeste invloed hebben op het resultaat van de business case zijn de maximaal verkregen restlevensduur, de huidige en toekomstige kosten van saneren, de netto rente en het aandeel leidingen waarbij na inspectie blijkt dat uitstel van sanering niet mogelijk is.

6 Praktijkvoorbeeld interpretatie van inspectieresultaten

6.1 Algemeen

Voor de conditiebepaling van leidingen worden vaak vrijkomende buisstukken geïnspecteerd. Voor gietijzer, asbestcement en PVC leidingen zijn hiervoor inspectietechnieken beschikbaar die aansluiten bij optredende faalmechanismen zoals genoemd in Hoofdstuk 3. De meest toegepaste inspectietechnieken geven een puntmeting en worden toegepast op leidingen die vrijkomen, meestal zijn dit leidingen waar zich een breuk heeft voorgedaan. In sommige gevallen kunnen echter ook actief buisdelen worden opgegraven. In Hoofdstuk 4 zijn de verschillende mogelijkheden voor het toepassen van deze inspectietechnieken beschreven.

Het vertalen van deze individuele metingen naar kennisregels voor groepen leidingen geeft inzicht in de kwaliteit van het leidingnet. Met als doel na te gaan of deze vertaling mogelijk is, worden in dit hoofdstuk 65 inspecties van AC leidingen met fenolftaleïne-testen geanalyseerd. In onderstaande paragrafen wordt een samenvatting en interpretatie van dit onderzoek gegeven. Voor een meer uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar Bijlage IV.

6.2 Samenvatting onderzoek WML

WML verzamelt uitlogingsgegevens van AC leidingen; vanaf 2006 wordt in principe bij elke opgegraven AC leiding een fenolftaleïne-test uitgevoerd om daarmee de mate van uitloging kwantitatief vast te stellen.

De door WML beschikbaar gestelde inspectiegegevens van 65 locaties zijn in eerste instantie getoetst op hun volledigheid. Om de resultaten van de fenolftaleïne-testen goed te kunnen gebruiken voor voorspelling van de levensduur van AC leidingen, zijn gegevens zoals jaar van aanleg van de buis en de aard en oorzaak van storing van de leiding cruciaal. Ook locatiegegevens met specifieke omgevingsfactoren als grondsoort en ligging en het grondwater zijn van belang. In een aantal gevallen bleek dat er onvoldoende gegevens waren ingevuld, zoals het huisnummer (locatie) en omgevingsfactoren als de grondsoort en de ligging in het grondwater. Door het naast elkaar leggen van diverse leiding- en storingsdatabestanden en gebruik van GIS is getracht alsnog de benodigde informatie te verzamelen. Voor ongeveer de helft van de metingen is dat gelukt.

Via beschrijvende statistiek is onderzocht of er relaties zijn tussen de inspectieresultaten en de bijbehorende gegevens van leidingen en hun omgeving. De volgende conclusies zijn te trekken:

- Uitwendige uitloging treedt vooral op bij de kleinere diameter AC buizen, van 50 tot 150 mm.
- De inwendige uitloging was het grootst bij AC buizen met een diameter tussen 200 en 300 mm; er is geen relatie gezocht met de drinkwaterkwaliteit (SI) in de buizen.
- Van de onderzochte AC buizen is binnen één diameterklasse een grote variatie zichtbaar van de gemeten effectieve wanddikte, hierdoor is het niet mogelijk een voorspelling te geven van de levensduur van groepen leidingen.
- De gemiddelde som van in- en uitwendige uitloging als percentage van de wanddikte lijkt geen verband te hebben met de diameterklasse, voor de leidingdiameters tussen de 100 en 300 mm bedraagt de totale uitloging 25 – 30% van de oorspronkelijke wanddikte.
- Er is geen relatie zichtbaar tussen de uitwendige uitloging en de bodemsoort en/of de grondwaterstand.
- Op basis van een lineair verband, met een uitloging van 0% voor nieuwe buizen, bedraagt voor AC buizen van 50 jaar oud de gemiddelde uitloging (inwendig plus uitwendig) circa 35% van de oorspronkelijke wanddikte bij aanleg. De significantie van deze relatie is echter zeer beperkt ($R^2 = 0,03$).

Bij de beoordeling van conditie van de AC leidingen zijn de benodigde sterkte en veiligheid van belang. Met behulp van een methode om minimaal benodigde effectieve wanddikte te berekenen (zie Slaats en

Mesman, 2004) op basis van de specifieke belastingsituaties, is nagegaan wat de theoretische maximale uitloging mag zijn. Voor een typische situatie voor WML (ligging in zand, gronddekking 1 m, Verkeersklasse 30 en inwendige waterdruk van 0,9 MPa), mag de maximale uitloging (som van inwendig en uitwendig) variëren van 54% voor een 80 mm leiding tot 38% voor een 200 mm leiding.

Algemene conclusies en aanbevelingen:

- De fenolftaleïne-test bevestigt eerder onderzoek, het is een eenvoudige methode om inzicht te krijgen in de mate van uitloging van AC leidingen. De test is snel en relatief goedkoop en geeft direct informatie over de toestand van de leiding.
- Om over de mate en snelheid van uitloging voor specifieke omstandigheden een statistisch betrouwbare uitspraak te doen, is een groot aantal monsters nodig, met een goede verdeling over het te beschouwen leidingcohort.
- Belangrijk is dat de resultaten van de fenolftaleïne-testen gerelateerd worden aan de leidinggegevens, aard en oorzaak van een eventuele storing en de situatie rondom de leiding.
- Het advies aan WML en andere waterleidingbedrijven is om bij de registratie en toekomstige analyse van resultaten van fenolftaleïne-testen aan te sluiten bij U-STORE.
- Om de monteurs gemotiveerd te houden om de testen uit te voeren, is terugkoppeling van resultaten gewenst.

6.3 Vertaling individueel leidingonderzoek naar leidinggroepen

Voor een individuele beoordeling van een leidingsectie geeft fenolftaleïne-onderzoek een goed inzicht in de mate van aantasting, zowel inwendig als uitwendig. De uitkomst is gerelateerd aan de specifieke inspectielocaties. Het vertalen van het onderzoeksresultaat naar de gehele leidingsectie is dan de vervolggopgave.

Bij de interpretatie van de resultaten speelt de beschikbare kennis over het buismateriaal een belangrijke rol. Significante kwaliteitsverschillen tussen buisdelen zal de interpretatie van de inspectieresultaten bemoeilijken. Ook is het van belang om de oorspronkelijke wanddikte goed vast te stellen en te relateren aan de vigerende normen en toegepaste drukklasse. Dit kan voor oudere leidingen lastig zijn, maar kan mogelijk wel verklaren waarom er weinig inspectiegegevens zijn voor AC leidingen met een kleine diameter.

Onderzoeksresultaten per leidingsectie bieden de mogelijkheid om kennisregels te destilleren voor grotere leidinggroepen. Hiervoor moeten de individuele relaties worden verlegd naar leidinggroepen met hetzelfde conditieverloop, bijvoorbeeld door gelijke productiebatch, leeftijd en liggingomstandigheden. Uitloging is een tijdsgebonden proces en de factoren die dit bevorderen zijn bekend. Om een aantal redenen blijkt het echter niet eenvoudig te zijn om de inspectieresultaten eenduidig te beschrijven, getuige ook de grote spreiding van de inspectieresultaten bij WML.

Mogelijke aandachtspunten om inspectieresultaten van fenolftaleïne-testen beter te vertalen naar algemene uitspraken voor groepen leidingen zijn:

- Zijn alle tests uitgevoerd op leidingdelen die bij storingen zijn vrijgekomen en zo ja waren deze storingen “spontaan” of kunnen ze door graafschade zijn veroorzaakt?
- Zijn de onderzochte leidingdelen gedurende de levensloop doorstroomd met een vergelijkbare waterkwaliteit (vooral de SI waarde is van belang) of zijn er in het beschouwde gebied verschillende waterkwaliteiten met wisselende SI-waarden gedistribueerd?
- Zijn er significante verschillen in de stromingscondities van de verschillende leidingen die het uitlogingsproces kunnen beïnvloeden (veranderingen in de waterkwaliteit tijdens distributie)?
- Spelen er verschillende bodemfactoren een rol (lage pH, kalkarme grond versus hoge pH en kalkrijke grond)?
- Zijn er verschillen in de uitwendige coating bij de onderzochte leidingdelen?
- Liggen sommige onderzochte leidingdelen in verbeterde grond (zandbed)?
- Is er informatie over de fabricage en aanleg van de leidingen die de toestand kunnen beïnvloeden?

Het is duidelijk dat een betere beschrijving van de inspecties het opstellen van kennisregels zal vergroten. Daar staat echter een behoorlijke inspanning tegenover. Ook geldt dat als er nagedacht moet worden over de mate van differentiatie van leidinggroepen. Hoe groter de groepen, hoe meer data, maar ook hoe minder specifiek de kennisregel. Voor een verdere differentiatie is echter meer data nodig.

Relaties met de overige bouwstenen voor een goed leidingnetbeheer worden ook zichtbaar. Denk aan storingsregistratie, van belang voor de achtergrondinformatie bij specifieke onderzoeken maar ook voor het uitwisselen van data om over voldoende gegevens te beschikken bij gedifferentieerde leidinggroepen. Voor veel processen is ook inzicht in de stromingscondities van belang. Dit vraagt om goede hydraulische modellen met correcte verbruiksvoorspellingen. Verder kunnen met behulp van specifieke geo-informatie betere analyses worden uitgevoerd door combinatie van conditiebepalingsdata met leidinggegevens en omgevingsfactoren.

6.4 Randvoorwaarde 4: Interpretatie van resultaten inspectie

Het onderzoeken van beschikbaar komende buismonsters wordt gedaan om een inschatting te maken van de kwaliteit op deze specifieke locatie. Wanneer de inspectieresultaten gebruikt gaan worden voor een goede beginschatting van de verwachte toestand voor leidinggroepen ten behoeve van continue inspectie dan zijn randvoorwaarden noodzakelijk voor het interpreteren van de resultaten. Op basis van het praktijkvoorbeeld van WML kan dit vertaald worden naar een aantal randvoorwaarden voor de toe te passen inspectietechniek.

- Technische gegevens van de leidinggroep
Van de te beschouwen leidinggroep moeten zoveel mogelijk aanvullende technische gegevens bekend zijn die een relatie hebben met het te onderzoeken faalmechanisme. Zo is voor tijdsgebonden processen de leidingleeftijd van belang en mogelijk de wanddikte. Om historische data van groot belang is, is het belangrijk kennislaten te benoemen zodat hieraan extra aandacht kan worden gegeven.
- Faalmechanisme en -factoren
Bij het te beschouwen faalmechanisme moeten vooraf ook de parameters worden benoemd die in dit proces een rol spelen. Dit zijn bodemgegevens zijn en grondwaterinformatie voor uitwendige aantastingsprocessen en waterkwaliteit en stromingscondities gedurende de hele levensduur voor inwendige aantastingsprocessen. De toegepaste inspectietechniek moet beide processen gescheiden kunnen vaststellen. Tenslotte spelen de belastingcondities een rol, zoals inwendig (waterdruk, drukvariaties en spatkrachten) als uitwendig (belasting door bodemdruk, verkeer of objecten als funderingen, ophogingen en dergelijke).

Wil een inspectietechniek effectief gebruikt kunnen worden voor uitspraken over leidinggroepen dan is het noodzakelijk om deze in te bedden in een coherent beheer met duidelijke vraagstellingen, normwaarden en datavoorziening. Daarnaast is een verantwoorde statistische analyse noodzakelijk om de significantie van inspectieresultaten voor groepen leidingen te kunnen beoordelen.

7 Scenario's inspectietechnieken en saneringsondersteuningsmodellen

7.1 Algemeen

In Hoofdstuk 4 en 5 zijn de technieken en kaders in beeld gebracht voor het inzetten van inspectietechnieken bij het maken van individuele saneringsbeslissingen per leiding. In Hoofdstuk 6 is de vertaling van inspectiegegevens naar een saneringsondersteuningsmodel aan de hand van een praktijkvoorbeeld besproken. In dit hoofdstuk worden mogelijkheden voor het beheer van het leidingnet uitgewerkt en de rol die inspectietechnieken en saneringsondersteuningsmodellen hierbij kunnen spelen. Hiervoor zijn vier scenario's voor beheer opgesteld, waarvan de kosten en de prestaties onderling worden vergeleken. De scenario's zijn:

Scenario 1: Volledig storingsafhankelijk onderhoud.

Scenario 2: Toepassen van inspectietechnieken voor het hele leidingnet.

Scenario 3: Toepassen van een saneringsondersteuningsmodel voor het hele leidingnet.

Scenario 4: Combinatie van een saneringsondersteuningsmodel en inspectietechnieken.

In de analyse van de scenario's wordt er van uitgegaan dat de inspectietechnieken en het model beschikbaar en toepasbaar zijn voor alle beschouwde leidingen. Voor een beschrijving van inspectietechnieken wordt verwezen naar Hoofdstuk 4. In paragraaf 7.2 wordt een korte toelichting gegeven van modellen voor het ondersteunen van saneringsbeslissingen. De wijze van analyseren wordt toegelicht in paragraaf 7.3. In paragraaf 7.4 worden de rekenresultaten van de analyse gepresenteerd en in paragraaf 7.5 wordt de gevoeligheid van de invoerparameters nader bekeken.

7.2 Modellen voor de watersector

Binnen het BTO zijn in eerdere studies verschillende modellen voor het ondersteunen van saneringsbeslissingen beschreven, zie onder andere Kivit en Blokker (2006). Relevante modellen in dit kader zijn: CARE-W, Kennissysteem levensduurbepaling (Trietsch, 2004), LCC AM/QM en PARMS. Recent is een pilotstudy afgerond voor de implementatie van CARE-W bij Dunea (Beuken, 2010-a).

Een aantal modellen bevatten een indeling in groepen om daarmee een voorspelling te geven van een lange termijn visie voor het leidingnet. Bij een verdere detaillering op individueel niveau worden de inspanningen op korte termijn (1 – 5 jaar) in beeld gebracht. Op dit niveau kunnen ook voordelen worden gevonden in het meegaan met activiteiten van derden.

Uit de ervaringen blijkt dat deze modellen de globale data voor groepen leidingen kunnen combineren met financiële waarden en inzichtelijk kunnen tonen. Voor de specifieke korte termijn toepassingen wordt gebruik gemaakt van storingsdata. Gezien het relatief laag aantal storingen bij BTO-bedrijven is het niet duidelijk in hoeverre deze modellen goed inpasbaar zijn. Gezien het vele onderzoek dat op dit moment, mede binnen BTO verband, plaatsvindt naar geschikte voorspellingsmodellen, mag worden aangenomen een geschikte toepassing beschikbaar zal komen.

Gegevens over storingen en leidingconditie kunnen in combinatie met bedrijfsspecifieke criteria zoals risicobeleid, klachten, storingen, onderhoudsinspanning en financiële aspecten resulteren in kandidaten voor sanering.

7.3 Scenario-analyse

Voor de analyse van de scenario's is een rekenmodel opgesteld in een spreadsheet. Als basis dient een bepaalde groep leidingen met een bekende actuele storingsfrequentie.

Op deze groep leidingen kan een inspectietechniek worden toegepast (scenario 2). Aangenomen wordt dat leidingen die aanleiding (gaan) geven voor lekkages, leidingen zijn die bij een theoretische, 100% betrouwbare inspectie, altijd worden gesignaleerd en worden vervangen. Wanneer de toegepaste

inspectietechniek niet 100% betrouwbaar is worden niet alle leidingen met een onvoldoende kwaliteit gevonden (fout negatief). Ook bestaat de mogelijkheid dat nog goede leidingen worden aangemerkt als onvoldoende (fout positief).

