

A close-up photograph of a person's hand, with fingers spread, pointing towards a digital map displayed on a screen. The map features various colors like green, blue, and yellow, representing different geographical or environmental data. The background is slightly blurred, focusing attention on the hand and the map.

BTO 2014.016 | December 2014

BTO rapport

De waarde van
exitbeoordelingen op
AC en GGIJ leidingdelen

BTO

De waarde van exitbeoordelingen op AC en GGIJ leidingdelen

BTO 2014.016 | December 2014

Opdrachtnummer
400554-034

Projectmanager
Nellie Slaats

Opdrachtgever
BTO- Thematisch onderzoek - Assetmanagement

Kwaliteitsborger(s)
Mirjam Blokker

Auteur(s)
Ralph Beuken, Ronald van Eijk, Nellie Slaats

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

Jaar van publicatie
2014

Meer informatie

T 030-6069758
E Ralph.Beuken@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



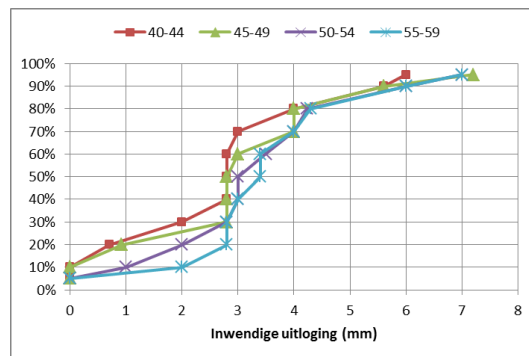
BTO 2014.016 | December 2014 © KWR

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

BTO Managementsamenvatting

Exitbeoordelingen, informatie over AC leidingen tegen lage kosten

Waterbedrijven kunnen exitbeoordelingen uitvoeren op leidingdelen die beschikbaar komen bij werkzaamheden. Zij gebruiken hiermee de gelegenheid om informatie verzamelen over de conditie van vergelijkbare leidingdelen. Nader onderzoek binnen het BTO duidt erop dat exitbeoordelingen een betrouwbare en representatieve databron zijn voor kennisregels over de conditie van groepen asbestcement (AC) leidingen, maar minder zinvol zijn voor groepen grijs gietijzeren leidingen (GGIJ). Exitbeoordelingen voor AC zijn goed en tegen aanvaardbare kosten uitvoerbaar. Ook is vastgesteld wat de beste aanpak is van (uniforme) registratie.



Aanbrengen van fenolftaleïne op een AC leidingdeel maakt duidelijk hoeveel leidingmateriaal is uitgelopen. Dit systematisch registreren geeft inzicht in de conditie. In dit voorbeeld hebben oudere leidingen meer inwendige uitloging dan nieuwere leidingen. Elke lijn representeert een aanlegperiode van 5 jaar.

Belang: vergroot de kennis over het leidingnet om vervangingsbeslissingen beter te onderbouwen

Als waterbedrijven de conditie van hun leidingnet kennen, weten ze welke leiding ze op welk moment moeten vervangen. Conditiebepaling door inwendige inspectie van leidingen is vaak moeilijk uitvoerbaar en duur. Bij exitbeoordelingen maakt het waterbedrijf gebruik van buismateriaal dat beschikbaar komt bij werkzaamheden, zoals reparaties, vervangingen of inbouwingen. Deze beoordelingen geven ook informatie over de conditie van vergelijkbare leidingen die nog in gebruik zijn. Exitbeoordelingen worden vooral toegepast op asbestcementen (AC) en grijs gietijzeren (GGIJ) leidingdelen. Binnen het thematische onderzoek van het BTO is onderzocht wat de toegevoegde waarde is van exitbeoordelingen voor kennisopbouw over de conditie van groepen leidingen.

Aanpak: toegevoegde waarde onderzocht aan de hand van drie deelvragen

De toegevoegde waarde van exitbeoordelingen voor kennisopbouw over de conditie van groepen leidingen is beoordeeld met drie vragen:

1. Zijn exitbeoordelingen een betrouwbare en representatieve databron voor kennisregels over de conditie van groepen leidingen?
2. Zijn exitbeoordelingen goed en tegen aanvaardbare kosten uitvoerbaar?
3. Wat is de beste wijze van registratie en analyse van exitbeoordelingen van AC en GGIJ leidingdelen?

Er is geïnventariseerd hoe exitbeoordelingen worden uitgevoerd door waterbedrijven en wat de ervaringen zijn in de gassector. Voor AC konden bovenstaande vragen beter worden onderbouwd omdat waterbedrijven meetresultaten hebben aangeleverd waarop analyses zijn uitgevoerd.

Resultaten: exitbeoordeling van AC heeft toegevoegde waarde voor kennisopbouw van de conditie van groepen leidingen, exitbeoordeling van GGIJ niet

AC, vraag 1: Exitbeoordelingen van AC vinden plaats tijdens werkzaamheden door aanbrenging van een pH-indicator (fenolftaleïne of thymolftaleïne). Door hiaten in de aangeleverde data konden geen generiek toepasbare kennisregels opgesteld worden. Uit deelverzamelingen zijn onderstaande resultaten verkregen:

- Inwendige en uitwendige uitloging neemt toe bij toenemende leeftijd.
- Inwendige uitloging neemt toe bij toenemende diameter.
- Uitwendige coating die in goede staat is, leidt tot verminderde uitwendige uitloging.
- De relatie tussen grondsoort en uitwendige uitloging kon voor een beperkte deel van de dataset worden onderscheiden.
- Er is minder inwendige uitloging aangetoond op locaties die voorzien zijn (geweest) door pompstations met geen of en zeer beperkte negatieve saturatie index van het uitgaande water.

In een ander BTO-project (Vonk, 2014¹) bleek bij een analyse met Kunstmatige Neurale Netwerken een verband tussen de inwendige uitloging en de locatie van de meting en de kwaliteit van het uitgaande water.

Het bovenstaande biedt aanknopingspunten om aan te nemen dat exitbeoordelingen een betrouwbare en representatieve bron zijn voor kennisopbouw over de conditie van groepen leidingen.

Exitbeoordelingen worden vooral uitgevoerd op leidingen die aan het einde van hun levensduur zijn. Voor representatieve kennis over groepen leidingen is het belangrijk ook beoordelingen uit te voeren op leidingen die zich niet bevinden aan het einde van hun levensduur, zoals bij inbouwingen of reconstructies.

AC, vraag 2: Bedrijven geven aan dat exitbeoordelingen goed uitvoerbaar zijn, tegen aanvaardbare kosten. Daarentegen is het ontgraven van leidingdelen voor destructieve beproeving niet kosteneffectief. In dergelijk gevallen is het goedkoper om andere inspectiemethoden in te zetten.

AC, vraag 3: Uit bestaande ervaringen blijkt dat verdere verbetering van de registratie van exitbeoordelingen mogelijk is. Het centraal opslaan en frequent aanleveren van analyseresultaten, zoals nu gebeurt met storings, is op dit moment niet zinvol. Wel is het zinvol om regelmatig analyses uit te voeren met uniform geregistreerde exitbeoordelingen. Deze analyses zijn mogelijk met traditionele vergelijkingen, zoals toegepast in deze studie, of met meer geavanceerde analysetechnieken zoals Kunstmatig Neurale Netwerken.

Exitbeoordelingen voor GGIJ vinden plaats door schulpenonderzoek in een laboratorium. Door de sterke variatie in de conditie van GGIJ leidingen, zelfs binnen één leidingdeel, zijn deze onderzoeken beperkt representatief. Een representatief beeld van de leidingdegradatie vereist een groot aantal monsters. Exitbeoordelingen van GGIJ leidingdelen zijn goed uitvoerbaar, de kosten hiervan zijn echter aanzienlijk. Gegeven de beperkte representativiteit en de kosten, zijn andere methoden geschikter voor kennisopbouw over de conditie van groepen GGIJ leidingdelen, zoals storingsanalyse, ePulse of in-line inspectie.

Implementatie: uniforme registratie van exitbeoordelingen op AC leidingdelen.

Waterbedrijven wordt aanbevolen exitbeoordelingen uit te voeren op AC leidingdelen die bij werkzaamheden beschikbaar komen, volgens de in het rapport geformuleerde richtlijnen. Naar verwachting biedt een bredere en uniforme toepassing van exitbeoordelingen op AC leidingdelen een efficiënte manier om kennis te genereren over de conditie van groepen leidingen. Het is niet aan te bevelen om met dat doel exitbeoordelingen op GGIJ leidingdelen uit te voeren.

Rapport

Dit thematisch onderzoek is beschreven in rapport *De waarde van exitbeoordelingen op AC en GGIJ leidingdelen* (BTO-2014.016).

¹ Vonk, Erwin (2014): *Het voorspellen van inwendige uitloging van asbestcementleidingen met een kunstmatig neuraal netwerk*, KWR BTO2014.211(s), Nieuwegein.

Inhoud

BTO Managementsamenvatting	1
Inhoud	2
1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding en doel	4
1.2 Leeswijzer	4
2 Exitbeoordelingen: achtergrond	6
2.1 Omvang van AC- en GGIJ-leidingen in Nederland en Vlaanderen	6
2.2 Storingen in AC-leidingen en GGIJ-leidingen	6
2.3 Conditiebepaling van leidingen	7
2.4 Actieve uitname	8
2.5 Exitbeoordelingen als onderdeel van assetbeleid	9
3 Exitbeoordelingen bij gasbedrijven	11
3.1 Het gasnet in Nederland	11
3.2 Exitbeoordelingen door Kiwa Technology	12
3.3 Lessen voor de watersector	13
4 Degradatie en methoden van exitbeoordeling van AC en GGIJ	14
4.1 Degradatie van AC	14
4.2 Exitbeoordeling AC leidingdelen	17
4.3 Degradatie van GGIJ	19
4.4 Exitbeoordeling GGIJ leidingdelen	21
5 Uitvoering exitbeoordelingen door drinkwaterbedrijven	24
5.1 Inventarisatie exitbeoordelingen AC leidingen	24
5.2 Inventarisatie exitbeoordeling GGIJ leidingen	26
6 Analyse van exitbeoordelingen AC	28
6.1 Toetsing uitloging op basis van één verklarende factor	28
6.2 USTORE resultaten voor AC leidingen	40
6.3 Toetsing uitloging op basis van meerdere verklarende factoren	41
7 Discussie	44
7.1 Kwaliteit datasets	44
7.2 Verklarende factoren voor uitloging AC	44
7.3 De waarde van exitbeoordelingen op AC leidingdelen	47

7.4	Perspectief voor exitbeoordelingen op AC leidingdelen	50
7.5	De waarde exitbeoordelingen op GGIJ leidingdelen	51
8	Conclusies en aanbevelingen	52
8.1	Conclusies	52
8.2	Aanbevelingen	54
9	Referenties	56
	Bijlage I Kosten-baten analyse actieve uitname AC leidingen	59
	Bijlage II Uitvoeren van fenolftaleïne testen	61
	Bijlage III Voorstel voor standaard registratieformulier fenolftaleïne test	63
	Bijlage IV Exitbeoordelingen in bedrijfsprocessen	65

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Leidingbreuken leveren overlast voor klanten en leiden tot reparatie- en schadekosten. Een leidingbreuk kan een incident zijn of een voorteken van het naderend einde van de technische levensduur van de desbetreffende leiding. Om dit onderscheid te maken en om een goede beslissing te kunnen nemen over het moment van vervangen, is informatie over de conditie van de leiding nodig.

De conditie van een leiding is niet eenvoudig vast te stellen. Dit heeft vooral te maken met de ontoegankelijke ligging in de ondergrond waardoor inspectie moeilijk en duur is. In geval van reparatie, vervanging of verlegging worden leidingen uitgenomen, waarna een goede gelegenheid ontstaat om tegen beperkte meerkosten de conditie hiervan te bepalen. Door de gestructureerde inzet van deze zogenaamde exitbeoordelingen wordt kennis verkregen over conditie van de betreffende leidingen, die daarmee beschikbaar komt voor de resterende leidingen.

In de afgelopen jaren hebben drinkwaterbedrijven vooral leidingen van asbestcement (AC) en grijs gietijzer (GGIJ) vervangen en zijn er exitbeoordelingen op deze materialen uitgevoerd. Exitbeoordelingen geven informatie over de conditie op een specifieke locatie. De vraag is of exitbeoordelingen ook toegevoegde waarde hebben voor een generieke kennisopbouw over het degradatiegedrag van groepen leidingen. Kennisopbouw is mogelijk door analyse van exitbeoordelingen en het aantonen van verbanden tussen meetbare verklarende factoren en de degradatie van AC leidingen door uitloging. Deze kennis helpt waterbedrijven een betrouwbare voorspelling te maken van de conditie van leidingcohorten en de juiste leiding op het juiste moment te saneren. De centrale vraag in dit onderzoek is te beantwoorden met behulp van drie deelvragen:

1. Zijn exitbeoordelingen een betrouwbare en representatieve databron voor kennisregels over de conditie van leidingcohorten?
2. Zijn exitbeoordelingen goed en tegen aanvaardbare kosten uitvoerbaar?
3. Wat is de beste wijze van kennisverzameling van exitbeoordelingen van AC leidingdelen?

Het doel van dit onderzoek is te bepalen of resultaten van exitbeoordelingen kunnen bijdragen aan kennisopbouw over de degradatie van leidingen. De meeste exitbeoordelingen vinden plaats op AC leidingen en ook is de kennisbehoefte van de Nederlandse waterbedrijven over dit materiaal het grootst. Om die reden gaat in dit rapport de meeste aandacht uit naar dit materiaal.

1.2 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de achtergrond geschetst van de toepassing van exitbeoordelingen in Nederland en Vlaanderen. In Hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de uitvoering van exitbeoordelingen door Nederlandse gasnetbeheerders. Een beschrijving van degradatie van AC en GGIJ leidingdelen wordt gegeven in Hoofdstuk 4. Hier wordt eveneens de uitvoering van exitbeoordelingen besproken. Hoofdstuk 5 beschrijft de huidige werkwijze van exitbeoordelingen door waterbedrijven aan de hand van opgestuurde vragenlijsten en interviews. Hoofdstuk 6 beschrijft analyses van meetresultaten verkregen uit fenoltaleïne testen die waterbedrijven hebben uitgevoerd. In Hoofdstuk 7 worden deze

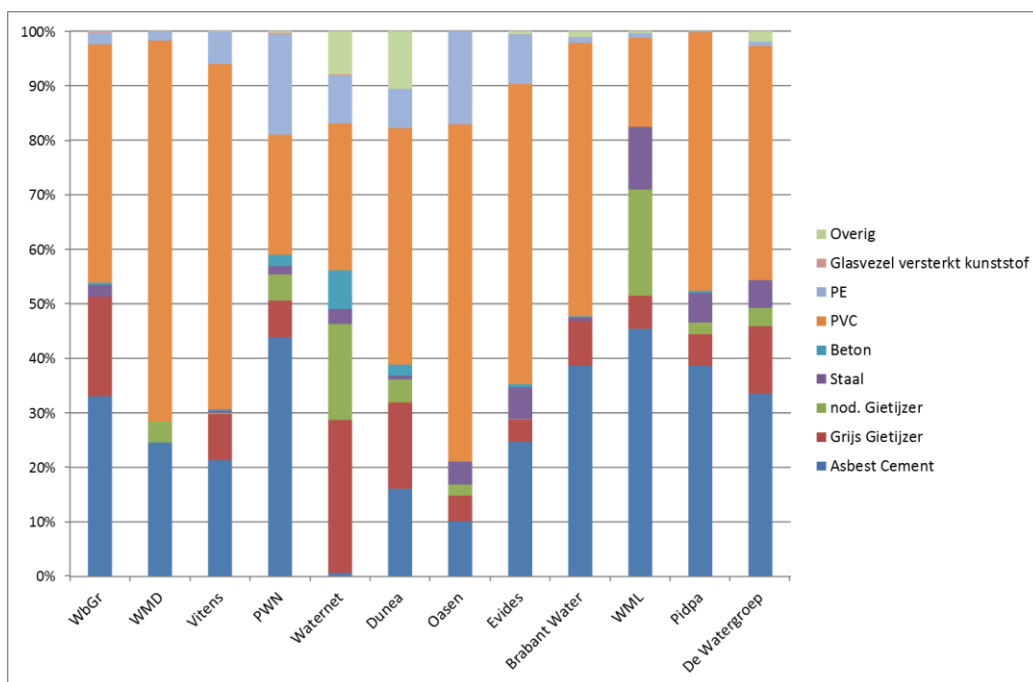
resultaten bediscussieerd en vergeleken met literatuur en resultaten van storingenanalyses. Conclusies en aanbevelingen worden gegeven in Hoofdstuk 8.

2 Exitbeoordelingen: achtergrond

2.1 Omvang van AC- en GGIJ-leidingen in Nederland en Vlaanderen

Om een beeld te hebben van de omvang van het toepassingsgebied van exitbeoordelingen voor leidingen van AC en GGIJ wordt in Figuur 2-1 een overzicht gegeven van de samenstelling van het drinkwaternet in Nederland en dat van de Vlaamse drinkwaterbedrijven Pidpa en De Watergroep. Dit overzicht bevat de samenstelling van het transport- en distributienet in Nederland (Geudens, 2013) en van de Vlaamse drinkdrinkwaterbedrijven Pidpa en De Watergroep, zoals verstrekt door deze bedrijven (situatie 2009).

Het Nederlandse leidingnet heeft een totale lengte van 117.600 km, hiervan bestaat 32.500 km (28%) uit AC en 9.800 km (8%) uit GGIJ. Het aandeel AC varieert van 1% (Waternet) tot 45% (WML) van de totale leidinglengte. Het aandeel GGIJ varieert van 0% (WMD) tot 28% (Waternet) van de totale leidinglengte. Bij de twee Belgische waterbedrijven Pidpa en De Watergroep bedraagt het aandeel AC respectievelijk 39% en 33% en het aandeel GGIJ respectievelijk 6% en 12%. Opvallend is dat er voor wat betreft het aandeel AC en GGIJ flinke verschillen zijn tussen de bedrijven.

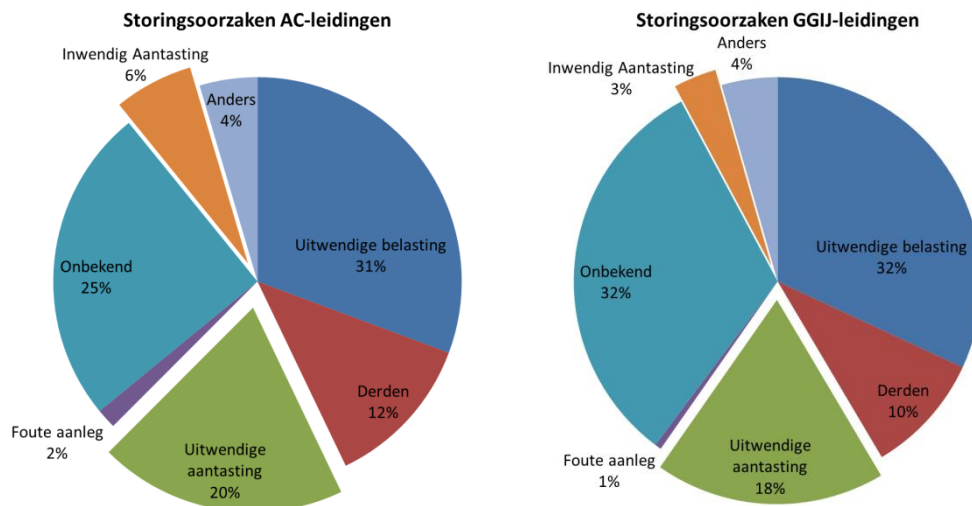


Figuur 2-1 Samenstelling van het transport- en distributienet in Nederland in 2010 (Geudens, 2013) en Vlaanderen in 2009 (opgave Pidpa en De watergroep).

2.2 Storingen in AC-leidingen en GGIJ-leidingen

Bij aanvang 2014 werden storingen in leidingen door zeven van de tien Nederlandse bedrijven geregistreerd in USTORE. Analyse van de oorzaak van storingen geeft inzicht in de mate waarin falen door een mechanische oorzaak optreedt en in hoeverre de aantasting zich voordoet aan de binnenzijde van de leiding of aan de buitenzijde van de leiding. Figuur 2-2

geeft een overzicht van de storingsoorzaken en de verdeling hiervan voor AC-leidingen en GGIJ-leidingen, zoals geregistreerd in de periode 2012 tot en met 2013. Er is voor deze beperkte periode gekozen omdat hierin de beste registratie van de storingsoorzaak heeft plaatsgevonden.



Figuur 2-2 Storingsoorzaken AC- en GGIJ leidingen in 2012 en 2013 (bron USTORE, mei 2014)

De analyse van de storingsoorzaken toont aan dat volgens opgave van de monteurs zowel bij AC als bij GGIJ uitwendige aantasting vaker wordt geconstateerd dan inwendige aantasting. Hieruit kan geconcludeerd worden dat aantasting van de buiswand door bodemoorzaken tot meer storingen leidt dan aantasting door oorzaken die zijn te relateren aan het medium drinkwater. Opgemerkt wordt dat het voor monteurs in de praktijk lastig blijkt de storingsoorzaak correct in te vullen en dat in beide analyses het aandeel van de storingsoorzaak 'Onbekend' aanzienlijk is.

2.3 Conditiebepaling van leidingen

Het leidingsysteem voor de distributie van drinkwater bevindt zich onder de grond. Dit betekent dat het na verloop van tijd moeilijk is om direct inzicht te krijgen in de technische staat van het leidingsysteem. Conditiebepalingstechnieken, ook wel inspectietechnieken genoemd, kunnen ingezet worden om een kwantitatief oordeel te geven van de conditie van een buisdeel of een leiding. Conditiebepaling is te definiëren als de combinatie van (i) monsterneming (indien van toepassing), (ii) beproeving of meting en (iii) vergelijking van de/het gemeten waarde of resultaat met een geldende grenswaarde of andere referentie voor een of meer parameters (Meerkerk et al., 2014). Het analyseren, interpreteren en bewerken van deze meetgegevens levert informatie over de huidige conditie van het leidingsysteem. Een belangrijke voorwaarde voor goede inzet van deze technieken is dat ze op een systematische, uniforme en toetsbare wijze informatie geven. Door de conditie uit te zetten in de tijd en af te zetten tegen een normconditie is de te verwachten levensduur te bepalen.

Er is een groot aantal technieken voor conditiebepaling beschreven. Voor een overzicht wordt verwezen naar Liu et al. (2012) en De kater et al. (2010). Deze technieken kunnen onderscheiden worden volgens onderstaande kenmerken.

Destructieve versus non-destructieve technieken

Bij destructieve technieken wordt een deel van het leidingmateriaal uitgenomen en ter plaatse of in een laboratorium beproefd. Bij non-destructieve technieken blijft de integriteit van de leiding intact. Wel kan het noodzakelijk zijn om de integriteit te verstoren om toegang te krijgen tot de leiding.

Inwendige versus uitwendige technieken

Bij inwendige technieken vindt de meting plaats vanuit de binnenzijde van de leiding. Daarvoor is het nodig toegang te verkrijgen tot de leiding, waarbij deze drukloos gemaakt wordt. Bij een uitwendige techniek blijft de leiding intact, echter deze zal over de te onderzoeken lengte ontgraven dienen te worden.

Lokale versus continue technieken

Met een lokale techniek wordt een conditiebepaling uitgevoerd van beperkte omvang. Dit houdt in dat onderzocht moet worden in hoeverre de meting representatief is voor een grotere leidinglengte. Bij continue technieken wordt de conditie over een grotere lengte bepaald.

Dig versus no-dig technieken

Bij zogenaamde dig technieken zal gegraven moeten worden om toegang te krijgen tot de leiding. Bij no-dig technieken vindt conditiebepaling plaats zonder te graven. Bij no-dig technieken kan een verder onderscheid worden gemaakt tussen technieken waar op bepaalde locaties gegraven dient te worden om een toegangspunt tot de leiding te creëren en technieken die volledig vanaf het straatoppervlak worden uitgevoerd.

De conditiebepaling met exitbeoordelingen vinden plaats wanneer door werkzaamheden (reparatie, vervanging of verlegging) een buisdeel wordt uitgenomen. Met oog op de hiervoor genoemde kenmerken kan een exitbeoordeling gekarakteriseerd worden als:

- destructief, aangezien er een leidingdeel wordt uitgenomen;
- niet inwendig en niet uitwendig, aangezien de conditiebepaling niet vanuit de binnenzijde of de buitenzijde plaatsvindt;
- lokaal, aangezien de conditie slechts over een beperkt deel van de leiding wordt bepaald;
- dig, aangezien de leiding wordt ontgraven.

Exitbeoordelingen kunnen worden toegepast op de leidingmaterialen AC, GGIJ en PVC. In het geval van AC wordt de fenolftaleïne-test¹ toegepast, waarbij na aanbrengen van fenolftaleïne de dikte van de buiswand wordt opgemeten waar kalk is uitgelooft. In het geval van GGIJ wordt schulpenonderzoek toegepast; door het stralen van een zogenaamde schulp wordt de corrosielaag verwijderd en kan de resterende wanddikte worden bepaald. Bij PVC leidingen kan een exitbeoordeling worden uitgevoerd door visueel breukvlakonderzoek, de DCMT-test voor vaststellen van de geleringsgraad en de meting van de weerstand tegen langzame scheurgroei. In dit rapport wordt nader ingegaan op exitbeoordelingen op leidingen van AC en GGIJ, aangezien deze methoden door waterbedrijven het meest worden toegepast. Voor een verdere bespreking hiervan, zie Hoofdstuk 3. Voor verdere bespreking van de methoden voor exitbeoordeling van PVC wordt verwezen naar Mesman et al. (2009).

