



PCD 6:2016 | Oktober 2016

Conditiebepaling voor drinkwater- leidingen

Conditiebepaling voor drinkwaterleidingen

KWR | PCD 6:2016 | Oktober 2016

Opdrachtgever

Platform Bedrijfsvoering

Auteurs

Ing. G.A.M. (George) Mesman, ir. R.H.S. (Ralph) Beuken
en ing. M.A. (Martin) Meerkerk

Jaar van publicatie
2016

Meer informatie

George Mesman
T (030) 60 69 571
E George.Mesman@kwrwater.nl

KWR
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

T 030 60 69 511
F 030 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



PCD 6:2016 | Oktober 2016 © 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.

Praktijkcode Drinkwater

Status

De Nederlandse drinkwaterbedrijven maken in de dagelijkse bedrijfsvoering gebruik van richtlijnen met als doel het (hoge) kwaliteitsniveau van de bedrijfsvoering te handhaven en waar mogelijk verder te verbeteren, en/of de efficiency van de bedrijfsvoering te verhogen en bij te dragen aan het verder uniformeren van de werkwijzen binnen de drinkwatersector. Deze richtlijnen hebben doorgaans het karakter van een 'aanbeveling van een te volgen gedrag of handelswijze' en niet van een 'bindend voorschrift'¹. Het gaat om privaatrechtelijke richtlijnen voor de ondersteuning in de dagelijkse praktijk van de bedrijfsvoering ('best practices') in het gehele traject van bron tot tap. De richtlijnen (soms ook aangeduid als 'leidraad') worden sinds 2008 opgesteld en hebben in 2015 de aanduiding 'Praktijkcode Drinkwater' (PCD) gekregen.

Verantwoording

Praktijkcodes worden opgesteld in opdracht van het Platform Bedrijfsvoering, waarin vertegenwoordigers van alle Nederlandse drinkwaterbedrijven en het Vlaamse bedrijf Pidpa participeren. Dit Platform heeft het beheer van praktijkcodes gedelegeerd aan de Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen, die de 'eigenaarsrol' vervult. Ook in die groep participeert in beginsel één vertegenwoordiger per bedrijf. De voorzittersrol wordt vervuld door een van deze vertegenwoordigers, terwijl KWR Watercycle Research Institute dat doet ten aanzien van de rol van secretaris.

Totstandkoming en kwaliteitsborging

Een specifieke praktijkcode of een revisie daarvan (zie onder) komt met inhoudelijke bijdragen van deskundigen van drinkwaterbedrijven en onderzoekers van KWR Watercycle Research Institute interactief tot stand onder begeleiding van een projectgroep bestaande uit deskundigen van de drinkwaterbedrijven en/of -laboratoria. De leden van die projectgroep worden aangezocht vanwege hun specifieke kennis en/of vaardigheden die noodzakelijk is/zijn voor het betreffende onderwerp. Het voorzitterschap wordt in beginsel waargenomen door een vertegenwoordiger van de drinkwaterbedrijven; KWR Watercycle Research Institute vervult het secretariaat en rapporteert de voortgang aan de Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen. Soms maken drinkwaterbedrijven gebruik van de mogelijkheid om zich als agendalid van een projectgroep te laten registreren.

Na vaststelling van een praktijkcode door de begeleidende projectgroep wordt die ter formele vaststelling voorgelegd aan de Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen.

Openbaarheid

Praktijkcodes Drinkwater zijn openbaar. Een actueel overzicht van alle praktijkcodes is te vinden op 'Watnet', het KWR-intranet voor de drinkwaterbedrijven.

Periodieke actualisatie

Bestaande praktijkcodes worden periodiek geëvalueerd. In beginsel is er sprake van een 'vijfjaarsrevisie': primair wordt de vraag gesteld en bediscussieerd of actualisatie gewenst dan wel noodzakelijk is en als dat het geval blijkt te zijn, wordt die volgens

¹ Beide omschrijvingen zijn afkomstig uit 'Van Dale'.

een afgesproken procedure projectmatig geactualiseerd. De vorige editie van een praktijkcode is daarbij uitgangspunt. Als actualisatie niet gewenst of noodzakelijk blijkt te zijn, wordt een praktijkcode in principe opnieuw voor een periode van vijf jaar vastgesteld.

Conditiebepaling voor drinkwaterleidingen

Editie

Dit is de eerste editie van deze praktijkcode.

Begrippen

De in deze praktijkcode gehanteerde begrippen met hun bijbehorende omschrijving zijn opgenomen in Bijlage V. Daarbij is (letterlijk) geciteerd uit de vigerende wet- en regelgeving. Enkele begrippen worden hier reeds geïntroduceerd en toegelicht, omdat ze essentieel zijn voor de opbouw van deze praktijkcode.

Conditie en toestand

Deze praktijkcode heeft betrekking op het bepalen van de conditie van drinkwaterleidingen. 'Conditie' wordt onderscheiden van 'toestand', waaronder de 'technische staat' wordt verstaan.

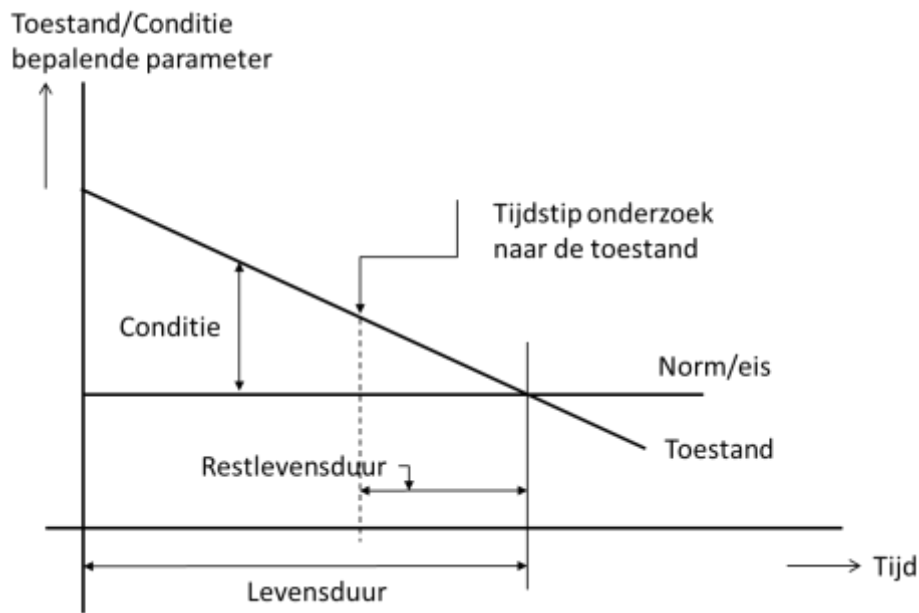
'Conditiebepaling' wordt omschreven als de combinatie van achtereenvolgens:

- monsterneming (indien van toepassing);
- beproeving of meting inclusief de eventuele interpretatie van meetresultaten;
- vergelijking van het resultaat met een geldende grenswaarde of andere referentie voor een of meer parameters.

De eerste twee bullets hebben betrekking op 'toestandsbepaling', de derde op 'conditiebepaling'. Beide begrippen worden geïllustreerd in figuur 1.

In deze praktijkcode zijn diverse wijzen van toestandsbepaling beschreven:

- Detectie van falen, bijvoorbeeld door lekdetectie of storingsregistratie.
- Detectie van de toestand waarbij de toestand van de meetobject wordt vastgesteld als gevolg van degradatie door een vastgesteld degradatiemechanisme, bijvoorbeeld door het meten van de effectieve wanddikte als gevolg van het faalmechanisme uitloging.
- Indirecte detectie waarbij factoren worden gemeten die op indirecte wijze informatie geven over het falen of de faaloorzaak, bijvoorbeeld het meten van de druk bij het afpersen van leidingen of het inmeten van zakbakens als voorspeller voor spanningen op leidingen door ongelijkmatige zettingen.



Figuur 1 Grafische weergave van de begrippen 'toestand' en 'conditie'.

In Figuur 1 zijn de verschillende begrippen in onderling verband weergegeven. De toestand van het onderzochte onderdeel is weergegeven als functie van de tijd. Dit kan lineair zijn, maar ook andere vormen zijn mogelijk. De norm of eis die wordt gesteld aan het onderdeel is gekoppeld aan de omgeving en kan hiermee in de tijd variëren (veranderende omgeving). Het verschil tussen de lijn 'Toestand' en de lijn 'Norm/eis' is de 'Conditie' van het beschouwde onderdeel. De 'Levensduur' is bepaald op het snijpunt van beide lijnen waar de conditie '0' is. Als uit de toestandsbepaling volgt dat de conditie positief is, bestaat er een restlevensduur.

Reikwijdte 'conditie'

In dit document gaat het over de 'structurele' of 'mechanische' conditie. Ook nagroei en permeatie houden weliswaar verband met de toestand van een drinkwaterleiding, maar zijn niet betrokken bij deze praktijkcode. De 'opname' van organische stoffen tussen de polymere structuren van een kunststof materiaal (permeatie) kan leiden tot mechanische achteruitgang van dat materiaal (zie [63]) (toestandsvermindering) en hiermee tot een verlaging van de mechanische conditie. Dit maakt wel deel uit van deze praktijkcode.

Materialen en leidingelementen

'Materialen' zijn volgens artikel 1 van het [Drinkwaterbesluit](#) [2]) als volgt gedefinieerd: *industrieel gevormde vaste stoffen of daaruit samengestelde producten, niet zijnde chemicaliën, die gebruikt worden voor het vervaardigen en verwerken van producten die in contact kunnen komen met te behandelen water of drinkwater en daarbij kunnen worden afgegeven aan dat water*

Deze definitie omvat zowel 'vaste stoffen' (bijvoorbeeld PVC poeder of PE granulaat) als 'producten'. Het begrip 'product' is gedefinieerd in artikel 1 van de [Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening](#) [3]: *'door de mens vervaardigd object in afgewerkte staat of een bestanddeel daarvan, samengesteld uit materialen of chemicaliën, dat in contact kan komen met te behandelen water of drinkwater of warm tapwater'*. Om het onderscheid tussen 'stof' en 'product' te maken, wordt voor 'product' in deze Praktijkcode het begrip 'leidingelement' gehanteerd: in een productieproces vervaardigde producten ten behoeve van leidingen voor drinkwatertransport en -distributie: buizen (bijvoorbeeld

gecementeerde stalen buizen), fittingen of hulpstukken en appendages (afsluiters en brandkranen)². Een leidingelement kan dus uit meerdere materialen bestaan.

Scope

Dit document heeft betrekking op 'drinkwaterleidingen'. Drinkwaterleidingen omvatten primaire of transportleidingen, secundaire of vermaasde distributieleidingen, tertiaire of vertakte distributieleidingen en aansluitleidingen voor drinkwater [5]. De verantwoordelijkheid van de drinkwaterbedrijven strekt zich uit tot het 'leveringspunt'. Voor huishoudelijke aansluitingen is dat de stopkraan na de watermeter [64]. Deze praktijkcode strekt zich uit tot aan de dienstkraan. Dienstkranen, aansluitleidingen en watermeters zijn dus buiten beschouwing gelaten.

Toepassingsgebied

Deze praktijkcode heeft betrekking op 'drinkwaterleidingen' en watervoerende leidingen onder druk zoals 'ruwwaterleidingen' en 'afvalwaterpersleidingen'.

Samenstelling projectgroep

De samenstelling van de projectgroep die de totstandkoming van deze praktijkcode heeft begeleid, is hieronder weergegeven. De deelnemers zijn per bedrijf in alfabetische volgorde vermeld.

Drinkwaterbedrijf of -laboratorium

Brabant Water
Dunea
Evides
KWR Watercycle Research Institute

Oasen
Pidpa
PWN
Vitens
Waterbedrijf Groningen
Waternet
WMD
WML

Vertegenwoordiger(s)

Roel Diemel (voorzitter);
Kees Ruijg;
Henk de Kater;
George Mesman
Martin Meerkerk (secretaris)
kwaliteitsborging
Bart Schultz (tot april 2016);
geen;
Peter Horst;
Eelco Trietsch;
Eddy Postmus;
Joost Louter (agendalid);
Joop Suelmann;
Henk Vogelaar.

Vaststelling praktijkcode

Deze praktijkcode is vastgesteld door de Begeleidingsgroep Praktijkrichtlijnen in de vergadering van 6 oktober 2016.

Beheer van de praktijkcode

Commentaar of opmerkingen betreffende de opzet en/of de inhoud van deze praktijkcode kunnen per e-mail worden verzonden aan KWR Watercycle Research Institute:

Martin.Meerkerk@kwrwater.nl. Indien van toepassing zal een en ander worden gebruikt als input voor een volgende editie van het document.

² Het begrip 'leidingelement' in dit document is afgeleid van de begrippen 'buisleiding', 'buisleidingelementen' en 'buisleidingsstelsel', die in de nationale norm NEN 3650-1 [6] zijn gedefinieerd. 'Leidingelement' wordt ook gehanteerd in de 'Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen; Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 805:2000)' [5].

Inhoud

1	Inleiding	9
1.1	Wettelijk kader conditiebepaling	9
1.2	Europese norm en nationale richtlijn	10
1.3	Praktijkcode conditiebepaling, aanleiding	10
1.4	Leeswijzer	10
2	Toepassingskader conditiebepaling	12
2.1	Toepassingsgebied	12
2.2	Afwegingskader saneringsbeslissingen	12
2.3	Selectie van locaties of leidingen	14
2.4	Begripsvorming omtrent toestandsbepaling	14
2.5	Leidingelementen	15
2.6	Normen en conditiebepaling	15
3	Toestandsbepaling buizen	17
3.1	Inleiding	17
3.2	Asbestcement	17
3.3	Beton	19
3.4	PVC	21
3.5	PE	27
3.6	PE met barrièrelaag	29
3.7	Lamellair gietijzer	30
3.8	Nodulair gietijzer	33
3.9	Staal	34
3.10	Generieke toestandsbepalingsmethoden	37
4	Verbindingen	39
4.1	Inleiding	39
4.2	Verbindingstypen en specifieke faalwijzen	40
4.3	Detectiewijzen falen van verbindingen	49
4.4	Normwaarden voor toelaatbare hoekverdraaiing	51
5	Appendages	53
5.1	Algemeen conditie appendages	53
5.2	Brandkranen	54
5.3	Afsluiters	55
6	Gewenste conditie	58
6.1	Probabilistische benadering	58
6.2	Praktische uitwerking probalistiek	59
6.3	Voorbeeld AC	60
6.4	Voorbeeld PVC	63
6.5	Andere materialen	65
6.6	Conditie leiding	66
7	Witte vlekken	67

8	Literatuur	75
	Bijlage I Samenstelling drinkwaterleidingnet	80
	Bijlage II Optredende storingen	82
	Bijlage III Ontwikkeling lekverliezen	85
	Bijlage IV Spreiding in aantasting AC	87
	Bijlage V Begrippen en omschrijving	88

1 Inleiding

1.1 Wettelijk kader conditiebepaling

De conditiebepaling van drinkwaterleidingen heeft een wettelijk kader. Dat blijkt uit de navolgende passages uit de [Drinkwaterwet](#) [1] en het [Drinkwaterbesluit](#) [2]. Drinkwaterbedrijven zijn daarmee gehouden aan het structureel vaststellen en bewaken van de conditie van drinkwaterleidingen.

Artikel 21 in § 1 'Drinkwaterbedrijven' van Hoofdstuk III 'De zorg voor de kwaliteit van drinkwater' van de [Drinkwaterwet](#) [1] verwijst in lid 3 naar het toezicht houden op het bedrijf: *'Bij of krachtens algemene maatregel van bestuur worden, onverminderd het eerste lid, in het belang van de volksgezondheid eisen gesteld met betrekking tot: b. het toezicht, door of vanwege de eigenaar van een drinkwaterbedrijf te houden op de toestand en de werking van het bedrijf, alsmede op de hoedanigheid van het in dat bedrijf bereide drinkwater'*. De daarbij genoemde 'algemene maatregel van bestuur' is het [Drinkwaterbesluit](#) [2]. Lid 1 van artikel 15 'Handleiding en bedrijfsprocessen' van dat besluit refereert in de eerste zin aan het in de Drinkwaterwet genoemde toezicht: *'Het toezicht door de eigenaar van een drinkwaterbedrijf, bedoeld in artikel 21, derde lid, onder b, van de wet, vindt plaats door middel van een daartoe op te stellen en uit te voeren kwaliteitsmanagementsysteem, gebaseerd op NEN-EN-ISO 9001.'*³ Het bewaken van de conditie van het leidingnet wordt in lid 3 van dat artikel 15 expliciet genoemd: *'De secundaire bedrijfsprocessen die in ieder geval bij het opstellen en uitvoeren van het kwaliteitsmanagementsysteem worden betrokken zijn: f. de bewaking van de conditie van de watervoorzieningswerken'*. Het begrip 'watervoorzieningswerken' is gedefinieerd in artikel 1 van de [Drinkwaterwet](#) [1]: *'werken ten behoeve van de productie en distributie van drinkwater en daarmee rechtstreeks verband houdende werken en beschermingsvoorzieningen ten dienste van drinkwaterbedrijven'*. Via 'werken ten behoeve van de distributie van drinkwater' heeft de bewaking van de conditie van drinkwaterleidingen een wettelijk kader.

'De bewaking van de conditie van watervoorzieningswerken' ten behoeve van de distributie van drinkwater is op verschillende manieren in te vullen. De bewaking kan actief zijn, waarbij de toestand (wanddikte, materiaaleigenschappen, belastingen en dergelijke) wordt gemonitord en vergeleken met de noodzakelijke conditie. Een dergelijk actieve bewaking geldt voor leidingen waarbij een storing⁴ als gevolg van teruglopende conditie niet of minder gewenst is. Een reactieve benadering vindt plaats door de storingen te registreren en de optredende storingsfrequentie te vergelijken met een binnen de situatie aanvaardbare frequentie. Laatstgenoemde frequentie kan per leiding en per situatie verschillen. In dit verband wordt gewezen op de volgende passage in de '[Beleidsnota Drinkwater](#)' [7]: *'Prioriteiten in het uitvoeringsbeleid van de vervangingsopgave van de drinkwatersector zijn:Een eenduidige en goede database, waarin naast het vastleggen van de conditie van de verschillende onderdelen ook adequate storingsregistratie plaatsvindt.'*

³ Volgens de Drinkwaterregeling [66] gaat het om de NEN-EN-ISO 9001 van 2008 met een aanvulling van 2009. Inmiddels is er de versie van 2015.

⁴ In de Nederlandse wet- en regelgeving wordt het begrip 'verstoring' gehanteerd, zie Bijlage I. Desondanks wordt in het dagelijks spraakgebruik van een 'storing' gesproken. Om die reden wordt in deze praktijkcode laatstgenoemd begrip gehanteerd.

1.2 Europese norm en nationale richtlijn

De norm [NEN-EN 805](#) 'Watervoorziening – Eisen aan distributiesystemen buitenshuis' [4] d.d. 1 februari 2000 beschrijft de minimale eisen voor drinkwaterleidingsystemen die gelden in de lidstaten van de Europese Unie. De norm vormt met die status in Europa het uitgangspunt voor leidingnetten die vallen onder de verantwoordelijkheid van drinkwaterbedrijven. De Europese norm was in 2003 vertrekpunt bij het opstellen van een Nederlandse richtlijn voor leidingnetten van drinkwaterbedrijven. In december 2010 is van die richtlijn de tweede editie verschenen: het rapport [KWR 2010.094](#) 'Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen; *Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 805:2000)*' [5]. De richtlijn is gebaseerd op en in lijn met de Europese regelgeving voor het transport en de distributie van drinkwater.

1.3 Praktijkcode conditiebepaling, aanleiding

Hoofdstuk 14 van de 'Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen; *Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 805:2000)*' [5] is getiteld 'Bedrijfsvoering'. § 14.2 in dat hoofdstuk gaat over 'Beheer' en § 14.2.4 over 'Conditiebepaling'. In die subparagraaf worden de materialen asbestcement, grijs gietijzer en PVC achtereenvolgens kort uitgewerkt. Vanuit het oogpunt van beheer is het wenselijk methoden voor de conditiebepaling van verschillende materialen actueel in een separaat document te beschrijven, waarnaar in een volgende editie van de 'Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen; *Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 805:2000)*' [5] kan worden verwezen.

Op grond van het voorgaande kan worden geconcludeerd dat drinkwaterbedrijven zijn gehouden aan het structureel bewaken van de conditie van drinkwaterleidingen. De Nederlandse drinkwaterbedrijven (verenigd in het 'Platform Bedrijfsvoering') willen door middel van een project binnen het onderwerp 'praktijkrichtlijnen' bijdragen aan de invulling daarvan door middel van het opstellen van een 'best practice' voor de sector. Deze praktijkcode is de opbrengst van dat project. Het gaat om een document voor de conditiebepaling van de 'structurele' of 'mechanische' eigenschappen van drinkwaterleidingen.

1.4 Leeswijzer

In deze praktijkcode wordt de conditiebepaling behandeld van verschillende onderdelen (buizen, verbindingen en appendages) van het leidingnet. Deze 'leidingelementen' kunnen zijn opgebouwd uit verschillende materialen: een PVC buis bestaat uitsluitend uit PVC, een stalen buis bestaat bijvoorbeeld uit een coating, de eigenlijke stalen buis en een 'liner' (cementmortelbekleding)⁵. In deze praktijkcode worden de verschillende leidingelementen in hun context behandeld. De conditie van een cementmortelbekleding wordt behandeld bij stalen buizen.

Verbindingen worden behandeld per type.

De appendages zijn in deze praktijkcode beperkt tot afsluiters en brandkranen. Watermeters vallen buiten deze praktijkcode. Daarvoor wordt verwezen naar de Regeling Kwaliteitsborging Watermeters [67] en dan met name naar het bijbehorende Handboek [68]. Andere appendages zijn in zo een beperkt aantal aanwezig in het leidingnet dat daaraan in dit verband geen aandacht wordt besteed.

De indeling van dit rapport is op deze basis als volgt:

- Hoofdstuk 2: Toepassingskader saneringsbeslissingen;
- Hoofdstuk 3: Buizen;
- Hoofdstuk 4: Verbindingen;
- Hoofdstuk 5: Appendages;

⁵ De NEN-EN 805 [5] maakt het onderscheid tussen de uitwendige en inwendige bescherming als zodanig te maken: 'coating' respectievelijk 'liner'.

- Hoofdstuk 6: Gewenste conditie;
- Hoofdstuk 7: Witte vlekken.

2 Toepassingskader conditiebepaling

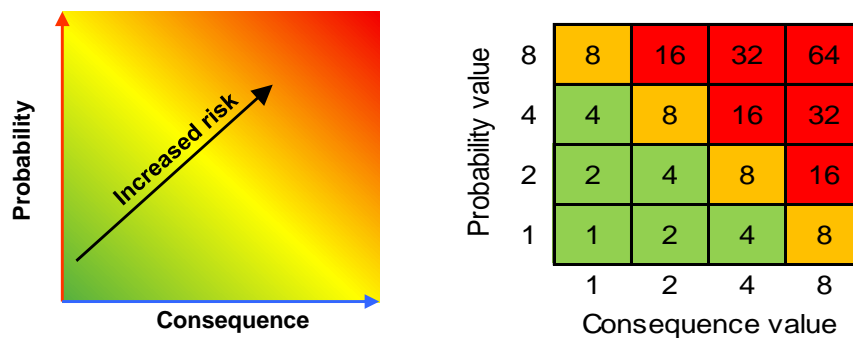
2.1 Toepassingsgebied

Het toepassingsgebied voor deze praktijkcode is het leidingnet zoals dit door de drinkwaterbedrijven wordt beheerd. Dit leidingnet bestaat uit een groot aantal verschillende elementen, uitgevoerd in vele diameters en wanddikten, liggend onder verschillende omstandigheden, geproduceerd en aangelegd in verschillende tijdperken. Voor dit leidingnet verschuiven de inspanningen van eerste aanleg naar beheer en vervanging. Het saneringsproces vraagt om planning in de tijd. Te vroeg vervangen is kapitaalvernietiging, te laat vervangen levert schade op door breuk, het verlies van imago en het verlies van grip op het beheer. De bepaling van de conditie van leidingen speelt een steeds belangrijkere rol bij de onderbouwing van beslissingen voor het saneren van leidingen.

2.2 Afwegingskader saneringsbeslissingen

2.2.1 Autonome beslissing drinkwaterbedrijf

Een beslissing voor sanering van een leiding wordt gestuurd door het risico dat vermeden wordt bij saneren. Het risico bestaat uit een kans van optreden en het effect bij optreden. Door de kans en het effect in één grafiek uit te zetten ontstaat het kans-effect-diagram waarmee het risico geëvalueerd wordt. Op de effecten-as worden de primaire criteria gesteld. Uitkomsten van risico-indicatoren worden doorgaans gediscriteerd in een aantal klassen, waarbij aan elke klasse een kleur wordt toegekend. Figuur 2 toont twee voorbeelden: één met continue waarden van risico's en één met gediscriteerde waarden (respectievelijk het linker- en rechterpaneel). De laatste wordt in de praktijk gebruikt en wordt risicomatrix genoemd. De risico-matrix wordt veel gebruikt door de Nederlandse drinkwaterbedrijven [8].



Figuur 2 Kans-effect-risico diagram (continue verdeling risico's, links) en de kans-effect-ricomatrix of risicomatrix (gediscriteerde versie van kans-effect diagram, rechts).

Een risicomatrix is voor verschillende kans-categorieën en effect-categorieën op te stellen. De kans van vóórkomen in een leidingnet wordt in kaart gebracht voor onderstaande situaties:

- Leveringsonderbrekingen;
- Leidingbreuk;

- Ondermaatse capaciteit (Hydraulica).

Vervolgens worden de criteria in de risicomatrix gebracht:

- OLM;
- Kosten;
- Veiligheid;
- Imago.

Leveringsonderbrekingen

Op één as van de risicomatrix staat hier de kans op leveringsonderbreking. Deze is afhankelijk van de storingsfrequentie, de leidinglengte en de functie van de leiding. De storingsfrequentie is weer afhankelijk van de materiaaleigenschappen van de betreffende leiding, de ligging van de leiding, de leeftijd, de mate van aantasting etc. Op de andere as is het effect van een leveringsonderbreking uitgezet. Leveringsonderbreking kan worden geteld in het criterium 'Ondermaatse Leverings Minuten' (OLM). Dit kan gelegen zijn in de sectie zelf (drukloos na afsluiten) of in het achterliggend gebied (beperkte druk vanwege ontbrekende aanvoercapaciteit na afsluiten). De functie van de leiding is een belangrijke factor: een tertiaire leiding met aansluitingen levert bij storing altijd leveringsonderbreking op, terwijl leveringsonderbreking bij het storen van secundaire en primaire leidingen afhankelijk is van de plaats van de leiding in het leidingnet, de aanwezigheid en betrouwbaarheid van afsluiters en de aanwezige redundantie.

Leidingbreuk

Op één as van de risicomatrix staat de kans op breuk. Deze is afhankelijk van de storingsfrequentie en de leidinglengte. De storingsfrequentie is weer afhankelijk van de materiaaleigenschappen van de betreffende leiding, de ligging van de leiding, de leeftijd, de mate van aantasting etc. Het effect van breuk bestaat uit de hoeveelheid uitstromend water en de hieraan verbonden criteria als veiligheid, imago, kosten lekherstel en schadevergoedingen.

Capaciteit

Op de y-as van de risicomatrix bij capaciteitsproblemen staat de frequentie van een te lage capaciteit (drukprobleem) en op de x-as de grootte van het probleem. Het item 'capaciteit' kan overigens over een enkele leiding gaan maar ook over een groter deel van het net, waar de betreffende leiding een rol in een oplossing speelt. De criteria kosten, OLM en imago zijn hierbij betrokken.

Criteria

Voor de criteria worden categorieën gekozen met een exponentiele verhouding waarmee de categorieën goed onderscheidend worden. Denk aan indeling in klein, matig, behoorlijk, ernstig en catastrofaal. De criteria worden gekoppeld aan het effect.

OLM

Dit criterium kan op basis van leidingnetberekeningen goed worden bepaald voor ingrepen of gebeurtenissen in het net.

Kosten

De kosten in een risicomatrix betreffen de risicokosten als herstel en schadekosten, maar kunnen ook de investeringskosten van het vervangen van een leiding betreffen.

Veiligheid

Bij veiligheid kan een indeling worden gemaakt op basis van letsel of verkeersveiligheid.

Imagoschade

Het imago van een drinkwaterbedrijf speelt een rol. Als weinig gevolgschade optreedt, laat de economie van storingen over het algemeen een hoge storingsfrequentie toe, voordat wordt overgegaan tot vervanging van die leiding. Het imago van het bedrijf kan worden beschadigd bij deze frequentie van storen. Door in het bedrijf de mogelijkheid te scheppen om snel en adequaat te reageren op storingen kan de imagoschade worden beperkt. Hierbij kan een indeling worden gemaakt in de aandacht van media (lokaal tot internationaal), maar ook naar de plaats waar het imago wordt beschadigd, bij de lokale consumenten, voedingsmiddelenindustrie, waterkeringen en dergelijke.