Voor het gebruik van een saneringsondersteuningsmodel geldt een vergelijkbare aanpak (scenario 3). Dit kan op de groep leidingen worden toegepast waarbij de uitkomst weer afhankelijk is van de betrouwbaarheid van het model. Met een niet 100% betrouwbaar model zullen nooit alle leidingen met een onvoldoende kwaliteit worden gesignaleerd en zullen leidingen met een nog voldoende kwaliteit worden aangemerkt om te worden vervangen

Tenslotte worden de resultaten bepaald van een gecombineerde aanpak, waarbij gestart wordt vanuit een saneringsmodel en waarna de uitkomst wordt geverifieerd door een inspectie (scenario 4).

het spreadsheet maakt gebruik van de volgende invoerparameters:

- Lengte van het betrokken leidingnet onderverdeeld in leidingsecties
- Aantal storingen of storingsfrequentie
- Kosten per storing
- Kosten vervangen per eenheid (meter of sectie)
- Kosten inspectie per eenheid (meter of sectie)
- Kosten saneringsondersteuningsmodel per eenheid (meter of sectie)
- Nauwkeurigheid inspectietechniek fout negatief (% ten onrechte niet geïdentificeerd)
- Nauwkeurigheid inspectietechniek fout positief (% ten onrechte wel geïdentificeerd)
- Nauwkeurigheid model fout negatief (% ten onrechte niet geïdentificeerd)
- Nauwkeurigheid model fout positief (% ten onrechte wel geïdentificeerd)

7.4 Scenarioanalyse van de AC leidingen

De scenarioanalyse vindt plaats op het gehele bestand van AC leidingen van de BTO-bedrijven en heeft een totale lengte van 47.500 km. Er wordt uitgegaan van een gemiddelde diameter van 150 mm. Voor de gehele populatie bedraagt de gemiddelde storingsfrequentie 0,1 storing per km per jaar. Voor de scenarioanalyse is het totale bestand verdeeld in 475.000 secties met 100 m lengte waarvan 1% van onvoldoende kwaliteit.

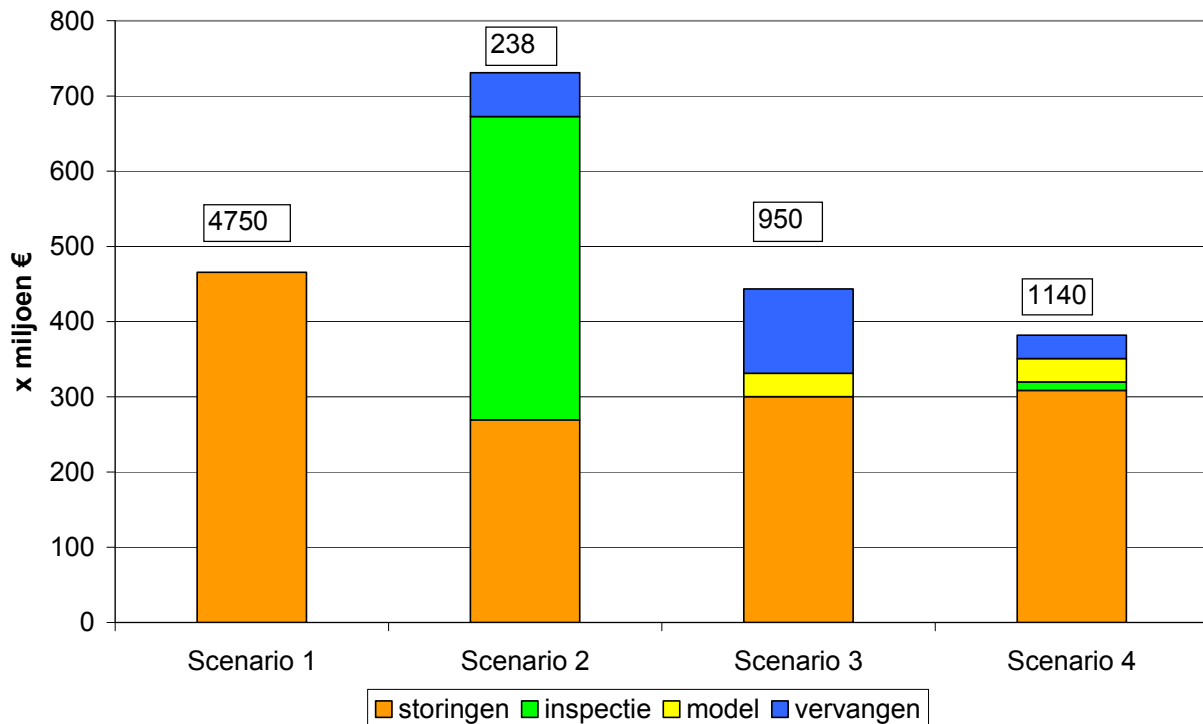
Invoerparameters:

Aantal leidingsecties (100 m)	475.000
Aantal storingen	4750
Gemiddelde kosten per storing:	€ 5000,-
Vervangingskosten :	€ 130,- /m

Inspectie uitloging d.m.v. georadar:	€ 12,-/m
Inspectie verbindingen d.m.v. lekzoeken:	€ 1,-/m
Nauwkeurigheid inspectie negatief	5% ten onrechte niet geïdentificeerd
Nauwkeurigheid inspectie positief	0,5% ten onrechte wel geïdentificeerd

Kosten data en saneringsmodel:	€ 1,- /m
Nauwkeurigheid model negatief	20% ten onrechte niet geïdentificeerd
Nauwkeurigheid model positief	2% ten onrechte wel geïdentificeerd

Gezien de benodigde inspanningen voor het inspecteren en vervangen wordt een investeringsperiode van 30 jaar aangehouden, waarin wordt aangenomen dat alle geplande vervangingen worden uitgevoerd. Voor goede vergelijking zijn de kosten voor de scenario's contant gemaakt, waarbij een netto rente is aangehouden van 3%. De berekende kosten van de vier scenario's zijn weergegeven in *Figuur 6*.



Figuur 6: Kosten (NCW) voor de 4 scenario's op basis van de genoemde invoerparameters. Boven de balk is voor elk scenario het aantal storingen per jaar gegeven na 30 jaar als alle geplande saneringen zijn uitgevoerd.

Uit deze scenarioanalyse blijkt dat storingsafhankelijk onderhoud (scenario 1) leidt tot lagere beheerkosten dan scenario 2. Scenario 1 levert echter wel het hoogste aantal storingen per jaar op, namelijk 4750.

Het inspecteren van het gehele AC leidingenbestand (scenario 2) vraagt de grootste financiële inspanning, met name door de hoge inspectiekosten. Het resultaat is wel een verwachte afname van het aantal storingen, na afronding van het programma in 30 jaar, tot 238 (5% van scenario 1). Deze afname wordt gerealiseerd doordat in dit scenario het grootste aandeel (95%) slechte leidingen wordt vervangen. De resterende storingen komen omdat de inspecties in 5% van de gevallen een slechte leidingsectie toch als goed beoordeelt (fout negatief). In totaal worden 6.863 leidingsecties vervangen, 95% van de potentieel slechte leidingsecties maar ook 0,5% van de potentieel goede leidingsecties (fout positief). Dit levert een vervangingseffectiviteit op van 66%. (4512/6863).

Scenario 3 kent geen kosten van inspecteren, maar wel modelkosten. Het resultaat van dit scenario is een verwachte afname van het aantal storingen, na afronding van het programma in 30 jaar, tot 950 (20% van scenario 1). Deze afname wordt gerealiseerd doordat in dit scenario 80% van de slechte leidingen wordt vervangen. De resterende storingen komen omdat het saneringsondersteuningsmodel in 20% van de gevallen een slechte leidingsectie toch als goed beoordeelt (fout negatief). In totaal worden 13.205 leidingsecties vervangen, 80% van de potentieel slechte leidingsecties maar ook 2% van de potentieel goede leidingsecties (fout positief). Dit levert een vervangingseffectiviteit op van slechts 29%. (3800/13205).

Als combinatie biedt scenario 4 een interessant alternatief. De modelkosten zijn gelijk aan scenario 3, daarbij komen in dit scenario ook nog inspectiekosten. Dit scenario levert een verwachte afname van het aantal storingen, na afronding van het programma in 30 jaar, tot 1140 (24% van scenario 1) op. Deze afname wordt gerealiseerd doordat in dit scenario 80% van de slechte leidingen door het model worden geïdentificeerd (20% dus niet) waarna bij de inspectie nog eens 5% van de geselecteerde slechte leidingen niet wordt geïdentificeerd (fout negatief).

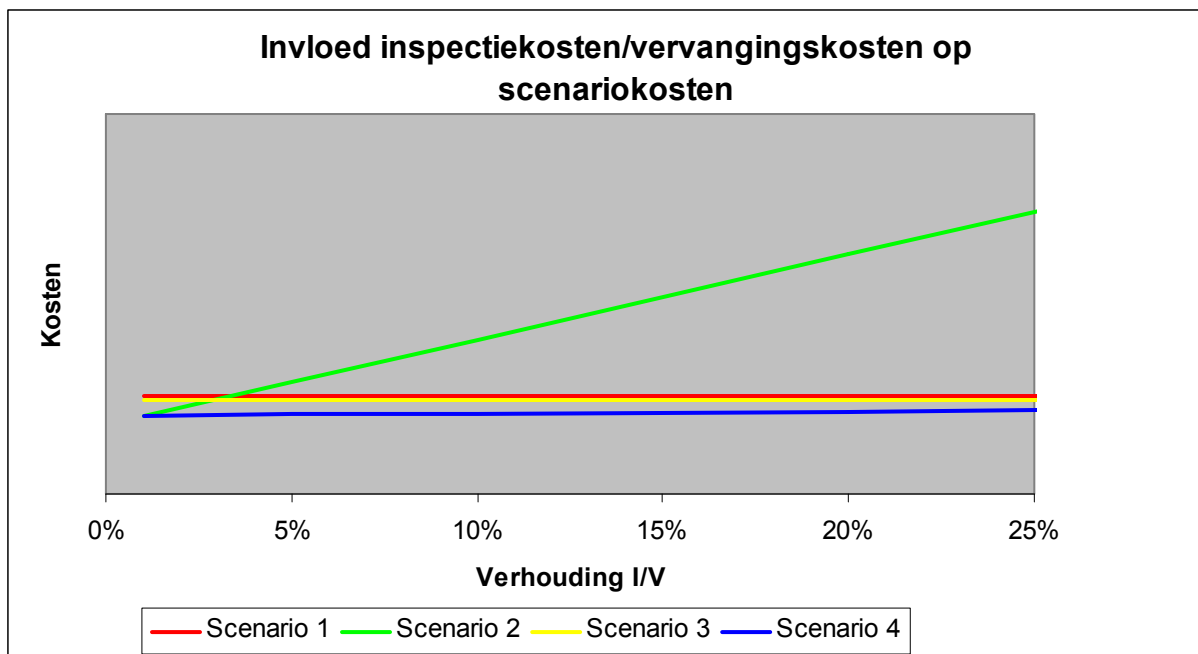
Op basis van de modelanalyse hoeft slechts 13205 leidingsecties te worden geïnspecteerd, het aantal wat bij scenario 3 wordt vervangen. In totaal worden op basis van het inspectieresultaat 3657 leidingsecties vervangen, 95% van de potentieel slechte leidingsecties uit de modelselectie, maar ook 0,5% van de potentieel goede leidingsecties uit de modelselectie (fout positief). Deze gecombineerde aanpak levert een vervangingseffectiviteit op van 99% (3610/3657)..

7.5 Gevoeligheidsanalyse van diverse inputparameters

Op basis van de uitgewerkte case voor het bestand aan AC leidingen kan ook de invloed worden geschat van inputparameters op het rekenresultaat. Hierbij wordt steeds één parameter gewijzigd. Gezien het theoretische karakter is in de figuren alleen het relatieve verloop van de kosten weergegeven en niet de absolute kosten.

A: Invloed verhouding inspectiekosten versus vervangingskosten

In de verschillende scenario's variëren indien van toepassing alleen de inspectiekosten. Deze worden in verhouding weergegeven ten opzichte van de constant gehouden vervangingskosten.

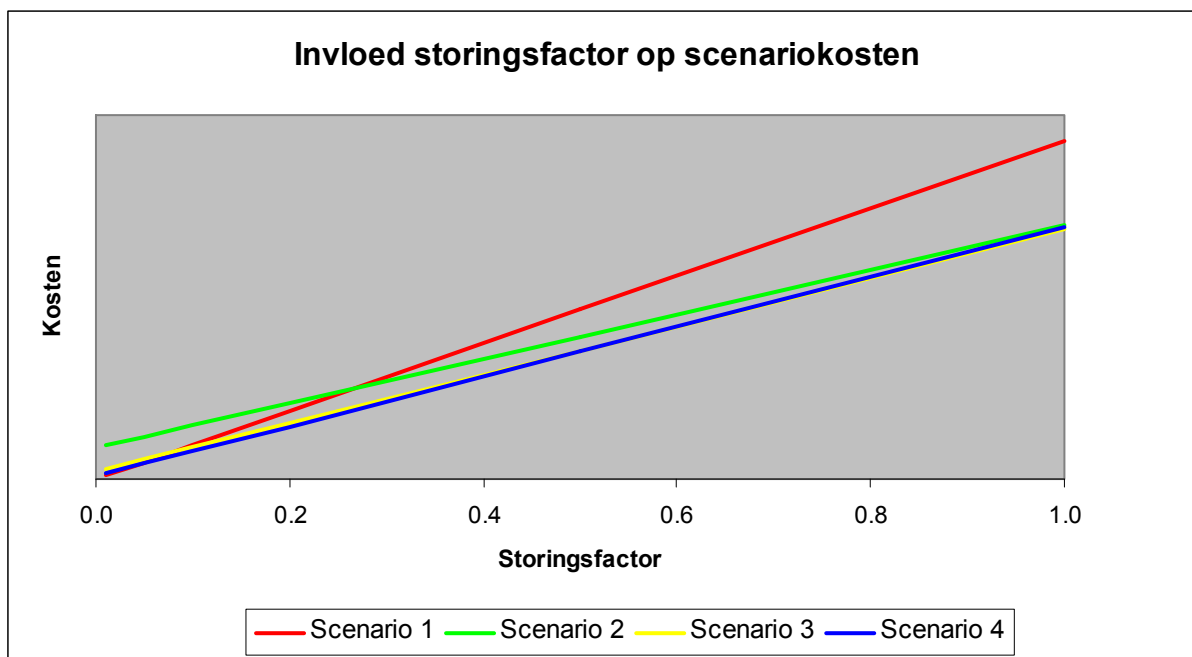


Figuur 7: Invloed verhouding inspectiekosten/vervangingskosten (I/V) op scenariokosten

In *Figuur 7* is te zien dat de kosten voor scenario 2, zoals te verwachten, sterk toenemen bij relatief hoge inspectiekosten. Het volledig inspecteren van een willekeurig leidingbestand lijkt hierbij pas financieel aantrekkelijk te zijn wanneer dit mogelijk is tegen lage kosten, circa 1 of 2 % van de vervangingskosten. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij leidingen met grote diameters. Voor scenario 1 en 3 spelen de inspectiekosten geen rol, voor scenario 4 heeft de variatie van de inspectiekosten maar een zeer beperkte invloed.