2.4 Actieve uitname

In sommige gevallen wordt de fenolftaleïne-test of schulpenonderzoek toegepast om de conditie van een leiding te bepalen, zonder dat er sprake is van een uitname als gevolg van

¹ Waterbedrijven onderzoeken het gebruik van thymolftaleïne als alternatieve pH-indicator. Voor de leesbaarheid wordt in de meeste gevallen in dit rapport alleen gesproken over fenolftaleïne.

werkzaamheden. Hoewel dezelfde conditiebepalingsmethoden worden toegepast is hier geen sprake van een exitbeoordeling in strikte zin. In dergelijke gevallen wordt het begrip 'actieve uitname' gebruikt. In Bijlage I is een voorbeeld gegeven van een kosten-baten analyse van actieve uitname op een 100 mm AC leiding. Uit dit voorbeeld blijkt dat de kosten voor actieve uitname relatief hoog zijn en dat actieve uitname niet als kosteneffectieve wijze van inspecteren kan worden gezien.

2.5 Exitbeoordelingen als onderdeel van assetbeleid

2.5.1 Exitbeoordelingen: manieren van inzet

Er zijn vier manieren van toepassing van exitbeoordelingen, als dan niet uitgevoerd als actieve uitname, te onderscheiden.

1. Incidenteel onderzoek gekoppeld aan schadegevallen of bijzondere gebeurtenissen. Het doel is vaststellen of de toestand van de specifieke leiding voldeed aan de voor die situatie gestelde eisen.
2. Structureel onderzoek van alle vrijkomende leidingdelen. Hierbij wordt bij elke mogelijkheid die zich aandient, zoals vervanging of een storing, informatie verkregen over specifieke leidingen. Het doel is om informatie te verzamelen die, in combinatie met bijvoorbeeld storingsgegevens, gebruikt wordt voor onderbouwing van saneringsbeslissingen. Ook kan worden bepaald of de kennisregels die ten grondslag lagen aan de saneringsbeslissing juist waren.
3. Gericht onderzoek bij saneringsbeslissingen. Van een selectie van leidingen waarover een saneringsbeslissing genomen dient te worden, wordt de toestand met inspecties vastgesteld met als doel om te bepalen of saneren zinvol is. Hiervoor is actieve uitname noodzakelijk, gekoppeld aan resultaten van eerdere exitbeoordelingen.
4. Structureel onderzoek van het hele leidingnet of een cohort. Hierbij worden steekproefsgewijs en proactief inspecties uitgevoerd. Dit betekent veel graafwerk en verbrekingen van leidingen. Het doel is om tot een algemeen beeld te komen van de conditie van het gehele leidingnet of van geselecteerde cohorten.

2.5.2 Exitbeoordelingen: toepassingsniveau en representativiteit

Met een exitbeoordeling wordt informatie verkregen over de conditie van een specifieke buisdeel. De vraag is hoe representatief de exitbeoordeling is voor een groter leidingdeel. Anders gezegd hoeveel exitbeoordelingen zijn noodzakelijk om een betrouwbare uitspraak te krijgen van de conditie. Hierbij kunnen drie niveaus worden onderscheiden, namelijk hoe representatief is de meting (of zijn de metingen) voor een:

1. leiding, denk hierbij aan een leiding als een combinatie van buizen met gelijke eigenschappen;
2. groep leidingen in een geografische eenheid, vaak zijn in een bepaald gebied met vergelijkbare eigenschappen (bodem, waterkwaliteit, etc.) in een relatief korte periode meerdere leidingen aangelegd van het zelfde materiaal en vaak het zelfde fabricaat;
3. cohort, dit zijn relatief grote groepen leidingen met vergelijkbare eigenschappen, bijvoorbeeld alle AC leidingen in kalkarme grond, kleiner dan 400 mm en aangelegd voor 1960. Voor een gangbare indeling van cohorten zie Beuken en Mesman (2011).

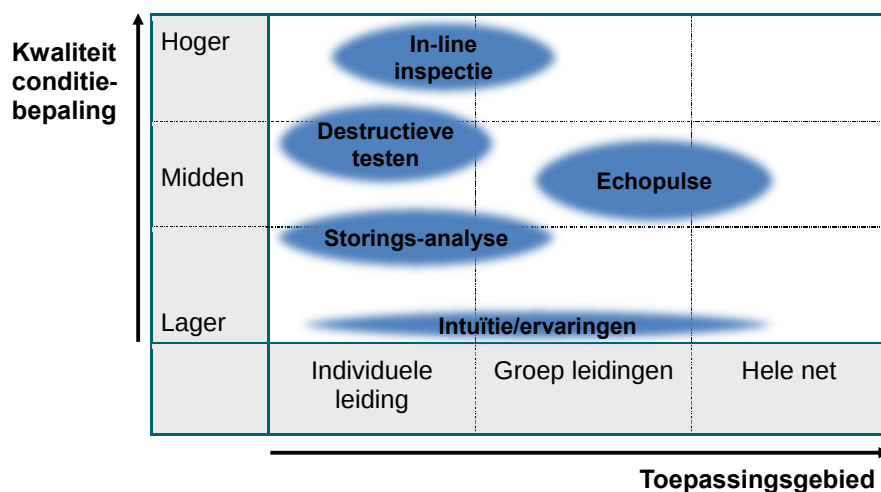
2.5.3 Exitbeoordelingen: relatie tot andere conditiebepalingstechnieken

Exitbeoordelingen is één van de bestaande methoden om kennis over de conditie van het leidingnet te verkrijgen. De methoden verschillen in aanpak, resultaat en kosten. Elke methode kent beperkingen en het beste resultaat is te bereiken wanneer methoden complementair worden ingezet. Op deze wijze dient elke methode als een aparte databron. De drinkwaterbedrijven zullen bij inzet van een databron steeds de afweging moeten maken in hoeverre de inspanning voor extra informatie over de conditie leidt tot beter gefundeerde

beslissingen. Op basis van toenemende kosten zijn de beschikbare databronnen als volgt in te delen:

1. Intuïtie/ervaringen, gebaseerd op lokale ervaringen van betrokkenen of experts met generieke kennis. Deze methode vergt nauwelijks kosten. Belangrijke aandachtspunten zijn de volledigheid en objectiviteit van de oordelen en de wijze van documentatie.
2. Analyse van storingen: door na te gaan hoe vaak leidingen storen (tot lekkage leiden) ontstaat een beeld welke type leidingen een grotere storingskans hebben. Door data centraal te verzamelen en te analyseren is informatie te krijgen over het gedrag van groepen leidingen. In dit kader is de storingsdatabase USTORE opgezet.
3. Destructieve conditiebepaling: in geval van storingen of werkzaamheden wordt een buisdeel uitgenomen en wordt hiervan de conditie bepaald. Exitbeoordelingen vallen in deze databron.
4. ePulse: dit betreft een nieuwe inspectiemethode die op basis van geluidmetingen een gemiddelde conditie vaststelt van de bemeten leidingsectie zonder dat hiervoor gegraven hoeft te worden. De techniek is toepasbaar voor metalen en cementhoudende leidingmaterialen. Voor meer informatie zie Beuken et al. (2013).
5. In-line inspectie: deze techniek geeft een zeer gedetailleerd beeld van de conditie van leidingen. Er zijn technieken beschikbaar voor het inspecteren van metalen en AC leidingen groter dan 200 mm. De kosten van in-line inspecties zijn in het algemeen hoog omdat er een toegangspunt voor de meetapparatuur dient te worden gecreëerd. In-line technieken worden vooral ingezet voor inspecties van grotere (transport-) leidingen en leidingen waar een breuk een groot effect heeft op de omgeving.

De databronnen verschillen niet alleen in kosten maar ook in toepassingsgebied en de kwaliteit van de meting. In Figuur 2-3 zijn bovenstaande technieken op basis van een kwalitatieve inschatting in samenhang weergegeven. Opgemerkt wordt dat hier geen diskwalificatie wordt gegeven van intuïtie of ervaringen.



Figuur 2-3 Kwalitatieve vergelijking van verschillende methoden van kennisverzameling voor de conditie van het leidingnet.

3 Exitbeoordelingen bij gasbedrijven

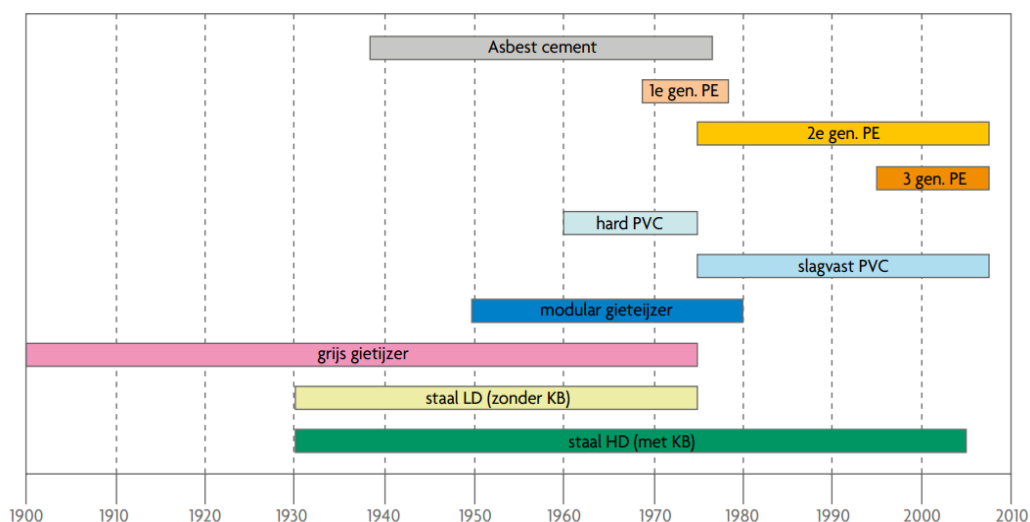
3.1 Het gasnet in Nederland

Nadat in 1963 de gasbel in Slochteren was gevonden heeft het gasnetwerk een snelle groei doorgemaakt. In ongeveer 10 jaar tijd werden alle huishoudens in Nederland aangesloten op het gasnet. Op dit moment ligt er 135.229 km aan gasleidingen in Nederland (Netbeheer Nederland, 2011). Tabel 3-1 geeft een overzicht van de opbouw van het gasnetwerk in Nederland (Netbeheer Nederland, 2011)

Tabel 3-1 Opbouw gasnet in Nederland in kilometers

AC	PE	Slagvast PVC	Hard PVC	Nodulair GIJ	Grijs GIJ	Staal	Totaal
1.893	21.096	58.148	23.665	2.164	7.167	21.096	135.229
1%	16%	43%	17%	2%	5%	16%	100%

Net als bij drinkwaterleidingen zijn ook bij de aanleg van het gasnet verschillende materialen gebruikt die kenmerkend zijn voor de periode van aanleg. Als voorbeeld is in Figuur 3-1 te zien welke materialen in welke tijdsperiode zijn aangelegd door netbeheerder Enexis (Enexis, 2010).



Figuur 3-1 Aanlegperiodes materiaal in het gasnet van Enexis (Enexis, 2010)

3.2 Exitbeoordelingen door Kiwa Technology²

In opdracht van Netbeheer Nederland beheert Kiwa Technology het Kenniscentrum Gasnetbeheer. Binnen het kader van dit kenniscentrum zijn afspraken gemaakt tussen de gasnetbeheerders en Kiwa over het landelijk uitvoeren van de exitbeoordelingen. Bedrijven leveren monsters aan en de exitbeoordelingen worden centraal door Kiwa Technology uitgevoerd.

Exitbeoordelingen maken deel uit van het beleid van gasnetbeheerders. Gasnetbeheerders gebruiken exitbeoordelingen om de staat van hun net te bepalen en het vervangingsbeleid kracht bij te zetten. Door met behulp van exitbeoordelingen de staat van het leidingnet (per materiaalsoort) in beeld te brengen krijgen netbeheerders een idee of hun net onder- of bovengemiddeld presteert ten opzichte van het landelijk gemiddelde. Deze informatie helpt gasbeheerders bij het onderbouwen van saneringsbeslissingen.

De gasbedrijven zijn in eerste instantie begonnen met het uitvoeren van exitbeoordelingen op GGIJ leidingen. Er is een aantal jaren testen gedaan om de mechanische sterkte van GGIJ-leidingen te bepalen. Op dit moment worden geen exitbeoordelingen meer uitgevoerd op GGIJ leidingen. De opinie is dat de opbrengsten voor gasbedrijven door meer kennis niet opwegen tegen de inspanningen voor het uitvoeren van exitbeoordelingen (Kiwa Technology, 2012). Momenteel worden er alleen exitbeoordelingen uitgevoerd op hard PVC en de 1^{ste} generatie PE. Hard PVC wordt door Kiwa getest op de slagvastheid en PE op weerstand tegen langzame scheurgroei. Er zijn plannen om vanaf 2013 ook exitbeoordelingen uit te voeren op de 2^e en 3^e generatie PE en slagvast PVC. Er worden geen exitbeoordelingen uitgevoerd op stalen leidingen, aangezien de problemen die zich hier voordoen vooral een verband hebben met het onvoldoende functioneren van de kathodische bescherming. Ook op AC leidingen worden geen exit beoordelingen uitgevoerd. Dit heeft als achtergrond dat:

- het aandeel AC leidingen relatief klein is;
- het onderzoeken van AC gezondheidsrisico's met zich mee brengt;
- er concrete afspraken zijn met SodM (Staatstoezicht op de Mijnen) over het vervangen van AC leidingen. Deze afspraken zijn niet voor elk bedrijf gelijk en zijn o.a. afhankelijk van het aandeel en de ruimtelijke spreiding van AC leidingen. Voor de stad Amsterdam is bijvoorbeeld de afspraak dat in 2040 alle AC leidingen vervangen zijn.

Het doel van het uitvoeren van exitbeoordelingen in de gassector, is het monitoren van de conditie van een specifieke populatie (momenteel hard PVC en 1^{ste} generatie PE) gedurende meerdere jaren. Hiermee wordt beoogd een algemeen beeld te krijgen van de populatie en wordt niet ingestoken op het verzamelen van informatie over een specifieke leiding in een specifieke context.

De Netbeheerders leveren hiervoor jaarlijks gezamenlijk 20 teststukken hard PVC en 20 stukken 1^e generatie PE aan. Om een goed beeld te krijgen van de gehele populatie, streeft Kiwa naar het uitvoeren van een a-selecte steekproef. Om zo veel mogelijk een a-selecte steekproef te verkrijgen nemen gasbedrijven monsters uit van leidingen die vervangen worden, echter niet vanwege een slechte conditie. In de praktijk gaat het vaak om reconstructies. Tevens wordt de locatie bijgehouden en wordt een leiding geweigerd als er al een leiding uit dezelfde wijk in het bestand aanwezig is. Er kunnen vraagtekens worden geplaatst of de grootte van de steekproef voldoende is voor een betrouwbare uitspraak. Kiwa geeft aan dat eerder is besproken de steekproef te vergroten, maar dat dat gezien de benodigde inspanningen niet haalbaar was.

² Informatie verkregen uit een interview met medewerkers van Kiwa Technology (Kiwa Technology, 2012).

De exitbeoordelingen worden verzameld in een database en gepresenteerd in de vorm van een histogram. De bedrijven hebben via het Kenniscentrum Gasnetbeheer toegang tot deze informatie en kunnen eigen data vergelijken met landelijke gegevens. Daarnaast worden de gegevens gebruikt om relaties te leggen tussen conditie en bijvoorbeeld fabrikant, jaar van aanleg en omgevingsparameters.

3.3 Lessen voor de watersector

Exitbeoordelingen in de gassector vinden plaats op andere materialen en voor een ander doel. Hierdoor zijn er geen directe lessen te trekken uit de wijze van beoordeling of de resultaten van die beoordeling. De watersector zou kunnen overwegen of het zinvol is de populatiegerichte aanpak te volgen. Hiervoor lijken de materialen PVC en PE het meest in aanmerking te komen. Van deze materialen wordt slechts zeer beperkt materiaalonderzoek uitgevoerd, terwijl zij een groot aandeel hebben in de totale leidinglengte. Voor een populatiegerichte analyse is het van belang te onderzoeken welke deelpopulaties nadere aandacht verdienen en wat de benodigde steekproefgrootte is om te komen tot betrouwbare uitspraken.

4 Degradatie en methoden van exitbeoordeling van AC en GGIJ

4.1 Degradatie van AC

4.1.1 Materiaal en coatings

De eerste AC leiding is in 1931 in Nederland aangelegd, met name tussen 1950 en 1980 is op grote schaal gebruik gemaakt van buizen van AC. Met de inwerkingtreding van het Asbestbesluit Arbeidsomstandighedenwet mogen per 1 juli 1993 geen asbestcement leidingen worden aangelegd (Staatsblad 1993).

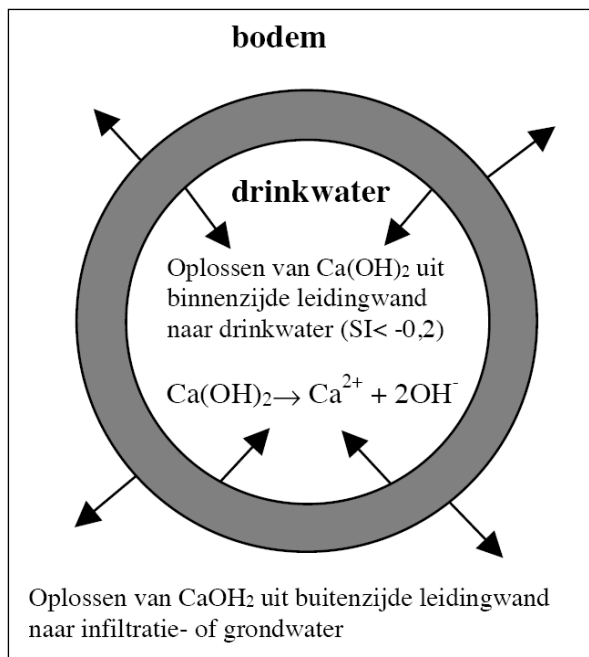
AC bestaat voor een belangrijk deel uit cement, dat als bindmiddel fungeert voor asbestvezels. Asbestvezels zijn chemisch vrijwel inert, zodat de aantasting van het leidingmateriaal zich concentreert op het cement. De kwaliteitseisen voor AC-buizen zijn voor het eerst vastgelegd in Kiwa Keuringseisen nr. 17 en Normblad NEN 3262 (1988). De eisen zijn tot in de jaren 90 aangepast (Slaats en Mesman, 2004). De meest recente eisen zijn opgenomen in NEN-EN 512 (1994), dat echter betrekking heeft vezelcement, waaronder ook asbestcement valt.

AC-leidingen kunnen uitwendig voorzien zijn van een coating van asfaltbitumen of koolteer. De coating is over het algemeen aangebracht als een spray. De coating is bedoeld als beschermende laag tegen agressieve grond en tegen agressief grondwater. Buizen met een dergelijke coating zijn zwart gekleurd. Er zijn geen AC buizen bekend met een inwendige coating (Slaats en Mesman, 2004).

4.1.2 Degradatiemechanisme: uitloging

Aantasting van AC vindt plaats door oplossing van kalk (calciumhydroxide) uit de leidingwand. Cement bevat een groot aantal verbindingen: de belangrijkste verbindingen zijn tricalciumsilicaat (Ca_3SiO_5), dicalciumsilicaat (Ca_2SiO_4), tricalciumaluminaat ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) en calciumhydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Deze cementzouten hydrateren in contact met water, waarbij ook $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wordt gevormd. Bij contact met water lost $\text{Ca}(\text{OH})_2$ op, waardoor Ca^{2+} en OH^- vrijkomt (Schock, M. en R. Buelow, 1981).

Figuur 4-1 geeft het proces van uitloging van asbestcement schematisch weer. Uitloging van AC treedt zowel aan de binnenwand als aan de buitenwand van een leiding op door inwerking van respectievelijk het drinkwater en de bodem. De uitloging van AC heeft tot gevolg dat aan de binnenzijde en/of buitenzijde van de leiding een laag ontstaat met onvoldoende mechanische eigenschappen. Anders gezegd, door uitloging treedt een reductie op van de effectieve wanddikte van de leiding en neemt de sterkte van de leiding af, waardoor de kans op een breuk of lekkage toeneemt (Sterk et al., 1999). De mate van uitloging van de buiswand wordt daarmee als een maat voor de conditie van de leiding beschouwd.



Figuur 4-1 Schematische voorstelling uitloging asbestcement (Slaats en Mesman, 2004)

4.1.3 Invloedsfactoren op uitloging AC

Slaats en Mesman (2004) beschrijven drie factoren die van invloed zijn op de uitloging van AC-leidingen:

- A. Drinkwatersamenstelling
- B. Bodemeigenschappen
- C. Toestand van de coating

Ad A. Bij de inwendige uitloging van AC speelt de verzadigingsindex (SI) van het drinkwater een belangrijke rol (Slaats en Mesman, 2004). De SI is een maat voor het oplossen en neerslaan van calciumcarbonaat. In 2001 is binnen het bedrijfstakonderzoek de mate van uitloging van de AC-leidingwand van 230 monsters gemeten met fenolftaleïne-testen, gerelateerd aan waterkwaliteit- en bodemparameters (Rosenthal, 2001). De mate van inwendige uitloging is gerelateerd aan de parameters pH en SI. Het blijkt dat er een significante relatie bestaat tussen de SI van het drinkwater en de mate van uitloging van de inwendige leidingwand. Uit deze studie bleek dat uitloging optreedt bij alle SI-waarden. Bij een toename van de SI neemt de mate van uitloging van AC af.

Aantasting van het materiaal is een proces gedurende de gehele levensduur van de leiding. De waterkwaliteit vanaf het jaar van aanleg dient daarom beschouwd te worden. Hierbij is het belangrijk om zich te realiseren dat met name in de jaren tot 1990 veelvuldig een negatieve SI voorkwam (Slaats en Mesman, 2004).

Ad B. Uitwendige uitloging van AC-leidingen kan optreden in agressieve bodems. Voor AC zijn dit bodems met een lage pH en/of met een laag kalkgehalte. De mate van agressiviteit van de bodem geeft een indicatie voor de mate van uitwendige uitloging. Risicogebieden voor uitwendige uitloging zijn aan te geven op basis van bodemkaarten. Bij een lage pH en/of in een kalkarme bodem ($< 0,5\% \text{CaCO}_3$) is uitwendige uitloging te verwachten. In een kalkrijke bodem ($> 1\% \text{CaCO}_3$) is geen uitwendige uitloging te verwachten. Ondersteunend hieraan zijn de conclusies van een oriënterend onderzoek naar de meerwaarde van GIS voor analyses van het leidingnet, die laten zien dat de gemiddelde storingsfrequentie van AC

leidingen in een kalkarme bodem ongeveer 60% hoger is dan die in een kalkrijke bodem (van Daal, 2012). Bovengenoemd onderzoek van Rosenthal (2001) laat zien dat de uitwendige uitloging hoger is in veengrond dan in zandgrond en hoger is bij een pH-waarde van 6 of lager.

De samenstelling van de bodem in met name een bebouwde omgeving is moeilijk te voorspellen. Dit heeft te maken met roering door jaren van bewoning, opspuiten van zand in nieuwbouwwijken en grondverbetering bij aanleg. Bij onduidelijkheid over de bodemsamenstelling of als controlemiddel kunnen rond de leiding de pH en het kalkgehalte van de bodem worden bepaald. Een eenvoudige wijze voor bepalen van het kalkgehalte van de bodem is beschreven in het Kiwa-rapport SWE 99.004 (Sterk et al., 1999).

Ad C. In geval van een goede uitwendige coating op een AC-leiding is uitloging aan de buitenzijde van de buiswand niet te verwachten. Het is echter de vraag of de coating, die als een dunne (spray) op AC-buizen is aangebracht, na jaren nog steeds in goede staat is en daarmee voldoende bescherming biedt. Ook is niet geregistreerd welke leidingen wel of geen coating hebben.

Naast uitloging van een AC-leiding spelen nog andere factoren een rol bij de degradatie van een AC-buis. Deze factoren zijn onder meer (Slaats en Mesman, 2004):

- de werkdruk en drukklasse van de leiding;
- het optreden van plotselinge grote drukverschillen;
- externe drukverschillen door bijvoorbeeld zwaar verkeer; ongelijkmatige zettingen;
- de gevoeligheid voor vorst;
- de oorspronkelijke kwaliteit van de AC-buis.

Daarnaast speelt ook de kwaliteit van de verbindingen een rol. De belangrijkste faalmechanismen hierbij zijn:

- mechanisch bezwijken door hoekverdraaiing als gevolg van ongelijkmatige zettingen;
- degradatie van natuurrubber ringen.

4.1.4 Internationaal onderzoek naar degradatie AC

Voor een beeld van de internationale ontwikkelingen van het onderzoek naar degradatie van AC leidingen, zijn onderstaande onderzoeken illustratief.