2.2.2 Beslissing op initiatief derden

Naast de autonome afwegingen door het drinkwaterbedrijf bestaat ook de mogelijkheid dat het bedrijf een saneringsbeslissing moet nemen op initiatief van derden. Bij herinrichting van de omgeving (bestreringen maar ook kabels en leidingen) zal een afweging gemaakt moeten worden of de drinkwaterleiding vervangen wordt of niet. De beslissing om wel of niet mee te gaan hangt af van de inschatting/bepaling van de conditie en restlevensduur van de betreffende leiding en het risico dat gelopen wordt als de 'verkeerde' beslissing genomen.

Inspecties geven meer zekerheid van de toestand en materiaaleigenschappen, maar brengen ook kosten met zich mee die moeten worden afgewogen tegen de weggenomen onzekerheid. De eigenschappen van een leiding (effectieve wanddikte en materiaalsterkte voor asbestcement en grijs gietijzer; weerstand tegen langzame scheurgroei, DCMT test en inwendige spanningen voor PVC) zijn uitsluitend met een inspectie en proefnemingen te achterhalen.

2.3 Selectie van locaties of leidingen

Het bepalen van een conditie van een leiding vergt een inspanning in tijd en geld. Het loont om alleen die leidingen te onderzoeken waar een reden voor onderzoek is. De selectie van nader te onderzoeken leidingen komt tot stand op basis van cohorten, storingen, modellen en initiatief door derden. De cohortindeling zal over het algemeen worden bepaald door materiaal en aanlegjaar. De producent van leidingen is een item dat relevant is, maar die over het algemeen voor leidingen slecht bekend is. Door een storingsdatabase bij te houden (USTORE⁶) wordt duidelijk in hoeverre leidingen van een bepaald materiaal en aangelegd in bepaalde perioden een hoge storingsfrequentie hebben of beginnen te krijgen en voor nader onderzoek in aanmerking komen. De inzet van modellen waar de reeds bekende cohorten en storingsfrequentie worden aangevuld met lokale omstandigheden geven een indicatie waar de meest zinvolle conditie onderzoeken kunnen worden uitgevoerd. De Nederlandse drinkwaterbedrijven maken anno 2016 gebruik van deze modellen.

2.4 Begripsvorming omtrent toestandsbepaling

Het meten van de toestand van een object bestaat uit achtereenvolgens:

- monsterneming (indien van toepassing);
- beproeving of meting, inclusief de eventuele interpretatie van meetresultaten.

⁶ USTORE is de gezamenlijke storingsdatabase van de Nederlandse drinkwaterbedrijven. Door het delen van data beschikken drinkwaterbedrijven over een storingsdatabase die vele malen groter is dan hun eigen database. Hierdoor neemt de statistische betrouwbaarheid toe en kunnen meer gedetailleerde analyses worden uitgevoerd. USTORE een belangrijkste instrument om beslissingen te onderbouwen over het vervangen van leidingen.

In de internationale literatuur wordt het onderscheid tussen toestand en conditie niet gemaakt en wordt hiervoor het containerbegrip 'condition assessment' aangehouden. Een algemeen aanvaarde definitie van condition assessment is: '*Condition assessment is the collection of data and information through direct and/or indirect methods, followed by analysis of the data and information, to make a determination of the current and/or future structural, water quality, and hydraulic status of the pipeline.*'[41].

Toestandsbepaling kan op verschillende wijzen worden uitgevoerd:

- Detectie van falen, bijvoorbeeld door lekdetectie of storingsregistratie;
- Directe bepaling waarbij de toestand van de meetobject wordt vastgesteld als gevolg van degradatie door een vastgesteld degradatiemechanisme, bijvoorbeeld door het meten van de effectieve wanddikte als gevolg van het faalmechanisme uitloging;
- Indirecte bepaling waarbij factoren worden gemeten die op indirecte wijze informatie geven over het falen of de faaloorzaak, bijvoorbeeld het meten van de druk bij het afpersen van leidingen of het inmeten van zakbaken als voorspeller voor spanningen op leidingen door ongelijkmatige zettingen.

Degradatie van leidingen kan zich op de volgende wijzen manifesteren:

- Leidingbreuk als gevolg van afnemende sterkte van het leidingmateriaal;
- Afnemende hydraulische capaciteit;
- Verslechtering van de waterkwaliteit.

De focus van deze praktijkcode ligt bij directe toestandsbepaling gerelateerd aan het afnemen van sterkte van het leidingmateriaal. Bij deze bepaling van de toestand is het belangrijk kennis te hebben van het dominante degradatiemechanisme. De processen die verantwoordelijk zijn voor de degradatie van leidingen zijn complex en worden door verschillende factoren beïnvloed van zowel statische aard (zoals leidingmateriaal, proces van productie en aanleg, afmetingen en bodemeigenschappen) als dynamische aard (zoals leeftijd, weer, graafindicenten en waterkwaliteit gedurende de levensduur). Niet alle processen die invloed hebben op degradatie zijn bekend. Daarnaast zijn de degradatieprocessen lastig te kwantificeren, omdat er onder andere door de ondergrondse ligging weinig data beschikbaar zijn.

2.5 Leidingelementen

Leidingen zijn opgebouwd uit 'leidingelementen': buizen, fittingen of hulpstukken en appendages. Deze elementen of onderdelen van leidingen zijn omschreven in Bijlage V. In deze bijlage zijn ook begrippen gedefinieerd, die bij die elementen behoren: coating, verbinding, liner en buisdeel. Nadrukkelijk wordt gewezen op het onderscheid tussen fitting of hulpstuk enerzijds en 'verbindingen' anderzijds. Zo kan een fitting of hulpstuk uit twee of drie verbindingen bestaan: bijvoorbeeld een mof respectievelijk T-stuk. De mogelijke conditiebepaling van buisdelen en verbindingen wordt hier beschreven. In de hoofdstukken 3 (buizen) en 4 (verbindingen) wordt daarop ingegaan.

2.6 Normen en conditiebepaling

Voor de verschillende onderdelen kunnen normen voor de gewenste conditie worden bepaald. Indien de leidingen met een vergunning liggen, kan de vergunningverlener een norm opleggen voor het faalgedrag van een leiding. Voor leidingen waar geen nadere eisen voor gelden (NEN-EN 805 [5]) kan het drinkwaterbedrijf zelf de norm of eis bepalen. Dit kan een storingsfrequentie zijn, een beperking van gevolgschade en dergelijke. Uit de

combinatie van de norm of eis en de bepaalde toestand volgt dan de conditie. Een en ander wordt beschreven in hoofdstuk 6.

3 Toestandsbepaling buizen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de verschillende materialen behandeld: asbestcement, beton, PVC, PE, grijs gietijzer, nodulair gietijzer en staal. De indeling is per materiaal gelijk: eerst een beschrijving van het materiaal, dan de mogelijke degradatiemechanismen en vervolgens de mogelijkheden voor de toestandsbepaling. De ontwikkeling in de toepassing van de verschillende materialen in het Nederlandse leidingnet is opgenomen in Bijlage I.

3.2 Asbestcement

3.2.1 Materiaalbeschrijving

Met de aanleg van drinkwaterleidingen van asbestcement is gestart in het midden van de jaren dertig van de vorige eeuw. Na de Tweede Wereldoorlog is het materiaal als alternatief voor grijs gietijzer bij een aantal bedrijven als standaard materiaal toegepast. In de loop van de jaren zestig – tachtig van de vorige eeuw is dit materiaal verdrongen door alternatieve materialen als PVC en nodulair gietijzer. Het materiaal bestaat uit een mengsel van asbestvezels en cement die rondom een stalen kern zijn gewikkeld. Na verharding van de cement wordt de kern verwijderd en is de asbestcement buis gereed. De sterkte van het materiaal wordt bepaald door de gebonden asbestvezels. De sterkte van de buisdelen wordt bepaald door materiaalsterkte en de wanddikte van het buisdeel.

In de jaren 1945 – 1960 zijn verschillende leveranciers op de Nederlandse markt actief geweest waarvan Toshi en Eternit de bekendste zijn. Over het algemeen is niet bekend waar de verschillende fabricaten liggen, maar de historische drinkwaterbedrijven (kleine gemeentelijke bedrijven) hadden vaak hun eigen leverancier. Uit registratie van storingen door de bedrijven blijkt de kwaliteit van de verschillende buizen met de leverancier te verschillen. Na 1960 is Eternit monopolist geworden op deze markt en treden er minder grote kwaliteitsverschillen in de jaarcategorieën asbestcement buizen op.

Voor het materiaal zijn eisen vastgesteld door KIWA in de kwaliteitseisen nummer 17 [9]. In december 1969 zijn de eisen voor dit materiaal opgenomen in de normen NEN 3262, NEN 3263 en NEN 3269. In 1993 is de toepassing van asbestcement in Nederland wettelijk verboden.

3.2.2 Degradatiemechanisme

Het materiaal kan, zowel inwendig als uitwendig, worden aangetast vanuit de omgeving onder specifieke kalkoplossende omstandigheden waardoor de cement uitloopt en dit uitgeloopte deel van de buiswand geen sterkte meer bezit. De uitloging vindt plaats op een front dat de buiswand indringt. Het niet uitgeloopte deel van de buiswand is de restwanddikte. In onderzoek naar de toestand van asbestcement leidingen worden gemiddelde uitlogingsnelheden gevonden die variëren van 0,0 mm/jaar tot 0,1 mm/jaar. Deze worden lineair verondersteld bij gelijkblijvende omgevingsfactoren. Uitwendige aantasting hoeft niet lineair te verlopen als er een coating aanwezig is. Een coating beschermt het onderliggende materiaal maar kan verouderen of beschadigen. Een eventueel gevonden uitwendige aantasting kan dan in een kortere tijd zijn opgetreden. Het inwendige milieu wisselt met de drinkwaterkwaliteit over de levensduur van de leiding. Over het algemeen is de drinkwaterkwaliteit in de loop van de tijd minder agressief geworden (hogere

SI (van negatief naar positief) door conditionering), waarmee de aantastingsnelheid lager wordt.

Naast uitloging kan er in cementgebonden materiaal ook uitwisseling plaatsvinden waarbij de pH niet zakt, maar waarbij de sterkte-eigenschappen verminderen. Deze aantasting is ook frontsgewijs. Het fenomeen komt minder vaak voor dan uitloging. Het proces vindt alleen aan de buitenzijde van de buis plaats en er is een relatie met de aanwezigheid van nitraat in de bodem.

De aanwezigheid van sulfaten in de uitwendige omgeving kan ook aantasting veroorzaken van het asbestcement. Hierbij worden volumineuze producten (gips-achtige materialen) gevormd. Dit fenomeen komt uitsluitend voor in een omgeving met hoge sulfaatgehalten. Dat komt in Nederlandse bodems weinig voor. Inwendig komt dit verschijnsel in drinkwaterleidingen niet voor.

3.2.3 Mogelijkheden voor toestandsbepaling

Voor het schatten of bepalen van de toestand van een asbestcement buis zijn de volgende parameters van belang:

- Aanlegjaar / productiejaar;
- Diameter en wanddikte;
- In- en uitwendige belastingen;
- Aanwezige in- en uitwendige aantasting;
- Storingshistorie van de betreffende leiding.

Aanlegjaar / productiejaar

Uit de storingsstatistiek volgt een verhoogde storingsfrequentie voor de aanlegperiode van voor 1965, zie Bijlage II. Het aanlegjaar is voor het grootste deel van de leidingen bekend. Een onderscheid tussen fabrikanten is niet mogelijk, omdat deze informatie slecht tot niet toegankelijk is. In de periode voor 1965 bestonden er meer dan 200 zelfstandige drinkwaterbedrijven waar de administratie niet meer volledig van bestaat.

Diameter en wanddikte

Deze volgen uit het LIS en de materiaalcatalogus bij de aanwezige drukklasse of uit een wanddiktemeting op een breukvlak. Omdat de inwendige diameter van een asbestcement buis exact bekend is en overeenkomt met de nominale diameter is de wanddikte eenvoudig te bepalen uit een omtrekmeting. De wanddikte uit de catalogus moet worden gezien als de minimum wanddikte. Om deze te kunnen garanderen in de geleverde buis is er een overmaat aan materiaal in de wand gewikkeld. In de praktijk komen veelvuldig leidingen voor waarvan de aanwezige wanddikte groter is dan de cataloguswaarde.

In- en uitwendige belastingen

De inwendige belasting wordt gevormd door de heersende waterdruk in de buis en drukfluctuaties in de betreffende leiding. Uitwendige belastingen worden gevormd door de grondbelasting (diepteligging en grondsoort), eventuele verkeersbelasting en belastingen voortkomend uit zettingsverschillen.

Aanwezige in- en uitwendige aantasting

Voor de bepaling van de restwanddikte van een asbestcement leiding zijn de volgende onderzoeksmethoden beschikbaar:

- Kleuring van een vers breukvlak met een pH-indicator;
Het uitgeloopte deel van de buiswand heeft een lagere pH-waarde dan het niet uitgeloopte deel. Door op een vers breukvlak een indicator aan te brengen (tegenwoordig thymolftaleïne, tot 2014 fenolftaleïne) kleurt het niet uitgeloopte deel. De diepte van de uitloging is met een schuifmaat nauwkeurig genoeg te meten (vereiste nauwkeurigheid is 0,5 – 1,0 mm). Figuur 3 geeft een voorbeeld met het resultaat van een test met thymolftaleïne weergegeven.



Figuur 3 Resultaat van een thymolftaleïnetest op een 100 mm asbestcement buisdeel met een wanddikte van ongeveer 14 mm. Er is inwendige aantasting (maximaal 2 mm) en uitwendige aantasting (maximaal 6 mm) zichtbaar.

- Aantasting materiaal/uitloging met Georadar
Tussen het uitgeloopte materiaal en het niet-uitgeloopte materiaal bestaat een verschil van materiaaleigenschappen. De overgang tussen de materialen is met Georadarapparatuur meetbaar. De meting kan uitwendig worden uitgevoerd, direct op de buitenkant van de leiding. De leiding blijft hierbij normaal functioneren. Er is ook een inwendige meting mogelijk waarbij grotere lengten worden bemeaten. Hiervoor is het noodzakelijk dat de leiding wordt drooggezet. Het resultaat van een in- of uitwendige meting is de restwanddikte per meetpunt over de uitgevoerde meetlijnen. De techniek wordt regelmatig ingezet in Nederland in drinkwaterleidingen en afvalwaterpersleiding van asbestcement.
- Aantasting akoestisch meten
De stijfheid van een leiding is afhankelijk van de wanddikte en de elasticiteitsmodulus (E) van het materiaal. Als E bekend is, kan een gemiddelde wanddikte over het gemeten traject worden bepaald uit het gedrag van een aangebracht akoestisch signaal op de leiding. De techniek is in toegepast bij verschillende drinkwaterbedrijven sinds 2014 [39].

3.3 Beton

3.3.1 Materiaalbeschrijving

Rond 1933 zijn de eerste betonnen leidingen ontwikkeld voor toepassing als drinkwaterleidingen. Het betroffen betonnen leidingen met wapeningsstaal, aangelegd met of zonder voorspanning. In 2013 is in Nederland is er een gezamenlijke lengte van 1280 km

betonnen leiding aanwezig. Bijna de helft hiervan betreft ruwwater leidingen. Meer dan de helft van deze lengte heeft een diameter van 1.000 mm of groter.

Gewapend beton zonder voorspanning

Deze betonnen buizen bestaan vaak uit een plaatstalen kern met een betonnen binnen- en buitenbekleding. De binnenbekleding kan al dan niet zijn voorzien van wapening. De buitenbekleding is uitgevoerd in beton, voorzien van langs- en spiraalwapening. De specifieke uitvoering van deze buizen is afhankelijk van de fabrikant. Onderstaande buizen zijn het meest toegepast [10]:

- Lasbuizen of buizen met een plaatstalen kern, geproduceerd door Bonna Vianen of Beton Arkel / Betonson. Zij hebben een in het werk aangebrachte lasverbinding.
- Bonna, strik buizen geproduceerd door Bonna Vianen in de jaren 1920 – 1965. Deze buizen hebben een verbinding, waarbij de ruimte tussen spie en mof gevuld is met lood- en striktouw (hennep). In sommige gevallen werd hiervoor een asbest bevattend koord (het zogenaamde PC 4 koord) gebruikt. De Bonna strik buizen hebben een dunne metalen kern, ook wel aangeduid als blikken kern.
- Vianini buizen, gewapend beton zonder plaatstalen kern, zijn vaak voorzien van natuurrubber ringen.

Gewapend beton met voorspanning

Door het aanbrengen van voorgespannen staalwapening kan een betonnen buis meer krachten opnemen en kan die slanker worden uitgevoerd. Hierbij worden twee typen voorgespannen buizen onderscheiden:

- buizen met een betonnen kernbuis voorzien van voorgespannen langswapening en daaromheen spiraalwapening, welke onder spanning om de kernbuis is gewikkeld en is voorzien van een betonnen deklaag. De verbinding wordt gemaakt door een rubber rolverbinding met spie en mof.
- Bonna Sentab buizen geproduceerd door Bonna Vianen. Deze buizen zijn geleverd vanaf begin jaren zestig tot in de jaren zeventig. De buizen zijn voorzien van een plaatstalen kern, een ongewapende binnenbekleding en een buitenbekleding met een spiraalvormig geprefabriceerd net van hoogwaardig staal en voorgespannen langsstaven. Deze buizen zijn uitgevoerd met een rubberen rolverbinding met spie en mof maar ook met gelaste verbindingen van de plaatstalen kern.

3.3.2 Degradatiemechanismen

Betonnen buizen kunnen kwalitatief verminderen als gevolg van aantasting van het beton door uitloging met ongeveer een gelijke snelheid als in asbestcement (tot 0,1 mm/jaar), voor de sterkte heeft dit vanwege de grote wanddikte nauwelijks betekenis. Scheurvorming kan worden veroorzaakt door alkali-silica reactie en ettringietvorming [11]. Daarnaast kunnen buizen voorzien van voorspanwapening gevoelig zijn voor waterstofbrosheid ('Stress Orientated Hydrogen Induced Cracking', SOHIC), dat kan leiden tot scheurgroei en breuken in het voorspanstaal [42]. Draadbreek van het voorspanstaal als gevolg van waterstofbrosheid komt voor in het systeem Bonna tot 1966.

Betonnen leidingen van het type Bonna striktouw kunnen zijn uitgevoerd met een in het werk gemaakte omstorting van de spie/mofverbinding. Hiermee wordt een zeer stijve verbinding gecreëerd. Deze verbindingen zijn gevoelig voor verschilzettingen waarbij scheurvorming optreedt in de binnen- en buitenmantel (niet in de verbinding), waarna de stalen kern kan worden aangetast. De optredende lekken zijn beperkt en worden gerepareerd door het vervangen van buisdelen.

3.3.3 Mogelijkheden voor toestandsbepaling

Voor het meten van de toestand van betonnen leidingen zijn onderstaande technieken bekend.

Visueel onderzoek

Visueel onderzoek kan zowel aan de buiten- als aan de binnenkant van de leiding plaatsvinden. De staat van zowel het beton als de wapening (indien zichtbaar) kunnen worden vastgesteld. Bij onderzoek aan de buitenkant dient de leiding vrij te worden gemaakt. Bij onderzoek aan de binnenkant kan gebruik worden gemaakt van videocamera's. Delaminatie (loslaten van de betonschil tussen de wapening en binnen) en scheurvorming kunnen visueel worden vastgesteld. Ook het uitschuiven van buisdelen onder invloed van grondbeweging (zetting en horizontaal) kan op deze wijze worden vastgesteld.

Elektromagnetisch onderzoek

De P-wave methode is een elektromagnetische inspectiemethode die is ontwikkeld door het Canadese bedrijf Pure Technologies. Het systeem brengt een elektromagnetisch veld (een zogeheten Remote Field Eddy Current) in de leiding. Onregelmatigheden in de wikkeldraden worden gemeten, waarbij aan de hand van eerder uitgevoerde kalibratiemetingen, het aantal draadbreuken kan worden geschat. Een verbeterde techniek maakt gebruik van near-field elektromagnetisme. Hierbij wordt van buitenaf een zender over de leiding bewogen. Het signaal wordt versterkt door de draadwapening, waarbij een gebroken draad een verstoring geeft van het signaal. Dit systeem heeft als groot voordeel dat de leiding van buitenaf wordt geïnspecteerd en in bedrijf kan blijven. Breedband elektromagnetische metingen maken gebruik van verschillende frequenties en geven informatie over de wanddikte en de locatie van staaldraden.

Hardheid-onderzoek (Schmidthamer)

Een Schmidthamer (terugslaghamer of betonproefhamer) is een handgereedschap dat wordt gebruikt om op niet-destructieve en eenvoudige wijze de hardheid van een materiaal te controleren. Het gereedschap bestaat uit een huls waarin zich een veer met een lange slagpin bevindt en een afleesmogelijkheid voor het meetresultaat. Hoe harder (en sterker) het materiaal, hoe hoger de terugslagwaarde. Op deze manier wordt de staat van het beton in de deklaag bepaald.

Akoestisch onderzoek

De ePulse-techniek is bruikbaar voor betonnen leidingen. Met deze techniek is het mogelijk om door geluidsmetingen de gemiddelde stijfheid te bepalen van het leidingsegment tussen twee meetpunten. Op basis van de verhouding beton versus staal wordt een schatting gemaakt van de oorspronkelijke stijfheid. Door de gemeten stijfheid te vergelijken met de oorspronkelijke stijfheid wordt een maat van de degradatie van de leiding verkregen.

Naast het beoordelen van de constructie zijn er ook akoestische technieken en systemen voor het aantonen van lekken in de leiding en uitschuivende voegen.

3.4 PVC

3.4.1 Materiaalbeschrijving

Met de aanleg van drinkwaterleidingen van PVC is gestart in het midden van de jaren vijftig van de vorige eeuw. Na de Tweede Wereldoorlog is het materiaal ontwikkeld en vanaf 1955 is het bij een aantal bedrijven toegepast. In 2014 lag er in Nederland 62.000 km drinkwaterleiding uitgevoerd in PVC [62]. In de loop van de jaren tachtig van de vorige eeuw is het materiaal de standaard geworden voor het grootste deel van de leidingaanleg. De

sterkte van de buisdelen wordt bepaald door materiaalsterkte, de wanddikte van het buisdeel en het gedrag van het materiaal onder langdurige belasting.

Inzichten in de eigenschappen van het materiaal hebben in de historie aanleiding gegeven tot aanpassingen in de productie en nieuwe normstellingen. Voor de interpretatie van de uitkomsten van onderzoek is het van belang om deze te kennen.

Sinds 1955 wordt PVC op industriële schaal toegepast als materiaal voor drinkwaterleidingen in Nederland. Sinds 1965 bestaan er keuringseisen en beoordelingsrichtlijnen voor dit materiaal. In het rapport BTO 2015.054 [12] is de historie van de relevante eisen voor dit materiaal omschreven. De ontwikkelingen in dit materiaal en eisen zijn samengevat in Tabel 1.

Tabel 1 Samenvatting parameters eisen PVC buizen (gebaseerd op [13]).

Parameter	K49 (1965)	K49 (1972)	K49 (1977)	BRL502/02 (1991)	BRL17301 (2007)
Sterkte 1 uur 20°C	42 MPa	42 MPa	42 MPa	42 MPa	42 MPa
Sterkte 100 uur 20°C	-	35 MPa	35 MPa	35 MPa	35 MPa
Sterkte 1000 uur 60°C	10 MPa	10 MPa	10 MPa	12,5 MPa	12,5 MPa
Ontwerpspanning MRS 50 jaar	10 MPa	12,5 MPa	12,5 MPa	12,5 MPa	-
Weerstand tegen slag of stoot	Ja	Ja	Ja	Verzwaard	Verzwaard
Vicat verweking DCMT	> 76°C	> 76°C	> 76°C	> 80°C	> 80°C
Merken op de buis	Nominale druk en fabriekskennmerk op buiseinden	Uitgebreid, code toegestaan	Uitgebreid, code toegestaan	Uitgebreid	Uitgebreid, code toegestaan

3.4.2 Degradatiemechanismen

Voor PVC is geen degradatiemechanisme aanwezig in de klassieke zin, het materiaal wordt niet aangetast onder normale gebruiksomstandigheden in het drinkwaternet. Het materiaal heeft wel een aantal eigenschappen die het gedrag over de tijd (liggingsduur) kunnen beïnvloeden. Dit zijn:

- Chemische veroudering
Dit treedt op bij hoge temperaturen en UV straling. In het materiaal zijn stabilisatoren opgenomen die dit voorkomen. Uit onderzoek [43] is gebleken dat voldoende stabilisatoren aanwezig zijn om dit type veroudering te voorkomen.
- Fysische veroudering
Dit treedt op in kunststoffen die snel zijn afgekoeld tot onder de glastemperatuur T_g (PVC $T_g = 70 - 80$ °C). De kunststof is bevroren in een toestand buiten het thermodynamisch evenwicht en beweegt in de tijd hiernaar toe. De sterkte neemt hierbij af. Het verloop van de fysische veroudering is temperatuurafhankelijk. Onder normale verbruikstemperaturen (< 25 °C) is het verloop traag. Het optreden van fysische

veroudering heeft te maken met temperatuur, materiaalspanning, productieomstandigheden, leeftijd en dergelijke en is vooralsnog onvoorspelbaar. Bij schade in PVC leidingen wordt soms fysische veroudering gevonden, maar is het onduidelijk wat de oorzaak hiervan is. Het optreden en de mate van fysische veroudering in het PVC leidingnet is op dit moment onvoorspelbaar.

- **Mechanische veroudering**
Dit treedt op bij beschadiging van de buiswand door het optreden van ‘crazes’ (scheurtjes met nog aanwezige dwarsverbindingen), scheurtjes door hoge spanningen, krassen bij verwerking en dergelijke. Mechanische veroudering onder hoge belastingen is de meest voorkomende oorzaak van schades.

De toestand van PVC buizen wordt voornamelijk bepaald door de weerstand tegen langzame scheurgroei in combinatie met de heersende materiaalspanning als gevolg van de aanwezige belastingen. Dit is mechanische veroudering. De weerstand tegen langzame scheurgroei is de relatie tussen de hoogte van de materiaalspanning en de tijd dat deze spanning kan worden weerstaan zonder tot breuk te leiden. Volgens de eis uit BRL 17301 [13] dient het materiaal een ‘Minimum Required Strength (MRS) voor 50 jaar’ te bezitten van 25 MPa, zie Tabel 1. Dit komt overeen met een ontwerpspanning van 12,5 MPa met een veiligheidsfactor van 2 (BRL-K502 [13] en Keuringseisen nummer 49 [13]). Weerstand tegen langzame scheurgroei kan worden bepaald op proefstukken uit een buisdeel. Bij schade kan dit ook op de vrijkomende delen, waarmee een schade beter is te beoordelen.

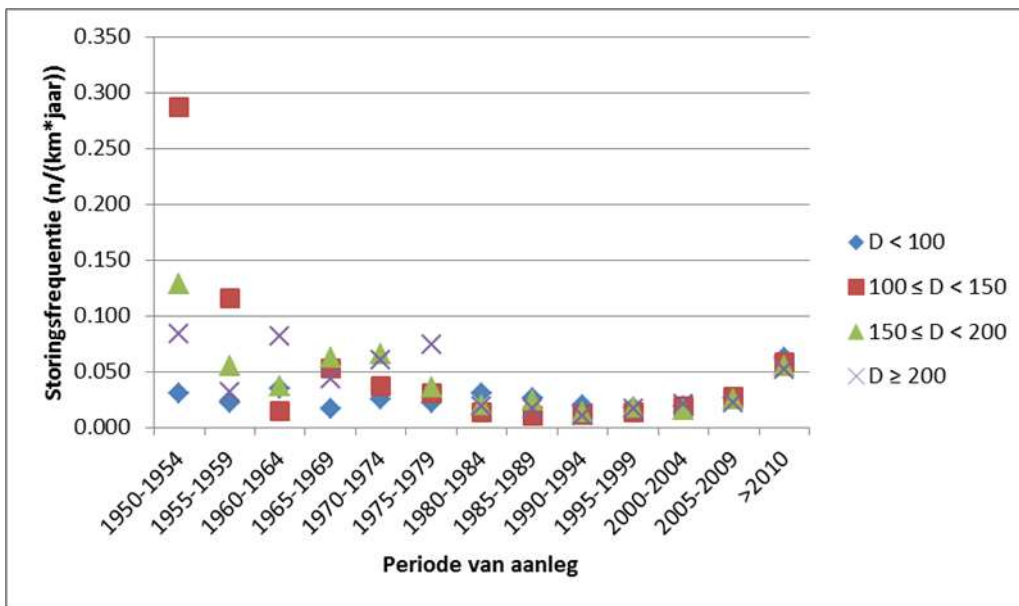
3.4.3 Mogelijkheden voor toestandsbepaling

Voor het bepalen van de toestand van een PVC buis zijn de volgende parameters van belang:

- Aanleg-/productiejaar;
- Diameter en wanddikte;
- Weerstand tegen langzame scheurgroei;
- Materiaalspanning volgend uit de belastingen;
- Aanwezige beschadigingen (diepte van krassen, hoeveelheid krassen);
- Geleergraad van het materiaal;
- Inwendige materiaalspanningen;
- Gevoeligheid voor ‘Rapid Crack Propagation’ (RCP, snelle scheurvoortplanting);
- Fysische veroudering van het materiaal.