B: Invloed van het aantal storingen per kilometer per jaar

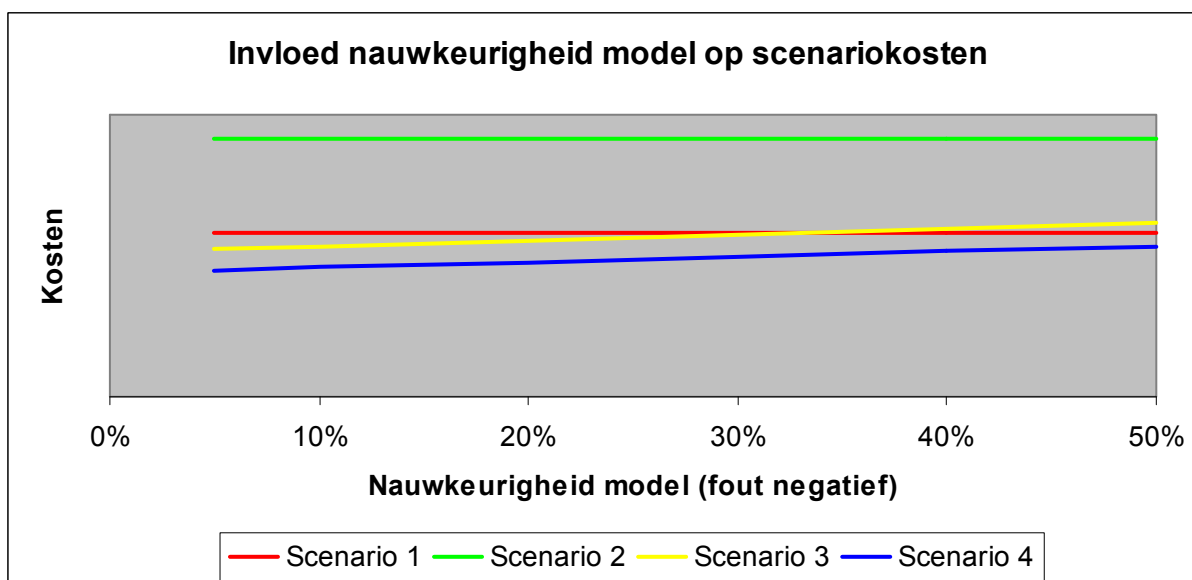
In de scenario's wordt alleen de storingsfrequentie gevarieerd. Deze parameter speelt bij alle scenario's een rol.



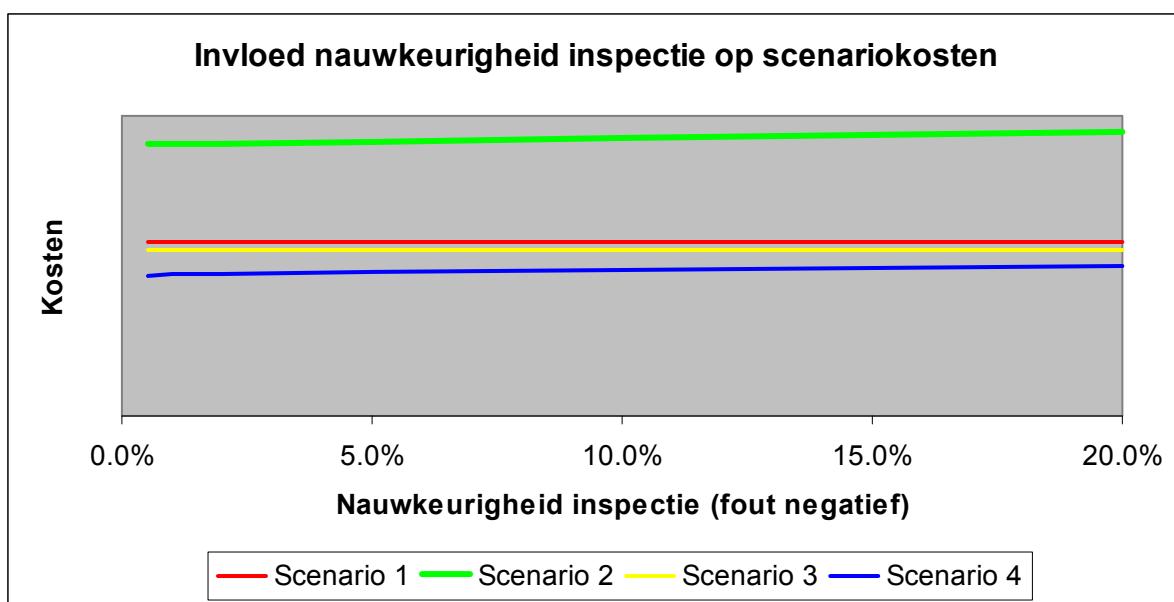
Figuur 8: Invloed storingsfrequentie (aantal storingen per kilometer leiding per jaar) op de scenariokosten

Met de gevonden relaties wordt bevestigd dat storingsafhankelijk onderhoud kosteneffectief is bij lage storingsfrequenties. Uit *Figuur 8* blijkt dat wanneer alleen de kosten in ogenschouw worden genomen scenario 1, in vergelijking met de scenario's 2, 3 en 4 geen acceptabel alternatief meer vormt als de storingsfrequentie hoger is dan 0,3 storingen per kilometer per jaar. Voor storingsfrequenties hoger dan 1 liggen de totale kosten voor de scenario's 2, 3 en 4 dicht bij elkaar.

C: Invloed van de nauwkeurigheid van het model en de inspectie - fout negatief



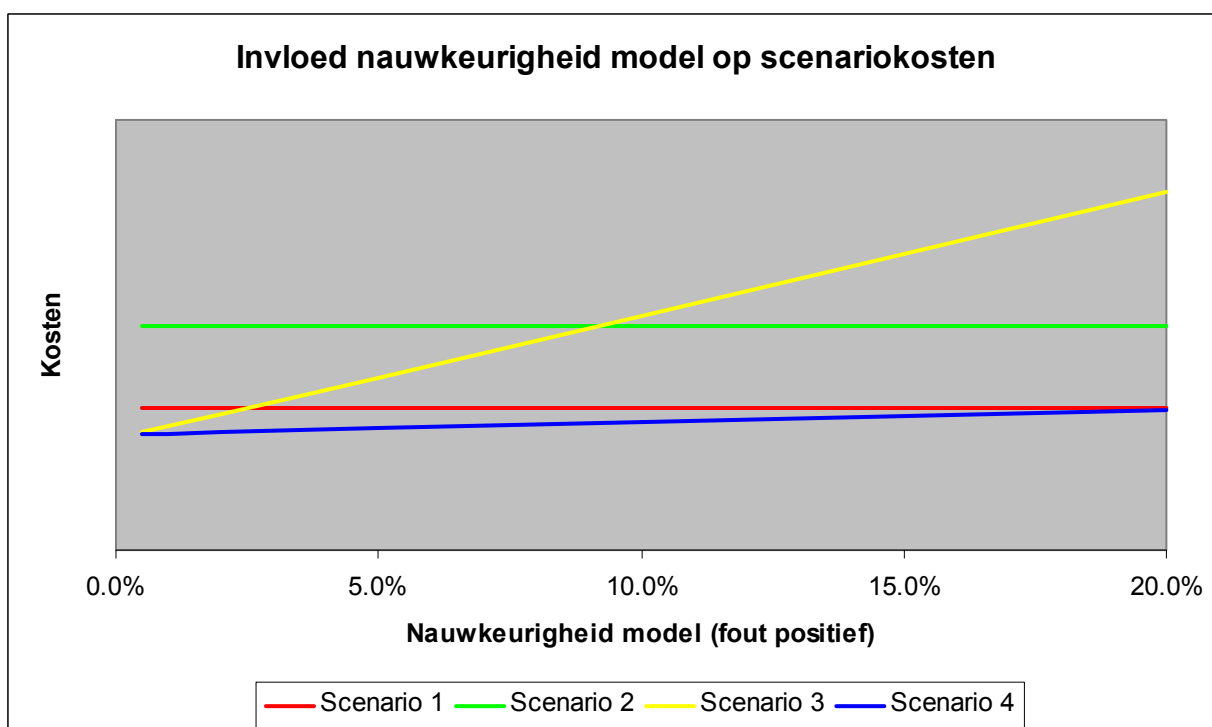
Figuur 9: Invloed nauwkeurigheid modelanalyse (fout negatief) op de scenariokosten



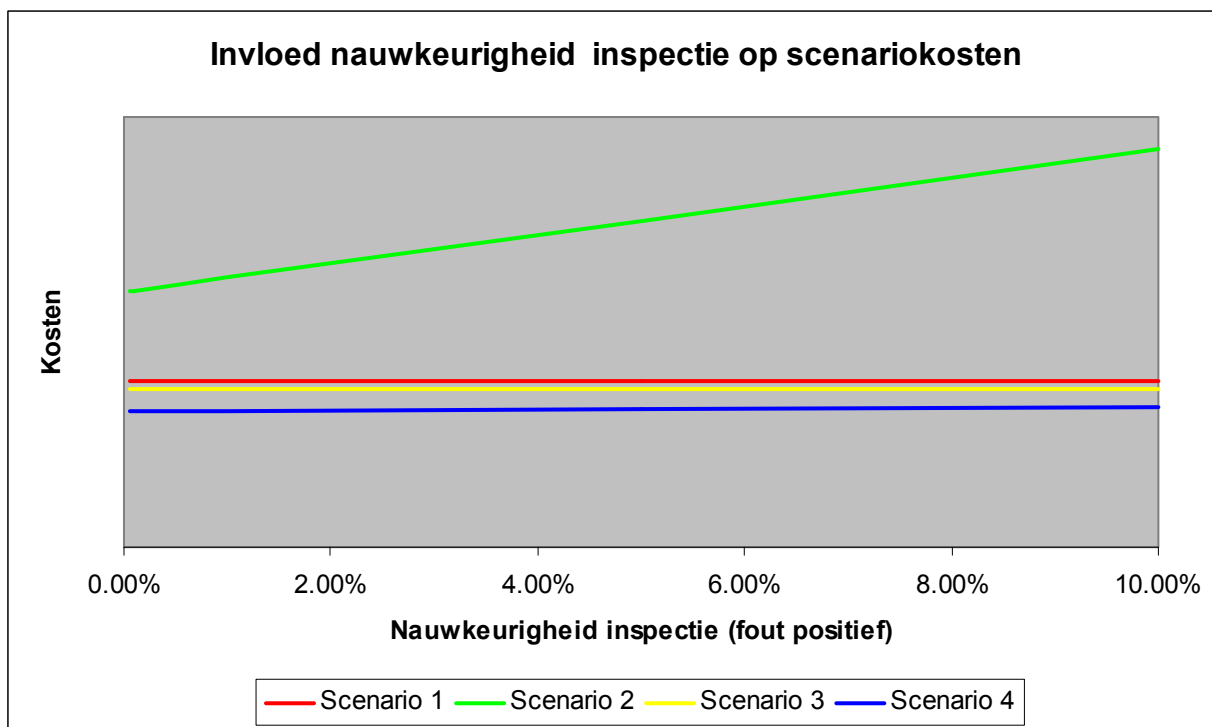
Figuur 10: Invloed nauwkeurigheid inspectietechniek (fout negatief) op de scenariokosten

Uit *Figuur 9* blijken de kosten voor modelscenario 3 die voor scenario 1 te overstijgen bij een fout negatief die groter is dan 30%. Scenario 4 blijft nog financieel aantrekkelijk bij een hogere modelfout. Er zullen zich bij een hogere onnauwkeurigheid wel meer storingen blijven voordoen omdat meer slechte leidingen niet worden geïdentificeerd. In *Figuur 10* blijken de kosten nauwelijks te worden beïnvloed bij een grotere fout negatief voor de nauwkeurigheid van de inspectie. Ook hier geldt dat bij een grotere fout negatief voor het inspectiescenario 2 en combi-scenario 4 wel meer storingen zullen blijven optreden.

D: Invloed van de nauwkeurigheid van het model en de inspectie - fout positief



Figuur 11: Invloed nauwkeurigheid modelanalyse (fout positief) op de scenariokosten



Figuur 12: Invloed nauwkeurigheid inspectietechniek (fout positief) op de scenariokosten

Figuur 11 en Figuur 12 maken duidelijk dat een hogere fout positief voor de scenario's 2 (inspectie) en 3 (model) gerelateerd zijn aan hogere kosten. Deze kostenstijging wordt veroorzaakt door het vaker vervangen van in principe nog goede leidingen. Opvallend is dat het combinatiescenario 4 in beide gevallen een veel stabiel beeld laat zien dan de scenario's 2 en 3 individueel.

7.6 Randvoorwaarde 5: selectie van te inspecteren leidingen

Gegeven de gehanteerde uitgangspunten, resulteert het reactief beheer (scenario 1) in de lage (beheer)kosten. Dit heeft echter wel het hoogste aantal storingen tot gevolg. De overige scenario's leiden tot aanzienlijk minder storingen.

Gezien de hoge kosten van inspectie, heeft een algehele inspectie van het leidingnet grote kosten tot gevolg. Dit kan alleen kosteneffectief zijn bij besparingen op hoge vervangingskosten.

De inzet van een model voor het selecteren van saneringskandidaten resulteert in lagere kosten. Hierbij is het echter van belang dat dit model een aanvaardbare nauwkeurigheid heeft, bij voorkeur een fout positief van maximaal 25% zodat er een voldoende reductie van het aantal storingen is te realiseren.

Tevens mag de fout negatief niet meer bedragen 5% omdat anders een te groot aantal leidingen ten onrechte vervangen zal worden.

Het combineren van technieken door met een model een voorselectie te maken en de uitkomst te verifiëren met een nauwkeuriger inspectie levert qua kosten een stabiel scenario op bij variaties van één parameter en een effectieve vervangingstrategie.

Deze analyse van de vier scenario's maakt duidelijk dat een kosteneffectieve inzet van inspectietechnieken gebaat is bij een goede selectie van de groep leidingen waar de inspectie wordt ingezet. Hiervoor kan een saneringsondersteunend model van grote waarde zijn, mits dit model over een voldoende nauwkeurigheid beschikt. Dit geldt zowel voor resultaten die fout positief zijn (leiding ten onrechte aangemerkt als saneringskandidaat), als die fout negatief zijn (leiding ten onrechte niet aangemerkt als saneringskandidaat).

8 Toetsing van technieken aan randvoorwaarden

8.1 Randvoorwaarden voor inspectietechnieken

In Hoofdstuk 4 zijn diverse beschikbare inspectietechnieken besproken, volgende uit de materiaalbeschrijvingen in Hoofdstuk 3. Tevens zijn de ontwikkelingen aangegeven in de richting van niet-destructieve, integrale inspectietechnieken die een betrouwbaar beeld opleveren van een leidingdeel. Op basis van bestaand BTO-onderzoek, aangevuld met beschikbare literatuur (van Doornik, 2004 en Marlow, 2007) is in Bijlage I een overzicht weergegeven van beschikbare inspectietechnieken.

Randvoorwaarde 1: Aanwezige volumes van groepen leidingen

Op grond van de aanwezige leidingmaterialen (zie Hoofdstuk 2) blijkt dat inspectiemethoden voor PVC en AC leidingen het meest interessant zijn, vooral voor de diameters tussen 50 en 159 mm. Gietijzer beslaat minder dan 10% van het leidingbestand, ook daarbij bestaat het grootste aandeel uit de diameters tussen 50 en 159 mm.

Randvoorwaarde 2: Beschikbare inspectietechnieken

Uit Hoofdstuk 3 blijkt dat slechts voor de materialen AC, gietijzer, onbeschermd staal en beton de verouderingsprocessen voldoende bekend zijn, zodat inspectietechnieken hiervoor een goede indicatie kunnen geven van de toestand van de leidingen. De verouderingsmechanismen van PVC zijn nog minder goed beschreven. Het ontwikkelen van een inspectietechniek voor PVC is een uitdaging voor de komende jaren. Beschikbare technieken voor PVC zijn voor diameters groter dan 200 mm.

Randvoorwaarde 3: Maximale kosten voor inspectie

In Hoofdstuk 5 zijn randvoorwaarden in beeld gebracht m.b.t. de kosten voor een innovatieve leidinginspectie die resulteert in een levensduurverlenging van rond de 20 jaar. In Tabel 11 is een overzicht gegeven van de maximum kosten per meter te inspecteren leiding waarbij levensduurverlenging leidt tot kostenvoordeel. Met name voor de diameters van 200 mm en kleiner zullen de kosten voor een continue inspectie dusdanig hoog zijn dat het toepassen van deze techniek niet lonend is.

Randvoorwaarde 4: Interpretatie van resultaten inspectie

Uit Hoofdstuk 6 volgen de randvoorwaarden voor uitspraken over leidinggroepen bij inspecties. Dit betekent een directe relatie met de technische leidinggegevens, een goede spreiding van de inspecties, en een specifiek onderscheid kunnen maken in inwendige, uitwendige en overige verouderingsmechanismen. Voor het verminderen van onzekerheden is het toepassen van integrale inspectietechnieken over de gehele leidingsectie gewenst.