Conroy et al. (2005) hebben in opdracht van de UKWIR een oriënterend onderzoek uitgevoerd naar de conditie en mogelijke gezondheidsrisico's van AC drinkwaterleidingen. In dit onderzoek zijn 29 leidingdelen geanalyseerd op basis van kruindrukproeven, fenolftaleïne testen en parameters van de waterkwaliteit en de bodem. In dit onderzoek worden met betrekking tot de degradatie van AC leidingen onderstaande conclusies getrokken.

- Resultaten van fenolftaleïne testen en kruindrukproeven vormen een goede basis voor het beschrijven van de conditie van specifieke leidingdelen.
- De conditieachteruitgang van een AC-leiding kan worden gekarakteriseerd door de afname van de wanddikte. De sterkte van een leiding is daarmee gecorreleerd aan de effectieve wanddikte.
- Degradatie is uitgedrukt in afname van de wanddikte per jaar. Er werd een grote spreiding waargenomen van deze afname. De afname door uitwendige uitloging varieerde van 0,00 tot 0,27 mm/jaar en de afname door inwendige uitloging van 0,00 tot 0,18 mm/jaar.
- Als meest ongunstigste omstandigheden worden voor uitwendige uitloging een lage pH aangewezen en voor inwendige uitloging een lage concentratie bicarbonaat (HCO_3^-).

Hu et al. (2013) hebben in opdracht van de WRF een state of the art report gemaakt over de conditiebepaling en het beheer van AC leidingen in de Verenigde Staten en Canada. In totaal zijn 224 leidingdelen geanalyseerd met meerdere testen. Het is niet duidelijk of de gehele set voor alle testen is ingezet. De meeste relevante conclusies uit dit onderzoek zijn:

- Op basis van een literatuuronderzoek en een enquête bij twintig waterbedrijven uit de Verenigde Staten en Canada, wordt geconcludeerd dat waterkwaliteit, diameter en leeftijd de belangrijkste verklarende factoren zijn voor leidingbreuken.
- In een lineaire regressieanalyse zijn verbanden gezocht tussen de mate van uitloging, uitgedrukt in mm, en enkele voorspellende parameters. Hierbij blijkt dat er geen eenduidige factor is die een significante relatie heeft met uitloging. Zwakke correlaties zijn aangetoond tussen inwendige uitloging en de pH ($R^2=0,30$), de agressiviteitsindex ($R^2=0,24$), de hardheid ($R^2=0,18$) en de alkaliniteit ($R^2=0,17$)³. Opgemerkt wordt dat deze parameters een sterke onderlinge relatie hebben (geen onafhankelijke relatie hebben). Voor uitwendige uitloging wordt een zwakke correlatie aangetoond tussen uitwendige uitloging en de pH van het grondwater ($R^2=0,34$). Opvallend is dat in dit onderzoek leeftijd van de leiding niet als voorspellende factor voor inwendige als uitwendige uitloging wordt gezien.
- Op basis van lineaire regressie met gecombineerde parameters, blijkt voor inwendige uitloging de combinatie van leeftijd en pH de beste correlatie te geven, echter ook deze correlatie is als zwak te kenmerken ($R^2=0,40$). Bij combinatie van parameters, blijkt bij inwendige uitloging leeftijd dus wel een rol te spelen.
- In het rapport wordt geconcludeerd dat de zwakke verbanden resultaat kunnen zijn van de beperkte omvang van het aantal onderzochte leidingdelen en de, waarschijnlijk, niet-representatieve verzameling daarvan. Tevens wordt opgemerkt dat voor de waterkwaliteit is uitgegaan van de huidige parameters en dat er geen volledig historisch overzicht is verkregen.
- Opgemerkt wordt dat ook andere aspecten, zoals de constructiekwaliteit, de wijze van aanleg en mogelijke microbiologische processen, van belang kunnen zijn op de uitloging. Dergelijke aspecten zijn niet of nauwelijks te kwantificeren.

Bovenstaande onderzoeken laten zien dat er wel inzichten zijn over de degradatiemechanismen van AC leidingen maar dat het kwantificeren daarvan lastig is. Het is om die reden (nog) niet mogelijk is betrouwbare en generieke prognoses te maken van de uitloging op basis van parameters over de leiding, de waterkwaliteit of de omgeving. De oorzaak van deze beperkte kennis is waarschijnlijk gelegen in het beperkt aantal onderzoeken, in combinatie met het complexe degradatiemechanisme van AC leidingen. Daarnaast zijn de uitgevoerde onderzoeken gebaseerd op een beperkte steekproefgrootte (dit geldt men name voor Conroy, 2005).

4.2 Exitbeoordeling AC leidingdelen

4.2.1 Uitvoering

Onderzoek naar de conditie van AC-leidingen richt zich met name op de mate van in- en uitwendige uitloging en daaruit volgend de effectieve wanddikte. De mate van uitloging van de AC-leidingwand is te bepalen met de fenolftaleïne test (Leroy et al., 1996). Deze test geeft op een snelle en relatief goedkope wijze inzicht in welk deel van de buiswand wel en welk deel niet uitgelooft is.

De fenolftaleïne test dient op een vers breukvlak uitgevoerd te worden, wat wordt verkregen door het knippen van een buis, zie Figuur 4-2. De beoordeling vindt meestal plaats in het

³ De agressiviteitsindex en de alkaliniteit zijn begrippen die in de Verenigde Staten worden gehanteerd, voor respectievelijk de mate van kalkdepositie of kalkoplossing en het vermogen om zuren te neutraliseren.

veld. Door het druppelen van een fenolftaleïneoplossing over het verse breukvlak van een AC-leidingdeel verkleurt het AC waarin nog kalk aanwezig is, en daardoor sterkte bezit, van kleurloos naar paars. Het uitgeloopte materiaal blijft grijs. De maatgevende inwendige en uitwendige uitloging wordt gemeten op die plaats waar de uitgeloopte laag maximaal is. Deze meting wordt uitgevoerd met een schuifmaat. Daarnaast worden ook de totale wanddikte en de inwendige diameter van de leiding gemeten. Overige details en een volledig werkvoorschrift staan in Bijlage II.



Figuur 4-2 Knippen AC buisdeel voor de fenolftaleïne-test

4.2.2 Representativiteit en betrouwbaarheid meetresultaten

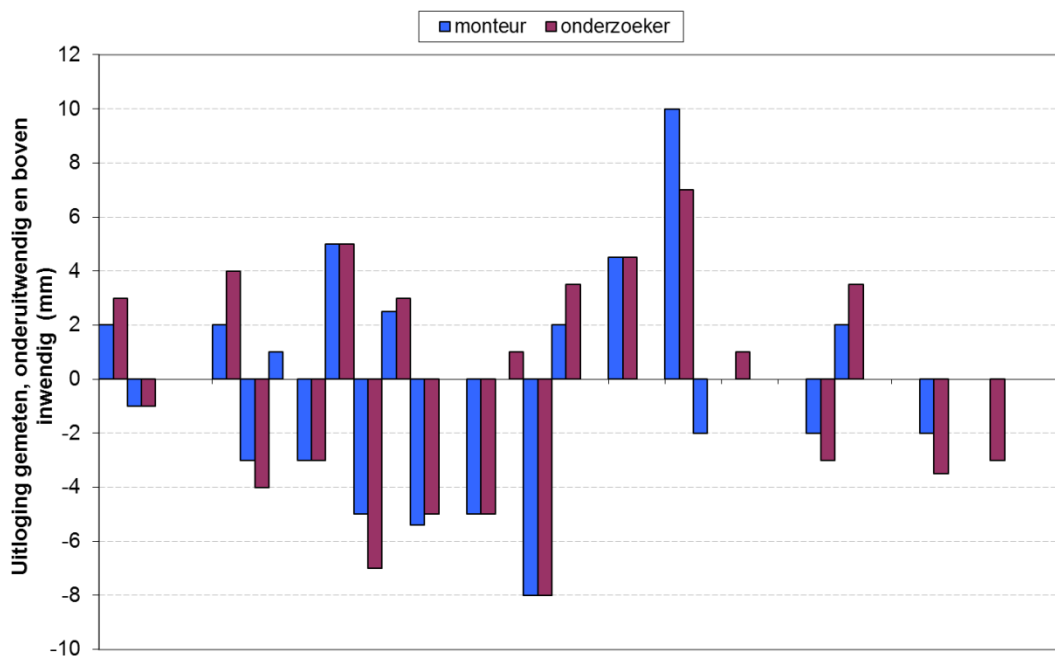
Om inzicht te krijgen over de representativiteit van de fenolftaleïne-test zijn in eerder onderzoek (Slaats en Mesman, 2004) testen uitgevoerd op 20 buisdelen afkomstig uit één AC-leiding. Dit betrof een $\varnothing 100$ mm leiding uit het voorzieningsgebied van WMD, locatie Oostopgaande. Aangenomen is dat de gehele leiding dezelfde verdeling van de aantasting heeft, oftewel dat de karakteristieken van de leiding en de omgeving overeenkomend zijn. Voor elk van de 20 buizen is de mate van inwendige en uitwendige uitloging bepaald.

Het onderzoek van Slaats en Mesman toont aan dat er verschillen zijn in de mate van uitloging van buisdelen uit dezelfde leiding. Voor de onderzochte leiding, bleek dat de variatiecoëfficiënt van de mate van inwendige uitloging 24% is (gemeten als mm uitloging). Voor uitwendige uitloging is de variatiecoëfficiënt 44%. Deze getallen gelden voor de onderzochte leiding en doen geen uitspraak over de variatie in andere leidingen. Op basis van de onderzochte leiding van WMD, concluderen Slaats en Mesman dat om statistisch betrouwbare uitspraken te doen met een nauwkeurigheid van 80%, het voor het bepalen van de inwendige uitloging noodzakelijk is om een steekproefgrootte van 9 monsters aan te houden. Bij een vereiste nauwkeurigheid van 90% bedraagt het aantal monsters 25. De spreiding bij uitwendige uitloging is groter dan de spreiding bij de inwendige uitloging. Om de mate van uitwendige uitloging met nauwkeurigheid van 80% te bepalen is een steekproefgrootte van 25 monsters noodzakelijk. Om een nauwkeurigheid te halen van 90% zijn 75 monsters nodig. Opgemerkt wordt dat het hier gaat om de grootte van de steekproef die geldt voor de leiding met overeenkomende karakteristieken. Zolang overeenkomende karakteristieken gelden, speelt de lengte van de leiding geen rol.

Gezien dit groot aantal benodigde monsters, stellen Slaats en Mesman een pragmatische aanpak voor: 'bij agressief drinkwater is de mate van inwendige uitloging te bepalen op basis van een beperkt aantal leidingdelen (5 per leiding); bij een agressieve bodem is het nodig om per buisdeel de conditie vast te stellen'. De bovenstaande bepalingen van de variatie van de uitloging zijn zoals gezegd gebaseerd op een leiding bij WMD uit een

veenbodem met hoge mate van aantasting. Recent onderzoek met georadar bij PWN in een 250 mm AC leiding in een kleibodem en die beperkt was uitgelopen, toonde een zeer beperkte spreiding aan van uitloging (Beuken et al., 2014).

Om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de interpretatie van meetresultaten heeft een vergelijking plaatsgevonden tussen de registratie van zeventien fenolftaleïnemetingen van een monteur van Brabant Water en een onderzoeker van KWR. De metingen door Brabant Water betroffen metingen 'in de sleuf' tijdens uitname. De metingen door KWR zijn uitgevoerd met behulp van foto's die direct na aanbrenging van fenolftaleïne zijn genomen. De resultaten van beide interpretaties zijn weergegeven in Figuur 4-3. Uit deze vergelijking blijkt dat voor zowel de inwendige uitloging als de uitwendige uitloging vier interpretaties (24%) een verschil hebben van meer dan 1 mm. Zonder een oordeel te geven over welke metingen correct zijn geïnterpreteerd, is duidelijk dat een correcte interpretatie van de fenolftaleïne-test aandacht behoeft.



Figuur 4-3 Vergelijking interpretaties metingen fenolftaleïne-test door monteur Brabant water ('fitter') en onderzoeker KWR.

4.3 Degradatie van GGIJ

4.3.1 Materialen en coatings

Grijs gietijzer (GGIJ) is een legering van ijzer, koolstof en silicium met 2 tot 4,5% koolstof en een siliciumgehalte tussen de 0,5 en 3,5%. Daarnaast zijn altijd sporen mangaan, zwavel en fosfor aanwezig. Tot 1960 werd voor de fabricage van waterleidingen zogenaamd lamellair GIJ gebruikt, waarin koolstof in de vorm van lamellen voorkomt. Vanwege de grijze kleur van het breukvlak wordt lamellair gietijzer in de praktijk grijs gietijzer genoemd. In nodulair gietijzer komen de koolstofdeeltjes voor als nodulen. In 2010 bestond het leidingnet voor 8% uit waterleidingen van grijs gietijzer (GGIJ) en 3% nodulair gietijzer (NGIJ), zie Figuur 2-1.

Wat betreft de aanleg van gietijzeren leidingen kunnen grofweg drie perioden onderscheiden worden:

- Voor 1950: Leidingen zijn bijna altijd lamellair GIJ. De eis voor de treksterkte van lamellair GIJ heeft in de tijd en per product gevarieerd. In de NEN 3045 (Centrifugaal gegoten GIJ'en mofpijpen, eerste uitgave februari 1957) varieert de eis voor de treksterkte per kwaliteit lamellair GIJ van 50 tot 350 MPa.
- 1950 – 1970: In de periode 1950-1970 zijn niet veel nieuwe GIJ-en leidingen gelegd.
- Na 1970: De toegepaste kwaliteit is bijna altijd nodulair GIJ (Mesman en Slaats, 2004). Door de betere materiaaleigenschappen, de toegepaste coating (zowel inwendig als uitwendig) en moderne verbindingstechnieken is er sprake van een geheel ander materiaal in vergelijking met de oudere grijs GIJ. Voor nodulair GIJ zijn (nog) geen algemene kwaliteitsverminderingen bekend (de Kater et al., 2010).

Er zijn in de loop van de tijd zowel inwendig als uitwendig verschillende coatings toegepast. Inwendige typen coating kunnen zijn:

- cementcoating aangebracht in de fabriek;
- cementcoating aangebracht bij renovatie;
- asfaltbitumen;
- koolteer.

Voor een uitvoerig onderzoek naar de gevolgen van coatings van asfaltbitumen en koolteer wordt verwezen naar Blokker et al. (2010). Uit dit onderzoek bleek onder meer dat vrijwel alle GGIJ een inwendige coating hadden bij aanleg.

4.3.2 Degradatiemechanisme: corrosie

De conditie van GGIJ-leidingen neemt af door corrosie. Het mechanisme van corrosie is in de literatuur uitgebreid beschreven (Benjamin et al., 1996). Het voornaamste proces is het oplossen van ijzerionen uit de GGIJ-wand bij de aanwezigheid van zuurstof. Doordat ijzer (Fe) aan de ijzerkoolstofmatrix wordt onttrokken, blijft alleen koolstof achter. Dit verschijnsel wordt aangeduid als graffiteren of verpotloden. Door graffiteren neemt de sterkte van GGIJ af. De reacties, die de bij corrosie vrijgekomen ijzerionen doorlopen, zijn zeer complex en nog maar gedeeltelijk bekend. De meest stabiele verbinding die hierbij wordt gevormd is Fe_2O_3 . De corrosieproducten slaan neer op de wand van de leiding, waardoor in de loop van de tijd zeer volumineuze deklagen op de leidingwand kunnen ontstaan. De deklaag vertraagt het corrosieproces. Naast Fe_2O_3 worden andere, minder stabiele, ijzerverbindingen waargenomen. Dit kan worden veroorzaakt door afwijkende condities in de deklaag, zoals zuurstofloosheid.

De gevolgen van corrosie zijn:

- afname van de sterkte en dus de conditie van de GGIJ-leiding;
- toename van de hydraulische weerstand en derhalve afname van de capaciteit: door de vorming van een deklaag wordt de diameter van de leiding verkleind en de ruwheid van de leiding verhoogd (De Koning, 2000);
- achteruitgang van de waterkwaliteit door interactie van het GIJ met het drinkwater (Mesman en Slaats, 2004).

4.3.3 Invloedsfactoren op corrosie GGIJ

De aanwezigheid en de toestand van een coating hebben een sterke invloed op de in- en uitwendige aantasting van GIJ. Bij het uitnemen van het buisdeel voor het conditie-onderzoek kan de aanwezige uitwendige coating worden beschadigd. De toestand van de coating die dan wordt gezien is niet meer representatief voor de werkelijke beschermende werking (Mesman en Slaats, 2004).

Naast de aanwezigheid van een coating is de samenstelling van het getransporteerde water bepalend voor de mate waarin inwendige corrosie optreedt. Anno 2014 kan worden aangenomen dat gietijzeren leidingen in Nederland zijn voorzien van een coating dan wel van corrosiedeklagen op het inwendig oppervlak van de leiding. In dit geval zijn vooral de pH, de totale anorganisch koolstofconcentratie en de buffercapaciteit van invloed op de afgifte van ijzerverbindingen door gietijzeren leidingen. De afgifte van ijzerverbindingen neemt af met een toenemende pH en toenemend totaal anorganisch koolstofgehalte (TACC).

Voor de mate van aantasting van gietijzeren leidingen kan de historische waterkwaliteit van belang zijn. In het verleden is in Nederland de Corrosie Index (CI) gebruikt. De CI is een verhouding van de concentraties chloride, sulfaat en carbonaten in drinkwater. Hiermee kon gestuurd worden om corrosie van metalen leidingen zoveel mogelijk te beperken. De toepassing van de CI is sinds 2013 verlaten, omdat deze internationaal niet onderschreven wordt. Ook in de literatuur is de rol van waterkwaliteit niet altijd eenduidig beschreven; bepaalde studies beschrijven een negatief effect van chloride en sulfaat op de aantasting van gietijzer, terwijl andere studies laten zien dat bij aanwezigheid van chloride en sulfaat beter beschermende deklagen worden gevormd (Slaats et al., 2013).

Uitwendige corrosie vindt voornamelijk plaats in vochtige bodems met een hoog elektrisch geleidingsvermogen (EGV) en een lage pH van het grondwater. Zonder vocht is geen bodemcorrosie van betekenis mogelijk. Een wisselende chemische samenstelling en een wisselend zuurstofgehalte, maar ook de aanwezigheid van elektrische kabels kunnen door het ontstaan van potentiaalverschillen in de bodem de corrosie versterken.

Ook microbiologische processen spelen een belangrijke rol bij het corrosieproces. Sulfaatreducerende micro-organismen kunnen een rol spelen bij aantasting van de buitenzijde van de leiding. Dit type aantasting komt voor onder anaerobe (zuurstofloze) bodemomstandigheden bij een neutrale pH, meestal in klei en veen. Ook inwendig zijn deze organismen aangetroffen in afzettingsproducten van GGIJ-leidingen (Elzenga et al., 1991). Onbekend is in hoeverre deze een rol spelen bij inwendige aantasting.

4.4 Exitbeoordeling GGIJ leidingdelen

4.4.1 Uitvoering

Monsters uit een GGIJ-leiding kunnen op een aantal momenten vrijkomen, zoals bij:

- gericht onderzoek naar de conditie van een leiding;
- inbouw op een leiding;
- reparatie aan een leiding;
- sanering van een leiding.

De vorm waarin de monsters vrijkomen is afhankelijk van de gekozen techniek voor onderzoek. De grootte van het monster is afhankelijk van de wijze waarop dit monster genomen wordt. Er worden drie typen monsters onderscheiden:

- een uitgeboorde schulp (minimaal $\varnothing 75$ mm aanboring);
- een buisdeel van beperkte lengte (tot maximaal 0,8 m);
- een scherf van de leidingwand (minimaal 200 * 100 mm).

Het uitboren van een schulp onder leveringsdruk en zonder onderbreking van de levering is mogelijk. Om een leidingsegment uit te nemen, moet de levering altijd worden onderbroken.

Voor het bepalen van de conditie zijn monsters nodig met een oppervlak van minstens 50 cm². Afhankelijk van de toestand van de aangroei en de coating kan een te klein monster een probleem opleveren. De aangroei kan beschadigd worden en een eventuele coating kan van de wand afvallen.

De voorkeur gaat uit naar een buisdeel van beperkte lengte. Het uitnemen en verzenden van het monster dient voorzichtig te geschieden om verstoring van de aangroei en de coating zoveel mogelijk te voorkomen. Na het uitnemen van het monster dient een registratieformulier ingevuld te worden.

Voor het bepalen van de conditie van een gietijzeren buisdeel kunnen de volgende parameters worden onderzocht:

- aard en toestand in- en uitwendige coating;
- aangroei corrosieproducten;
- aangetast oppervlak;
- effectieve wanddikte;
- putdiepte;
- treksterkte;
- microstructuur.

Op een vers breukvlak kan het type gietijzer herkend worden aan de kleur: grijs gietijzer vertoont een grijs breukvlak, nodulair gietijzer vertoont een meer metaalachtig uiterlijk. Afwijkingen in structuur hebben een invloed op de conditie van de leiding. De kwaliteit van gietijzer wordt bepaald met microscopisch onderzoek op een geslepen en geëts oppervlak. Hierbij wordt de structuur van het gietijzer bepaald.



Figuur 4-4 GGIJ scherf na verwijderen corrosiedeklaag

De toestand van een GGIJ-leiding wordt gemeten door de mate van aantasting van de buiswand te bepalen. Om dit te onderzoeken wordt een monster genomen, bijvoorbeeld een buisdeel of een schulp. Dit monster wordt voorbereid door het te stralen om corrosieproducten te verwijderen (zie Figuur 4-4). Zowel de oorspronkelijke als de

resterende wanddikte wordt op meerdere punten nauwkeurig opgemeten. Hieruit wordt de aantastingsdiepte afgeleid. Daarnaast kan uit een buisdeel of schulp een proefstaafje worden gemaakt voor het bepalen van de treksterkte.

4.4.2 Representativiteit meetresultaten

De mate van aantasting van GGIJ vertoont een grote spreiding. Dit heeft niet alleen te maken met omgevingsparameters, zoals dat ook voor AC geldt, maar ook met het productieproces van GGIJ dat tot grote lokale verschillen kan leiden. Deze spreiding veroorzaakt een probleem bij het vertalen van meetresultaten van de proefstukken naar een uitspraak van de mate van aantasting van de volledige leiding. Om zicht te krijgen op het aantal monsters dat nodig is om met een bepaalde precisie uitspraken te kunnen doen, zijn er binnen een eerdere studie van Mesman en Slaats (2004) twee testen gedaan.

Allereerst hebben Mesman en Slaats (2004), om de spreiding binnen één buisdeel te bepalen, in totaal zes buisdelen onderzocht die onder verschillende condities hebben gefunctioneerd. Van elk buisdeel is de wanddikte, de restwanddikte, de inwendige en uitwendige aantastingsdiepte en de treksterkte bepaald op vier plaatsen binnen één buisdeel.

In het onderzoek is tevens voor de zes onderzochte buisdelen bepaald hoe groot de steekproef moet zijn om het gemiddelde te kunnen bepalen met een gegeven variatiecoëfficiënt en een nauwkeurigheid van 60% of met een nauwkeurigheid van 90% . Vooral de uitwendige aantasting kent een grote variatiecoëfficiënt waardoor een steekproef minimaal 100 monsters moet bevatten om een nauwkeurigheid van 90% te bereiken.

Daarnaast zijn 20 buisdelen uit één leidingdeel onderzocht om de spreiding binnen een leiding te bepalen. De monsters bestonden uit scherven die uit de buizen geslagen zijn bij het opgraven van de leiding. Van elk buisdeel is de wanddikte, de treksterkte en de maximale inwendige en uitwendige putdiepte bepaald. De monsters laten een grote variatie zien. Het onderzoek toont aan dat er 350 monsters nodig zijn om met 90% nauwkeurigheid iets te kunnen zeggen over de gemiddelde uitwendige aantasting, en 250 monsters om met 90% nauwkeurigheid iets te kunnen zeggen over de gemiddelde inwendige aantasting. Wanneer de nauwkeurigheid beperkt wordt tot 60% zijn er respectievelijk 24 of 18 monsters nodig. De effectieve wanddikte is met een beperkte steekproef van 13 monsters met 90% nauwkeurigheid vast te stellen. Omdat de steekproeven duur zijn (ongeveer € 500 tot 1000,- per monster) zal er snel genoeg genomen moeten worden met een beperkte nauwkeurigheid van 60% of minder.

5 Uitvoering exitbeoordelingen door drinkwaterbedrijven

5.1 Inventarisatie exitbeoordelingen AC leidingen

In het kader van dit onderzoek is door een vragenlijst een inventarisatie uitgevoerd van de werkwijze en ervaringen van waterbedrijven met fenolftaleïne testen. Hiervoor zijn aan elf bedrijven vragenlijsten toegestuurd, waarbij er door tien waterbedrijven informatie is aangeleverd.

Uit de inventarisatie blijkt dat acht bedrijven fenolftaleïne testen uitvoeren. Hiervan zijn er drie die aangeven regelmatig fenolftaleïne testen uit te voeren (meer dan 200 per jaar). Vijf bedrijven geven aan dit te doen op incidentele basis of alleen binnen een bepaald project.