Aanlegjaar / productiejaar / diameter

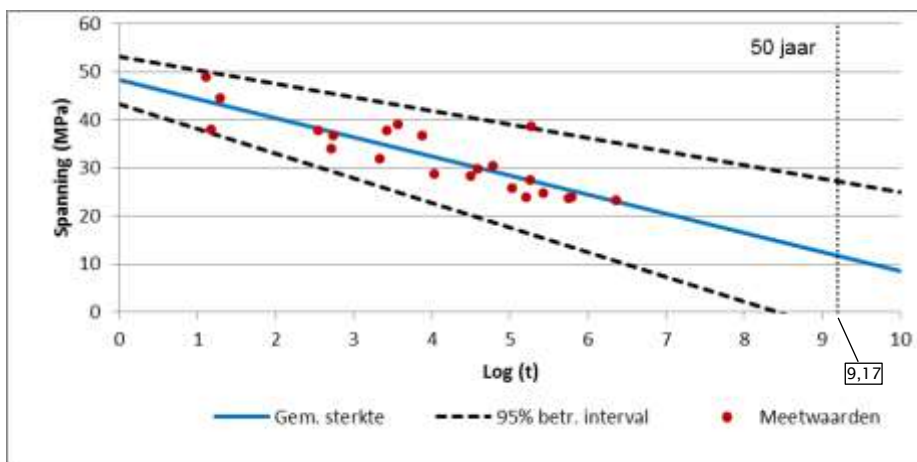
Uit de storingsstatistieken [12] volgt een verhoogde storingsfrequentie binnen het cohort PVC voor de aanlegperiode voor 1980 en een diameter ≥ 200 mm, zie Figuur 4. Een knip op dit jaartal geeft een eerste indicatie voor leidingen met een verhoogde kans op storingen maar het is slechts een eerste indicatie. De cohorten voor 1980 vertonen een grote spreiding in storingsfrequenties tussen de verschillende diameterklassen. Na 1980 wordt de spreiding klein. De cohorten voor 1960 zijn klein en variëren sterk in storingsfrequentie.



Figuur 4 Storingsfrequenties van PVC leidingen per periode van aanleg en diameterrange (Ustore november 2014) [12].

Weerstand tegen langzame scheurgroei

Een uitslag van een onderzoek naar de weerstand tegen langzame scheurgroei is opgenomen in Figuur 5. De opneembare spanning staat op de Y-as en de logaritme van de tijd (seconden) dat deze spanning kan worden opgenomen, staat op de X-as. Uit dit onderzoek blijkt in dit materiaal een geëxtrapoleerde 50 jaar sterkte aanwezig te zijn op het moment van onderzoek van 11,6 MPa, bij aanleg van deze leiding was de eis voor deze waarde 25 MPa. Dit onderzochte buisdeel voldoet niet aan de huidige gestelde eisen. Het hangt van de belastingstoestand en de werkelijk optredende spanningen af in hoeverre de levensduur hierdoor wordt beïnvloed. Voor het onderstaande resultaat van een bepaling van de weerstand tegen langzame scheurgroei geldt dat een materiaalspanning van 10 MPa gedurende $10^{9.5}$ seconden wordt weerstaan, voordat het materiaal bezwijkt. Dit komt overeen met 100 jaar.

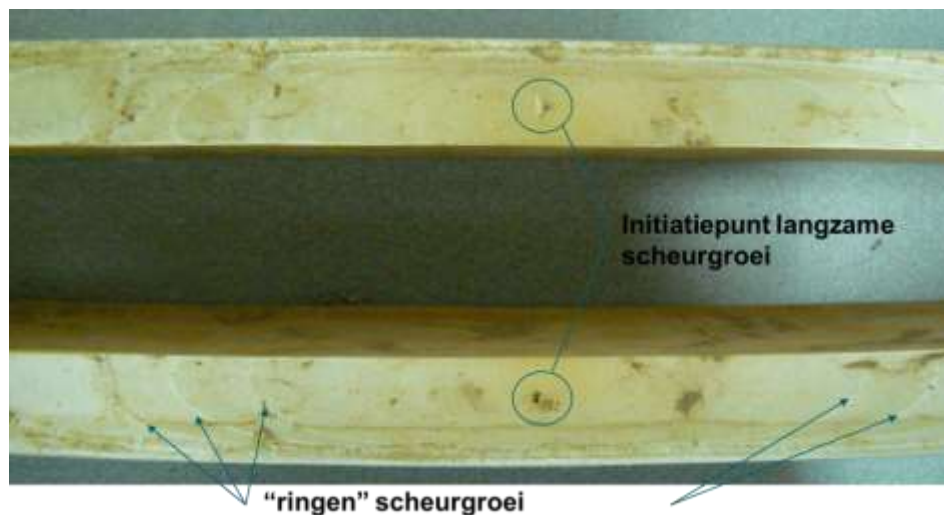


Figuur 5 Uitslag van een meting van de weerstand tegen langzame scheurgroei. Ter oriëntatie t bij $\log(t) = 5$ is 100.000 s. Dit komt overeen met 27,8 h.

Uit de verzameling van 31 onderzochte buisdelen uit de periode 2006 – 2015 blijkt een zeer grote spreiding te bestaan in de 50 jaar sterkten van het onderzochte materiaal [12]. Er is geen relatie gevonden in de sterkten met het aanlegjaar of leeftijd.

Aanwezige beschadigingen

Rondom beschadigingen treedt een spanningsconcentratie op. Hier zal het materiaal eerder bezwijken waarna er een grotere spanningsconcentratie optreedt en het materiaal ter plaatse van de beschadiging verder bezwijkt etc. Dit proces veroorzaakt een karakteristiek patroon van 'ringen' rond het initiatiepunt van de scheur. Naast zichtbare beschadigingen als krassen kunnen ook onzichtbare beschadigingen en verontreinigingen aanwezig zijn als insluitsels die bij het fabricageproces in het materiaal terecht zijn gekomen. Dergelijke insluitsels kunnen zichtbaar zijn op de initiatiepunten van scheuren. Figuur 6 toont een dergelijk punt. Dit soort insluitsels kunnen batchgewijs aanwezig zijn, afhankelijk van de herkomst. De herkomst kan vervuiling van de grondstof zijn (diverse oorzaken), schade aan de extruder (ijzerdeeltjes) of een problematische bedrijfsvoering van de extruder (verglaasd of verbrand PVC). Controle van een scheurtje op het initiatiepunt kan uitsluitel geven.



Figuur 6 Initiatiepunt breuk op een ingesloten deeltje in een PVC leiding met zichtbare ringen van scheurgroei. De buiswand is voor deze foto over de breuk opgevouwen, de buitenkant van de buiswand is dus onder en boven zichtbaar.

Geleergraad

Er is een relatie tussen de materiaaleigenschappen sterkte, brosheid en taaheid, en de geleergraad. Dit is de mate waarin de PVC deeltjes bij extrusie met elkaar versmolten zijn geraakt. De geleergraad kan worden onderzocht met de DCMT test. Deze test geeft uitsluitend de aanwezigheid van ondergelering in het materiaal weer. Bij toename van de geleergraad neemt de dichtheid en de treksterkte toe en wordt het materiaal ook brosser en gevoeliger voor impacts. De DCMT-test maakt in de huidige uitvoering (NEN-EN 580 [5]) uitsluitend onderscheid tussen 'aangetast' en 'niet aangetast'. Om meer inzicht te krijgen in de betekenis van de uitslag van de test kan de test uitgevoerd worden bij twee temperaturen. Eerst bij 15 °C en afhankelijk van dat resultaat een tweede test bij een hogere of lagere temperatuur. Een hogere temperatuur (20 °C) als de eerste uitslag 'niet aangetast' is en een lagere (10 °C) als de uitslag 'aangetast' is. Hiermee wordt inzicht verkregen in de mate van onder- of overgelering. Een lage geleergraad (aantasting bij 10 °C) levert een beperkte sterkte op in het buismateriaal maar een hoge taaheid. De betekenis van een beperkte onder- of overgelering is niet duidelijk [12].

Inwendige materiaalspanning

Een PVC buis wordt bij productie direct na extrusie gekoeld. Omdat het koelen uitsluitend uitwendig gebeurt, ontstaat er bij afkoelen een temperatuurgradiënt over de buiswand waaruit een spanningsgradiënt ontstaat. Het materiaal staat onder een trekspanning in de dwarsdoorsnede. Deze spanning wordt zichtbaar als een ring uit de buis wordt gezaagd en deze op één plaats wordt open gezaagd. De twee einden van de verbroken ring vertonen een overlap. De lengte van de overlap is een maat voor de aanwezige spanning in het materiaal. De grootte van deze spanning varieert van 2 – 5 MPa en vermindert met de leeftijd van de buis.

De vraag is in hoeverre deze spanning een rol speelt in het bezwijken van een leiding. De eisen voor een PVC leiding zijn opgesteld op basis van proeven op buisdelen waar deze spanning in aanwezig is en hiermee heeft deze spanning geen invloed meer als er wordt voldaan aan de eisen. Bij sterk tegenvallende materiaaleigenschappen kan de inwendige spanning een rol gaan spelen.

De inwendige spanningen spelen een rol bij de gevoeligheid voor 'Rapid Crack Propagation' (RCP). Hoe hoger de inwendige spanningen zijn, hoe lager de kritische druk is waarboven RCP kan optreden.

Rapid Crack Propagation (RCP)

Een leiding kan gevoelig zijn voor RCP. Bij het optreden van RCP scheurt het buisdeel over de volledige buisdeellengte (van mof tot mof), nadat het scheurtje is geïnitieerd. Het verschijnsel RCP is onderzocht door Kiwa Technology en uit het onderzoek [61] volgt een afhankelijkheid van de volgende factoren:

- Drukklasse van het buisdeel;
In een hogere drukklasse treedt minder RCP op.
- Diameter van de het buisdeel;
In een grotere diameter treedt meer RCP op.
- Inwendige druk;
Bij een hogere inwendige druk treedt RCP meer op.
- Aanwezige initiatie van scheurgroei;
Zonder initiatie treedt RCP niet op, de weerstand tegen langzame scheurgroei speelt hierin een rol.
- Niveau van inwendige materiaalspanning;
Bij hogere inwendige materiaalspanningen is de kans op RCP groter.
- Geleergraad van het materiaal.
Bij een overgeleerde buis lijkt de kans op RCP groter.

Deze factoren zijn in deze paragraaf allemaal beschreven, meetbaar of te berekenen. Op basis van deze gegevens is het mogelijk om te bepalen onder welke kritische druk het verschijnsel zich niet zal voordoen. Boven deze kritische druk kan RCP zich voordoen maar niet per definitie.

Fysische veroudering van het materiaal

Fysische veroudering treedt op in amorfe polymeren zoals PVC en is het onderwerp van het proefschrift 'Physical aging in amorphous polymers and other materials' [56]. Amorfe polymeren bevinden zich niet in hun thermodynamisch evenwicht, hun specifieke volume is te groot. De moleculaire beweeglijkheid is weliswaar klein, maar niet nul. Het materiaal beweegt zich langzaam naar de evenwichtstoestand, waarbij het materiaal stijver en brosser wordt. Fysische veroudering bij PVC treedt altijd op, maar de snelheid van de veroudering is laag en verschilt tussen batches.

Als er geen veroudering optreedt, behoudt het PVC de sterkte zoals deze bij productie is

vastgelegd. Voor de 50 jaar sterkte betekent dit 25 MPa. Uit de 31 onderzochte buisdelen blijkt voor het merendeel van de onderzochte buisdelen een lagere 50 jaar sterkte te worden gevonden [12].

In-line metingen van de toestand van PVC leidingen

Voorgaande technieken richten zich op destructief onderzoek naar de toestand van PVC op specifieke locaties (puntmetingen). De mogelijkheden voor in-line meting van de toestand van een PVC leiding over langere lengte zijn vooralsnog beperkt tot een visuele meting. Meting van de onrondheid van leidingen is mogelijk als de leiding toegankelijk is voor de benodigde apparatuur. Deze meting is mogelijk met nauwkeurige afstandsmeting. Het is echter nog niet duidelijk wat de fysische relatie is tussen onrondheid en het optreden van hoge (ontoelaatbare) spanningen. In drinkwaterleidingen is de onrondheid beperkt door de 'rerounding' van de buis onder de inwendige druk. Daarnaast blijkt uit observaties [12] dat het grootste aandeel van falen wordt veroorzaakt door lokale spanningen rondom inhomogeniteiten van het leidingmateriaal. Deze zijn in de praktijk moeilijk te meten. Er wordt gewerkt aan de TU Twente aan een meetmethode (non collineair wave mixing technique) waarmee de veroudering van PVC mogelijk non-destructief meetbaar is.

3.5 PE

3.5.1 Materiaalbeschrijving

Het materiaal PE voor drinkwaterleidingen is rond 1950 ontwikkeld en is sinds het eind van de jaren vijftig toegepast als materiaal voor aansluitleidingen en distributieleidingen. In de ontwikkeling van het transport- en distributienet speelt het materiaal een beperkte rol: in 2013 bestond het drinkwaternet voor 7,1% uit PE, overeenkomend met 8.640 km. In de verzameling aansluitleidingen is het aandeel groter. Hiervan zijn minder exacte cijfers bekend, maar op basis van het aantal huishoudelijke aansluitingen ($7,5 \cdot 10^6$) met een lengte van 5 - 10 m en de standaard uitvoering in PE (geschat op 90%) betekent dit dat 35.000 - 65.000 km PE aansluitleidingen aanwezig is. Aansluitleidingen zijn in het algemeen uitgevoerd in kleine diameter (< 50 mm).

PE is in verschillende kwaliteiten op de markt. Het gedrag van het materiaal in de ondergrond en in het drinkwaternet hangen samen met de kwaliteit.

Historie

Sinds het einde van de jaren 50 van de vorige eeuw worden buizen en hulpstukken van PE vervaardigd [40]. Het materiaal is de polymeer van C_2H_4 (etheen, vanuit het verleden wordt ook 'ethyleen' gehanteerd) en heeft de structuurformule $(C_2H_4)_n$. Het materiaal wordt in verschillende dichtheden vervaardigd en ook zo benoemd. De termen LDPE, MDPE en HDPE (low, medium en high density PE) als kwaliteitsaanduiding voor de verschillende typen geven dit aan.

In de loop van de tijd zijn verschillende generaties PE ontwikkeld. Deze worden aangeduid met hun MRS-waarde (Minimum Required Strength) maal 10. In de leidingen die in Nederland zijn gebruikt, komen de volgende typen voor:

1968 – heden	Eerste generatie PE (PE25, PE32 = PE40, PE50 = PE63, ZPE, HPE, LDPE, MDPE, HDPE, Tyleen) ⁷
1975 – heden	Tweede generatie PE (PE80)
1992 – heden	Derde generatie PE (PE100)
2001 – heden	PE100 RC (crack resistant)

⁷ De naamgeving van PE uit deze periode is zeer divers en in sommige gevallen triviaal, zoals 'tyleen'.

De toelaatbare spanningen in het materiaal bedragen 80% van de MRS-waarde. Het materiaal PE80 kan dus op trek worden belast tot 6,4 MPa materiaalspanning, PE100 kan tot 8 MPa worden belast. De drukklasse komt tot stand op basis van de combinatie van de wanddikte en het materiaaltipe. De drukklassen worden aangeduid met het PN getal. Een buisdeel PN 10 is geschikt voor een inwendige druk van 1 MPa. De verhouding tussen de uitwendige diameter en wanddikte wordt aangeduid met het SDR-getal (verhouding tussen wanddikte en diameter). Tabel 2 geeft voor een \varnothing 200 mm leiding de relaties weer tussen de verschillende aanduidingen van een PE buis.

Tabel 2 Voorbeeld voor de relaties tussen de verschillende aanduidingen PE leidingen.

Diameter en PE kwaliteit	MRS (MPa)	Toelaatbare materiaalspanning (MPa)	Wanddikte (mm)	toelaatbare inwendige druk (MPa)
\varnothing 200 mm, PE 80, SDR13,6, PN10,0	8	6,4	14,7	1,0
\varnothing 200 mm, PE 80, SDR11, PN12,5	8	6,4	18,2	1,2
\varnothing 200 mm, PE 100, SDR13,6, PN12,5	10	8,0	14,7	1,2
\varnothing 200 mm, PE 100, SDR11, PN16	10	8,0	18,2	1,6

3.5.2 Degradatiemechanisme

Voor PE is geen degradatiemechanisme aanwezig in de klassieke zin, het materiaal wordt niet aangetast onder normale gebruiksomstandigheden. Het materiaal heeft wel een aantal eigenschappen die het gedrag over de tijd (liggingsduur) beïnvloeden. Dit zijn:

- Chemische veroudering
Dit treedt op bij hoge temperaturen, UV straling en oxidatie. In het materiaal zijn stabilisatoren opgenomen die dit voorkomen.
- Mechanische veroudering
Dit treedt op bij beschadiging van de buiswand door het optreden van crazes (scheurtjes met nog aanwezige dwarsverbindingen), scheurtjes door hoge spanningen, krassen bij verwerking e.d.

Chemische veroudering van PE kan onder bijzondere omstandigheden optreden. Degradatie van het materiaal PE vindt hoofdzakelijk plaats door ketenbreuk op moleculair niveau als gevolg van oxidatie. Onder normale gebruiksomstandigheden komt dit nauwelijks voor, omdat de aanwezige stabilisatoren dit voorkomen. Het kan een probleem vormen bij de aanwezigheid van oxidatoren in het drinkwater (desinfectie) of de omgeving. De toepassing van natriumhypochloriet (chloorbleekloog) in lage concentratie (2,5 ppm) levert geen problemen op. Andere oxidatoren kunnen ketenbreuk veroorzaken en hiermee scheurvorming initiëren. Omdat de piekspanningen rond de scheurtip hoog zijn, kunnen de scheuren doorgroeien bij gelijkblijvende belastingen en de levensduur verkorten [40].

Faaloorzaken

Het materiaal PE heeft eigenschappen die het falen van een leiding kunnen veroorzaken [40]. Dit zijn:

- Materiaalspanning
Het bezwijken van PE wordt veroorzaakt door een combinatie van de grootte van de optredende spanning en de tijd dat deze spanning op het materiaal wordt uitgeoefend. Een hoge spanning leidt tot vervorming van het materiaal (vloeiën) gevolgd door breuk, een lagere spanning leidt zonder vervorming tot breuk (langzame scheurgroei). Omdat

PE een hoge kruip (vervorming bij gelijkblijvende spanning) kent in vergelijking met andere materialen, blijven de materiaalspanningen bij langzame vervorming laag en komt het niet tot breuk.

- **Lengteverandering**
In leidingen met grote lengten uit één stuk (op de rol geleverd, stuiklassen en elektrolasmoffen) kunnen bij niet-trekvast aansluitingen (begin en eind leiding) aanzienlijke lengteveranderingen ontstaan bij het onder druk brengen van de leiding en bij temperatuurveranderingen. De hoge waarde van de constante van Poisson voor PE (0,3) en de grote uitzettingscoëfficiënt van het materiaal (0,2 mm/m °C) ligt hieraan ten grondslag. Om te voorkomen dat een leidingeinde uit de koppeling wordt getrokken, moet hiermee rekening worden gehouden bij de constructie van de koppeling naar andere materialen.
- **Permeatie⁸**
PE is permeabel voor apolaire stoffen. In geval van bodemverontreiniging met deze stoffen moet de leiding worden vervangen door een leiding van niet-permeabel materiaal [40].
- **Biologische stabiliteit⁹**
De biofilmvormingspotentie van PE voor bestaande leidingen neemt in de loop van de jaren niet af. PE vertoont een hogere biofilmvormingspotentie dan andere materialen. Voor nieuwe hierop aangepaste PE's (fabrikantafhankelijk) geldt dat sprake is van een lagere biofilmvormingspotentie.

3.5.3 Mogelijkheden voor toestandsbepaling

Voor de toestandsbepaling van PE zijn de technieken als in Tabel 3 beschikbaar. 'OIT' staat daarin voor 'Oxidation Induction Time'. Dit is een test waarmee de hoeveelheid stabilisator in het PE materiaal wordt vastgesteld. Bij een voldoende hoge waarde van de OIT is de weerstand van het materiaal tegen chemische aantasting (oxidatie) hoog. Onder normale omstandigheden (drinkwateromgeving en temperatuur) vindt nauwelijks vermindering plaats van de aanwezige stabilisatoren.

Tabel 3 Parameter per techniek ten behoeve van toestandsbepaling van PE.

Techniek	Parameter
OIT	Chemische aantasting, aanwezige stabilisatoren
Visueel	Ligging, vervorming Aantasting materiaal aangroei biofilm
Scheurtest	Langzame scheurgroei
Akoestisch (ultrasoon)	Wanddikte vervorming/ovaalheid
PIG	vervorming/ovaalheid

3.6 PE met barrièrelaag

PE is permeabel voor diverse apolaire stoffen waardoor bodemverontreinigingen de kwaliteit van het drinkwater in de leiding negatief kunnen beïnvloeden. De mate van permeatie kan worden gereduceerd door een PE buis te voorzien van een barrière zoals dat wordt toegepast voor SLA buizen middels een aluminium laag. Er zijn geen degradatiemechanismen bekend van de barrièrelaag. Het bezwijkgedrag onder spanning van het PE in dit type leiding is vergelijkbaar met dat in een PE leiding zonder barrièrelaag.

⁸ Valt buiten de reikwijdte van deze praktijkcode, zie de introductie van dit document.

⁹ Idem

3.7 Lamellair gietijzer

3.7.1 Materiaalbeschrijving

Gietijzer is een legering van ijzer, koolstof, silicium met sporen mangaan, zwavel en fosfor. In lamellair gietijzer komt het koolstof in de vorm van lamellen voor en wordt vanwege de kleur van het breukvlak ook wel grijs gietijzer genoemd. Lamellair gietijzeren leidingsystemen zijn toegepast vanaf de start van de drinkwaterbedrijven in de 19e eeuw tot het begin van de jaren 70 in de vorige eeuw. De oudste leidingen zijn 'liggend of staand gegoten', wat er toe kan leiden dat de wanddikte ongelijk verdeeld is. Latere leidingen zijn 'centrifugaal gegoten' wat leidt tot betere materiaaleigenschappen en gelijkmatiger dunnere wanddikten. Voor lamellair gietijzeren leidingen geldt dat er veel variatie is in materiaalkwaliteit, maatvoering, coating en verbindingen. Na 1970 is lamellair gietijzer nog beperkt toegepast en wordt voor gietijzeren leidingen steeds vaker nodulair gietijzer toegepast. Na 1980 is vrijwel geen lamellair gietijzer meer toegepast voor drinkwaterleidingen.

De aanwezigheid en de toestand van een coating hebben een sterke invloed op de uitwendige aantasting van gietijzer. Ter bescherming van gietijzer zijn diverse liners en coatings toegepast. Liners kunnen bestaan uit:

- *Cementmortelbekleding aangebracht in de fabriek*
Deze liner wordt gekenmerkt door een zeer gladde afwerking en een goede hechting tussen het ijzer en de laag cementmortel. De dikte van de liner varieert met de diameter van de buis [33].
- *Cementmortelbekleding aangebracht bij renovatie*
Deze liner wordt gekenmerkt door een minder gladde afwerking (korrelig oppervlak). De hechting tussen het ijzer en de laag cementmortel hangt sterk af van de behandeling van de leiding vóór het cementeren. De dikte van de liner varieert met de diameter van de buis en de wijze van aanbrengen. Vanwege het in situ aanbrengen zal de dikte ook verschillen per plaats [32].
- *Asfaltbitumen*
Deze liner is in de fabriek aangebracht. De dikte van deze liner is een onderdeel van de specificaties waaraan de leiding ten tijde van de aanleg diende te voldoen en kan variëren van 50 µm tot enkele mm.
- *Koolteer*
Deze liner is in de fabriek of ter plaatse aangebracht. Buizen met deze liner zijn voornamelijk toegepast in distributienetten voor stadsgas. Daar waar sprake is geweest van gemengde nutsbedrijven zijn ook buizen met een liner van koolteer in het drinkwaterleidingnet aangetroffen.

Uitwendig kunnen coatings op lamellaire gietijzeren buizen bestaan uit:

- *Asfaltbitumen*
Deze coating is in de fabriek of ter plaatse aangebracht. Reparaties van een coating kunnen ook met dit materiaal worden uitgevoerd.
- *Koolteer*
Deze coating is in de fabriek of ter plaatse aangebracht.

3.7.2 Degradatiemechanisme

De conditie van lamellair gietijzeren leidingen kan afnemen door corrosie. Het voornaamste mechanisme is het oplossen van ijzerionen uit de gietijzerwand bij de aanwezigheid van zuurstof. Lamellair gietijzer is gevoelig voor graffiteren, waarbij ijzer (Fe) aan de ijzerkoolstof matrix wordt onttrokken en uitsluitend koolstof achterblijft. Door graffiteren

neemt de sterkte van lamellair gietijzer af. De corrosieproducten kunnen neerslaan op de wand van de leiding, waardoor in de loop van de tijd volumineuze deklagen op de leidingwand kunnen ontstaan. De gevormde deklaag vertraagt het corrosieproces. De processen die in deze deklaag optreden, kunnen resulteren in minder stabiele ijzerverbindingen. Daarnaast spelen microbiologische processen een rol bij het corrosieproces zoals sulfaatreducerende bacteriën die leven in een zuurstofloze omgeving bij een neutrale pH, waarvan bekend is dat die het corrosieproces bevorderen [44].

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 objecten (zoals tramrails of elektrische kabels) kunnen het corrosieproces versnellen door het ontstaan van potentiaalverschillen in de bodem [44].

Het oplossen van ijzer uit de buiswand beïnvloedt niet alleen de sterkte van een leiding, maar heeft ook invloed op de hydraulische weerstand, de capaciteit en de waterkwaliteit als gevolg van interactie van het gietijzer met het drinkwater. Naast de liner is de samenstelling van het getransporteerde water bepalend voor de mate waarin inwendige corrosie optreedt. Bij de aantasting van gietijzer spelen vooral waterstofcarbonaat, chloride en sulfaat in drinkwater een rol [47].

3.7.3 Mogelijkheden voor toestandsbepaling

Bij uitgenomen leidingen blijkt dat de mate van corrosie een zeer grote variatie vertoont, zowel tussen verschillende leidingdelen als binnen een leidingdeel [44]. Dit betekent dat voor het bepalen van de toestand van lamellair gietijzeren leidingen alleen een representatieve uitspraak kan worden gedaan als de steekproef groot genoeg is in relatie tot de variatie.

Voor het schatten van de toestand van een gietijzeren buis zijn de volgende parameters van belang:

- Aanlegjaar / productiejaar;
- Diameter en wanddikte;
- In- en uitwendige belastingen;
- Aanwezige in- en uitwendige aantasting;
- in- en uitwendige bescherming;
- jaar van aanbrengen van de inwendige bescherming.

Aanlegjaar / productiejaar

Uit storingsstatistiek volgt een verhoogde storingsfrequentie voor de aanlegperiode van 1970 tot en met 1989, zie Bijlage II. Deze verhoging is niet duidelijk verklaard.

Diameter en wanddikte

Deze volgen uit het LIS en de materiaalcatalogus (buisklasse LA, A of B) of door een wanddiktemeting uit te voeren bij een leidingbreuk of werkzaamheden. De originele inwendige diameter van een gietijzeren buis is exact bekend en komt nagenoeg overeen met de nominale diameter waarbij de metrische maten (nominaal) en de oude maten (in inches of duimen) iets van elkaar verschillen (1 inch = 25,6 mm, gerekend wordt met 25 mm) . De wanddikte is vanwege de grote variatie aan toegepaste leidingen, wisselende productiekwaliteiten en niet met zekerheid te benoemen. De originele wanddikte kan daarom het beste in het veld worden vastgesteld. Dit kan met een omtrekmeting, waarbij

men rekening dient te houden met de aanwezigheid van een coating of corrosielagen. Hierbij wordt informatie verkregen over de klasse (LA, A of B) van het betreffende buisdeel. Vanwege verschillen in wanddikte door productiever verschillen en aantasting geeft het uitnemen van een deel van de wand (schulponderzoek) of een buisdeel het meest nauwkeurige resultaat waarbij ook een indruk van de spreiding van de wanddikte kan worden verkregen.

De storingsfrequentie van lamellair gietijzeren buizen is aanzienlijk hoger bij diameters kleiner dan 100 mm, zie Bijlage II. Bij toenemende diameter neemt de storingsfrequentie af.

In- en uitwendige belastingen

De inwendige belasting wordt gevormd door de ter plaatse heersende waterdruk in de betreffende leiding. Uitwendige belastingen worden gevormd door de grondbelasting (diepteligging en grondsoort), eventuele verkeersbelasting en belastingen voortkomend uit zettingsverschillen.

Aanwezige in- en uitwendige aantasting

Omdat de optredende spanningen in het materiaal als gevolg van de aanwezige belasting uitsluitend worden opgenomen door het niet aangetaste materiaal (effectieve wanddikte), moet aanwezige aantasting (inwendig en uitwendig) en de totale wanddikte bekend zijn om een uitspraak te kunnen doen over de optredende spanningen.