Randvoorwaarde 5: Interactie van inspectie met modellen

De randvoorwaarden gesteld aan inspectietechnieken binnen het hele kader van beheermaatregelen volgen uit Hoofdstuk 7. De effectiviteit van het toepassen van inspecties wordt pas voldoende bij een specifieke deelverzameling van leidingen met een hogere storingsfrequentie. Het combineren van technieken door met een model een voorselectie te maken en de uitkomst te verifiëren met een nauwkeuriger inspectie levert qua kosten een stabiel scenario.

Daarnaast zijn er overige randvoorwaarden, veelal verband houdend met de uitvoeringspraktijk, zoals:

- Kan een hygiënische wijze van werken gegarandeerd worden?
- Kan de leiding in dienst blijven tijdens inspectie?
- Wat is de benodigde specialistische kennis en is die voldoende aanwezig, zowel intern als bij derden?
- Betreft het een experimentele techniek of is er sprake van een uitontwikkelde toepassing met brede ervaring?

8.2 Toepassingsmogelijkheden van inspectietechnieken

In Tabel 13 is een overzicht gegeven van de meest geschikte niet-destructieve, integrale inspectietechnieken. De meeste inspectietechnieken worden in de geraadpleegde literatuur als nauwkeurig aangemerkt. Voor alle genoemde technieken geldt dat gespecialiseerde kennis nodig is. Deze technieken zijn op de markt beschikbaar. Het is echter gewenst dat meer kennis en ervaring wordt opgebouwd van specifieke toepassing op drinkwaterleidingen, inclusief het interpreteren en vertalen van de meetresultaten naar een conditiegetal of een levensduur.

Voor AC leidingen is een duidelijk faalmechanisme beschikbaar, namelijk uitloging. Met inspectietechnieken op basis van georadar en ultrasoon geluid zijn succesvolle testen uitgevoerd. Deze inspectietechnieken zijn momenteel slechts toepasbaar voor leidingen met een diameter groter dan 200 mm. De totale kosten voor een inspectie liggen momenteel rond de €50,-/meter en worden voor een aanzienlijk deel bepaald door het onderbreken van de leiding ten behoeve van de inspectie. Op basis van de in dit rapport berekende business cases blijkt tevens dat voor de grootste groep AC leidingen (in de diameterrange van 50 tot 150 mm) de toepassing van innovatieve inspectietechnieken binnen de huidige randvoorwaarden niet zal leiden tot een kostenvoordeel.

Voor PVC leidingen is eigenlijk nog geen duidelijk faalmechanisme beschikbaar. Met inspectietechnieken op basis van ultrasoon geluid zijn wel testen uitgevoerd maar de vertaling van deze metingen naar een leidingconditie is nog in ontwikkeling. Onderzoek is hierbij nodig naar de juiste en goed meetbare parameters die het leidinggedrag verklaren. Verder geldt dat ook voor de grootste groep PVC leidingen (in de diameterrange van 50 tot 150 mm) de toepassing van innovatieve inspectietechnieken binnen de huidige randvoorwaarden niet zal leiden tot een kostenvoordeel.

Uit Tabel 13 blijkt dat de betrouwbaarheid bij technieken voor gietijzer en staal die gebruik maken van een elektromagnetisch veld kunnen variëren. Deze technieken zijn echter wel beschikbaar voor de kleinere diameters maar door het leeg moeten maken van leidingen en het direct benodigde contact met de buiswand zijn deze technieken lastig toepasbaar voor drinkwaterleidingen. Een ultrasone meettechniek voor gietijzer wordt momenteel getest door Waterbedrijf Groningen maar is alleen beschikbaar voor diameters groter dan 200 mm.

De totale kosten van de verschillende technieken zijn opgebouwd uit vaste en variabele apparatuurkosten en manuren. Daarnaast is het nu nog voor alle technieken noodzakelijk om de waterlevering te onderbreken. De technieken gebaseerd op geluid en radar hebben de potentie om in een gevulde leiding te kunnen werken waardoor bij hygiënisch werken een snelle in-bedrijfsname mogelijk is. Een groot deel van de kosten hebben betrekking op het inbrengen en uitnemen van de meetapparatuur en de lengte van de te inspecteren sectie. In de businesscase in Hoofdstuk 5 is uitgegaan van een inspectielengte van 1000 meter. Worden de secties kleiner, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van obstakels als vlinderkleppen, dan zullen de totale kosten per meter aanzienlijk toenemen.

Continue inspectietechnieken zullen nu vooral toegepast kunnen worden bij de grotere transportleidingen. Voor de toepassing van kleinere diameters zal gestreefd moeten worden naar een sterke reductie (halvering) van de totale inspectiekosten per meter. Dit zal waarschijnlijk pas mogelijk zijn als de kosten voor graven en inbrengen van meetapparatuur vermeden kunnen worden, bijvoorbeeld door het inbrengen via brandkranen of als meetapparatuur langdurig in het leidingnet aanwezig kan zijn. De kosten van het inspecteren van leidingen met kleinere diameters kan wel tegen aanvaardbare kosten worden uitgevoerd als dit steekproefsgewijs plaatsvindt met conventionele of innovatieve technieken. Hierbij kunnen voor een vastgestelde en groep leidingen met een vergelijkbare conditie, inspectietechnieken worden ingezet, waarbij de resultaten worden vertaald naar de hele groep. Er zal echter nader onderzoek moeten plaatsvinden naar het indelen van het leidingnet in coherente groepen, het aantal te inspecteren leidingen om te komen tot een significante conditie voor de hele groep en het vertalen van de conditie van de gemeten leidingen naar de hele groep.

Tabel 13 Overzicht innovatieve inspectie technieken (geselecteerd op NDO, in-line, continu en integrale materiaalmeting)

<i>Inspectietechniek</i>	<i>Geschikt voor leidingmateriaal</i>	<i>Betrouwbaarheid</i>	<i>Kostenindicatie</i>	<i>Toepasbare diameterrange</i>	<i>Buiten dienst nemen van leiding</i>	<i>Droogzetten leiding</i>	<i>Vaardigheden bij toepassing techniek</i>	<i>Betreft het een bewezen techniek?</i>
Electro-magnetische breedband meting	Gietijzer en staal	Varieert	Hoge kosten	80 - ∞	JA	JA (contact)	Gespecialiseerd	Weinig ervaring met drinkwater
Wervelstroom (remote field eddy current)	Gietijzer en staal, beton (PCCP)	Varieert	> 5.000 euro per inspectie	80 - ∞	JA	JA (contact)	Gespecialiseerd	Toegepast bij betonleidingen,
Ultrasoon	Alle materialen	Nauwkeurig (ijken)	1000 - 10.000 euro per inspectie	250 - 500	JA	NEE	Gespecialiseerd	Toepassingen voor drinkwater in ontwikkeling,
Georadar (Ground Penetrating Radar)	Beton en vezelcement	Nauwkeurig (ijken)	5000 euro per inspectie	200 - ∞	JA	JA	Gespecialiseerd	Weinig ervaring met drinkwater

9 Conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek is een overzicht gegeven van de inspectietechnieken voor drinkwaterleidingen en zijn deze technieken getoetst aan praktijksituaties. De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

1. Voor de meest gangbare leidingmaterialen zijn destructieve- of non-destructieve inspectietechnieken beschikbaar. Destructieve technieken hebben als nadeel dat de leidingintegriteit wordt aangetast en dat slechts een beperkt deel van de leiding kan worden onderzocht. Meer continue non-destructieve technieken hebben deze nadelen niet. Toepassingsmogelijkheden van innovatieve non-destructieve inspectietechnieken komen voor steeds meer leidingmaterialen beschikbaar, met name voor cementshoudende en metalen leidingmaterialen. De toepassing van deze inspectietechnieken voor kleinere diameters (m.n. < 200 mm) lijkt vooralsnog beperkt, gezien de relatief hoge kosten en de afmeting van de meetsondes.
2. Het totale drinkwaterleidingnet vertegenwoordigt een grote waarde; voor de betrokken BTO-bedrijven meer dan 25 miljard euro. In dit rapport is deze waarde in beeld gebracht, gespecificeerd naar materiaal en diameter. Dit geeft een goed beeld van het volume van specifieke groepen leidingen, zowel voor waterbedrijven als voor externe partijen die de markt voor innovatieve inspectietechnieken in kaart willen brengen. Op basis van het overzicht van de Nederlandse waterbedrijven blijkt dat het aandeel van cementshoudende en metalen leidingen groter dan 250 mm, slechts 5% beslaat van het leidingenbestand van de BTO bedrijven. Ook zijn de verschillen in materiaalsamenstellingen van de leidingnetten in Nederland en Vlaanderen ten opzichte van bijvoorbeeld de Angelsaksische landen en Duitsland in beeld gebracht. Hieruit blijkt dat de BTO bedrijven, meer dan deze andere landen, een behoefte hebben aan inspectietechnieken voor AC en PVC.
3. Met een aantal uitgewerkte cases is in beeld gebracht dat het toepassen van materiaalonderzoek, inspectietechnieken en conditiebepaling maatwerk is. Voor een grote groep leidingen met een laag risico levert storingsafhankelijk onderhoud de laagste (beheer-)kosten op. Voor deze groep kunnen modellen een belangrijke bijdrage leveren voor het selecteren van saneringskandidaten. Materiaalonderzoeken en storingsanalyses leveren belangrijke input voor modellen.
4. Vergelijking van kosten en resultaten, laat zien dat het aantrekkelijk kan zijn om inspectietechnieken te combineren met beslissingsondersteunende saneringsmodellen. De wisselwerking tussen de nauwkeurigheid van de toegepaste modellen en de inspecties verdient hierbij nadere aandacht. Is het beter meer energie te stoppen in efficiënte en correcte analysetechnieken en minder inspecties uit te voeren of is het beter een globale voorselectie uit te voeren met meer intensieve inspecties?
5. Voor het regulier toepassen van inspectietechnieken is de afweging tussen de kosten en de baten cruciaal. Een groot aantal factoren speelt een rol om te bepalen of inspectietechnieken op een rendabele wijze ingezet kunnen worden. De belangrijkste factoren zijn de verkregen periode van uitstel, (netto)rente en de huidige en toekomstige kosten van aanleg. Een andere factor die van belang is voor het verkrijgen van een rendabele inzet is de kans dat de inspectie uitwijst dat uitstel van sanering nog mogelijk is. Daar waar dat niet mogelijk is worden extra kosten gemaakt maar die resulteren wel in een significante risicoreductie.
6. Bij de conditiebepaling met fenolftaleïneonderzoek blijkt dat het vertalen van de resultaten naar de gehele leidingsectie, maar zeker naar leidinggroepen, veel extra inspanning zal vragen om betrouwbare beslissingen te kunnen nemen. Het toepassen van betere inspectietechnieken voor AC leidingen is voor de kleinere diameters nog niet mogelijk. Voorlopig blijkt het fenolftaleïneonderzoek dus nog steeds een goedkope en toepasbare inspectietechniek.

7. Wil een inspectietechniek effectief gebruikt kunnen worden voor uitspraken over leidinggroepen dan is het noodzakelijk om vooraf een goede definitie te maken van de gegevensbehoefte zodat deze gegevens in het inspectietraject goed kunnen worden geregistreerd. Deze randvoorwaarde staat los van de gebruikte inspectietechniek of saneringsprognosemodel.

Op basis van dit onderzoek kunnen de volgende aanbevelingen worden gegeven:

1. Voor het bepalen van de beste wijze van leidingnetbeheer, lijkt een risicobenadering, waarbij de kans op een leidingbreuk en de effecten hiervan worden vastgesteld, de beste wijze van aanpak. Waterbedrijven wordt aanbevolen de inzet van inspectietechnieken te overwegen bij die leidingen waarvan de effecten van leidingbreuk het grootste zijn en/of waarbij de kosten van inspectie opwegen tegen de voordelen van uitstel van sanering. In dit rapport is een methode opgesteld waarmee waterbedrijven een business case kunnen opzetten voor de inzet van inspectietechnieken.
2. Voor het grootste aantal leidingen met een kleinere diameter zijn inspectietechnieken niet op een kostenefficiënte wijze in te zetten. Voor het bepalen of deze leidingen voor sanering in aanmerking komen, lijken beslissingsondersteunende modellen de beste keuze. Aanbevolen wordt nader onderzoek uit te voeren naar de toepassing van deze modellen als selectiemiddel voor vervolgacties zoals inspecteren, vervangen of nader analyseren. Opgemerkt wordt dat dit al plaatsvindt binnen het BTO, bijvoorbeeld in de vorm van pilot-projecten.
3. Het toepassen van inspectietechnieken kan de onzekerheden bij het nemen van een vervangingsbeslissing verkleinen. Waterbedrijven wordt aanbevolen aanbieders van veelbelovende inspectietechnieken gezamenlijk en actief te benaderen en kennis uit te wisselen over het uitvoeren van pilot-projecten. Hiervoor is ruimte binnen het lopende BTO.
4. Voorts bevelen wij aan onderzoek uit te voeren. Aanbevolen wordt nader onderzoek uit te voeren naar de wijze waarop non-destructieve inspectietechnieken de toestand van PVC leidingen kunnen vastleggen.
5. Waterbedrijven wordt aanbevolen fenolftaleïne testen uit te voeren bij zo veel mogelijk AC leidingen wanneer dit mogelijk is. Voor deze testen is het van groot belang dat de aanvullende gegevens, zoals de leidingkarakteristieken en de aard van eventuele storingen correct worden geregistreerd.
6. Aanbevolen wordt nader onderzoek uit te voeren naar het vertalen van de resultaten van fenolftaleïne testen naar de toestand van groepen leidingen. Hiervoor kan de opzet van een database met fenolftaleïne testen een goede mogelijkheid bieden.
7. Aanbevolen wordt nader onderzoek uit te voeren naar het vertalen van gegevens over de toestand (kwaliteit) van een leiding naar een maat voor de conditie. Dit laatste is de relatie tussen de toestand van de leiding en de voor de specifieke situatie benodigde toestand.

10 Referenties

Beuken R.H.S. (2010). *Toepasbaarheid CARE W voor waterbedrijven; Evaluatie pilot bij Dunea*, KWR Nieuwegein, BTO 2010.007.

Beuken R.H.S. (2010). *Leidingen vervangen of niet, hoe neem je een goede beslissing of niet?*, KWR Nieuwegein, BTO 2010.014(s), in voorbereiding.

Borsje H. et al.(2002). *Monitoren Alkali Silica Reactie in viaducten*, Cement Jrg 54 nr. 5, p. 88 – 93.

Corrosiecommissie II (1962). *Corrosiebescherming gietijzeren en stalen leidingen*, Metaalinstituut TNO Delft, Mededelingen nr.13.

Doornik J.H. van, Roubos C., van der Wielen J.M.L. (2004). *Inventarisatie van methoden voor conditiebepaling en leidinginspectie*, KIWA N.V. Nieuwegein, BTO 2004.056.

Elzenga C.H.J. (redactie) (1991). *Breukonderzoek aan voorgespannen Arkelbuizen*, KIWA N.V. Rijswijk, Werkgroep Arkelbuizen.

Kivit C.F.T., Blokker, E.J.M.(2006) . *Prestaties en kosten van distributie assets*, KIWA N.V. Nieuwegein, BTO 2006.006.

Maier P. (2009). *Rohrnetzbewertung und Rehabilitationsstrategie; Praxisbericht der BWB*, 22. Mulheimer Wassertechnisches Seminar.

Marlow D. et al. (2007). *Condition Asset management strategies and protocols for water and wastewater utilities assets*, Water Environment Research Foundation.

Mesman G.A.M. (2001). *Conditiebepaling verbindingen; Mogelijkheden conditiebepaling en storingsregistratie verbindingen*, KIWA N.V. Nieuwegein, BTO 2001.205(c).

Mesman G.A.M., Hullhoven F. (2008). *Ultrasoon geluidsonderzoek asbestcement leidingen*, KIWA N.V. Nieuwegein, BTO 2008.015.

Mesman G.A.M., Slaats P.P.G. (2004). *Conditiebepaling gietijzeren waterleidingen*, KIWA N.V. Nieuwegein, BTO 2003.038

Mesman, Slaats, Boersma, Schultz, (2009). *Nieuwe methode inzetbaar bij saneringsbeslissingen PVC leidingen*, H2O nr. 16/17 p. 44 - 47.