De tests worden bij de bedrijven uitgevoerd door verschillende personen met verschillende taken en verantwoordelijkheden. Het werkproces van testen uitvoeren, controleren en opslaan van data en beheer en gebruik van de data verschilt per waterbedrijf en soms per regio. Elk bedrijf heeft wel een eigen formulier en er bestaan ook verschillen tussen de geregistreerde kenmerken. Ook de registratie en verwerking van de resultaten gaat op verschillende wijzen. Van zeven bedrijven is informatie verkregen over welke velden geregistreerd worden, zie Tabel 5-1. Het blijkt dat alle bedrijven datum, materiaal buis, aanlegjaar, oorspronkelijke wanddikte en resterende wanddikte registreren. De locatie wordt of als (x,y) of als adres of op beide manieren geregistreerd. Omgevingsparameters, zoals gronddekking en grondsoort, worden niet door alle bedrijven geregistreerd. Vier bedrijven geven aan dat er foto's worden genomen van de meting.

Tabel 5-1 Velden die worden geregistreerd bij fenolftaleïne testen

Drinkwaterbedrijf	Brabant Water	Dunea	Evides	Pidpa	PWN	Vitens	Wb Groningen
Buisdata							
Locatie (x,y)	+	+	+	+	+	-	+
Adres, huisnummer + plaatsnaam	+	+	-	+	+	+	+
Datum	+	+	+	+	+	+	+
Reden exit	+	+	-	+	+	+	+
Materiaal buis	+	+	+	+	+	+	+
Diameter buis uitwendig	+	-	+	+	-	-	+
Diameter buis inwendig	+	+	+	+	+	+	+
Aanlegjaar	+	+	+	+	+	+	+
Oorspronkelijke wanddikte	+	+	+	+	+	+	+
Resterende wanddikte	+	+	+	+	+	+	+
Omgevingsdata							
Gronddekking (m)	-	-	-	-	+	+	+
Grondsoort	-	+	-	-	+	+	+
Grondwaterstand (m – MV)	-	-	-	-	+	-	+
Plaats in wegprofiel/ondergrond	-	-	-	-	-	+	+
Type verharding (of max snelheid)	-	-	-	-	-	-	+
Overige informatie							
Worden er foto's gemaakt?	+	+	+	-	-	-	+

Vijf bedrijven hebben datasets aangeleverd met resultaten van fenolftaleïne testen. Uit bestudering van deze datasets komen met betrekking tot registratie de volgende zaken naar boven.

Lege velden

Van een aantal velden blijkt dat deze niet altijd worden ingevuld. Dit is bijvoorbeeld vaak het geval bij de items "oorspronkelijke wanddikte" en "aanlegjaar". Bij een leeg veld is het onduidelijk of het resultaat "onbekend" is, niet is bepaald of niet is ingevuld.

Velden met resultaten

Naast de in de tabel genoemde velden worden ook de andere resultaten van de fenolftaleïne test, zoals de gemeten uitloging en de aanwezigheid en/of staat van de coating ingevuld. Soms was er reden tot twijfel of de ingevulde waarde in mm of % was opgegeven. Bij één bedrijf (Pidpa) wordt geen onderscheid gemaakt tussen in- en uitwendige uitloging. Dit bedrijf geeft aan dat inwendige uitloging zelden tot nooit wordt aangetroffen.

Veld “overige opmerkingen”

Meestal is er een veld voor overige opmerkingen. Hierin wordt bijvoorbeeld vermeld hoe de leiding of de omgeving er uit ziet of dat er een probleem was met de uitvoering van de fenolftaleïne test. Een opvallende constatering die soms wordt geplaatst is dat de leiding er uitziet als "peperkoek" of zacht is en daardoor moeilijk te knippen is. De vraag is of dit een ander degradatiemechanisme is dan uitloging.

Locatie

De locatie wordt niet door alle bedrijven in XY-coördinaten weergegeven, hetgeen de opslag in GIS-systemen bemoeilijkt.

5.2 Inventarisatie exitbeoordeling GGIJ leidingen

Er is ook een vragenlijst verzonden voor het uitvoeren van schulpenonderzoek bij GGIJ leidingen. Hiervoor zijn aan elf bedrijven vragenlijsten toegestuurd, waarvan er door vijf waterbedrijven informatie is aangeleverd. Twee bedrijven geven aan dat zij recentelijk geen schulpenonderzoek hebben uitgevoerd en bij één bedrijf is het onduidelijk hoeveel testen er worden gedaan op jaarbasis. De overige twee bedrijven geven aan dat zij zo'n 20 à 30 testen uitvoeren op jaarbasis.

Registratie van resultaten van schulpenonderzoek vindt niet centraal plaats, maar per regio of op projectbasis. Er is geen standaardformulier voor het registreren van de resultaten van exitbeoordelingen bij GIJ'en leidingen. Voor een aantal items is aangegeven of bedrijven die al dan niet registreren, zie Tabel 5-2.

Tabel 5-2 Items die geregistreerd worden bij schulpenonderzoek

Drinkwaterbedrijf	Brabant Water	Dunea	Pidpa	PWN	Waternet
Buisdata					
Locatie (x,y)	+	+	+	+	+
Adres, huisnummer + plaatsnaam	+	+	+	+	+
Datum	+	+	+	+	+
Reden exit	+	+	+	nog niet	soms
Materiaal buis	+	+	+	+	+
Diameter buis uitwendig	-	-	+	+	+
Diameter buis inwendig	+	+	+	-	soms
Aanlegjaar	+	+	+	+	+
Oorspronkelijke wanddikte	-	+	+	+	+
Resterende wanddikte	+	+	+	+	+
Materiaalsterkte	-	+		+	-
Omgevingsdata					
CI historie	-	-	-	indien mogelijk	-
Gronddekking (m)	-	-	-	+	-
Grondsoort	-	+	-	+	+
Geleidbaarheid grond	-	-	-	-	-
Grondwaterstand (m – MV)	-	-	-	+	-
Plaats in het wegprofiel/ondergrond	-	-	-	+	-
Type verharding (of max snelheid)	-	-	-	+	-
Overig					
Worden er foto's gemaakt?	+	+	-	-	soms

De resultaten van schulpenonderzoek worden met name gebruikt als extra input bij saneringsbeslissingen, berekenen van de restlevensduur en beeldvorming over de toestand van een leiding. Door een aantal bedrijven wordt de uitkomsten van schulpenonderzoek ook gebruikt voor langetermijnbeslissingen. Niet alle bedrijven doen dit omdat de tests slechts plaatselijk informatie geven over de toestand van het GIJ en omdat bedrijven van mening zijn dat op basis van schulpenonderzoek geen betrouwbare uitspraak kan worden gedaan over de conditie van groepen leidingen.

Er zijn door de bedrijven geen datasets voor analyse beschikbaar gesteld.

6 Analyse van exitbeoordelingen AC

6.1 Toetsing uitloging op basis van één verklarende factor

6.1.1 Aangeleverde datasets

De waterleidingbedrijven Brabant Water, Pidpa, PWN en WMD hebben resultaten van fenolftaleïne testen aangeleverd. Tevens zijn er fenolftaleïne testen van WML gebruikt, dit betreft de dataset die in 2009 in het kader van het rapport 'Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten' (de Kater et al., 2010) is aangeleverd. Tabel 6-1 geeft een overzicht van de door de bedrijven aangeleverde fenolftaleïne testen en de periode van uitvoering. Er zijn verder opmerkingen geplaatst over kwaliteit van de dataset.

Tabel 6-1. Kenmerken datasets fenolftaleïne testen

Bedrijf	Aantal	Testperiode	Opmerking
Brabant Water	202	2011 t/m 2012	Complete dataset, bevat ook info historische SI
Pidpa	915	2007 t/m 2012	Alle uitloging wordt als uitwendige uitloging beschouwd; alle leidingen zonder coating; ook info over voegwijdte.
PWN	96	2004 t/m 2011	Meeste monsters hebben uitloging van 0 mm (conditie 100%); oorspronkelijke wanddikte ontbreekt in veel gevallen; veel buizen geen coating of coating onbekend.
WMD	2008	1999 t/m 2012	X,Y ontbreekt; bevat ook info over storingsfrequentie.
WML	65	2006 t/m 2009	Jaar van aanleg ontbreekt

6.1.2 Hypothesen voor verklarende factoren

In het rapport 'Statistische storingsanalyse' (Vloerbergh en Blokker, 2007) is een overzicht gegeven van hypothesen gebaseerd op verklarende factoren voor het aantal storingen van de leidingmaterialen AC, GGIJ en PVC. Deze hypothesen waren opgesteld op basis van literatuur en ervaringen van experts. In Tabel 6-2 zijn de zeven hypothesen weergegeven uit Vloerbergh en Blokker (2007) die gerelateerd kunnen worden aan uitloging van AC. In het voorliggende onderzoek zijn op basis daarvan vijf hypothesen opgesteld en is er één toegevoegd. Met behulp van de verkregen datasets heeft toetsing van deze hypothesen plaatsgevonden. Hierbij zijn de parameters getoetst aan de inwendige en uitwendige uitloging (in mm) of gerelateerd aan de uitlogingsnelheid (mm/jaar).

Na toetsing van de hypothesen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Bevestigen: als een significant verband wordt aangetoond tussen de mate van uitloging en de betreffende verklarende factor.
- Ondersteunen: als er aanwijzingen zijn voor een verband tussen de mate van uitloging en de betreffende verklarende factor.
- Niet bevestigen: als er op basis van de huidige data geen significant verband of aanwijzing is voor het bevestigen of verwerpen van de betreffende verklarende factor.
- Verwerpen: als wordt aangetoond dat er geen significant verband is tussen de mate van uitloging en de betreffende verklarende factor.

Tabel 6-2. Relevante hypothesen uit Vloerbergh en Blokker (2007), de resultaten van de toetsing op basis van storingen, en de vertaling naar hypothesen voor uitloging voor AC leidingen.

Hypothese BTO 2007.043	Omschrijving BTO 2007.043	Omschrijving	Hypothese	Verklarende factor
H1	De conditie van de leidingen neemt af in de tijd. <i>Resultaat: voor AC blijkt een exponentiele toename na 40-45 jaar</i>	De uitloging van leidingen neemt toe in de tijd	H1	Leeftijd
		De uitloging houdt verband met de periode van productie en aanleg en de daarin gehanteerd kwaliteit van werken	H2	Periode van aanleg
H2	Voor diameters > 95 mm neemt bij oplopende diameter de storingsfrequentie af. <i>Resultaat: bevestigd voor diameters >100 mm</i>	Voor diameters > 95 mm neemt bij oplopende diameter de relatieve uitloging af	H3	Diameter
H3	In- en uitwendige coating / bescherming verkleint de kans op storingen. <i>Resultaat: niet bevestigd, te weinig geschikte data</i>	Uitwendige coating / bescherming leidt tot afnemende uitloging	H4	Coating
H6	AC-leidingen hebben een grotere kans op storingen in bodems met een lager kalkgehalte en/of pH dan in bodems met een hoger kalkgehalte en/of pH. <i>Resultaat: niet bevestigd, te weinig geschikte geo-gerelateerde data</i>	AC-leidingen hebben een hogere uitwendige uitloging in bodems met een lager kalkgehalte en/of pH dan in bodems met een hoger kalkgehalte en/of pH	H5	Kalkgehalte (Bodemsoort)
H8	AC-leidingen in grondwater hebben een grotere kans op storingen dan AC-leidingen die niet in grondwater gelegen zijn. <i>Resultaat: niet bevestigd, te weinig geschikt data</i>	AC-leidingen in grondwater hebben een hogere uitwendige uitloging dan AC-leidingen die niet in grondwater gelegen zijn	Deze toetsing is mogelijk als van alle leidingen de grondwaterstanden beschikbaar zijn, dit is met name in stedelijk gebied niet het geval	
H9	AC-leidingen met drinkwater met hogere SI ⁴ hebben een hogere inwendige uitloging dan leidingen met drinkwater met hogere SI <i>Resultaat: niet bevestigd, te weinig geschikte geo-gerelateerde data</i>	AC-leidingen met drinkwater met lagere (negatieve) SI hebben een hogere inwendige uitloging dan leidingen met drinkwater met hogere SI	H6	SI

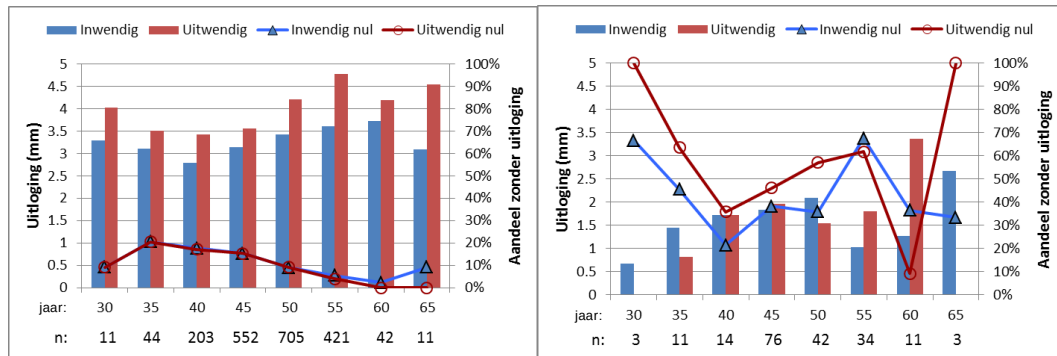
6.1.3 Toetsing van hypothesen

In deze paragraaf worden de resultaten van de fenoltaleïnetesten besproken. Discussie over deze resultaten en de relatie tot ander onderzoek is beschreven in Hoofdstuk 7.

⁴ Waarschijnlijk wordt hier bedoeld: 'met lagere en negatieve SI'

H1: Verklarende factor leeftijd

Hypothese 1 gaat uit van een toenemende uitlogging bij een toenemende leeftijd van de leiding. Van de dataset van WMD en Brabant Water is de leeftijd van de leiding waar een exitbeoordeling is uitgevoerd, bepaald door het verschil tussen het jaar van beoordeling en het jaar van aanleg. In Figuur 6-1 is de inwendige en uitwendige uitlogging weergegeven voor perioden van vijf jaar.



Figuur 6-1 Inwendige en uitwendige uitlogging bij WMD (links) en Brabant Water (rechts) voor leeftijdsperiodes van 5 jaar, weergegeven als kolommen. De waarde 30 staat voor de periode van 30 tot en met 34 jaar. Aandeel van de exitbeoordelingen waar een uitlogging van 0 mm is gemeten, weergegeven als lijn. (WMD: n=2008, Brabant Water: n=202).

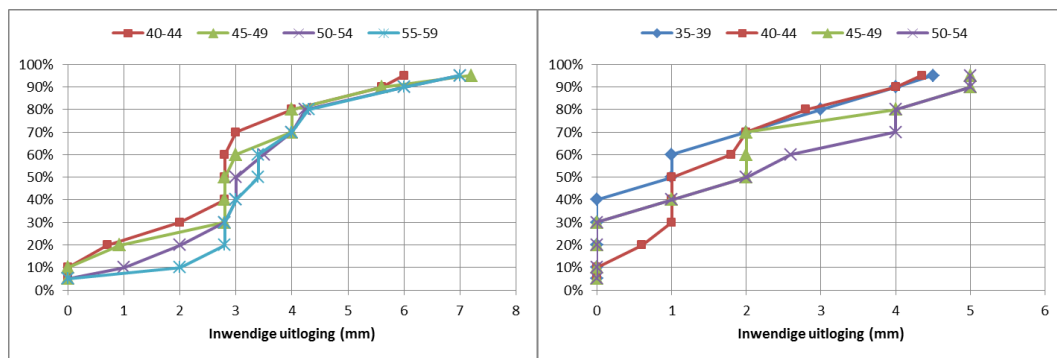
Vergelijking tussen de waterbedrijven laat zien dat de inwendige en uitwendige uitlogging bij WMD aanzienlijk hoger is dan bij Brabant Water. Bij WMD lijkt er een stijging van de inwendige en uitwendige uitlogging te zijn in de leeftijdsperiode van 40 tot 59 jaar. Dit betreft ook de leeftijdsperiode met het grootste aantal exitbeoordelingen. Bij Brabant Water is een stijging te zien van de inwendige uitlogging tussen 35 en 54 jaar en van de uitwendige uitlogging tussen 35 en 49 jaar. Opvallend is de lagere inwendige uitlogging tussen 55 en 64 jaar. Tabel 6-3 geeft de gemiddelde uitlogging weer per periode van vijf jaar, gedeeld door de gemiddelde leeftijd van de betreffende periode. In de leidingleeftijd tussen 45 en 64 jaar blijkt bij WMD dat zowel de inwendige als de uitwendige uitlogingsnelheid vrij continu is, respectievelijk 0,07 mm/jaar en 0,08 mm/jaar. In de leidingleeftijd tussen 40 en 59 jaar blijkt bij Brabant Water de inwendige uitlogingsnelheid vrij continu te zijn, namelijk 0,04 mm/jaar. Uitwendige uitlogingsnelheid bij Brabant Water laat een minder continu beeld zien.

Tabel 6-3. De inwendige en uitwendige uitlogging geclusterd in perioden van 5 jaar, gedeeld door de gemiddelde leeftijd van de betreffende periode bij WMD en Brabant Water.

Leeftijdsperiode		WMD		Brabant Water	
van (jaar)	tot (jaar)	Inwendige uitlogging (mm/jaar)	Uitwendige uitlogging (mm/jaar)	Inwendige uitlogging (mm/jaar)	Uitwendige uitlogging (mm/jaar)
35	39	0,101	0,124	0,021	0,000
40	44	0,083	0,094	0,039	0,022
45	49	0,066	0,081	0,040	0,040
50	54	0,066	0,075	0,039	0,041
55	59	0,065	0,080	0,040	0,029
60	64	0,063	0,083	0,018	0,031
65	69	0,060	0,067	0,020	0,054

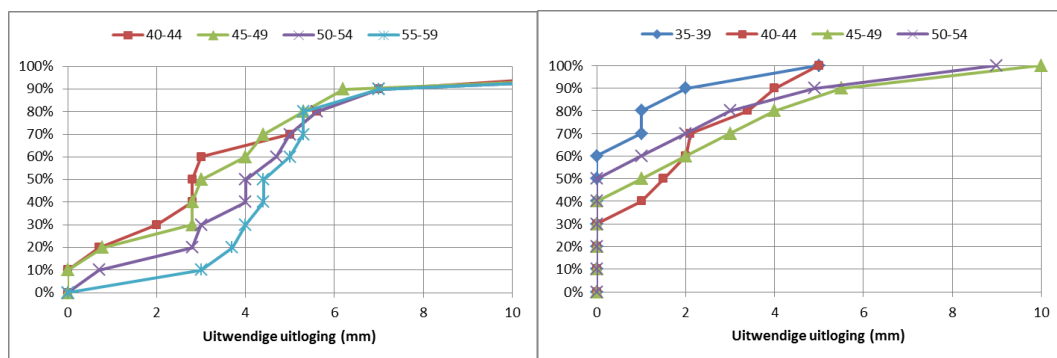
In Figuur 6-1 is ook het aandeel exitbeoordelingen weergegeven waarbij geen inwendige of uitwendige uitloging is gemeten. Bij WMD lijkt dit aandeel tussen de leeftijd van 35 jaar en 64 jaar af te nemen van 20% tot ongeveer 0%. De waarden voor de inwendige en de uitwendige uitloging lijken vrijwel gelijk te zijn. Het aandeel exitbeoordelingen zonder uitloging laat bij Brabant Water een veel minder eenduidig patroon zien.

In Figuur 6-2 zijn cumulatieve frequentieverdelingen weergegeven voor de inwendige uitloging bij WMD en Brabant Water. Voor de dataset van WMD en de leeftijd tussen 40 en 59 jaar is te zien dat voor de meeste exitbeoordelingen geldt dat de inwendige uitloging toeneemt met de leeftijd. Dat de lijnen niet (of in beperkte mate) kruisen, suggereert dat de verschillende leeftijdspannen een verschillende frequentieverdeling hebben en dus onderscheidend zijn. Voor de 20% beoordelingen met de hoogste uitloging is dit onderscheid overigens minder eenduidig. Voor de dataset van Brabant Water en de leeftijd tussen 35 en 54 jaar is het onderscheid tussen de leeftijdspannen niet eenduidig vast te stellen.



Figuur 6-2 Cumulatieve frequentieverdeling voor inwendige uitloging (mm) voor verschillende leeftijdscategorieën (jaar) voor WMD (links) en Brabant Water (rechts).

In Figuur 6-3 zijn cumulatieve frequentieverdelingen weergegeven voor de uitwendige uitloging bij WMD en Brabant Water. Ook hier geldt dat voor WMD onderscheidende verdelingen zichtbaar zijn. Voor Brabant water geldt dat niet.



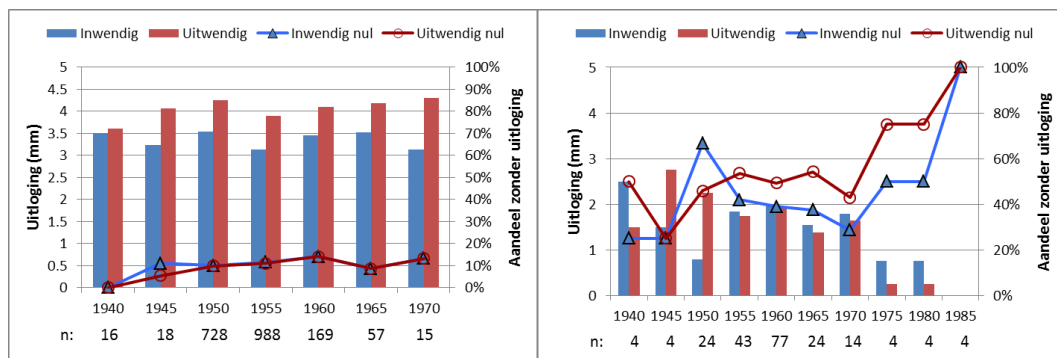
Figuur 6-3 Cumulatieve frequentieverdeling voor uitwendige uitloging (mm) voor verschillende leeftijdscategorieën (jaar) voor WMD (links) en Brabant Water (rechts).

Hypothese 1 (de uitloging van leidingen neemt toe in de tijd) kan worden ondersteund.

- De exitbeoordelingen van WMD en Brabant Water laten zien dat de gemiddelde uitloging van de groep leidingen toeneemt bij een toenemende leeftijd, waarbij relatief continue uitlogingsnelheden zijn waargenomen, die een lineair proces van degradatie suggereren. Deze conclusie is gebaseerd op gemiddelde meetwaarden die gelden voor cohorten en niet per se voor individuele leidingen.
- De cumulatieve frequentieverdelingen laten zien dat deze hypothese ook opgaat voor de meeste individuele leidingen bij WMD. De verdeling bij Brabant Water vertoont echter een minder eenduidig beeld, hier worden meer verschillen waargenomen tussen verschillende beoordelingsresultaten. Dat wil zeggen dat voor Brabant Water geldt dat de gemiddelde uitloging toeneemt bij toenemende leeftijd, maar dat gezien de grote spreiding dit niet gezegd kan worden voor elke individuele leiding. Wellicht speelt hier ook een rol dat de populatie van Brabant Water een kleinere omvang heeft dan die van WMD.

H2: Verklarende factor periode van aanleg

Hypothese 2 gaat uit van een uitloging die verband houdt met de periode van aanleg, wat zou inhouden dat in verschillende aanlegperiodes er verschillende leidingkwaliteiten, met oog op fabricage en aanleg, zijn toegepast. Van de dataset van WMD en Brabant Water is het jaar van aanleg voor perioden van vijf jaar gecombineerd met de inwendige en uitwendige uitloging, zie Figuur 6-4.

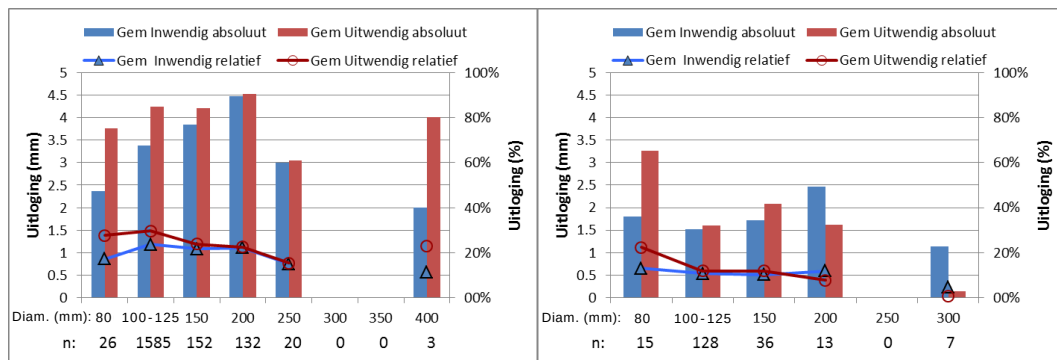


Figuur 6-4 Inwendige en uitwendige uitloging bij WMD (links) en Brabant Water (rechts) voor aanlegperiodes van 5 jaar, weergegeven als kolommen. De waarde 1940 staat voor de periode van 1940 tot en met 1944. Aandeel van de exitbeoordelingen waar een uitloging van 0 mm is gemeten, weergegeven als lijn. (WMD: n=2008, Brabant Water: n=202).

Bij WMD en Brabant water is geen duidelijk verband te zien tussen de mate van inwendige en uitwendige uitloging en de periode van aanleg. Het aandeel leidingen zonder inwendige of uitwendige uitloging neemt bij WMD echter af bij leidingen die eerder zijn aangelegd. Bij Brabant Water geldt dit voor uitwendige uitloging, echter niet voor inwendige uitloging. Bij Brabant Water is de inwendige uitloging opvallend lager bij leidingen aangelegd tussen 1950 en 1954. De inwendige en uitwendige uitloging is eveneens lager bij leidingen aangelegd na 1975. Deze laatste constatering is gebaseerd op een beperkt aantal beoordelingen.