Voor de bepaling van de toestand van een lamellair gietijzeren leiding zijn de volgende mogelijkheden beschikbaar:

- **Corrosiediepte**
De toestand van gietijzeren leidingen kan worden gemeten door een buisdeel of uitgenomen schulp te stralen om daarmee de corrosielagen te verwijderen. Hierna kan de corrosiediepte nauwkeurig worden gemeten.
- **Treksterkte**
Uit het buisdeel of de schulp kan een proefstaafje worden gemaakt waarvan de treksterkte wordt bepaald. Door de geconstateerde grote spreiding in materiaalkwaliteit zijn de resultaten van de bepalingen beperkt vertaalbaar naar een groter leidingdeel.
- **Restwanddikte**
Inspectietechnieken op basis van ultrasoon geluid
Bij deze techniek wordt ultrasoon geluid (frequentie tussen 10.000 Hz en 800 MHz) door het leidingmateriaal gezonden en de echo opgevangen. Op overgangen van materiaaleigenschappen wordt het geluid weerkaatst. Deze techniek is daarmee geschikt voor het bepalen van de (rest)wanddikte en het registreren van inwendige onregelmatigheden. De techniek is toepasbaar voor metalen leidingmaterialen. Het betreft een in-line meting die kan worden uitgevoerd in een met water gevulde leiding met een diameter groter dan 50 mm. De te inspecteren lengte is afhankelijk van de aanwezigheid van aangroei en de aanwezigheid van een liner, in de praktijk soms niet meer dan 30 m [28]. Voor meer informatie wordt verwezen naar [48] [49] en [26]. De stijfheid van een leiding is afhankelijk van de wanddikte en de elasticiteitsmodulus (E) van het materiaal. Als E bekend is, kan een gemiddelde wanddikte over het gemeten traject worden bepaald uit het gedrag van een aangebracht akoestisch signaal op de leiding. De techniek (ePulse) wordt in Nederland geëxploiteerd door de firma Echologics [39].
- **Elektromagnetische breedbandmeting**
De elektromagnetische breedbandmeting maakt gebruik van signalen bij verschillende frequenties van 50 Hz tot 50 kHz. De metingen vinden plaats met een meetsonde die

bestaat uit een zend- en ontvangspoel. Door de zendspoel wordt een wisselend magnetisch veld uitgezonden, dat via de leidingwand wordt opgevangen door een ontvangspoel. Het opgevangen signaal wordt beïnvloed door de aard van het leidingmateriaal. Met behulp van een goede signaalanalyse kan de meting worden vertaald naar een toestand van de leidingsectie. Voor het vertalen van het meetsignaal naar een meetwaarde is bewerking noodzakelijk met behulp van een database met gevalideerde meetgegevens. Met deze techniek kan de dikte van corrosielagen worden bepaald en kunnen scheuren worden gedetecteerd. Deze inspectietechniek is toepasbaar voor metalen leidingen. De aanwezigheid van bescherming is geen bezwaar. Voor inspectie dient de leiding te worden geïsoleerd en ontwaterd. De techniek is toepasbaar voor alle diameters. Voor meer informatie wordt verwezen naar [50], [27] en [26].

- Remote Field Eddy Current
De Remote Field Eddy Current (RFEC) methode maakt gebruik van een zendspoel en een of meer detectoren die wervelstromen kunnen opvangen. De zendspoel produceert een laagfrequent wisselspanning signaal. Het signaal wordt beïnvloed door discontinuïteiten in de leiding. Hiermee kunnen scheuren, putten en corrosielagen worden gedetecteerd. Deze meting betreft een in-line meting, die moet worden uitgevoerd in een met water gevulde leiding. De meetinstrumenten zijn gemonteerd op een wagen, waardoor de techniek alleen geschikt is voor leidingen met een diameter groter dan 150 mm en beperkingen heeft met betrekking tot bochten. De te inspecteren lengte is afhankelijk van de lengte van de kabel. Typische afstanden zijn 100 tot 500 m. Voor uitvoering van de meting wordt aanbevolen de leidingen schoon te maken. Voor meer informatie wordt verwezen naar [50], [51], [49] en [27].
- Meting van het weerstandsvermogen van de bodem
Leidingen in bodems met een laag weerstandsvermogen (hoge geleidbaarheid) hebben een hogere kans op externe corrosie. Door het meten van het weerstandsvermogen van de bodem kan een voorspelling worden gemaakt van de externe corrosie. De resultaten dienen als indicatie voor de mate van externe corrosie. Aandacht dient te worden gegeven aan variatie in de bodemsamenstelling en de aangebrachte verdichting en grondverbetering rond de leiding. Voor meer informatie wordt verwezen naar [27], [26] en [29].

Voor inspectie van gietijzer zijn verschillende aanbieders (Echologics, Pure, Breivoll, et cetera) met ieder hun eigen specialismen en technieken beschikbaar. Deze markt is aan ontwikkeling onderhevig, omdat technieken verder worden ontwikkeld en verbeterd. Een actueel overzicht hiervan is niet mogelijk.

3.8 Nodulair gietijzer

In nodulair gietijzer komt het koolstof voor als nodulen wat resulteert in hogere sterktes en grotere taatheid dan lamellair (grijs) gietijzer en daarmee in dunwandige leidingen. De buisdelen zijn uitwendig voorzien van een coating die wordt gekozen op basis van de elektrochemische eigenschappen van de grond. Een hoge geleidbaarheid vraagt een hoge graad van bescherming (bijvoorbeeld een PE bekleding) en bij lage geleidbaarheid kan worden gekozen voor een metallische bescherming (bijvoorbeeld een zinklaag). Inwendig wordt de buis beschermd door een cementmortelbekleding. Vanwege de beperkte wanddikte is de bescherming cruciaal en zal een beschadigde coating snel tot perforatie van de buis kunnen leiden. Voor de toestandsbepaling kunnen grotendeels dezelfde methoden en technieken worden toegepast als bij lamellair gietijzer. Voor gietijzer waarbij de toestand onder de coating moet worden gemeten, is een elektromagnetische methode noodzakelijk.

3.9 Staal

Staal is een legering van ijzer en koolstof met een lager koolstofgehalte dan aanwezig is in gietijzer. Het voordeel van het lagere koolstofgehalte is de vervormbaarheid als het materiaal wordt verwarmd, waardoor flexibelere buizen met kleinere wanddiktes kunnen worden geproduceerd. Sinds 1912 worden stalen leidingen toegepast voor de Nederlandse drinkwatervoorziening. Stalen distributieleidingen (< 200 mm) zijn vooral toegepast tot 1970, voornamelijk door WML in gebieden met veel zettingen (mijnstreek). Deze leidingen hebben hoge storingsfrequenties (afhankelijk van de aanlegperiode variërend van 0,15 tot 0,25 storings per km per jaar). Hiernaast zijn stalen leidingen vanwege de grote mechanische sterkte vaak toegepast voor transportleidingen. Deze recent aangelegde stalen leidingen zijn over het algemeen inwendig gecementeerd en uitwendig voorzien van een PE coating.

Het corrosieproces van staal is vergelijkbaar met dat van gietijzer, zoals is beschreven in § 3.7. Dunnere wanddiktes kunnen bij aantasting resulteren in een snelle perforatie. Verder kunnen stalen leidingen worden beschermd middels een kathodisch beschermingssysteem [52]. Een dergelijk systeem geeft ook de toestand van de aanwezige coating weer. De monitoring van de benodigde beschermingsstroom geeft het verloop van de toestand en mogelijke beschadigingen van de coating weer.

De methoden van toestandsbepaling voor stalen leidingen zijn dezelfde als die voor lamellair gietijzeren leidingen. Voor staal waarbij de toestand onder de coating moet worden gemeten, is een elektromagnetische methode noodzakelijk.

3.9.1 Inwendige bescherming met cementmortel

Cementmortel wordt als liner gebruikt in lamellair gietijzeren, nodulair gietijzeren en stalen leidingen. De bekleding kan fabrieksmatig zijn aangebracht in nodulair gietijzeren en stalen buizen of in situ worden aangebracht in gietijzeren of stalen leidingen. Voor de cementmortelbekledingen bestaan de beoordelingsrichtlijnen BRL-K770 [32]¹⁰ (in situ) en K778 [33]¹¹ (fabrieksmatig). De beschermende werking van deze bekleding is tweeledig: afscherming van het ijzer of staal van het drinkwater en het creëert een hogere pH op het scheidingsvlak cementmortel-metaal. De relevante parameters voor een dergelijke liner in het bestaande leidingnet zijn:

- Dikte van de bekleding
De dikte is noodzakelijk vanwege de minimale sterkte van de laag en vanwege een langdurige bescherming van het onderliggende materiaal NEN 10298 [34]. Een cementmortel kan afhankelijk van de aanwezige waterkwaliteit uitloggen.
- Hechting van de liner op de buiswand
Een cementmortelbekleding moet een geheel vormen met de stalen of gietijzeren buis. Omdat de elasticiteit en de stijfheid van de bekleding afwijkt van het buismateriaal treden bij vervorming van de buis in het productieproces tot in bedrijf zijn spanningen op tussen de bekleding en de stalen buis. Als de hechting tussen buis en bekleding onvoldoende is, komt de bekleding los van de buis.
- Dichtheid van de bekleding
De dichtheid van de aangebrachte cementmortel bepaalt voor een belangrijk deel de beschermende werking van de bekleding. Om een goede dichtheid van de bekleding te krijgen, wordt deze machinaal met hoge snelheid centrifugaal aangebracht.

¹⁰ De vigerende derde versie van deze beoordelingsrichtlijn dateert van 2012. De vorige versie was van 1992. Als eerste versie waren er de KIWA-Criteria nummer 49, die waarschijnlijk (?) van eind jaren tachtig van de vorige eeuw dateren.

¹¹ Ook voor deze beoordelingsrichtlijn is de derde versie van 2012 vigerend. De tweede versie was van 1994. Het is niet bekend van welk jaar de eerste versie dateert.

- **Aanwezigheid van scheuren in de bekleding**
Vanwege de verschillende eigenschappen tussen de stalen leiding en de cementmortelbekleding ontstaan er snel scheuren in de cementmortelbekleding. Er ontstaan lengtescheuren als gevolg van vormverandering in dwarsdoorsnede en dwarscheuren als gevolg van vormveranderingen in de lengterichting. Afhankelijk van de diameter en de aanlegmethode treden deze scheuren in meer of mindere mate op. In NEN-EN 10298 [34] zijn de eisen opgenomen die worden gesteld aan de bekleding. De maximum scheurbreedte is gesteld op 1,5 mm onder drinkwateromstandigheden, mits de stabiliteit van de laag cementmortel niet wordt bedreigd. Deze breedte van scheuren wordt uitsluitend bij uitzonderlijk grote vervorming in een leiding gevonden. Voor een voorbeeld van mogelijk optredende scheuren, zie Figuur 7.



Figuur 7 Scheuren in de fabrieksmatig aangebrachte inwendige cementmortelbekleding van een \varnothing 900 mm stalen zinker. Onder deze scheuren was geen aantasting zichtbaar.

Naast scheuren als gevolg van vervorming kunnen ook scheuren ontstaan in de aangesmeerde delen op verbindingen. De omstandigheden waaronder dit aansmeren gebeurt, zijn moeilijk omdat het de binnenwand van de leiding betreft. Daardoor is de kwaliteitscontrole niet eenvoudig uit te voeren en valt het resultaat soms tegen. De cementmortel krimpt meer dan verwacht en er kunnen krimpscheuren ontstaan. In figuur 8 is een dergelijke aangesmeerde plaats weergegeven. De scheuren zijn breder dan de scheuren die zijn ontstaan uit vervorming. De aangetroffen aantasting onder scheuren was beperkt van aard, zie figuur 9. De toestand van de cementmortelbekleding is visueel vast te stellen als het om scheuren gaat.



Figuur 8 Krimpscheuren in een in situ aangesmeerde cementmortelbekleding ter plaatse van een las. De aanwezige aantasting is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9 Staaloppervlak onder de verwijderde aangesmeerde bekleding die is weergegeven in Figuur 8.

- Lokaal ontbreken van de bekleding
Bij het samenstellen van de buisdelen tot een volledige leiding ontstaan ter plaatse van niet-standaard lasverbindingen vaak locaties zonder bekleding. Uit de praktijk blijkt dat deze niet altijd worden aangesmeerd. Kwaliteitscontrole is essentieel. De ernst van een dergelijk situatie wordt vooral bepaald door de waterkwaliteit waaraan de leiding is blootgesteld (agressief water). Bij een lage corrosiviteit ten opzichte van staal is de aantasting beperkt. In figuur 10 is een niet aangesmeerde las weergegeven na 17 jaar in bedrijf.



Figuur 10 Niet-aangesmeerde las in een stalen leiding na 17 jaar in bedrijf.

- Lokaal loskomen van de bekleding
Als de cementmortel slecht hecht op het staaloppervlak bestaat de kans dat delen van de bekleding in de loop van de tijd loskomen als gevolg van beweging van de leiding. Als dit op grote schaal voorkomt, neemt de leidingweerstand toe.

3.9.2 Inwendige bescherming met epoxy

Er bestaat ook staal met epoxy liner. Binnen de scope van deze PCD is dit niet nader uitgewerkt.

3.9.3 Uitwendige bescherming met PE

Als coating voor nodulair gietijzer en staal kunnen PE en epoxy coatings worden toegepast. De eisen voor deze coatings zijn vastgelegd in NEN-EN 14628:2005 [36] en NEN-EN 6902:1986 [35] voor PE en NEN-EN 14901:2104 en NEN 6905:1983 voor epoxy. Coatings kunnen beschadigen bij de aanleg van de leiding door krassen en gaatjes. Vóór aanleg kan de coating worden gecontroleerd door de coating 'af te vonken'. Hierbij wordt een spanningsverschil over de coating aangebracht waarbij de stroom op plaatsen met een lage isolatiewaarde doorslaat. Voor een kathodisch beschermde leiding uit een lage isolatiewaarde zich in een hogere benodigde beschermingsstroom.

3.10 Generieke toestandsbepalingsmethoden

Er bestaan methoden die op een meer globaal niveau informatie verschaffen over de toestand van een leiding. Hierbij kan worden gedacht aan:

1. Storingsonderzoek
Analyse van storingen zoals geregistreerd en verzameld volgens de afspraken in USTORE geeft inzichten in de toestand van leidingen. Uit de storingshistorie van soortgelijke leidingen die onder gelijke omstandigheden liggen, is een voorspelling te doen over het te verwachten storingsgedrag en de mogelijke conditie. Door analyses kunnen cohorten worden geïdentificeerd met een hogere kans op falen (zie ook Bijlage II) op basis van:
 - Materiaal;
 - Productiemethode
 - Aanlegperiode;
 - Omgevingsfactoren;
2. Afpersen
Bij het afpersen wordt een geïsoleerde leiding onder een verhoogde druk aangebracht. Hiermee komen aanwezige lekkages aan het licht. De resultaten van het geïsoleerd afpersen moeten vervolgens nader worden geanalyseerd voor de elasticiteit van het

leidingdeel, mogelijke lekkages over afsluiters en dergelijke. Voor nadere informatie over afpersen, wordt verwezen naar [37].

Het is ook mogelijk om een deelgebied onder een verhoogde druk te brengen, de volumestromen te monitoren en na te gaan of het leidingnet de verhoogde druk aan kan. Hieruit zijn kentallen voor de dichtheid van het net te genereren.

3. Lekbewaking

Nederlandse drinkwaterbedrijven kunnen lekbewaking uitvoeren met als doel om het 'Niet In Rekening Gebrachte' (NIRG) verbruik te beperken of om relatief kleine lekken te detecteren die zich op termijn kunnen ontwikkelen tot grote lekken. Ook kunnen vergunningsverleners eisen stellen aan beheer. Het monitoren van lekken kan op verschillende wijzen plaatsvinden:

- Lekopsporing
In specifieke leidingen op zoek gaan naar lekkages. Dit kan plaatsvinden door externe metingen bijvoorbeeld met 'leak noise correlators' of door de inzet van interne metingen met bijvoorbeeld 'Smartballs' [38].
- Lekmonitoring
Het plaatsen van 'noise loggers' of het registreren van volumestromen met behulp van de VLPV-methode [8, 57].

4. Visuele waarneming bij ontgraving

Door op gestructureerde wijze observaties uit te voeren op het moment dat een leiding wordt ontgraven, kan informatie worden verkregen over de toestand van die leiding. Mogelijk wordt ook informatie verkregen over de toestand van vergelijkbare leidingen. Deze observaties kunnen worden gecombineerd met overige beheersactiviteiten, zoals afsluiter inspectie of schoonmaken, of met werkzaamheden, zoals het uitvoeren van reparaties of inbouwingen. Observaties kunnen betrekking hebben op:

- Controle van gegevens uit het LIS: diameter, materiaal, aanwezigheid van reparatiestukken;
- Aanwezigheid en aard van de coating en liner;
- Diepteligging;
- Aard van de bodem (grondsoort, aanwezigheid van zettingen, stenen);
- Wanddikte van de leiding door omtrekmetering van de leiding (bij AC en grijs gietijzeren leidingen);
- Uitlezen van de aangebrachte 'merken' (bij PVC en PE leidingen);
- Aanwezige hoekverdraaiing bij verbindingen;
- Anomalieën.

4 Verbindingen

4.1 Inleiding

Een verbinding is gedefinieerd als een koppeling tussen leidingelementen [5]. Er bestaat een groot aantal verschillende verbindingstypen, die verschillen afhankelijk van het betreffende leidingmateriaal. Een globale indeling kan worden gemaakt naar:

1. Aard van de verbinding
Daarbij zijn vier hoofdgroepen te onderscheiden:
 - a. Steekverbindingen op basis van het principe van mof en spie;
 - b. Flensverbindingen op basis van door bouten verbonden flenzen;
 - c. Lasverbindingen waarbij buizen door lassen met elkaar verbonden zijn en er sprake is van een homogeen leidingmateriaal, ook wel ongelede leidingen genoemd;
 - d. Klemverbindingen waarbij door het aandraaien van een klemkoppeling een afdichting ontstaat.
2. Flexibele versus niet-flexibele verbindingen
Flexibele verbindingen zijn in staat om een beperkte hoekverdraaiing en in- en uitschuiving op te nemen. Niet-flexibele of starre verbindingen kunnen dat niet.
3. Trekvastе versus niet-trekvaste verbindingen
Trekvastе verbindingen zijn in staat om trekspanningen in de langrichting op te nemen. Niet-trekvaste verbindingen zijn dit niet of slechts in beperkte mate.
4. Demontabele versus niet-demontabele verbindingen
Voor demontabele verbindingen geldt dat zij na aanleg weer zijn uit te nemen. In bepaalde gevallen kan dit wel betekenen dat belendend buisdeel moet worden gebroken.

In [14] zijn de resultaten weergegeven van de in 2001 gehouden workshop 'Conditiebepaling Verbindingen'. In dit rapport wordt een indeling gegeven van verbindingstechnieken. In Tabel 4 is hiervan een weergave gegeven voor wat betreft de primaire, secundaire en tertiaire leidingen van de in deze praktijkcode gebruikte leidingmaterialen. In deze tabel is tevens de hierboven genoemde indeling gehanteerd.

Tabel 4 Overzicht van verbindingstypen en toepassing bij verschillende leidingmaterialen. Afkortingen aard verbinding: St: Steekverbindingen, Fl: Flensverbindingen, Las: Lasverbindingen, Kl: Klemverbindingen; toepassing: ***: veelvuldig, **: middelmatig *: incidenteel.

	Aard verbinding	Flexibel/ niet-flexibel	Trekvast/ niet-trekvast	Demontabel/ niet--demontabel	Asbest cement	Beton	Lamell. gietijzer	Nod. gietijzer	Staal	PVC	PE
Steekverbinding met lood-striktouw afdichting	St	NF	NT	ND		*	***		*		
Steekverbinding met rubberglij afdichting	St	F	NT	D	***	*	**	***	*	***	*
Steekverbinding met rubberrol afdichting	St	F	NT	D	***	*				*	
Trekvast steekverbinding met rubberglij afdichting	St	F	T	D				***		***	
Bijzondere steekverbindingen (bajonet, schroefmoffen)	St	NF	T	ND			*			*	
In situ gemaakte spie-mof met lijmverbinding	St	NF	T	ND						*	
Prefab spie-mof met lijmverbinding	St	NF	T	ND						*	
Flensverbindingen	Fl	NF	T	D			*	*	*		*
Klemverbinding	Kv	NF	NT	D							***
Spiegellasverbinding	Las	NF	T	ND							***
Electrolasverbinding	Las	NF	T	ND							***
Lasverbinding	Las	NF	T	ND		**			***		

De meest voorkomende faalwijzen van verbindingen zijn:

1. lekkage door degradatie van de afdichting;
2. lekkage door mechanisch bezwijken;
3. lekkage door horizontale verplaatsing (uittrekking);
4. ongewenste geleiding of isolatie van elektriciteit;
5. permeatie van verontreinigingen uit de bodem naar het drinkwater.

Faalwijze 4 heeft uitsluitend betrekking op verbindingen van metalen leidingen. Dit valt buiten de scope van deze praktijkcode. Faalwijze 5 is behandeld in hoofdstuk 3.

Voor de meeste voorkomende verbindingen (in Tabel 4 aangeduid met '****') is in dit hoofdstuk een overzicht gegeven bestaande uit een beknopte beschrijving van het verbindingstype en de voornaamste oorzaken van falen. Vervolgens zijn methoden voor detectie gegeven die zich specifiek richten op verbindingen. Afsluitend is een overzicht van bestaande normwaarden gegeven.

4.2 Verbindingstypen en specifieke faalwijzen

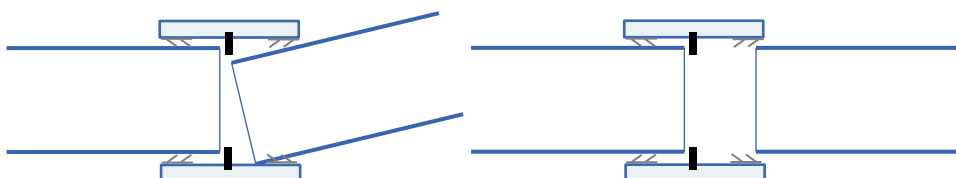
De beschrijving van de meest voorkomende verbindingstypen (zie ook Tabel 4) zijn voor een deel ontleend aan Vewin [15]. In onderstaande subparagrafen worden elf verbindingstypen beschreven. Hierbij worden tevens de voor het verbindingstype specifieke faaloorzaken beschreven. Generieke faaloorzaken die op alle of meerdere verbindingstypen betrekking hebben, zijn weergegeven in Tabel 5. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen de faalwijzen en de faaloorzaak. Daarbij is aangegeven voor welk verbindingstype de betreffende oorzaak

geldt en welke detectiewijzen in de praktijk toepasbaar zijn voor het vooraf herkennen van de faaloorzaak (proactief detecteren). Het herkennen van falen nadat dit is opgetreden (reactief detecteren), is bijvoorbeeld mogelijk met de USTORE-database of lekzoeken.. Detectiewijzen worden nader toegelicht in § 4.3. Voor faaloorzaken die betrekking hebben op een specifieke verbinding wordt verwezen naar de onderstaande tabellen in de subparagrafen 4.2.1 tot en met 4.2.11.

Tabel 5 Generieke faalwijzen en faaloorzaken die betrekking hebben op alle of meerdere verbindingstypen.

Faalwijze	Generieke faaloorzaak	Verbindingstype	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	a. Verkeerde aanleg	Alle	Visueel extern als verbinding zichtbaar is, visueel in-line meten van hoekverdraaiing
	b. Corrosie/uitloging van mof of spie-eind	Metaal/AC	Visueel extern, visueel in-line
2. Lekkage door mechanisch bezwijken	c. Te hoge wandspanningen als gevolg van ongelijkmatige zettingen (hoekverdraaiing), figuur 11 - links	Niet-trekvast en trekvast	Visueel in-line meten van hoekverdraaiing
	d. Te hoge wandspanningen als gevolg van werkzaamheden derden of trillingen van verkeer	Alle	Visueel in-line meten van hoekverdraaiing, monitoren bij werkzaamheden
3. Lekkage door horizontale verplaatsing (uitschuiving), figuur 11 - rechts	e. Verplaatsing als gevolg van ongelijkmatige zettingen	Steekverbinding, niet-trekvast	Visueel in-line meten van uitschuiving
	f. Verplaatsing als gevolg van werkzaamheden derden	Idem	Monitoren bij werkzaamheden
	g. Verplaatsing als gevolg van inwendige waterdruk in bochten, T-stukken en verloopstukken	Idem	Visueel in-line meten van uitschuiving, monitoring van druk en waterslag

De faalwijze voor niet-trekvast steekverbindingen is weergegeven in Figuur 11. Dit voorbeeld heeft betrekking op een PVC steekverbinding met rubberglij afdichting.



Figuur 11 Faalwijzen voor niet-trekvast steekverbindingen: links: hoekverdraaiing en inschuiving resulterend in hoge lokale spanningen; rechts: uitschuiving resulterend in lekkage.

4.2.1 Steekverbinding met lood-striktouw afdichting in GGJ leidingen

Een verbinding van lood-striktouw wordt toegepast op GGJ leidingen, waarbij de ruimte tussen de mof en spie wordt opgevuld met striktouw en afdicht met lood, zie ook Figuur 12. Striktouw is in teer gedrenkte hennep. Het striktouw is laagsgewijs met zogenaamde strikijzers in de mofruimte geslagen. Om te voorkomen dat striktouw met water in aanraking komt, moet het spie-einde tot tegen de bodem van de mof worden geschoven. De verbinding wordt afdicht door het vol te gieten met vloeibaar lood. In plaats van afdichting met vloeibaar lood worden ook strengen loodwol toegepast die met strikijzers in de mofruimte worden geslagen. Na het aanbrengen van de verbinding wordt de mof en het zichtbare deel van het spie-eind ingesmeerd met bitumenverf. Specifieke faaloorzaken voor lood-striktouw verbindingen zijn opgenomen in Tabel 6.



Figuur 12 Aanbrengen van een lood-striktouw verbinding [53].

Tabel 6 Specifieke faaloorzaken voor lood-striktouw verbindingen.

Faalwijze	Specifieke faaloorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	h. Onvolledige afdichting van het lood door beweging in de verbinding	Visueel in-line meten van hoekverdraaiing
	i. Onvolledige afdichting met lood bij aanleg	Visueel extern als verbinding zichtbaar is

4.2.2 Steekverbindingen met rubberglij afdichting in GGJ leidingen

Deze verbinding bestaat uit een losse mof van gietijzer, waarbij aan beide zijden een spie-eind wordt ingestoken. Per spie-eind is in de mof een groef aangebracht, waarin bij montage een rubberglij wordt aangebracht. In verhouding tot lood-striktouw verbindingen kan de steekverbinding een hogere hoekverdraaiing opnemen. Specifieke faaloorzaak voor rubberglij afdichting in GGJ leidingen is opgenomen in Tabel 7.

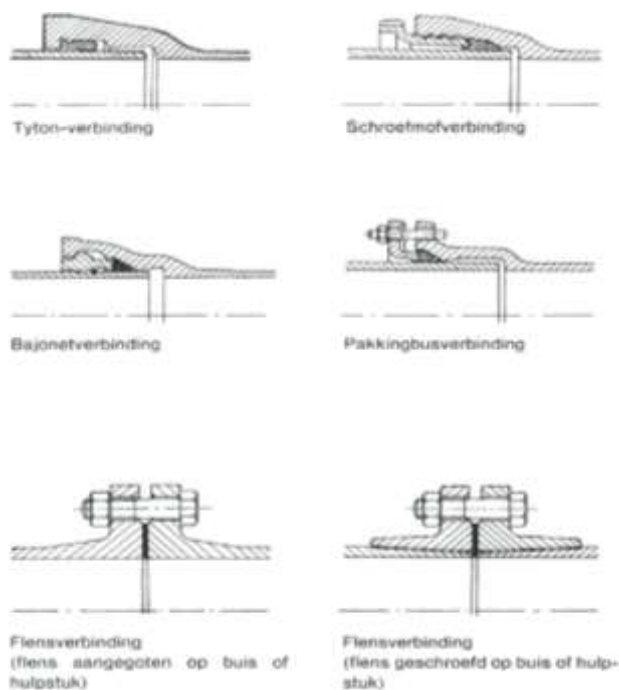
Tabel 7 Specifieke faaloorzaken voor rubberglij afdichting in GGJ leidingen.

Faalwijze	Specifieke faaloorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	j. Corrosie van mof of spie-eind	In-line toestandsbepaling Externe toestandsbepaling

Ad j. Detectie van corrosie van de mof is mogelijk met een in-line toestandsbepaling met hoge resolutie, bijvoorbeeld met ultrasoon geluid. Voor uitloging van het spie-eind wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

4.2.3 Trekvaste steekverbindingen GIJ leidingen

In Waterwerkblad 2.2.F [16] worden de zes typen verbindingen beschreven voor gietijzeren buizen, zie ook Figuur 13. Van deze verbindingstypen is de Tyton-verbinding niet trekvast. De hiergenoemde verbindingstypen zijn van algemene aard. Door fabrikanten zijn op basis van deze typen bedrijfsspecifieke verbindingen op de markt gebracht.