Mesman G.A.M., J. van der Wielen (2005). *Georadar: geschikt om conditie AC-leidingen te beoordelen*, KIWA N.V. Nieuwegein, KWR 05.023.

Moglia M., Burn S., Meddings S., (2006). *Decision support system for water pipeline renewal prioritisation*, <http://www.itcon.org/2006/18/>

Reed C., Robinson A.J., Smart D. (2006). *Potential Techniques for the assessment of joints in water distribution pipelines*, AWWARF.

Slaats N., Vreeburg J., Boersma A. , Breen J. (2003). *PVC waterleidingen: hoe lang gaan ze mee?*, H2O nr. 16 2003, p. 25 – 28.

Slaats P.P.G., Brink H., Hoven van den Th.J.J. (1993). *Uitloging van calciumhydroxide uit cementhoudende leidingmaterialen*, KIWA N.V. Nieuwegein, SWE 93.035.

Slaats P.P.G., Mesman G.A.M. (2004). *Conditiebepaling asbestcement waterleidingen*, KIWA N.V. Nieuwegein, BTO 2003.039.

Trietsch E. Vangeel K., Nagelhout S.(2006). *Inwendig onderzoek gietijzeren leiding goed alternatief voor uitwendige inspectie*, H2O nr. 17 2006.

Trietsch E.A., Rosenthal L.P.M. (2004). *Centraal kennissysteem levensduurbepaling (specificaties)*, KWR Nieuwegein, BTO 2004.035.

Vewin (2010). *Drinkwaterstatistieken 2008; De watercyclus van bron tot tap*, Rijswijk.

Vloerbergh I.N. (2007). *Workshop Faalmechanismen Leidingnet; Inventarisatie en prioritering van mogelijke faalmechanismen van het leidingnet*, KIWA N.V. Nieuwegein, BTO 2007.014(s).

Vloerbergh I.N., Blokker E.J.M. (2007). *Statistische storingsanalyse; De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie*, KIWA N.V. Nieuwegein, BTO 2007.043.

Geraadpleegde websites:

LCC : <http://www.sg-partners.nl/> (geraadpleegd 28 april 2010)

Betonaantasting <http://www.rws.nl/kenniscentrum/> (geraadpleegd 28 april 2010)

I Overzicht inspectietechnieken

<i>Thema</i>	<i>Toepassing</i>	<i>Techniek</i>	<i>Methode</i>	<i>Meetobject</i>	<i>D/C</i>	<i>Materiaal</i>
Chemisch	On-pipe	Carbonatie test/Fenolftaleïne	NDO	Leiding	Discreet	Cementhoudend
Chemisch	In-pipe (bemand)	Carbonatie test/Fenolftaleïne	NDO	Leiding	Discreet	Cementhoudend
Chemisch	Pipe sample	Carbonatie test/Fenolftaleïne	DO	Leidingdeel	Discreet	Cementhoudend
Chemisch	Pipe sample	Carbonatie test/Fenolftaleïne	NDO	Kern	Discreet	Cementhoudend
Mechanisch	On-pipe	Schmidthamer	NDO	Leiding	Discreet	Cementhoudend
Mechanisch	In-pipe (bemand)	Schmidthamer	NDO	Leiding	Discreet	Beton
Mechanisch	Pipe sample	Schmidthamer	DO	Leidingdeel	Discreet	Beton
Mechanisch	Pipe sample	Schmidthamer	NDO	Kern	Discreet	Beton
Mechanisch	Pipe sample	Weerstand tegen scheurvorming (C ring)	DO	Leidingdeel	Discreet	PVC
Chemisch	Pipe sample	DCMT test (geling)	DO	Leidingdeel	Discreet	PVC
Mechanisch	Pipe sample	Weerstand langzame scheurvorming	DO	Leidingdeel	Discreet	PE
Fysisch	On-pipe	Corrosiediepte meting	NDO	Leiding	Discreet	Gietijzer en staal
Fysisch	In-pipe (bemand)	Corrosiediepte meting	NDO	Leiding	Discreet	Gietijzer en staal
Fysisch	Pipe sample	Corrosiediepte meting	DO	Leidingdeel	Discreet	Gietijzer en staal
Geluid	In-pipe (bemand)	Actieve akoestische inspectie	NDO	Leiding	Discreet	Beton
Geluid	On-pipe	Actieve akoestische inspectie	NDO	Leiding	Discreet	Beton
Fysisch	In-pipe (bemand)	Dekkingsmeting	NDO	Leiding	Discreet	Beton
Fysisch	On-pipe	Dekkingsmeting	NDO	Leiding	Discreet	Beton
Fysisch	In-pipe (bemand)	Electropotentiaalmeting (beton)	NDO	Leiding	Discreet	Beton
Fysisch	On-pipe	Electropotentiaalmeting (beton)	NDO	Leiding	Discreet	Beton
E.M. veld	In-pipe (onbemand)	Electro-magnetische breedband meting	NDO	Leiding	Continu	Gietijzer en staal
E.M. veld	On-pipe	Electro-magnetische breedband meting	NDO	Leiding	Continu	Gietijzer en staal
Licht	In-pipe (onbemand)	CCTV	NDO	Leiding	Continu	Alle materialen excl. kunststoffen
Licht	In-pipe (onbemand)	Endoscoop inspectie	NDO	Leiding	Discreet	Alle materialen
Geluid	In-pipe (onbemand)	Akoestische inspectiemetingen (sonar)	NDO	Leiding	Continu	Alle materialen
		Acoestisch monitoren (hydrofoons)				
Geluid	In-pipe (onbemand)	permanent	NDO	Leiding	Continu	Alle materialen
		Acoestisch monitoren (hydrofoons)				
Geluid	In-pipe (onbemand)	onderzoek	NDO	Leiding	Discreet	Alle materialen
E.M. veld	In-pipe (onbemand)	MFL (Magnetic flux leakage)	NDO	Leiding	Continu	Gietijzer en staal

E.M. veld	On-pipe	MFL (Magnetic flux leakage)	NDO	Leiding	Continu	Gietijzer en staal
Geluid?	On-pipe	EMAT (Electro Magnetic Acoustic Transducer)	NDO	Leiding	Continu	Gietijzer en staal
Speciaal	In-pipe (onbemand)	Passieve akoestische inspectie	NDO	Leiding	Continu	Beton (PCCP voorspanning)
Speciaal	On-pipe	Passieve akoestische inspectie	NDO	Leiding	Continu	Beton (PCCP voorspanning)
E.M. veld	In-pipe (onbemand)	Wervelstroom (remote field eddy current)	NDO	Leiding	Continu	Gietijzer en staal, beton (PCCP)
Hydraulisch	On-pipe	Lekdetectie	NDO	Leiding	Continu	alle materialen
Licht?	On-pipe	Rekmetingen	NDO	Leiding	Continu	alle materialen
Hydraulisch	On-pipe	Lekdetectie (on line)	NDO	Leiding	Continu	alle materialen
Straling	In en on-pipe	Radioactief onderzoek	NDO	Leiding	Discreet	Alle materialen (excl. GRP)
Straling	In en on-pipe	Radioactief onderzoek	NDO	Leiding	Continu	Alle materialen (excl. GRP)
Straling	In en on-pipe	Radioactief onderzoek ondergrond	NDO	Leiding	Continu	Alle materialen
Geluid	On-pipe	Ultrasoon Guided wave	NDO	Leiding	Continu	Gietijzer en staal
Geluid	In-pipe (onbemand)	Ultrasoon	NDO	Leiding	Continu	Alle materialen
Geluid	On-pipe	Ultrasoon (discreet)	NDO	Leiding	Discreet	Gietijzer en staal
Golven	Maaiveld	Georadar (Ground Penetrating Radar)	NDO	Leiding	Continu	alle materialen
		Georadar (Ground Penetrating Radar)				
Golven	Maaiveld	lekkages	NDO	Leiding	Continu	alle materialen
Golven	In-pipe (onbemand)	Georadar (Ground Penetrating Radar)	NDO	Leiding	Continu	AC
Golven	On-pipe	Georadar (Ground Penetrating Radar)	NDO	Leiding	Continu	AC
Golven	In-pipe (onbemand)	Microwave backscatering	NDO	Leiding	Continu	alle materialen
Licht	In-pipe	Laser profilering	NDO	Leiding	Discreet	alle materialen
Fysisch	In-pipe	Giroscop/hodometer/GPS	NDO	Leiding	Continu	alle materialen
Hydraulisch	In-pipe (onbemand)	Druktest	NDO	Leiding	Continu	alle materialen

Bewerking van een overzicht van Marlow (2007).

II Business cases

Business case: Toepassing van conditiebepalingstechnieken AC 300 mm landelijk	
Algemene uitgangspunten Voor alle berekeningen wordt het huidige prijsniveau gehanteerd. Gewenste periode van uitstel van investeringen: 20 jaar Beschouwde lengte 1000 meter Netto rente 3% Toekomstige uitvoering als solo-werk	
Uitgangspunten business cases materiaal oud AC materiaal nieuwe PVC diameter 300 omgeving van uitvoering landelijk Bestrating geen uitvoering heden in solo	
Stap 1: Kostenvergelijking heden combi-uitvoering en toekomst solo	
Input	Vervangingskosten heden 250 €/m Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo 250 €/m
Berekening	Contante kosten bij toekomstige vervanging 138 €/m
Verschil	112 €/m
Stap 2: Kapitaliseren van kosten van leidingbreuken	
Input	Vervangingskosten heden 250 €/m Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo 250 €/m Breukfrequentie oud 0,15 br/km/jr Breukfrequentie nieuw 0,02 br/km/jr Kosten breuk 5000 €
Berekening	Contante toekomstige kosten 138 €/m Geschat aantal breuken oude leiding in periode 3 br/periode Geschat aantal breuken nieuwe leiding in periode 0,4 br/periode Totale kosten van breuken oude leiding 15000 € Totale kosten van breuken nieuwe leiding 2000 € Kosten breuken van oude leiding 0,75 €/r/m Kosten breuken van nieuwe leiding 0,1 €/r/m Contante kosten breuk oud 11 €/m Contante kosten breuk nieuw 1 €/m Contante kosten bij vervangen heden 251 €/m Contante kosten vervangen toekomst 150 €/m
Verschil	102 €/m

Stap 3: Inclusief kosten voor inspectie	
Input	Vaste kosten inspectiebedrijf 5000 € Kosten inspectiebedrijf per meter 30 €/m Kosten inbouwingen 10000 € Kosten waterbedrijf per meter 2 €/m
Berekening	Totale kosten inspectie 47 €/m Contante kosten breuk oud 11 €/m Contante kosten breuk nieuw 1 €/m Contante kosten bij vervangen heden 251 €/m Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 197 €/m
Verschil	55 €/m
Stap 4 Inclusief kosten inspectie met neg. resultaat	
Input	Succesfactor 80%
Berekening	Totale kosten inspectie 59 €/m Contante kosten bij vervangen heden 251 €/m Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 208 €/m
Verschil	43 €/m
Stap 5 Inclusief fout negatieve resultaten	
Input	gem fout voorspelling (fout negatief) 5% Levensduurverkorting 50% Vervangingskosten i50% solo 300 €/m
Berekening	Lengte verkeerd geschatte conditie 50 m Gecorrigeerde restlevensduur 10 jaar Contante kosten verv 223 €/m Contante kosten vervangen 143 €/m Kosten inspectie, incl succesfactor 59 €/m Contante kosten bij vervangen heden 251 €/m Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 213 €/m
Verschil	39 €/m 15%

Business case: Toepassing van conditiebepalingstechnieken AC 500 mm landelijk	
Algemene uitgangspunten Voor alle berekeningen wordt het huidige prijsniveau gehanteerd. Gewenste periode van uitstel van investeringen: 20 jaar Beschouwde lengte 1000 meter Netto rente 3,00% Toekomstige uitvoering als solo-werk	
Uitgangspunten business cases materiaal oud AC/GGIJ/PVC materiaal nieuwe PVC diameter 500 omgeving van uitvoering Stedelijk Bestrating niet uitvoering heden in solo	
Stap 1: Kostenvergelijking heden combi-uitvoering en toekomst solo	
Input	
Vervangingskosten heden 450 €/m Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo 450 €/m	
Berekening Contante kosten bij toekomstige vervanging 249 €/m Verschil 201 €/m	
Stap 2: Kapitaliseren van kosten van leidingbreuken	
Input	
Vervangingskosten heden 450 €/m Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo 450 €/m Breukfrequentie oud 0,15 br/km/jr Breukfrequentie nieuw 0,02 br/km/jr Kosten breuk 5000 €	
Berekening Contante toekomstige kosten 249 €/m Geschat aantal breuken oude leiding in periode 3 br/periode Geschat aantal breuken nieuwe leiding in periode 0,4 br/periode Totale kosten van breuken oude leiding 15000 € Totale kosten van breuken nieuwe leiding 2000 € Kosten breuken van oude leiding 0,75 €/jr/m Kosten breuken van nieuwe leiding 0,1 €/jr/m Contante kosten breuk oud 11 €/m Contante kosten breuk nieuw 1 €/m Contante kosten bij vervangen heden 451 €/m Contante kosten vervangen toekomst 260 €/m Verschil 191 €/m	

Stap 3: Inclusief kosten voor inspectie	
Input	
Vaste kosten inspectiebedrijf 5000 € Kosten inspectiebedrijf per meter 30 €/m Kosten inbouwingen 3000 € Kosten waterbedrijf per meter 2 €/m	
Berekening Totale kosten inspectie 40 €/m Contante kosten breuk oud 11 €/m Contante kosten breuk nieuw 1 €/m Contante kosten bij vervangen heden 451 €/m Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 300 €/m Verschil 151 €/m	
Stap 4 Inclusief kosten inspectie met neg. resultaat	
Input	
Succesfactor 80%	
Berekening Totale kosten inspectie 50 €/m Contante kosten bij vervangen heden 451 €/m Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 310 €/m Verschil 141 €/m	
Stap 5 Inclusief fout negatieve resultaten	
Input	
gem fout voorspelling (fout negatief) 5% Levensduurverkortng 50% Vervangingskosten 150% solo 450 €/m	
Berekening Lengte verkeerd geschatte conditie 50 m Gecorrigeerde restlevensduur 10 jaar Contante kosten verv 335 €/m Contante kosten vervangen 253 €/m Kosten inspectie, incl succesfactor 50 €/m Contante kosten bij vervangen heden 451 €/m Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 315 €/m Verschil 137 €/m 30%	

Business case: Toepassing van conditiebepalingstechnieken AC 300 mm stedelijk	
Algemene uitgangspunten Voor alle berekeningen wordt het huidige prijsniveau gehanteerd. Gewenste periode van uitstel van investeringen: 20 jaar Beschouwde lengte 1000 meter Netto rente 3,00% Toekomstige uitvoering als solo-werk	
Uitgangspunten business cases materiaal oud AC materiaal nieuwe PVC diameter 300 omgeving van uitvoering Stedelijk Bestrating wel uitvoering heden in combi	
Stap 1: Kostenvergelijking heden combi-uitvoering en toekomst solo	
Input	
Vervangingskosten heden	450 €/m
Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo	500 €/m
Berekening	
Contante kosten bij toekomstige vervanging	277 €/m
Verschil	173 €/m
Stap 2: Kapitaliseren van kosten van leidingbreuken	
Input	
Vervangingskosten heden	450 €/m
Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo	500 €/m
Breukfrequentie oud	0,15 br/km/jr
Breukfrequentie nieuw	0,02 br/km/jr
Kosten breuk	10000 €
Berekening	
Contante toekomstige kosten	277 €/m
Geschat aantal breuken oude leiding in periode	3 br/periode
Geschat aantal breuken nieuwe leiding in periode	0,4 br/periode
Totale kosten van breuken oude leiding	30000 €
Totale kosten van breuken nieuwe leiding	4000 €
Kosten breuken van oude leiding	1,5 €/jr/m
Kosten breuken van nieuwe leiding	0,2 €/jr/m
Contante kosten breuk oud	22 €/m
Contante kosten breuk nieuw	3 €/m
Contante kosten bij vervangen heden	453 €/m
Contante kosten vervangen toekomst	299 €/m
Verschil	154 €/m