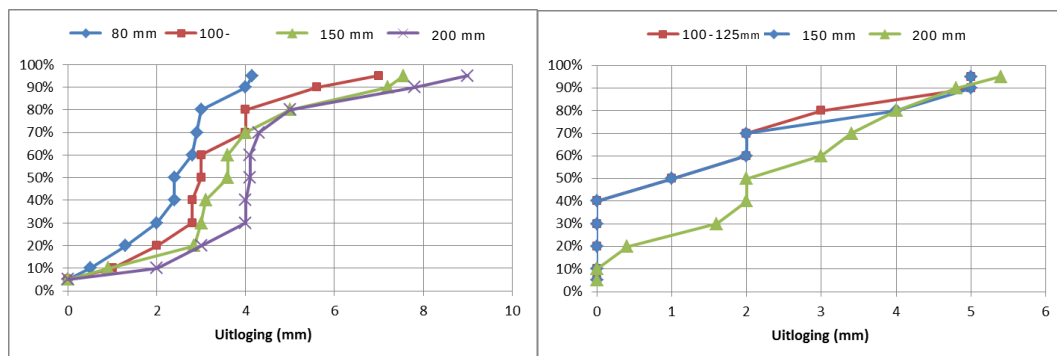
H3: Verklarende factor diameter

Hypothese 3 gaat voor diameters > 95 mm uit dat van een afnemende relatieve uitloging bij een oplopende diameter. De relatieve uitloging is hierbij de uitloging ten opzichte van de oorspronkelijke wanddikte. Aangezien de wanddikte bij grotere diameters toeneemt, zullen zij een lagere relatieve uitloging hebben als er sprake is van een gelijkmatige uitlogingssnelheid. Daarnaast hebben grotere diameters ook een kleinere oppervlakte-volume verhouding. Om te toetsen of er een relatie is tussen de diameter en de uitloging is in Figuur 6-5 de absolute uitloging (in mm) en de relatieve uitloging (als % van de originele wanddikte) uitgezet.



Figuur 6-5 Inwendige en uitwendige uitloging bij WMD (links) en Brabant Water (rechts) voor verschillende diameters als absolute waarden, weergegeven als kolommen. Inwendige en uitwendige uitloging bij WMD (links) en Brabant Water (rechts) als relatieve waarden en opzichte van de originele wanddikte, weergegeven als lijn. (WMD: n=2008, Brabant Water: n=202).

Bij WMD blijkt dat in de range van 80 tot en met 200 mm de absolute uitloging (in mm) toeneemt bij een oplopende diameter en dat dit het sterkst is bij inwendige uitloging. De relatieve uitloging neemt beperkt af bij oplopende diameter. Bij Brabant Water is ook een toenemende inwendige uitloging te zien in de range van 100 tot en met 200 mm. De uitwendige uitloging bij een diameter van 80 mm is bij Brabant Water opvallend hoog en vergelijkbaar met de corresponderende waarde bij WMD. Voor nader begrip is een aanvullende analyse van individuele metingen noodzakelijk.



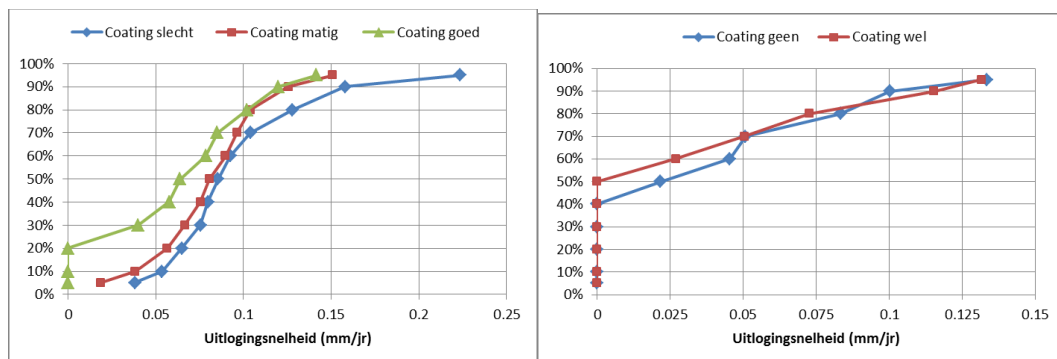
Figuur 6-6 Cumulatieve frequentieverdeling voor inwendige uitloging in relatie tot de diameter (mm) voor WMD (links) en Brabant Water (rechts). Voor de categorieën bij WMD geldt: '80 mm': n=26, '100-125 mm': n=1595, '150 mm': n=152, en '200mm': n=143. Voor de categorieën bij Brabant water geldt: '100 - 125 mm': n=128, '150 m': n=36, en '200 mm': n=13.

In Figuur 6-6 is voor enkele specifieke diametergroepen de cumulatieve frequentieverdeling uitgezet van de inwendige uitloging bij WMD en Brabant Water. Bij de verdeling bij WMD geldt dat grafieken onderscheidend zijn (geen overlap vertonen), wat aangeeft dat de diameter onderscheidend is voor de mate van inwendige uitloging. Bij Brabant Water is dit onderscheid niet duidelijk tussen '100 - 125 mm' en '150 mm'. De diametergroep '200 mm' blijkt in alle gevallen de grootste uitloging te hebben. Op basis van beide datasets kan worden geconcludeerd worden dat de absolute inwendige uitloging hoger is bij grotere diameters.

Hypothese 3 (de uitloging van leidingen neemt bij diameters > 95 mm af bij oplopende diameter) wordt door de metingen bij WMD en Brabant Water voor absolute inwendige uitloging verworpen. Uit de data blijkt dat bij oplopende diameter de absolute inwendige uitloging juist toeneemt.

H4: Verklarende factor uitwendige coating

Hypothese 4 gaat uit van een beschermende werking van een uitwendige coating, wat resulteert in minder uitloging, of anders gezegd een lagere uitlogingssnelheid. Deze hypothese is te toetsen als er informatie aanwezig is over de coating. Dit geldt voor de datasets van WMD en Brabant water. In Figuur 6-7 zijn cumulatieve frequentieverdelingen te zien van de uitlogingssnelheid (mm/jaar) voor verschillende geobserveerde toestanden van de coating. Overigens is er geen inzicht in de definities die zijn gehanteerd voor de beschrijving van de verschillende toestanden. De toestand van de coating is niet voor alle beoordelingen genoteerd. In de dataset van WMD is van 1645 beoordelingen de toestand van de coating aangegeven, voor de dataset van Brabant Water is dat van 198 beoordelingen. Dit betreft respectievelijk 82% en 98% van de beoordelingen.



Figuur 6-7. Cumulatieve frequentieverdeling voor uitwendige uitloging in relatie tot de kwaliteit van de coating voor WMD (links) en Brabant Water (rechts). Voor de categorieën bij WMD geldt: 'coating slecht': n=470, 'coating matig': n=566 en 'coating goed': n=609. Voor de categorieën bij Brabant Water geldt: 'coating geen': n=48, en 'coating wel': n=150.

WMD registreert de staat van de coating volgens de categorieën: 'coating slecht', 'coating matig' en 'coating goed'. In geval van een 'goede coating' wordt bij 20% van de exitbeoordelingen geen uitloging aangetroffen (uitlogingssnelheid is nul). Voor 50% van de gevallen met een 'goede coating' is de uitlogingssnelheid kleiner of gelijk aan 0,064 mm/jr. Bij een 'matige coating' is dit kleiner of gelijk aan 0,081 mm/jr en bij een 'slechte coating' is dit kleiner of gelijk aan 0,085 mm/jr. Aangezien de drie verdelingen onderscheidend zijn (geen overlap vertonen), kan gesteld worden dat de verschillen tussen de groepen significant zijn. Dit geldt vooral voor de categorieën 'coating goed' en 'coating slecht'.

Brabant Water registreert de staat van de coating volgens de categorieën: 'geen coating' en 'wel coating'. In geval van 'wel coating' wordt bij 50% van de exitbeoordelingen geen uitloging aangetroffen, in geval van 'geen coating' is dit in 40% van de beoordelingen. Voor 60% van de gevallen met 'wel coating' is de uitlogingssnelheid kleiner of gelijk aan 0,027 mm/jr. Bij 'geen coating' is dit kleiner of gelijk aan 0,046 mm/jr. Er zijn aanwijzingen dat de uitloging minder is, als er coating aanwezig is. De verdelingen zijn echter te weinig onderscheidend (ze vertonen overlap) om de verschillen tussen de groepen significant te noemen.

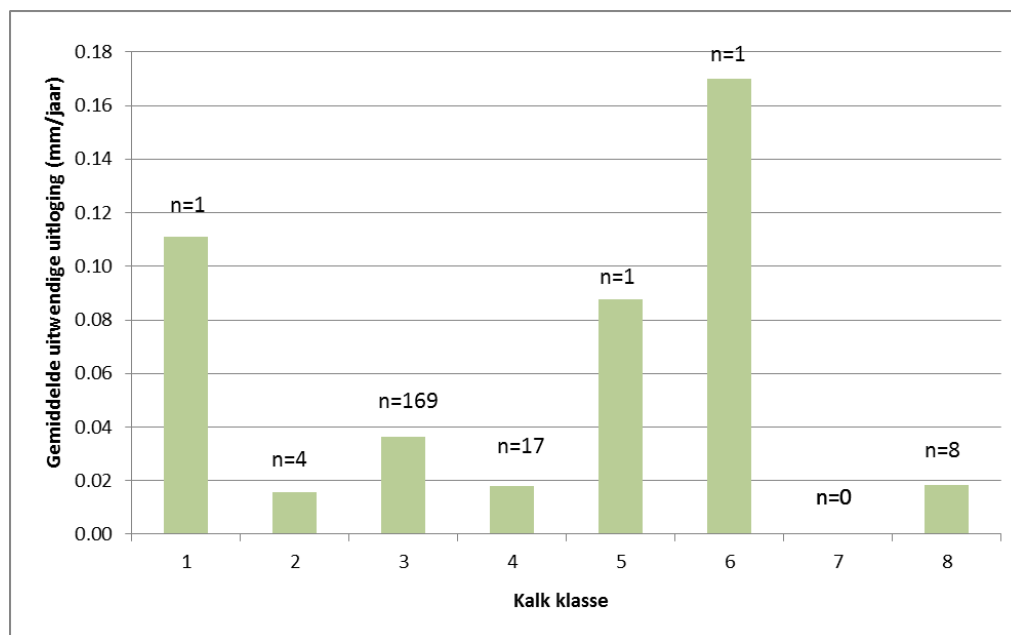
Hypothese 4 (de aanwezigheid van coating leidt tot minder uitwendige uitloging) wordt door de metingen bij WMD bevestigd en bij Brabant Water ondersteund.

H5: Verklarende factor kalkgehalte van de bodem

Hypothese 5 gaat uit van minder uitwendige uitloging bij leidingen in een kalkrijke ondergrond. Toetsing is mogelijk met de datasets van Brabant Water en Pidpa. De dataset van WMD is hier niet bruikbaar omdat aan de exitbeoordelingen geen XY-coördinaten waren gekoppeld. Met behulp van de X,Y-coördinaten van de uitgevoerde fenolftaleïne-testen is op de Bodemkaart van Nederland (Alterra, 2012) opgezocht welke bodemsoort in de directe omgeving aanwezig is. Per bodemsoort is een kalkwaarde toegekend op basis van de Bodemkaart. Onderstaande klassering, afkomstig uit de legenda van de Bodemkaart, is aangehouden, waarbij een hogere waarde overeenkomt met meer kalkrijke grond.

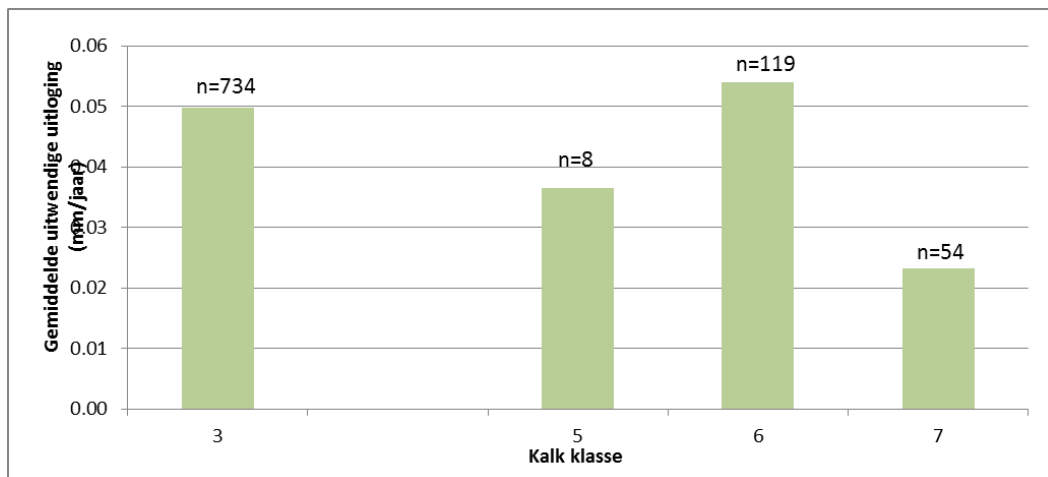
1. veen;
2. moerig op zand;
3. kalkarm zand;
4. kalkarme zavel;
5. kalkarme klei (lichte en zware);
6. leem;
7. kalkrijke lichte zavel en kalkrijk zand;
8. kalkrijke zware zavel en kalkrijke klei (lichte en zware).

Voor Brabant Water geldt dat vrijwel alle exitbeoordelingen zijn uitgevoerd op leidingen die zich bevinden in een bodem met kalkklasse 3 (kalkarm zand). Hierdoor is het niet mogelijk een uitspraak te doen over het effect van bodemsoort op uitwendige uitloging (zie Figuur 6-8).



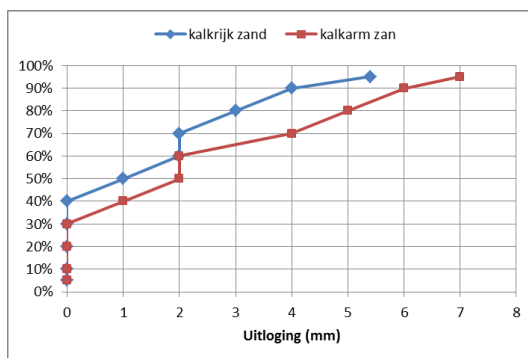
Figuur 6-8 Uitwendige uitloging per kalkklasse (Brabant Water, n = 202)

Met behulp van de dataset van de Pidpa is een vergelijkbare analyse gemaakt, waarbij een Belgische bodemkaart is gebuikt met een soortgelijke indeling, zie Figuur 6-9. Hieruit blijkt dat in het meer kalkrijke leem (klasse 6) de gemiddelde uitloging iets hoger is dan in 'kalkarm zand' (klasse 3). In 'kalkrijke lichte zavel of kalkrijk zand' (Klasse 7) is de uitloging aanzienlijk lager dan in 'kalkarm zand'.



Figuur 6-9 Uitwendige uitloging per kalkklasse (Pidpa, n = 915)

Uit Figuur 6-9 blijkt dat er voor de dataset van de Pidpa een verschil is in uitloging tussen de bodemsoorten 'kalkarm zand' en 'kalkrijke lichte zavel en kalkrijk zand'. In Figuur 6-10 is een cumulatieve frequentieverdeling weergegeven van de resultaten van de exitbeoordelingen in beide bodemsoorten. Het totaal aantal meetwaarden is lager dan in Figuur 6-9, aangezien een aantal meetwaarden met onduidelijke waarden zijn uitgesloten. Vergelijking van beide verdelingen geeft een aanwijzing dat de uitloging hoger is in een kalkarme zandbodem en lager in een kalkrijke lichte zavel- of zandbodem. Gegeven het feit dat hier slechts twee bodemklassen worden vergeleken en dat voor leem een afwijkende trend is te zien, is deze observatie te beperkt om de hypothese te kunnen bevestigen.



Figuur 6-10 Cumulatieve frequentieverdeling voor uitwendige uitloging in relatie tot de bodemcategorieën 'kalkarm zand' (klasse 3) en 'kalkrijke lichte zavel en kalkrijk zand' (klasse 7) bij Pidpa. Voor de categorieën geldt: 'kalkarm zand': n=616, en 'kalkrijke lichte zavel en kalkrijk zand': n=47.

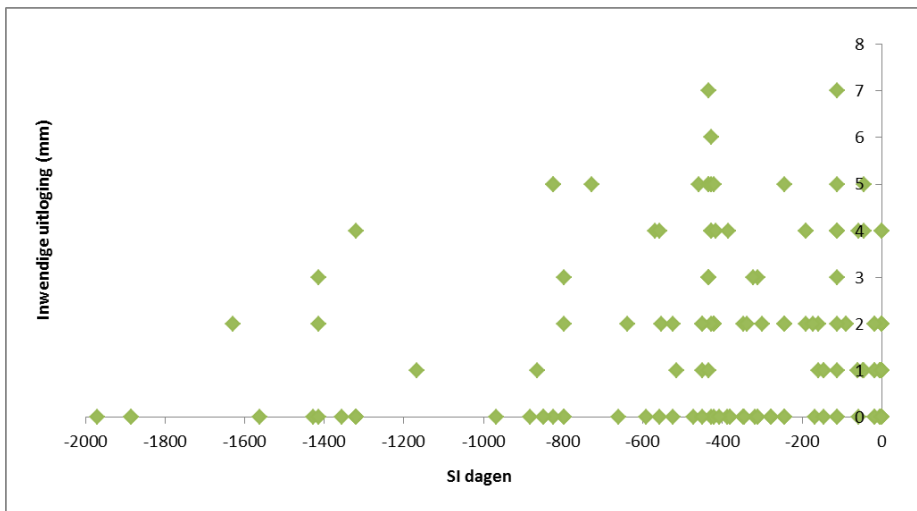
Hypothese 5 (de aanwezigheid van kalk in de bodem leidt tot minder uitwendige uitloging) kan met de datasets van Brabant Water en Pidpa niet worden bevestigd. De gegevens van Brabant Water bevatten te weinig meetpunten in bodemsoorten niet zijnde zand. De gegevens van Pidpa laten een tegenstrijdig beeld zien. Wellicht dat een nadere analyse meer duidelijkheid verschaft.

H6: Verklarende factor SI van het drinkwater

Hypothese 6 gaat uit van meer inwendige uitloging bij leidingen met een groter aantal negatieve SI-dagen. Deze hypothese is getoetst voor de dataset van Brabant Water. Hierbij is in een separate adviesopdracht, de SI van een lange periode in kaart gebracht (Mesman,

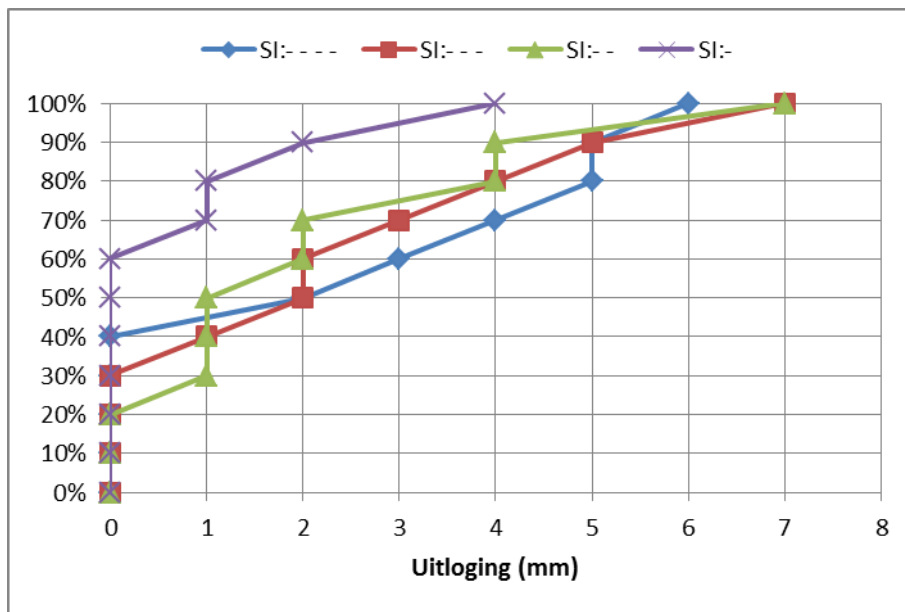
2010). Voor pompstations die een negatieve SI hebben, of in het verleden hebben gehad, is de zogenaamde historische negatieve SI berekend. Voor de periode 1952 – 1986 is gebruik gemaakt van zeven momentane waarden uit de Vewin Waterleidingstatistiek. Voor de periode 1990 – 2009 is gebruik gemaakt van kwartaalwaarden van Brabant Water. De historische negatieve SI is vervolgens bepaald door vermenigvuldiging van de gemeten SI-waarde, mits deze negatief is, met de betreffende periode van de meting.

Figuur 6-11 geeft voor de dataset van Brabant Water de mate van uitlogging weer ten opzichte van het aantal negatieve SI-dagen. Uit deze figuur blijkt niet dat een hoger aantal negatieve SI-dagen resulteert in een hogere mate van inwendige uitlogging.



Figuur 6-11 Inwendige uitlogging als functie van negatieve SI dagen (n=202, Brabant Water)

In Figuur 6-12 zijn cumulatieve frequentieverdelingen weergegeven voor vier groepen van gelijke omvang, gesorteerd op basis van het aantal negatieve SI-dagen. De groepen zijn ingedeeld volgens de verdeling: 'SI: - ': van 0 tot en met -17 SI-dagen, 'SI: - - ': van -44 tot en met -310 SI-dagen, 'SI: - - - ': van -317 tot en met -661 SI-dagen en 'SI: - - - - ': van -728 tot en met -13069 SI-dagen. De verdeling van de groep exitbeoordelingen op de locaties met de minst negatieve SI ('SI: -') kent een lagere inwendige uitlogging dan de andere groepen. Van de groep met de minst negatieve SI, heeft 60% geen inwendige uitlogging en heeft 90% een uitlogging van 2 mm of minder. De verdeling van de overige groepen laat een hogere inwendige uitlogging zien. Deze verdelingen zijn onderling niet onderscheidend.

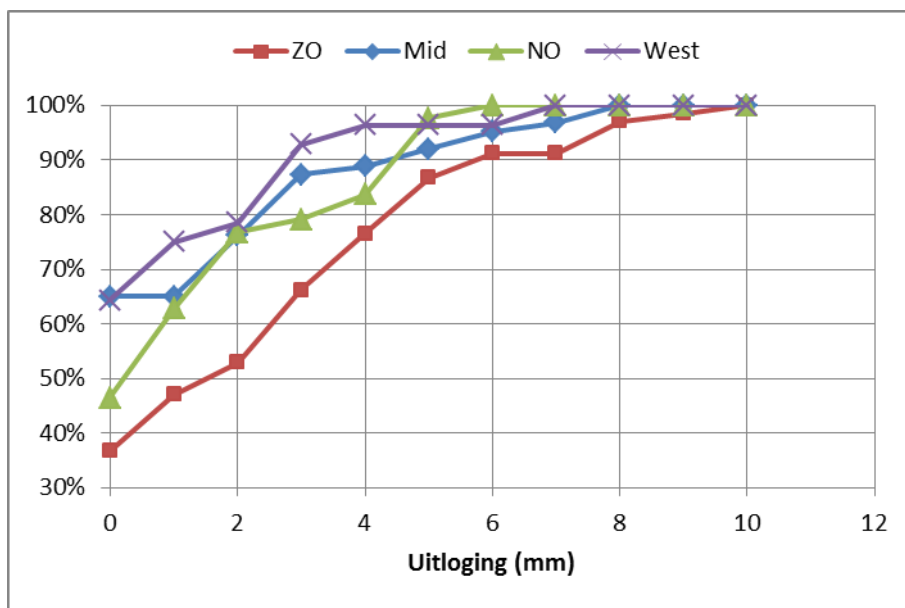


Figuur 6-12 Cumulatieve frequentieverdeling voor inwendige uitlogging in relatie tot het totaal aantal negatieve SI-dagen. De subgroepen zijn verkregen door de beoordelingen te sorteren en te verdelen in vier groepen van gelijke omvang. 'SI: - - - -' staat voor de 25% met de meest negatieve SI-waarde en 'SI: -' voor de 25% minst negatieve SI-waarden.

Hypothese 6 (een groter aantal negatieve SI-dagen van het drinkwater leidt tot meer inwendige uitlogging) kan niet worden bevestigd, maar de resultaten suggereren wel een verband. Uit analyse van de exitbeoordelingen blijkt dat op locaties waar zich geen of een zeer beperkte negatieve SI heeft voorgedaan de inwendige uitlogging lager is.