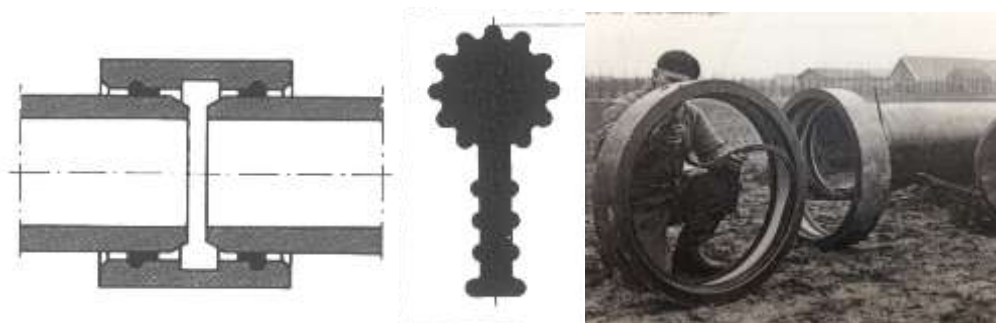
Figuur 13 Verbindingstypen voor gietijzeren buizen [16].

Tabel 8 Specifieke faalorzaken voor trekvaste steekverbindingen met rubberglij afdichting in NGIJ.

Faalwijze	Specifieke faalorzaak	Proactieve detectie
	Zie generieke faalorzaken	

4.2.4 Steekverbindingen met rubberglij afdichting in AC leidingen, komeetkoppeling

Deze verbinding bestaat uit een losse mof van asbestcement, waarbij aan beide zijden een spie-eind wordt ingestoken. Per spie-eind is in de mof een groef aangebracht, waarin bij montage een rubberring wordt aangebracht. De mof bevat geen stootrand. De mof en de wijze van aanbrengen van het rubber zijn weergegeven in Figuur 14. De einden van de buizen en de binnen voorkant van de mof zijn afgeschuind om montage te vereenvoudigen. Voor het toelaten van hoekverdraaiing en horizontale verplaatsing moeten de buizen een onderlinge afstand hebben van ongeveer 6 mm. Om dit te garanderen wordt tijdens het monteren van de verbinding een afstandsbeugel aangebracht. De rubberglij verbinding wordt ook wel komeetkoppeling genoemd. Specifieke faalorzaken voor rubberglij afdichtingen in AC leidingen zijn opgenomen in Tabel 9.



Figuur 14 AC-verbinding: principe, rubber en wijze van aanbrengen rubber [45].

Tabel 9 Specifieke faalorzaken voor rubberglij afdichtingen in AC leidingen

Faalwijze	Specifieke faalorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	k. Microbiologische aantasting van natuurruberringen	-
	l. Chemische aantasting van ruberringen	
	m. Rubber bij aanleg niet op de juiste plaats gelegd	Visueel extern of met een voelinstrument als verbinding zichtbaar is
	n. Uitloging van mof of spie-eind	Externe toestandsbepaling

Ad k. Natuurruberringen kunnen worden aangetast door streptomyces bacteriën. Deze conclusie werd in november 1961 getrokken door de Kiwa-commissie Ruberringen [54]. Vanaf dat moment is men synthetische rubbers gaan toepassen. Aangenomen mag worden dat vanaf 1964 geen natuurrubber meer is toegepast. De aanwezigheid van natuurruberringen kan worden geconstateerd door het uitnemen van een verbinding en deze te onderzoeken met behulp van pyrolyse-GC. Niet in alle gevallen dat natuurrubber is gebruikt is ook sprake van microbiologische aantasting. Er mag worden aangenomen dat als op één uitgenomen verbinding natuurrubber wordt geconstateerd, alle nabijgelegen verbindingen van het zelfde aanlegjaar van natuurrubber zijn.

Ad l. Chemische aantasting van rubber door drinkwater is niet te verwachten. In het geval van bodemverontreiniging is dit wel mogelijk.

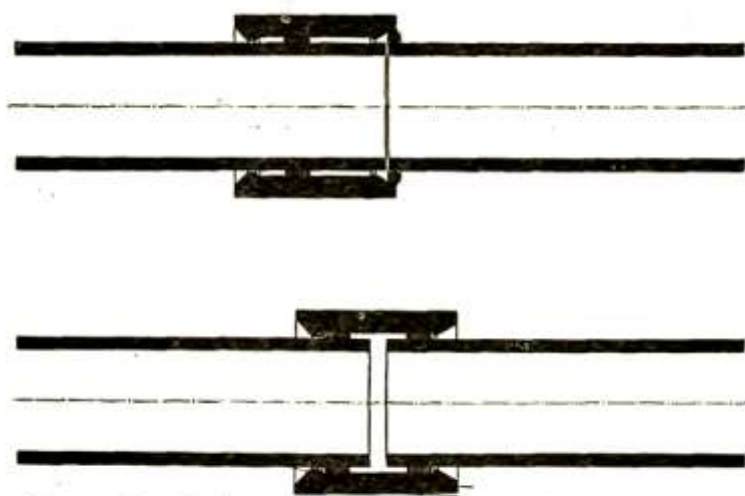
Ad m. Deze faalorzaak komt vooral voor bij rubberrolverbindingen. Omdat bij het insteken van een niet juist gemonteerde rubber grote vervormingen optreden, is lekkage bij geringe aantasting aan de orde. Deze vorm van verbinding gaat over het algemeen samen met natuurrubber gezien de aanlegperiode van dit type verbinding.

Ad n. Uitloging van de mof is uit te voeren met een externe meting met Georadar. In-line detectie van uitloging van de AC mof is in de praktijk niet mogelijk. Voor uitloging van het spie-eind wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

4.2.5 Steekverbindingen met rubberrol afdichting in AC leidingen, simplexkoppeling

Oudere AC leidingen kunnen zijn uitgevoerd met rubberrol afdichtingen. De rubbers zijn rond en de verbinding kan over de buis worden geschoven, zie ook

Figuur 15. Deze verbindingen staan ook bekend als Simplexkoppelingen. Voor het schuiven van de verbinding over de buis waren vaak grote krachten nodig. Hierbij kan het voorkomen dat de rubberring niet op de juiste plaats of vorm in de verbinding aanwezig is. Dit verschijnsel wordt ook wel een ‘slipring’ genoemd. Specifieke faalorzaken voor rubberglij afdichtingen in AC leidingen zijn opgenomen in Tabel 10.



Afb. 5 Simplex-koppeling. Stand der rubberringen tijdens het opschuiven der mof

Figuur 15 Simplexkoppeling [55].

Tabel 10 Specifieke faalorzaken voor rubberglij afdichtingen in AC leidingen.

Faalwijze	Specifieke faaloorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	k. Microbiologische aantasting van natuurrubberringen	-
	l. Chemische aantasting van rubberringen	
	m. Rubber bij aanleg niet op de juiste plaats gelegd	Visueel extern als verbinding zichtbaar is
	n. Uitloging van mof of spie-eind	

Voor beschrijvingen faalorzaken, zie subparagraaf 4.2.4.

4.2.6 Steekverbindingen met rubberglij afdichting in PVC leidingen

Deze verbinding bestaat in de meeste gevallen uit een losse mof van PVC, waarbij aan beide zijden een spie-eind wordt ingestoken (dubbelzijdige mof), zie Figuur 16. Er zijn veel verschillende uitvoeringen op de markt. Per spie-eind is in de mof een groef aangebracht, waarin bij montage een rubberring wordt aangebracht. De spie mag niet volledig in de mof

worden geschoven om enige expansie en hoekverdraaiing mogelijk te maken. In de mof is een stootrand aangebracht. Er worden ook enkelzijdige moffen toegepast, waarbij de mof aan een van de zijden van de buis is bevestigd. Specifieke faaloorzaak voor rubberglij afdichting in PVC leidingen is opgenomen in Tabel 11.



Figuur 16 Mof voor een rubberglijverbinding voor PVC leidingen.

Tabel 11 Specifieke faaloorzaken voor rubberglij afdichting in PVC leidingen.

Faalwijze	Specifieke faaloorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	o. Verkeerde aanleg	-

Ad o: Zie eerder. Aangezien de mof een stootrand heeft, is zowel de onderlinge afstand tussen de buisdelen te meten, als de mate waarin het spie-eind zich in de mof bevindt.

4.2.7 Trekvaststeekverbindingen met rubberglij afdichting in PVC leidingen

De 'traditionele' trekvaststeekverbinding bij PVC leidingen wordt uitgevoerd door een bus op het spie-eind te verlijmen. In deze bus bevinden zich groeven waarin voor montage afdichtingsrubbers zijn aangebracht. Na montage wordt voor de trekvastheid een zogenaamde pees of veer via een op de mof aangebrachte uitsparing in de groef gebracht. Specifieke faaloorzaken voor trekvaststeekverbindingen met rubberglij afdichting in PVC zijn opgenomen in Tabel 12. Naast deze verbinding bestaan er tegenwoordig nieuwe technieken voor trekvaststeekverbindingen die door de verschillende leveranciers zijn ontwikkeld zoals bajonetsluitingen, trekvaststeek knelringen en dergelijke.

Tabel 12 Specifieke faalorzaken voor trekvastе steekverbindingen met rubberglij afdichting in PVC.

Faalwijze	Specifieke faalorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	o. Verkeerde aanleg	-
2. Lekkage door mechanisch bezwijken	p. Te hoge spanningen op trekvastе door diverse oorzaken	-

Ad o. Falen door verkeerde aanleg is mogelijk als de verlijming niet goed is aangebracht of als de veer niet volledig in de mof is aangebracht.

Ad p. Falen door te hoge spanningen is mogelijk als de spanningen op de trekvastе verbinding hoger zijn dan de ontwerpspanningen. Dit kan bij trekvastе verbindingen optreden, omdat deze verbinding minder flexibel is dan een niet-trekvastе verbinding. Te hoge spanningen kunnen optreden door bijvoorbeeld ongelijkmatige zettingen, werkzaamheden derden, verkeer, waterslag of spatkrachten.

4.2.8 Spiegellасverbindingen in PE leidingen

Buizen van PE kunnen onderling of met hulpstukken van hetzelfde materiaal worden verbonden door de te verbinden delen tot de smeltemperatuur te verhitten en vervolgens snel tegen elkaar te drukken. Dit proces wordt in chemische termen polyfuseren genoemd. De lasmethode wordt stuiklassen genoemd. Spiegellassen worden uitgevoerd volgens de spiegellasmethode die wordt beschreven in NEN 7200 'Kunststof leidingen voor het transport van gas, drinkwater en afvalwater - Stuiklassen van buizen en hulpstukken van PE 63, PE 80 en PE 100' [17]. Spiegellassen verwijst naar het apparaat waarmee het lassen wordt uitgevoerd en dat een plaat heeft die wordt verhit (de zogenaamde spiegel). Na het aandrukken ontstaat een ril aan de binnen en buitenzijde. De ril aan de buitenzijde kan worden verwijderd. De ril aan de binnenzijde resulteert in een lokaal hydraulisch energieverlies. Het uitvoeren van spiegellassen is specialistisch werk, waarvoor een speciale opleiding is vereist. Spiegellassen worden in situ uitgevoerd.

De lasverbinding heeft dezelfde materiaaleigenschappen als de buis. Als de verbinding deugdelijk is gerealiseerd, zijn daarvoor om die reden geen faalorzaken aan te wijzen die anders zijn dan faalorzaken voor buizen. Een PE lasverbinding kan bij aanleg op deugdelijkheid worden gecontroleerd door middel van ultrasoon onderzoek. Specifieke faalorzaak voor spiegellасverbindingen is opgenomen in Tabel 13.

Tabel 13 Specifieke faalorzaken voor spiegellасverbindingen in PE leidingen.

Faalwijze	Specifieke faalorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	q. Verkeerde aanleg	-

Ad q. Door een verkeerde instelling van de druk op het spiegellасtoestel kan de verbinding onvoldoende zijn of een te grote ril hebben.

4.2.9 Elektrolасverbindingen in PE leidingen

Buizen van PE kunnen worden verbonden door het plaatsen van een elektrolасverbinding. In de elektrolасmof zijn weerstandsdraden verwerkt waarop een lastransformator wordt aangesloten. Tijdens het volautomatische lasprocedé verhitten de weerstanddraden de

buisseinden tot smelten, waardoor een lasverbinding ontstaat. Van elke las wordt vastgelegd door wie het lassen is uitgevoerd, met welk lasapparaat en onder welke condities. Het lassen kan plaatsvinden in de sleuf. Specifieke faaloorzaak voor elektrolassverbindingen in PE is opgenomen in Tabel 14.

De NTA 8828 [18] bevat uniforme afspraken voor het maken van elektrolassverbindingen in PE leidingen voor gas en drinkwater. Voor gasleidingen speelt een discussie over de faalkans van elektrolassen (zie de mededeling naar aanleiding van Informatiemiddag NTA 8828 [19]). Voor drinkwaterleidingen zijn hierover geen nadere gegevens bekend, aangezien in de USTORE-storingsregistratie geen onderscheid wordt gemaakt naar het type PE verbinding.

Tabel 14 Specifieke faaloorzaken voor elektrolassverbindingen in PE leidingen.

Faalwijze	Specifieke faaloorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	r. Verkeerde aanleg	-

Ad r. Door het niet goed schoonmaken van de te verbinden delen of door een onjuiste temperatuurinstelling bij het lassen kan de afsluiting of de trekvastheid onvoldoende zijn.

4.2.10 Klemverbindingen in PE leidingen

In PE leidingsystemen kunnen verbindingen worden gemaakt met behulp van klemverbindingen. De verbinding bestaat uit een messing of kunststof konusdeel dat in de buis wordt geslagen, waardoor de buis iets wordt verwijfd. Door het aandraaien van een messing of kunststof wartelmoer wordt een nylon klemhuls om het konusdeel geforceerd, waardoor een trekvast verbinding tot stand komt. Deze verbindingen dienen te worden uitgevoerd volgens de BRL-K17105 [20]. De verbindingen worden toegepast voor leidingen met een diameter van maximaal 90 mm. Er moet rekening worden gehouden met de hoge kruip van het PE buismateriaal, waardoor de verbinding kan worden losgetrokken. Om dit te voorkomen, kunnen steunbussen worden aangebracht. Specifieke faaloorzaken voor klemverbindingen zijn opgenomen in Tabel 15.

Voor PE leidingen met een aluminium barrièrelaag tegen permeatie van organische bodemverontreinigende stoffen zijn speciale bijbehorende hulpstukken (messing perskoppelingen) vereist. Daarvoor wordt verwezen naar [63].

Tabel 15 Specifieke faaloorzaken voor klemverbindingen in PE leidingen.

Faalwijze	Specifieke faaloorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	s. Corrosie van verbindingstukken	-
2. Lekkage door horizontale verplaatsing (uitschuiving)	t. Lengteverandering door temperatuur- of verschillen	

Ad s. Lekkage kan ontstaan door spanningscorrosie op messing onderdelen of door ontzinking van messing onderdelen.

Ad t. Lekkage kan optreden als door lengteverandering van buizen trekspanningen optreden op verbindingen, dwarscontractie genaamd. Lengteverandering is mogelijk bij drukverschillen (met name bij aanleg) of bij temperatuurverschillen. PE heeft als thermoplast een relatief lage elasticiteitsmodulus en een betrekkelijk hoge thermische uitzetting. De betrekkelijk hoge constante van Poisson houdt in dat bij het toenemen van de waterdruk de diameter toeneemt en als gevolg daarvan de leidinglengte afneemt. De hoge thermische uitzetting heeft als gevolg dat door verlaging van de temperatuur PE gaat krimpen. Voor meer informatie, zie [40].

4.2.11 Lasverbindingen in stalen leidingen

Bij een lasverbinding worden losse buizen verbonden door een metalen las, waardoor een homogene verbinding ontstaat. Met het oog op afstand en centrering moeten de buiseinden voorafgaand aan het lassen nauwkeurig ten opzichte van elkaar worden geplaatst. De meest toegepaste lasmethode is elektrisch lassen. Na het lassen dient een uitwendige bekleding te worden aangebracht in de vorm van wikkelbanden of een krimpmanchet. Voor het uitvoeren van lassen en het lasonderzoek wordt verwezen naar [21].

De gelaste stalen leidingen uit de jaren 1950 en 1960 variëren sterk in uitvoering van de las en de bescherming. De registratie van de aanleg van deze leidingen is vaak niet compleet. Storingsregistratie van de verbindingen geeft inzicht in de toestand van de lassen en nog aanwezige coatings. Specifieke faaloorzaak voor lasverbindingen in stalen leidingen is opgenomen in Tabel 16.

Tabel 16 Specifieke faaloorzaken voor lasverbindingen in stalen leidingen.

Faalwijze	Specifieke faaloorzaak	Proactieve detectie
1. Lekkage door niet functioneren afdichting	u. Verkeerde aanleg	-

Ad u. Aanlegfouten kunnen optreden door het verkeerd uitvoeren van de las. Daarnaast kan er beschadiging ontstaan aan de inwendige beschermlaag. Externe corrosie kan optreden als de wikkelbanden of het krimpmanchet onjuist wordt aangebracht.

4.3 Detectiewijzen falen van verbindingen

Voor het reactief detecteren van faaloorzaken van verbindingen zijn onderstaande methoden en technieken inzetbaar.

4.3.1 Visuele inspectie bij ontgravingen

Bij het uitvoeren van ontgravingen waarbij leidingen zichtbaar worden, is het mogelijk informatie te verzamelen over de toestand van de verbinding. Voor het eenduidig verzamelen van informatie kan gebruik worden gemaakt van een gestandaardiseerd formulier.

Visuele detectie van verbindingen wordt bemoeilijkt door de aanwezigheid van bitumenverf of andere afdichtingsmaterialen.

4.3.2 Visuele inspectie bij werkzaamheden derden

Werkzaamheden van derden in de omgeving van de leiding kunnen leiden tot bodembeweging en hoge puntbelastingen op verbindingen. Specifieke werkzaamheden die dit tot gevolg kunnen hebben, zijn ontgravingen, tijdelijke zware bovenbelastingen (zandhopen, opslag van bouw materiaal, etc.) of zwaar transport. Detectie van mogelijk falen

is mogelijk door het signaleren en voorkomen van dergelijke situaties tijdens werkzaamheden.

4.3.3 Handmatige meting van voegwijdte

Hoekverdraaiingen in leidingen kunnen worden vastgelegd door het opmeten van de voegwijdte op verschillende punten van de omtrek van de buis. Deze voegmetingen worden handmatig gedaan. Een leidingsectie wordt leeg gezet, een bemand voertuig gaat de leiding in en de voegen worden met een schuifmaat opgemeten op vier klokstanden (3, 6, 9 en 12 uur). Na een aantal jaar wordt de meting herhaald om te controleren of de ligging van de leiding is gewijzigd. Handmatige meting is alleen mogelijk bij grote leidingen. Aangezien er zich een persoon in de leiding bevindt, dienen hoge eisen gesteld te worden aan het waterdicht zijn van afsluiters. Deze dienen derhalve 'dubbel geblokt' te zijn. De Arbowetgeving stelt dat menselijke toegang in diameters kleiner dan 700 mm niet is toegestaan. Een en ander is in de Arbocatalogus waterbedrijven vastgelegd.

4.3.4 Visuele in-line metingen van hoekverdraaiing en verplaatsing

Hoekverdraaiingen kunnen ook worden vastgesteld door het meten van de voegwijdte met een camera. Deze meting is te combineren met andere in-line toestandsmetingen. Hierbij wordt bij elke verbinding op vier klokstanden de voeg in beeld gebracht en opgemeten. Visuele meting zou ook mogelijk moeten zijn met behulp van radar imaging of lasermetingen. Voor zo ver bekend zijn deze methoden nog niet geschikt om in drinkwaterleidingen de hoekverdraaiing ter plaatse van de verbinding nauwkeurig vast te leggen.

Bij visuele meting van verbindingen geldt dat naast de hoekverdraaiing ook de mate van insteking van belang is. Deze is uitsluitend visueel te bepalen als de mof is voorzien van een stootrand. Voor AC moffen geldt dat deze stootrand niet aanwezig is en het daardoor niet mogelijk is te meten hoever het spie-eind zich in de mof bevindt.

4.3.5 Metingen van zettingen vanaf het straatoppervlak of satellieten

Zettingen ter hoogte van de leiding zijn te benaderen door zettingen te meten aan het straatoppervlak. In gebieden waar ongelijkmatige zettingen worden gemeten, kan worden aangenomen dat verplaatsingen en/of spanningen optreden bij niet-onderheide leidingen. Dit zal naar verwachting eerder resulteren in grotere hoekverdraaiing als de leiding star is. Door het meten van zettingen op het straatoppervlak met satellieten kunnen leidingen worden geselecteerd met een grotere kans op ontoelaatbare hoekverdraaiing.

4.3.6 Meting met ultrasoon

In-line metingen die materiaalovergangen nauwkeurig en over de volle omtrek in kaart kunnen brengen, zouden ook in staat moeten zijn om de hoekverdraaiing te meten. Het is te verwachten dat metingen met ultrasoon geluid toepasbaar zijn om de hoekverdraaiing te bepalen. Vooral nog zijn hiervan geen voorbeelden van bekend.

4.3.7 Detectie van verbindingen en hoekverdraaiing met grondradar

Met behulp van Georadar kan de locatie van leidingen in kaart worden gebracht. Deze technieken en de toepassing hiervan door aannemers is de laatste tijd in ontwikkeling. Er is op dit moment nog geen techniek waarmee het mogelijk is vast te stellen wat de exacte locatie is van verbindingen, met als vervolgstap wat de horizontale of verticale verplaatsing is [22].

4.4 Normwaarden voor toelaatbare hoekverdraaiing

In deze paragraaf is een overzicht gegeven van bestaande normwaarden voor de toelaatbare hoekverdraaiing van verbindingen. Hierbij speelt met name de normtoestand die betrekking heeft op hoekverdraaiing gedurende de levensduur van de leidingen. In de praktijk zijn deze hoekverdraaiingen te koppelen aan ongelijkmatige zettingen in de bodem. Niet voor alle leidingmaterialen die in deze praktijkcode worden behandeld, zijn dergelijke normwaarden beschikbaar. In de NEN-EN 805 [4] is een minimaal vereiste hoekverdraaiing aangegeven voor flexibele en verstelbare verbindingen, zie Tabel 17. Dit is een eis die geldt voor fabrikanten bij de productie van een verbinding. De aanduiding verstelbare verbinding heeft betrekking op de meeste gangbare niet-trekvasten verbindingen vallen onder verstelbare verbindingen. E-stukken vallen onder flexibele verbindingen.

Tabel 17 Minimale vereiste hoekverdraaiing voor flexibele en verstelbare verbindingen [4].

DN in mm	Mogelijke hoekverdraaiing	
	Radiaal	Graad
DN < 300	0,03	1°43'
300 ≤ DN ≤ 600	0,02	1°09'
600 < DN ≤ 1.000	0,01	0°34'
DN > 1.000	0,01 x 1.000/DN	0°34' x 1.000/DN

Verbindingen in leidingen van AC

Voor steekverbindingen met rubberrol afdichting in AC leidingen zijn in de Eternit catalogus [45] de toelaatbare hoekverdraaiingen opgenomen die in het veld mogen optreden, zie Tabel 18.

Tabel 18 Toelaatbare hoekverdraaiing in graden voor komeetkoppelingen van Eternit. De hoek dient over twee rubberringen te worden verdeeld en betreft dan ook de volledige hoekverdraaiing tussen de buisdelen [45].

Nominale diameter	Komeetkoppeling
80 mm	7°
100 mm	6.5°
125 mm	6°
150 mm	5.5°
200 mm	5°
250	4.5°
300	4°
350 - 400 mm	3.5°
450 - 500 mm	3°
600 - 800 mm	2.5°
900 - 1100 mm	2°

Verbindingen in leidingen van PVC

Voor PVC leidingen is in de regelgeving geen absolute waarde voor de maximum hoekverdraaiing vastgesteld. In de 'Richtlijnen voor de aanleg van hoofdleidingen van ongeplastificeerd polyvinylchloride (PVC) voor het transport van drinkwater' [23]) is aangegeven dat PVC leidingen voor richtingsverandering bij aanleg de aanwezige hoekverdraaiing 'niet groter mag zijn dan die welke de mof, volgens opgave van de fabrikant, spanningsvrij toelaat'. Nederlandse fabrikanten hanteren een maximum hoekverdraaiing van zes graden (drie graden per flexibele zijde). De herkomst van deze maximum

hoekverdraaiing is echter arbitrair. In de lekdichtheidsproef [24] is bepaald dat een producent een eigen ontwerp mag maken van een verbinding, mits deze gedurende ten minste 50 jaar lekdicht is bij een hoekverdraaiing van drie graden (per rubber).

Arsénio [46] constateert dat de toelaatbare hoekverdraaiing van een verbinding mede afhankelijk is van de mate van insteken van de leiding. Nederlandse leidingfabrikanten hanteren een maximum hoekverdraaiing die geen rekening houdt met de mate van insteking.

Verbindingen in leidingen van nodulair gietijzer

Voor de toelaatbare hoekverdraaiing wordt verwezen naar de catalogi van fabrikanten. Ter illustratie, de toelaatbare hoekverdraaiing voor trekvaste verbindingen van Saint Gobain van het type Standaard Vi, Standaard Ve en Standaard Pamlock is 5° voor diameters van 80 tot en met 200 mm en 4° voor diameters van 350 tot en met 1000 mm. Voor de Tyton verbindingen zijn de hoekverdraaiingen in Tabel 19 opgenomen

Tabel 19 Toelaatbare hoekverdraaiingen in graden voor Tyton verbindingen [58].

DN (mm)	Hoekverdraaiing
t/m 300	5°
400	4°
500 - 1000	3°
1200	2°
1400	1°

5 Appendages

5.1 Algemeen conditie appendages

De toestand en conditie van de appendages afsluiters en brandkranen kunnen op verschillende wijzen worden beschreven. De materiaalkundige benadering gaat over de aantasting van het materiaal waar de appendage van is gemaakt: een gietijzeren huis kan worden aangetast, een pakingsrubber kan lekken. De functionele benadering betreft de werking van de appendages. In deze PCD is voor de functionele benadering gekozen. Een appendage werkt wel of werkt niet. Of dit tot falen leidt, is weer afhankelijk van de kans dat de appendage wordt gebruikt. Een appendage die niet wordt gebruikt, mag storen. Dit leidt niet tot falen van het systeem.

De toestand van appendages wordt gedefinieerd door de storingskans. Voor het bepalen van de conditie van (de populatie) appendages is een norm nodig. Deze norm wordt vaak bepaald door het huidige niveau als acceptabel te definiëren. Daarbij geldt dat op strategisch niveau niet de huidige storingskans als acceptabel wordt gezien, maar het risico dat daarbij hoort.

- Voor afsluiters geldt bijvoorbeeld dat de huidige OLM acceptabel is. Bij een toename van de gebruikskans van afsluiters (bijvoorbeeld door een toename in de storingskans van leidingen of een toename in geplande werkzaamheden aan het leidingnet), zullen zwaardere eisen aan afsluiters worden gesteld. Bij een afname van het gebruik van afsluiters (bijvoorbeeld wanneer met alternatieve afsluitmethodes wordt gewerkt), mogen de bestaande afsluiters vaker falen.
- Voor brandkranen geldt bijvoorbeeld dat het huidige niveau van hoeveel levens worden gered of hoeveel uitslaande branden er zijn als acceptabel wordt gedefinieerd. Wanneer brandkranen minder worden gebruikt voor het blussen (bijvoorbeeld wanneer woningen steeds meer uit brandvertragende materialen zijn opgebouwd of er meer sprinklers worden geïnstalleerd), worden minder zware eisen aan brandkranen gesteld.

In het risicogetal dat acceptabel is, zit dus de gebruikskans van de appendage naast de storingskans ervan. De norm van de storingskans zodat een conditie kan worden vastgesteld, hangt dus af van de gebruikskans.

Op operationeel niveau worden andere afwegingen gemaakt, met een andere risicoperceptie. Dan moet elke afsluiter die wordt bediend of brandkraan die wordt gebruikt het doen. De acceptabele storingskans lijkt dan niet af te hangen van de gebruikskans. Het is belangrijk dat expliciet wordt gemaakt hoe de norm voor een acceptabele storingskans wordt bepaald en door wie (strategisch, tactisch, of operationeel niveau). Een nadere analyse is dan noodzakelijk. CAVLAR [59] is een analysetool waarmee dergelijke analyses kunnen worden uitgevoerd. Analyses van kritische afsluiters en kritische secties waarbij de vereiste storingskans wordt bepaald, zijn dan mogelijk en noodzakelijk.

5.2 Brandkranen

5.2.1 Relevante parameters

In [25] is een benadering beschreven, waarmee uitspraken kunnen worden gedaan over de functionaliteit van de brandkraan in relatie tot de brandkraanpopulatie. De relevante parameters voor kritisch falen zijn:

- Is de brandkraan vindbaar binnen een bepaalde tijd?
- Is de brandkraan bereikbaar binnen een bepaalde tijd?
- Is de brandkraan functioneel?
- Heeft de brandkraan voldoende capaciteit?
- Is de brandkraan identificeerbaar (bij schoonmaakacties).

De parameters vindbaarheid en bereikbaarheid zijn voor de conditie van de brandkraan zelf niet relevant maar wel voor het gebruik. De capaciteit van een brandkraan wordt voornamelijk bepaald door de leiding waarin de brandkraan is opgenomen en deze parameter is dan niet relevant voor de conditie van de brandkraan. De aandacht voor de capaciteit van een brandkraan is in de loop van de jaren vooral ontstaan door het teruglopen van de capaciteit onder invloed van het dichtgroeien van oude lamellair gietijzeren leidingen. Dit verschijnsel is in een modern leidingnet niet meer aan de orde. De capaciteit van een brandkraan kan met een leidingnetmodel worden berekend en zal zonder verandering van de randvoorwaarden van dat model en de werkelijke bedrijfsvoering in de loop van de standtijd van de brandkraan nauwelijks veranderen. Dit is dus een weinig voorkomend faalmechanisme.