Stap 3: Inclusief kosten voor inspectie	
Input	
Vaste kosten inspectiebedrijf	5000 €
Kosten inspectiebedrijf per meter	30 €/m
Kosten inbouwingen	10000 €
Kosten waterbedrijf per meter	2 €/m
Berekening	
Totale kosten inspectie	47 €/m
Contante kosten breuk oud	22 €/m
Contante kosten breuk nieuw	3 €/m
Contante kosten bij vervangen heden	453 €/m
Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie	346 €/m
Verschil	107 €/m
Stap 4 Inclusief kosten inspectie met neg. resultaat	
Input	
Succesfactor	80%
Berekening	
Totale kosten inspectie	59 €/m
Contante kosten bij vervangen heden	453 €/m
Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie	358 €/m
Verschil	95 €/m
Stap 5 Inclusief fout negatieve resultaten	
Input	
gem fout voorspelling (fout negatief)	5%
Levensduurverkortng	50%
Vervangingskosten 150% solo	500 €/m
Berekening	
Lengte verkeerd geschatte conditie	50 m
Gecorrigeerde restlevensduur	10 jaar
Contante kosten verv 150%	372 €/m
Contante kosten vervangen	282 €/m
Kosten inspectie, incl succesfactor	59 €/m
Contante kosten bij vervangen heden	453 €/m
Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie	363 €/m
Verschil	90 €/m
	20%

Business case: Toepassing van conditiebepalingstechnieken AC 200 mm stedelijk	
Algemene uitgangspunten Voor alle berekeningen wordt het huidige prijsniveau gehanteerd. Gewenste periode van uitsel van investeringen: 20 jaar Beschouwde lengte 1000 meter Netto rente 3,00% Toekomstige uitvoering als solo-werk	
Uitgangspunten business cases materiaal oud AC materiaal nieuwe PVC diameter 200 omgeving van uitvoering Stedelijk Bestrating wel uitvoering heden in combi	
Stap 1: Kostenvergelijking heden combi-uitvoering en toekomst solo	
Input	Vervangingskosten heden 250 €/m Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo 300 €/m
Berekening	Contante kosten bij toekomstige vervanging 166 €/m
Vershil	84 €/m
Stap 2: Kapitaliseren van kosten van leidingbreuken	
Input	Vervangingskosten heden 250 €/m Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo 300 €/m Breukfrequentie oud 0.15 br/km/jr Breukfrequentie nieuw 0.02 br/km/jr Kosten breuk 5000 €
Berekening	Contante toekomstige kosten 166 €/m
Geschat aantal breuken oude leiding in periode 0,4 br/periode	3 br/periode
Geschat aantal breuken nieuwe leiding in periode 0,4 br/periode	0,4 br/periode
Totale kosten van breuken oude leiding 15000 €	15000 €
Totale kosten van breuken nieuwe leiding 2000 €	2000 €
Kosten breuken van oude leiding 0.75 €/jr/m	0.75 €/jr/m
Kosten breuken van nieuwe leiding 0.1 €/jr/m	0.1 €/jr/m
Contante kosten breuk oud 11 €/m	11 €/m
Contante kosten breuk nieuw 1 €/m	1 €/m
Contante kosten bij vervangen heden 251 €/m	251 €/m
Contante kosten vervangen toekomst 177 €/m	177 €/m
Vershil	74 €/m

Stap 3: Inclusief kosten voor inspectie	
Input	Vaste kosten inspectiebedrijf 5000 € Kosten inspectiebedrijf per meter 30 €/m Kosten inbouwen 3000 € Kosten waterbedrijf per meter 2 €/m
Berekening	Totale kosten inspectie 40 €/m
Contante kosten breuk oud 11 €/m	11 €/m
Contante kosten breuk nieuw 1 €/m	1 €/m
Contante kosten bij vervangen heden 251 €/m	251 €/m
Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 217 €/m	217 €/m
Vershil	34 €/m
Stap 4 Inclusief kosten inspectie met neg. resultaat	
Input	Succesfactor 80%
Berekening	Totale kosten inspectie 50 €/m
Contante kosten bij vervangen heden 251 €/m	251 €/m
Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 227 €/m	227 €/m
Vershil	24 €/m
Stap 5 Inclusief fout negatieve resultaten	
Input	gem fout voorspelling (fout negatief) 5% Levensduurverloring 50% Vervangingskosten t50% solo 300 €/m
Berekening	Lengte verkeerd geschatte conditie 50 m
Gecorrigeerde restlevensduur 10 jaar	10 jaar
Contante kosten verv t50% 223 €/m	223 €/m
Contante kosten vervangen 169 €/m	169 €/m
Kosten inspectie, incl succesfactor 50 €/m	50 €/m
Contante kosten bij vervangen heden 251 €/m	251 €/m
Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 230 €/m	230 €/m
Vershil	21 €/m 8%

Business case: Toepassing van conditiebepalingstechnieken AC 100 mm stedelijk Algemene uitgangspunten Voor alle berekeningen wordt het huidige prijsniveau gehanteerd. Gewenste periode van uitstel van investeringen: 20 jaar Beschouwde lengte 1000 meter Netto rente 3,00% Toekomstige uitvoering als solo-werk Uitgangspunten business cases materiaal oud AC materiaal nieuwe PVC diameter 100 omgeving van uitvoering Stedelijk Bestrating wel uitvoering heden in combi	
Stap 1: Kostenvergelijking heden combi-uitvoering en toekomst solo	
Input	Vervangingskosten heden 120 €/m Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo 150 €/m
Berekening	Contante kosten bij toekomstige vervanging 83 €/m Verschil 37 €/m
Stap 2: Kapitaliseren van kosten van leidingbreuken	
Input	Vervangingskosten heden 120 €/m Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo 150 €/m Breukfrequentie oud 0,15 br/km/jr Breukfrequentie nieuw 0,02 br/km/jr Kosten breuk 2000 €
Berekening	Contante toekomstige kosten 83 €/m Geschat aantal breuken oude leiding in periode 3 br/periode Geschat aantal breuken nieuwe leiding in periode 0,4 br/periode Totale kosten van breuken oude leiding 6000 € Totale kosten van breuken nieuwe leiding 800 € Kosten breuken van oude leiding 0,3 €/jr/m Kosten breuken van nieuwe leiding 0,04 €/jr/m Contante kosten breuk oud 4 €/m Contante kosten breuk nieuw 1 €/m Contante kosten bij vervangen heden 121 €/m Contante kosten vervangen toekomst 88 €/m Verschil 33 €/m

Stap 3: Inclusief kosten voor inspectie Input Vaste kosten inspectiebedrijf 5000 € Kosten inspectiebedrijf per meter 30 €/m Kosten inbouwen 2000 € Kosten waterbedrijf per meter 2 €/m	
Berekening	Totale kosten inspectie 39 €/m Contante kosten breuk oud 4 €/m Contante kosten breuk nieuw 1 €/m Contante kosten bij vervangen heden 121 €/m Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 127 €/m Verschil -6 €/m
Stap 4 Inclusief kosten inspectie met neg. resultaat	
Input	Succesfactor 80%
Berekening	Totale kosten inspectie 49 €/m Contante kosten bij vervangen heden 121 €/m Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 136 €/m Verschil -16 €/m
Stap 5 Inclusief fout negatieve resultaten	
Input	gem fout voorspelling (fout negatief) 5% Levensduurverkortng 50% Vervangingskosten t50% solo 150 €/m
Berekening	Lengte verkeerd geschatte conditie 50 m Gecorrigeerde restlevensduur 10 jaar Contante kosten verv 112 €/m Contante kosten vervangen 84 €/m Kosten inspectie, incl succesfactor 49 €/m Contante kosten bij vervangen heden 121 €/m Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie 138 €/m Verschil -17 €/m -14%

III Gevoeligheid business case

Business case: Toepassing van conditiebepalingstechnieken AC 300 mm landelijk		Zie voorbeeld paragraaf 7.2					
Algemene uitgangspunten Gewenste periode van uitstel van investeringen: 20 jaar Beschouwde lengte 1000 meter Netto rente 3% Toekomstige uitvoering als solo-werk							
Uitgangspunten business cases materiaal oud AC materiaal nieuwe PVC diameter 300 omgeving van uitvoering landelijk Bestrating geen uitvoering heden in solo							
		Herkomst	P10	P30	P50	P70	P90
Stap 1: Kostenvergelijking heden en toekomst solo							
Input							
Vervangingskosten heden	250 €/m	input	220	235	250	265	280
Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo	250 €/m	input	200	235	250	275	320
Berekening							
Contante kosten bij toekomstige vervanging	138 €/m	Berekend	111	130	138	152	177
Verschil	112 €/m	Percentielwaarden	70	91	109	126	147
Stap 2: Kapitaliseren van kosten van leidingbreuken							
Input							
Vervangingskosten heden	250 €/m	input	0,08	0,12	0,15	0,22	0,3
Vervangingskosten toekomst, uitvoering in solo	250 €/m						
Breukfrequentie oud	0,15 br/km/jr						
Breukfrequentie nieuw	0,02 br/km/jr						
Kosten breuk	5000 €	input	2000	3500	5000	7000	10000
Berekening							
Contante toekomstige kosten	138 €/m	Berekend	111	130	138	152	177
Geschat aantal breuken oude leiding in periode	3 br/periode	Berekend	1,6	2,4	3,0	4,4	6,0
Geschat aantal breuken nieuwe leiding in periode	0,4 br/periode	Berekend	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5
Totale kosten van breuken oude leiding	15000 €	input	8000	12000	15000	22000	30000
Totale kosten van breuken nieuwe leiding	2000 €	input	1500	1800	2000	2300	2500
Kosten breuken van oude leiding	0,75 €/jr/m	Percentielwaarden	0,3	0,5	0,8	1,1	1,9
Kosten breuken van nieuwe leiding	0,1 €/jr/m	Percentielwaarden	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
Contante kosten breuk oud	11 €/m	Berekend	4	8	11	16	28
Contante kosten breuk nieuw	1 €/m	Berekend	1	1	1	2	3
Contante kosten bij vervangen heden	251 €/m	Berekend	222	237	251	266	281
Contante kosten vervangen toekomst	150 €/m	Berekend	124	142	155	166	187
Verschil	102 €/m		59	80	97	112	135
Stap 3: Inclusief kosten voor inspectie							
Input							
Vaste kosten inspectiebedrijf	5000 €						
Kosten inspectiebedrijf per meter	30 €/m						
Kosten inbouwingen	10000 €						
Kosten waterbedrijf per meter	2 €/m						
Berekening							
Totale kosten inspectie	47 €/m	input	30	40	47	52	60
Contante kosten breuk oud	11 €/m		4	8	11	16	28
Contante kosten breuk nieuw	1 €/m		1	1	1	2	3
Contante kosten bij vervangen heden	251 €/m		222	237	251	266	281
Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie	197 €/m	Percentielwaarden	171	185	202	214	231
Verschil	55 €/m	Percentielwaarden	12	35	50	66	89
Stap 4 Inclusief kosten inspectie met neg. resultaat							
Input							
Succesfactor	80%	input	70%	75%	80%	85%	90%
Berekening							
Totale kosten inspectie	59 €/m	Percentielwaarden	39	50	58	66	75
Contante kosten bij vervangen heden	251 €/m		222	237	251	266	281
Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie	208 €/m	Percentielwaarden	181	199	212	225	243
Verschil	43 €/m	Percentielwaarden	1	23	39	55	78
Stap 5 Inclusief fout negatieve resultaten							
Input							
gem fout voorspelling (fout negatief)	5%	input	0%	3%	5%	7%	10%
Levensduurverkorting	50%	input	250	285	300	325	370
Vervangingskosten t50% solo	300 €/m						
Berekening							
Lengte verkeerd geschatte conditie	50 m	Berekend	0	30	50	70	100
Gecorrigeerde restlevensduur	10 jaar	Berekend	186	212	223	242	275
Contante kosten verv t50%	223 €/m						
Contante kosten vervangen	143 €/m	Percentielwaarden	116	135	143	156	179
Kosten inspectie, incl succesfactor	59 €/m	Percentielwaarden	5	8	11	16	27
Contante kosten bij vervangen heden	251 €/m		222	237	251	266	281
Cont. kosten vervangen toekomst, incl. inspectie	213 €/m	Percentielwaarden	183	201	217	229	252
Verschil	39 €/m	Percentielwaarden	-5	20	35	52	75

IV Analyse fenolftaleïne testen WML

Samenvatting

WML verzamelt uitlogingsgegevens van AC leidingen; vanaf 2006 wordt in principe bij elke opgegraven AC leiding een fenolftaleïne test uitgevoerd om daarmee de mate van uitloging kwantitatief vast te stellen. De door WML beschikbaar gestelde inspectiegegevens van 65 locaties zijn in eerste instantie getoetst op hun volledigheid. Om de resultaten van de fenolftaleïne testen goed te kunnen gebruiken voor voorspelling van de levensduur van AC leidingen, zijn gegevens zoals jaar van aanleg van de buis en de aard en oorzaak van storing van de leiding cruciaal. Ook locatiegegevens met specifieke omgevingsfactoren als grondsoort en ligging en het grondwater zijn van belang. In een aantal gevallen bleek dat er onvoldoende gegevens waren ingevuld, zoals het huisnummer (locatie) en omgevingsfactoren als de grondsoort en de ligging in het grondwater. Door het naast elkaar leggen van diverse leiding- en storingsdatabestanden en gebruik van GIS is getracht alsnog de benodigde informatie te verzamelen. Voor ongeveer de helft van de metingen is dat gelukt.

Via beschrijvende statistiek is onderzocht of er relaties zijn tussen de inspectieresultaten en de bijbehorende gegevens van leidingen en hun omgeving. De volgende conclusies zijn te trekken:

- Uitwendige uitloging treedt vooral op bij de kleinere diameter AC buizen, van 50 tot 150 mm.
- De inwendige uitloging was het grootst bij AC buizen met een diameter tussen 200 en 300 mm; er is geen relatie gezocht met de drinkwaterkwaliteit (SI) in de buizen.
- Van de onderzochte AC buizen is binnen één diameterklasse een grote variatie zichtbaar van de gemeten effectieve wanddikte, hierdoor is het niet mogelijk een voorspelling te geven van de levensduur van groepen leidingen.
- De gemiddelde som van in- en uitwendige uitloging als percentage van de wanddikte lijkt geen verband te hebben met de diameterklasse, voor de leidingdiameters tussen de 100 en 300 mm bedraagt de totale uitloging 25 – 30% van de oorspronkelijke wanddikte.
- Er is geen relatie zichtbaar tussen de uitwendige uitloging en de bodemsoort en/of de grondwaterstand.
- Op basis van een lineair verband, met een uitloging van 0% voor nieuwe buizen, bedraagt voor AC buizen van 50 jaar oud de gemiddelde uitloging (inwendig plus uitwendig) circa 35% van de oorspronkelijke wanddikte bij aanleg. De significantie van deze relatie is echter zeer beperkt ($R^2 = 0,03$).

Bij de beoordeling van conditie van de AC leidingen zijn de benodigde sterkte en veiligheid van belang. Met behulp van een methode om minimaal benodigde effectieve wanddikte te berekenen (zie Slaats en Mesman, 2004) op basis van de specifieke belastingsituaties, is nagegaan wat de theoretische maximale uitloging mag zijn. Voor een typische situatie voor WML (ligging in zand, gronddekking 1 m, Verkeersklasse 30 en inwendige waterdruk van 0,9 MPa), mag de maximale uitloging (som van inwendig en uitwendig) variëren van 54% voor een 80 mm leiding tot 38% voor een 200 mm leiding.

Algemene conclusies en aanbevelingen:

- De fenolftaleïne test bevestigt eerder onderzoek, het is een eenvoudige methode om inzicht te krijgen in de mate van uitloging van AC leidingen. De test is snel en relatief goedkoop en geeft direct informatie over de toestand van de leiding.
- Om over de mate en snelheid van uitloging voor specifieke omstandigheden een statistisch betrouwbare uitspraak te doen, is een groot aantal monsters nodig, met een goede verdeling over het te beschouwen leidingcohort.
- Belangrijk is dat de resultaten van de fenolftaleïne testen gerelateerd worden aan de leidinggegevens, aard en oorzaak van een eventuele storing en de situatie rondom de leiding.
- Het advies aan WML en andere waterleidingbedrijven is om bij de registratie en toekomstige analyse van resultaten van fenolftaleïne testen aan te sluiten bij U-STORE.
- Om de monteurs gemotiveerd te houden om de testen uit te voeren, is terugkoppeling van resultaten gewenst.