Overige mogelijke verklarende factoren

In de gegevens van Brabant Water is naast de opgestelde hypothesen ook gekeken naar de invloed van regionale spreiding. Figuur 6-13 geeft voor de vier regio's van Brabant Water een cumulatieve frequentieverdeling weer van de uitwendige uitlogging. Te zien is dat in de regio's Zuidoost en Noordoost ongeveer 40% van de exitbeoordelingen een uitlogging laat zien van 0 mm. In de regio's Midden en West geldt dit voor ongeveer 65% van de gevallen. Nadere analyse is noodzakelijk om de achtergrond van deze verschillen te verklaren. Voor wat betreft de exitbeoordelingen waar wel uitlogging is gemeten, geldt dat met name in de regio Zuidoost meer uitlogging wordt gemeten. Voor deze regio hebben 47% van de exitbeoordelingen een externe uitlogging van meer dan 2 mm, terwijl dit voor de andere regio's varieert van 21% tot 24%. Tevens geldt dat in de regio Zuidoost 13% een externe uitlogging heeft groter dan 5 mm, terwijl dit in de andere regio's 2% tot 8% is.



Figuur 6-13 Cumulatieve frequentieverdeling uitwendige uitloging per regio (n=202, Brabant Water)

6.1.4 Samenvatting toetsing uitloging aan één parameter

De resultaten van de toetsing van uitloging aan één parameter zijn samengevat in Tabel 6-4.

Tabel 6-4. Samenbatting toetsing uitloging aan één parameter

Hypothese	Omschrijving	Conclusie
H1	De uitloging van leidingen neemt toe in de tijd.	Ondersteund.
H2	De uitloging houdt verband met de periode van productie en aanleg en de daarin gehanteerd kwaliteit van werken.	Niet bevestigd.
H3	Voor diameters > 95 mm neemt bij oplopende diameter de uitloging af.	Verworpen, er wordt een verband aangetoond dat bij toenemende diameter de inwendige uitloging toeneemt.
H4	Uitwendige coating / bescherming leidt tot afnemende uitloging.	Bevestigd (WMD), ondersteund (Brabant Water)
H5	AC-leidingen hebben een hogere uitwendige uitloging in bodems met een lager kalkgehalte en/of pH dan in bodems met een hoger kalkgehalte en/of pH.	Niet bevestigd. Echter voor één dataset zijn er aanwijzingen dat in kalkrijk zand de uitloging lager is dan in kalkarm zand.
H6	AC-leidingen met drinkwater met lagere (negatieve) SI hebben een hogere inwendige uitloging dan leidingen met drinkwater met hogere SI.	Niet bevestigd. Wel is aangetoond dat de inwendige uitloging minder is op locaties waar zich geen of een zeer beperkte negatieve SI heeft voorgedaan

De analyse op basis van één parameter levert in een beperkt aantal gevallen ondersteuning voor een verband tussen uitloging en een verklarende factor. Dit kan veroorzaakt worden

doordat de uitlogging van AC door meerdere invloedsfactoren wordt bepaald. Om die reden wordt in paragraaf 6.3 een analyse besproken waarbij meerdere factoren in samenhang kunnen worden geanalyseerd.

6.2 USTORE resultaten voor AC leidingen

Met behulp van de USTORE storingsregistratie kan het storingsgedrag worden bepaald in relatie tot de periode van aanleg en de diameter van de leiding. Van deze parameters zijn registraties beschikbaar van de storingen en de leidingen, zodat de storingsfrequentie kan worden bepaald. Aangezien uitlogging leidt tot vermindering van de sterkte van een leiding, is het te verwachten dat er een verband bestaat tussen de mate van uitlogging en de storingsfrequentie. In deze paragraaf zijn de resultaten weergegeven van beschikbare en relevante USTORE data, te weten storingen in relatie tot de periode van aanleg en de diameter.

In Tabel 6-5 wordt een overzicht gegeven van de geregistreerde spontane storingen in AC leidingen die zijn opgetreden op buisdelen in relatie tot de periode van aanleg (zie Hypothese 2). Op basis van de periode van aanleg en de periode van registratie van storingen is de leeftijd bepaald (zie Hypothese 1). Aangezien de registratieperiode 4 jaar betreft is er overlap aanwezig tussen de leeftijdscategorieën. De storingsfrequentie van leidingen aangelegd na 1965 (of met een leeftijd minder dan 48 jaar) is aanzienlijk lager (0,016 – 0,031 st/km/jr) dan in de periode voor 1965 (of met een leeftijd tussen 46 en 63) jaar (0,070 – 0,137 st/km/jr). Op basis van deze storingsanalyse is te verwachten dat oudere leidingen een hogere uitlogging hebben.

Tabel 6-5 Storingsfrequentie spontane storingen op AC buisdelen, registreerde storingen tussen 2010-2013 voor 7 waterbedrijven.

Periode van aanleg	Leeftijdscategorie (jaar)	Totale lengte (km)	Storingen (aantal)	Storingsfrequentie (st/km/jr)
1950-1954	56 - 63	4.238	580	0,137
1955-1959	51 - 58	9.794	1111	0,113
1960-1964	46 - 53	12.775	891	0,070
1965-1969	41 - 48	13.728	420	0,031
1970-1974	36 - 43	10.029	304	0,030
1975-1979	31 - 38	6.735	176	0,026
1980-1984	26 - 33	5.388	103	0,019
1985-1989	21 - 28	5.280	69	0,013
1990-1994	16 - 23	1.719	27	0,016

In Tabel 6-6 wordt een overzicht gegeven van de geregistreerde spontane storingen in AC leidingen die zijn opgetreden op buisdelen in relatie tot de diameter (zie Hypothese 3). De storingsfrequentie van leidingen groter dan 250 mm is aanzienlijk lager (0,001 – 0,018 st/km/jr) dan van de leidingen kleiner dan 250 mm (0,058 – 0,070 st/km/jr). Het is op basis van deze storingsanalyse te verwachten dat deze grotere diameters een lagere relatieve uitlogging kennen.

Tabel 6-6 Storingsfrequentie spontane storingen op AC buisdelen, registreerde storingen tussen 2010-2013 voor 7 waterbedrijven.

Diameter (mm)	Storingsfrequentie (st/km/jr)
50-99	0,070
100-159	0,063
160-249	0,058
250-399	0,018
400-599	0,001
600-799	0,001

6.3 Toetsing uitloging op basis van meerdere verklarende factoren

Binnen het BTO project 'Datamining voor Assetmanagement' is een verkenning uitgevoerd naar de toepassing van innovatieve analysetechnieken. Eén van de kansrijke technieken is Kunstmatige Neurale Netwerken (KNN). De toepassing van deze techniek is getoetst door het verklaren van de inwendige uitloging bij asbestcementleidingen met de dataset van Brabant Water. Met KNN is het mogelijk om verbanden aan te tonen tussen meerdere parameters en het te onderzoeken fenomeen.

Kunstmatige Neurale Netwerken (KNN) zijn statistische simulatiemodellen die gebaseerd zijn op de manier waarop biologische zenuwstelsels, zoals het menselijk brein, inwendig georganiseerd zijn. Net als in een biologisch brein bestaat een KNN uit een uitgebreide verzameling neuronen die onderling met elkaar verbonden zijn. Deze neuronen en de onderlinge verbindingen zijn te plaatsen in een zogenaamd neurale netwerk. Dit netwerk is te trainen op het uitvoeren van bepaalde taken, zoals bijvoorbeeld het geven van een juiste uitkomst op basis van een bepaalde set voorspellende factoren. Voor meer informatie over KNN en de uitgevoerde analyse, zie Vonk (2014).

De voorspellende factoren die zijn getoetst met KNN zijn weergegeven in Tabel 6-7. De parameters die betrekking hebben op de waterkwaliteit hebben betrekking op metingen op het pompstation. Hiervoor zijn de waarden van het jaar 2005 gebruikt

Tabel 6-7 Overzicht van mogelijk voorspellende factoren voor inwendige uitloging in de beschikbare datasets met bijbehorende eenheden en codering (Vonc, 2004).

Directe factoren	Indirecte voorspellende factoren	Eenheid	Codering
Materiaalkwaliteit specifiek leidingsegment	Jaar van aanleg	jaar	JVA
	Wanddikte	mm	WDL
	Regio	-	REG
	Gemeente	-	GEM
Duur lokale blootstelling aan kalk-agressiviteit	Leeftijd leidingsegment	jaar	LFD
Mate van lokale blootstelling aan kalk-agressiviteit	Diameter leidingsegment	mm	DIA
	pH-waarde bij pompstation	-	PHP
	SI-waarde bij pompstation)	-	SIP
	Afstand leidingsegment tot pompstation (hemelsbreed)	m	AFS
	Calciumconcentratie van het water	mg/l	CAL
	Gehalte Total Inorganic Carbon (TIC) van het water bij pompstation	mmol/l	TIC
	Concentratie HCO ₃ ⁻ bij pompstation	mg/l	HCO

Van alle onderzochte combinaties is een selectie weergegeven in Tabel 6-8. Daarbij is de determinatiecoëfficiënt (R^2) gehanteerd als maatstaf voor de modelkwaliteit. Deze coëfficiënt loopt van 0 tot 1, waarbij 0 aangeeft dat het model geen voorspellende waarde heeft en 1 dat de modelvoorspelling overeenkomt met de werkelijke waarde. De toename van deze parameter bij het toevoegen van een parameter aan het voorspellingsmodel, geeft een maat voor het belang van deze combinatie van parameters als verklarende factor.

Tabel 6-8: Modelresultaat en netwerkconfiguraties bij verschillende meegenomen factoren. Om inzicht te krijgen in de voorspellende waarde van verschillende factoren zijn in elke rij verschillende combinaties van factoren meegenomen. Doorgaans ligt het validatieresultaat 10% lager dan het trainingsresultaat. Dit is een consistente observatie voor nagenoeg alle uitgevoerde simulaties. Voor de beschrijving van de factoren, zie codering in Tabel 6-7 (Vonk, 2004).

Simulatie #	Meegenomen factoren											Netwerk - configuratie			Resultaat (R ²)		
	GEM	DIA	WDL	JVA	LFD	PHP	SIP	HCO	TIC	CAL	AFS	Invoer	Verborgen	Uitvoer	Training	Validatie	Totaal
1	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	1	3	1	0,10	0,09	0,09
2	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	3	8	1	0,17	0,14	0,14
3	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	4	9	1	0,18	0,16	0,17
4	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	5	10	1	0,18	0,15	0,17
5	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	6	10	1	0,26	0,24	0,25
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	6	10	1	0,28	0,23	0,26
7	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	6	10	1	0,32	0,22	0,29
8	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	4	9	1	0,33	0,32	0,32
9	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	6	10	1	0,36	0,27	0,33
10	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	7	12	1	0,41	0,30	0,35
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	10	14	1	0,38	0,34	0,37
12	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	8	12	1	0,44	0,37	0,39
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	9	12	1	0,47	0,41	0,42
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	11	16	1	0,52	0,46	0,48

Vonk (2014) plaatst op basis van deze analyse onderstaande constatering (overgenomen uit rapport):

1. Uit het verschil tussen simulaties 11 en 14 blijkt dat de calciumconcentratie een belangrijke voorspellende factor is, die desondanks nog niet in de literatuur genoemd

wordt als zodanig. De correlatie met deze factor kan fysisch verklaard worden doordat bij het uitlogingsproces ook calcium oplost (Mesman & Slaats, 2004).

2. De leeftijd van een leidingsegment lijkt geen grote voorspellende waarde te hebben. Dit is te verklaren doordat de fenolftaleïne testen pas sinds relatief korte tijd structureel worden uitgevoerd en geregistreerd. De beschikbare testen zijn allemaal uit een relatief korte periode (2009-2014), waardoor er feitelijk een grote overlap in informatie is tussen het jaar van aanleg en de leeftijd (het “verschil in informatie” is maximaal 5 jaar). Het lijkt aannemelijk dat, indien er in de toekomst nieuwe fenolftaleïne testen aan de dataset toegevoegd worden, de voorspellende waarde van de leeftijd sterker wordt.
3. De SI-waarde lijkt, zoals ook in eerdere onderzoeken vaak genoemd, een duidelijke voorspellende waarde te hebben. Dit is te zien aan het verschil in modelresultaat van simulaties 4 en 7.

De afgeleide parameter “afstand tot pompstation” voegt veel toe aan de kwaliteit van de voorspelling, zo is te zien aan het verschil tussen simulaties 4 en 5. Dit versterkt het vermoeden dat de samenstelling van het drinkwater sterk verandert in het leidingnet. Een alternatieve hypothese, namelijk dat de voorspellende waarde van “afstand tot pompstation” verband houdt met de correlatie tussen afstand (verblijftijd) en de lokale buisdiameter, lijkt onwaarschijnlijk omdat de buisdiameter al expliciet is meegenomen als verklarende variabele. Vooralsnog is in dit onderzoek uitgegaan van de hemelsbrede afstand tussen pompstation en locatie; de daadwerkelijke netwerkaafstand biedt wellicht nog meer voorspellende waarde.

4. Zoals uit simulatie 8 blijkt zijn “afstand tot pompstation”, “concentratie waterstofcarbonaat (HCO_3^-)”, “calciumconcentratie” en “gemeente” de belangrijkste parameters om uitloging te voorspellen. Bij deze parametercombinatie is de gemiddelde verklaarde variantie per parameter het hoogst. Samen bepalen de vier parameters 67% van het totale, hoogst behaalde, modelresultaat (waarbij dit totaalresultaat behaald wordt door in de simulatie alle parameters mee te nemen).

7 Discussie

7.1 Kwaliteit datasets

Door vijf waterbedrijven zijn datasets ter beschikking gesteld. De kwaliteit van deze datasets is sterk verschillend en alleen de dataset van Brabant Water was, onder andere vanwege de aanwezigheid van XY-coördinaten, geschikt voor de meest uitgebreide analyse op basis van één parameter (paragraaf 6.1) en van meerdere parameters (paragraaf 6.3). De datasets van WMD en Pidpa zijn gebruikt voor aanvullende analyses. De belangrijkste tekortkomingen in deze datasets waren:

- ontbreken informatie bodemsoort;
- ontbreken informatie coating;
- jaar van aanleg onbekend;
- oorspronkelijke wanddikte onbekend;
- geen onderscheid tussen in- en uitwendige uitlogging;
- ontbreken informatie over grondwaterstand;
- ontbreken informatie over drinkwaterkwaliteit (SI).

Om kennis te destilleren uit exitbeoordelingen is het belangrijk dat de meetresultaten worden gerelateerd aan omgevingsinformatie en dat er een eenduidige registratie van de locatie is, bij voorkeur in de vorm van XY- of GPS-coördinaten.

7.2 Verklarende factoren voor uitlogging AC

Op basis van de opgestelde hypothesen in Vloerbergh en Blokker (2007) zijn in dit onderzoek zes hypothesen opgesteld die dienen als mogelijke verklarende factor voor de uitlogging van AC leidingen. In paragraaf 6.1.3 zijn deze hypothesen getoetst en is aangegeven in hoeverre de hypothese is bevestigd of ontkracht. In deze paragraaf worden deze toetsingen bediscussieerd en gerelateerd aan eerder uitgevoerd onderzoek. De resultaten van de analyse voor Brabant Water met Kunstmatige Neurale Netwerken (zie paragraaf 6.3), die zich beperkt tot interne uitlogging, wordt eveneens betrokken in deze toetsing.

H1: De uitlogging van leidingen neemt toe bij toenemende leeftijd

De analyses van de datasets van Brabant Water en WMD laten een toenemende uitlogging zien bij toenemende leeftijd voor zowel inwendige als uitwendige uitlogging. Bij de WMD geldt dit voor de gemiddelde waarde van verschillende leeftijdsgroepen en voor het merendeel van de individuele exitbeoordelingen. Bij Brabant Water geldt dit vooral voor de gemiddelde waarde van de leeftijdsgroepen. Bij de analyse met KNN blijkt dat voor Brabant Water de leeftijd zeer beperkt onderscheidend is voor de inwendige uitlogging. Internationaal onderzoek (zie paragraaf 4.1.4) van Conroy et al. (2005) benoemt leeftijd wel als bepalende factor, maar maakt melding van een grote spreiding. Hu et al. (2013) laten zien dat leeftijd geen invloed heeft op uitwendige uitlogging en zeer beperkt op inwendige uitlogging. De combinatie van pH en leeftijd blijkt volgens Hu wel een betrouwbare voorspellende waarde te hebben. De storingsfrequentie van AC laat meer storingen zien bij een hogere leeftijd.

Samenvattend blijkt dat onderzoeksresultaten tegenstrijdige resultaten laten zien over de bijdrage van leeftijd als verklarende factor voor de uitlogging van AC leidingen. Opvallend is dat de analyse met de meeste exitbeoordelingen (WMD) een duidelijk positief verband laat

zien tussen leeftijd en uitlogging. Ook de storingsanalyse die is gebaseerd op 3681 storingen in AC leidingen laat dit verband zien.

Verklarende factor leeftijd: Op basis van de onderzoekresultaten is er ondersteuning van de hypothese dat uitlogging toeneemt bij toenemende leeftijd.

H2: De uitlogging van leidingen is afhankelijk van de periode van aanleg
De analyses van de datasets van Brabant Water en WMD laten geen relatie zien tussen de inwendige en uitwendige uitlogging en de periode van aanleg. De gemiddelde waarden per periode van vijf jaar laten een relatief gelijkmatige uitlogging zien tussen 1950 en 1974. Bij de analyse met KNN voor Brabant Water blijkt dat de periode van aanleg beperkt onderscheidend is voor inwendige uitlogging. Internationaal onderzoek (zie paragraaf 4.1.4) van Conroy et al. (2005) en Hu et al. (2013) noemt de periode van aanleg niet als verklarende factor voor uitlogging. De storingsfrequentie van AC leidingen neemt echter wel toe bij een eerdere periode van aanleg.

Verklarende factor periode van aanleg: Op basis van de onderzoekresultaten kan niet bevestigd worden dat uitlogging afhankelijk is van de periode van aanleg.

De constatering dat er wel een verband zichtbaar is tussen inwendige en uitwendige uitlogging en de leeftijd, en niet tussen inwendige en uitwendige uitlogging en de periode van jaar van aanleg is opvallend. Nader onderzoek wordt hier aanbevolen.

H3: Voor diameters > 95 mm geldt, dat bij oplopende diameter de uitlogging afneemt
De analyses van de datasets van Brabant Water en WMD laten een toenemende inwendige uitlogging zien bij een oplopende diameter. Voor uitwendige uitlogging is geen verband gevonden. Bij de analyse met KNN blijkt dat voor Brabant Water de diameter beperkt onderscheidend is voor de inwendige uitlogging (vergelijk in Tabel 6-8 de toename van het resultaat van 0,09 voor simulatie 1 en 0,14 voor simulatie 2). Hierbij is niet duidelijk of de inwendige uitlogging bij toenemende diameter toeneemt of afneemt. Internationaal onderzoek (zie paragraaf 4.1.4) van Conroy et al. (2005) en Hu et al. (2013) noemt de diameter niet als verklarende factor voor uitlogging. De storingsfrequentie van AC leidingen neemt af bij een toenemende diameter.

De oorzaak van de toenemende inwendige uitlogging bij oplopende diameter kan gelegen zijn in het feit dat het water dichterbij het pompstation relatief agressiever is. In de regel bevinden grotere diameters zich dichterbij het pompstation (i.c. de transportleidingen) en kleinere diameters zich meer in de periferie (i.c. de distributieleidingen). Tijdens het distributieproces kan de samenstelling van het water veranderen door uitlogging van AC leidingen en daardoor minder agressief zijn in verder gelegen AC leidingen.

Verklarende factor diameter: Op basis van de onderzoekresultaten blijkt dat de hypothese dient te worden verworpen dat uitlogging van leidingen afneemt bij oplopende diameter. Onderzoeksresultaten laten duidelijk zien dat de inwendige uitlogging in absolute zin (in mm) toeneemt bij een oplopende diameter. De relatieve uitlogging (als percentage van de wanddikte) neemt wel af. Dit is toe te schrijven aan de toenemende wanddikte bij oplopende diameter.

H4: Uitwendige coating / bescherming leidt tot afnemende uitlogging
De analyses van de dataset van WMD laat een duidelijk verband zien tussen de aanwezigheid van een coating en uitwendige uitlogging. Voor Brabant water zijn er aanwijzingen voor een verband. Internationaal onderzoek (zie paragraaf 4.1.4) van Conroy et al. (2005) en Hu et al.

(2013) noemt de coating niet als verklarende factor voor uitwendige uitloging. Uit deze studies blijkt niet of de impact van coating is onderzocht.

Verklarende factor coating: Op basis van de onderzoekresultaten is er bevestiging van de hypothese dat uitwendige uitloging minder is bij aanwezigheid van een goede coating.

Informatie over de toestand van de coating is alleen beschikbaar door het ontgraven van de leiding. Door dit bij iedere gelegenheid op gestructureerde wijze vast te leggen, verzamelt het waterbedrijf informatie die ingezet kan worden bij het prioriteren van vervangingen van AC leidingen. Aanbevolen wordt nader onderzoek uit te voeren naar de degradatie van coatings om na te gaan of deze voorspellende factor in de praktijk toepassing kan vinden.

H5: AC-leidingen hebben een hogere uitwendige uitloging in bodems met een lager kalkgehalte dan in bodems met een hoger kalkgehalte

De analyses van de datasets van Brabant Water en Pidpa laten geen eenduidige relatie zien tussen de toename van het kalkgehalte in de bodem en de mate van uitwendige uitloging. Voor Brabant Water speelt een rol dat de overgrote meerderheid van de beoordelingen zich (volgens de Bodemkaart) bevindt in zandgronden (volgens de Bodemkaart). Hierdoor was vergelijking met andere bodemsoorten niet mogelijk. Er kunnen echter vraagtekens worden geplaatst bij het lage aantal beoordelingen ($n=1$ in Figuur 6-8) in veen, aangezien er meldingen zijn van exitbeoordelingen in het Peel-gebied dat grotendeels een veenachtige bodem heeft.

De vergelijking bij Pidpa waarbij slechts de twee bodemgroepen zijn beschouwd, namelijk 'kalkarm zand' en 'kalkrijk lichte zavel en kalkrijk zand', toont aan dat in een 'kalkrijk zand' er sprake is van minder uitloging dan in 'kalkrijk lichte zavel en kalkrijk zand'. Deze constatering geldt echter niet voor leem, dat meer kalk bevat dan kalkarm zand, en toch een hogere uitloging laat zien. Wellicht dat er in leem andere processen optreden die invloed hebben op de uitloging.

Eerder uitgevoerd onderzoek in het kader van het BTO toont aan dat de gemiddelde storingsfrequentie van AC leidingen in een kalkarme bodem ongeveer 60% hoger is dan in een kalkrijke bodem (van Daal, 2012). Onderzoek van Rosenthal (2001) toont op basis van fenolftaleïne testen bij WMD aan dat er meer uitloging optreedt in een bodem met een pH van 6 of lager. Internationaal onderzoek van Conroy et al. (2005) en Hu et al. (2013) benoemen een lage pH van de bodem of het grondwater als bepalende factor voor de uitwendige uitloging. Bodems met een lage pH zijn kalkarm.

Verklarende factor kalkgehalte of pH bodem: De resultaten van voorliggend onderzoek geven weinig uitsluitsel voor bevestiging of verwerping van deze hypothese. Op basis van eerder uitgevoerd onderzoek uit het BTO, internationaal onderzoek en de vergelijking van twee bodemklassen bij Pidpa, is er voldoende aanleiding voor handhaving van de hypothese dat er meer uitwendige uitloging is bij afwezigheid van kalk of een lage pH in de bodem.

H6: AC-leidingen met drinkwater met lagere (negatieve) SI hebben een hogere inwendige uitloging dan leidingen met drinkwater met hogere SI

De analyse van de historische SI met de dataset van Brabant Water laat zien dat leidingen die zijn gelegen in voorzieningsgebieden van pompstations waar langdurig water is geproduceerd met een hoge negatieve SI, niet per se degenen zijn met de hoogste inwendige uitloging. Het is echter wel aangetoond (zie paragraaf 6.1.3) dat leidingen een lagere inwendige uitloging hebben als het pompstation geen of een zeer beperkte negatieve SI heeft gekend. Bij de analyse met KNN blijkt dat voor Brabant Water de SI onderscheidend is

voor de inwendige uitloging. Dit blijkt ook voor hieraan gerelateerde parameters zoals de concentratie calcium en waterstofcarbonaat (HCO_3^-). Opgemerkt wordt dat deze relaties niet zijn gebaseerd op de historische negatieve SI maar op de waterkwaliteit in 2005.

Eerder uitgevoerd onderzoek in het voorzieningsgebied van de WMD beschrijft een significante relatie tussen de SI en de mate van uitloging (Rosenthal, 2001). Internationaal onderzoek benoemt een lage concentratie bicarbonaat (CaCO_3) (Conroy et al., 2005) en de agressiviteitsindex, de pH, de alkaliniteit en de hardheid (Hu et al., 2013) als factoren die impact hebben op de inwendige uitloging. Deze parameters zijn onderling aan elkaar verwant en worden ook uitgedrukt door de SI.

Verklarende factor SI drinkwater: De onderzoeksresultaten met betrekking tot de historische SI bij Brabant Water geven een beperkte bevestiging van deze hypothese. Op basis van internationaal onderzoek en de analyse met KNN, is er voldoende aanleiding voor handhaving van de hypothese dat inwendige uitloging hoger is bij een negatieve SI van het drinkwater.

Om een juiste SI van het drinkwater te gebruiken is het noodzakelijk gegevens te hebben over de historische SI. Het vaststellen van de historische SI is niet eenvoudig, er is slechts beperkt aantal meetreeksen beschikbaar en het vergt veel uitzoekwerk om de gegevens hiervan te verzamelen. Het is daarom twijfelachtig of het effectief is een voorspelling van de conditie uit te voeren op basis van historische SI.