De parameter functionaliteit bestaat uit verschillende onderdelen die ieder moeten werken om de functionaliteit van de brandkraan mogelijk te maken. Dit zijn:

- Is de klauw intact?
- Is de klauw courant (past de standaard standpijp)?
- Is de spindelkop intact en zit die vast?
- Is de spindel draaibaar?
- Wordt de klep gelicht/gesloten bij draaien?
- Werkt de insluitbeveiliging?

5.2.2 Mogelijkheden toestandsbepaling

Visuele inspectie (droge test)

Voor schade aan de klauw en/of de spindelkop voldoet een visuele inspectie. Indien deze onderdelen stuk zijn, is de conditie van de brandkraan nul.

Natte test

Door de brandkraan open te draaien, kan worden geconstateerd of de brandkraan water levert. Indien een bepaalde capaciteit wordt vereist, moet de volumestroom worden gemeten. Een natte test zonder volumestroommeting resulteert in toestand van de brandkraan: 100% bij waterlevering en 0% als er geen water uit de kraan komt.

Test van het draaimoment van de spindel

Een brandkraan wordt bediend door het draaien van de spindel. Door het benodigde moment voor het draaien van de spindel te meten, wordt de benodigde kracht voor het bedienen van de brandkraan vastgelegd en kan dit worden vertaald in de toestand van de brandkraan. De benodigde apparatuur hiervoor is gelijk aan die voor het meten van draaimomenten op afsluiters.

Test van insluisbeveiliging

De insluisbeveiliging kan worden getest door bij een geopende brandkraan met een dichte kraan op het opzetstuk de druk in het opzetstuk te verhogen. Dit is het afpersen van een brandkraan. Bij een werkende insluisbeveiliging loopt deze druk niet terug.

Administratie van toestand

Door de storingen en inspecties van brandkranen zodanig te administreren dat analyse mogelijk is en verbanden kunnen worden gelegd tussen fabricaten, leeftijden en omgevingsfactoren zijn de individuele bepalingen op te schalen naar de verschillende cohorten van brandkranen en kan de conditie van een cohort brandkranen binnen grenzen worden voorspeld.

5.2.3 Benodigde conditie

Op basis van de cohorten brandkranen binnen de volledige populatie is te bepalen in hoeverre de populatie voldoet. Statistische technieken hiervoor zijn beschreven in [25].

5.3 Afsluiters

5.3.1 Relevante parameters

Voor afsluiters zijn de volgende parameters relevant:

- Vindbaarheid binnen een bepaalde tijd;
- Identificeerbaarheid binnen een bepaalde tijd;
- Toegankelijk binnen een bepaalde tijd;
- Draaibaarheid;
- Afsluitbaarheid.

De parameters Vindbaar, Identificeerbaar en Toegankelijk zijn voor de toestand van de afsluiter zelf niet relevant maar wel voor het gebruik. De functionaliteit van de afsluiter zelf ligt in de parameters Draaibaar en Afsluitbaar. De functionaliteit van een afsluiter is onder te verdelen in:

- Is de spindelkop intact?
- Is de spindel intact?
- In geval van een tandwielkast, is deze intact?
- Is de stand van afsluiter bekend?
- Is het draaimoment aanvaardbaar?
- Sluit de afsluiter?

Onderscheid afsluiters

In het leidingnet komen vlinderkleppen vooral voor in het primaire leidingnet. Schuifafsluiters komen voor in zowel het primaire, secundaire als tertiaire net. Onderscheid in de conditie is vooral zichtbaar in corrosie en draaimoment van de afsluiter.

5.3.2 Mogelijkheden toestandsbepaling

Visuele inspectie

Voor schade aan spindelkop en/of de spindel voldoet een visuele inspectie. Indien deze onderdelen stuk zijn, is de toestand van de afsluiter 'nul' of 'niet werkend'. Ook een tandwielkast die stuk is, levert een conditie van 'nul' op. Een lekkage langs de spindel betekent nog niet direct dat de afsluiter geen functionaliteit meer heeft. De afsluiter heeft wel onderhoud nodig, maar dat hoeft niet direct plaats te vinden.

Draaitest

Door de afsluiter te draaien, kan worden gecontroleerd wat de stand van de afsluiters is en of het draaimoment aanvaardbaar is.

Test van het draaimoment van de spindel

Een afsluiter of brandkraan wordt bediend door het draaien van de spindel. Door het benodigde moment voor het draaien te meten, wordt de kracht voor het bedienen van de afsluiter vastgelegd en kan dit worden vertaald in de toestand van de afsluiter. De benodigde apparatuur hiervoor is beschikbaar. In Figuur 17 is apparatuur afgebeeld waarmee een afsluiter kan worden gedraaid via een elektrische aandrijving. Met het draaien van de afsluiter wordt het draaimoment geregistreerd en door de gegevens te koppelen aan het afsluiternummer kan bij een volgende test worden bepaald hoe dit is veranderd. De beginstand van de afsluiter is af te leiden uit het aantal slagen dat moet worden gemaakt om de afsluiter dicht te draaien. De eindstand van de afsluiter is te bepalen via het aantal slagen dat wordt gemaakt na volledig open of volledig dicht draaien.



Figuur 17 Automatische afsluitersleutel plus registratie draaimomenten.

Controle van afsluiters door deze volledig dicht te draaien is mogelijk door te luisteren naar het geluid dat een 'lekkende' afsluiter produceert.

Administratie van storingen en inspectieresultaten

Door de storingen en inspectieresultaten van afsluiters zodanig te administreren dat analyse mogelijk is en verbanden kunnen worden gelegd tussen fabricaten, leeftijden en omgevingsfactoren zijn de individuele bepalingen op te schalen naar de verschillende cohorten van afsluiters en kan de conditie van een cohort afsluiters binnen grenzen worden voorspeld.

Algemeen bij controle afsluiters

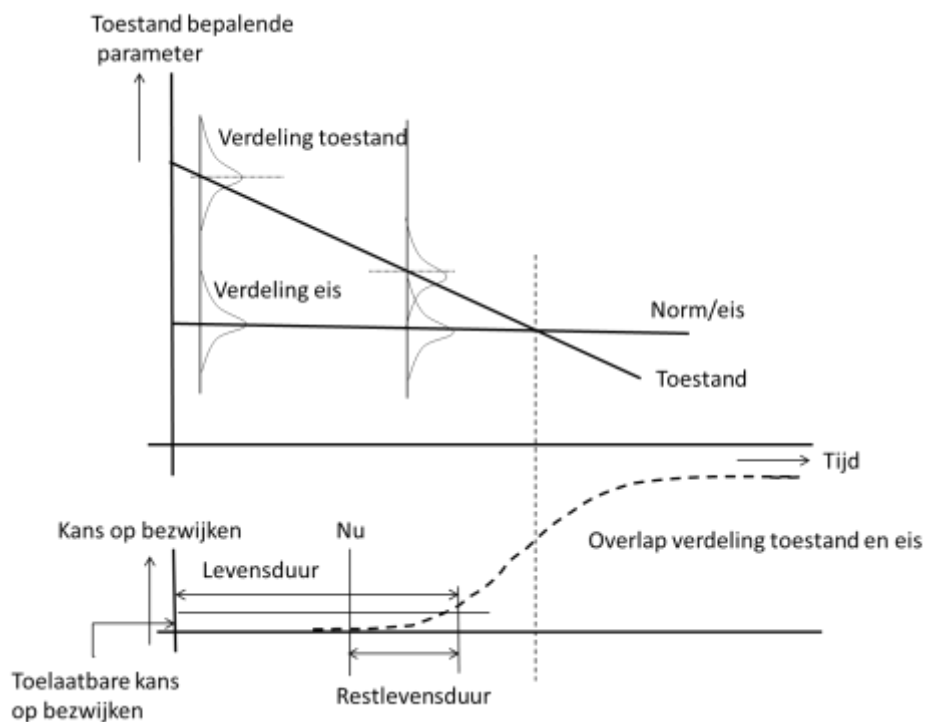
Het sluiten van een afsluiter veroorzaakt een verandering in het normale stromingspatroon, waarbij eventueel aanwezig sediment kan worden opgewerveld en tot bruinwater kan leiden .

Door afsluitercontroles te combineren met schoonmaakprogramma's kan ongewenste opwerveling worden voorkomen.

6 Gewenste conditie

6.1 Probabilistische benadering

De beschrijving van de toestand van een buisdeel bevat een aantal verschillende parameters. Elk van die parameters verhoudt zich tot een norm of eis, die aan die parameter wordt gesteld, zie figuur 18. De conditie van een buisdeel geeft de plaats aan waar de betreffende parameter zich bevindt ten opzichte van de norm of eis. Zolang deze boven de norm of eis ligt, is de conditie positief en uit te drukken in een getal (> 1) ten opzichte van de norm of eis. De toestand heeft een spreiding rond de dalende lijn. Een aantasting is niet gelijkmatig of een materiaaleigenschap is niet overal gelijk. Ook een norm of eis kan een spreiding hebben. De benodigde sterkte is bijvoorbeeld niet overal gelijk. Dit resulteert in een verdeling over de tijd van het fenomeen dat begint als de spreiding rond de toestand en de spreiding rond de norm of eis een overlap krijgen. De grootste kans op het optreden, is op het snijpunt van de lijnen.



Figuur 18 Schematische weergave van een probabilistische benadering van de toestand en de kans op bezwijken van een onderdeel in een systeem.

Als de spreiding op de toestand en de eis bekend is, kan de kans op bezwijken worden bepaald. Door een eis te stellen aan de toelaatbare kans op bezwijken, is de levensduur van het systeem vast te stellen. Als de levensduur is vastgesteld, kan op eenvoudige wijze de restlevensduur worden bepaald.

6.2 Praktische uitwerking probalistiek

Voor de uitwerking voor een leiding moet worden uitgegaan van een praktische benadering. De werkelijke verdelingen van de toestand en eis zijn uitsluitend te bepalen met een grote meetinspanning. Dit is niet haalbaar, een keuze van de te bepalen en te schatten parameters moet worden gemaakt. Hieruit volgt de toestand van de betreffende leiding en de eis die uit de ligging en de bedrijfsvoering van de leiding wordt gesteld. Uit de combinatie van deze gegevens volgt de conditie van de leiding. Om inzicht te krijgen in de spreiding van de gegevens is een enkele bepaling niet voldoende. Een groter aantal bepalingen vergt een navenante inspanning. Over het algemeen worden de resultaten van bepalingen van kracht verklaard op basis van specifieke leiding- en omgevingskenmerken (cohorten).

Toestand

Voor de verschillende materialen (asbestcement, grijs gietijzer en PVC) wordt de toestand op verschillende wijze benaderd. Voor asbestcement en gietijzer wordt uitgegaan van een initiële toestand waarbij de originele wanddikte en sterkte-eigenschappen aanwezig zijn, en van een gemeten huidige toestand. Omdat van deze materialen de sterkte-eigenschappen niet veranderen, volstaat een meting van de effectieve wanddikte om de toestand op tijdstip t vast te stellen als de sterkte-eigenschappen bekend zijn. Voor de sterkte-eigenschappen van gietijzer kan een relatief eenvoudig onderzoek worden uitgevoerd (treksterkte grijs gietijzer varieert van 50 – 250 MPa). Voor asbestcement is dit in verband met de beperkingen voor het werken met dit materiaal moeilijker. Uitgaande van de waarde die de fabrikant (Eternit) voor dit materiaal hanteerde, bedraagt de tangentiële materiaalsterkte minimaal 50 MPa en de axiale sterkte 22,5 MPa.

Voor PVC geldt dat de wanddikte niet verandert in de loop van de tijd. De sterkte-eigenschappen van dit materiaal veranderen echter wel, het materiaal kan verouderen. De belangrijkste sterkte-eigenschap van het materiaal is de weerstand tegen langzame scheurgroei. Deze eigenschap geeft het verband tussen de tijd dat een spanning kan worden weerstaan (X-as) en de hoogte van deze spanning (Y-as). Op een logaritmische schaal op de X-as is dit een rechte lijn.

Norm/eis

Voor een leiding kan een norm of eis gelden voor een minimum wanddikte bij een bekende sterkte of een vereiste sterkte bij een bekende wanddikte. Bij een vastgestelde materiaalsterkte wordt de wanddikte het criterium (asbestcement en grijs gietijzer); bij een onveranderlijke wanddikte is dat de materiaalsterkte (PVC, PE).

De vereiste wanddikte of materiaalsterkte hangt af van de omstandigheden waaronder de leiding in het systeem aanwezig is en het door de beheerder aanvaarde risico. Door veiligheidsfactoren in de berekening van de vereiste wanddikte of materiaalsterkte te betrekken, wordt de conditie beïnvloed.

Ligging

De plaats waar een leiding ligt in een voorzieningsgebied leidt tot een risico-indeling op basis van omgeving en beïnvloedt deze de eis. Een leiding in een open landelijke omgeving wordt in een andere risico klasse ingedeeld dan een leiding in een stedelijke omgeving of in een waterkering.

Functie en impact

ook de functie van een leiding hangt samen met een risico-indeling: (i) een transportleiding wordt anders beoordeeld dan een distributieleiding, (ii) een leiding met een hoge impact voor leveringszekerheid en leveringscontinuïteit wordt anders beoordeeld dan een leiding met een lage impact en (iii) een leiding waarbij bij uitval ingewikkelde maatregelen moeten

worden genomen, valt in een andere categorie dan een leiding waarbij geen maatregelen hoeven te worden genomen bij uitval dan het draaien van enkele afsluiters.

Veiligheidsfactor

Een veiligheidsfactor is van belang om onzekerheden en risico's af te dekken. De keuze voor een bepaalde factor wordt hierdoor bepaald. In Tabel 20 is een globale indeling gemaakt voor de hoogte van een te kiezen veiligheidsfactor. De uitwerking van een dergelijke factor kan liggen in de toegestane materiaalspanning. Als voorbeeld kunnen de materialen PE en PVC dienen. De spreiding in materiaaleigenschappen is bij PVC groter dan bij die van PE. De veiligheidsfactor op de materiaalspanning in PVC is hoger dan die in PE. Deze veiligheidsfactoren zijn gebaseerd op de aanwezige spreiding in de materiaaleigenschappen en zijn van oudsher gehanteerd in de rekenvoorschriften voor deze materialen.

Tabel 20 Globale indeling veiligheidsfactoren voor leidingen.

		Veiligheidsfactor VF
Functie	Primair	hoog
	Secundair	middel
	Tertiair	laag
Omgeving	Open land	laag
	Wegberm	laag
	Weg	middel
	Woongebied	middel
	Binnenstad	hoog
	Winkelgebied	hoog
	Waterkering	hoog
Impact	> 2000 aansluitingen	laag*
	< 2000 aansluitingen	middel
Materiaaleigenschappen	GGIJ	hoog
	AC	middel
	PVC	middel
	PE	laag

* op basis van een leveringszekerheidsanalyse moeten gebieden met meer dan 2000 aansluitingen worden voorzien met een zekere redundantie en kan de VF laag worden gekozen. Indien de leidinguitval niet op LZ hoeft te worden beoordeeld omdat een calamiteit binnen 24 uur kan zijn verholpen, hoeft de redundantie niet aanwezig te zijn en kan de VF hoger uitvallen.

6.3 Voorbeeld AC

Om de relaties in de benadering duidelijk te maken, is een voorbeeld uitgewerkt. In dit voorbeeld wordt een 1 MPa \varnothing 200 mm asbestcement leiding beschouwd. De gehanteerde waarden van de belastingen, risico's en veiligheidsfactoren zijn fictief en dienen uitsluitend ter illustratie van het voorbeeld. De restwanddikte is de originele wanddikte minus de aanwezige aantasting. De aantasting wordt aangenomen als normaal verdeeld. De karakteristieken van deze leiding zijn:

Nominale diameter	200 mm
Wanddikte	18 mm
Uitwendige diameter	236 mm
Inwendige druk	400 kPa (40 mwk)
Diepteligging	1,00 m
Grondslag	zand
Toelaatbare tangentiële spanning*	50 MPa

Elasticiteitsmodulus*	25.000 MPa
Verkeersbelasting	VB 30
Gevonden aantasting, gemiddeld	4,3 mm
Standaarddeviatie	1,4 mm
Aanlegjaar	1962
Onderzoeksjaar	2014

* De materiaaleigenschappen kennen ook een spreiding, maar die is niet bekend, In de gehanteerde VF door de fabrikant voor de te berekenen sterkte is dit verwerkt.

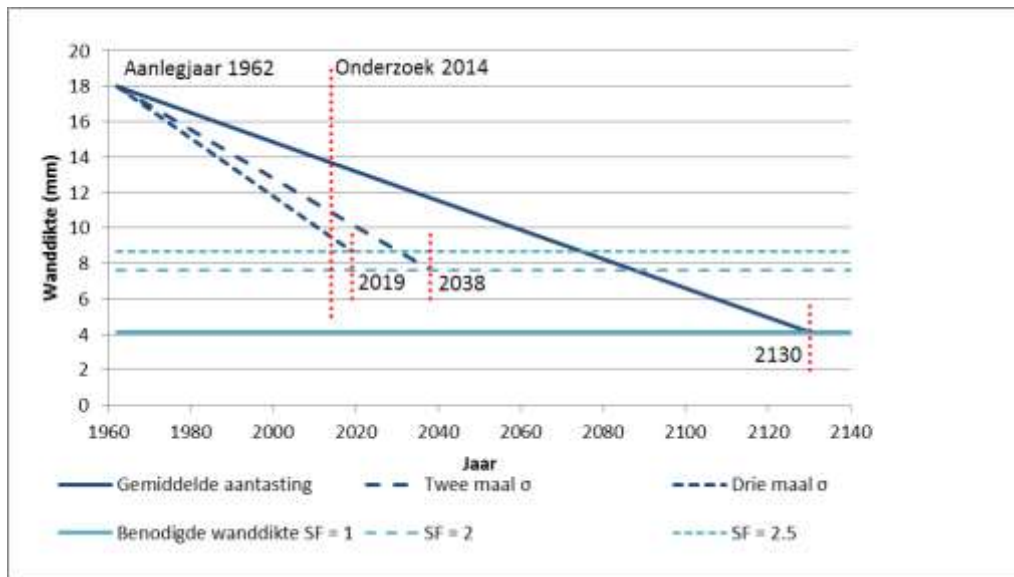
Op basis van de statistiek van de gevonden aantasting bedraagt de gevonden gemiddelde aantasting 4,3 mm met een standaarddeviatie van 1,4 mm. Bij een normale verdeling van de aantasting over het oppervlak van de buis heeft 2,3% van het buisoppervlak een grotere aantasting dan het gemiddelde plus tweemaal de spreiding ($4,3 + 2 \cdot 1,4 = 7,1$ mm) en 0,13 % van het buisoppervlak een grotere aantasting dan het gemiddelde plus driemaal de spreiding ($4,3 + 3 \cdot 1,4 = 8,5$ mm).

Het oppervlak van één buisdeel (lengte = 5 m bij diameter = 200 mm) bedraagt $3424 \cdot 10^3$ mm² voor de gemiddelde diameter (218 mm), 2,3% hiervan is $79 \cdot 10^3$ mm² en 0,13% is $4,4 \cdot 10^3$ mm². Voor deze buis betekent dit dat een wandoppervlak van 79.000 mm² een aantasting heeft van meer dan 7,1 mm en 4400 mm² een aantasting heeft van 8,5 mm of meer.

De benodigde berekende restwanddikte op basis van de gegevens bedraagt 4,1 mm. Bij een veiligheidsfactor (VF) van 2 op de toelaatbare spanning is een wanddikte benodigd van 7,6 mm en bij een VF van 2,5 is een wanddikte noodzakelijk van 8,7 mm.

In figuur 19 zijn de gemeten wanddikten met de spreiding en de berekende benodigde wanddikten op basis van een veiligheidsfactor op de materiaalspanningen uitgezet. Op basis van de helling van de afname van de wanddikte en de benodigde wanddikte is bepaald dat de restlevensduur varieert van 5 jaar (VF = 2,5, breuk op de gemiddelde wanddikte minus drie maal de spreiding) tot 116 jaar (VF = 1, breuk op de gemiddelde wanddikte). De veronderstelde lineariteit van de aantasting in de tijd moet in de overwegingen worden meegenomen. Bij een verandering van waterkwaliteit kan de inwendige uitloging zijn verminderd en is de helling van de afname in de tijd waarschijnlijk niet lineair.

De spreiding in de aanwezige wanddikte volgt uit de wanddiktemetingen. De veiligheidsfactor volgt uit een overweging voor de betreffende leiding. Voor de leiding is gebruik gemaakt van een indeling op basis van functie, ligging en impact bij storing, zie Tabel 21.



Figuur 19 Voorbeeld probabilistische benadering conditie \varnothing 200 mm asbestcement leiding. De aantasting van asbestcement is hier lineair verondersteld op basis van één meting in 2014.

Op basis van de cijfers in dit voorbeeld zijn de snijpunten van de verschillende lijnen te bepalen en daarmee het einde levensduur van een buisdeel.

Tabel 21 Theoretische restlevensduren bij combinaties van een vereiste veiligheid en aantastingsdiepten.

	Restlevensduur		
	gemiddeld	2 maal σ	3 maal σ
SF = 1	116 jaar	50 jaar	33 jaar
SF = 2	74 jaar	24 jaar	12 jaar
SF = 2,5	60 jaar	16 jaar	5 jaar

Er zijn in de afgelopen jaren onderzoeken uitgevoerd naar de aantasting van asbestcement buizen waarbij de spreiding in de wanddikten, inwendige aantasting en uitwendige aantasting zijn bepaald. In Bijlage IV zijn deze cijfers opgenomen. Uit de berekende spreiding blijkt dat de parameters niet normaal zijn verdeeld. Vooral de uitwendige aantasting is scheef verdeeld met een standaardafwijking die groter kan zijn dan de gemiddelde aantasting. Omdat de statistiek van de aantasting van asbestcement niet is beschreven, wordt uitgegaan van een normale verdeling.

De restlevensduur van een asbestcement leiding is met bovengenoemde gegevens te bepalen:

- *Bepaal de benodigde wanddikte;*
De benodigde wanddikte volgt uit een berekening waarbij de uitwendige belastingen, inwendige drukken, de toelaatbare tangentiële materiaalspanning en de vereiste veiligheid worden meegenomen. Gezien de beperkte stijfheid van de asbestcement buizen mag worden gerekend met een 'reroundingseffect'. Ook de drukloze toestand

van de leiding dient te worden beoordeeld, waarbij de inwendige druk niet wordt meegenomen in de belasting en ook het reroundingeffect niet wordt meegenomen.

- *Bepaal de restwanddikte;*
Dit is het niet-aangetaste deel van de buiswand.
- *Bepaal het aanlegjaar;*
Deze volgt uit het leidinginformatiesysteem;
- *Bepaal de aantastingssnelheid;*
De aantastingssnelheid wordt bepaald door de gevonden aantasting (inwendig plus uitwendig) te delen door de liggingsduur van de leiding. Als er aanwijzingen zijn dat de aantastingssnelheid niet lineair is (door bijvoorbeeld een gewijzigde inwendige waterkwaliteit), kan hiervoor desgewenst worden gecorrigeerd.

Restlevensduur = (Restwanddikte - Benodigde wanddikte) / Aantastingssnelheid

6.4 Voorbeeld PVC

In dit voorbeeld wordt een 0,75 MPa ø 355 mm PVC leiding beschouwd. De gehanteerde waarden van de belastingen, risico's en veiligheidsfactoren dienen ter illustratie. Voor de berekening wordt uitgegaan van een bestaande reeds lang op deze plaats liggende leiding. De karakteristieken van deze leiding zijn:

Nominale diameter	355 mm
Wanddikte	11,4 mm
Inwendige diameter	332 mm
Inwendige druk	400 kPa (40 mwk)
Diepteligging	1,5 - 2,0 m
Grondslag	zand
Weerstand tegen langzame scheurgroei	19 MPa, 50 jaar
95% betrouwbaarheidsinterval	7,2 - 30,8 MPa, 50 jaar
Verkeersbelasting	geen - beperkt
Aanlegjaar	1986
Onderzoeksjaar	2014

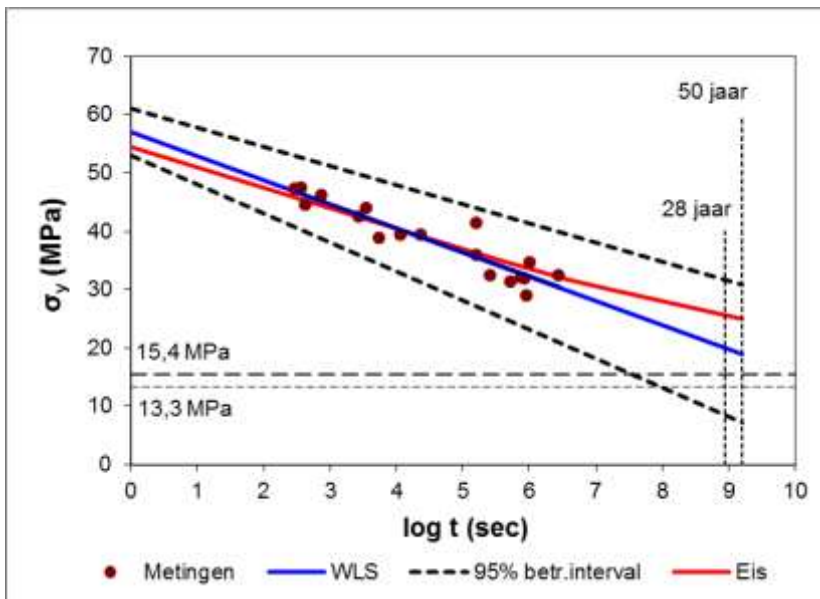
Op basis van deze gegevens heerst er in de buis bij een gronddekking van 2,0 m een materiaalspanning van 13,3 MPa zonder verkeersbelasting. Bij een beperkte verkeersbelasting ontstaan materiaalspanningen van 15,4 MPa.

Voor een PVC leiding werd bij aanleg een ontwerpspanning gehanteerd van 12,5 MPa. De huidige ontwerpspanning in dit materiaal wordt bepaald op basis van een $MRS_{50\text{jaar}}$ (Minimum Required Strength na 50 jaar) van 25 MPa en een nader te bepalen veiligheidsfactor.

De geëxtrapoleerde sterkte voor 50 jaar bedraagt 19,0 MPa (dit is de gemeten 'Weerstand tegen Langzame Scheurgroei', WLS). Voor de spanning zonder verkeersbelasting bestaat er een veiligheidsfactor van $19,0/13,3 = 1,43$ en met een beperkte verkeersbelasting bedraagt de veiligheidsfactor $19,0/15,4 = 1,23$. De spreiding in sterkte kan bij PVC groot zijn en dan zegt de onder- of overschrijdingskans van een bepaalde opneembare spanning meer dan een veiligheidsfactor.

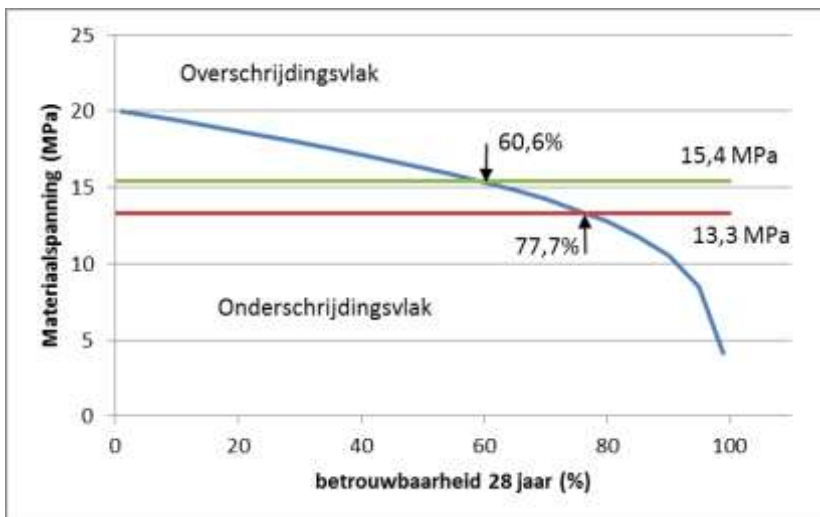
Door de betrouwbaarheidsintervallen te bepalen, wordt inzicht verkregen wat de kans is dat de opneembare spanning na een bepaalde tijd onder de optredende spanning komt. Het snijpunt van de optredende spanning (15,4 MPa) ligt op 39% van het onzekerheidsinterval van de metingen op de X-waarde van 28 jaar (liggingsduur op moment van onderzoek). Met ander woorden: voor een spanning van 15,4 MPa bedraagt de kans 39% dat deze na 28 jaar

niet meer kan worden opgenomen. Voor dit voorbeeld is de kans 22% dat na 28 jaar de opneembare spanning lager is dan 13,3 MPa.



Figuur 20 Voorbeeld probabilistische benadering conditie ø 355 mm PVC leiding.