1. Inleiding

Bij WML zijn de afgelopen jaren uitlogingsgegevens verzameld van AC leidingen. Er is zo'n 10 jaar ervaring met de fenolftaleïne-test. Sinds drie jaar wordt dit, conform het WML-beleid, strikter uitgevoerd bij elke opgegraven AC leiding vanwege een storing of geplande werkzaamheden. Naar schatting wordt nu in circa 90% van de gevallen waarbij buisdelen vrijkomen met een vers AC breukvlak een fenolftaleïne-test uitgevoerd. Het belang is bij de monteurs nog niet altijd duidelijk en mogelijk wordt de meting ook niet altijd voldoende nauwkeurig gedaan. Er is binnen WML geen duidelijke terugkoppeling over de resultaten en kwaliteit van deze metingen.

WML heeft een lijst met 65 resultaten van fenolftaleïne-testen van Midden-Limburg uit de periode 10 april 2006 t/m 14 mei 2009 aangeleverd. Het aandeel van deze testen schatten we op 30 tot 35% van het totale aantal storingen aan AC buizen. Van januari 2003 t/m februari 2006 werden namelijk gemiddeld 223 storingen/jaar op AC- hoofdleidingen geregistreerd (Vloerbergh en Blokker, 2007). In 2009 werden in een half jaar 90 storingen aan AC buizen in U-STORE geregistreerd.

In het kader van BTO Bouwstenen leidingnetbeheer heeft KWR deze lijst met fenolftaleïne-testen geanalyseerd op volledigheid, eenduidigheid en bruikbaarheid voor het saneringsbeleid van AC leidingen. Op basis van deze analyse worden aanbevelingen gedaan voor verbetering van de huidige werkwijze bij WML en wordt tevens een opzet voor een meer algemene procedure beschreven.

2. AC storingsgegevens

2.1 Volledigheid van AC storingsdatabestand

Tabel IV.1 geeft een beeld van de geregistreerde gegevens en factoren van AC-storingen waarbij een fenolftaleïne-test is uitgevoerd. Enkele waarnemingen waren niet bruikbaar door foutieve waarden. Verder omvat de registratie ook een aantal administratieve gegevens die verder geen rol spelen in de technische analyse.

Tabel IV.1. Door WML in de periode 10 april 2006 t/m 14 mei 2009 geregistreerde en via GIS/LIS achterhaalde storingsfactoren, gegevens van AC buizen waarop een fenolftaleïne-test is uitgevoerd

Bron	Situationele factoren	Geregistreerde factoren	Aantal ingevuld (bruikbaar)	Aantal achterhaald via GIS en LIS
WML	Administratief	Volgnummer	65	nvt
	Storingsdatum	Datum	55	
	Locatie	Plaats	65	
	Locatie	Straatnaam	65	
	Locatie	Huisnr.	51	
	Locatie	Postcode	65	
	Leidingnet	Diameter leiding mm	63	
	aard storing	Uitwendig max. in mm	61 (57)	
	aard storing	Inwendig max. in mm	61 (58)	
	aard storing	Wanddikte buis op	61 (59)	
	aard storing	Uitloging in %	61	
	aard storing	Foto	63	
	Omgevingsfactoren	Ligt leiding in	55	
	Omgevingsfactoren	Grondsoort	34	
	Administratief	Lekkage nummer	43	
	Administratief	SO onderzoeksnummer	16	
Aanvullend door KWR	GIS/LIS-gegevens	x-coörd	nvt	64
		y-coörd		64
		bodemsoort		64
		EERSTE_GWT		37
		GHG_cm		37
		GLG_cm		37
		jaar van aanleg		44

In de door WML aangeleverde gegevens ontbreekt voor alle 65 storingsgegevens de volgende relevante informatie, zoals beschreven in het protocol voor U-STORE (Vloerbergh, 2008):

- x- en y-coördinaten
- betreft het een storing op de AC buis zelf of op de verbinding?
- aard van de storing: bijvoorbeeld puntlek, rond- of scherfbreuk
- bescherming uitwendig: geen of bitumenspray (inwendige bescherming is bij AC buizen niet van toepassing)
- jaar van aanleg
- vermoedelijke oorzaak: derden/aantasting uit-of inwendig/aanlegfout/uitwendige belasting
- eventuele aanwezigheid van verontreiniging en/of bomen op korte afstand (< 2m)
- dikte gronddekking
- mate van verkeersbelasting

Daarnaast is door mogelijke uitloging ook de drinkwaterkwaliteit (SI) gedurende de levensduur van de AC buis van belang. Er is vanwege de reikwijdte van dit onderzoek geen actie ondernomen om de SI (actueel en historisch) van het leidingwater in betreffende AC buizen te achterhalen.

KWR heeft een deel van de locatie-informatie aangevuld door middel van zoekopdrachten via postcode en huisnummer. Verder is gebruik gemaakt van een storingslijst uit 2006 voor het achterhalen van het aanlegjaar en U-STORE-gegevens over het eerste halfjaar van 2009. Van 2007 en 2008 waren geen aanvullende storingslijsten beschikbaar. Vervolgens zijn gegevens over bodem en grondwatertrap via GIS-analyse achterhaald en is de dichtstbijzijnde leiding in het LIS opgespoord.

Door het soms ontbreken van huisnummers zijn niet alle x- en y-coördinaten betrouwbaar. Verder is alleen van 37 locaties buiten de bebouwing, een bodemsoort, grondwatertrap (EERSTE_GWT) en grondwatervariatie (GHG_cm en GLG_cm) te bepalen. Uiteindelijk bleven van de 65 storingslocaties 32 locaties over met een eenduidige locatie, diameter en jaar van aanleg van de AC buis.

2.2 Storingsanalyse AC leidingen

Relevante analysedoelen van storings- en onderzoeksgegevens voor AC leidingen zijn (Vloerbergh en Blokker, 2007):

- in beeld krijgen welke parameters van invloed zijn op de conditie van AC buizen en het op basis daarvan samenstellen van populaties met AC leidingen. Deze populaties bestaan uit groepen leidingen met bepaalde kenmerken die voldoende homogeen te achten zijn voor wat betreft de kwaliteitsontwikkeling. Te denken valt aan groepen van bijvoorbeeld leeftijd, diameter, grondsoort, ligging in grondwater en jaar van aanleg.
- de relatie tussen de conditie van een AC buis en de daarop van invloed zijnde parameters;
- het berekenen van een actuele conditie (effectieve wanddikte) en een richtingscoëfficiënt voor de kwaliteitsafname in de tijd.

Bij het analyseren van de resultaten van de fenolftaleïne testen van WML hebben we ons beperkt tot alleen analyse van de gegevens als vermeld in Tabel IV.1. De locatie van de metingen is weergegeven op het kaartje aan het eind van deze bijlage.

Vanwege de beperkte grootte van deze steekproef (n=65) en reikwijdte van dit onderzoek zijn bepaalde analyses niet uitgevoerd. Een meer uitgebreide storingsanalyse kan aan waarde winnen door de volgende extra stappen:

- het betrekken van andere AC storingsgegevens uit bijvoorbeeld U-STORE, dus ook zonder fenolftaleïne test, bij de analyse
- het uitgebreider relateren aan LIS- en GIS-gegevens om bij voorbeeld de storingsfrequentie per bijvoorbeeld leeftijd, ligging per bodemsoort en per diameterklasse te bepalen
- het verzamelen van historische gegevens over bijvoorbeeld de waterkwaliteit en drukhoogte per leidingstoring.

2.3 Visuele inspectie met fenolftaleïne oplossing

Verse breukvlakken of geknpte delen van een AC leiding worden bevochtigd met een 0,1% fenolftaleïne oplossing. Door agressief water kan een deel van de AC buis uitlogen; een deel van de cement uit de

betonnen buis lost op. Delen van de AC buis die nog niet aangetast zijn, kleuren tijdens de test paars door de nog aanwezige hydroxide.

Door WML zijn drie bepalingen gedaan tijdens deze test:

- de maximale uitwendige uitloging in mm
- de maximale inwendige uitloging in mm
- de wanddikte van de buis op de plaats waar de uitloging maximaal is in mm

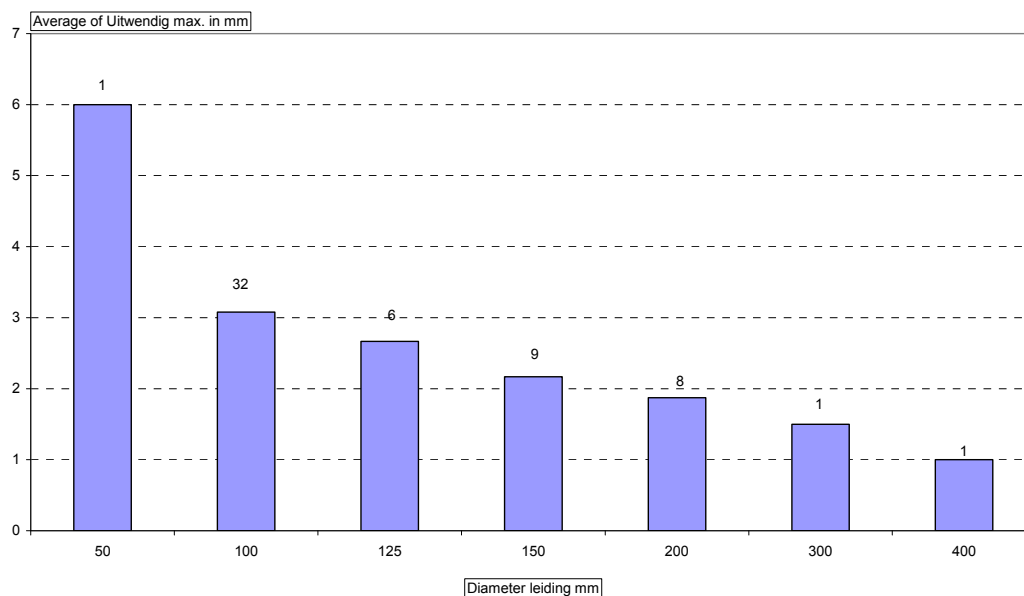
Op basis van deze metingen zijn de volgende kentallen berekend:

- het uitlogingspercentage; gelijk aan totaal maximale in- en uitwendige uitloging gedeeld door de wanddikte.
- de effectieve wanddikte; gelijk aan de wanddikte minus totaal maximale in- en uitwendige uitloging.

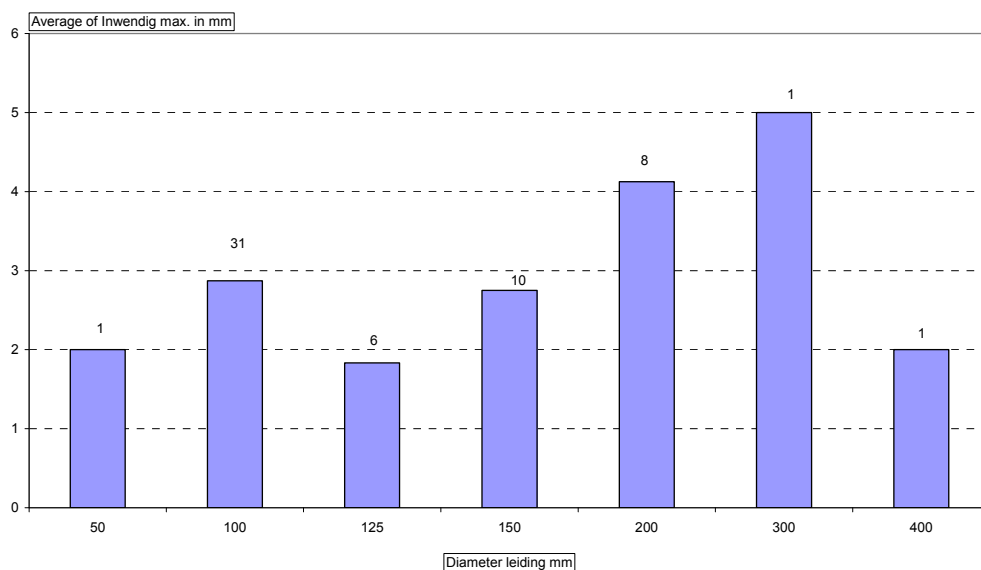
2.4 Analyse van waarden fenolftaleïne test

Via beschrijvende statistiek wordt een beeld gegeven van de relatie van de uitkomsten van de fenolftaleïne test en bijbehorende beschikbare gegevens van de leidingen.

Op basis van Figuur IV.1 lijkt de uitwendige uitloging groter naarmate de diameter van de AC buizen kleiner is. Voor de inwendige uitloging is geen duidelijk verband met de diameter; de hoogste gemiddelde maximale inwendige uitloging per diameterklasse komt voor bij diameters van 200 tot 300 mm; zie Figuur IV.2.

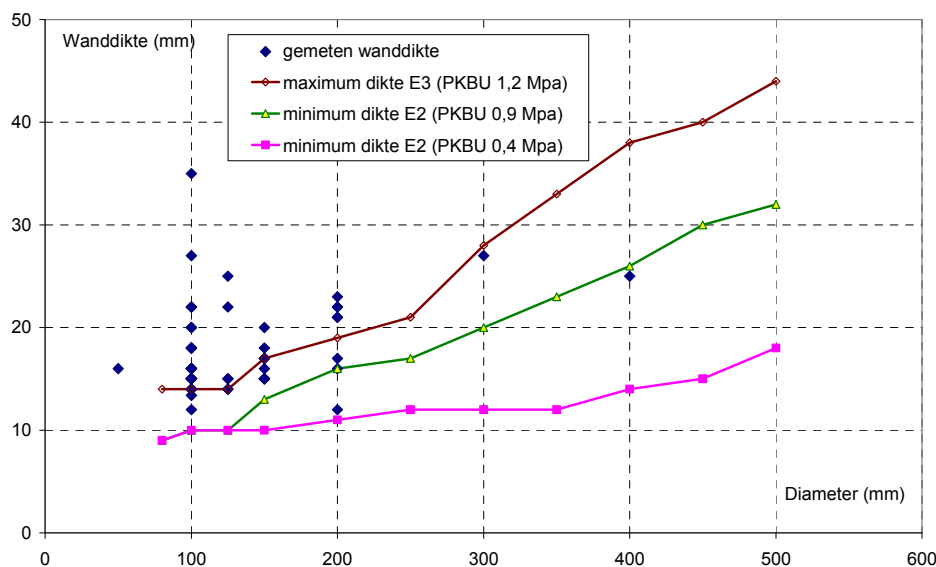


Figuur IV.1 Gemiddelde maximale uitwendige uitloging per diameterklasse (boven de balken is het aantal waarnemingen weergegeven)



Figuur IV.2 Gemiddelde maximale inwendige uitloging per diameterklasse (boven de balken is het aantal waarnemingen weergegeven)

Er blijkt een grote spreiding in de gemeten wanddikte van de AC buizen per diameterklasse (Figuur IV.3). Door verbetering van de kwaliteit van de AC buizen in de tijd, kon de wanddikte verminderd worden. Om dit te illustreren zijn de gemeten wanddikten uitgezet tegen de KIWA- en NEN-kwaliteitsnormen uit het productoverzicht van Eternit BV (1980). Weergegeven zijn de minimale en maximale wanddikten van AC buizen voor de drinkwatervoorziening met drukklasse 0,9 en 1,2 MPa. Ter vergelijking is ook de minimale wanddikte weergegeven van AC buizen met drukklasse 0,4 MPa; welke bijvoorbeeld bij de rioolafvoer gebruikt worden. De wanddiktes groter dan 20 mm in de klassen 100 en 125 mm wijken sterk af van de normen en betreffen mogelijk oudere AC buizen.