7.3 De waarde van exitbeoordelingen op AC leidingdelen

Exitbeoordelingen geven informatie over de conditie op een specifieke locatie. De centrale vraag in dit onderzoek is of exitbeoordelingen ook toegevoegde waarde hebben voor een generieke kennisopbouw over het degradatiegedrag van groepen leidingen. Kennisopbouw is mogelijk door analyse van exitbeoordelingen en het aantonen van verbanden tussen meetbare verklarende factoren en de degradatie van AC leidingen door uitloging. Deze kennis helpt waterbedrijven een betrouwbare voorspelling te maken van de conditie van leidingcohorten en de juiste leiding op het juiste moment te saneren. De centrale vraag in dit onderzoek is te beantwoorden met behulp van drie deelvragen (zie ook Hoofdstuk 1):

1. Zijn exitbeoordelingen een betrouwbare en representatieve databron voor kennisregels over de conditie van leidingcohorten?
2. Zijn exitbeoordelingen goed en tegen aanvaardbare kosten uitvoerbaar?
3. Wat is de beste wijze van kennisverzameling van exitbeoordelingen van AC leidingdelen?

Ad 1. Om te komen tot kennisregels over de conditie van leidingcohorten zijn hypothesen opgesteld. Door statistische analyse is getoetst of deze hypothesen kunnen worden bevestigd. In paragraaf 7.2 is de toetsing van deze hypothesen vergeleken met andere onderzoeken. Geconcludeerd wordt dat leeftijd, diameter, de aanwezigheid van coating, samenstelling van de bodem en de SI van het drinkwater voorspellende factoren lijken voor de mate van inwendige en/of uitwendige uitloging. De vertaling van dergelijke verbanden naar kwantitatieve kennisregels is op dit moment niet mogelijk. Hierbij speelt ook dat er aanmerkelijke verschillen zijn tussen de meetresultaten bij diverse bedrijven. Zo is de mate van uitloging bij WMD aanmerkelijk hoger dan bij Brabant Water. Dit kan toe te wijzen zijn aan het feit dat bij WMD deels leidingen zijn aangelegd van een lagere kwaliteit (de zogenaamde Toshi-buizen) en/of dat bij WMD de bodemomstandigheden en/of de waterkwaliteit ongunstiger zijn. De analyse van resultaten van exitbeoordelingen met kunstmatige neurale netwerken laat zien dat deze techniek inzetbaar is om een combinatie vast te

stellen van meerdere verklarende factoren. Relevante onderzoeksvragen over de bepaling van de degradatie van AC leidingen met behulp van fenolftaleïne-testen zijn:

- Is er bij uitloging sprake van een lineair proces of een niet-lineair proces? Bij een lineair proces blijft de uitlogingssnelheid continu in de tijd. Bij een niet-lineair proces verandert de uitlogingssnelheid in de tijd: toenemen, afnemen of zelfs nul worden.
- Is uitloging het dominante degradatieproces of is er ook sprake van aantasting van de materiaalkwaliteit (van het niet uitgeloopte deel)? Deze vraag wordt onderzocht in het BTO project 'Veroudering leidingmateriaal', waar onder andere het verloop van de toelaatbare spanning en de elasticiteitsmodulus in de tijd wordt onderzocht.
- Hoe kunnen verschillende populaties AC leidingen goed worden vergeleken en worden vertaald in generieke kennisregels? De aangetoonde verbanden tussen verklarende factoren en de mate van uitloging zijn statistisch relatief zwak (beperkt significant). Ook lijken er verschillen te zijn in de mate van uitloging tussen de waterbedrijven, zoals tussen Brabant Water en WMD. Door analyses uit te voeren van datasets van verschillende bedrijven kunnen verschillen beter worden verklaard.
- Kan de impact van een combinatie van verklarende factoren op de uitloging worden bestudeerd? Bij de analyse met kunstmatig neurale netwerken is verkend of een multi-parameter analyse mogelijk is. Zoals in dit rapport aangegeven lijkt deze techniek toegevoegde waarde te hebben. Opgemerkt wordt dat deze analysemethode datagedreven is en geen inzicht verschaft in de principes van degradatie. Om die reden is een combinatie met bijvoorbeeld materiaalonderzoek aan te bevelen.
- Is er een relatie tussen storingen en uitloging? Het valt te verwachten dat AC leidingen met een verhoogde storingsfrequentie (spontane storingen) een verminderde conditie hebben als gevolg van uitloging. Nader onderzoek is gewenst naar een mogelijk verband tussen de storingsfrequentie en de mate van uitloging. Hierbij is ook aandacht gewenst voor het feit dat in de storingsregistratie in 6% wordt aangegeven dat er sprake is van inwendige aantasting en in 20% dat er sprake is van uitwendige aantasting. Uit de exitbeoordelingen blijkt echter dat inwendige uitloging in vergelijkbare mate voorkomt als uitwendige uitloging.
- Hoe gelijkmatig is de uitloging in een AC leiding? In paragraaf 4.2 is aangegeven dat er een grote spreiding is waargenomen van meetresultaten in een leidingdeel afkomstig van de WMD. Bij een leiding van PWN bleek dat er juist dat er sprake was van een veel beperktere spreiding. Aanbevolen wordt de spreiding van de uitloging voor meerdere leidingen en in verschillende liggingssomstandigheden nader te onderzoeken.
- Hoe kan de representativiteit van exitbeoordelingen worden gewaarborgd, aangezien dat deze voor een groot deel zijn gebaseerd op leidingen die zich bevinden aan het eind van hun levensduur?
- Op basis van de discussie in paragraaf 7.2 zijn de volgende onderzoeksvragen geïnitieerd: Hoe kan worden verklaard dat er wel een verband zichtbaar is tussen uitloging en leeftijd en niet tussen uitloging en periode van aanleg? Is er meer kennis te krijgen over de toestand en het degradatieproces van AC coatings?

Conclusie: exitbeoordelingen leveren informatie op die kan dienen voor kennisregels over de conditie van leidingcohorten. Tot op heden is het nog niet mogelijk om generiek toepasbare kennisregels op te stellen. Hoewel erkend wordt dat exitbeoordelingen hun beperkingen kennen, biedt verdergaand onderzoek

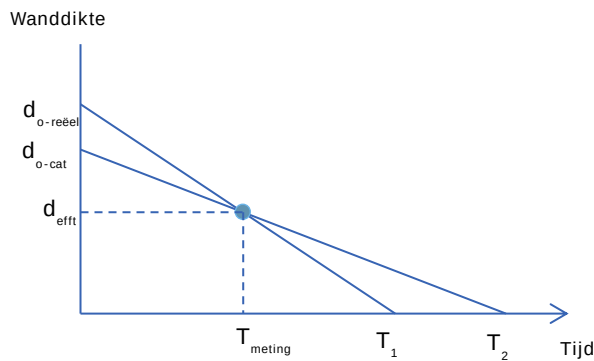
aanknopingspunten om gebruik te blijven maken van exitbeoordelingen bij AC leidingen.

- Ad2. Waterbedrijven kunnen in het geval dat een AC leiding beschikbaar komt op eenvoudige wijze, door het eigen personeel en tegen beperkte kosten een fenolftaleïne test uitvoeren. Indien wordt aangenomen dat de totale inspanningen voor een exitbeoordeling 30 minuten zijn en het uurtarief van een fitter van 50 €, dan kunnen de kosten voor een exitbeoordeling op een AC leidingdeel geschat worden op 25 €. In Bijlage I is een kosten-batenanalyse beschreven voor actieve uitname van AC-leidingdelen. In vergelijking met andere conditiebepalingsmethoden, blijkt actieve uitname in combinatie met een fenolftaleïne test niet kosteneffectief. Recent zijn er twijfels gerezen over de inzet van fenolftaleïne, vanwege mogelijke carcinogene effecten. De betreffende regelgeving is echter van toepassing op oplossingen die minder zijn verdund dan gebruikelijk voor exitbeoordelingen. In lopend Speerpuntonderzoek bij WML is de toepassing van thymolftaleïne getest als alternatieve pH-indicator. Thymolftaleïne, waarvoor minder gezondheidskundige restricties gelden, blijkt een goed alternatief te zijn. Dit betekent dat ook voor de toekomst exitbeoordelingen op basis van pH-indicatoren mogelijk blijft.

Conclusie: Exitbeoordelingen waarbij gebruik wordt gemaakt van beschikbare leidingdelen zijn goed uitvoerbaar en tegen aanvaardbare kosten.

- Ad 3. Uit de vragenlijst aan waterbedrijven en de analyse van de datasets blijkt dat er aanzienlijke verbeteringen mogelijk zijn bij de wijze van registratie van exitbeoordelingen. Door uniform te registreren en de analyseresultaten onderling te vergelijken kan meer effectief gebruik worden gemaakt van de bestaande registraties. Twee aspecten van de registratie verdienen speciale aandacht:
- Bij een verbeterde registratie is het belangrijk oog te hebben voor de aanleiding van uitname van een leidingdeel. Zoals al eerder aangegeven kan door focus op schadegevallen of te vervangen leidingen een beeld ontstaan dat niet representatief is voor de gehele leidingpopulatie. Het is daarom van belang om de oorzaak van uitname vast te leggen en juist ook exitbeoordelingen uit te voeren bij leidingdelen die nog niet aan het eind van hun levensduur verkeren, zoals bij reconstructies of werken geïnitieerd door derden.
 - Het is belangrijk de daadwerkelijke wanddikte te registreren. De toegepaste wanddikte is vaak enkele millimeters dikker dan zoals aangegeven in de materiaalcatalogus en het leidingregistratiesystemen. Dit heeft te maken met het productieproces van AC buizen, waarbij het materiaal wordt gewikkeld rondom een stalen kern. De in de catalogus aangegeven wanddikte moet geïnterpreteerd worden als de minimaal gegarandeerde wanddikte. Voor het analyseren van fenolftaleïne testen heeft dit de volgende implicaties:
 - De buis bezit vaak meer sterkte dan op grond van wat in het leidingregistratiesysteem staat aangegeven.
 - Als de wanddikte bij aanleg groter is dan verondersteld op grond van de catalogus en alleen de effectieve wanddikte wordt gemeten, dan is de uitlogingssnelheid hoger dan verondersteld (zie Figuur 7-1).

Conclusie: het is zinvol een uniforme registratie op te zetten, bijvoorbeeld volgens het in Bijlage III aangegeven format. Voor een verdere inpassing in werkprocedures, wordt verwezen naar Bijlage IV. Analyseresultaten kunnen jaarlijks voor vergelijking worden verzameld. Het centraal opslaan en het frequent aanleveren van analyseresultaten is op dit moment niet zinvol.



Figuur 7-1. Als bij meting van de effectieve wanddikte uit wordt gegaan van een wanddikte volgens de catalogus (d_{0-cat}), wordt volledige uitloging bereikt op T_2 . Als rekening wordt gehouden met de reëel toegepaste wanddikte (d_{0-reel}) zal volledige uitloging optreden bij T_1 .

Naar aanleiding van de beantwoording van bovenstaande drie deelvragen, wordt geconcludeerd dat exitbeoordelingen een effectieve en efficiënte bijdrage leveren aan kennisopbouw voor AC leidingen. Exitbeoordelingen geven informatie over de lokale situatie en de in dit onderzoek gepresenteerde analyses laten zien dat er ook meer generieke kennis mee valt te ontsluiten. Als waterbedrijven overgaan tot bredere inzet van exitbeoordelingen en uniforme registratie ontstaat een basis voor verdere kennisopbouw over de degradatie van AC-leidingen.

7.4 Perspectief voor exitbeoordelingen op AC leidingdelen

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van data van Brabant Water, WMD en Pidpa. In Tabel 7-1 staat een bepaling van het aantal fenolftaleïne testen per 1000 km AC leiding per jaar van deze bedrijven. Deze waarde varieert tussen van 20 bij Brabant Water en 119 bij WMD. Een min of meer gemiddelde waarde bedraagt 50 fenolftaleïne testen per 1000 km leiding per jaar. Als deze waarde wordt omgeslagen naar alle AC leidingen in Nederland, dan zouden jaarlijks circa 1600 testen kunnen worden uitgevoerd. Indien ook de AC-leidingen bij Pidpa en de Watergroep worden beschouwd dan betreft dit jaarlijks 2400 testen. Op basis van de ervaringen met de dataset van WMD, bieden deze aantallen een goed perspectief voor nadere analyse.

Tabel 7-1. Bepaling van het aantal fenolftaleïne testen van Brabant Water, WMD en Pidpa

Waterbedrijf	Aantal testen	Periode (maanden)	Leidinglengte AC in 2010 (km)	Testen/1000km leiding/jaar
Brabant Water	202	18	6986	19,3
WMD	2008	168	1208	119
Pidpa	915	57	4857	39,7

Er vanuit gaande dat waterbedrijven overgaan tot een uniforme registratie van exitbeoordelingen bij AC leidingen, doet zich de vraag voor welke relevante kennis dit voor waterbedrijven kan opleveren. Uitgaande van de huidige inzichten valt onderstaande kennisontwikkeling te verwachten:

- Meer inzicht in verklarende factoren voor uitloging van AC waarmee waterbedrijven beter kunnen onderbouwen in welke omstandigheden meer uitloging is te verwachten.

- Meer inzicht in de materiaalkundige aspecten van degradatie (veroudering) van AC leidingen. Hiermee kan de restlevensduur beter worden ingeschat en kan ook een betere onderbouwing worden gegeven aan de storingstoename in de tijd.
- Meer inzicht in spreiding van uitloging. In welke situaties is de spreiding groter en daarmee de conditie lastig te voorspellen en in welke situaties is deze spreiding kleiner en daarmee beter te voorspellen.
- Meer inzicht in de informatievoorziening over leidingen, bijvoorbeeld de registratie van storingen. In dit onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat coating een beschermende werking heeft tegen uitloging. Deze informatie kan via storingsformulieren vastgelegd worden en vervolgens nader worden geanalyseerd. Sommige bedrijven maken gebruik van zogenaamd proefgatformulieren, waarop leidingkenmerken bij ontgraving worden vastgelegd. Hierop zou bijvoorbeeld de staat van de coating kunnen worden aangegeven.
- Meer inzicht dat gebruikt kan worden in andersoortige analyses. Uit de USTORE analyse blijkt bijvoorbeeld dat inwendige aantasting veel minder vaak wordt geregistreerd dan uitwendige aantasting. Uit de hier gepresenteerde analyses blijkt dat beide typen van aantasting (uitloging) in ongeveer gelijke mate voorkomen. Op basis van deze constatering kan men zich afvragen of de interpretatie van inwendige aantasting bij storingen correct plaatsvindt.

7.5 De waarde exitbeoordelingen op GGIJ leidingdelen

Het voorliggende rapport richt zich op de waarde exitbeoordelingen van leidingdelen van AC en van GGIJ. Omdat de meeste bedrijven zich vooral richten op de conditie van AC leidingen en omdat alleen van AC leidingen data voor analyse is aangeleverd, is beperkte aandacht uitgegaan naar de waarde van exitbeoordelingen voor GGIJ leidingdelen.

Om vast te stellen of exitbeoordelingen toegevoegde waarde hebben voor een generieke kennisopbouw over het degradatiegedrag van groepen GGIJ leidingen worden hier onder de drie deelvragen uit hoofdstuk 1 beantwoordt.

1. Zijn exitbeoordelingen een betrouwbare en representatieve databron voor kennisregels over de conditie van leidingcohorten?
2. Zijn exitbeoordelingen goed en tegen aanvaardbare kosten uitvoerbaar?
3. Wat is de beste wijze van kennisverzameling van exitbeoordelingen van AC leidingdelen?

Ad 1. Zoals aangegeven in paragraaf 4.4 zijn de schulpenonderzoeken bij GGIJ leidingen beperkt representatief. Dit houdt in dat een groot aantal monsters onderzocht dient te worden om een representatief beeld van de conditie van de leiding te krijgen.

Ad 2. Exitbeoordelingen van GGIJ leidingdelen zijn goed uitvoerbaar, de kosten hiervan zijn echter relatief hoog (geschat op 500-1000 €, zie paragraaf 4.4).

Ad3. Gegeven de voorgaande antwoorden, zijn andere methoden voor het bepalen van de conditie voor GGIJ leidingdelen, zoals storingsanalyse, ePulse of in-line inspectie, meer geschikt. Informatie over de mate van aangroei van corrosie aan de binnenzijde kan ook verkregen worden door het uitvoeren van een capaciteitsproef of door het meten van de volumestroom bij spui-acties.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Dit rapport onderzoekt de waarde van exitbeoordelingen voor AC en GGIJ leidingdelen. Doel van exitbeoordelingen is kennis te verzamelen van specifieke leidingen en waar mogelijk deze kennis breder toe te passen voor het opstellen van generieke kennisregels voor de degradatie voor leidingcohorten.

De ondergrondse ligging van leidingen bemoeilijkt de conditiebepaling van leidingen. Er zijn diverse conditiebepalingstechnieken beschikbaar die allen beperkingen hebben. De beste wijze om informatie over de conditie te verzamelen, is door combinatie van technieken. Exitbeoordelingen, waarbij gebruik wordt gemaakt van de gelegenheid dat buisdelen voor inspectie beschikbaar komen, is één van de beschikbare technieken.

Het vaststellen of exitbeoordelingen toegevoegde waarde hebben voor een generieke kennisopbouw over het degradatiegedrag van groepen leidingen is mogelijk door beantwoording van drie deelvragen. Beantwoording van deze vragen kan beter onderbouwd worden voor AC omdat hiervan meetresultaten zijn verkregen waarmee analyses zijn uitgevoerd.

1. Zijn exitbeoordelingen een betrouwbare en representatieve databron voor kennisregels over de conditie van leidingcohorten?
AC: Exitbeoordelingen leveren informatie op die kan dienen voor kennisregels over de conditie van leidingcohorten. Tot op heden is het nog niet mogelijk om generiek toepasbare kennisregels op te stellen. Verdergaand onderzoek biedt hiervoor voldoende aanknopingspunten.
GGIJ: De schulpenonderzoeken bij GGIJ leidingen zijn beperkt representatief, wat inhoudt dat een groot aantal monsters onderzocht dient te worden om een representatief beeld van de conditie van de leiding te krijgen.
2. Zijn exitbeoordelingen goed en tegen aanvaardbare kosten uitvoerbaar?
AC: Exitbeoordelingen waarbij gebruik wordt gemaakt van beschikbare leidingdelen zijn goed uitvoerbaar, tegen aanvaardbare kosten.
GGIJ: Exitbeoordelingen van GGIJ leidingdelen zijn goed uitvoerbaar, de kosten hiervan zijn echter aanzienlijk.
3. Wat is de beste wijze van kennisverzameling van exitbeoordelingen van AC leidingdelen?
AC: Volgens een uniforme registratie, bijvoorbeeld volgens het in Bijlage III aangegeven format.
GGIJ: Gegeven de voorgaande antwoorden zijn andere methoden voor het bepalen van de conditie voor GGIJ leidingdelen, zoals storingsanalyse, ePulse of in-line inspectie, meer geschikt.

Overige conclusies voor waterbedrijven over het uitvoeren van exitbeoordelingen bij AC leidingen zijn:

1. Exitbeoordelingen leveren informatie op over de conditie van AC leidingen op een specifieke locatie. In dit onderzoek is bevestiging of ondersteuning gegeven dat het jaar van aanleg, de diameter, de aanwezigheid van coating verklarende factoren zijn die

kunnen dienen voor kennisregels over de conditie van leidingcohorten. Tot op heden is het nog niet mogelijk om generieke en kwantitatieve kennisregels op te stellen. De wijze van registreren door bedrijven is echter verschillend en er zijn op dit vlak aanzienlijke verbeteringen mogelijk. Het is te verwachten dat een verbeterde registratie een betere basis zal vormen voor het opstellen van verklarende factoren voor uitloging van leidingen.

2. Om te komen tot betere vergelijkbaarheid van resultaten en daarmee betere kennisopbouw, is het zinvol een uniforme registratie op te zetten, bijvoorbeeld volgens het in Bijlage III aangegeven format. Tevens is in Bijlage IV een opzet gegeven voor de implementatie van een stappenplan in de vorm van een plan-do-check-act werkwijze voor het uitvoeren van exitbeoordelingen. Naast aandacht voor het werkproces is het ook belangrijk medewerkers te instrueren in een juiste interpretatie van metingen.
3. Het centraal opslaan en het frequent aanleveren van analyseresultaten is op dit moment niet zinvol.
4. Het ontgraven van leidingen voor beproeving met een fenolftaleïne-test, hier actieve uitname genoemd, is niet kosteneffectief in vergelijking met andere conditiebepalingsmethoden, zoals inspectie met ePulse of in-line inspectie.
5. In de gassector maakt men gebruik van exitbeoordelingen met als doel de conditie van de populatie van leidingmaterialen te bewaken. Hiervoor vindt centrale analyse plaats voor de leidingmaterialen hard PVC en 1^{ste} generatie PE van jaarlijks 20 exitbeoordelingen per materiaal. Gezien de grote spreiding die wordt waargenomen bij de conditie van waterleidingen, dient nader uitgezocht te worden of een dergelijke opzet voldoende representatief is voor kennisopbouw over het degradatiegedrag van waterleidingen.

In dit onderzoek is aan de hand van exitbeoordelingen de uitloging onderzocht van AC leidingdelen. De beoordelingen vonden plaats met behulp van fenolftaleïne-testen, waarbij uitloging is gemeten aan de binnenzijde en aan de buitenzijde. Er heeft een 'traditionele' statistische analyse plaatsgevonden voor vergelijking van de uitloging met één parameter. Tevens is bestaand onderzoek naar uitloging beschouwd, onder andere recent uitgevoerd onderzoek naar de inzet van kunstmatige neurale netwerken (Vonk, 2014). Conclusies voor verder onderzoek over degradatie van AC leidingen zijn:

1. Exitbeoordelingen op AC leidingdelen zijn eenvoudig en kosteneffectief toe te passen. Er zijn verbeteringen wenselijk in de wijze van registratie waardoor in de toekomst betere informatie ontsloten kan worden. Hiermee kunnen exitbeoordelingen een zinvolle bijdrage leveren aan het vergaren van meer kennis over het leidingnet.
2. Op basis van de bestaande niet-uniforme datasets zijn analyses uitgevoerd naar verklarende factoren voor de uitloging van AC leidingdelen. Hierbij is gebruik gemaakt van zes hypothesen, waarbij toetsing heeft plaatsgevonden op basis van statistische analyse, de analyse met KNN en bestaande literatuur. In Tabel 8-1 zijn de resultaten van deze toetsing weergegeven.

Tabel 8-1. Overzicht van in dit onderzoek onderzochte hypothesen voor de uitloging van AC leidingdelen

Hypothese	Omschrijving	Conclusie
H1	De uitloging van leidingen neemt toe bij toenemende leeftijd.	Ondersteund.
H2	De uitloging van leidingen is afhankelijk van de periode van aanleg.	Niet bevestigd.
H3	Voor diameters > 95 mm geldt, dat bij oplopende diameter de uitloging afneemt.	Verworpen, er wordt een verband aangetoond dat bij toenemende diameter de inwendige uitloging toeneemt.
H4	Uitwendige coating / bescherming leidt tot afnemende uitloging.	Bevestigd.
H5	AC-leidingen hebben een hogere uitwendige uitloging in bodems met een lager kalkgehalte en/of pH dan in bodems met een hoger kalkgehalte en/of pH.	Niet bevestigd. Echter voor één dataset zijn er aanwijzingen dat in kalkrijk zand de uitloging lager is dan in kalkarm zand.
H6	AC-leidingen met drinkwater met lagere (negatieve) SI hebben een hogere inwendige uitloging dan leidingen met drinkwater met hogere SI.	Niet bevestigd. Wel is aangetoond dat de inwendige uitloging minder is op locaties waar zich geen of een zeer beperkte negatieve SI heeft voorgedaan.

3. Toepassing van kunstmatige neurale netwerken, waarmee de invloed van meerdere parameters op de uitloging kan worden onderzocht, blijkt nuttig. Uit deze analyse blijkt dat er een statistisch verband bestaat tussen de inwendige uitloging en bepaalde geografische omstandigheden, te weten de afstand tot het pompstation en de gemeente, en bepaalde waterkwaliteitsparameters, te weten de concentratie waterstofcarbonaat en calcium.
4. Omdat er beperkt inzicht was in de locatie van exitbeoordelingen, is de relatie tussen uitloging en het optreden van storingen niet onderzocht.

8.2 Aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek worden onderstaande aanbevelingen aan waterbedrijven gegeven over het uitvoeren van exitbeoordelingen:

1. In het geval van het beschikbaar komen van AC leidingdelen, is het aan te bevelen exitbeoordelingen uit te voeren om een beeld te krijgen van de conditie. In Bijlage II is een beschrijving voor de uitvoering gegeven.
2. De kosten van monsternamen en analyse voor GGIJ leidingdelen zijn relatief hoog en de resultaten zijn beperkt representatief voor groepen GGIJ leidingen. Op grond hiervan kan het uitvoeren van exitbeoordelingen op GGIJ leidingdelen niet worden aanbevolen.
3. Om de gegevens van deze exitbeoordelingen goed te kunnen analyseren wordt aanbevolen een uniform systeem van registratie en dataverwerking op te zetten. Hiervoor wordt in dit rapport een voorstel gedaan, zie Bijlage III en Bijlage IV. De mate van vergelijkbaarheid zal verder toenemen wanneer deze registratie door meerdere (alle) waterbedrijven wordt gehanteerd. Ook wordt aanbevolen medewerkers te instrueren in een juiste interpretatie van metingen.
4. Gezien de hoge kosten wordt aanbevolen om niet over te gaan tot het actief uitnemen van leidingdelen voor conditiebepaling met fenolftaleïne met als doel het verzamelen van kennis over leidingencohorten.