Door voor een aantal spanningen de onderschrijdingskans te bepalen voor een bepaalde duur van optreden (in dit geval 28 jaar) is de blauwe lijn in Figuur 21 tot stand gekomen. Langs deze lijn is af te lezen welke kans van onder- of overschrijding bij een bepaalde spanning hoort voor de liggingsduur van 28 jaar voor deze betreffende buis.



Figuur 21 Onder-/overschrijdingskromme betrouwbaarheid op 28 jaar.

De hierboven beschreven methode heeft een uitgebreid materiaalonderzoek als basis, waarbij de benodigde parameter (weerstand tegen langzame scheurgroei) nauwkeurig is verkregen met het bijbehorende betrouwbaarheidsinterval. Als er minder gegevens beschikbaar zijn, is de benadering minder nauwkeurig. De berekende materiaalspanningen suggereren een hoge nauwkeurigheid die niet is bevestigd.

In tabel 22 zijn de berekende optredende spanningen voor een aantal eenvoudige tangentiële belastinggevallen van buizen in de verschillende drukklassen verzameld. Uit de berekening blijkt dat onder normale belastingomstandigheden de materiaalspanningen in de leidingen van lage drukklassen hoog oplopen.

Tabel 22 Berekende optredende tangentiële spanningen in PVC leidingen met verschillende drukklassen bij verschillende belastingen, een grote opleghoek (120°) en aangelegd in zand. Vetgedrukt de combinaties die tot spanningen leiden boven 12,5 MPa (max. ontwerp spanning tot 2007 (MRS (25 MPa)/2) en in rood de combinaties die tot spanningen leiden boven 16,7 MPa (MRS (25 MPa)/1,5).

Diepteligging, inwendige druk, verkeersbelasting (VB300)	Materiaalspanning (MPa) in drukklasse leidingen			
	0,5 MPa	0,63 MPa	0,75 MPa	1,0 MPa
1 m, 0,4 MPa	13,2	11,4	10,0	7,9
1 m, 0,5 MPa	15,0	12,8	11,2	8,8
1 m, 0,4 MPa, VB300	23,2	18,9	17,5	14,2
1 m, 0,5 MPa, VB300	22,9	19,2	17,7	14,6
1,25 m, 0,4 MPa	14,0	12,3	10,9	8,6
1,25 m, 0,5 MPa	15,8	13,6	12,0	9,5
1,25 m, 0,4 MPa, VB300	21,2	18,0	16,5	13,4
1,25 m, 0,5 MPa, VB300	23,7	20,0	18,5	15,3

6.5 Andere materialen

6.5.1 PE

PE kan worden benaderd zoals PVC: de spreiding in eigenschappen van PE is kleiner dan in die van PVC. De beoordeling van de liggingscondities is moeilijker vanwege de onbekendheid van de aanwezige materiaalspanningen. Het materiaal heeft een dusdanig hoge kruip dat de werkelijke spanningen over het algemeen lager zijn dan de theoretisch optredende spanningen, waardoor een berekening conservatieve resultaten geeft. De werkelijk optredende spanningen zijn lager.

6.5.2 Grijs gietijzer

Grijs gietijzer kan wat betreft de sterkte worden benaderd zoals asbestcement. De grootste spreiding in dit materiaal treedt op in de aanwezige restwanddikten en de materiaalsterkte. Naast deze parameters bestaat bij grijs gietijzer ook de mogelijkheid tot putvormige corrosie, waarbij de sterkte van de leiding minder in het geding is maar de integriteit des te meer. Met deze vorm van corrosie kunnen relatief kleine lekken ontstaan in de leiding. De beoordeling van deze situatie hangt samen de economie van lekverliezen, waarbij de reparatiekosten en mogelijke externe effecten kunnen worden afgewogen tegen de kosten van het waterverlies.

6.5.3 Nodulair gietijzer

De conditie van nodulair gietijzer wordt bepaald door lokale aantasting, voortkomend uit beschadigingen in de bescherming. Dit uit zich door lekken in de buiswand. De beoordeling van deze situatie hangt samen de economie van lekverliezen, waarbij de reparatiekosten en mogelijke externe effecten kunnen worden afgewogen tegen de kosten van het waterverlies. De sterkte van een nodulair gietijzeren leiding is zelden een item in de beoordeling.

6.5.4 Staal

De conditie van stalen leidingen wordt bepaald door lokale aantasting, voortkomend uit beschadigingen in de bescherming. Dit uit zich door lekken in de buiswand. De beoordeling

van deze situatie hangt samen de economie van lekverliezen, waarbij de reparatiekosten en mogelijke externe effecten kunnen worden afgewogen tegen de kosten van het waterverlies. De sterkte van stalen leidingen kan een item worden onder bijzondere liggingomstandigheden of bij verouderde constructies. De toepassing van mijterbochten in zinkers is een dergelijke constructie, die vele jaren is toegepast maar bij een berekening onder de huidige eisen voor leidingen onder NEN 3650 [21] over het algemeen niet meer voldoende sterk blijkt.

6.5.5 Beton

De conditie van betonnen leidingen wordt bepaald door de sterkte en de hoekverdraaiing en dichtheid van de voegen. De sterkte is afhankelijk van aantasting van de wapening en/of de conditie van de fundering, indien deze aanwezig is. De beoordeling van de wapening met de aanwezige spreiding in de resultaten leidt tot een beoordeling van de sterkte als totaal. In het geval de leiding op een fundering is aangelegd, speelt de kwaliteit van de fundering een grote rol in de benodigde sterkte van de leiding.

De hoekverdraaiing en de verschuiving in de voegen bepalen de dichtheid van deze leidingen. De toegelaten vervorming hangt hiermee sterk af van het type buis en verbinding, en de gewenste conditie zal per type moeten worden vastgesteld.

6.6 Conditie leiding

In de voorgaande paragrafen is de conditie benaderd vanuit het buisdeel, waarbij de sterkte per buisdeel is benaderd. De conditie van een leiding wordt benaderd vanuit de faalkans van een leiding die bestaat uit verschillende buisdelen. Als op een leiding de probabilistische benadering wordt toegepast, is de spreiding van de eigenschappen tussen de buisdelen van belang.

De conditie van een leiding wordt bepaald door een gewogen optelling te maken van de risico's op basis van de conditie van de buisdelen, de verbindingen, de aanwezige afsluiters en brandkranen.

7 Witte vlekken

In dit hoofdstuk zijn ‘witte vlekken’ zijn geïdentificeerd op het gebied van toestandsbepaling. Deze onderwerpen zijn in onderstaande tabellen uitgewerkt volgens de in het projectplan opgenomen producten, te weten:

1. Hiaten op het gebied van de techniek en uitvoering: welke nadere stappen zijn noodzakelijk om dit onderwerp gereed te maken voor toepassing bij bedrijven, tevens wordt hier benodigd onderzoek benoemd?
2. Inkadering bij de drinkwaterbedrijven: welke stappen moeten bedrijven nemen om te komen tot implementatie?
3. Noodzaak tot validatie van meetresultaten;
4. Opleiding van medewerkers ten behoeve van de implementatie van technieken;
5. Historische productcatalogi: is er behoefte om actief te zoeken naar historische productcatalogi en deze aan alle bedrijven beschikbaar te stellen?
6. Leidingelementen in combinatie met barcodes/RFID: wat zijn de mogelijkheden van tagging van onderdelen van het leidingnet?
7. GIS: wat verdient aanbeveling om op te nemen in geografische leiding informatiesystemen?

Voor onderstaande onderwerpen zijn witte vlekken vastgesteld:

- Normconditie, inclusief veiligheid en risico en hoekverdraaiing;
- Oude leidingmaterialen en verbindingen (met name GGJ, AC en beton);
- Nieuwe leidingmaterialen en verbindingen (met name PVC, PE, staal, NGIJ);
- In-line inspectie;
- Exit beoordelingen;
- Gegevensverzameling bij graafwerkzaamheden bij leidingen;
- Overige gegevensverzameling bij beheermaatregelen leidingen (lekzoeken en afpersen);
- Storingsregistratie;
- Afsluiters;
- Brandkranen;
- Omgang met buiten gebruik gestelde leidingen.

Naast de hierboven genoemde onderwerpen bestaan er nog kennisvelden waar uitbreiding van de bestaande kennis helpt om de juiste interpretaties van toestandsbepalingen en storingsgedrag te kunnen maken. Hier wordt vooral de spreiding van de te bepalen parameters van belang. Een storing die wordt veroorzaakt door een zeer lokaal vóórkomen van een beperkte wanddikte moet anders worden geïnterpreteerd dan een algemene afname van de wanddikte. Ook belastingen en materiaalsterkten moeten op deze wijze worden beoordeeld.

Er zijn materialen die beperkt in deze praktijkcode aan de orde komen, Dit zijn in ieder geval nodulair gietijzer, staal, beton, GVK en waarschijnlijk nog meer materialen. Ondanks de beperkte lengten dat dit “overig” materiaal in het leidingnet voorkomt, vertegenwoordigen deze materialen een aanzienlijk belang, omdat deze materialen vooral in transportsystemen voorkomen. Faalmechanismen en conditiebepaling van deze materialen vergt gespecialiseerd onderzoek. Als voorbeeld kan de “oude” WRK leiding dienen. Hiervoor is een uitgebreid meetprogramma opgesteld.

Normconditie, incl. veiligheid en risico en hoekverdraaiing	
Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • Vaststellen wat de benodigde wanddikte is op basis van sterkteberekeningen van leidingen met reële belastingsituaties op basis van de toegepaste materialen en hun gemeten materiaaleigenschappen. • Vaststellen van de normconditie van bijzondere constructies, met name in het transportnet (zinkers, mijterbochten, etc) • Vaststellen wat de toelaatbare hoekverdraaiing is van verbindingen. • Inschatten van de onzekerheid van bovenstaande aspecten.
Inkadering bij bedrijven	<ul style="list-style-type: none"> • Opstellen veiligheidsfactoren die zijn afgeleid van een risicoanalyse en deze relateren aan strategische bedrijfsdoelen.
Validatie meetresultaten	<ul style="list-style-type: none"> • -
Opleiding van medewerkers	<ul style="list-style-type: none"> • Uitvoeren en beoordelen sterkteberekeningen en risicoanalyses.
Historische productcatalogi	<ul style="list-style-type: none"> • Archiveren en toegankelijk maken sterkteberekeningen leidingontwerp.
Mogelijkheden van tagging	<ul style="list-style-type: none"> • -
GIS	<ul style="list-style-type: none"> • Vastleggen van elk leidingmateriaal en verbindingstype wat de toelaatbare wanddikte en hoekverdraaiing is.

Oude leidingmaterialen en verbindingen (m.n. GGIJ, AC en beton)	
Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • AC: Voer sterktetesten uit om meer inzicht te krijgen in materiaaleigenschappen. • AC: Onderzoek het voorkomen en de invloed van uitwisselingsreacties in cementsteen .
Inkadering bij bedrijven	<ul style="list-style-type: none"> • -
Validatie meetresultaten	<ul style="list-style-type: none"> • -
Opleiding van medewerkers	<ul style="list-style-type: none"> • -
Historische productcatalogi	<ul style="list-style-type: none"> • Archiveren en toegankelijk maken van productcatalogi en detailontwerpen-
Mogelijkheden van tagging	<ul style="list-style-type: none"> • -
GIS	<ul style="list-style-type: none"> • -

Nieuwe leidingmaterialen en verbindingen (m.n. PVC, PE, staal, NGIJ)	
Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • PVC: Onderzoek naar bezwijkmechanismen en fysische veroudering • PVC: Onderzoek toelaatbare hoekverdraaiing van verbindingen • PE: onderzoek chemische degradatie door oxidatoren • Opstellen van vereisten aan vastlegging data van nieuw aangelegde leidingen met oog op toekomstige vervangingen. Zie lijst hieronder
Inkadering bij bedrijven	<ul style="list-style-type: none"> • -
Validatie meetresultaten	<ul style="list-style-type: none"> • -
Opleiding van medewerkers	<ul style="list-style-type: none"> • -
Historische productcatalogi	<ul style="list-style-type: none"> • Archiveren en toegankelijk maken van productcatalogi en detailontwerpen-
Mogelijkheden van tagging	<ul style="list-style-type: none"> • -
GIS	<ul style="list-style-type: none"> • -

In-line inspectie	
Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • Verder ontwikkelen van betrouwbare en efficiënte in-line inspectietechnieken. • Ontwikkel een informatiesysteem om het grote datavolume van inspectietechnieken te hanteren. • Vertalen van meetresultaten naar maatgevende toestand van de leiding. • Vertalen van meetresultaten naar vergelijkbare leidingen. • Vaststellen van eisen aan kwaliteit uitvoering. • Vaststellen van eisen aan datakwaliteit.
Inkadering bij bedrijven	<ul style="list-style-type: none"> • Uitvoeren van pilots. • Aanbrengen voor intrede en uittrede constructies.
Validatie meetresultaten	<ul style="list-style-type: none"> • Uitvoeren van destructief onderzoek. • Draag zorg voor validatie resultaten bij werkzaamheden uit te voeren na de inspectie.
Opleiding van medewerkers	<ul style="list-style-type: none"> • Voorbereiden, begeleiden van in-line inspecties door aannemers en het interpreteren van meetresultaten.

Historische productcatalogi	• -
Mogelijkheden van tagging	• -
GIS	• Informatiesystemen laten aansluiten op data uit inspecties.

Destructief onderzoek, exitbeoordelingen

Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • Opstellen van een statistische onderbouwing voor het vertalen van meetresultaten naar vergelijkbare leidingen. • Betrouwbare en efficiënte bepalingstechnieken. • Onderzoek de mogelijkheid om te vervangen leidingen. standaard af te persen en daarmee de sterkte te testen. • Vaststellen van eisen aan datakwaliteit.
Inkadering bij bedrijven	• Opstellen van beleid om exitbeoordelingen uit te voeren en de resultaten te interpreteren.
Validatie meetresultaten	• Uitwerken van een verbeterd statistisch kader.
Opleiding van medewerkers	• Uitvoeren van metingen.
Historische productcatalogi	• -
Mogelijkheden van tagging	• Aanbrengen van tags-bij reparaties.
GIS	• Informatiesystemen laten aansluiten op data uit metingen.

Gegevensverzameling bij graafwerkzaamheden bij leidingen

Techniek en uitvoering	• -
Inkadering bij bedrijven	• Opstellen van beleid om bij graafwerkzaamheden gegevens vast te leggen.
Validatie meetresultaten	• -.
Opleiding van medewerkers	• Uitvoeren van metingen.
Historische productcatalogi	• -
Mogelijkheden van tagging	• Aanbrengen van tags-bij graafwerkzaamheden.
GIS	• Informatiesystemen laten aansluiten op

data uit metingen.

Overige gegevensverzameling bij beheersmaatregelen leidingen (lekzoeken en afpersen)	
Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • Technieken om lekken te detecteren op basis van data-analyse.
Inkadering bij bedrijven	<ul style="list-style-type: none"> • Afpersen voorafgaand aan vervangen leidingen, zie ook exitbeoordelingen. • Opstellen van protocollen voor afpersen.
Validatie meetresultaten	<ul style="list-style-type: none"> • -.
Opleiding van medewerkers	<ul style="list-style-type: none"> • Uitvoeren van lekzoeken en afpersen.
Historische productcatalogi	<ul style="list-style-type: none"> • -
Mogelijkheden van tagging	<ul style="list-style-type: none"> • Aanbrengen van tags.
GIS	<ul style="list-style-type: none"> • Informatiesystemen laten aansluiten op data uit metingen.

Storingsregistratie	
Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • Verbeterde analyse technieken, waar ook onzekerheid is opgenomen. • Relatie van inspecties en storingsregistratie. • Opstellen van prognoses van de storingsfrequentie.
Inkadering bij bedrijven	<ul style="list-style-type: none"> • Kwaliteitssysteem USTORE.
Validatie meetresultaten	<ul style="list-style-type: none"> • -.
Opleiding van medewerkers	<ul style="list-style-type: none"> • Op expertise houden van medewerkers.
Historische productcatalogi	<ul style="list-style-type: none"> • -
Mogelijkheden van tagging	<ul style="list-style-type: none"> • -
GIS	<ul style="list-style-type: none"> • Informatiesystemen beter laten aansluiten op data uit storingen .

Afsluiters	
Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • Uitvoeren van analyses op basis van geregistreeerde functionaliteit afsluiters.
Inkadering bij bedrijven	<ul style="list-style-type: none"> • Vaststellen van toegestane faalkans van afsluiters • Uitvoeren van analyses voor bepalen kritische afsluitersectie en kritische afsluiter • Opstellen van beleid en criteria voor het registreren van de functionaliteit van afsluiters en het uitvoeren daarvan. <p>1. Meer specifiek:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Metingen draaimoment van afsluiterspindel ○ Metingen afsluiting met luistertest
Validatie meetresultaten	<ul style="list-style-type: none"> • Vergelijken van inspectieresultaten met collega drinkwaterbedrijven
Opleiding van medewerkers	<ul style="list-style-type: none"> • Uitvoering registratie functionaliteit afsluiter
Historische productcatalogi	<ul style="list-style-type: none"> • Verzamelen catalogi afsluiters • Beschrijven van in historie gebruikte afsluiters
Mogelijkheden van tagging	<ul style="list-style-type: none"> • Tagging van afsluiters is goed mogelijk, dit is echter ook mogelijk middels een nauwkeurige GPS-bepaling die is gelinkt aan het leidingregistratiesysteem
GIS	<ul style="list-style-type: none"> • Koppeling van onderhoudsgegevens aan het leidingregistratiesysteem

Brandkranen	
Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • Uitvoeren van analyses op basis van geregistreeerde functionaliteit brandkranen.
Inkadering bij bedrijven	<ul style="list-style-type: none"> • Vaststellen van toegestane faalkans van brandkranen, in relatie tot het geldende beleid brandkranen • Uitvoeren van analyses voor bepalen kritische brandkraan (in relatie tot omgeving en geldende afspraken). • Berekenen van de hydraulische capaciteit per brandkraan • Opstellen van beleid en criteria voor het registreren van de functionaliteit van brandkranen en het uitvoeren daarvan.
Validatie meetresultaten	<ul style="list-style-type: none"> • Vergelijken van inspectieresultaten met collega drinkwaterbedrijven
Opleiding van	<ul style="list-style-type: none"> • Uitvoering registratie functionaliteit

medewerkers	brandkraan
Historische productcatalogi	<ul style="list-style-type: none"> • Verzamelen catalogi brandkranen • Beschrijven van in historie gebruikte brandkranen
Mogelijkheden van tagging	<ul style="list-style-type: none"> • Tagging van brandkranen is goed mogelijk, dit is echter ook mogelijk middels een nauwkeurige GPS-bepaling die is gelinkt aan het leidingregistratiesysteem
GIS	<ul style="list-style-type: none"> • Koppeling van onderhoudsgegevens aan het leidingregistratiesysteem

Buiten gebruik gestelde leidingen	
Techniek en uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • Omgang met oude AC buizen, inclusief inzichten in gezondheidsrisico's AC leidingen. • Technieken om leidingen te verwijderen op moeilijk toegankelijke locaties.
Inkadering bij bedrijven	• -
Validatie meetresultaten	• -
Opleiding van medewerkers	• -
Historische productcatalogi	• -
Mogelijkheden van tagging	<ul style="list-style-type: none"> • Tagging van leidingen buiten gebruik.
GIS	<ul style="list-style-type: none"> • Opnemen van buiten gebruik gestelde leidingen in leidinginformatiesysteem.

In bovenstaande tabellen is aangegeven dat het gewenst is gegevens van nieuwe en bestaande leidingen vast te leggen. De volgende attributen worden voorgesteld voor vastlegging in informatiesystemen:

- Bij de aanleg van nieuwe leidingen:
 - Leidingsysteem
Fabrikant, productiebatch, ID;
Materiaalsoort, subklassetype en type verbinding;
Leidingdimensies: diameter, wanddikte, lengte buisdeel;
 - Locatie: XYZ;
 - Aannemer;
 - Jaar en datum van aanleg;
 - Appendages en bijzondere constructies;
 - Observaties aanleg;
- Bij de graafwerkzaamheden aan bestaande leidingen:
 - Controleren van data uit informatiesysteem;
 - Diepteligging;
 - Wanddikte (of externe diameter);

- Externe bescherming: aanwezigheid van bescherming, welke bescherming, staat van de bescherming;
- Observaties: zoals stenen in de bodem, zichtbare corrosie, staat van verbinding, aanwezigheid reparatiestuk of klem, etc.;
- Staat verbinding: zoals wel of niet trekvast aangelegd;
- In geval van toegang tot binnenzijde: aard en kwaliteit bescherming binnenzijde, aanwezigheid van corrosie, aanwezigheid van sediment;
- Eventuele resultaten van destructief onderzoek.

8 Literatuur

- 1 Staatsblad 2009: [‘Drinkwaterwet’](#) van 18 juli 2009, nummer 370, 3 september 2009.
- 2 Staatsblad 2011: [‘Drinkwaterbesluit’](#) van 23 mei 2011, nummer 293, 21 juni 2011.
- 3 Staatscourant 2011: ‘Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening’ van 29 juni 2011, nr 11911, 18 juli 2011.
- 4 Nederlands Normalisatie-instituut (2000): ‘Watervoorziening – Eisen aan distributiesystemen buitenshuis’, NEN-EN 805:2000, Delft.
- 5 Meerkerk, M.A., en Mesman, G.A.M. (2010): ‘Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen; Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 805:2000)’, rapport KWR 2010.094, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 6 Nederlands Normalisatie-instituut (2012): ‘Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemene eisen’, NEN 3650-1:2012, Delft.
- 7 Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2014): ‘Beleidsnota Drinkwater; Schoon drinkwater voor nu en later’, Rijswijk.
- 8 Vries, D., Agudelo-Vera, C.M. en Summeren J.R.G. (2015) ‘Assetmanagement in balans: systematiek voor integraal en kwantitatief beheer van de drinkwaterketen’, rapport BTO 2014.049, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 9 Beuken R., Eijk R. van en Slaats N. (2014) ‘De waarde van exitbeoordelingen op AC en GGJ leidingdelen’, rapport BTO 2014.016, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 10 Eijk, R. (2014) ‘Betonnen leidingen: inventarisatie, conditiebepaling en onderhoud’, rapport BTO 2014.001, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 11 Borsje, H., et al. (2002) ‘Monitoren Alkali Silica Reactie in viaducten, Cement’, Jrg 54 nr. 5, p. 88 – 93.
- 12 Mesman, G.A.M. (2015) ‘Kennissregels PVC leidingen’, rapport BTO 2015.054, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 13 Kiwa keuringseisen en beoordelingsrichtlijnen:

K49 (1965) Keuringseisen Nr 49 ‘Waterleidingbuizen van ongeplasticeerd polyvinylchloride. Gepubliceerd in ‘Water, 12 augustus 1965. Eerste herziening 8 juni 1972, Aanvulling per 1 januari 1977.

BRL502/02 (1991) ‘Waterleidingbuizen van PVC-U’

BRL17301 (2007) ‘Leidingsystemen van PVC voor het transport van drinkwater en ruwwater’

- BRL-K770 (2012) 'Inwendige cementmortelbekleding van bestaande ondergrondse leidingen' .
- 14 Mesman, G.A.M. (2001) 'Conditiebepaling verbindingen', rapport BTO 2001.205, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 15 Vewin (1982) 'Hogere Waterleidingstechniek, 10 Distributie'.
- 16 Waterwerkblad (2004) WB 2.2F 'Leidingmaterialen Gietijzere buizen/nodulair, hulpstukken en verbindingen'. Herziening van januari 1983.
- 17 Nederlands Normalisatie-instituut (2004): 'Kunststofleidingen voor het transport van gas, drinkwater en afvalwater - Stukklassen van buizen en hulpstukken van PE 63, PE 80 en PE 100', NEN 7200:2004. Herziening van NEN7200:1988.
- 18 Nederlands Normalisatie-instituut (2016): 'Elektrolassen van PE-buizen en PE-hulpstukken', NTA 8828.
- 19 Kiwa (2015) 'Informatiemiddag NTA 8828', website bezocht op 19 februari 2016.
- 20 Kiwa Nederland B.V. (2015): 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor kunststof leidingsystemen van polyetheen voor transport van drinkwater en ruw water', beoordelingsrichtlijn BRL-K17105, Rijswijk.
- 21 Nederlands Normalisatie-instituut (2012) 'Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal', NEN 3650-2:2012.
- 22 Meinen, Karel (2016) 'Mededeling per e-mail van 19-2-2016, directeur TerraCarta BV'.
- 23 Kiwa (1983): 'Richtlijnen voor de aanleg van hoofdleidingen van ongeplastificeerd polyvinylchloride (PVC) voor het transport van drinkwater', Kiwa Certificatie en Keuringen d.d. 1 februari 1983.
- 24 Nederlands Normalisatie-instituut (2009) 'Kunststofleidingsystemen voor drinkwatervoorzieningen voor boven- en ondergrondse rioolpersleiding - Ongeplastificeerd polyvinylchloride (PVC-U)' NEN EN ISO 1452:2009.
- 25 Kiwa (2004) 'Controlemethodiek brandkranen', rapport KWR 04.054 van 12 juli 2004.
- 26 ASTM (2002) 'Standard Practice for Ultrasonic Examinations Using Electromagnetic Acoustic Transducer (EMAT) Techniques', E1816-96. American Society for Testing and Materials.
- 27 Water Services Association of Australia (WSAA) 'Condition Assessment Selection Tool (CAST), <http://www.wsaatools.com/CAST/>, website bezocht op 02-08-2016.
- 28 Water Services Association of Australia (WSAA) 'Tool summary: Ultrasonic measurements; Continuos (Guided Wave)', <http://wsaatools.com/CAST/Wiki/WikiViewer.aspx?Wikid=47>, website bezocht op 02-08-2016.
- 29 ASTM (2001) 'Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method' G57-95a. American Society for Testing and Materials.

- 30 Blokker E.J.M., Ven, B.M. van de (RIVM), Tankerville M. en Mesman G.A.M. (2010) 'Invloed coating grijs gietijzeren leidingen op drinkwaterkwaliteit', rapport BTO 2010.044, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 31 Eijk, Ronald van (2013) 'Informatieportaal Leidingmaterialen en Inspectietechnieken', KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein..
- 32 Kiwa Nederland B.V. (2012): 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor Inwendige cementmortelbekleding van bestaande ondergrondse leidingen', beoordelingsrichtlijn BRL-K770, Rijswijk.
- 33 Kiwa Nederland B.V. (2012): 'Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor Inwendige cementmortelbekleding aan ondergronds te leggen leidingen', beoordelingsrichtlijn BRL-K778, Rijswijk.
- 34 Nederlands Normalisatie-instituut (2005) 'Stalen buizen en hulpstukken voor leidingen op land en in zee - Inwendige voeringen met cementmortel', NEN EN 10298:2005.
- 35 Nederlands Normalisatie-instituut (1986) 'Uitwendige bekleding met PE van ondergronds te leggen stalen buizen en hulpstukken', NEN 6902:1986.
- 36 Nederlands Normalisatie-instituut (2005) 'Nodulair gietijzeren buizen en hulpstukken - Uitwendige polyetheen coating voor buizen - Eisen en beproevingsmethoden', NEN 14628:2005.
- 37 Mesman G.A.M. (2006) 'Afpersprotocol leidingen', rapport KWR06.058 van juli 2006, Kiwa Waterresearch, Nieuwegein.
- 38 Pure (2016) 'SmartBall Technology', <https://www.puretechltd.com/technologies-brands/smartball>, website bezocht op 02-08-2016.
- 39 Echologics (2016) 'ePulse Pipeline Condition Assessment', <http://www.echologics.com/services/condition-assessment/epulse>, website bezocht op 02-08-2016.
- 40 Mesman G.A.M. (2016) 'Kennissenregels PE Leidingen', rapport BTO 2016.005, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 41 Royer, M.D. (2008) 'Condition Assessment of Drinking Water Transmission and Distribution Systems'. Presented at U.S. EPA SCIENCE FORUM 2008, WASHINGTON, DC, May 20 - 22, 2008.
- 42 Eijk, R. van (2014): 'Betonnen leidingen: inventarisatie, conditiebepaling en onderhoud', rapport BTO 2014.001, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 43 Boersma, A en Breen J. (2015) 'Long term performance prediction of existing PVC water distribution systems, TNO I-IX' (afkomstig uit BTO 2015.054).
- 44 Mesman, G.A.M., Slaats, P.P.G. (2004) 'Conditiebepaling gietijzeren waterleidingen', rapport BTO 2003.038, KIWA N.V., Nieuwegein.
- 45 Eternit (ca 1980) 'Catalogus AC buizen en appendages', Eternit.
- 46 Arsénio, A.M. (2013) Proefschrift 'Lifetime Prediction of PVC Push-fit Joints', van november 2013, TU Delft.