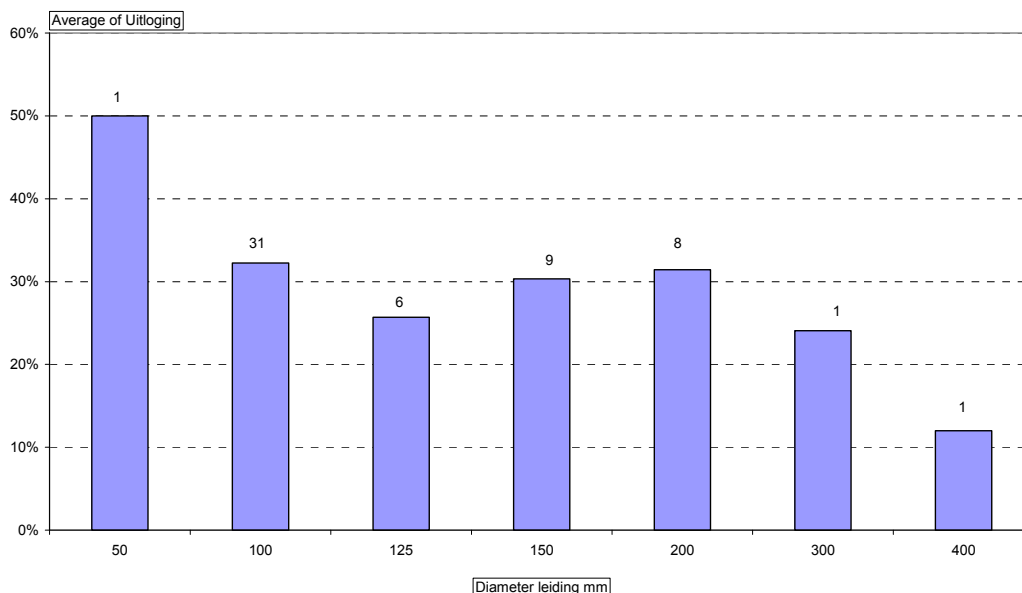
Figuur IV.3 Wanddikte per diameterklasse van AC buizen onderzocht met fenolftaleïne-test door WML en van AC buizen in het productoverzicht van Eternit BV (1980)

Kwaliteitontwikkeling en wanddikte AC buizen

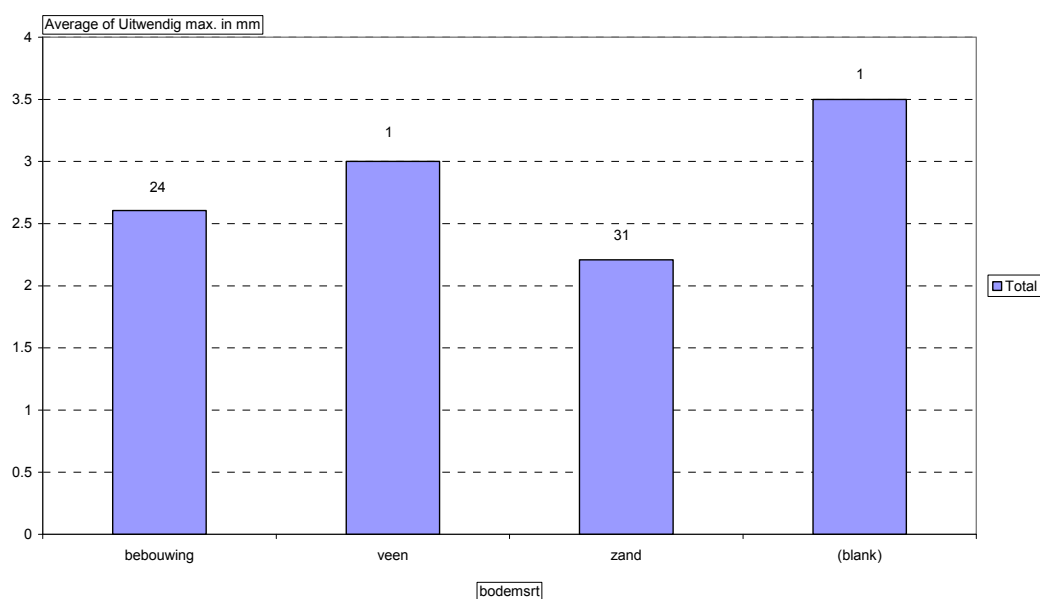
In 1928 zijn voor het eerst AC buizen in Nederland toegepast. Ze werden in de beginjaren geïmporteerd vanuit Italië en België. Vanaf 1936 zijn buizen van Nederlands fabricaat toegepast. In deze beginperiode worden voornamelijk buizen met relatief kleine diameters toegepast (tot 300 mm). Na de 2e Wereldoorlog groeide het aandeel AC buizen met diameters groter dan 300 mm. De kwaliteitseisen voor AC buizen zijn vastgelegd in KIWA keuringseisen nr. 17 en normblad NEN 3262. Gedurende de toepassingsduur van AC buizen zijn deze kwaliteitseisen meermalen gewijzigd, omdat de kwaliteit en de kwaliteitsbeheersing van het materiaal beter in de hand gehouden kon worden. Deze veranderingen in de eisen geven aan dat de uitgangskwaliteit en de toegepaste wanddikte voor AC buizen over de jaren heeft gevarieerd.

Verder speelt ook mee dat een kleine diameter buis niet te vervaardigen is in de exacte wanddikte die voor de sterkte noodzakelijk is, doordat de benodigde wanddikte te klein is voor het fabricageproces. Vooral kleine diameters (< 125 mm) zijn hierdoor overgedimensioneerd.

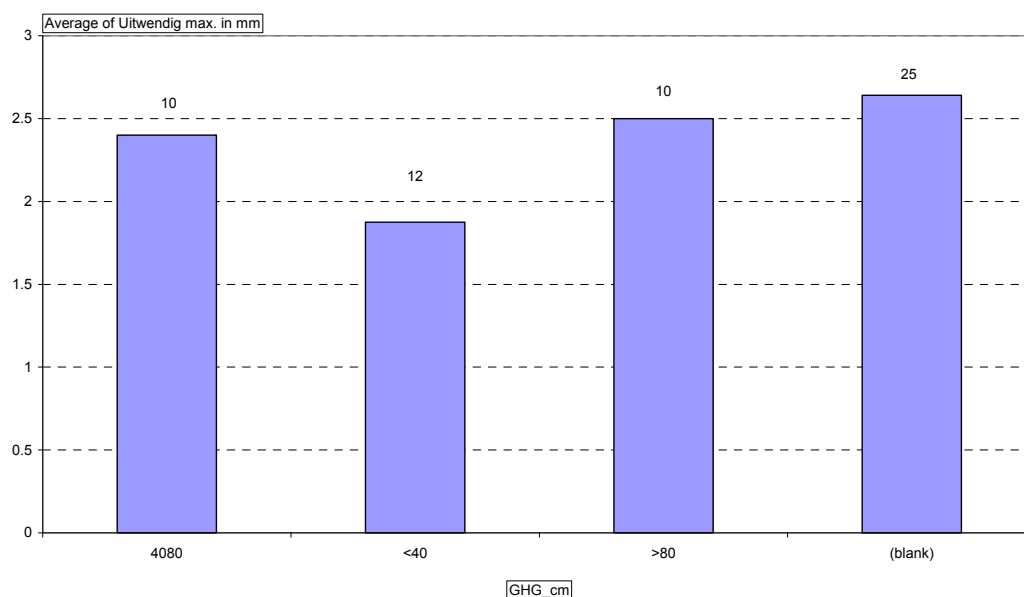
De totale uitloging blijkt volgens Figuur IV.4 geen duidelijke relatie te hebben met de diameter. Omdat de meeste leidingen in zand of bebouwd gebied liggen, is niet vast te stellen of er een relatie is tussen bodemsoort en de mate van uitwendige aantasting (Figuur IV.5). Ook de ligging in grondwater, gekozen is hier voor weergave van de GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand), toont volgens Figuur IV.6 geen verband met de uitwendige uitloging.



Figuur IV.4 Gemiddelde uitloging (totaal in- en uitwendig) per diameterklasse (boven de balken is het aantal waarnemingen weergegeven)

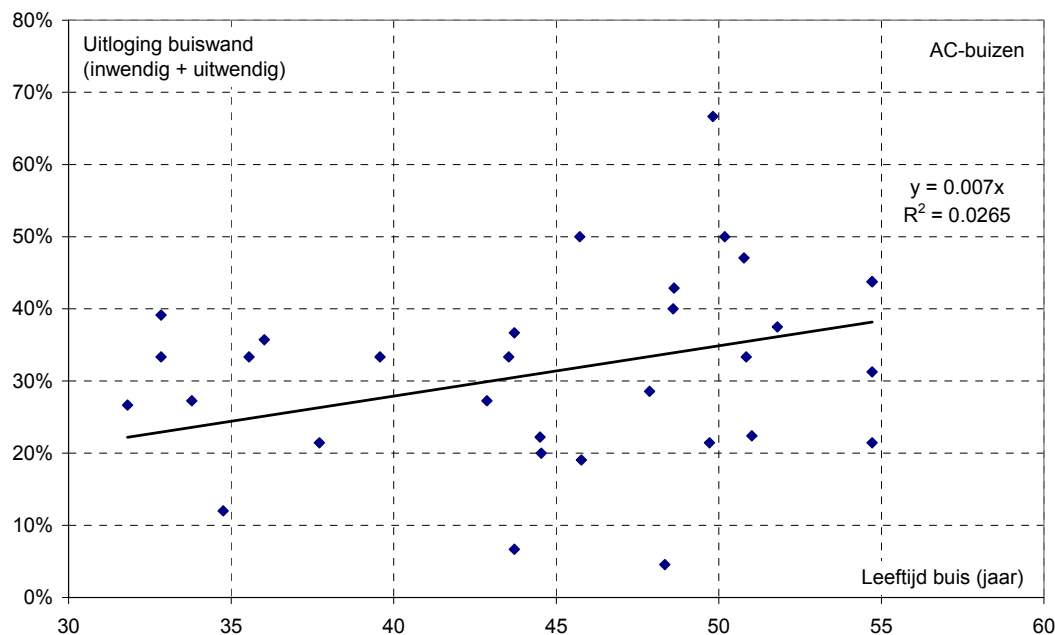


Figuur IV.5 Gemiddelde maximale uitwendige uitlogging per bodemsoort (boven de balken is het aantal waarnemingen weergegeven)



Figuur IV.6 Gemiddelde maximale uitwendige uitlogging per GHG-klasse; klasse 4080 ligt tussen <40 en >80 cm. (boven de balken is het aantal waarnemingen weergegeven).

Van 39 van de 64 metingen was het aanlegjaar in combinatie met de uitlogging van de AC buis bekend. Voor deze waarnemingen is de gemeten maximale uitlogging van de AC buiswand uitgezet tegen de leeftijd van de buis, zie Figuur IV.7. Op basis van een mogelijke lineaire trend, met een uitlogging van 0% voor nieuwe buizen, bedraagt de gemiddelde maximale uitlogging circa 35% voor AC buizen van 50 jaar. De significantie van deze relatie is echter zeer beperkt ($R^2 = 0,0265$).



Figuur IV.7 Maximale gemeten uitloging uitgezet tegen de leeftijd van de AC buizen

3. Beoordeling conditie AC leidingen

Leidingen voor drinkwater zijn over het algemeen overgedimensioneerd qua wanddikte voor de omstandigheden waarin leidingen toegepast worden (Slaats en Mesman, 2004). Deze overdimensionering zorgt voor een veiligheid tegen falen. De overdimensionering wordt veroorzaakt door een aantal onderdelen:

- Veiligheid in ontwerpbelasting; veiligheidsfactoren worden toegepast om te voorkomen dat constructies te snel bezwijken.
- Fabricageproces; variaties in het productieproces worden opgevangen door bijvoorbeeld extra wanddikte te produceren.
- Veiligheid door spreiding van materiaaleigenschappen; bij berekeningen wordt uitgegaan van een minimaal benodigde materiaalkwaliteit.

Voor het beheer van het leidingnet heeft overdimensionering een voordeel: de sterkte van de leiding kan achteruitgaan terwijl de veiligheid ervoor zorgt dat de buis blijft voldoen. De aanwezige veiligheid is hoger dan noodzakelijk en mag dus in bepaalde mate afnemen.

Op basis van een aantal factoren zijn in het rapport "Conditiebepaling asbestcement waterleidingen, wanddikte, belastingen" (Slaats en Mesman, 2004) berekeningen gemaakt en in grafiekvorm weergegeven van de benodigde wanddikte. Één van deze grafieken is gebruikt om het uitlogingspercentage te relateren aan de diverse diameters van AC buizen:

Tabel 2 geeft een voorbeeld van het maximaal toegestane uitlogingspercentage per AC buisdiameter voor een bepaalde situatie. Hierbij is uitgegaan van de productienorm van minimale wanddikten van AC buizen voor de drinkwatervoorziening met drukklasse 0,9 MPa (zie Tabel III.2). In de praktijk blijkt dat er vaak sprake is van grotere wanddiktes. Voor andere grafieken van andere bodemtypen, gronddekking, verkeersklassen en inwendige maximum waterdruk wordt verwezen naar Slaats en Mesman (2004).

Tabel IV.2. Voorbeeld van het maximaal toegestane uitlogingspercentage afhankelijk van de AC buisdiameter, buiseigenschappen en in- en uitwendige belasting

belasting	inwendige maximum druk 0,9 MPa	AC in zand, diepte = 1 m, verkeersklasse 30, inwendige maximum druk 0,9 Mpa
-----------	-----------------------------------	--

buis diameter (mm)	productienorm minimum wanddikte (mm)	benodigde wanddikte (mm) ivm sterkte	maximaal toegestane uitlogging (mm)	maximaal toegestane uitlogingspercentage
80	9	4.1	4.9	54%
100	10	5.1	4.9	49%
125	10	6.2	3.8	38%
150	13	7.5	5.5	42%
200	16	9.9	6.1	38%

De berekende waarden voor de maximaal toegestane uitlogging uit Tabel IV.2 komen qua orde grootte overeen met de geschatte uitlogging van 35% na 50 jaar volgens de aangenomen lineaire trend.

4. Conclusies en aanbevelingen

- De fenolftaleïne test bevestigt eerder onderzoek, het is een eenvoudige methode om inzicht te krijgen in de mate van uitlogging van AC leidingen. De test is snel en relatief goedkoop en geeft direct informatie over de toestand van de leiding.
- Om over de mate en snelheid van uitlogging voor specifieke omstandigheden een statistisch betrouwbare uitspraak te doen, is een groot aantal monsters nodig, met een goede verdeling over het te beschouwen leidingcohort.
- Belangrijk is dat de resultaten van de fenolftaleïne testen gerelateerd worden aan de leidinggegevens, aard en oorzaak van een eventuele storing en de situatie rondom de leiding.
- Het advies aan WML en andere waterleidingbedrijven is om bij de registratie en toekomstige analyse van resultaten van fenolftaleïne testen aan te sluiten bij U-STORE.
- Om de monteurs gemotiveerd te houden om de testen uit te voeren, is terugkoppeling van resultaten gewenst.

Literatuur

- Kiwa keuringseisen No. 17 (1959) Waterleidingbuizen en hulpstukken van asbestcement met nominale middellijnen tot en met 300 mm. KIWA Rijswijk (huidige status: vervallen)
- NEN 3262 (1988) Asbestcementbuizen en koppelingen voor drukleidingen – Eisen en beproevingsmethoden, NEN Delft (huidige status: ingetrokken)
- Slaats, P.G.G. en G.A.M. Mesman, 2004. Conditiebepaling asbestcement waterleidingen, wanddikte, belastingen. Kiwa, Nieuwegein. Rapport BTO 2003.039.
- Vloerbergh, I.N. en E.J.M. Blokker, 2007. Statistische Storingsanalyse, De mogelijkheden en beperkingen van de huidige storingsregistratie. KWR, Nieuwegein. Rapport BTO 2007.043
- Vloerbergh, I.N., 2008. U-STORE, Toelichting op en afspraken over uniforme storingsregistratie. KWR, Nieuwegein. Rapport BTO 2008.057