5. Aangezien exitbeoordelingen door een beperkt aantal waterbedrijven breed worden uitgevoerd, wordt vooralsnog niet aanbevolen om een centraal registratiesysteem (vergelijkbaar met USTORE) op te zetten.
6. Exitbeoordelingen worden vooral uitgevoerd op leidingen die aan het einde zijn van hun levensduur. Om kennis over groepen leidingen te genereren wordt aanbevolen ook beoordelingen uit te voeren op leidingen die zich niet bevinden aan het einde van hun levensduur, zoals bij inbouwingen of reconstructies, of door validatie van resultaten aan andere methoden voor conditiebepaling, zoals storingsregistratie, in-line inspectie of ePulse.
7. De kwaliteit van de coating blijkt een belangrijke verklarende factor zijn voor de mate van uitwendige uitloging. Waterbedrijven wordt aanbevolen waar mogelijk de staat van de coating vast te leggen.

Op basis van dit onderzoek worden onderstaande aanbevelingen voor vervolgonderzoek gegeven:

1. In dit onderzoek is bevestiging en ondersteuning gevonden voor een aantal hypothesen over de degradatie van AC. Dit onderzoek is uitgevoerd met een beperkte dataset, waarvan de kwaliteit niet optimaal is. Aanbevolen wordt om de hier vermelde hypothesen opnieuw te onderzoeken met een dataset die is opgezet op basis van verbeterde registratie en van meer bedrijven.
2. Aanbevolen wordt materiaalkundig onderzoek uit te voeren naar de degradatie van AC leidingdelen. Hierbij kan inzicht worden verkregen of er bij uitloging sprake is van een lineair of een niet-lineair proces en of de toelaatbare spanning verandert in de tijd.
3. Recent heeft in een ander BTO project een analyse plaatsgevonden met kunstmatig neurale netwerken. Aanbevolen wordt deze techniek breder in te zetten.
4. Aanbevolen wordt te onderzoeken of er een relatie bestaat tussen storingsen en de mate van uitloging.
5. Aanbevolen wordt de spreiding van de uitloging voor meerdere leidingen en in verschillende liggingssomstandigheden nader te onderzoeken.
6. Aanbevolen wordt te onderzoeken of de wijze van uitvoering van exitbeoordelingen door de gassector toegevoegde waarde heeft voor het monitoren van populaties van specifieke leidingmaterialen.
7. Nadere data-analyse wordt aanbevolen om inzicht te krijgen waarom er wel een relatie lijkt te zijn tussen de inwendige en uitwendige uitloging en de leeftijd en niet tussen de inwendige en uitwendige uitloging en de periode van aanleg.
8. Aanbevolen wordt nader onderzoek te verrichten naar de degradatie van coatings van AC leidingen.

9 Referenties

- Alterra (2012). Achtergrond Bodemkaart 1:50.000, <http://www.bodemdata.nl/>, laatst bezocht op 8 december 2012.
- Benjamin M.M., H. Sontheimer en P. Leroy (1996). Corrosion of iron and steel in 'Internal Corrosion of Water Distribution Systems' 2nd ed., AwwaRF, Denver, 1996.
- Beuken, R.H.S. en G.A.M. Mesman (2011). Technische levensduur voor groepen leidingen. KWR Nieuwegein, BTO 2011.038.
- Beuken, R.H.S., P. Horst, G.A.M. Mesman en R.J. van Eijk (2013). Akoestische metingen brengen leidingconditie in beeld. H2O-Online / 19 december 2013.
- Blokker, E. J. M., B. M. van de Ven, M. Tankerville, G.A.M. Mesman (2010). Invloed coating grijs gietijzeren leidingen op drinkwaterkwaliteit. KWR, Nieuwegein, BTO2010.044.
- Conroy, P., Cooke, J., Mills, D. Patell, A., Russell, A. (2005). Managing the risks presented by pipeburst, redundant and live asbestos cement water distribution mains: condition assessment methodology for asbestos cement pipes. UK Water Industry Research, U.K.
- Daal, K.H.A. van (2012). De meerwaarde van ruimtelijke analyse van USTORE gegevens. KWR Nieuwegein, BTO 2012.222(s).
- Elzenga C.H.J., J.G.M.M. Smeenk, A. Graveland, J. van Puffelen, Th.J.J. van den Hoven (1991). Roestproblemen in GIJen leidingen, KWR Nieuwegein, SWE 91.020.
- Enexis (2010). Kwaliteits- en capaciteitsdocument GAS 2010-2016 deel A. 's-Hertogenbosch: Enexis.
- Geudens P.J.J.G. (2013). Drinkwaterstatistieken 2012, Vewin, Rijswijk, Vewin nr:2012/110/6259.
- Hoven Th., van den en M.W.M. van Eekeren (1988). Optimale samenstelling van drinkwater, Kiwa-Mededeling 100, Nieuwegein.
- Hu. Yafei, Dunling Wang and Rudaba Chowdhury (2013). Long term Performance of Asbestos Cement Pipe. Water Research Foundation. Web Report #4093. Denver, 2013.
- Kater, H. de, R. Beuken, A. Vogelaar (2010). Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten - een overzicht van technieken en randvoorwaarden. KWR Nieuwegein, BTO 2010.013.
- KIWA Technology. (2012). Storingsrapportage gasdistributienetten 2011. Arnhem: Netbeheer Nederland.
- KIWA Technology (2012) Gespreksverslag René Hermkens, Erik van den Brink, 17-9-2012.

Koning M. de (2000). Conditiebepaling grijs GIJen leidingen, Kiwa-rapport BTO 2000.04, Nieuwegein.

Liu Z., Y. Kleiner, B. Rajani, L. Wang en W. Condit (2012). Condition assesment technologies for water transmission and distribution systems, EPA/600/R-12/017 U.S Environmental Protection Agency, Cincinnati.

Meerkerk M.A., G.A.M. Mesman, R.H.S. Beuken (2014). Richtlijn materiaalafhankelijke conditiebepaling voor drinkwaterleidingen; projectplan, KWR (in voorbereiding).

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

Mesman, G.A.M. en P.P.G. Slaats (2004). Conditiebepaling GIJ'en waterleidingen, KIWA Nieuwegein, BTO 2003.038.

Mesman, G.A.M. en J. van der Wielen (2005). Georadar: geschikt om conditie AC-leidingen te beoordelen? Een vergelijking met de fenolftaleinetest, KIWA, Nieuwegein, KWR05.023.

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

Mesman, G.A.M. (2010). Inventarisatie historische SI, Brabant water, KIWA, Nieuwegein, KWR2010.081.

Netbeheer Nederland. (2011). Energie in Nederland 2011. Arnhem: Netbeheer Nederland.

Pidpa in cijfers 2011 via <http://www.pidpa.be/nl/bedrijfsinfo/cijfers.htm>, laatst bezocht oktober 2012

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2009, maart 23). Risicomethodiek nat- en zuurgasleidingen. Bilthoven.

Rosenthal LPM (2001). Operationeel leidingnetbeheer en conditie- en levensduurbepaling - Clusteronderzoek 2000, Kiwa-rapport BTO 2001.129 (C) KWR, Nieuwegein.

Schock, M. en R. Buelow (1981). The behavior of asbestoscement pipe under various water quality conditions: part 2, theoretical considerations. JAWWA nr 73, pag 636-651.

Slaats, P., M. Brink en Th. Van den Hoven (1993). Uitloging van calciumhydroxide bij cementhoudende leidingmaterialen. Kiwa Rapport SWE 93.035.

Slaats, P.P.G. en G.A.M. Mesman (2004). Conditiebepaling AC waterleidingen, KIWA, Nieuwegein, BTO 2003.039.

Slaats, P.P.G., M.A. Meerkerk en C.H.M. Hofman-Caris (2013). Conditionering: de optimale samenstelling van drinkwater. Een update van KIWA-mededeling 100 uit 1988. KWR 2013.069, KWR, Nieuwegein.

Staatsblad 1993, nummer 135 en 136, 'Asbestbesluit Arbeidsomstandighedenwet', februari 1993

Sterk G.R., C.A.C. van den Lisdonk en P.G.G. Slaats (1999). Conditiebepalingsmethoden voor ACleidingen - Beoordeling met praktijkonderzoek. Kiwa-rapport SWE 99.004, Nieuwegein.

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

VMW Feiten en cijfers 2010-2011 via <http://www.vmw.be/nl/collections/18/feiten-en-cijfers.html>, laatst bezocht oktober 2012.

Vonk, Erwin (2014). Het voorspellen van inwendige uitloging van asbestcementleidingen met een kunstmatig neuraal netwerk. KWR 2014.211(s), KWR, Nieuwegein.

Bijlage I Kosten-baten analyse actieve uitname AC leidingen

Aan het uitvoeren van een exitbeoordeling van AC zijn slechts beperkte kosten verbonden. De analyse door middel van een fenolftaleïne-test wordt in de regel ter plekke en in korte tijd uitgevoerd. In het geval van actieve uitname wordt ook een fenolftaleïne-test uitgevoerd, waarvoor echter een leiding wordt ontgraven. Indien een aanboring wordt gedaan hoeft er geen onderbreking van de waterlevering plaatsvinden. Aan een actieve uitname zijn meer kosten verbonden. In deze paragraaf wordt middels een kosten-baten analyse nagegaan in hoeverre actieve uitname een kosteneffectieve beheermatregel is. De hier gepresenteerde kosten zijn gebaseerd op gemiddelde waarden en kunnen desgewenst door een waterbedrijf aangepast worden.

In Kader 1 is een voorbeeld gegeven van een kosten-baten analyse die drinkwaterbedrijven kan helpen uitsluitsel over het financiële voordeel te krijgen. In dit voorbeeld wordt gekeken of actieve uitname een kosteneffectieve activiteit is voor het verkrijgen van informatie over de leidingconditie. Er zijn diverse aannamen gedaan die gebaseerd horen te zijn op gevalideerde bedrijfservaringen en onderbouwde kostenkennallen. In deze vereenvoudigde berekening is het effect van vermeden storingen niet meegewogen. In de regel zijn de hieraan toegekend kosten relatief beperkt. Dit effect kan wel een rol spelen bij risicovolle leidingen.

Op basis van het in Kader 1 uitgewerkte voorbeeld blijkt dat actieve uitname niet kosteneffectief is. De kosten van vervangen zijn namelijk lager dan de kosten van inspectie. In relatie tot andere technieken, zoals Echopulse (orde grootte 10 €/m) of zelfs in-line inspectie (orde grootte 30 – 50 €/m), zijn de kosten van actieve uitname (40 €/m) hoog.

Kader 1: Kosten-baten analyse actieve uitname op een 100 mm AC leiding

Uitgangspunten:

Leiding in stedelijk gebied diameter 100 mm: vervangingskosten 100 €/m

Uitstel van vervanging met 20 jaar als de meting uitwijst dat de conditie goed is

Kosten inspectie 2000 €/inspectie. Aangenomen wordt dat één inspectie per 50 m een voldoende betrouwbare voorspelling geeft. De inspectiekosten bedragen daarmee: 40 €/m

Netto rente 3% (= bruto rente - inflatie)

Inschatting van meeteffect:

De hieronder genoemde percentages zijn schattingen en kunnen worden onderbouwd door evaluatie van uitgevoerde werken.

- 45% kans dat de inspectie uitwijst dat de leidingconditie goed is en dat dat in werkelijkheid ook zo is.
- 5% kans dat de inspectie uitwijst dat de leidingconditie goed is, terwijl deze dat niet is. In dit geval wordt aangenomen dat de leiding na 10 jaren vervangen wordt tegen hogere kosten, te weten 130 €/m.
- 5% kans dat de inspectie uitwijst dat de leidingconditie slecht is, terwijl deze in werkelijkheid goed is. Dan wordt de leiding ten onrechte vervangen.
- 45% kans dat de inspectie uitwijst dat de leidingconditie slecht is en dat dat in werkelijkheid ook zo is.

De contant gemaakte kosten van vervangen over 20 jaar bedragen € 55,-.

De contant gemaakte kosten van vervangen over 10 jaar bedragen € 97,-.

Inspectie	Conditie	Kans	Kosten inspectie	Kosten vervangen t=0	Kosten vervangen t=10/t=20	Som
goed	goed	45%	€ 40,-		€ 55,-	€ 43,-
goed	slecht	5%	€ 40,-		€ 97,-	€ 7,-
slecht	goed	5%	€ 40,-	€ 100,-		€ 7,-
slecht	slecht	45%	€ 40,-	€ 100,-		€ 63,-
		100%				€ 120,-

NB. De laatste kolom wordt berekend als kans * de cumulatieve kosten (bijv. $45\% \cdot (40 + 55) = 43$).

De berekende totale kosten bij actieve uitname bedragen € 120,-. Dit is hoger dan de huidige kosten van vervanging (100 €), hetgeen betekent dat volgens dit voorbeeld het niet kosteneffectief is om in deze vorm actieve uitname uit te voeren.

In het extreme geval dat alle inspecties uitwijzen dat de leiding in goede conditie is en dat dat in werkelijkheid ook zo is (Inspectie goed – conditie goed: kans 100%) dan bedragen de totale kosten € 95,-, te weten de som van € 40,- voor inspectie en € 55,- voor vervangen. In dit extreme geval zijn de totale kosten van actieve uitname en uitstel van vervangen marginaal lager dan direct vervangen.

Bijlage II Uitvoeren van fenolftaleïnetesten

LET OP: HET UITVOEREN VAN DEZE TEST VALT ONDER WERKEN MET AC EN MET FENOLFTALEÏNE. WERK DUS VOLGENS DE DAARVOOR GESTELDE RICHTLIJNEN EN GEBRUIK DE JUISTE PERSOONLIJKE BESCHERMINGSMIDDELEN.

Onderstaande beschrijving is tevens toepasbaar voor het gebruik van thymolftaleïne. In dat geval zal de kleuring blauw zijn.

Proefstukken voor de fenolftaleïnetest kunnen zijn:

- buisdelen uitgenomen tijdens regulier onderhoud;
- buisdelen afkomstig van schadegevallen;
- buisdelen afkomstig van gericht conditie-onderzoek;
- AC-schulpen uit aanboringen (ongewenst aangezien schulpen geen constante wanddikte hebben en het breukvlak niet met één foto is vast te leggen).

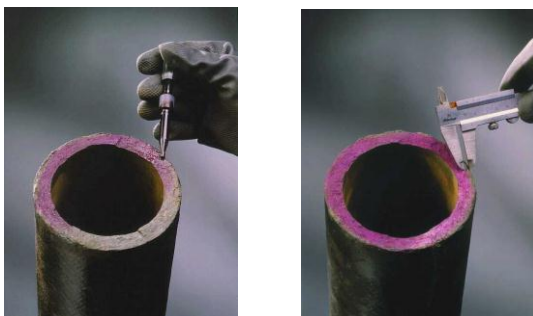
Het breukvlak van het buisdeel dient vers te zijn, dat wil zeggen, niet ouder dan 6 uur. Een AC-schulp dient te worden afgespoeld met water.

De benodigde fenolftaleïne-oplossing wordt als volgt samengesteld:

- 900 ml ethanol
- 100 ml water ultrapure
- 1 gram fenolftaleïne

Bij het samenstellen van de oplossing moet goed rekening gehouden worden met de herkomst van de ethanol. Deze is in verschillende sterktes verkrijgbaar. Het meest gangbaar is om uit te gaan van een 90% ethanol. Aan één liter 90% ethanol hoeft alleen maar één gram fenolftaleïne toegevoegd te worden. Een fenolftaleïne-oplossing is beperkt houdbaar. Als de oplossing verkleurd is of niet meer helder dient deze vervangen te worden. Indien de oplossing koel en donker bewaard is deze tenminste een half jaar houdbaar.

Op het breukvlak wordt met een druppelflesje over de gehele doorsnede van de leidingwand, de fenolftaleïne-oplossing aangebracht. Waar de pH hoger is dan 8,3 kleurt het AC paars. Waar de pH lager is dan 8,3 blijft het AC kleurloos of grijs, wat wijst op uitloging van cement.



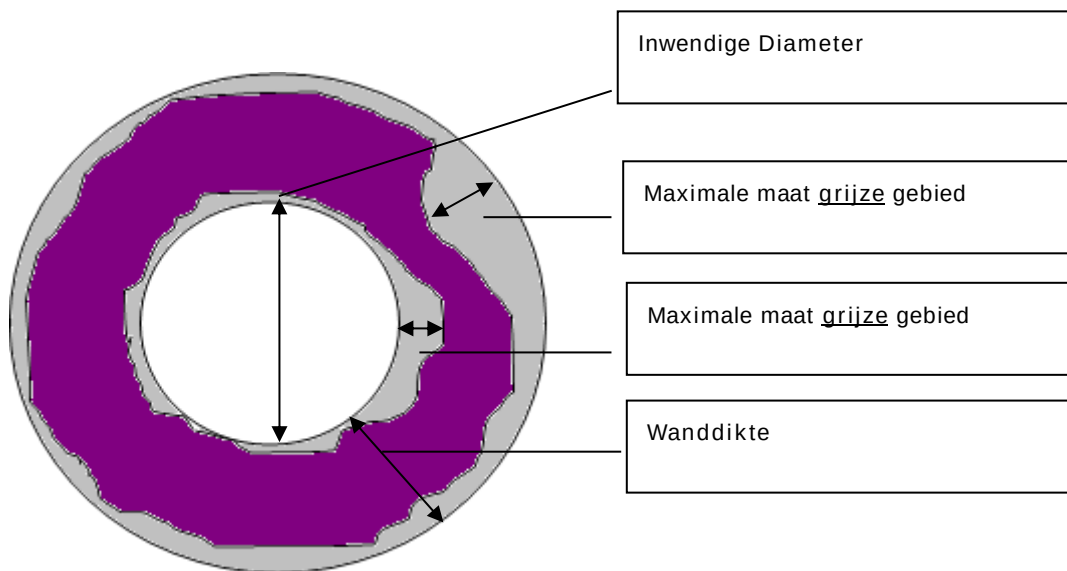
Bepaling van mate van uitloging van AC met de fenolftaleïnetest

De maximale inwendige en uitwendige uitloging wordt gemeten met een schuifmaat. Daarnaast worden ook de oorspronkelijke wanddikte en de inwendige diameter van de leidingwand gemeten (zie afbeelding).

Samengevat worden ter plaatse van het breukvlak de volgende parameters geregistreerd:

- Inwendige diameter van de leiding (mm)
- Oorspronkelijk wanddikte van de leiding (mm)
- Maximale uitwendige uitloging (mm)
- Maximale inwendige uitloging (mm)

Daarnaast vindt registratie plaats van overige kenmerken van de leiding of de omgeving. In Bijlage III is een voorstel gegeven van de te registreren overige kenmerken.



Schematisch overzicht van de meting (Afbeelding Brabant Water)

Eventueel kan naast maximale uitloging ook een gemiddelde uitloging over de volledige omtrek worden bepaald. Dit kan worden gedaan door op vier punten met gelijke onderlinge afstand (op 12, 3, 6 en 9 uur) rond de omtrek de uitloging te meten en de resultaten te middelen.

Maak direct een foto van het gekleurde oppervlak.

Bijlage III Voorstel voor standaard registratieformulier fenolftaleïnetest

Onderstaande beschrijving is tevens toepasbaar voor het gebruik van thymolftaleïne.

Algemeen

- Naam uitvoerder test
- Datum [jjjj-mm-dd]

Locatie

- Locatie x coördinaat (RD format)
- Locatie y coördinaat (RD format)
- Naam kerkdorp stad
- Postcode
- Straatnaam
- Huisnummer (ter hoogte van)

Exitbeoordeling

- Reden exit
- Fenolftaleïne test uitgevoerd (ja/nee)
- Inwendige diameter van de leiding (mm)
- Oorspronkelijke wanddikte van de leiding (mm)
- Maximale uitwendige uitloging (mm)
- Maximale inwendige uitloging (mm)
- Optioneel: de uitloging op andere delen van de buiswand (mm)
- Overige opmerkingen over de test of de buis (bv. probleem bij uitvoer test of buis is zacht en moeilijk te knippen)

Aanwezigheid uitwendige coating (ja/nee)

- Soort coating
- Staat coating (goed/redelijk/slecht/afwezig)

Foto's

- Proefstuk fenolftaleïnetest
- Omgeving (straat en grond), kan ook via Google Earth

Aanvullende gegevens (kantoorgegevens)

Leiding info

- Leiding ID LIS
- Materiaal (MAT_AC, ...)
- Diameter buis uitwendig (mm)
- Jaar van aanleg

Koppeling aan storing

- Storing ID

Gegevens over de omgeving

- Type verharding en max snelheid
- Aanwezigheid verkeersdrempel
- Gronddekking (cm) of range
- Grondsoort (in sleuf)
- Grondsoort (ruimere omgeving)
- Buis in grondwater (ja/nee/onbekend)
- Kalkgehalte bodem

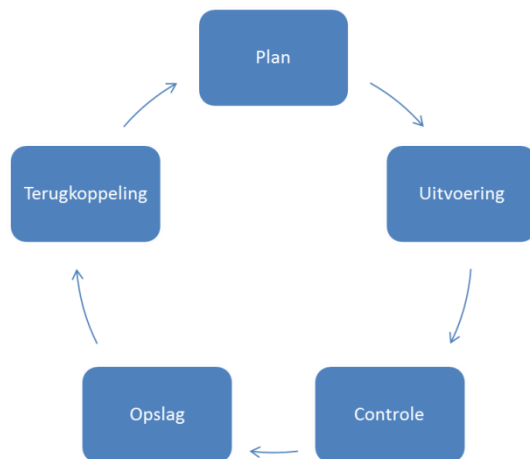
Bijlage IV Exitbeoordelingen in bedrijfsprocessen

Voorstel voor uniforme werkwijze en registratie fenolftaleïnetesten

Uit voorgaande paragrafen blijkt dat er geen standaard werkwijze is voor uitvoering en registratie van fenolftaleïnetesten. Daarom wordt in deze paragraaf een standaard werkwijze voorgesteld.

De werkwijze bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een stappenplan (zie onderstaand)
- Een werkinstructie (zie Bijlage II)
- Een standaard formulier (zie Bijlage III)



Aanbevolen werkwijze uitvoering fenolftaleïnetesten

Voorgesteld wordt om de testen uit te voeren volgens 5 stappen, zie bovenstaand figuur. Bij elke stap zijn onderstaande aandachtspunten van belang:

Stap 1. Plan (randvoorwaarden vastleggen)

1. Vastleggen wanneer wel- of niet meten zinvol is.

Vastleggen wat het doel van de exitbeoordeling is en waarom data zinvol is.

Vastleggen welke kennisregels worden gebruikt en hoe die door metingen zijn te valideren.

Vaststellen hoe monsters worden verzameld. In Nederland wordt de proef op locatie uitgevoerd, dus bij de sleuf. In Vlaanderen bestaat de stap uit het verzamelen monsters en centrale opslag.

Vastleggen hoe monsters worden gelabeld.

Vastleggen welke veldgegevens worden verzameld en hoe deze gegevens worden aangevuld vanuit LIS/GIS (zie Bijlage III).

Vastleggen verantwoordelijkheden: wie beslist over test, welke persoon de test mag uitvoeren en wie voert de controle, analyse en terugkoppeling uit. Specifieke personen

worden aangewezen om de test uit te voeren. Deze personen krijgen een opleiding in de vorm van een instructie.

Waarborgen dat monteurs in het veld de gegevens snel, eenvoudig en foutloos kunnen aanleveren.

Werkproces beschrijven.

Stap 2. - Uitvoeren (tests)

1. De test wordt uitgevoerd volgens een werkinstructie (zie Bijlage II)
2. De test wordt ter plaatse uitgevoerd en de veldgegevens ter plekke ingevuld.
3. De gegevens moeten voldoen aan de voorwaarden als vermeld in het standaardformulier (zie Bijlage II). Hierin staat vermeld welke velden minimaal moeten worden ingevuld.
4. Eventueel bodemonster nemen voor bepalen van kalkgehalte (zie Bijlage III)
5. Eventueel foto's nemen van de omgeving (of Google Maps gebruiken)

Stap 3. - Controle (registratie)

1. Controle wordt uitgevoerd door iemand die hiervoor instructies heeft ontvangen
2. Check of alle velden zijn ingevuld
3. Check aanwezigheid gevraagde gegevens
4. Valideer de data (zijn alle waarden geldig en binnen de marges?)
5. Ontbrekende gegevens aanvullen (bv. jaar van aanleg als dat niet op locatie zichtbaar was)
6. Vul de data aan (bv. leiding info, Storingsgegevens, LIS gegevens, GIS gegevens)

Stap 4. - Opslag (data)

1. Eenduidige centrale opslag i.v.m. hergebruik
2. Vastleggen wie toegang heeft tot data en deze beheert
3. Zorg voor interoperabiliteit
4. Resultaten exitbeoordeling terugbrengen in GIS/LIS systeem

Stap 5. – Terugkoppeling

1. Data wordt geanalyseerd en teruggekoppeld
2. Werkproces wordt geëvalueerd en teruggekoppeld