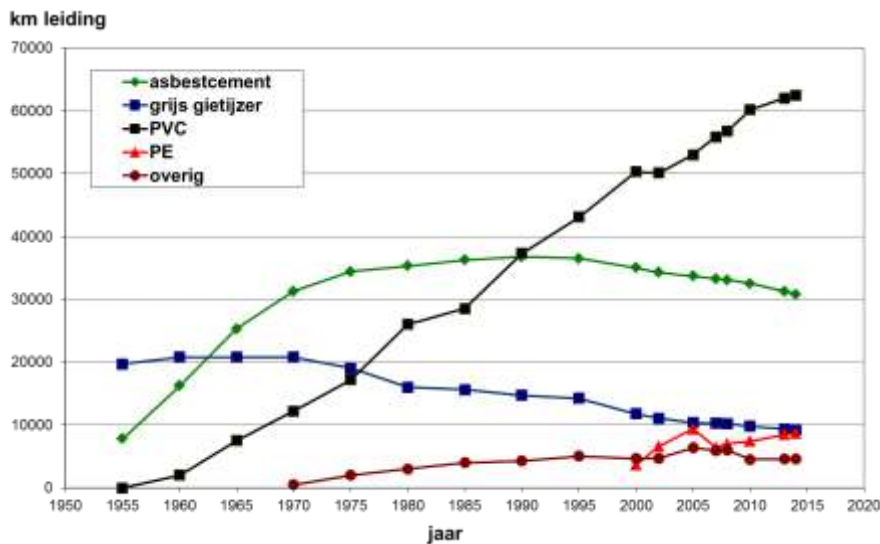
- 47 Hoven Th., van den en M.W.M. van Eekeren (1988) 'Optimale samenstelling van drinkwater', Kiwa-Mededeling 100, Nieuwegein (under review).
- 48 Mesman, G.A.M., Hullhoven, F. (2008) 'Ultrasoon geluidsonderzoek asbestcement leidingen', rapport BTO 2008.015, KIWA N.V., Nieuwegein.
- 49 Doornik, J.H. van, Roubos, C., Wielen, J.M.L. van der (2004) 'Inventarisatie van methoden voor conditiebepaling en leidinginspectie', rapport BTO 2004.056, KIWA N.V., Nieuwegein.
- 50 Trietsch, E. Van Geel, K., Nagelhout, S.(2006) 'Inwendig onderzoek gietijzeren leiding goed alternatief voor uitwendige inspectie', H2O nr. 17 2006.
- 51 Marlow, D. et al. (2007) 'Condition Asset management strategies and protocols for water and wastewater utilities assets', Water Environment Research Foundation.
- 52 Kater, H. de, R. Beuken, A. Vogelaar (2010) 'Inspectietechnieken voor rationeel saneringsbeleid van leidingnetten - een overzicht van technieken en randvoorwaarden', rapport BTO 2010.013 KWR Nieuwegein.
- 53 Vreeburg J.H.G. (2001) '55e Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening & 22e Vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling', TU Delft.
- 54 Commissie Rubberringen (1961) Rapport 'Aantasting van rubberringen voor waterleidingbuizen' van de van het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V. van november 1961.
- 55 Krul W.F.J.M. (1950) 'Tweede vacatiecursus Drinkwatervoorziening: Vervaardiging van buizen en transport- en distributieleidingen', Delft.
- 56 Struik I.C.E. (1980) 'Physical Aging in Amorphous Polymers and Other Materials' Elsevier Science (January 15, 1980).
- 57 Pieterse-Quirijns, I. (2014) 'Handleiding VLPV-methoden en -softwaretool', rapport KWR 2014.049, Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 58 Saint-Gobain Pipe Systems (2000) 'Tyton verbindingen', versie 01-12-2000, Almere.
- 59 Meerkerk, M., Mesman G.A.M. en Pieterse-Quirijns I.(2009) 'Handleiding CAVLAR, beschrijving en interpretatie', rapport BTO 2009.003, Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 60 Vewin (2016) 'VEWIN jaarverslagen en statietieken over de periode 1955 - 2013', geraadpleegd via <http://www.vewin.nl/publicaties/> op 02-08-2016.
- 61 Breen, J. en Scholten F. (2013) 'De invloed van restspanning op de weerstand van PVC-buizen tegen RCP', Kiwa Technology, H₂O.
- 62 Vewin (2016) 'Cijfers: Kerngegevens 2014', geraadpleegd via <http://www.vewin.nl/publicaties/> op 02-08-2016.
- 63 Meerkerk, M.A. (2016) 'De toepassing van leidingmaterialen in met organische stoffen verontreinigde bodem', rapport PCD 5:2016, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.

- 64 Meerkerk, M.A. (2011) 'Protocol ter verbetering van de functionaliteit van de frontbeveiliging in huishoudelijke aansluitingen; Niet-controleerbare keerkleppen in watermeters', rapport KWR 2011.048, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- 65 Mesman G.A.M., Wielen van der J. (2005) 'Georadar: geschikt om conditie AC-leidingen te beoordelen', KWR 05.023, Kiwa Water Research, Nieuwegein
- 66 Staatscourant 2011: 'Drinkwaterregeling' van 14 juni 2011, nr. 10842 van 27 juni 2011
- 67 Vewin (2014): '[Regeling Kwaliteitsborging Watermeters](#)', 24 april 2014, Rijswijk
- 68 Vewin (2014): '[Handboek RKW: Voor de Vewin-Regeling Kwaliteitsborging Watermeters \(RKW\)](#)', 24 april 2014, Rijswijk

Bijlage I Samenstelling drinkwaterleidingnet

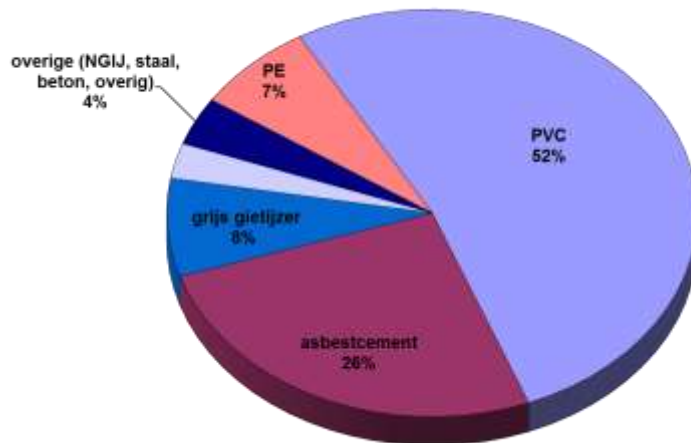


Figuur 22 Ontwikkeling totale lengte drinkwaterleidingnet in Nederland over de periode 1955 – 2014 [60].



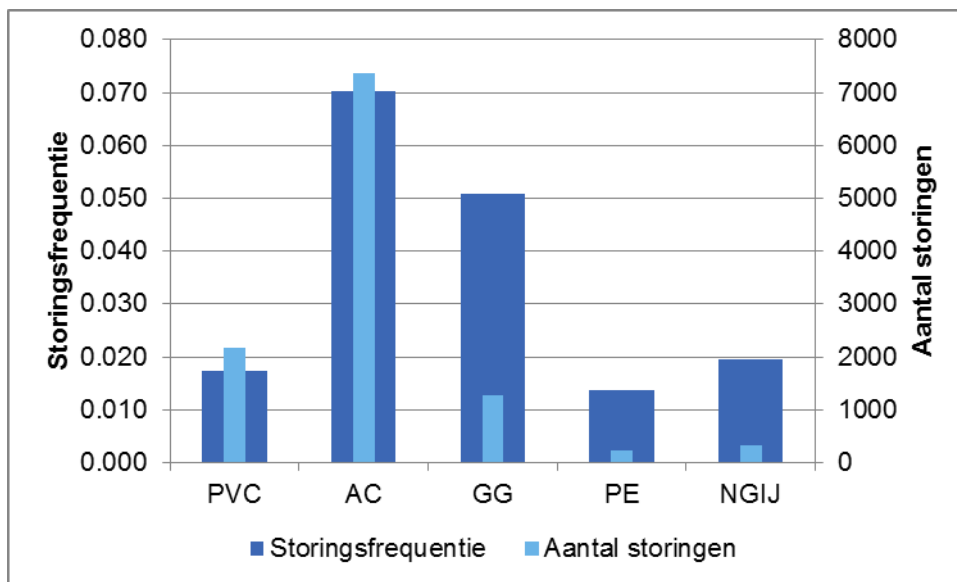
Figuur 23 Ontwikkeling van het drinkwaterleidingnet in Nederland over de periode 1955 – 2014. De trendbreuk in de lijn PVC in het jaar 2000 wordt veroorzaakt door het expliciet maken van PE in de cijfers vanaf dat jaar. Tot het jaar 2000 zijn PVC en PE samengenomen in één getal. Het een en ander heeft ook tot onduidelijkheid geleid in de periode 2005 – 2010 in de verdeling PE en Overig [60].

Leidingbestand 2014



Figuur 24 Samenstelling drinkwaterleidingnet in 2014 in procenten van de totale aanwezige leidinglengte van 119.146 km [60].

Bijlage II Optredende storingen



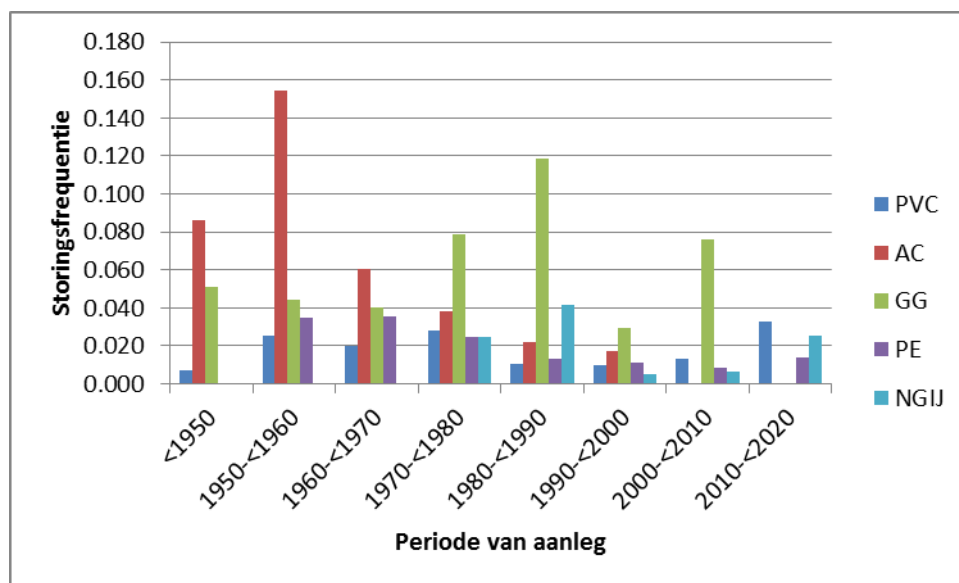
Figuur 25 Storinggegevens per materiaal zoals opgenomen in USTORE mei 2015.

Tabel 23 Aantal storingen en storingfrequentie per materiaal zoals opgenomen in USTORE (mei 2015).

Materiaal	Storingfrequentie n/km/jaar	Aantal storingen n
PVC	0.017	2165
AC	0.070	7378
GG	0.051	1268
PE	0.014	233
NGIJ	0.019	337
Staal* < 200	0.209	1210
Staal* >=200	0.038	128
Beton	0.008	22

* Stalen leidingen komen voor in twee sterk verschillende populaties: distributieleidingen (oudere leidingen) en transportleidingen (modern).

Storingsfrequentie per materiaal en per periode van aanleg



Figuur 26 Storingsfrequentie per materiaal en periode van aanleg zoals opgenomen in USTORE (mei 2015).

Tabel 24 Storingsfrequentie per materiaal en periode van aanleg zoals opgenomen in USTORE (mei 2015).

Periode van aanleg	PVC	AC	GG	PE	NGIJ	Staal	Beton
<1950	0.007	0.086	0.051	n.v.t.	n.v.t.	0.198	0.016
1950-<1960	0.025	0.154	0.044	0.035	n.v.t.	0.197	0.005
1960-<1970	0.020	0.060	0.040	0.035	n.v.t.	0.199	0.009
1970-<1980	0.028	0.038	0.079	0.025	0.025	0.108	0.007
1980-<1990	0.011	0.022	0.118	0.013	0.041	0.045	0.000
1990-<2000	0.010	0.017	0.029	0.011	0.005	0.011	0.004
2000-<2010	0.013	n.v.t.	0.076	0.008	0.006	0.010	n.v.t.
2010-<2020	0.033	n.v.t.	n.v.t.	0.014	0.025	0.017	n.v.t.

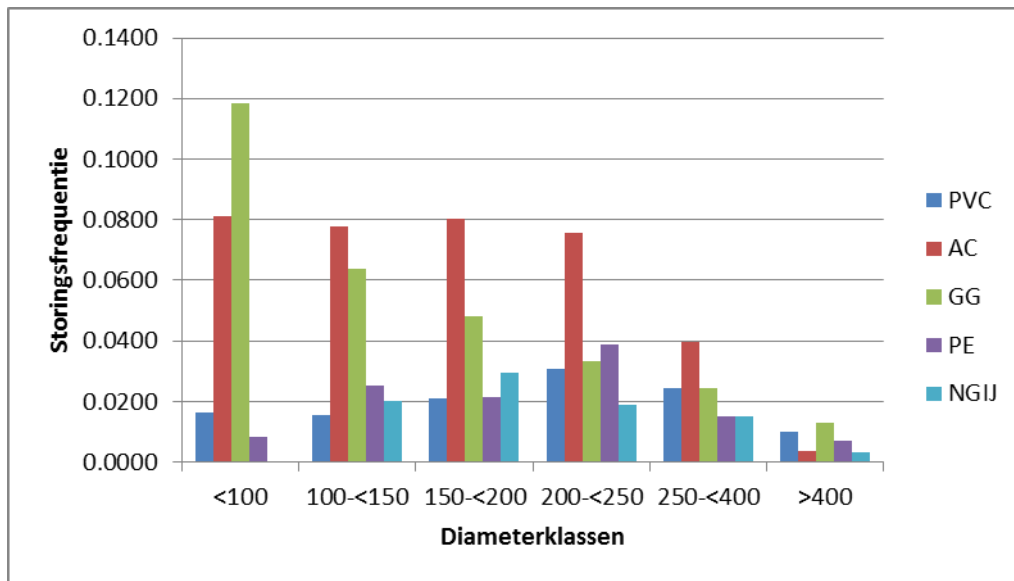
Toelichting

Voor asbestcement zijn de getallen voor de periode van aanleg 2000 – 2020 naar 'n.v.t.' gebracht, omdat na 1992 asbestcement niet meer als nieuw materiaal voor drinkwaterleidingen is toegestaan en ook niet meer wordt gebruikt.

Voor nodulair gietijzer zijn de getallen voor de periode van aanleg 1950 – 1970 naar 'n.v.t.' gebracht, omdat dit materiaal in die periode nog niet voor drinkwaterleidingen is gebruikt.

Voor beide materialen geldt dat er geen verdere correctie op de getallen is toegepast. Dit is een beperkte foutenbron in de verwerkte informatie.

Storingsfrequentie per materiaal en per diameterklasse



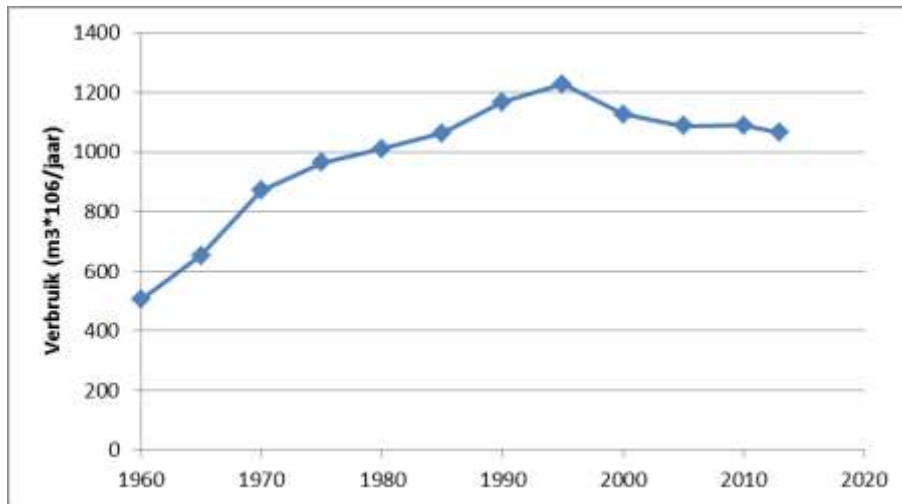
Figuur 27 Storingsfrequentie per materiaal en per diameter zoals opgenomen in USTORE (mei 2015).

Tabel 25 Storingsfrequentie per materiaal en per diameter zoals opgenomen in USTORE (mei 2015).

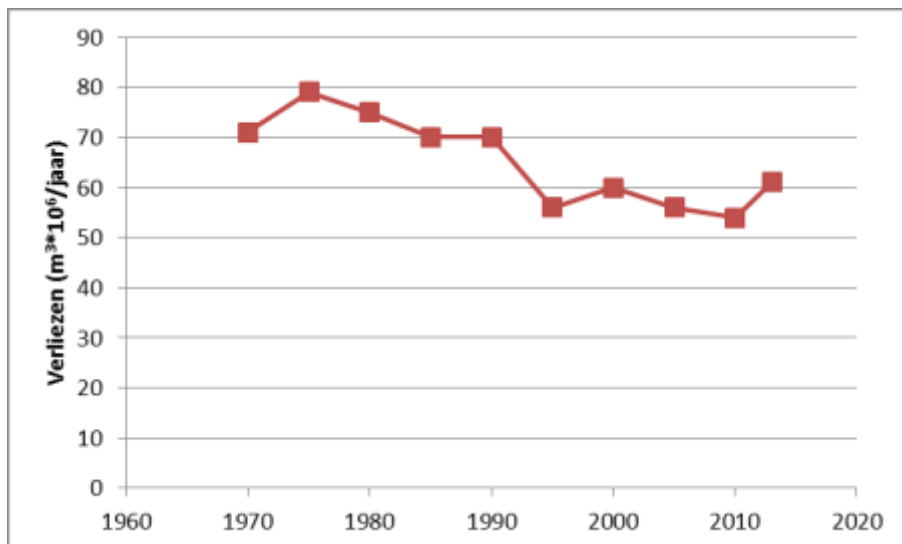
Diameter	PVC	AC	GG	PE	NGIJ	Staal	Beton
<100	0.0162	0.0812	0.1183	0.0085	0.0000	0.2467	n.v.t.
100-<150	0.0154	0.0778	0.0637	0.0251	0.0201	0.2467	n.v.t.
150-<200	0.0210	0.0803	0.0482	0.0214	0.0293	0.1569	n.v.t.
200-<250	0.0306	0.0756	0.0333	0.0389	0.0189	0.1348	n.v.t.
250-<400	0.0246	0.0396	0.0246	0.0149	0.0152	0.0994	n.v.t.
>400	0.0099	0.0035	0.0130	0.0071	0.0033	0.0031	0.0081

Voor beton in kleine diameters zijn de resultaten naar 'n.v.t.' gebracht, omdat er geen leidingen van dit materiaal in deze diameter aanwezig zijn.

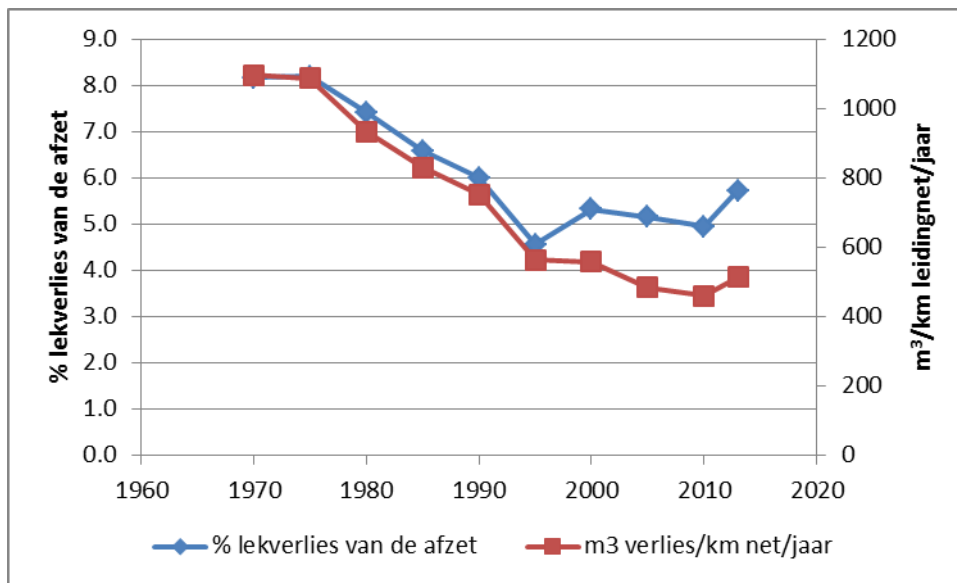
Bijlage III Ontwikkeling lekverliezen



Figuur 28 Drinkwaterverbruik in Nederland [60].



Figuur 29 Ontwikkeling NIRG (Niet In Rekeninggebracht Gebruik) in het Nederlandse drinkwaterleidingnet [60].



Figuur 30 Ontwikkeling relatieve lekverliezen in het Nederlandse drinkwaterleidingnet. Door de verliezen te relateren aan de leidinglengte wordt een reëel beeld verkregen van de werkelijke betekenis van de verliezen. Bij een dalende afzet en gelijkblijvende verliezen neemt het percentage lekverlies toe en lijkt de kwaliteit van het leidingnet af te nemen. Echter bij gelijkblijvende verliezen en een toenemende lengte van het leidingnet nemen de verliezen per km leidinglengte af. In de Nederlandse situatie zijn beide verschijnselen vanaf 1995 aan de orde [60].

Bijlage IV

Spreiding in
aantasting AC

Tabel 26 Spreiding in aantasting AC.

WLB	ID	wanddikte (mm)		uitwendige aantasting (mm)		inwendige aantasting (mm)		aantal metingen	
		gem	st afw	gem	st afw	gem	st afw	N	Uitvoering
XP	1	13.27	0.54	0.43	0.86	1.05	0.77	36	Één doorsnede
XP	2	12.94	0.47	0.53	0.75	1.05	0.97	36	Één doorsnede
XP	3	13.87	1.80	0.84	1.37	1.93	0.42	36	Één doorsnede
XP	4	15.69	0.75	1.06	1.15	0.00	0.00	36	Één doorsnede
XP	5	15.06	1.06	1.15	1.22	0.00	0.00	36	Één doorsnede
XP	6	14.14	0.65	1.87	2.12	0.37	0.62	36	Één doorsnede
XD	7	14.26	0.61	1.77	1.06	0.41	0.42	36	Één doorsnede
XD	8	15.46	0.62	0.53	1.17	0.00	0.00	36	Één doorsnede
XD	9	13.76	0.42	0.79	1.85	0.00	0.00	36	Één doorsnede
XD	10	14.10	0.68	0.05	0.20	0.00	0.00	36	Één doorsnede
XD	11	9.17	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	36	Één doorsnede
XD	12	11.25	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	36	Één doorsnede
XP	13	15.44	0.75	2.07	2.70	1.11	1.38	36	Één doorsnede
W	14	13.80	0.28	2.50	0.64			18	Drie doorsneden uit één buisdeel
W	15	14.50	0.21	5.00	0.96	3.60	1.23	9	Breukmateriaal uit één buisdeel
Y	16	14.70	0.72	3.10	1.22	4.40	0.73	74	19 doorsneden uit 9 buisdelen uit één wijk
Z	17			6.50	2.80	3.40	0.80	onbekend	20 doorsneden uit 20 buisdelen uit één leiding

De monsters met de aanduiding X komen uit het DPW onderzoek.

Bijlage V

Begrippen en omschrijving

Volgens artikel 1 van de [Drinkwaterwet](#) [1]:

- Collectief leidingnet: *samenstel van leidingen, fittingen en toestellen dat tijdelijk, doch niet ten behoeve van bevoorrading, dan wel permanent, is aangesloten op het distributienet van een drinkwaterbedrijf of collectieve watervoorziening, en door middel waarvan drinkwater of warm tapwater ter beschikking wordt gesteld aan consumenten of andere afnemers;*
- Collectieve watervoorziening: *a. landgebonden voorziening, niet zijnde een drinkwaterbedrijf, voor de productie of distributie van water dat met behulp van een leiding of distributienet aan consumenten of andere afnemers als drinkwater of warm tapwater ter beschikking wordt gesteld; b. voorziening voor de productie of distributie van water op een binnen het Nederlandse territorium gelegen mijnbouwinstallatie als bedoeld in artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet, welk water als drinkwater of warm tapwater aan consumenten binnen die mijnbouwinstallatie ter beschikking wordt gesteld;*
- Distributie: *transport en levering;*
- Distributiegebied: *gebied waarbinnen de eigenaar van een drinkwaterbedrijf bevoegd en verplicht is tot levering van drinkwater aan consumenten of andere afnemers;*
- Distributienet: *samenstel van leidingen en daarmee verbonden koppelingen, kleppen en andere technische voorzieningen voor het transport en de levering van drinkwater, niet zijnde een collectief leidingnet;*
- Drinkwater: *water bestemd of mede bestemd om te drinken, te koken of voedsel te bereiden dan wel voor andere huishoudelijke doeleinden, met uitzondering van warm tapwater, dat door middel van leidingen ter beschikking wordt gesteld aan consumenten of andere afnemers;*
- Installatie: *samenstel van leidingen, fittingen en toestellen dat middellijk of onmiddellijk is aangesloten op het distributienet van een drinkwaterbedrijf;*
- Verstoring (storing): *uitval of aantasting van watervoorzieningswerken, waardoor de continuïteit van de levering van deugdelijk drinkwater wordt verbroken of in gevaar komt;*
- Watervoorzieningswerken: *werken ten behoeve van de productie en distributie van drinkwater en daarmee rechtstreeks verband houdende werken en beschermingsvoorzieningen ten dienste van drinkwaterbedrijven.*

Volgens artikel 1 van het [Drinkwaterbesluit](#) [2]:

- Leveringspunt: *plaats waar: a. het distributienet van een drinkwaterbedrijf, respectievelijk collectieve watervoorziening, overgaat in een collectieve watervoorziening, respectievelijk collectief leidingnet, dan wel overgaat in een woninginstallatie of andere installatie die op dat distributienet is aangesloten; b. een collectief leidingnet overgaat in een woninginstallatie of andere installatie, die op dat distributienet is aangesloten;*
- Materialen: *industriële gevormde vaste stoffen of daaruit samengestelde producten, niet zijnde chemicaliën, die gebruikt worden voor het vervaardigen en verwerken van producten die in contact kunnen komen met te behandelen water of drinkwater en daarbij kunnen worden afgegeven aan dat water.*

Volgens de 'Richtlijn drinkwaterleidingen buiten gebouwen; *Ontwerp, aanleg en beheer (gebaseerd op NEN-EN 805:2000)*' [5]:

- Leidingnet: *Deel van het waterverzorgingsstelsel bestaande uit een leidingnet dat zorg draagt voor waterlevering aan de afnemers. Het leidingnet begint in het algemeen aan de perszijde van een pompstation en eindigt bij het leveringspunt.*
- Primaire of transportleiding: *Leiding die bron, behandelingsinstallatie, opslag en distributiegebieden met elkaar verbindt, doorgaans zonder aansluitingen naar afnemers.*
- Secundaire of vermaasde distributieleiding: *Leiding die aftakt van een primaire of transportleiding waarmee het drinkwater verder wordt gedistribueerd tot aan het tertiaire leidingnet; vermaasde structuur.*
- Tertiaire of vertakte distributieleiding: *Leiding die aftakt van een secundaire of vermaasde distributieleiding en waarmee drinkwater verder wordt gedistribueerd naar de aansluitingen tot aan de aansluitleiding; vertakte structuur.*
- Aansluitleiding: *Verbinding tussen tertiaire leiding en drinkwaterinstallatie inclusief, meetinrichting en alle andere door het bedrijf in of aan die leiding aangebrachte apparatuur zoals dienstkranen en begrenzers.*
- Leidingelementen: het begrip 'leidingelementen' wordt als zodanig niet gedefinieerd, maar die worden wel verder uitgewerkt. De volgende worden genoemd inclusief de definitie:
 - Appendage: *Leidingelement zoals afsluiter, expansiestuk, pendelstuk, isolatiekoppeling, veiligheidstoestel (zoals bedoeld in NEN 1717:2000), drukregelaar, brandkraan en spuikraan.*
 - Coating: *In- en uitwendig beschermingsstelsel van leidingmaterialen (buizen, hulpstukken en appendages (afsluiters en brandkranen)).*
 - Fitting, hulpstuk: *Leidingelementen anders dan buizen, die verandering van richting, middellijn, aftak enzovoort van de leiding mogelijk maken, naast elementen als flensstukken, flens-spiestukken, blindflenzen, koppelingen enzovoort.*
 - Verbinding: *Koppeling tussen leidingelementen.*
 - Liner: *Inwendige coating.*
 - Buis: *Recht leidingelement met een constante inwendige middellijn over de werkende buislengte (een buis met verbinding, bijvoorbeeld een gietijzeren buis met spie- en mofverbinding).*
 - Buisdeel: *Recht leidingelement met een constante inwendige middellijn over de gehele buislengte (uitsluitend een buis, bijvoorbeeld een PVC buis zonder verbindingstukken).*
- Kathodische bescherming: *Methode voor de bescherming van metalen leidingelementen tegen corrosie waarbij het metaal dat wordt beschermd in een kathodische situatie wordt gehouden in vergelijking met de omgeving.*

Overigen:

- Saneren: Het weer in een goede conditie brengen van een leiding. Dit kan door het vervangen, relinen of repareren van een leiding (volgens Van Dale: 'gezond maken').
- Vervangen: Het verwijderen van een oude leiding en het op dezelfde locatie aanleggen van een nieuwe leiding.